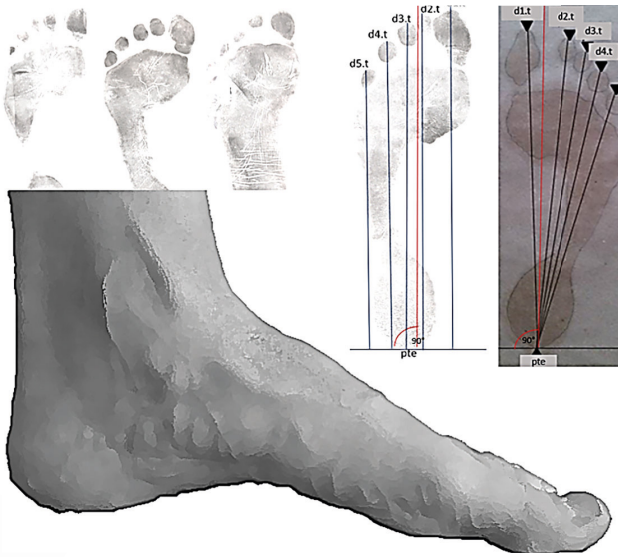
LENKA VOROBEĽOVÁ
DARINA FALBOVÁ
PETRA ŠVÁBOVÁ
MÁRIA CHOVANCOVÁ

APLIKOVANÁ ANTROPOLÓGIA: SÚČASNÉ INTERDISCIPLINÁRNE PRÍSTUPY A METÓDY



LENKA VOROBEĽOVÁ
DARINA FALBOVÁ
PETRA ŠVÁBOVÁ
MÁRIA CHOVANCOVÁ

APLIKOVANÁ ANTROPOLÓGIA: SÚČASNÉ INTERDISCIPLINÁRNE PRÍSTUPY A METÓDY

2025
Univerzita Komenského v Bratislave

Vysokoškolská učebnica bola finančne podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky, a to projektom KEGA 046UK-4/2023 s názvom *Aplikácia inovatívnych metodík biomedicínskej antropológie do vedecko-pedagogického procesu a ich význam pre klinickú, športovú a forenznú prax*.

© Autorky, 2025

doc. RNDr. Lenka Vorobeľová, PhD.
Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra antropológie
RNDr. Darina Falbová, PhD.
Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra antropológie
RNDr. Petra Švábová, PhD.
Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra antropológie
RNDr. Mária Chovancová, PhD.
Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra antropológie

Recenzenti
doc. RNDr. Soňa Masnicová, PhD.
RNDr. Branislav Kolena, PhD.

Fotografie na obálke
doc. RNDr. Lenka Vorobeľová, PhD.; RNDr. Darina Falbová, PhD.; RNDr. Petra Švábová, PhD.; RNDr. Mária Chovancová, PhD.

Ilustrácie/fotografie
doc. RNDr. Lenka Vorobeľová, PhD.; RNDr. Darina Falbová, PhD.; RNDr. Petra Švábová, PhD.; RNDr. Mária Chovancová, PhD.

Publikácia je šírená pod licenciou Creative Commons CC BY 4.0
(vyžaduje sa: povinnosť uvádzať pôvodného autora).
Viac informácií o licencii a použití diela:
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

https://stella.uniba.sk/texty/PRIF_kol_aplikovana_antropologia_interdisciplinarita.pdf

Vydavateľ
Univerzita Komenského v Bratislave

ISBN 978-80-223-6092-0 (online)

OBSAH

PREDHOVOR 6

1 TELESNÉ ZLOŽENIE 7
1.1 Komponenty ľudského tela 7
1.1.1 Tuková hmota (Fat Mass – FM) 7
1.1.2 Beztuková hmota (Fat Free Mass – FFM) 11
1.2 Metódy detekcie zloženia tela 21
1.3 Parametre zloženia tela a ich využitie v praxi 34
1.3.1 Zloženie tela v klinickej antropológii 34
1.3.2 Zloženie tela vo vývinovej antropológii 51
1.3.3 Zloženie tela v športovej antropológii 55

2 KOSTNÁ HMOTA A FAKTORY, KTORÉ JU OVPLYVŇUJÚ 60
2.1 Biológia kosti 60
2.2 Remodelácia kosti 62
2.3 Faktory, ktoré ovplyvňujú kostnú hmotu 66
2.4 Kvantita verzus kvalita kostného tkaniva z pohľadu zdravia skeletu 88
2.4.1 In-vivo skríning kvantity a kvality kostného tkaniva 91
2.5 FRAX (metóda hodnotenia rizika zlomeniny, Fracture Risk Assessment Tool) 95

3 ANTROPOLOGICKÉ METÓDY VO FORENZNEJ PODIATRII 97
3.1 Charakteristika forenznej podiatrie 98
3.1.1 Stručný vývoj forenznej podiatrie 99
3.2 Anatomicko-morfologická charakteristika nohy 100
3.2.1 Klenba nohy 102
3.2.2 Prehľad vybraných frekventovaných deformít na nohe 103
3.2.3 Vybrané deformity na prstoch nohy 107
3.2.4 Faktory vplývajúce na anatomicko-morfologickú štruktúru nohy 108
3.3 Plantogram (odtlačok stupaje) a mechanizmus jeho vzniku 112
3.3.1 Základné faktory ovplyvňujúce charakteristiky plantogramov 114
3.4 Metódy používané pri odoberaní/získavaní plantogramov 116
3.4.1 Postup odoberania odtlačkov pomocou krémovej a čerňovej metódy 118

3.5 Biometrická analýza plantogramov a jej význam ... 119
3.5.1 Morfologicko-metrické parametre plantogramov ... 120
3.5.2 Morfologické charakteristiky plantogramov ... 126
3.5.3 Fenomén arteficiálneho presahu na odtlačkoch stupají ... 132
3.5.4 Kvantitatívne (metrické) hodnotenie plantogramov ... 134
3.5.5 Manuálne a digitalizované vyhodnotenie plantogramov ... 140
3.5.6 Využitie biometrickej analýzy plantogramov pri biologickom profile a identifikácii ... 142

4 DERMATOGLYFIKA ... 144
4.1 Koža ... 145
4.1.1 Anatómia kože ... 145
4.1.2 Prídavné orgány kože ... 147
4.1.3 Ontogenéza kože a papilárneho terénu ... 148
4.1.4 Faktory ovplyvňujúce rozmiestnenie papilárnych línií počas vnútromaternicového vývinu ... 149
4.1.5 Faktory ovplyvňujúce papilárny terén počas života ... 153
4.2 Dermatoglyfické markery ... 156
4.2.1 Dermatoglyfické markery prvej úrovne ... 156
4.2.2 Dermatoglyfické markery druhej úrovne ... 161
4.2.3 Dermatoglyfické markery tretej úrovne ... 163
4.2.4 Konfiguračné oblasti ruky a nohy ... 166
4.3 Práca s dermatoglyfickou stopou ... 171
4.3.1 Odoberanie dermatoglyfických stôp ... 171
4.3.2 Vyhodnocovanie dermatoglyfických stôp ... 175
4.4 Dermatoglyfická stopa a jej využitie ... 185
4.4.1 Zviditeľňovanie latentných dermatoglyfických stôp ... 186
4.4.2 Využitie dermatoglyfickej stopy ... 189
4.4.3 Etnická a populačná dermatoglyfika ... 193
4.4.4 Klinická dermatoglyfika ... 195

5 VYUŽITIE ULTRAZVUKU PRI ANALÝZE HRÚBOK MÄKKÝCH TKANÍV TVÁRE ... 200
5.1 Topografia hlavy a stavba tváre ... 200
5.2 Charakteristika mäkkých tkanív tváre a kostený podklad ... 202
5.3 Zobrazovacie metódy pri meraní HMTT ... 205
5.3.1 Metódy merania HMTT pomocou USG ... 207

5.4 Symetria a asymetria tváre 211
5.5 Faktory vplývajúce na starnutie tváre 212
5.5.1 Vnútorné starnutie 213
5.5.2 Vonkajšie starnutie 215
5.5.3 Vplyv polohy tela/hlavy 217
5.6 Využitie údajov o hrúbkach mäkkých tkanív tváre 217
5.6.1 Rekonštrukcie podoby tváre 218
5.6.2 Využitie HMTT v iných odvetviach vedy 219

6 LABORATÓRNE CVIČENIA
Z APLIKOVANEJ ANTROPOLÓGIE 221

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK 243

POUŽITÁ LITERATÚRA 248

PREDHOVOR

Aplikovaná antropológia je dynamicky sa rozvíjajúci odbor, ktorý spája poznatky biologickej antropológie s praktickým využitím v rôznych oblastiach života človeka. Naša vysokoškolská učebnica s názvom *Aplikovaná antropológia: súčasné interdisciplinárne prístupy a metódy* je určená pre študentov vysokých škôl, vedeckých pracovníkov a všetkých, ktorí sa zaujímajú o problematiku biologickej variability človeka a jej aplikáciu v praxi.

Vysokoškolská učebnica je rozdelená do niekoľkých kapitol, ktoré sa venujú vybraným aspektom aplikovanej antropológie. Prvá kapitola sa zameriava na telesné zloženie, jeho komponenty a metódy detekcie, ktoré majú význam v klinickej, vývinovej a športovej antropológii. Druhá kapitola analyzuje kostnú hmotu, jej remodeláciu a faktory ovplyvňujúce zdravie skeletu. Tretia kapitola sa venuje forenznej podiatrii, kde je pozornosť upriamená na morfologické charakteristiky nohy a jej odtlačky (plantogramy). Štvrtá kapitola prináša prehľad o dermatoglyfike, jej biologických a populačných aspektoch, ako aj o jej aplikácii vo forenznej a klinickej praxi. Piata kapitola sa venuje ultrazvukovým metódam analýzy hrúbky mäkkých tkanív tváre, ktoré nachádzajú využitie v rekonštrukcii podoby človeka. Záverečná kapitola obsahuje praktické laboratórne cvičenia, ktoré umožnia študentom lepšie pochopiť a aplikovať teoretické poznatky v praxi.

Veríme, že táto učebnica bude užitočným zdrojom informácií a prispeje k rozšíreniu vedomostí čitateľov v oblasti aplikovanej antropológie. Našou snahou bolo poskytnúť prehľadnú a prakticky orientovanú vysokoškolskú učebnicu, ktorá bude slúžiť ako užitočný študijný materiál.

Autorky

1 TELESNÉ ZLOŽENIE

Ľudské telo sa skladá z rôznych tkanív (napr. kostrového, svalového, tukového) a jeho variabilita odráža rozdiely nielen v množstve alebo relatívnom podiele týchto tkanív (zloženie tela), ale aj v rozložení rôznych tkanív, ktoré tvoria morfológiu tela. Zloženie tela sa vzťahuje na všetky zložky (prvky, bunky, tkanivá a orgány), ktoré poskytujú hmotu, tvar a funkciu všetkým živým bytostiam. Wang et al. (1992) definovali zloženie tela ako „odvetvie ľudskej biológie zaoberajúce sa kvantifikáciou telesných zložiek in vivo, kvantitatívnymi vzťahmi medzi nimi a kvantitatívnymi zmenami v zložkách súvisiacimi s rôznymi ovplyvňujúcimi faktormi“. Je ovplyvnené nielen faktormi, ako sú vek, pohlavie, environmentálne (sociálne a kultúrne) faktory a etnická príslušnosť, ale aj genetickou výbavou jedinca. Vplyv zloženia tela na zdravie a športový výkon urobil z tejto oblasti výskumu jednu z najrelevantnejších v štúdiu ľudskej biológie. Jeho hodnotenie je zaujímavé v mnohých vedeckých disciplínach vrátane fyzickej antropológie, medicíny, športovej antropológie, epidemiológie či výživy, a preto sa považuje za multidisciplinárny študijný odbor.

V súčasnosti sa stanovovanie zloženia tela zameriava na validáciu modelov zloženia tela a vývoj špecifických rovníc podľa pohlavia a veku, etnickej príslušnosti a zdravotného stavu, na analýzu genetických faktorov a na štúdium dynamických vzťahov medzi zložkami tela a jeho funkciami. Jeho hodnotenie v rôznych populačných skupinách je základom pre funkčné hodnotenie ľudského tela, pretože sa preukázalo, že zmeny v telesnom zložení úzko súvisia s rôznymi chorobami a chorobnými stavmi, ktorých vyššie alebo nižšie riziko závisí nielen od individuálnych, ale aj od populačných charakteristík.

1.1 Komponenty ľudského tela

Ľudský organizmus sa skladá z tukovej telesnej hmoty, ktorú môžeme lokalizovať v podkožnom, viscerálnom a vo vnútrosvalovom tkanive. Druhou zložkou je beztuková hmota, ktorú tvorí voda, minerálne látky a svalová hmota.

1.1.1 Tuková hmota (Fat Mass – FM)

Tukové tkanivo je zložené zo samotného tuku, ktoré predstavuje 83 – 87 %, nasleduje voda, ktorá predstavuje 10 – 15 % a proteíny tvoriace 2 – 3 % tukového tkaniva. Tuky sú estery vyšších karboxylových kyselín

a alkoholov patriacich medzi hydrofóbne látky. Slúžia ako zdroj energie pre organizmus, zabezpečujú termoizoláciu a ochranu životne dôležitých orgánov, sú súčasťou bunkových membrán, podieľajú sa na delení buniek, bunkovej signalizácii, tvorbe niektorých hormónov, žlčových kyselín a vytvárajú v organizme prostredie, v ktorom sa rozpúšťajú látky nerozpustné vo vode, akými sú vitamíny. Optimálne rozmedzie telesného tuku predstavuje u mužov 10 – 20 % z celkovej telesnej hmotnosti, zatiaľ čo u žien je toto percento vyššie, a to v rozmedzí 18 – 28 %.

Na základe funkcie sa tuk delí na *esenciálny* a *zásobný*. Esenciálny tuk (u žien predstavuje 10 %, u mužov 2 – 3 %) je nevyhnutný pre správne fungovanie organizmu. Tento tuk je zabudovaný v orgánoch a tkanivách, vrátane mozgu, nervov, kostnej drene, srdca a pohlavných orgánov. Je kľúčový pre hormonálnu reguláciu, imunitné funkcie a ochranu vnútorných orgánov. Zásobný tuk predstavuje u zdravých ľudí približne 11 – 15 % z celkovej hmotnosti a slúži na ukladanie prebytočnej energie, ktorú telo využíva v období energetického deficitu. Tento tuk má menej dôležitú funkciu v porovnaní s esenciálnym tukom, no je stále dôležitý na energetickú bilanciu a izoláciu pred chladom. Ak je ho nadbytok, môže spôsobiť zdravotné problémy, ako sú obezita či rôzne metabolické ochorenia.

Bunky, ktoré hromadia tuky, označujeme ako adipocyty. Ľudské telo obsahuje rôzne typy tukového tkaniva, pričom každé z nich má unikátny profil bioaktívnych peptidov alebo proteínov, známych ako adipokíny. Adipokíny sú typom cytokínov, ktoré špecificky vylučujú adipocyty a majú dôležitú úlohu v metabolizme. Medzi tieto tkanivá patrí *biele tukové tkanivo* (White Adipose Tissue – WAT), ktoré tvorí väčšinu tukového tkaniva v tele. Funguje ako hlavný rezervoár pre ukladanie energie vo forme triglyceridov. Tiež pôsobí ako endokrinný orgán, ktorý vylučuje hormóny a adipokíny (napr. leptín), ktoré ovplyvňujú metabolické procesy, no v porovnaní s inými typmi tukového tkaniva má nižšiu metabolickú aktivitu. Delíme ho na *subkutánny tuk* (podkožný tuk; SAT) a *viscerálny tuk* (vnútrobrušný alebo často označovaný ako orgánový tuk; VAT). SAT sa nachádza priamo pod kožou, slúži ako ochrana pred fyzickými nárazmi a teplotnými zmenami a zároveň zohráva úlohu v udržiavaní energetických zásob. SAT v abdominálnej oblasti je asociovaný s vyššími hladinami plazmatických lipidov, inzulínu a C-reaktívneho proteínu. Tento typ distribúcie tuku je označovaný ako androidný typ postavy. Jeho ukladanie v gluteofemorálnej oblasti je zodpovedné za gynoidný typ postavy. Opakom je VAT, ktorý je lokalizovaný priamo v intraabdominálnej dutine v tesnej blízkosti hlavných orgánov, vrátane srdca, pečene a čriev. Tento typ distribúcie tuku je označovaný ako androidný, má vysokú metabolickú aktivitu a jeho akumulácia je asociovaná so

zníženou funkciou srdca, oxidačným stresom, hypertenziou, rizikom rozvoja metabolického syndrómu, kardiovaskulárnymi ochoreniami a mortalitou. Zároveň produkuje väčšie množstvo zápalových cytokínov, čo môže viesť aj k chronickému zápalu. Abdominálny VAT je asociovaný aj s poruchami metabolizmu glukózy a stukovatením pečene. Percento WAT sa pohybuje v rozmedzí od 5 až do 50 % telesnej hmotnosti vrátane SAT a VAT. Z toho približne 80 % celkového telesného tuku tvorí SAT, ktorý sa ukladá predovšetkým v gluteofemorálnej oblasti, na chrbte a na bruchu. Množstvo VAT je závislé na mnohých faktoroch a jeho percentuálne zastúpenie sa líši medzi pohlaviami, u mužov tvorí 10 – 20 % celkového telesného tuku, u žien je to 5 – 8 %. S vyššou akumuláciou VAT súvisí okrem toho aj vek, etnická varieta (u kaukazoidov sa akumuluje najviac), nevhodný životný štýl (vysoký príjem nasýtených lipidov, fyzická inaktivita, fajčenie) či genetické faktory. Všeobecne je zdravé WAT nevyhnutné na udržanie energetickej rovnováhy, čím zabraňuje vzniku hyperlipidémie a tvorbe tuku, ktorý sa hromadí v rôznych orgánoch a tkanivách. Energia sa ukladá vo vnútri lipidových kvapiek, ktoré sú znakom diferencovaných adipocytov a funkčného tukového tkaniva. Počas obdobia energetického deficitu adipocyty hydrolyzujú tieto triglyceridy a uvoľňujú mastné kyseliny, čím slúžia ako efektívny systém na vyrovnávanie medzi ukladaním a uvoľňovaním energie. WAT obsahuje rôzne typy buniek vrátane zrelých adipocytov, preadipocytov, fibroblastov, endotelových buniek a imunitných buniek, pričom pomery týchto bunkových podtypov sa môžu meniť v závislosti od metabolických podmienok a starnutia. Okrem toho WAT slúži ako bohatý zdroj progenitorových buniek tukového tkaniva, ktoré majú schopnosť diferencovať sa na preadipocyty, ktoré potom prechádzajú procesom nazývaným adipogenéza.

Ďalším typom tukového tkaniva je *hnedé* (Brown Adipose Tissue – BAT) *tukové tkanivo*, ktoré sa vyskytuje sa najmä u novorodencov, kde im pomáha prekonávať nízke teploty. Má kľúčovú úlohu pri termogenéze a jeho hlavná funkcia je premena zásob energie na teplo. U dospelých sa tiež nachádza metabolicky aktívne BAT, kde môže hrať dokonca dôležitú úlohu v energetickej homeostáze. BAT sa nachádza najmä v hornej časti ľudského tela v supraklavikulárnej oblasti a v oblasti krku. Vyskytuje sa aj pozdĺž aorty a v srdcovej dutine, kde často koexistuje s WAT. Má vysokú metabolickú aktivitu vďaka veľkému množstvu mitochondrií, čo ho robí efektívnym pri spaľovaní kalórií. Vo WAT sa ďalej nachádzajú aj *béžové tukové bunky*, ktoré na rozdiel od tradičných bielych adipocytov majú schopnosť prejsť do metabolicky aktívneho stavu, podobnému ako pri BAT. Tento proces sa nazýva *browning* (hnednutie), a je stimulovaný napríklad chladom, fyzickou aktivitou alebo hormonálnymi signálmi, ako sú katecholamíny. Podobne ako BAT, béžový tuk obsahuje mi-

tochondrie s proteínom UCP1 (Uncoupling Protein 1), ktorý umožňuje produkciu tepla namiesto ukladania energie vo forme tukov. Vďaka tomu má tuk potenciál na zvýšenie energetického výdaja a reguláciu telesnej hmotnosti. Na chlad reaguje prostredníctvom zvýšenia metabolickej aktivity, čím prispieva k udržiavaniu telesnej teploty. Tento mechanizmus môže byť dôležitý pri prevencii obezity, pretože béžový tuk zvyšuje spaľovanie kalórií. Za novšie objavený typ tukového tkaniva sa považuje *ružové tukové tkanivo* (Pink Adipose Tissue – PAT), ktoré je špecifické svojimi unikátnymi vlastnosťami. Toto tkanivo sa vyvinie hlavne v mliečnych žľazách žien počas gravidity a laktácie, kde sa adipocyty menia na mliečne epitelové bunky, ktoré produkujú mlieko. Po ukončení laktácie môžu tieto bunky prejsť späť na adipocyty. Tento typ tukového tkaniva má teda dôležitú funkciu v kontexte rozmnožovania a laktácie. Kým WAT, BAT a béžové tukové tkanivo sú známe pre svoje funkcie v ukladaní energie a termogenéze, PAT podporuje proces tvorby mlieka.

Množstvo FM a zloženie mastných kyslín tukového tkaniva je ovplyvnené príjmom mastných kyselín z potravy a zároveň je ovplyvnené príjmom potravy spolu s fyzickou aktivitou. Nedostatočná fyzická aktivita a nesprávne stravovacie návyky vedú k zvyšovaniu FM a v niektorých prípadoch dochádza až k vzniku obezity a s ňou spojených zdravotných komplikácií (vysoký krvný tlak, fyzický hendikep jedinca, kardiorespiračné a psychosociálne poruchy), a to kvôli zníženému energetickému výdaju, ktorý je vyšší v porovnaní s energetickým príjmom. Zdravotné komplikácie ako sú napríklad poruchy príjmu potravy, menštruačné poruchy, riziko vzniku osteoporózy spôsobuje nielen vyšší, ale aj príliš nízky obsah SAT.

Zvyšovanie množstva FM v tele prebieha prostredníctvom dvoch hlavných mechanizmov, ktoré často prebiehajú súčasne:

- *Hypertrofia tukových buniek:* Tento mechanizmus spočíva v zväčšovaní objemu už existujúcich adipocytov. Keď sa telo dostane do energetického nadbytku, tukové bunky začnú hromadiť väčšie množstvo triglyceridov, čím sa zväčšujú. To znamená, že jedna tuková bunka môže uložiť viac tuku, čo vedie k nárastu celkovej FM. Často ide o prvotný mechanizmus, ktorým telo reaguje na prebytočný príjem energie. Tento proces je do určitej miery reverzibilný – zmenšením príjmu kalórií sa tukové bunky môžu zmenšiť.
- *Hyperplázia tukových buniek:* Pri tomto mechanizme dochádza k zvýšeniu počtu tukových buniek. Keď už existujúce tukové bunky dosiahnu svoju maximálnu kapacitu ukladania tuku, telo začne vytvárať nové tukové bunky. Tento proces vedie k nárastu počtu adipocytov, čo môže viesť k ďalšiemu zväčšeniu FM, čo je z dlhodobého hľadiska menej

priaznivé. Počet tukových buniek sa znižuje oveľa ťažšie ako ich objem. Keď telo raz vytvorí nové tukové bunky, tieto bunky ostávajú prítomné aj po schudnutí, aj keď sa zmenšia.

Bazálny energetický výdaj (Basal Metabolic Rate – BMR)

Energia, ktorá je potrebná na udržanie životne dôležitých orgánov sa nazýva bazálny energetický výdaj (BMR). Predstavuje energiu kedy sa organizmus nachádza v prostredí s ideálnymi vonkajšími podmienkami a jeho tráviaci systém je neaktívny. U väčšiny ľudí je to viac ako 70 % celkovej energie (kalórii) spaľovanej každý deň. Fyzická aktivita predstavuje 20 % výdavkov a 10 % sa využíva pri trávení potravy. BMR predstavuje teda najväčšie množstvo energie (kalórií), ktoré organizmus spotrebuje za jeden deň. Hodnota bazálneho metabolického výdaja závisí od viacerých faktorov, medzi ktoré patrí fyzická aktivita, množstvo svalovej hmoty, vek, genetická predispozícia, teplota prostredia, výživa či tehotenstvo. Fyzická aktivita ako je beh, či bicyklovanie nemá žiaden vplyv na BMR, naopak anaeróbne cvičenie ako je napríklad vzpieranie, nepriamo zvyšuje BMR, pretože pri takomto cvičení sa tvorí svalová hmota, ktorá si vyžaduje vyššiu pokojovú spotrebu energie. V starobe je hodnota BMR nižšia, teda čím je jedinec starší, tým sa znižuje minimálna spotreba kalórii, ktorá je potrebná na udržanie a fungovanie orgánov. Chladné prostredie zvyšuje BMR, a to kvôli energii potrebnej na vytvorenie homeostatickej telesnej teploty. Naopak vonkajšie teplo spôsobuje, že telo vynakladá oveľa viac energie na ochladenie orgánov a teda hodnota BMR je vyššia. Bežné a rutinné stravovanie zvyšuje BMR, naopak hladovanie môže znížiť BMR až o 30 %, kedy telo prechádza do úsporného režimu a znižuje spotrebu energie. Počas tehotenstva sa zvyšuje BMR matky, a to pre správnu výživu a vývin plodu. Menopauza môže, buď zvýšiť alebo znížiť BMR, a to v závislosti od hormonálnych zmien. Kofeín, ale aj niektoré lieky a doplnky výživy zvyčajne zvyšujú BMR, hlavne tie ktoré sa užívajú na chudnutie.

1.1.2 Beztuková hmota (Fat Free Mass – FFM)

FFM je zložkou telesnej hmotnosti, ktorá nezahŕňa tukové tkanivo a predstavuje všetky ostatné zložky tela. FFM je kľúčovým ukazovateľom pre hodnotenie zdravia, fyzickej zdatnosti a metabolizmu. Zahŕňa celkovú telesnú vodu, proteíny (vrátane svalov a orgánov) a minerály uložené v kostiach a mimo kostí. Na pomer jednotlivých zložiek vplýva vek, pohlavie, fyzická aktivita a iné exogénne i endogénne faktory. U žien predstavuje FFM 73 – 75 % z celkového telesného zloženia a u mužov ide o približne 80 % v závislosti od veku a pohlavia. S ve-

kom FFM výrazne klesá u oboch pohlaví, čo je pripisované hlavne strate svalovej hmoty ako dôsledok poklesu fyzickej aktivity. Najmodernejšie segmentačné bioimpedančné metódy (BIA), napr. In Body 770, používajú pri vyhodnocovaní beztukovej zložky anglický termín lean body mass (LBM) tzv. „aktívna" telesná hmota. Rozdiel medzi FFM a LBM je v tom, že LBM zahŕňa hmotnosť interných orgánov, kože, svalov, väzy a šľachy, celkovú vodu a minerály, ktoré sú uložené mimo kostí, teda s vylúčením minerálov v kostiach a tukového tkaniva.

Celková telesná voda (Total Body Water – TBW)

Voda je hlavnou zložkou ľudského tela a predstavuje približne 60 % telesnej hmotnosti u dospelých mužov a 50 % – 55 % u dospelých žien. Obsah vody vo FFM je asi 73 % a vo FM približne len 10 %.

TBW zohráva kľúčovú úlohu pri udržiavaní rovnováhy telesných tekutín a zabezpečuje normálne fyziologické funkcie, ako sú trávenie, vstrebávanie a metabolizmus živín či vylučovanie. Voda ako primárna tekutina v tele slúži ako rozpúšťadlo pre minerály, vitamíny, aminokyseliny, glukózu a mnoho ďalších živín. Pomáha regulovať telesnú teplotu. Keď sa telo prehreje, voda sa vylučuje vo forme potu, ktorý sa odparuje a tým ochladzuje telo. Je nosičom kyslíka, živín, hormónov a odpadových látok. Pomáha tieto látky prenášať cez krvný obeh do rôznych tkanív a orgánov a zároveň odstraňuje odpadové produkty z tela. Prispieva k tvorbe synoviálnej tekutiny nachádzajúcej sa v kĺboch a pôsobí ako tlmič nárazov, čím znižuje trenie a chráni kĺby pred poškodením. Dostatok vody je nevyhnutný aj na udržanie objemu krvi, ktorý je kľúčový pre správne fungovanie krvného obehu a reguláciu krvného tlaku.

Samotné množstvo TBW sa počas života mení a závisí od mnohých faktorov ako sú vek, pohlavie, telesná hmotnosť či percento FM. U novorodencov je TWB 75 až 80 %, u dojčiat sa znižuje na 70 % a v priebehu dospievania množstvo TWB klesá na 60 %. V priebehu starnutia klesá množstvo svalovej hmoty a pribúda percento FM, čoho výsledkom je aj pokles množstva TWB v starobe. Vzhľadom na to, že ženy majú z biologického hľadiska vyšší podiel FM, čo súvisí s hormonálnymi rozdielmi a reprodukčnými funkciami, a FM obsahuje menší podiel vody, majú aj ženy v porovnaní s mužmi relatívne menej TBW.

TBW v tele delíme na tri základné typy:

- *Transcelulárna voda (Transcellular Water – TCW):* jej percento z TBW je nízke a významne neprispieva k stratám tekutín, patrí sem napríklad synoviálna alebo pleurálna voda.
- *Extracelulárna voda (Extracellular Water – ECW):* voda nachádzajúca sa mimo buniek, ktorá zahŕňa najmä plazmatickú tekutinu a intersticiálnu tekutinu. Táto mimobunková tekutina cirkuluje po celom tele,

je obsiahnutá medzi bunkami, v krvných cievach, lymfatických tkanivách, miechovej tekutine a v črevách. Priemerná hodnota samotnej ECW sa pohybuje okolo 45 %.

- *Intracelulárna voda (Intracellular Water – ICW):* voda nachádzajúca sa priamo v bunkách. Priemerná hodnota ICW sa pohybuje okolo 40 %.

Výmena tekutín medzi samotnými kompartmentami je regulovaná osmotickým a hydrostatickým tlakom, pričom voda prúdi podľa zmien osmolarity ECW. Samotný pomer ECW/ICW sa v priebehu života mení. Na začiatku života je pomer ECW/ICW vyšší, čo znamená, že v tele novorodenca a malých detí je pozorované väčšie množstvo ECW v porovnaní s ICW. Tieto zmeny v pomere súvisia s rastom buniek, nárastom svalovej hmoty, úrovňou hydratácie, stavom výživy a funkciou obličiek. V období dospievania a dospelosti ICW tvorí približne dve tretiny z TBW, pričom zvyšok tvorí ECW. So starnutím sa pomer ECW/ICW mení, najmä v dôsledku poklesu svalovej hmoty a zhoršenej funkcie obličiek.

Vstup vody do organizmu je zabezpečený predovšetkým zo stravy (potraviny a tekutiny), pričom menšie množstvá vznikajú aj počas metabolických procesov v tele. Vodná bilancia je prísne regulovaná obličkami, ktoré dokážu podľa potreby koncentráciu alebo zriedenie moču prispôsobiť množstvu prijatej vody a množstvu metabolických odpadov. Primárnym regulátorom stavu hydratácie u ľudí je smäd. Avšak, prah pre vyvolanie smädu nastáva až v bode, kedy je človek už dehydrovaný na úroveň 0,8 % až 2 % straty telesnej hmotnosti. Dehydratácia je stav, kedy dochádza k stratám vody z tela, ktoré sú väčšie ako je jej príjem. Medzi príznaky dehydratácie patrí smäd, únava, tmavý moč, menej časté močenie, sucho v ústach, závraty, zmätenosť, u novorodencov môže byť znakom dehydratácie aj plač bez prítomnosti sĺz. Riziko dehydratácie je zvýšené u ľudí, ktorí pracujú alebo cvičia v horúcom prostredí. Dehydratácia zvyšuje riziko úrazov a zdravotných komplikácií, počnúc svalovými kŕčmi, úpalmi, infekciami močových ciest a obličkovými kameňmi. Môže tiež viesť k záchvatom spôsobeným nerovnováhou elektrolytov (sodíka, draslíka a ďalších), k náhlemu poklesu krvného tlaku, ktorý môže vyústiť až do straty vedomia. V závažných prípadoch môže dôjsť k šoku v dôsledku nedostatku kyslíka v tele, čo predstavuje život ohrozujúci stav, kedy TBW klesne o viac ako 15 %. Dehydratácia môže byť akútna, napríklad pri intenzívnom cvičení, alebo chronická, vyplývajúca z nedostatočnej rehydratácie denných strát vody počas určitého časového obdobia. Oba typy dehydratácie sú definované ako úbytok telesnej hmotnosti o 1 % alebo viac v dôsledku straty tekutín. Ak úroveň

hypohydratácie presiahne 3 % úbytku telesnej hmotnosti, na úplnú rehydratáciu je potrebné viac než len doplnenie tekutín pomocou bežných nápojov. Jedlo alebo iný osmolárny príjem je často potrebný na úplnú rehydratáciu, ktorá si môže vyžadovať 18 až 24 hodín. Mechanizmus smädu môže zmeniť aj samotné prostredie, kedy napríklad ponorenie do vody vyvoláva zmeny v objeme ciev a v koncentrácii a aktivite antidiuretického hormónu (ADH, tiež známeho ako vazopresín), renín-angiotenzínu II systému (RAAS), atriálneho natriuretického polypeptidu (ANP), hormónov a enzýmov spojených so smädom a pitím. Je teda pravdepodobné, že okrem otupenej reakcie smädu spojenej s cvičením plavci nemusia mať prakticky žiadnu reakciu na smäd počas ponorenia. Podobne aj faktory, ktoré ovplyvňujú rýchlosť a objem vylučovania moču, ovplyvňujú aj stav hydratácie. Patria sem diuretické účinky kofeínu, kedy približne šesť šálok kávy (642 mg kofeínu denne) vedie k zvýšeniu 24-hodinového vylučovania moču o približne 753 ±532 ml, k zníženiu telesnej hmotnosti o 0,77 ±0,40 kg, taktiež sa zvyšujú straty sodíka a draslíka a dochádza aj k poklesu TBW o 2,7 %. Alkohol je ďalším diuretikom. Potláča produkciu ADH v hypofýze. Obličky reagujú na ADH tým, že reabsorbujú vodu a bránia strate vody. Keď je sekrécia ADH znížená, straty vody sa zvyšujú. Faktory prostredia, akými sú zvýšenie teploty prostredia, nadmorská výška a zníženie relatívnej vlhkosti, zvyšujú straty vody potením a dýchaním. Ako teplota prostredia stúpa, požiadavky na termoreguláciu zvyšujú straty potu. Vo vysokých nadmorských výškach zníženie relatívnej vlhkosti zvyšuje straty dýchacích tekutín prostredníctvom udržiavania rovnováhy tekutín v dýchacích tkanivách.

Straty vody nastávajú prostredníctvom moču, potu, ako aj stolicou, cez pokožku a dýchaním. Normálny denný obrat vody je približne 4 % z celkovej telesnej hmotnosti u dospelých a 15 % z celkovej telesnej hmotnosti u dojčiat. U dospelého človeka s hmotnosťou okolo 70 kg to predstavuje 2 500 až 3 000 ml/deň alebo 1 000 ml/deň u 7 kg dojčaťa. Straty vody z pľúc a kože sú zodpovedné za polovicu celkového obratu vody. Straty močom a stolicou tvoria zvyšok celkových strát.

Proteíny a svalová hmota (Muscle Mass – MM)

Proteíny sú biomakromolekuly, ktorých primárnu štruktúru tvorí 20 rôznych aminokyselín pospájaných peptidovými väzbami. Okrem primárnej štruktúry rozlišujeme sekundárnu, terciárnu a kvartérnu. Sekundárna štruktúra poukazuje na lokálne interakcie v rámci peptidu, ktoré podmieňujú jeho geometrické usporiadanie, ako sú alfa-helixy a beta-sklá. Terciárna štruktúra predstavuje definitívne usporiadanie peptidov v priestore, ktoré je výsledkom interakcií medzi bočnými reťazcami aminokyselín, a kvartérna predstavuje usporiadanie pep-

tidových jednotiek do jedného komplexného proteínu. Proteíny plnia v organizme mnohé funkcie, medzi ktoré patrí štrukturálna (tvorba buniek a tkanív), pohybová (kontrakcia svalových vlákien a celých buniek), katalytická (vo forme enzýmov), transportná (prenos biologických látok), imunitná (vo forme protilátok) a regulačná (vo forme hormónov). Proteíny sú teda nevyhnutné pre správne fungovanie všetkých biologických procesov a ich štruktúra a funkcia sú úzko prepojené. Zmeny v štruktúre proteínov môžu viesť k rôznym ochoreniam, čo podčiarkuje ich význam v oblasti medicíny a biológie. Tvoria približne 15 – 20 % telesnej hmotnosti dospelého človeka a na základe tvaru ich delíme na dva základné typy:

1. *Fibrilárne proteíny* – zvyčajne sa skladajú z dlhých a úzkych vláken a majú štrukturálnu úlohu. Tieto proteíny sú tvorené pravidelnými aminokyselinovými sekvenciami, sú menej citlivé na zmeny pH a teploty a všeobecne sú nerozpustné vo vode. Najznámejšie proteíny patriace do tejto skupiny sú kolagén, keratín, aktín, myozín, fibrín či elastín. Poskytujú mechanickú stabilitu a podporu rôznym tkanivám a orgánom. Fibrilárne proteíny sú základné proteíny, ktoré tvoria svaly a zohrávajú kľúčovú úlohu v štruktúre a funkcii svalového tkaniva.
2. *Globulárne proteíny* – zvyčajne majú kompaktný, zaoblený tvar a funkčnú úlohu. Tieto proteíny sú zložené z nepravidelných aminokyselinových sekvencií, sú citlivejšie na zmeny pH a teploty a vo všeobecne sú rozpustné vo vode. Patria sem rôzne enzýmy, transportné proteíny ako hemoglobín, hormóny ako inzulín či imunoglobulíny. Zohrávajú kľúčovú úlohu v biochemických procesoch, regulácii metabolizmu a v obrane organizmu.

Samotný sval pozostáva z približne 75 % vody a 25 % organických látok, predovšetkým bielkovín, ako sú aktín, myozín a tropomyozín. Okrem toho obsahuje aj anorganické látky, medzi ktoré patrí sodík, draslík, vápnik a horčík. Jeden kilogram kostrového svalu má bazálnu spotrebu energie približne 14,5 kcal/deň, čo je trikrát viac ako u FM. Obsah proteínov sa vo svaloch prakticky nemení, avšak svaly majú schopnosť prispôsobiť sa zvýšeným nárokom. Kedy v priebehu niekoľkých týždňov dokážu zväčšiť svoj objem. Ak sval zväčší svoj objem, dochádza aj k zvýšeniu počtu aktínových a myozínových vlákien, čo vedie k zhrubnutiu svalových buniek. Svalové tkanivo je jedným z hlavných typov tkanív v tele a je zodpovedné za pohyb, stabilizáciu a udržanie určitej pozície alebo postoja, či už v pokoji alebo počas pohybu. V tele človeka rozoznávame tri základné typy svalových tkanív, a to kostrové (priečne pruhované) svaly, hladké svaly a srdcový sval (myokard). Kostrové svalstvo je

jedným z troch významných svalových tkanív v ľudskom tele. Vlákna kostrového svalstva sa vyznačujú pravidelným vzorom jemných červených a bielych línií, čo im dodáva charakteristický pruhovaný vzhľad. Z tohto dôvodu sú označované aj ako priečne pruhované svaly. Každý kostrový sval sa skladá z tisícok svalových vlákien, ktoré sú obalené spojivovým tkanivom. Jednotlivé zväzky svalových vlákien v kostrovom svale sa nazývajú fascikuly. Epimysium je vonkajší obal spojivového tkaniva, ktorý obklopuje celý sval. Plášť spojivového tkaniva, ktorý pokrýva každý fascikulus, je známy ako perimysium, a najvnútornejší obal obklopujúci jednotlivé svalové vlákna sa nazýva endomysium. Každé svalové vlákno sa skladá z množstva myofibríl, ktoré obsahujú rôzne myofilamenty. Tieto myofibrily sú usporiadané do charakteristického pruhovaného vzoru a vytvárajú sarkoméry, ktoré sú základnou kontraktilnou jednotkou kostrového svalu. Dve najvýznamnejšie myofilamenty sú aktínové a myozínové vlákna, ktoré sú usporiadané tak, aby vytvárali rôzne pásy v kostrovom svale. Myozín tvorí husté pásy vlákien, zatiaľ čo aktín tvorí tenké vlákna a ich interakcia je kľúčová pre proces kontrakcie.

Kmeňové bunky, ktoré sa diferencujú na zrelé svalové vlákna, sú známe ako satelitné bunky, ktoré sa nachádzajú medzi bazálnou membránou a sarkolémou (bunková membrána obklopujúca bunku priečne pruhovaného svalového vlákna). Pri stimulácii rastovými faktormi sa diferencujú a množia za vzniku nových buniek svalových vlákien.

Primárne funkcie kostrového svalu sa uskutočňujú prostredníctvom jeho vnútorného procesu spájania excitácie a kontrakcie. Keď je sval pripojený ku kostným šľachám, kontrakcia svalu vedie k pohybu tejto kosti, ktorý umožňuje vykonávanie špecifických pohybov. Každé kostrové svalové vlákno je v kontaktnom spojení s neurónmi prostredníctvom neuromuskulárneho spojenia, ktoré vysiela signály na kontrakciu svalov. Vďaka tejto štruktúre je možné kostrové svaly ovládať vôľou. Kostrové svalstvo tiež poskytuje štrukturálnu podporu a pomáha pri udržiavaní držania tela. Funguje zároveň ako zásobný zdroj aminokyselín, ktoré môžu rôzne orgány tela využiť na syntézu orgánovo špecifických proteínov. Zohráva ústrednú úlohu pri udržiavaní termostázy a pôsobí ako zdroj energie počas hladovania. Rôzne zdravotné stavy sú výsledkom abnormalít vo funkcii kostrových svalov. Tieto ochorenia zahŕňajú myopatiu, paralýzu, myasténiu gravis, inkontinenciu moču a/alebo čriev, ataxiu, slabosť, tras a iné. Poruchy nervov môžu spôsobiť neuropatiu a spôsobiť poruchy funkčnosti kostrových svalov. Okrem toho sa u vrcholových športovcov alebo účastníkov rekreačných športov môže akútne vyskytnúť ruptúra kostrového svalu/šľachy, ktorá môže spôsobiť významné postihnutie u všetkých jedincov bez ohľadu na stav aktivity.

Hladké svaly sa nachádzajú v stenách vnútorných orgánov, ako sú črevá, žalúdok, krvné cievy, močový mechúr, maternica a priedušky. Tvoria heterogénnu skupinu s radom fyziologických vlastností. Na rozdiel od kostrových svalov je kontrakcia buniek hladkého svalstva pomalšia, trvá dlhšie a vyžaduje menej energie. Sú ovládané autonómnymi nervami a hormónmi, čiže ich činnosť neovplyvňujeme vôľou. Zabezpečujú dôležité procesy v tele, ako je pohyb látok cez tráviaci systém, kontrola prietoku krvi v cievach či kontrakcie maternice počas pôrodu. Každý typ hladkého svalstva je prispôsobený tak, aby plnil určitú funkciu. V niektorých prípadoch sval musí udržiavať stabilnú kontrakciu po dlhšiu dobu a potom sa rýchlo uvoľniť (ako v prípade svalov zvierača, ktoré riadia vyprázdňovanie močového mechúra a konečníka). V iných prípadoch sú svaly neustále aktívne (napríklad svaly žalúdka a tenkého čreva). Určitý typ hladkého svalstva môže prejavovať rôzne vlastnosti v rôznych časoch, ako je tomu v prípade svaloviny maternice, ktorá je počas tehotenstva v kľudovom stave, ale počas pôrodu sa silno sťahuje. Štruktúra hladkých svalov je odlišná od priečne pruhovaných svalov. Nemajú priečne pruhovanie, pretože myofibrily nie sú usporiadané do pravidelných pásov. Skladajú sa z buniek vretenovitého tvaru s hrúbkou 2 – 5 μm a dĺžkou 20 – 500 μm, ktoré nemajú zreteľnú povrchovú membránu, ale membrána sa tvorí okolo viacerých vláken. Vlákna sú vzájomne usporiadané do zväzkov. Hladké svaly majú jednu centrálnu oválnu bunku a ich kontrakcia môže byť udržovaná dlhý čas bez výrazného energetického výdaja, čo je nevyhnutné pre ich funkciu v orgánoch, ktoré musia byť stále aktívne.

Myokard tvorí steny srdca a je zodpovedný za pumpovanie krvi v srdci. Kontrakcia myokardu je nepretržitá a nie je možné ju ovládať vôľou. Pri pozorovaní pod mikroskopom má stavba srdcového svalu podobnosti s kostrovým svalom, pričom obidva typy svalov vykazujú priečne pruhovanie. Srdcový sval má však aj interkalárne disky, ktoré zabezpečujú rýchlu a koordinovanú kontrakciu svalových vlákien. Bunky myokardu obsahujú okrem svalového tkaniva aj vodivé bunky, ktoré zabezpečujú neustále sťahy srdca.

Svalové tkanivo organizmu tvorí svalovú hmotu (MM), ktorá je schopná rýchlych a silných kontrakcií, čím sa stáva aktívnym pohybovým aparátom a umožňuje pohyb celého tela. Najviac zastúpeným svalovým tkanivom je priečne pruhované svalstvo, ktoré tvorí približne 36 – 45 % telesnej hmotnosti. U žien je to o 10 % menej, a s pribúdajúcim vekom sa toto percento znižuje v dôsledku hormonálnych zmien, zníženej fyzickej aktivity a ďalších faktorov. Celkovo majú muži približne o 50 % viac kostrového svalstva než ženy, čo súvisí s odlišným hormonálnym prostredím, najmä s vyššími hladinami testosterónu, ktorý podporuje rast MM. Významné rozdiely v množstve MM sú evi-

dentné aj medzi rôznymi etnickými skupinami. MM je vyššia u negroidov ako u kaukazoidov, zatiaľ čo mongoloidi majú nižšie množstvo MM ako obe skupiny. U negroidov je tiež vekom podmienená strata MM vyššia ako u kaukazoidov. Rozdiely medzi etnickými skupinami sú pravdepodobne kombináciou rôznej fyziológie, kultúry a správania, pričom dôležitú úlohu zohráva aj genetická predispozícia. Množstvo MM môže byť ovplyvnené aj prítomnosťou rôznych ochorení. Ide o dedičné choroby, ako sú svalové dystrofie a vrodené myopatie, ale aj získané ochorenia, vrátane endokrinných porúch (napr. hypotyreóza), zápalových ochorení (myozitídy) či metabolických porúch (napr. diabetes). Tieto patologické stavy môžu výrazne ovplyvniť štruktúru a funkciu svalového tkaniva, čím dochádza k oslabeniu svalov a zníženiu celkovej MM. Od približne 30. roku života majú svaly, najmä svaly horných a dolných končatín, tendenciu sa postupne zmenšovať. Tento proces pokračuje až do staroby. Zmenšovanie svalov môže byť dôsledkom straty motorických neurónov alebo zmiznutím myofibríl. Presná patogenéza týchto strát nie je úplne známa, avšak predpokladá sa, že ide o kombináciu biologických a environmentálnych faktorov. Okrem veku a rôznych ochorení má na množstvo MM vplyv aj životný štýl, vrátane fyzickej aktivity, stravovania a spánku. Fyzická aktivita, najmä pravidelný silový tréning, dokáže zvýšiť množstvo MM a zabrániť jej úbytku v starobe. Strava bohatá na bielkoviny a esenciálne živiny, ako aj dostatočný spánok, sú dôležité pre regeneráciu a rast svalov. Nedostatok spánku a nevyvážená strava môžu zhoršiť schopnosť organizmu udržať si MM a viesť tak k oslabeniu svalov.

Bunková hmota (Body Cell Mass – BCM)

V rámci zloženia tela sa sleduje aj tzv. bunková hmota (BCM), ktorá zahŕňa celkovú masu bunkových elementov v ľudskom tele, a to všetky netukové časti, ako aj vodnú časť tukového tkaniva. Zahŕňa svalové tkanivo, orgánové tkanivá, kostné tkanivo, šľachy, centrálny nervový systém, vnútornosti a orgány. Ide o metabolicky aktívnu časť FFM, ktorá zahŕňa bunkové zložky podieľajúce sa na spotrebe kyslíka, produkcii oxidu uhličitého a celkovej spotrebe energie. Okrem toho, keďže BCM úzko súvisí s výdajom energie, môže predstavovať aj dobrú referenčnú hodnotu na výpočet potreby živín. Hodnota BCM je dôležitá pri stanovení zdravotného stavu jedinca, vzhľadom na to, že sa mení v závislosti od nutričného stavu jedinca a od katabolických účinkov ochorenia. Predstavuje približne 40 % z celkovej telesnej hmotnosti a jej pokles sa spája s chorobnosťou organizmu, preto jej množstvo slúži ako predikcia mnohých ochorení. Pri nadmernej hmotnosti alebo obezite sa znižuje podiel metabolicky aktívnych tkanív, čo môže viesť k zvýšenému riziku chronických ochorení. U pacientov s neurodegeneratívnymi chorobami (napr. Alzheimerova choroba)

sa stretávame s poklesom BCM oveľa častejšie ako u zdravých ľudí. Znížená BCM môže indikovať podvýživu, kachexiu (extrémne chudnutie) alebo katabolické stavy, ktoré sú bežné pri závažných ochoreniach alebo po operáciách. Pokles BCM môže signalizovať prítomnosť aj chronických ochorení, ako sú napríklad onkologické ochorenia, ochorenia pečene alebo problémy s obličkami, kedy dochádza k rozpadu bunkového tkaniva. U pacientov podstupujúcich chemoterapiu alebo radiačnú terapiu je sledovanie BCM dôležité pre monitorovanie nežiaducich účinkov liečby, ktoré často vedú k strate MM a celkovému úbytku buniek. Pre športovcov a osoby v rehabilitácii je sledovanie BCM užitočné na optimalizáciu tréningových režimov a sledovanie rastu MM v dôsledku fyzickej aktivity.

Minerálne látky a kostná hmota (Bone Mass – BM)

Minerálne látky sú anorganické látky, ktoré sú nevyhnutné pre správne fungovanie ľudského organizmu. Nedodávajú telu žiadnu energiu, ale zúčastňujú sa rôznych procesov nevyhnutných pre život jedinca. Potrebné denné množstvá minerálov sú nízke, najmä v porovnaní s výživnými látkami, ako sú sacharidy či lipidy. Minerálny prvok sa považuje za esenciálny, ak jeho nedostatok alebo prebytok vedie k poškodeniu alebo zníženej funkcii určitého procesu, a ak jeho doplnenie na úroveň fyziologických hladín zabráni ďalšiemu poškodeniu alebo upraví už vzniknuté poškodenie. Minimálny a maximálny obsah minerálov potrebný na vyvolanie nepriaznivých účinkov sa líši medzi konkrétnymi minerálmi.

Rozdeľujú sa na dve hlavné skupiny podľa ich uloženia v tele, a to na minerály uložené mimo kostí a minerály uložené v kostiach. Minerály uložené mimo kostí sú rozptýlené v rôznych tkanivách a tekutinách v tele a zohrávajú rôzne funkcie, ako sú regulácia metabolizmu, prenos nervových impulzov, svalová kontrakcia a udržiavanie rovnováhy tekutín. Patrí sem sodík, draslík, chlór, vápnik a horčík. Sodík (Na) sa zúčastňuje na udržiavaní rovnováhy tekutín a správneho osmotického tlaku. Zohráva kľúčovú úlohu v prenose nervových impulzov a svalovej kontrakcii. Draslík (K) sa zúčastňuje tiež na regulácii rovnováhy tekutín, je dôležitý pri nervovej vodivosti, svalovej kontrakcii a je kofaktorom mnohých enzymatických reakcií. Zároveň je kľúčovým aj pre správnu funkciu srdca. Chlór (Cl) je dôležitý pre tvorbu žalúdočnej kyseliny (HCl), reguláciu osmotického tlaku a prispieva k rovnováhe pH v tele. Vápnik (Ca) je známy predovšetkým ako minerál nachádzajúci sa v kostiach, ale približne 1 % z celkového množstva Ca v tele je uložené aj v krvi a v tkanivách. Podieľa sa na zrážaní krvi, prenosu nervových impulzov a svalových kontrakciách. Horčík (Mg) je dôležitý pri enzymatických reakciách a podieľa sa na prenose nervových impulzov.

Kostné minerály predstavujú až 80 % celkového množstva minerálov v tele. Sú uložení vo forme špecifických zlúčenín, ktoré tvoria štruktúru kostí. Najdôležitejšie minerály v tejto skupine sú Ca a fosfor (P), ktoré spolu tvoria hydroxyapatit $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, základný stavebný blok kostí. V kostiach sa nachádza až 99 % celkového Ca v tele. Dostatok Ca je nevyhnutný pre prevenciu osteoporózy, ochorenia charakterizovaného znížením kostnej hmoty (BM) a zvýšeným rizikom zlomenín. Nedostatok Ca počas rastu môže spôsobiť, že adolescenti nemusia dosiahnuť svoju potencionálnu telesnú výšku v dospelom veku. Na druhej strane, nadmerne vysoké hladiny Ca v krvi môžu spôsobiť zlyhanie funkcie obličiek, obličkové kamene, ako aj kalcifikáciu ciev a mäkkých tkanív. U dospelých jedincov je minimálna denná dávka Ca 1 g. Medzi potraviny bohaté na Ca zaraďujeme hlavne mlieko a mliečne výrobky, zelenú listovú zeleninu, ryby a orechy. Druhým najdôležitejším minerálom v kostiach je fosfor, ktorý sa taktiež podieľa na tvorbe hydroxyapatitu. Je kľúčový pre energetický metabolizmus, ako súčasť adenozíntrifosfátu – ATP, a je nevyhnutný pre rast a obnovu kostí. Rôzne stopové prvky, ako sú zinok (Zn), mangán (Mn) a meď (Cu), sú tiež prítomné v kostiach a podieľajú sa na ich metabolizme a regenerácii. Kosti slúžia ako rezervoár minerálnych látok, ktoré môžu byť uvoľnené do krvného obehu, keď je to potrebné, čím sa udržuje ich rovnováha v tele.

Okrem anorganickej zložky, do ktorej zaraďujeme hydroxyapatit $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, hydrogénfosforečnan vápenatý $CaHPO_4$, hydrogénfosforečnan horečnatý $MgHPO_4$ a uhličitan vápenatý $CaCO_3$, je kosť tvorená organickou zložkou a vodou. Anorganické zložky predstavujú približne 65 % z celkovej hmotnosti kosti. Pomer medzi zložkami sa počas života človeka mení, stúpa podiel anorganickej zložky, a preto sú kosti v mladosti pružnejšie a v starobe krehkejšie. Organickú zložku tvorí kolagén, proteíny, tuky a predstavuje zvyšných 35 % z celkovej hmotnosti kosti. Organická matrix kostí je tvorená predovšetkým kolagénom, ktorý zabezpečuje potrebnú pružnosť a mechanickú stabilitu kostného tkaniva. Tento kolagén obsahuje vysoké množstvo aminokyseliny hydroxyprolínu, ktorá hrá kľúčovú úlohu pri stabilizácii a formovaní kolagénových vlákien. Táto organická matrix vytvára medzibunkovú hmotu nazývanú aj osteoid, ktorá je zložená zo zväzkov kolagénových fibríl spojených amorfnou hmotou. Táto amorfná zložka obsahuje proteoglykány a glykoproteíny, ktoré prispievajú k celkovej štruktúre a funkcii kostí, ako aj k ich biologickej aktivite. Osteoid predstavuje základ, do ktorého sa ukladajú anorganické minerálne látky, a to najmä hydroxyapatit. Tieto anorganické minerálne látky sa ukladajú na kolagénové vlákna a poskytujú kostiam ich pevnosť a tvrdosť. Osteoklasty, osteoblasty a osteocyty sú kostné bunky, ktoré sú súčasťou organickej zložky

a sú zodpovedné za tvorbu, udržiavanie a resorpciu kostného tkaniva. Osteoblasty sú bunky, ktoré syntetizujú a mineralizujú kostné tkanivo. Zúčastňujú sa na tvorbe základnej BM, a to produkciou v podobe prekurzorov, ktoré následne polymerizujú a vytvárajú nezvápenatený osteoid. Postupne sa obklopujú kostnou matrix a menia sa na osteocyty čiže zrelé, plne diferencované kostné bunky, ktoré sú uložené v dutinkách (lakúnach, *lacunae*), ktoré sú navzájom pospájané jemnými kanálikmi (*canaliculi ossium*). Zúčastňujú na uvoľňovaní minerálnej zložky z kostného tkaniva, a tým sa podieľajú aj na regulácii hladiny Ca v krvi. Sú najpočetnejšie z kostných buniek. Osteoklasty sú obrovské mnohojadrové kostné bunky, ktoré sú schopné rozpúšťať a resorbovať kostné tkanivo, čím sa zabezpečuje jeho remodelácia. Ich hlavnou úlohou je teda odbúravať kostné tkanivo. Ich aktivita je prísne regulovaná nielen cytokínmi, ale hlavne hormónmi, akými sú parathormón a kalcitonín.

1.2 Metódy detekcie zloženia tela

Telesnú stavbu môžeme hodnotiť prostredníctvom rôznych metodických postupov.

Antropometria

Ide o odbor antropológie, ktorý skúma fyzické charakteristiky ľudského tela s cieľom definovať ich spojenie s pohlavím, vekom, výživovým stavom, fyzickou aktivitou a populáciou. Merania slúžia ako podklad pre morfologickú charakteristiku tela. Je to najbežnejšia metóda na hodnotenie výživového stavu a používa sa aj na analýzu telesnej kompozície.

Široká aplikácia antropometrie v epidemiológii je spôsobená jej výhodami, ako je ľahká použiteľnosť, ekonomickosť, praktickosť a neinvazívnosť. Umožňuje tiež hodnotenie rozdielov medzi rôznymi telesnými oblasťami, najmä rozdielnej distribúcie FM. Má však aj niektoré nevýhody, ako napríklad možnosť vzniku meracích chýb. Z tohto dôvodu musí byť presnosť a spoľahlivosť merania garantovaná. Na zlepšenie presnosti a spoľahlivosti musí byť operátor primerane vyškolený a musia sa dodržiavať medzinárodne uznávané štandardy hodnotenia. Antropometrické merania by sa mali vykonávať ráno medzi 8:30 až 13:30, aby sa minimalizoval vplyv tlaku spôsobeného gravitáciou na chrbticu, ktorý spôsobuje kompresiu medzistavcových platničiek, čím sa vylúčia fyziologické variácie počas dňa. Vykonávajú sa prevažne na ľavej strane tela, na pravej strane, ak sú spojené s bioimpedančným meraním, alebo na oboch stranách, ak sa skúma lateralita. Pri vykonávaní antropometrického merania je nevyhnutné presne určiť miesta detekcie a zabezpečiť správnu orientáciu me-

raného probanda. Najčastejšie používané antropometrické parametre sú telesná výška, telesná hmotnosť, obvody tela, dĺžky tela a kožné riasy. Telesná výška je jedným z hlavných parametrov veľkosti a dĺžky kostí a základným parametrom pre správne hodnotenie výživového stavu, najmä ak je kombinovaná s telesnou hmotnosťou. Telesná hmotnosť patrí medzi najviac meranú antropometrickú premennú, pretože meria celkovú veľkosť tela a je ukazovateľom mnohých metabolických, rastových a výživových porúch. BMI je index odvodený z merania telesnej výšky a hmotnosti. Ide o pomer medzi hmotnosťou vyjadrenou v kg a telesnou výškou na druhú vyjadrenou v metroch (kg/m^2). BMI sa veľmi jednoducho meria a je široko používaný ukazovateľ podvýživy. Je pozitívne korelovaný s % FM, a preto je považovaný za dobrý ukazovateľ tukového tkaniva. Avšak, poskytuje iba všeobecné informácie a neposkytuje presnú indikáciu o telesnej kompozícii. Ďalej sa vzťah medzi BMI a % FM môže meniť v závislosti od populácie, pohlavia a životného štýlu. Ako napríklad v prípade ázijskej populácie, kde Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) navrhla iné prahové hodnoty. Z týchto dôvodov je používanie BMI vhodnejšie v epidemiologických štúdiách než pri individuálnych aplikáciách. Na individuálnej úrovni, najmä v športe, môže spôsobiť nesprávnu diagnostiku, pretože vysoké hodnoty hmotnosti môžu byť spôsobené vyššími hodnotami MM a nie FM. Ďalej BMI nerozpoznáva samotnú distribúciu FM. Aby sa poskytli podrobnejšie informácie o telesnej kompozícii a FM, WHO odporúča kombináciu BMI a merania obvodu pása, ktorý indikuje VAT. Obvody tela vyjadrujú priečne rozmery telesných segmentov a široko sa používajú ako ukazovatele rastu, výživového stavu, telesnej kompozície a distribúcie tuku. Najčastejšie používané sú: obvod pása, tri obvody stehna (proximálny, stredný a distálny), obvod lýtka a obvod ramena. Dĺžky sú tiež široko používané, vzhľadom na ich rôzne oblasti použitia. Okrem definovania každého telesného segmentu k celkovej veľkosti tela sú užitočné pri identifikácii porúch rastu, v ergonomických aplikáciách a napríklad aj pri návrhu každodenného alebo špeciálneho oblečenia.

Hrúbky kožných rias meriame pomocou kaliperácie, kedy prostredníctvom kaliperu meriame hrúbku tukovej vrstvy v podkoží na štandardizovaných miestach na tele (obr. 1).

Obr. 1 Technika merania kožnej riasy nad tricepsom pomocou kaliperu (foto: Falbová 2025).

Ide o metódu s najvyššou aplikovateľnosťou, pomerne jednoduchú, lacnú, neinvazívnu a relatívne ľahko interpretovateľnú. Táto metóda je založená na princípe, že množstvo SAT je úmerné množstvu celkového FM. Namerané hodnoty podkožných tukových rias spolu s ďalšími údajmi, ako sú telesná výška, hmotnosť, obvod ramena či lýtka, slúžia na odhad telesného zloženia, teda pomeru FFM a FM, pomocou predikčných rovníc. Tieto rovnice sú špecifikované pre konkrétne populačné skupiny, ako sú vekové kategórie detí a dospievajúcich, dospelá populácia, detská populácia, muži a ženy, a taktiež pre určité skupiny športovcov.

Hydrostatické váženie (HV; váženie pod vodou)

Ďalšou metódou je HV, alebo denzitometria, ktoré je založené na Archimedovom princípe, kedy rozdiel medzi telesnou hmotnosťou vo vzduchu a vo vode sa používa na výpočet hustoty tela. Za predpokladu dvojzložkového modelu s rôznymi hustotami pre FM a FFM a po korekcii objemu vzduchu v pľúcach možno odhadnúť celkové percento FM. V minulosti bolo práve HV považované za zlatý štandard na meranie telesnej kompozície, ale niekoľko obmedzení viedlo k tomu, že pletyzmografia s využitím vzduchového odtláčania (ADP) sa dnes považuje za preferovanejšiu metódu na určovanie FM a FFM. Alternatívne metódy na hodnotenie telesnej kompozície zahŕňajú najobľúbenejšiu a najširšie dostupnú metódu, a to bioelektrickú impedančnú analýzu (BIA), ako aj veľmi pokročilé zobrazovacie techniky, ako sú röntgenová absorpčná spektrometria s dvojitou energiou (DEXA), počítačová tomografia (CT) a magnetická rezonancia (MRI).

Pletyzmografia s využitím vzduchového odtláčania (Air Displacement Plethysmography – ADP)

ADP je metóda denzitometrie, ktorá meria hustotu tela taktiež na základe Archimedovho princípu, podobne ako HV, ale namiesto vody využíva vzduch ako médium. Podobne ako HV, ADP meria celkovú telesnú hustotu a tým aj celkový FM a FFM pomocou predikčných rovníc, ale neberie do úvahy ich samotné rozloženie v tele. Vykonávaná je pomocou BOD POD prístroja, ktorý obsahuje komoru s objemom 450 alebo 500 L a počítačové senzory, ktoré merajú objem tela pomocou vzduchového odtláčania, keď je osoba usadená v komore.

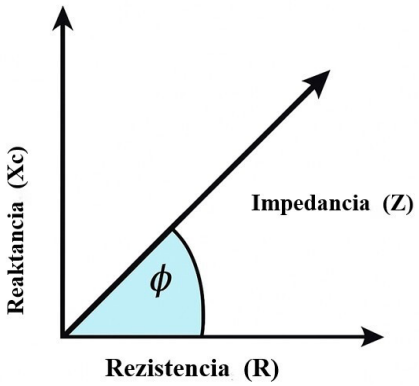
Meranie sa vykonáva pri minimálnom oblečení, a to zvyčajne v priliehavom oblečení alebo v plavkách, pričom proband musí byť bez kovových predmetov. Tým, že telo je umiestnené v uzavretej komore a objem komory je zmenený, objem vytlačeného vzduchu (t. j. objem tela) je možné určiť zo zmien v tlaku vzduchu. Keďže ADP je založená na rovnakom dvojzložkovom modeli ako HV, tak výsledok merania ovplyvňujú rovnaké faktory. Predovšetkým ide o variácie v obsahu minerálov v kostiach a stavu hydratácie organizmu. Opakovateľnosť (koeficient variácie) ADP pre FM je v rozmedzí 1,7 % až 4,5 % pri meraní v priebehu jedného dňa, z čoho vyplýva, že ADP, rovnako ako HV, je obmedzená na hrubú analýzu telesnej kompozície a neuskutočňuje odhady rozloženia FM či MM.

Bioelektrická impedančná analýza (Bioelectrical Impedance Analysis – BIA)

BIA je metóda merania zloženia tela, ktorá meria telesné zloženie využívaním rozdielov v elektrickej vodivosti rôznych tkanív tela. Je založená na tom, že rôzne telesné tkanivá majú odlišný odpor voči elektrickému prúdu. Tkanivá s vysokým obsahom vody a elektrolytov, ako sú svaly, kosti a orgány, majú nižší odpor (impedanciu) čiže vedú elektrický prúd veľmi dobre, zatiaľ čo tkanivá s nízkym obsahom vody, ako je FM, majú väčší odpor prúdu čiže vyšší odpor. Telo poskytuje dva typy odporu voči prechádzajúcemu prúdu, a to kapacitný odpor (reaktancia, Xc) a rezistentný odpor (rezistancia, Rz).

Nižšia Rz znamená viac vody a elektrolytov, teda vyššiu MM. Vyššie hodnoty Xc naznačujú bunkové membrány s vyššou integritou. Inými slovami, bunky považované za zdravšie majú viac celistvých membrán, ktoré spôsobujú väčší odpor voči elektrickému prúdu, a preto sú v hodnotení BIA prítomné vyššie hodnoty Xc. Na druhej strane, porušené membrány v dôsledku nižšieho zdravia buniek, buď v dôsledku rôznych klinických stavov, ako je napríklad prítomnosť chronických ochorení alebo poranení, alebo v dôsledku nižšej globálnej/systémovej funkčnosti, poskytnú nižšie hodnoty Xc.

Fázový uhol (*Phase Angle* – PA; obr. 2) vyjadruje vzťah medzi kapacitným odporom bunkových membrán a odporom vodivých extracelulárnych štruktúr pri celotelovej BIA v stupňoch (°). Značí sa písmenom Φ (fí) alebo α (alfa). PA získava čoraz väčšiu pozornosť, pretože sa považuje za ukazovateľ distribúcie vody (pomer medzi ECW a ICW) a BCM. Hodnoty PA sa pohybujú v rozmedzí od 0° až do 90°, pričom voda má hodnotu PA 0° a bunkové membrány 90°.



Obr. 2 Grafické znázornenie fázového uhla (Falbová 2025).

Hodnota PA je ovplyvnená vekom, pohlavím, etnicitou, nutričným stavom a úrovňou fyzickej aktivity. Umožňuje vyhodnotiť nutričný a fyzický stav jedinca. Vyššie hodnoty PA (5° – 9°) sú dobrým ukazovateľom nutričného stavu, vyššej integrity bunkových membrán a naznačuje vyššiu bunkovú hustotu napr. viac BCM v porovnaní s FFM), naopak nižšie hodnoty (< 5°) poukazujú na malnutríciu a zníženú funkčnosť bunkových membrán, čo vyplýva práve z úbytku BCM. Za optimálne rozmedzie hodnôt v populácii zdravých jedincov sa podľa veku a pohlavia považuje 5,6 – 7,9°.

PA je priamo spojené so svalovou silou, pričom je vyšší u športovcov a klesá s vekom, čo je v súlade so známymi fyziologickými zmenami BCM a ECW/ICW pomeru s vekom. PA klesá pri rôznych ochoreniach, zápaloch, podvýžive, predĺženej fyzickej inaktivite, a je spojený aj so zhoršenou kvalitou života či zlou prognózou pri rôznych chronických ochoreniach. Výhodou hodnotenia PA je jeho preukázateľná korelácia s klinickým stavom pacienta, ako sú mortalita a morbidita u rôznych typov nádorového ochorenia. U onkologických pacientov predpovedajú hodnoty < 5° zníženú funkciu MM, zníženú kvalitu života a vyššiu mortalitu. Hraničné hodnoty PA pre rozlíšenie pacientov s lepšou, či horšou prognózou sa pohybujú v rozmedzí 5 – 5,8° a hodnoty 5 – 9° sú ukazovateľom väčšej vitality tkanív a organizmu. PA taktiež vykazuje významnú pozitívnu

koreláciu s hladinou albumínu. Taktiež pomer ECW/TBW, ktorý je ukazovateľom edému, má významnú negatívnu koreláciu s hladinou albumínu a hemoglobínu, ale jeho zvýšené hodnoty sú konzistentne spojené so zhoršeným nutričným stavom. Je známe, že akútny zápal alebo hypoalbuminémia spôsobená malnutríciou vedú k vzniku edému, pričom nízke hodnoty PA naznačujú malnutríciu. PA bola negatívne korelovaná ako prognostický faktor pri mnohých ďalších ochoreniach, ako sú napríklad hemodialýza, chronická obštrukčná choroba pľúc, vírus ľudskej imunodeficiencie (HIV) a dekompenzovaná cirhóza pečene.

Pomocou predikčných rovníc sa následne vypočítajú parametre, ako napr. TBW, FFM a FM. Surové a predikované dáta sa následne využívajú pri sledovaní zdravotných markerov, akými sú úroveň hydratácie a podvýživa, fyzická výkonnosť a celkový zdravotný stav. Na bunkovej úrovni je možné presne predikovať telesnú BCM a na úrovni tkaniva hmotnosť SMM.

Elektródy sa umiestňujú na pokožku, zvyčajne na ruky a nohy, a do tela sa nechá prejsť veľmi slabý elektrický prúd, ktorý je neškodný a pre človeka necítiteľný. Pri nízkych frekvenciách (50 kHz) BIA meria len ECW, zatiaľ čo pri vyšších frekvenciách (100 – 500 kHz) prúd preniká cez bunkové membrány a meria aj ICW.

Na základe použitej frekvencie sa BIA delí na jednofrekvenčné a viacfrekvenčné. Jednofrekvenčné BIA (Single Frequency BIA – SF-BIA) zvyčajne používajú prúd s intenzitou 800 μA a frekvenciu 50 kHz. Táto metóda meria celkový odpor tela, z ktorého sa následne vypočíta TBW a FFM. SF-BIA vychádza z dvoch dôležitých predpokladov: chemické zloženie FFM, pomer ICW k ECW a tvar tela zostávajú konštantné. Aby sa dosiahli presné výsledky, musia byť všetky tieto predpoklady splnené. Počas rastu a dospievania však dochádza k rýchlym a významným zmenám v obsahu vody, bielkovín a minerálnych látok, ako aj v dĺžke končatín a trupu, čo tieto predpoklady narušuje. Takisto sa mení obsah ICW a ECW, čo ovplyvňuje bioimpedančné merania. SF-BIA nie je schopná rozlišovať medzi ICW a ECW a preto sa pri vypracúvaní prediktívnych rovníc FM a FFM navrhuje zahrnúť hydratačný faktor, ktorý je špecifický pre vek a pohlavie. TBW sa skladá približne zo 75 % z ECW a zvyšných 25 % tvorí ICW, pričom tieto percentá môžu v závislosti od hydratácie daného jedinca kolísať. SF-BIA je teda možné využiť len u jedincov s normálnou hydratáciou. U jedincov so zmeneným stavom hydratácie nie je možné využiť túto metódu, a to kvôli nepresným výsledkom.

Viacfrekvenčné BIA (Multiple Frequency BIA – MF-BIA) používajú rovnaký prúd ako SF-BIA, ale umožňuje použitie rôznych frekvencií, pričom telesné zloženie sa predikuje aj pomocou rovníc odvodených regresiou, ktoré sú

špecifické pre danú populáciu. MF-BIA používa rôzne frekvencie, napríklad 0, 1, 5, 50, 100, 200 až 500 kHz. MF-BIA je preto presnejšia ako SF-BIA pri meraní TBW a umožňuje rozlíšiť distribúciu TBW medzi ICW a ECW. Pri využití rôznych frekvencií je možné získať lepšie informácie o konkrétnych telesných kompartmentoch. Napríklad nízka frekvencia (5 kHZ) môže poskytnúť informácie len o ECW, keďže takáto frekvencia nie je schopná preniknúť cez bunkovú membránu.

Ďalším typom BIA je segmentačná BIA (Segmental BIA – S-BIA), ktorá meria impedanciu jednotlivých segmentov tela – trup, ľavú a pravú hornú končatinu, a ľavú a pravú dolnú končatinu. Bola zavedená na prekonanie nezhody medzi pomerom odporu trupu k horným končatinám a pomerom odporu trupu k dolným končatinám. Bežne sa vykonáva s elektródami umiestnenými na zápästí a členku. Tento prístup poskytuje podrobnejšie informácie o distribúcii TBW v rôznych častiach tela. Je obzvlášť užitočná u jedincov, u ktorých dochádza k redistribúcii ECW medzi trupom a končatinami, čo môže byť spôsobené zmenami tonusu svalstva pri rôznych polohách tela (chôdza, státie, sedenie). Takto sa získa presnejší obraz o rozložení TBW v konkrétnych oblastiach, čo môže byť dôležité pri hodnotení zloženia tela, najmä u športovcov alebo pacientov s určitými zdravotnými stavmi. S-BIA je tiež výhodná pri monitorovaní MM a distribúcie FM v jednotlivých častiach tela. Používa sa na určenie distribúcie tekutín pri niektorých ochoreniach a pooperačných stavoch, napríklad pri jave, kedy sa v brušnej dutine hromadí tekutina – *ascites*, pri zlyhaní obličiek alebo po chirurgických zákrokoch a môže byť taktiež užitočná pri poskytovaní informácií o hromadení tekutín v pľúcnej alebo brušnej oblasti trupu.

Výhody BIA metódy sú jej relatívne nízka finančná nákladnosť, jednoduchosť, rýchlosť, bezpečnosť a minimálna invazívnosť, no samotné meranie môže byť ovplyvnené mnohými faktormi.

Kritériá pre štandardizáciu protokolov na hodnotenie zloženia tela pomocou BIA zahŕňajú viacero aspektov. Pokiaľ ide o prístroj, vždy by mal byť prítomný konzistentný signál s reprodukovateľnou amplitúdou a zariadenie by sa malo pravidelne kalibrovať. Pri meraní probanda by sa mala venovať pozornosť telesnej výške, jedlu a pitiu, vyprázdnenému močovému mechúru, fyzickej aktivite, stavu pokožky, umiestneniu elektródy, polohe končatín, polohe tela a etnickej skupine, ku ktorej proband patrí. V čase merania BIA je potrebné zmerať aktuálnu telesnú výšku a hmotnosť. Samostatne hlásená výška a hmotnosť nie sú platné. Odporúča sa sedem dní pred meraním neprijímať žiadne diuretiká (lieky, ktoré zvyšujú vylučovanie vody), nejesť aspoň štyri hodiny, nepiť alkoholické nápoje aspoň 48 hodín pred meraním, nevykonávať intenzívnu fyzickú aktivitu posledných 24 hodín, urinácia aspoň 30 minút pred meraním a byť

posledných osem až desať minút pred meraním v absolútnom pokoji. U žien by sa mala brať do úvahy aj fáza menštruačného cyklu. Proband nesmie mať počas merania na sebe kovové predmety a v mieste umiestnenia elektród by sa nemali u meraného objaviť žiadne kožné lézie.

Merania pomocou analyzátorov bioelektrickej impedancie sa zvyčajne vykonávajú s probandom v polohe na chrbte podľa štandardizovaných protokolov, ruky by mali byť oddelené od trupu asi o 30° a nohy od seba vzdialené asi o 45°. Napriek možnosti umiestnenia elektród na telo v rôznych usporiadaniach je najbežnejším návrhom umiestnenie dvoch elektród na oblasť zápästia (jedna umiestnená na výbežku lakťovej kosti a druhá tesne za metakarpom) a dvoch elektród v oblasti členku (jedna umiestnená v stredovej čiare medzi mediálnym a laterálnym malleolom a druhá tesne za metatarzálnymi kosťami) na vyhodnotenie tetrapolárnym prístupom.

Bioelektrická impedančná vektorová analýza (BIVA)

BIVA je inovatívna a presná metóda hodnotenia telesného zloženia, ktorá prináša významné výhody oproti tradičným metódam BIA. Prvýkrát ju predstavili Piccoli et al. v roku 1994. Tento alternatívny prístup umožňuje hodnotenie zmien hydratácie bez použitia matematických regresných rovníc, čím eliminuje predpoklad konštantnej hydratácie organizmu. Presnosť metódy je ovplyvnená výlučne presnosťou impedančného merania a biologickou variabilitou medzi jednotlivcami. BIVA využíva štandardizáciu R a Xc na telesnú výšku. Tieto hodnoty sa následne zobrazujú ako bodové vektory v R-Xc rovine, čo umožňuje jednoduchú vizualizáciu individuálneho stavu hydratácie a telesnej štruktúry. V rámci BIVA sú namerané hodnoty porovnávané s referenčnými elipsami 50 %, 75 % a 95 % tolerancie, ktoré sú odvodené zo zdravej populácie rovnakého pohlavia a etnického pôvodu. Tieto referenčné elipsy umožňujú: určenie, či je jedinec v rámci normálneho rozsahu, alebo či má odchýlky, napríklad v hydratácii alebo zložení tela. Elipsy sa upravujú podľa veku, telesnej výšky, telesnej hmotnosti a celkovej stavby tela, čím sa zabezpečuje presnosť a prispôsobenie pre konkrétnu populáciu. Metóda BIVA je vhodná na analýzu rôznych vekových a populačných skupín vrátane detí, seniorov a športovcov. Opakované merania u toho istého jedinca možno vyhodnotiť podľa posunov vektora. Skrátenie alebo predĺženie vektora nad elipsou tolerancie znamená nadmerné nahromadenie tekutín (edém), resp. dehydratáciu. Ak vektor zväčší alebo zmenší svoj PA možno to interpretovať ako väčšiu alebo menšiu bunkovú hmotnosť. Kratší vektor znamená vyšší obsah tekutiny v tkanive, dlhší vektor znamená nižší obsah tekutiny. Predĺženie a skrátenie vektora, paralelného s hlavnou osou a v jej blízkosti, naznačuje zmeny tekutín so zachovanou štruktúrou bunkového

tkaniva. Kombináciou analýzy PA s dĺžkou vektora je možné odlíšiť obéznych (krátky vektor, vysoký PA) od atletických jedincov (dlhý vektor, vysoký PA) na ľavej strane grafu R-Xc a štíhlych (dlhý vektor, nízky PA) od kachektických jedincov (krátky vektor, nízky PA) na pravej strane grafu R-Xc.

Elektrická impedančná myografia (EIM)

EIM je neinvazívna a bezbolestná metóda, ktorá poskytuje informácie o stave MM a zmenách, ktoré v nich prebiehajú. Predpokladá sa, že EIM môže poskytnúť podrobné fyziologické údaje o zložení a štruktúre svalstva v závislosti od rôznych faktorov, ako sú napríklad bunkové skupiny, veľkosť buniek, celistvosť bunkových membrán, ICW a ECW v tkanive. EIM poskytuje súbor kvantitatívnych parametrov, no zvyčajne ide o R, Xc, Z a PA. Doteraz bol hlavným účelom EIM monitoring neuromuskulárnych ochorení, a to najmä hodnotenie závažnosti ochorenia, jeho progresie v čase a odpovede na liečbu. Nepoužíva sa však primárne na stanovenie prvej diagnózy. EIM je založená na myšlienke, že vodivosť a permitivita (dielektrická priepustnosť) v chorom svale sú zmenené a tieto zmeny môžu ovplyvniť generované elektrické napätie. Štúdie ukazujú, že chorý sval má odlišné hodnoty impedancie v porovnaní so zdravým svalom, čo je viditeľné u jedincov s neurogénnymi poruchami, ako je amyotrofická laterálna skleróza, spinálna svalová atrofia a radikulopatia, alebo so svalovými dystrofiami, ako je Duchenneova svalová dystrofia a facioskapulohumerálna svalová dystrofia. Vo všeobecnosti chorý sval vykazuje výrazne znížené hodnoty R, Xc a PA, a to najmä v dôsledku atrofie svalových vlákien, pribúdania spojivového tkaniva, tukovej infiltrácie a edému. EIM sa využíva aj na skúmanie zmien vo svaloch súvisiacich s vekom pri sarkopénii, poraneniach kostrového svalstva a adaptáciách, ktoré vo svaloch vznikajú pri fyzickom cvičení. Osoby so sarkopéniou vykazujú nižší počet a menšiu veľkosť svalových vlákien a preto možno očakávať rozdiely v impedančných charakteristikách svalu, čo podporuje potenciálne použitie EIM. Vo všeobecnosti sú hodnoty impedancie poškodeného svalu znížené a postupne sa obnovujú v priebehu času počas procesu hojenia. To znamená, že EIM by mohla byť praktickým neinvazívnym nástrojom na hodnotenie kvality zdravia svalov pri fyzickej námahe a športe. Svoje využitie má táto metóda práve aj pri rôznych tréningoch. Krátkodobá analýza pomocou EIM môže byť užitočná na pochopenie toho, čo sa deje v svale počas rôznych tréningových aktivít. Na druhej strane, strednodobé a dlhodobé analýzy môžu pomôcť hodnotiť, ako tréning ovplyvňuje sval počas regenerácie v dňoch po cvičení, čo môže byť cenné pri sledovaní a optimalizácii tréningovej záťaže.

Röntgenová absorpčná spektrometria s dvojitou energiou (Dual-Energy X-ray Absorptiometry – DEXA)

Metóda DEXA je neinvazívna zobrazovacia technika, ktorá využíva dvojitú energiu röntgenového žiarenia na meranie telesného zloženia. Považuje sa za zlatý štandard v hodnotení BMD a v súčasnosti je stále viac používaná aj na analýzu celkového ako aj segmentálneho telesného zloženia. Pri použití DEXA sú röntgenové lúče s dvoma rôznymi energetickými hladinami (jeden nízkoenergetický a jeden vysokoenergetický röntgenový lúč) vysielané do tela, pričom ich oslabenie závisí od typu a hustoty tkanív, ktorými prechádzajú. Na základe tejto absorpcie je možné oddeliť a vyhodnotiť rôzne zložky tela, ako sú kosti, tuk a mäkké tkanivá. DEXA je obzvlášť presná pri meraní hustoty kostí, čím poskytuje kľúčové informácie pre diagnostiku osteoporózy a hodnotenie rizika zlomenín. Odhad množstva FM a FFM v softvéri DEXA je založený na základných štandardoch množstva vody, obsahu draslíka alebo hustoty tkaniva, no tieto hodnoty sa môžu líšiť podľa výrobcu zariadenia.

Priebeh merania je rýchly a pomerne jednoduchý. Pred začiatkom merania je dôležité, aby pacient bol správne informovaný o postupe. V niektorých prípadoch môže byť potrebné obliecť sa do špeciálneho ochranného oblečenia alebo odložiť všetky kovové predmety, ako sú šperky, náramky alebo hodinky, ktoré by mohli ovplyvniť výsledky merania. Následne si pacient ľahne na vyšetrovací stôl alebo lôžko prístroja DEXA, ktorý je vybavený skenerom na röntgenové žiarenie. Aby sa zaručila presnosť merania, meraný proband by mal ležať v pokoji, s rukami a nohami v prirodzenej polohe, aby sa zabezpečila optimálna analýza zložiek tela. Po umiestnení pacienta na stôl skener začne vyžarovať röntgenové lúče dvoch rôznych energetických hladín. Po dokončení merania prístroj vytvorí výslednú správu, ktorá obsahuje podrobné informácie o telesnom zložení pacienta prostredníctvom grafického znázornenia. Farebná obrazová mapa zobrazuje relatívne rozloženie FM, MM a BM, zatiaľ čo biela obrazová mapa znázorňuje deliace línie, ktoré slúžia na odlíšenie štandardných oblastí záujmu hodnotených pri analýze telesného zloženia (horné končatiny, dolné končatiny a trup). Zvýrazňuje tiež oblasti gynoidnej a androidnej distribúcie tuku a vyznačuje rez s VAT.

Počas celého procesu je pacient vystavený veľmi nízkej dávke röntgenového žiarenia, ktorá je považovaná za bezpečnú. Celý proces merania je rýchly a relatívne pohodlný. Zvyčajne trvá len 10 až 20 minút a nevyžaduje žiadnu špeciálnu prípravu, okrem odloženia kovových predmetov.

Hlavnými výhodami DEXA sú jej vysoká presnosť a rýchlosť. Metóda poskytuje komplexné a detailné informácie o zložení tela, čo je užitočné nielen v klinickej praxi, ale aj v oblasti výskumu. Hoci dávka röntgenového žiarenia

pri meraní DEXA je veľmi nízka (porovnateľná s bežným röntgenovým snímkom hrudníka alebo dokonca nižšia), stále predstavuje určitý stupeň expozície ionizujúcemu žiareniu. To môže byť problém najmä pri opakovaných meraniach u citlivých skupín populácie, ako sú tehotné ženy, deti alebo starší ľudia s oslabeným zdravím.

Preto sa metóda nemôže využívať neobmedzene alebo bez zváženia klinickej potreby. Nevýhodou je aj to, že prístroje DEXA sú finančne nákladné na obstaranie aj prevádzku, čo môže obmedzovať ich dostupnosť v bežných klinických zariadeniach. Zvyčajne sú dostupné iba vo veľkých nemocniciach, výskumných centrách alebo špecializovaných diagnostických klinikách. Jedným z technických obmedzení DEXA je veľkosť skenovacej plochy a nosnosť stola. U osôb s výraznou obezitou (napríklad nad 150 kg) môže byť problémom to, že sa nemusia úplne zmestiť do skenovacieho priestoru alebo prekračujú hmotnostný limit prístroja, čo vedie k neúplným alebo nepresným meraniam, prípadne nie je možné vyšetrenie zrealizovať.

DEXA poskytuje iba dvojrozmernú projekciu tela, čo znamená, že merania sú založené na plošnom pohľade a nie na trojrozmernej analýze. Tento prístup môže byť menej presný v porovnaní s trojrozmernými metódami, ako sú MRI alebo CT. Presnosť výsledkov môže byť ovplyvnená aj viacerými faktormi, ako sú vek, pohlavie, etnicita a hustota tkanív. Napríklad u starších pacientov s nízkou hustotou kostí alebo u detí môže byť výsledok menej presný, pretože algoritmy DEXA nemusia optimálne spracovať tieto odlišnosti. Avšak celkovo je DEXA v súčasnosti jednou z najpresnejších a najspoľahlivejších metód na hodnotenie telesného zloženia. Je ideálnou voľbou pre klinické aplikácie, kde je potrebná vysoká presnosť pri analýze FM, MM a hustoty kostí, a to najmä v kontexte diagnostiky a sledovania ochorení súvisiacich s metabolizmom a kostným zdravím.

Počítačová tomografia (Computed Tomography – CT)

CT poskytuje trojrozmerné, vysokokvalitné obrazové zobrazenie celého tela alebo jeho vybraných častí, ktoré sa počíta z veľkého množstva röntgenových projekcií nasnímaných z rôznych uhlov. Vďaka známym rozdielom v atenuácii (oslabení) röntgenového žiarenia medzi MM a FM je možné tieto tkanivá spoľahlivo oddeliť a identifikovať. Umožňuje presné stanovenie celkového aj regionálneho množstva FM vrátane VAT, SAT a intermuskulárneho tuku, ako aj SMM a BM. Na rozdiel od iných zobrazovacích techník umožňuje CT presne identifikovať tuk uložený v kostrových svaloch a v pečeni. Avšak, presnosť metódy klesá pri obsahu tuku v pečeni nižšom ako 5 %, čo obmedzuje jej využitie pri diagnostike nízko-stupňovej steatózy (stukovatenia pečene).

Vzhľadom na to, že CT je trojrozmerná zobrazovacia technika (3D), má potenciál poskytovať aj presné objemové merania orgánov. V praxi sa však analýza telesného zloženia pomocou CT často obmedzuje na dvojrozmernú analýzu (2D) jednej alebo niekoľkých priečnych (axiálnych) rezov tela. Plocha týchto rezov sa následne využíva ako nepriamy odhad objemu. Tento prístup však znižuje presnosť metódy, pretože presná poloha jednotlivých rezov vo vzťahu k vnútorným orgánom nie je vopred definovaná a môže sa medzi jednotlivými skenmi líšiť.

CT je používaná hlavne na výskum rakoviny. U onkologických pacientov môže byť použitá na stanovenie štádia ochorenia a na hodnotenie vhodnej liečby, vzhľadom na fakt že CT skeny rozlišujú medzi VAT a SAT a tým sa považujú za vysoko presné pri hodnotení FM, FFM a SMM. Segmentácia tela pomocou CT má význam aj pri hodnotení progresívnej straty MM, čo sa môže využiť pri diagnostike týkajúcej sa zmien v MM u starších ľudí so sarkopéniou. CT môže taktiež detegovať kalcifikované a nekalcifikované aterosklerotické plaky v cievnom systéme vrátane srdcových ciev.

CT skenovanie je relatívne rýchle, poskytuje výsledky v krátkom čase a je schopné zobraziť aj veľké objemy tela, čo umožňuje analýzu aj u osôb s obezitou, kde iné metódy môžu byť obmedzené rozmermi alebo hmotnostným limitom.

Považuje sa za referenčnú metódu pri hodnotení telesného zloženia, avšak kvôli vysokým nákladom a vystaveniu pacienta žiareniu pri celotelovej analýze je jej využitie prevažne obmedzené na diagnostické účely. Hoci dávka môže byť relatívne nízka, opakované skenovania predstavujú riziko kumulatívnej radiačnej záťaže, čo obmedzuje jeho využitie najmä v preventívnych alebo výskumných štúdiách na zdravých probandoch a u detí. Okrem toho sú CT prístroje finančne náročné na obstaranie, prevádzku ako aj údržbu. Taktiež, manuálna segmentácia jednotlivých tkanív na získaných obrazoch je časovo náročná a vyžaduje skúsenosti odborníka. V klinickej praxi sa preto často analyzuje len niekoľko priečnych rezov, čo môže znížiť presnosť pri odhade celkového objemu tkanív.

Magnetická rezonancia (Magnetic Resonance Imaging – MRI)

MRI je zobrazovacia technika, ktorá využíva silné magnetické pole, rádiové vlny a interakciu protónov v tkanivách na vytváranie podrobných priečnych rezov tela. Na rozdiel od CT, nevyužíva ionizujúce žiarenie, čo ju robí bezpečnejšou pre opakované merania, najmä u detí, tehotných žien a pacientov, ktorí vyžadujú dlhodobé sledovanie.

MRI je založená na princípe jadrovej magnetickej rezonancie, kde protóny v tkanivách (najmä v molekulách vody) reagujú na silné magnetické pole. Po

vystavení magnetickému poľu sa protóny v tele orientujú v smere poľa. Následne sa na telo aplikujú rádiové vlny, ktoré dočasne vychýlia protóny z ich rovnovážneho stavu. Keď sa rádiové vlny vypnú, protóny sa vracajú do pôvodného stavu, pričom uvoľňujú energiu vo forme rádiového signálu. Tieto signály sú zachytávané a spracované počítačom na vytvorenie detailných obrazov tkanív.

Ide o výnimočne presnú metódu na kvantifikáciu telesného zloženia na úrovni tkanív a orgánov. Umožňuje detailne rozlíšiť: MM, vrátane objemu a kvality svalov, čo je dôležité pri hodnotení sarkopénie a samotnej FM, kde dokáže presne rozlíšiť VAT, SAT a intermuskulárny tuk, pričom poskytuje informácie o ich objeme aj distribúcii a tuk uložený v orgánoch, ako sú pečeň, srdce a svaly, čo je dôležité pre hodnotenie rizika metabolických ochorení, napríklad nealkoholovej stukovatenosti pečene, kardiovaskulárnych ochorení alebo obezity.

MRI prístroje sú rovnako ako CT prístroje finančne veľmi náročné na obstaranie, prevádzku a údržbu. Náklady na jedno vyšetrenie sú vyššie v porovnaní s inými metódami, čo môže obmedzovať ich dostupnosť v bežnej klinickej praxi. Počas merania prístroj veľmi citlivo reaguje na pohyb, čo môže ovplyvniť kvalitu obrazu. To je problém najmä u detí, pacientov s neurologickými ochoreniami alebo u ľudí s nekontrolovateľnými pohybmi, ako sú svalové spazmy. Okrem toho, MRI nie je vhodná pre pacientov s niektorými implantátmi, ako sú kardiostimulátory, metalické protézy alebo iné zariadenia, ktoré by mohli byť ovplyvnené silným magnetickým poľom. Pre niektorých pacientov môže byť MRI nepríjemné kvôli uzavretému priestoru skenera, čo môže vyvolať klaustrofóbiu alebo nepohodlie, najmä u tých, ktorí sú citliví na tento typ prostredia.

Ultrazvuk (Ultrasound – USG)

Ide o zobrazovaciu techniku, ktorá sa používa z hľadiska kompozície tela hlavne na hodnotenie telesného tuku už niekoľko desaťročí. Napriek svojim výhodám však stále nepatrí medzi bežne používané metódy na tento účel. Jej princíp je založený na odraze zvukových vĺn (echí) od rôznych tkanív v tele, ktoré sa následne transformujú do 2D obrazu v odtieňoch sivej. Na tomto obraze sú svetlé oblasti reprezentované tkanivami so silnými odrazmi, ako sú kosti alebo hranice medzi tukom a svalom, zatiaľ čo tmavé oblasti indikujú tkanivá s nízkym alebo žiadnym odrazom, ako napríklad tekutiny alebo mäkké tkanivá. USG dokáže vizualizovať hranice medzi pokožkou a SAT, FM a MM, ako aj MM a BM.

Aj keď je samotný postup vykonania merania relatívne jednoduchý a rýchly, interpretácia výsledkov je náročnejšia a často subjektívna. Napriek tomu má USG aj ďalšie významné výhody, medzi ktoré patrí nízka finančná náročnosť,

mobilita prístroja, neinvazívnosť a absencia ionizujúceho žiarenia, čo ho robí bezpečným aj pre opakované merania. V porovnaní s metódami, ako je CT alebo DEXA, USG nevystavuje pacienta žiadnemu žiareniu, čo ho robí vhodným aj pre deti, tehotné ženy alebo pacientov, ktorí vyžadujú dlhodobé sledovanie. Na druhej strane má však ultrazvuková technika určité obmedzenia. Neexistuje univerzálny protokol pre ultrazvukové merania FM, čo môže spôsobiť variabilitu výsledkov medzi jednotlivými štúdiami. Okrem toho prítomnosť artefaktov, ako sú akustické tiene, môže narušiť kvalitu obrazu a ovplyvniť presnosť merania. Názory na presnosť USG pri hodnotení FM sa v rôznych štúdiách líšia. Niektoré štúdie, ako napríklad výskum Borkana et al. (1982) poukázali na to, že meranie FM pomocou kaliperov lepšie koreluje s celkovou hmotnosťou FM ako USG, a preto ho považovali za lepší nástroj na hodnotenie SAT. Na druhej strane, iné výskumy, ako štúdia Fanelliho a Kuczmarského (1984), naznačujú, že USG je rovnako presné ako kaliper pri predpovedaní celkového FM. Okrem toho, pokročilé ultrazvukové techniky sa zameriavajú na meranie VAT, ktorý má väčší význam pre metabolické zdravie než SAT. Podobne aj Armellini et al. (1991) zaviedli metódu merania hrúbky intraabdominálneho tuku pomocou USG a zistili, že hrúbka tohto tuku je najlepším prediktorom plochy VAT. Tieto merania sa ukázali ako presné a spoľahlivé pri hodnotení rizika metabolických ochorení, ako sú cukrovka, obezita a kardiovaskulárne ochorenia.

1.3 Parametre zloženia tela a ich využitie v praxi

1.3.1 Zloženie tela v klinickej antropológii

V súčasnosti je pre klasifikáciu telesnej hmotnosti a stanovenie relatívneho rizika poškodenia zdravia najpoužívanejší BMI. BMI síce poskytuje cenné informácie, no je menej informatívny ako samotná analýza zloženia tela. Telesná hmotnosť sa vzťahuje na celkovú hmotnosť všetkých tkanív v tele, zatiaľ čo hodnotenie zloženia tela zahŕňa meranie telesnej hmotnosti, TBW a relatívnych podielov FM a MM. Mnoho štúdii preto poukazuje na neadekvátne posudzovanie zdravotného stavu na základe hodnoty BMI a zároveň v niektorých prípadoch (ľudia v starobe, siloví športovci, jedinci s krátkymi dolnými končatinami, pacienti so schizofréniou) dokonca nesprávne indikuje nadhmotnosť. Analýza telesného zloženia tvorí základ rôznych terapeutických, zdravotných a fitness programov. Podľa takejto analýzy možno určiť koľko svalového alebo tukového tkaniva jedinec stratil alebo získal, počas určitého stravovacieho režimu, pohybovej aktivity alebo farmaceutickej liečby, čo umožňuje vyhodnotiť zdravotný status jedinca a navrhnúť vhodnú liečbu. FFM a FM poukazujú

na nutričný status porovnávaním individuálnych jedincov medzi sebou alebo v porovnaní s referenčnou populáciou. Pomocou percentilových hodnôt sa zisťuje, či jedinec alebo skupina spadá do rozsahu referenčnej populácie.

Hodnotenie zloženia tela má významný klinický význam v špecifických kontextoch, ako je identifikácia jedincov s nadmerným VAT, ktorí sú vystavení zvýšenému riziku kardiovaskulárnych ochorení a cukrovky. Medzi ďalšie klinické indikácie patrí hodnotenie podvyživených pacientov, pacientov s edémami (kde nadbytok tekutín prispieva k zvýšeniu telesnej hmotnosti) a jedincov, ktorých zloženie tela sa zmenilo v dôsledku faktorov, ako je starnutie, prítomnosť choroby alebo hormonálna nerovnováha.

Pokles TBW u pacientov s poruchami gastrointestinálneho traktu súvisí s narušenou schopnosťou organizmu správne absorbovať tekutiny a živiny. Tento pokles telesnej vody môže byť spôsobený nielen nedostatočným príjmom tekutín, ale aj stratou elektrolytov a tekutín pri hnačke či vracaní, ktoré sú častými symptómami gastrointestinálnych ochorení. V dôsledku toho dochádza k dehydratácii, ktorá má vážny dopad na celkovú telesnú rovnováhu a môže prispieť k ďalším komplikáciám, ako je zhoršená funkcia obličiek či narušený metabolizmus. U pacientov s Alzheimerovou chorobou môže postupne dochádzať k poklesu BCM, čo naznačuje zníženie MM. Tento pokles môže byť spôsobený viacerými faktormi, akými sú znížená fyzická aktivita, zmeny v apetíte, metabolizme a celková progresia ochorenia. U pacientov s Parkinsonovou chorobou bol zistený pokles celkovej FM v porovnaní s kontrolnou skupinou. Tento pokles môže byť spôsobený rôznymi faktormi, ako sú zmeny v metabolizme, znížená fyzická aktivita a možné poruchy výživy.

Zdravotné komplikácie, medzi ktoré patria napríklad poruchy príjmu potravy, menštruačné poruchy, ako aj riziko vzniku osteoporózy spôsobuje nielen vyšší, ale aj príliš nízky obsah SAT. Zároveň u žien po pôrode, ktoré po narodení dieťaťa prechádzajú významnými fyziologickými zmenami, môže BIA slúžiť ako cenný diagnostický a monitorovací nástroj. To umožňuje prispôsobenie nutričných plánov a vývoj individuálnych tréningových režimov prispôsobených zdravotnému stavu žien. Okrem toho BIA pomáha pri hodnotení stavu hydratácie, ktorý je obzvlášť kritický počas popôrodného obdobia, keď u žien často dochádza k zadržiavaniu tekutín. Ďalej je optimálna hydratácia nevyhnutná aj pre laktáciu a udržiavanie priaznivých podmienok pre dojčenie. BIA je tiež neoceniteľná pre hodnotenie nutričného stavu a prevenciu nadhmotnosti či podvýživy. Okrem toho podporuje fyzickú regeneráciu monitorovaním MM, čím pomáha pri hodnotení regenerácie svalov panvového dna po pôrode. FM, najmä VAT, je dobre známy ako kľúčový rizikový faktor pre inzulínovú rezistenciu, kardiovaskulárne ochorenia a diabetes. Zvýšenie popôrodného

VAT môže prispieť k zvýšenému budúcemu riziku ochorenia, dokonca aj u žien s normálnou hmotnosťou. Preto aj keď ženy stratia nadbytočné kilogramy získané počas tehotenstva a vrátia sa na svoju hmotnosť pred tehotenstvom, riziko ochorenia v dôsledku mobilizácie tuku do centrálnych oblastí môže pretrvávať počas celého ich života. Udržanie hmotnosti v tehotenstve po pôrode je spojené s dlhotrvajúcou nadhmotnosťou a súvisiacimi zdravotnými problémami, vrátane kardiovaskulárnych chorôb, diabetes mellitus 2. typu a určitých typov rakoviny.

Akútne zápaly alebo hypoalbuminémia sú zapríčinené malnutríciou, ktorú je možné odhaliť pomocou bioimpedačnej analýzy. Nízke hodnoty PA boli zistené u pacientov s chronickou obštrukčnou chorobou pľúc a u pacientov s cirhózou pečene. Zároveň analýza zloženia tela je cenným nástrojom aj na efektívne monitorovanie nutričného stavu pacientov s rakovinou. V porovnaní s celkovou hmotnosťou predstavuje lepší zdravotný indikátor, ktorý poskytuje podrobnejšie informácie o účinkoch liečby a diéty u pacientov trpiacich onkologickými ochoreniami. Chemoterapia, ožiarenie a iné liečebné postupy často ovplyvňujú telesné zloženie a energetické potreby pacienta. U pacientov s rakovinou poskytuje bioimpedančná analýza presnejší obraz o MM a FM, vzhľadom na to, že u týchto pacientov často dochádza k sarkopénii, ktorá môže negatívne ovplyvniť úspešnosť liečby. Taktiež umožňuje odhadnutie bazálneho metabolizmu, čo je kľúčové pre nastavenie správneho kalorického príjmu. Pri karcinóme prsnej žľazy pacientky často trpia hormonálnymi nerovnováhami a zmenami v distribúcií FM, čo môže ovplyvniť celkové zloženie tela. Rakovina pľúc býva spojená s podvýživou a závažnými stratami MM. Rakovina žalúdka často vedie k závažným poruchám vstrebávania živín čo vedie následne k podvýžive. U pacientok s rakovinou vaječníkov sa často pozoruje nahromadenie tekutiny v brušnej dutine. V klinickej praxi sa preto odporúča nahradiť BMI stanovením jednotlivých parametrov zloženia tela, ktoré sú vhodným determinantom zdravotného, funkčného, ako aj nutričného stavu organizmu.

V klinickej antropológii sa zloženie tela skúma pomocou rôznych techník, ktoré sú relevantné pre výskum zdravia, výživy a fyziológie.

Malnutrícia

Označovaná aj ako karenčná výživa znamená poruchu alebo nesprávny spôsob výživy. Je výsledkom nerovnováhy medzi nárokmi organizmu na živiny a energiu a ich hlavným prívodom. Malnutrícia predstavuje chybný spôsob výživy, ktorý ovplyvňuje celkový subjektívny stav a zdravie jedinca a v konečnom dôsledku efekt liečebného postupu. Môže zahŕňať nedostatok určitých živín vedúcich k podvýžive alebo ich nadbytok, čo vedie k obezite, ktorá je

rizikovým faktorom pre mnohé chronické ochorenia, vrátane cukrovky, kardiovaskulárnych ochorení a hypertenzie. Môže byť spôsobená faktormi akými sú nevhodná strava, psychologické a behaviorálne faktory, chronické ochorenia alebo problémy s absorpciou živín, socioekonomické faktory, kedy chudoba a nedostatok prístupu k výživným potravinám môžu viesť k malnutrícii, prípadne nedostatok vzdelania o výžive môže ovplyvniť výber potravín. Ďalším faktorom je vek, kedy deti môžu trpieť malnutríciou z dôvodu nedostatočnej alebo nevhodnej výživy počas ich vývinu. Starší ľudia sú náchylní na malnutríciu kvôli metabolickým zmenám, problémom so žuvaním alebo prehĺtaním, alebo zníženému apetítu.

Dvojkrokový postup pre správnu diagnostiku podvýživy zahŕňa počiatočné použitie citlivého skríningového nástroja na identifikáciu osôb s rizikom podvýživy, po ktorom nasleduje potvrdenie diagnózy u osôb so zjavnou podvýživou. Ďalej sa odporúča povinné hodnotenie troch fenotypových kritérií – úbytok hmotnosti, nízke hodnoty BMI a nízke hodnoty MM – a dve etiologické kritériá – znížený príjem potravy alebo asimilácia potravy a vysoké zaťaženie chorobami, čo naznačuje prítomnosť pretrvávajúcich alebo recidivujúcich zápalov. Súčasné splnenie aspoň jedného fenotypového a jedného etiologického kritéria potvrdzuje diagnózu.

Podvýživa je klasifikovaná ako stredná alebo závažná v závislosti od stupňa aberácie vo fenotypových kritériách. Následne na základe príčiny podvýživy sa rozlišujú tri podtypy: podvýživa súvisiaca s ochorením bez prítomného zápalu, podvýživa súvisiaca s chorobou so zápalom alebo podvýživa bez choroby, t. j. hladovanie v dôsledku nedostatočného prístupu k jedlu. Patofyziologická cesta podvýživy súvisiaca so zápalom je výsledkom anorexie a zvýšeného rozpadu tkaniva a dráha súvisiaca s nedostatkom je iniciovaná zníženým príjmom alebo absorpciou potravy a živín. Nedostatočný príjem alebo vstrebávanie energie a živín je klasickým scenárom podvýživy. Dysfágia po mŕtvici a syndróm krátkeho čreva sú príklady tejto nezápalovej dráhy. Za takýchto podmienok sa ľudský metabolizmus prispôsobuje znížením pokojového výdaja energie, srdcovej frekvencie, telesnej teploty a spontánnej fyzickej aktivity. Zásoby glykogénu v pečeni a vo svaloch sa vyčerpajú v priebehu jedného až dvoch dní a nahradí ich telesný tuk ako hlavný zdroj energie. Naopak, keď je základné ochorenie sprevádzané alebo poháňané zápalom, ktorý je sprostredkovaný zápalovými cytokínmi a prostaglandínmi, ako pri rakovine, infekciách alebo konečnom štádiu ochorenia orgánov, metabolizmus sa stáva zložitejším a maladaptívnym. Na rozdiel od energetického výdaja spôsobeného čisto potravinovou depriváciou, pri kombinácii potravinovej deprivácie a zápalu sa pokojový energetický výdaj zvyšuje. Zároveň sa zvyšuje pokojová srdcová frekvencia a telesná teplota.

Dochádza k intenzívnejšiemu rozkladu bielkovín v kostrovom svale, pričom aminokyseliny zo svalov slúžia ako palivo na produkciu glukózy prostredníctvom glukoneogenézy a na syntézu bielkovín, ktoré pôsobia ako reaktanty akútnej fázy. Počas zápalu nie je premena bielkovín regulovaná požiadavkami na živiny, ale pokračuje, aj keď je dodaný dostatok energie a bielkovín. Výsledkom je strata MM. Výživový príjem u akútne chorých starších pacientov sa podstatne zníži, keď koncentrácia C-reaktívneho proteínu (CRP) presiahne 30 mg na liter. Mnohé chronické ochorenia sú spojené so zápalom nízkeho stupňa, ako je chronická obštrukčná choroba pľúc (CHOCHP), Crohnova choroba, zlyhanie obličiek, chronická pankreatitída a rôzne druhy rakoviny, pri ktorých sú koncentrácie CRP tesne nad hornou hranicou normálneho rozmedzia.

Prevalencia podvýživy sa líši podľa veku, prítomného ochorenia a prostredia. V populácii osôb starších ako 65 rokov sa podvýživa vyskytuje u 5 až 10 % osôb žijúcich v komunite, 20 až 40 % hospitalizovaných pacientov a až 50 % obyvateľov domovov dôchodcov. Medzi pacientami s rakovinou sa prevalencia značne líši podľa typu a štádia rakoviny. Rakoviny horného gastrointestinálneho traktu vedú k podvýžive skôr, zatiaľ čo pri rakovine prsníka, pľúc a obličiek sa podvýživa vyskytuje s pokročilejším štádiom ochorenia. Ťažká trauma, popáleniny a akútne infekcie spúšťajú nadmerný zápal, ktorý rýchlo degraduje tukové, svalové a orgánové tkanivo. U pacientov s Crohnovou chorobou alebo celiakiou sú hlavnými prejavmi ochorenia malabsorpcia so stratou hmotnosti a podvýživa. Vo väčšine konečných štádií chronických ochorení hlavných orgánových systémov sa nakoniec objaví podvýživa spôsobená zápalom. Podvýživa sa vyvinie u 20 až 50 % pacientov s CHOCHP, kongestívnym zlyhaním srdca, cirhózou pečene, alebo chronickým zlyhaním obličiek. Pacienti s určitými neurologickými poruchami (napr. dysfágia po mozgovej príhode alebo Parkinsonovou chorobou) a pacienti s psychiatrickými alebo kognitívnymi poruchami majú podobné riziko podvýživy, čo súvisí najmä so zníženým príjmom potravy z nezápalových dôvodov. Alzheimerova choroba je spojená s podvýživou z rôznych príčin v 20 až 30 % prípadov. Okrem toho približne polovica pacientov s veľkou depresívnou poruchou schudne.

Poruchy príjmu potravy sú skupinou psychických porúch, ktoré sa prejavujú nezdravými návykmi v oblasti stravovania. Rozoznávame dve formy ochorenia, a to mentálnu anorexiu (*anorexia nervosa*; čistá, reštriktívna forma; obmedzujúca potravu) a mentálnu bulímiu (*bulimia nervosa*; vypudzovacia forma po predchádzajúcom prejedení). Obe formy primárne predstavujú duševné ochorenia, ktoré zahŕňajú zmeny v somatickej a v psychickej oblasti a môžu mať vážne fyzické a psychické následky, vrátane poškodenia orgánov, zhoršenej kvality života a zvýšeného rizika úmrtia. Zmiešaná forma predstavuje kombi-

náciu reštriktívnej a vypudzovacej formy. Liečba zahŕňa kombináciu psychoterapie, výživového poradenstva a v niektorých prípadoch aj farmakoterapie. Pri mentálnej anorexii dochádza k vedomému a úmyselnému obmedzovaniu príjmu potravy s následným chudnutím (výrazný pokles telesnej hmotnosti). Chudnutie sa prejavuje výraznými somatickými zmenami, ktoré sú odrazom dlhodobej malnutrície. Súčasne dochádza k psychickým zmenám, pacienti majú skreslenú predstavu o svojom tele, kedy sú presvedčení, že majú nadmerné proporcie či nadhmotnosť, alebo sú obézni. Vo väčšine prípadov postihuje najmä dievčatá a mladé ženy. Začiatok ochorenia sa vyskytuje medzi 13. až 25. rokom, najčastejšie medzi 14. a 15. rokom a medzi 17. a 18. rokom. Prevalencia u mladých dievčat je v rozmedzí 0,5 – 1 %, muži bývajú postihnutí v pomere 1 : 10 v prospech žien. Prvé prejavy mentálnej anorexie sú pozorované už v puberte (sklon k vegetariánstvu, makrobiotike, časté cvičenie), postupne sa ochorenie rozvíja a dochádza k psychickým zmenám, depresiám, strate záujmu o okolie, zvyšuje sa dráždivosť a časté sú konflikty s rodičmi.

Vzhľadom k tomu, že mentálna anorexia je psychosomatické ochorenie, jej vplyv sa odzrkadľuje do telesného a zdravotného stavu. Mnohé z príznakov sa pokladajú za normálnu fyziologickú adaptáciu organizmu na hladovanie. V dôsledku dlhodobého obmedzenia výživy sa metabolický obrat a proteosyntéza znižuje, smeruje ku kachexii – výrazné chudnutie, úbytok MM a FM. Vymizne SAT. Koža býva nápadne suchá a šupinatá, pokrytá nápadným jemným ochlpením (lanugom), zvyšuje sa početnosť vyrážok, prítomná je lámavosť nechtov, vypadávanie vlasov a typický starecký výraz tváre. Dochádza k spomaleniu vyzretia a tvorbe kostí, vývin kostí sa môže až zastaviť, ďalej dochádza k zvýšenej kostnej resorpcii, znižuje sa hustota kostí, čím sa následne zvyšuje riziko vzniku osteomalácie a osteoporózy. Pacienti majú rôzne kardiovaskulárne symptómy, akými sú bradykardia, hypotenzia, arytmia, anémia, leukopénia, trombocytopénia či zhoršená výkonnosť srdcového svalu. Medzi gastrointestinálne symptómy patrí zvýšená kazivosť zubov, erózia zubnej skloviny, paradentóza, zápal ďasien, nafukovanie, bolesti brucha, zápcha, atrofia črevnej sliznice či abnormálna funkcia pečene. Pozorované sú aj početné metabolické, hormonálne či neurologické zmeny, akými sú napríklad zníženie bazálneho metabolizmu, porucha termoregulácie, dehydratácia organizmu, narušenie elektrolytickej rovnováhy, sekundárna amenorea, znížená hladina tyreoidálnych hormónov či znížená sekrécia ADH, ťažkosti so spánkom, svalová slabosť, bolesti hlavy, neuropatia, apatia, kŕče zmätenosť či dvojité videnie.

Diagnostické kritériá mentálnej anorexie podľa „Medzinárodnej štatistickej klasifikácie chorôb a pridružených zdravotných problémov“ (MKN-10) sú:

1. Telesná hmotnosť je udržiavaná najmenej 15 % pod predpokladanou hmotnosťou alebo BMI < 17,5 kg/m^2. Predpubertálni pacienti nespĺňajú v priebehu rastu očakávaný hmotnostný prírastok.
2. Pokles telesnej hmotnosti si spôsobuje pacient sám tým, že sa vyhýba jedlu (po ktorom sa priberá) a užíva jeden alebo viac nasledovných prostriedkov: vyprovokované vracanie, vyprovokované defekácie, užívanie anorektík a diurtík, nadmerné cvičenie.
3. Prítomná špecifická psychopatológia, pričom pretrváva strach z priberania a skreslená predstava o vlastnom tele ako vtieravá, ovládaná myšlienka, a pacient si sám sebe ukladá povinnosť mať nízku hmotnosť.
4. Rozsiahla endokrinná porucha, zahŕňajúca hypotalamo-hypofyzárnu-gonádovú os, ktorá sa prejavuje amenoreou a u mužov stratou sexuálneho záujmu a potencie. Prítomné môžu byť aj zvýšené hladiny kortizolu a rastového hormónu, zmeny periférneho metabolizmu tyreoidného hormónu a odchýlky vo vylučovaní inzulínu.
5. V prípade ak sa mentálna anorexia začala ešte pred pubertou, tak je priebeh puberty oneskorený, prípadne ide až o zablokovanú pubertu, kedy je zastavený rast, nevyvíjajú sa prsníky, prítomná je primárna amenorea, u chlapcov zostáva detský genitál. Po uzdravení dochádza často k normálnemu dokončeniu puberty, menarché je oneskorené.

Kritériá hospitalizácie u detí a adolescentov sú:

a) deficit hmotnosti ≥ 75 % ideálnej hmotnosti, alebo pokračujúce chudnutie napriek intenzívnej terapii,
b) odmietanie jedenia,
c) bezvedomie,
d) % tuku ≤ 10,
e) bradykardia ≤ 50/min počas dňa a ≤ 45/min v noci,
f) systolický tlak krvi ≤ 90 Torr,
g) ortostatické zmeny pulzu (≥ 20/min) alebo tlaku ≥ 10 Torr,
h) telesná teplota pod 35,5 °C,
i) arytmia s predĺženým PQ intervalom,
j) iónová dysbalancia (K ≤ 3,2 mmol/l, Cl ≤ 88 mmol/l),
k) vracanie, hemateméza – vracanie krvi,
l) zlyhanie ambulantnej liečby.

Mentálna bulímia je druhou z najčastejších porúch príjmu potravy. Ochorenie sa prejavuje epizódami záchvatového prejedania sa, ktoré sú sprevádzané pokusmi zbaviť sa zjedeného jedla vracaním, užívaním laxatív, cvičením alebo obmedzením jedla s nadmernými obavami týkajúcimi sa hmotnosti a vzhľadu.

Pri mentálnej bulímii dochádza k zmenám v telesnom zložení, ktoré súvisí so znížením telesnej hmotnosti a úbytku FM. Znižuje sa aj MM, pričom sa môže vyskytnúť aj dehydratácia a narušenie elektrolytickej rovnováhy. Nadmerné prejedanie môže viesť k život ohrozujúcim stavom, ako je prasknutie žalúdka. V dôsledku použitia laxatív sa môže vyvinúť hypokaliémia a srdcové arytmie a v dôsledku zvracania aj poškodenie skloviny. Tieto zmeny môžu mať vážne následky na zdravie, vrátane oslabenia imunity, narušenia tráviaceho systému a hormonálnych problémov, ako je nepravidelná menštruácia či neplodnosť. Prevalencia bulímie sa pohybuje okolo 1,1 % v prípade žien a 0,1 % u mužov. Ochorenie sa často začína okolo 18. roku života, ale môže sa vyskytnúť aj v detstve alebo v dospelosti.

Bližšie neoznačené poruchy príjmu potravy sú poruchy, ktoré nespĺňajú všetky kritériá špecifickej poruchy. Ide o veľmi heterogénnu skupinu. Časté sú najmä u adolescentov. Patria sem pacienti s anorektickými symptómami, ktoré síce vykazujú značnú stratu na telesnej hmotnosti, no jej hodnoty sú nad hranicou 85 % očakávanej telesnej hmotnosti alebo ich BMI je vyššie ako 17,5. Ďalej sem patria pacienti, u ktorých sa bulimická symptomatika objavuje menej často ako dvakrát do týždňa. Príkladom nešpecifickej poruchy príjmu potravy je aj porucha záchvatového prejedania sa (*binge eating disorder* – BED). Pri tomto type poruchy príjmu potravy osoba opakovane zažíva epizódy nekontrolovaného jedenia veľkého množstva jedla za krátky čas. Tieto epizódy sú sprevádzané pocitom straty kontroly a silným emočným nepohodlím. Na diagnostiku poruchy záchvatového prejedania musí dochádzať k záchvatom aspoň 1-krát týždenne počas najmenej troch mesiacov. Základný rozdiel medzi bulímiou a touto poruchou je v tom, že u BED sa po záchvate prejedania nevyskytuje pravidelne kompenzačné správanie, ako je vracanie, nadmerné cvičenie alebo používanie preháňadiel, ktoré sú typické pre bulímiu. Medzi fyzické príznaky patrí rýchle priberanie na hmotnosti až obezita (hoci nie všetci s BED sú obézni), poruchy trávenia, bolesti žalúdka a nadúvanie. Z psychologických a behaviorálnych príznakov je prítomné nízke sebavedomie, depresia, úzkosť, stres alebo nespokojnosť so svojím telom, izolácia kvôli pocitom hanby, konzumácia jedla osamote, aby sa predišlo pozornosti, skrývanie jedla alebo „zásobovanie sa“ jedlom na budúce epizódy. U jedincov je zvýšené riziko vzniku obezity, diabetes mellitus 2. typu, kardiovaskulárnych ochorení, vysokého krvného tlaku a tráviacich problémov.

Obezita

Obezita (lat. *obesus* – dobre živený, tučný) predstavuje chronické ochorenie charakterizované nadmerným množstvom FM vyjadreným ako BMI ≥ 30 kg/m^2 (tab. 1).

Tab. 1 Klasifikácia telesnej hmotnosti u dospelých jedincov v kaukazoidnej populácii na základe BMI (WHO 2000).

Klasifikácia	**BMI**	**Zdravotné riziko**
Podváha/podhmotnosť	< 18,5	-
Optimálna hmotnosť	18,5 – 24,9	-
Zvýšená hmotnosť	≥ 25	-
Preobézny stav/nadhmotnosť	25,0 – 29,9	mierne zvýšené
Obezita I. stupňa	30,0 – 34,9	stredne zvýšené
Obezita II. stupňa	35,0 – 39,9	veľmi zvýšené
Obezita III. Stupňa	≥ 40	Vysoké

Zásady hodnotenia BMI sa však líšia v kaukazoidnej a ázijskej populácii. Ázijská populácia má kritériá hodnotenia BMI nižšie, čo je zapríčinené sledovaním vyššieho podielu FM v pomere k telesnej hmotnosti a vyššej morbidity pri relatívne nízkom BMI vo vykonaných štúdiách (nadhmotnosť: BMI = 23,0 – 24,9; obezita: BMI ≥ 25).

Odhaduje sa, že počet obéznych ľudí sa od 70. rokov minulého storočia až strojnásobil. Svetová federácia obezity odhaduje, že v súčasnosti žije s obezitou 800 miliónov ľudí, z toho 39 miliónov sú deti do päť rokov (2020) a 340 miliónov sú deti a dospievajúci vo veku od päť do 19 rokov. Okrem toho existuje najmenej o jednu miliardu viac ľudí, ktorým hrozí nadhmotnosť alebo obezita. Obezita je preto označovaná za globálnu epidémiu a vo svojej dynamike prechádza štyrmi fázami, ktoré odrážajú jej progresívny vplyv na jednotlivca aj spoločnosť.

1. **Prvá fáza** je charakterizovaná postupným nárastom počtu ľudí s nadhmotnosťou a obezitou. Tento trend je spôsobený zmenou životného štýlu, a to zvýšeným príjmom vysoko kalorických potravín, sedavým spôsobom života a nedostatkom fyzickej aktivity.
2. **Druhá fáza** zahŕňa progresívny nárast ochorení súvisiacich s nadhmotnosťou a obezitou, ako sú: kardiovaskulárne ochorenia (hypertenzia, ischemická choroba srdca), metabolické poruchy (diabetes mellitus 2. typu, metabolický syndróm), onkologické ochorenia (vyššie

riziko vzniku rakoviny prsníka, hrubého čreva, endometria, prostaty či pankreasu), respiračné problémy (spánkové apnoe, znížená pľúcna kapacita), ortopedické ochorenia (osteoartritída spôsobená nadmerným zaťažením kĺbov, bolesti chrbta), hormonálne poruchy (zvýšené FM ovplyvňuje aj produkciu estrogénu, testosterónu a ďalších hormónov, čo môže spôsobiť problémy s fertilitou).

3. **Tretia fáza** zahŕňa dopad týchto chorôb na celkový zdravotný stav a dĺžku života populácie. Obezita významne ovplyvňuje celkový zdravotný stav a skracuje dĺžku života. Priemerné skrátenie života spôsobené obezitou sa pohybuje od dvoch do siedmich rokov, v závislosti od závažnosti obezity a prítomnosti pridružených ochorení.
4. **Štvrtá fáza** je poslednou fázou a odráža zrýchlenie šírenia obezity, ktoré je do veľkej miery spôsobené transgeneračnými mechanizmami. Príkladom sú obézne matky, kedy deti narodené obéznym matkám majú významne vyššie riziko vzniku obezity v detstve aj v dospelosti). Ďalej sem patria hormonálne a metabolické zmeny počas tehotenstva, ktoré môžu ovplyvniť metabolizmus dieťaťa. V neposlednom rade sem zaraďujeme stravovacie návyky a životný štýl, kedy v rodinách s obezitou sa často tieto návyky prenášajú aj na ďalšie generácie.

Obezitu považujeme za multifaktoriálne podmienenú metabolickú poruchu, ktorá vzniká v dôsledku interakcie genetických dispozícií s faktormi vonkajšieho prostredia. Prvotnou príčinou zvyšovania sa prevalencie nadhmotnosti a obezity je bilancia medzi energetickým príjmom a energetickým výdajom, čo môže zapríčiniť zvyšovanie celkového energetického príjmu alebo zníženie energetického výdaja. Druhotnou príčinou vzniku obezity sú zmeny v správaní a environmentálne faktory, ktoré môžu urýchliť energetický príjem a znížiť energetický výdaj. Genetické faktory zohrávajú významnú úlohu pri vzniku obezity a geneticky podmienená obezita sa delí na tri hlavné typy:

1. *Monogénna obezita* – spôsobená mutáciou alebo deficitom jedného génu. Ide o zriedkavú, ale závažnú príčinu obezity. Táto forma sa vyskytuje pri mutáciách génov zapojených do leptín-melanokortínovej dráhy. Typickými príznakmi sú hyperfágia (neuhasiteľný hlad) a obezita s včasným nástupom (vo veku 3 – 5 rokov).
2. *Polygénna obezita* – výsledkom je prítomnosť viacerých génových variantov, ktoré majú kumulatívny efekt. Tento typ je bežnejší a má miernejší priebeh v porovnaní s monogénnou obezitou. Genómové asociačné štúdie (GWAS) identifikovali viaceré gény spojené s týmto typom. Existuje okolo 250 kandidátnych génov, ktoré sa podieľajú na rozvoji obezity.

3. *Syndrómová obezita* – spája sa s ďalšími príznakmi vývinových porúch alebo vrodených malformačných syndrómov. Typickými znakmi sú dysmorfické črty a abnormality orgánov. Medzi príklady patrí Prader-Williho syndróm, Cohenov syndróm alebo Bardet-Biedl syndróm.

Štúdie dvojčiat, biologických a adoptívnych rodín poskytujú dostačujúce dôkazy o genetických vplyvoch vo variáciách BMI s odhadmi heritability od 50 – 90 % pričom zvyšný rozptyl sa pripisuje vplyvom prostredia, zdieľaného či už rodinnými príslušníkmi, súrodencami alebo špecifickým pre jednotlivca. Vedecky dokázanou sa stala aj skutočnosť, že ak biologická matka bola štíhla, tak pravdepodobnosť, že jej dieťa bude štíhle, je až 75 %. Obezita u matiek je už dlho identifikovaná ako najsilnejší rizikový faktor pre vznik obezity v detstve. Navyše, jedna štúdia dospela k záveru, že existuje silná asociácia medzi adipozitou matiek a ich dcér, avšak nie ich synov. Naopak, v tejto štúdii nebola preukázaná podobná asociácia medzi adipozitou otcov a ich potomkov. Silnejšia asociácia medzi FM matiek a ich detí naznačuje možnú úlohu intrauterinného prostredia v rozvoji obezity v neskoršom živote. Avšak, dôkazy o spojitosti medzi stravou matky počas tehotenstva a pôrodnou hmotnosťou sú v súčasnosti nedostatočné. Zároveň prostredie maternice má zásadný vplyv na skorý vývoj. Metaanalýza 14 štúdií zistila, že fajčenie matky počas tehotenstva bolo spojené s 50 % vyšším rizikom obezity v detstve. Prírastok hmotnosti matky počas tehotenstva vedie k inzulínovej rezistencii a gestačnému diabetu, ktoré sa prejavujú väčšou pôrodnou hmotnosťou. Navyše, viaceré štúdie zistili priamu asociáciu medzi pôrodnou hmotnosťou a BMI v neskoršom živote. V súčasnosti vieme, že prírastok hmotnosti počas tehotenstva a gestačný diabetes prispievajú k vzniku obezity u potomstva. Pri obezite sa tak isto zistila vyššia korelácia telesnej hmotnosti v štúdií adoptovaných detí s adoptívnymi rodičmi v porovnaní s biologickými rodičmi. Výskumy naznačujú, že aj samotný mesiac narodenia môže ovplyvniť riziko obezity. Deti narodené v zime častejšie čelia riziku rozvoja obezity v dospelosti. Tento jav sa vysvetľuje adaptačnými mechanizmami novorodencov na chlad, ktorých následky môžu pretrvávať až do dospelosti. Medzi ďalšie rizikové faktory sa identifikovali aj nízka alebo vysoká pôrodná hmotnosť, ktoré môžu zdvojnásobiť pravdepodobnosť vzniku obezity v neskoršom veku. Postnatálne obdobie je rovnako dôležité pre nastavenie tempa priberania počas celého života. Medzi modifikovateľné postnatálne faktory, ktoré ovplyvňujú hmotnosť v neskoršom živote, patria: dĺžka spánku, dĺžka dojčenia a rýchlosť priberania dojčaťa. Zaujímavé je, že krátka dĺžka spánku u detí je priamo spojená s priberaním na hmotnosti v dojčenskom aj dospelom veku. Metaanalýza 42 štúdií dospela k záveru, že krátka dĺžka spánku je rizikovým faktorom

pre vznik obezity v akomkoľvek veku. Výskum zároveň identifikoval depresiu matky, zavedenie tuhej stravy pred 4. mesiacom a sledovanie televízie dojčaťom ako faktory prispievajúce k zníženiu dĺžky spánku dojčaťa. Metaanalýza 17 štúdií zistila, že dlhšie dojčenie je spojené s nižším rizikom priberania na hmotnosti u dieťaťa. Každý mesiac dojčenia znižuje riziko priberania o 4 %. Rýchlosť, akou dieťa priberá na hmotnosti, bola tiež spojená s obezitou v neskoršom živote. Systematický prehľad desiatich štúdií poukázal na súvislosť medzi rýchlym rastom v ranom veku a rizikom obezity v dospelosti.

Čo sa týka vplyvu pohlavia na vznik obezity bolo zistené, že muži majú vyšší pokojový metabolizmus (spotreba energie pri oddychu) a preto vyžadujú viac kalórií na udržanie svojej telesnej hmotnosti. U žien sa hlavne v období menopauzy metabolizmus spomaľuje. To je sčasti dôvod, prečo mnoho žien po menopauze priberá. S pribúdajúcim vekom dochádza k spomaleniu metabolizmu a zníženiu fyzickej aktivity. Avšak, ľudia často konzumujú rovnaké množstvo jedla ako v mladšom veku, čo následne vedie k zvyšovaniu telesnej hmotnosti. Medzi sociálne faktory patrí vzdelanie, ktoré má výrazný vplyv na pravdepodobnosť vzniku obezity. Štúdie ukazujú na jasnú súvislosť medzi vyššou úrovňou vzdelania a nižším rizikom rozvoja nadhmotnosti a obezity. Vzdelanejší ľudia si častejšie osvojujú zdravý životný štýl, čo zahŕňa vyváženú stravu a pravidelnú fyzickú aktivitu, čím výrazne prispievajú k udržaniu optimálnej telesnej hmotnosti. Medzi psychologické faktory patria negatívne emócie, ako sú depresia, smútok alebo hnev, ktoré môžu viesť k záchvatovému prejedaniu, pričom tento problém postihuje približne 30 % ľudí s obezitou. Z tohto dôvodu zohráva psychologická pohoda kľúčovú úlohu v prevencii a liečbe obezity, keďže stabilné emocionálne zdravie pomáha predchádzať nežiaducim stravovacím návykom. V neposlednom rade k rozvoju obezity prispievajú rôzne choroby a s nimi spojené užívanie liekov. Napríklad hypotyreóza (znížená funkcia štítnej žľazy) môže spomaľovať metabolizmus, čo vedie k nárastu telesnej hmotnosti. Podobne aj užívanie určitých liekov, ako sú steroidy alebo antidepresíva, môže významne prispievať k zvýšeniu telesnej hmotnosti. Ďalej sú to vírusové infekcie, v rámci ktorých bolo doteraz identifikovaných najmenej sedem druhov vírusov, ktoré u experimentálnych zvierat spôsobili nadmerné ukladanie tuku a obezitu.

Na základe lokalizácie telesného tuku sa obezita rozdeľuje na androidný (centrálna alebo viscerálna obezita) a gynoidný typ (periférna alebo podkožná obezita). Centrálna obezita je nadmerné nahromadenie tuku v brušnej oblasti, ktorý obklopuje brušné orgány, čo predstavuje metabolické riziko. Tento typ obezity má tvar jablka. Na odhalenie centrálnej obezity je najjednoduchším spôsobom a jedným z najpresnejších antropometrických ukazovateľov brušné-

ho tuku práve meranie obvodu pása, ktorý je dôležitým indikátorom androidnej obezity (u mužov nad 102 cm, u žien nad 88 cm). Viscerálna adipozita sa spája s vyššou metabolickou morbiditou a mortalitou v dôsledku súvisiacej vyššej úrovne zápalových procesov v porovnaní s adipozitou vyskytujúcou sa v iných častiach tela. Tuk nachádzajúci sa v oblasti brucha je asociovaný s väčšími zdravotnými rizikami ako tuk v periférnych oblastiach, napr. v gluteálno-femorálnej oblasti. Pri gynoidnom type obezity sa tuk ukladá najmä v oblasti bokov, stehien a zadku. Tento typ obezity má tvar hrušky a pri jeho diagnostike sa využíva hodnotenie pomeru pása a bokov (Waist-to-Hip Ratio – WHR), pričom hodnoty nižšie ako 0,85 u žien a 1,0 u mužov sú typické pre gynoidnú obezitu.

Liečba obezity predstavuje komplexný proces, ktorý zahŕňa rôzne prístupy, ktoré sa kombinujú na dosiahnutie trvalých zmien v telesnej hmotnosti a zlepšení celkového zdravia. Patrí sem dietoterapia, terapia pohybom, farmakoterapia, kognitívno-behaviorálna terapia a chirurgický zákrok. Základom liečby obezity je často úprava stravy. Zníženie o 15 – 30 % zaužívaného energetického príjmu môže byť dostatočné na to, aby sa dosiahla požadovaná strata hmotnosti. Dietológ vytvorí jedálniček, ktorý zohľadňuje nielen energetický príjem, ale aj nutričné potreby pacienta. Dôležité je, aby diéta bola vyvážená a udržateľná, s cieľom dosiahnuť dlhodobé výsledky a zároveň aby neznižovala kvalitu života. Neoddeliteľnou súčasťou úspešnej liečby obezity je pohybová aktivita. U obéznych pacientov sa odporúčajú športy, ktoré sú ľahko tolerovateľné a nepreťažujú kĺby. Medzi vhodné aktivity patrí: posilňovanie, pomalý beh, plávanie, kratšie bicyklovanie, rýchla chôdza, volejbal a golf. V niektorých prípadoch sa na liečbu obezity používajú aj lieky. Tieto lieky môžu pomôcť kontrolovať chuť do jedla, zvyšovať energetický výdaj alebo podporovať oxidáciu tukov. Niektoré z používaných liekov zahŕňajú sibutramín (znižuje chuť do jedla) a orlistat (znižuje vstrebávanie tukov v tráviacom trakte). Avšak, farmakoterapia je efektívna len v kombinácii s diétou a pohybovou aktivitou. Psychologická terapia je zameraná na zmenu negatívnych návykov a postojov, ktoré prispievajú k nadhmotnosti alebo obezite. Pomáha pacientom identifikovať a zmeniť nezdravé stravovacie a pohybové správanie, riešiť emocionálne problémy spojené s jedlom a naučiť sa techniky, ktoré podporujú zdravý životný štýl. Pre pacientov s BMI nad 35 – 40, ktorí neúspešne vyskúšali iné formy liečby, môže byť indikovaná chirurgická liečba. Medzi najbežnejšie chirurgické zákroky patrí operácia žalúdka, ako je bandáž žalúdka, bariatrická chirurgia alebo gastrická bypass operácia.

Sarkopénia

Sarkopénia je definovaná ako vekom podmienená progresívna a generalizovaná porucha svalového systému charakterizovaná úbytkom MM, sily a funkcie, ktorá sa spája so zhoršenou mobilitou, fyzickou výkonnosťou a vedie k zdravotným ťažkostiam a telesným postihnutiam. Zvyšuje riziko pádov, čo následne smeruje k nízkej kvalite života a zvýšenej mortalite predovšetkým u starších ľudí.

V roku 1989 Irwin Rosenberg zaviedol pojem „sarkopénia" (z gréckeho „sarx" – mäso a „penia" – nedostatok) na označenie vekovo podmienenej straty MM. Neskôr sa tento termín používal na opis súčasnej straty kostrového svalstva a svalovej sily v pokročilom veku. Z patofyziologického hľadiska možno sarkopéniu považovať za zlyhanie orgánu, konkrétne „svalovú insuficienciu", ktorá sa môže vyvíjať chronicky alebo akútne napríklad počas hospitalizácie a dlhodobého ležania na lôžku. Po 40. roku života strácajú zdraví dospelí približne 8 % svojej MM každých desať rokov. Medzi 40. a 70. rokom života to predstavuje priemernú stratu až 24 % MM. Táto strata sa po 70. roku zrýchľuje na 15 % za dekádu.

Prevalencia sarkopénie, definovaná podľa kritérií Európskej pracovnej skupiny pre sarkopéniu u starších osôb (EWGSOP), sa pohybuje od 1 % do 29 % v bežnej populácii, od 14 % do 33 % v zariadeniach dlhodobej starostlivosti a približne 10 % dosahuje v akútnej nemocničnej starostlivosti. Prevalencia sa výrazne líši v závislosti od veku a geografickej oblasti.

Na vývoj sarkopénie môže prispievať viacero rizikových faktorov, ktoré možno rozdeliť do štyroch hlavných kategórií. Prvú tvoria osobné faktory, medzi ktoré patrí vek a pohlavie. S narastajúcim vekom dochádza k poklesu MM a sily, pričom ženy sú týmto procesom postihnuté častejšie než muži. Riziko zvyšuje aj nízka pôrodná hmotnosť, a genetické predispozície, ktoré ovplyvňujú svalový metabolizmus a jeho regeneráciu počas života. Druhú kategóriu predstavujú hormonálne faktory a zápal. S vekom dochádza k zmenám v hormonálnych dráhach, ako sú pokles hladín testosterónu, estrogénov, rastového hormónu, ktoré vedú k strate MM. Zároveň chronický subklinický zápal, ktorý je charakteristickým znakom starnutia, zohráva významnú úlohu v patogenéze sarkopénie. Dôležitým faktorom je aj mitochondriálna dysfunkcia v svalových bunkách, ktorá prispieva k strate svalov. Tretia kategória zahŕňa faktory životného štýlu. Znížený príjem potravy, najmä bielkovín, sedentarizmus, nedostatok fyzickej aktivity, nadmerné užívanie alkoholu a fajčenie sú silno spojené s rizikom sarkopénie. Dlhodobý odpočinok na lôžku a imobilizácia spôsobujú výrazné straty MM, najmä u starších dospelých. Poslednú kategóriu tvoria chronické zdravotné stavy, medzi ktoré patria kognitívne poruchy, mentálne poruchy, cukrovka a terminálne ochorenia orgánov. Tieto stavy vedú k výraznej strate MM a sily, čím zvyšujú riziko rozvoja sarkopénie.

EWGSOP v roku 2010 stanovila klasifikáciu sarkopénie na presarkopéniu (znížená MM s normálnou silou a fyzickou výkonnosťou), sarkopéniu (znížená MM so zníženou silou alebo výkonnosťou) a ťažkú sarkopéniu (znížená MM, sila a výkonnosť). V roku 2019 EWGSOP upravila svoju prvú definíciu sarkopénie s cieľom zohľadniť nové a aktualizované vedecké a klinické informácie, ktoré boli zistené za posledné desaťročie. Aktualizovaná definícia sarkopénie podľa EWGSOP je charakterizovaná nasledovne:

- pravdepodobná sarkopénia, prítomnosť nízkej svalovej sily,
- potvrdená sarkopénia, prítomnosť nízkej kvality a kvantity svalov,
- závažná sarkopénia, súčasná existencia slabej fyzickej výkonnosti spolu s nízkou svalovou silou a nízkou kvalitou/kvantitou svalov.

Metódy skúmania svalovej sily, ako napríklad test sily úchopu sú bežne používané na hodnotenie svalovej sily. V roku 2019 stanovil EWGSOP nové hraničné hodnoty pre diagnostiku nedostatočnej svalovej sily, ktoré sú zlučiteľné s diagnózou pravdepodobnej sarkopénie, a to hodnoty pod 27 kg u mužov a 16 kg u žien pri teste sily v úchopoch. Okrem toho, ak pacient nie je schopný používať dynamometer alebo ho nemá k dispozícii, odporúča sa vykonať test stoličky, ktorý meria čas potrebný na to, aby sa pacient päťkrát postavil. U starších žien sa pravdepodobnosť sarkopénie zvyšuje o 8 % s každým predĺžením času vykonania testu o jednu sekundu. Metódy hodnotenia fyzickej výkonnosti, ako je napríklad krátky fyzický test nazývaný „Short Physical Performance Battery“ (SPPB), sa často používajú na hodnotenie fyzickej kondície. SPPB a rýchlosť chôdze sa považujú za najspoľahlivejšie testy. SPPB test sa skladá z troch častí:

1. **Test rovnováhy:** test slúži na zhodnotenie schopnosti jedinca udržať telesnú stabilitu v statických podmienkach. Skúmaná osoba sa postupne postaví do troch rôznych polôh: najprv so spojenými chodidlami, následne do polohy pätou k špičke a napokon do tandemového postoja (jedna noha pred druhou, päta jednej nohy sa dotýka špičky druhej). V každej z týchto pozícií je meraná osoba inštruovaná zotrvať po dobu desiatich sekúnd bez straty rovnováhy.
2. **Test rýchlosti chôdze:** hodnotí sa dynamická rovnováha a funkčná mobilita dolných končatín. Úlohou testovanej osoby je prejsť vzdialenosť štyri metre v prirodzenom, bežnom tempe. Zaznamenáva sa čas, ktorý bol na tento úsek potrebný. Nasleduje test sedenia a vstávania zo stoličky, kde sa skúma svalová sila dolných končatín meraním času potrebného na päťnásobné vstanie zo stoličky bez použitia rúk.

3. **Test vstávania zo stoličky:** test je zameraný na posúdenie svalovej sily a vytrvalosti dolných končatín. Testovaný jedinec je požiadaný, aby v čo najkratšom čase päťkrát vstal zo stoličky a opäť sa posadil, a to bez pomoci horných končatín. Zaznamenáva sa celkový čas potrebný na vykonanie piatich kompletných opakovaní.

Každá časť je hodnotená bodmi od nula do štyri, pričom najvyšší dosiahnuteľný počet bodov je 12 a najnižší je nula. Ak je celková hodnota nižšia ako osem bodov, fyzická výkonnosť sa považuje za nízku. Test „Timed Get-Up-and-Go" (TGUG) môže tiež slúžiť na meranie výkonnosti. Hodnotí čas potrebný na vykonanie sekvencie úkonov (vstávanie zo stoličky, krátka chôdza, otočenie, návrat a opätovné posadenie). Tento test zároveň hodnotí dynamickú rovnováhu a skóruje sa na päťbodovej stupnici. Na identifikáciu zhoršenej svalovej výkonnosti v klinickej praxi a vo výskumnej oblasti však môže stačiť meranie rýchlosti chôdze. Rýchlosť chôdze < 0,8 m/s sa považuje za znak obmedzenia pohyblivosti.

Pre potvrdenie diagnózy je potrebné vykonať aj merania MM s využitím rôznych diagnostických nástrojov, resp. metód v závislosti od dostupnosti a účelu, a to prostredníctvom BIA, DEXA, CT, MRI a antropometrie. Následne je potrebné vypočítať hodnotu svalovej hmoty končatín (ASM – apendikulárna kostrová svalová hmota, appendicular skeletal muscle mass) pomocou rovnice, ktorá odhaduje objem kostrového svalstva horných a dolných končatín. Výpočet je realizovaný prostredníctvom rovnice:

$$ASM = -3{,}964 + (0{,}227 \times (\text{telesná hmotnosť (kg)}^2 / \text{bioelektrický odpor } (\Omega))) + (0{,}095 \times \text{telesná výška (cm)}) + (1{,}384 \times \text{pohlavie}) + (0{,}064 \times \text{obvod lýtka (cm)}),$$

kde výsledná hodnota ASM je následne vydelená druhou mocninou telesnej výšky (v metroch), čím získame index ASM/H², normalizovaný na telesnú výšku. Tento normalizovaný ukazovateľ umožňuje presnejšie porovnanie MM medzi jedincami s rôznou telesnou výškou.

Zápal, inzulínová rezistencia a fyzická nečinnosť podporujú ukladanie tuku, anabolickú rezistenciu a lipotoxicitu v sarkopenickom svalstve. Preto práve výživa a fyzické cvičenie sú dva najdôležitejšie komponenty akejkoľvek intervencie zameranej na liečbu sarkopénie.

Rezistentný tréning zvyšuje svalovú silu a MM a zlepšuje proteínovú akréciu v kostrových svaloch. Aeróbne cvičenie navyše zlepšuje citlivosť na inzulín. Nedávny prehľad analyzoval účinky fyzického cvičenia v rôznych

štúdiách zameraných na sarkopéniu. Väčšina cvičebných intervencií ukázala zlepšenie svalovej sily a fyzickej výkonnosti, avšak iba tri zo siedmich štúdií preukázali nárast MM. Výsledky naznačujú, že kombinácia rôznych typov cvičenia v rámci jedného programu môže zlepšiť svalovú silu a fyzickú výkonnosť lepšie ako jednotný cvičebný režim. Všetky zahrnuté štúdie boli vykonané na sedavých, starších ľuďoch žijúcich v komunite. Štúdie zahŕňajúce iné populácie sú zatiaľ zriedkavé. Navyše, žiadna zo štúdií nezahrnula účastníkov výlučne na základe ich sarkopenického statusu. Počet účastníkov bol vo väčšine prípadov obmedzený a štúdie sa zvyčajne vykonávali v rámci jednej krajiny. Korekcia výživových deficitov je ďalším kľúčovým cieľom pri riešení sarkopénie. Odporúčaný denný príjem bielkovín pre starších dospelých so sarkopéniou je viac ako 1,2 g na kilogram telesnej hmotnosti, s výnimkou osôb so závažnou dysfunkciou obličiek. Hoci sa nutričná intervencia považuje za jeden zo štandardných prístupov v manažmente sarkopénie, chýbajú veľké klinické štúdie so štandardizovanými postupmi pri jednoduchých alebo komplexných výživových intervenciách. Päť štúdií nepreukázalo konzistentný vplyv suplementácie bielkovín na MM a funkciu. Podobné výsledky priniesla suplementácia esenciálnymi aminokyselinami (najmä leucínom), ktorá mala len mierny efekt na MM a funkciu. Existujú však dôkazy, že β-hydroxy β-metylbutyrát (HMB), kreatín a niektoré mliečne proteíny môžu pozitívne ovplyvniť proteínovú rovnováhu v kostrových svaloch. Korekcia deficitu vitamínu D je nevyhnutná pre správnu svalovú funkciu a všeobecne sa odporúča, avšak účinnosť suplementácie pri normálnych hladinách vitamínu D v krvi je predmetom diskusie, rovnako ako jej účinky pri sarkopénii. V súčasnosti nie je schválený žiadny liek na liečbu sarkopénie a štúdie s anabolickými hormónmi nepreukázali žiadny klinicky významný efekt.

Sarkopenická obezita

Sarkopenická obezita je novodobý syndróm, ktorý sa vyznačuje súčasnou prítomnosťou dvoch hlavných problémov, a to nízkou MM (sarkopéniou) a zvýšenou telesnou FM (obezitou). Patogenéza je multifaktoriálna, kedy existuje interakcia medzi starnutím, sedavým životným štýlom a nezdravými stravovacími návykmi, inzulínovou rezistenciou, zápalom a oxidačným stresom. Ide o komplexný jav, pri ktorom dochádza k strate MM a funkcie, pričom FM, najmä v oblasti brucha, môže byť zachovaná alebo dokonca zvýšená. Tento stav môže byť nepozorovaný, ak sa primárne zameriavame len na obezitu, čo môže viesť k zhoršeniu zdravotného stavu a zvýšeniu rizika vzniku ďalších problémov. Viscerálna adipozita môže zohrávať kľúčovú úlohu pri rozvoji sarkopenickej obezity. Sarkopenická obezita sa najčastejšie zaznamenáva

u starších ľudí, keďže riziko aj prevalencia sa s vekom zvyšujú. V súčasnosti sa odhaduje, že sarkopenickou obezitou trpí približne 11 % starších dospelých po celom svete, pričom jej prevalencia sa dramaticky zvyšuje po 70. roku života.

Obezita a sarkopénia sa môžu vzájomne zosilniť a pôsobiť synergicky, čo spôsobuje fyzické poškodenie, metabolické poruchy a zvýšenú úmrtnosť. Starnutie je často spojené s chronickými zápalovými ochoreniami, ako je obezita, ateroskleróza, cukrovka 2. typu a inzulínová rezistencia. U starších ľudí je syntéza svalových proteínov rezistentná na anabolický účinok inzulínu. Preto môže byť inzulínová rezistencia spojená so stratou MM súvisiacou so starnutím. Naopak, strata kostrového svalstva, ktoré je najväčším inzulínom citlivým cieľovým tkanivom, môže spôsobiť inzulínovú rezistenciu, ktorá podporuje vznik kardiovaskulárneho ochorenia a iných metabolických porúch. Navyše, zvyšovanie VAT môže viesť k zvýšenej sekrécii prozápalových cytokínov, ktoré môžu podporovať katabolický účinok na svaly a inzulínovú rezistenciu. Niekoľko nedávnych štúdií zistilo, že zápal môže byť priamo spojený so sarkopéniou. Nadmerný príjem energie, fyzická nečinnosť, zápal nízkej intenzity, inzulínová rezistencia a zmeny v hormonálnej homeostáze sú považované za faktory, ktoré prispievajú k rozvoju sarkopenickej obezity.

Súčasná liečba sarkopenickej obezity sa zameriava na zlepšenie kvality života prostredníctvom intervencie životného štýlu a paliatívnej starostlivosti, ak sú pacienti imobilní. Prvou voľbou pri liečbe pacientov so sarkopenickou obezitou je cvičenie zamerané na zlepšenie svalovej funkcie. Sekundárne intervencie zahŕňajú suplementáciu mikroživín, diétnu, medikamentóznu, prípadne chirurgickú liečbu na reguláciu hmotnosti, alebo hormonálnu substitúciu, ak je potrebné. Doteraz neexistuje žiadna liečebná alebo iná cielená terapia sarkopenickej obezity, no pre mobilných pacientov sú základom liečby programy cvičení.

1.3.2 Zloženie tela vo vývinovej antropológii

Zámerom vývinovej antropológie je štúdium variability telesných zmien v priebehu ontogenézy, ako aj faktorov, ktoré tieto procesy ovplyvňujú. Samotné telesné zloženie sa v priebehu života mení a je ovplyvňované genetickými ako aj rôznymi exogénnymi faktormi. Zmeny v parametroch zloženia tela prebiehajú v niekoľkých fázach, pričom každá fáza je charakterizovaná špecifickými zmenami v distribúcii telesného FM, MM a BM. Poznanie a pravidelné monitorovanie telesného zloženia nám môže napomôcť odhaliť jedincov, u ktorých je tendencia rastu a vývinu narušená rôznymi nepriaznivými činiteľmi, akými sú podvýživa, vrodené vývinové chyby a choroby.

Posudzovanie obezity v detskom a dorastovom veku má svoje špecifiká vzhľadom na rast a vývin organizmu. Zistenie jednotlivých parametrov zloženia tela je neodmysliteľnou súčasťou komplexného zdravotného monitoringu detí a spolu s hodnotením endogénnych a exogénnych faktorov ovplyvňujúcich vývin má zásadný význam pre efektívnu preventívnu starostlivosť. Chronologický vek by sa mal preto považovať za nezávislú, nevyhnutnú premennú v regresnom modeli pre deti a adolescentov a za nevyhnutnú v modeloch na predpovedanie zloženia tela staršej populácie.

Novorodenecké obdobie

Toto obdobie trvá od narodenia dieťaťa do 4. týždňa (28 dní) života (chronologické vymedzenie), alebo od prestrihnutia pupočníka do jeho odpadnutia a zahojenia jazvy (biologické vymedzenie). Priemerná hmotnosť novorodenca je približne 3 300 g, priemerná dĺžka tela asi 50 cm. Dievčatá majú obidve hodnoty o niečo nižšie, avšak aj napriek tomu majú od narodenia vyššiu hodnotu FM ako chlapci. Obe hodnoty varírujú vplyvom rôznych faktorov. Krivka hmotnosti tela novorodenca klesá v prvých dňoch po narodení v priemere o 7 %, po treťom dni dochádza opäť ku zvyšovaniu hmotnosti, až sa do siedmich až desiatich dní hmotnosť ustáli na pôvodnú pôrodnú hmotnosť. Tento úbytok hmotnosti je zapríčinený stratou tekutín a sacharidových a tukových zásob. Samotnú skupinu narodených detí tvoria tie, ktoré majú nízku pôrodnú hmotnosť. Pre túto skupinu sa používajú rôzne pojmy – deti s nízkou pôrodnou hmotnosťou, predčasník, dieťa predčasne narodené, nedonosené, prematúrne, nezrelé. Za najvhodnejší názov považujeme označenie deti s nízkou pôrodnou hmotnosťou. Na základe odporúčania WHO je telesná hmotnosť 2 500 g určená ako limit nízkej pôrodnej hmotnosti.

Dojčenské obdobie

Toto obdobie je chronologicky vymedzené od 2. mesiaca po narodení do 1. roku života dieťaťa. Funkčne je toto obdobie vymedzené do prerezania 1. mliečneho zuba. Hmotnosť tela sa v tomto období výrazne zväčšuje. Počas prvého polroka života sa hmotnosť zdvojnásobí a na konci 1. roku dosahuje dieťa až o 200 % väčšiu hmotnosť, t. j. pôrodná hmotnosť sa zväčší trojnásobne, približne na 10 kg.

Batolivé obdobie

Toto obdobie je vymedzené od 1. do 3. roku života dieťaťa (chronologické vymedzenie), za funkčné vymedzenie sa považuje rast mliečneho chrupu a pohybový vývin v zmysle ovládnutia chôdze. V tomto období sa rast spomaľuje a aj pribúdanie na hmotnosti je nižšie ako v dojčenskom období. Priemerný prí-

rastok na hmotnosti medzi prvým a druhým rokom života je 2 500 g. Priemerná hmotnosť dieťaťa v 3. roku života predstavuje 15 kg. FM je v tomto období stále výraznejšia v porovnaní s MM.

Obdobie predškolského veku

Obdobie, ktoré je chronologicky vymedzené od 4. roku do 6 – 7 roku života a označuje sa tiež ako obdobie prvého detstva. Z funkčného hľadiska je kritériom prerezanie prvej trvalej stoličky. Hmotnostný prírastok je v tomto období približne 2 kg za rok. Stavba kostry a MM nie je ešte zreteľne odlišná medzi chlapcami a dievčatami.

Obdobie mladšieho školského veku

Toto obdobie trvá od konca 6. – 7. roku do 11 rokov (chronologické vymedzenie) a označuje sa tiež ako obdobie druhého detstva. Funkčné kritérium je rast trvalého chrupu a objavenie sa druhotných pohlavných znakov. Ročné prírastky na hmotnosti predstavujú okolo 2,5 kg. Priemerné hodnoty telesnej hmotnosti predstavujú u chlapcov približne 38 kg a u dievčat 37 kg. V tomto období pribúda u detí SAT, takže ich telesné tvary sa stávajú plnšími.

Obdobie staršieho školského veku a obdobie adolescentné

Obdobie staršieho školského veku trvá od 10. roku do 14. – 16. roku života a končí pohlavnou dospelosťou. Na toto obdobie úzko nadväzuje obdobie adolescentné, ktoré je ohraničené vekom od 15 do 18 až 20 rokov. V období od 12 – 18 rokov je kompozícia tela ovplyvnená najmä pubertálnym rastom a zmenami v zložení tela v dôsledku hormonálnych zmien. Bez ohľadu na zrelosť (skorá, zrelá alebo neskorá), rast je proces, ktorý vedie k zmenám v zložení tela. Pri identickej priemernej telesnej hmotnosti chlapcov a dievčat v detstve a prepuberte, v puberte sa začína prejavovať rozdielna proporcionalita FM a LBM. Chlapci majú väčší podiel LBM, zatiaľ čo dievčatá majú väčší podiel FM najmä kvôli hormonálnym rozdielom. U dievčat sa zvyšuje podiel FM, najmä v oblasti bokov, stehien a pŕs, čo súvisí s prípravou na reprodukciu. U chlapcov sa zvyšuje MM, najmä v hornej časti tela a ramenách, v dôsledku zvýšeného vplyvu testosterónu. Rovnako sa zvyšuje aj hustota kostí. Najmenší pohlavný rozdiel v zastúpení LBM sa pozoruje vo veku 11 – 12 rokov. To vyplýva zo skutočnosti, že pubertálne rastové zrýchlenie sa objavuje už v mladšom školskom veku u dievčat. V tomto období môže byť zloženie tela ovplyvnené aj životným štýlom, ako je strava a fyzická aktivita. Nárast FFM je intenzívnejší a trvá dlhšie u chlapcov, čo prispieva k významnej časti pohlavného dimorfizmu na konci puberty. Podľa typologickej konštitúcie jedincov rastie okrem množstva MM aj fyzická sila.

U dievčat sa na posúdenie sexuálnej zrelosti používa hodnotenie menarché (či sa menarché objavilo alebo nie). Buffa et al. (2002) dospeli k záveru, že sexuálna zrelosť, pozorovaná stavom menarché, je hlavnou príčinou rozdielov v zložení tela u dospievajúcich dievčat. Preto je nevyhnutné študovať možné variácie bioelektrických parametrov vo vzťahu k sexuálnej zrelosti. Montagnese et al. (2013) naznačili, že hlavným faktorom zabraňujúcim odchýlkam vo výsledkoch pri použití jedného BIA pre dospievajúcu populáciu (4 – 24 rokov) je vek alebo zrelosť.

Obdobie plnej dospelosti (Adultus)

Obdobie plnej dospelosti nastupuje po adolescentnom období a trvá približne do 30 rokov. V tomto období sa zloženie tela stabilizuje, pričom dosahuje svoje optimálne hodnoty, pokiaľ ide o rovnováhu medzi MM, FM a BM. U mužov je zvyčajne vyšší podiel MM a nižší podiel FM, zatiaľ čo u žien je to skôr naopak, s vyšším podielom FM. V tomto období je dôležité udržiavať zdravú telesnú hmotnosť prostredníctvom vyváženej stravy a pravidelnej fyzickej aktivity, ktorá pomáha udržiavať MM a metabolizmus.

Obdobie zrelosti (Maturus I)

Trvá od 30 do 45 rokov. V tomto období začína MM slabnúť a je potrebné ju vhodným spôsobom posilňovať. Zároveň sa zväčšuje sklon k ukladaniu SAT a tým dochádza k prírastku na celkovej hmotnosti tela.

Obdobie stredného veku (Maturus II) až staroba (Senilis)

Po období zrelosti nastupuje obdobie stredného veku, ktoré trvá od 45 rokov do 60 rokov. Po tomto období nasleduje staroba. S rastúcim vekom sa zvyšuje FM a znižuje sa FFM, čo je pripisované najmä strate MM. Množstvo MM sa znižuje od 55. do 75. roku v priemere o 3 až 5 % za každých desať rokov a po 75. roku klesá rapídne. Množstvo FM sa zvyšuje po 20. roku života o 1 až 3 % za každú dekádu až do 60. roku a potom mierne klesá. Znižuje sa TBW v dôsledku nedostatočného prísunu tekutín a jej úbytok nastáva hlavne na úkor jej intracelulárnej zložky. Vplyvom poklesu ICW a obsahu bielkovinových zložiek dochádza aj k stratám sodíka. So stúpajúcim vekom sa znižuje aj celkové množstvo draslíka v organizme a mení sa aj hladina bazálneho metabolizmu. Na vekové zmeny zloženia tela vplýva predovšetkým pohlavie, výživa, pohybová aktivita ako aj etnická príslušnosť. Pohlavie ovplyvňuje distribúciu telesného tuku a MM, pričom ženy majú tendenciu ukladať viac tuku v oblasti bokov a stehien, zatiaľ čo u mužov je častejšia akumulácia tuku v oblasti brucha. Výživa zohráva kľúčovú úlohu v udržiavaní správnej telesnej hmotnosti,

podpore MM a prevencii jej úbytku s vekom. Pohybová aktivita, najmä kombinácia silového a aeróbneho cvičenia, pomáha udržiavať MM a metabolizmus v optimálnom stave, čím znižuje riziko rozvoja sarkopénie a obezity. Etnická príslušnosť môže ovplyvniť distribúciu tuku a spôsob, akým telo reaguje na zmeny v strave a cvičení, pričom niektoré etnické skupiny môžu byť náchylnejšie k rozvoju určitých metabolických porúch, ako je obezita alebo inzulínová rezistencia.

1.3.3 Zloženie tela v športovej antropológii

Fyzická aktivita zahŕňa sériu rôznych aktivít, od neštruktúrovaných a denne vykonávaných aktivít až po štruktúrované fyzické cvičenie, ktoré sa vykonáva podľa vopred stanovených pravidiel, alebo dokonca až po konkrétny šport. Za fyzickú aktivitu sa považuje akákoľvek aktivita súvisiaca so zapojením kostrového svalstva v dôsledku čoho dochádza k výdaju energie. Má vplyv na MM v dôsledku zvýšeného výdaja energie a pomáha udržiavať LBM, BMD a tým pádom reguluje aj samotnú telesnú hmotnosť. Fyzicky aktívni ľudia majú nižšie percento FM ako ľudia, ktorí necvičia. Aeróbne aktivity, ako je beh, plávanie, cyklistika alebo rýchla chôdza, sú efektívne pri spaľovaní kalórií a redukcii FM. Tieto činnosti zvyšujú energetický výdaj a zlepšujú metabolizmus, čo vedie k poklesu FM, ak sa vykonávajú pravidelne a v kombinácii s vyváženou stravou. Silové cvičenia, ako sú posilňovanie, zdvíhanie závaží, tréning s vlastnou hmotnosťou (napríklad kliky, drepy) alebo tréning s odporovými pásmi sa zameriavajú na budovanie a posilňovanie MM. Aktivity, ktoré kombinujú silový tréning a aeróbne cvičenia, môžu zlepšiť pomer MM k FM. To znamená, že aj pri nezmenenom hmotnostnom údaji môže byť zlepšenie telesnej kompozície v zmysle zníženia percenta FM a zvýšenia MM.

Pravidelná fyzická aktivita výrazne prispieva k udržaniu psychofyzickej pohody vo všetkých fázach života. Vykonávanie cvičení stredne silnej až vysokej intenzity s motorickým dopytom vedie k autokrinným, parakrinným a endokrinným prispôsobeniam, ktoré modulujú svalový energetický metabolizmus, osteogénnu signalizáciu v kostiach a tvorbu myofibríl.

Počas staroby súvisia všeobecné benefity fyzickej aktivity väčšinou so znížením telesnej hmotnosti, udržaním alebo zlepšením pohyblivosti a znížením rizika vzniku ochorení. V skutočnosti fyzické cvičenie podstatne prispieva k spomaleniu alebo zvráteniu fyziologického trendu k sarkopénii. Zníženie výskytu sarkopénie s fyzickou aktivitou bolo odhadnuté na 55 %. Nedávna štúdia tiež potvrdila, že intenzívna alebo mierna fyzická aktivita pozitívne koreluje s hustotou MM u starnúcich ľudí.

Fyzická aktivita má tiež vplyv na myseľ. V skutočnosti sa dokázalo, že má kľúčovú úlohu pri znižovaní úzkosti a depresie alebo zlepšovaní duševného zdravia a odolnosti voči psychickému stresu. Nedávne štúdie navyše zistili, že fyzická aktivita v neskoršom veku tiež prispieva k zvýšeniu úrovne spokojnosti so svojím telom. Vzhľadom na vedecké dôkazy odporúčania WHO na udržanie fyzickej, psychickej a kognitívnej pohody vo vyššom veku navrhujú zaradiť aspoň 150 – 300 minút aeróbnej fyzickej aktivity strednej intenzity alebo 75 – 150 minút intenzívnej, resp. kombináciu oboch počas týždňa. Minimálne dvakrát týždenne by mal byť zaradený aj tréning na posilnenie svalov. A napokon, starší ľudia by mali do svojej týždennej rutiny (tri alebo viac dní v týždni) zaradiť cvičenie na zlepšenie rovnováhy a prevenciu pádov.

Analýza a sledovanie zloženia tela je v športe základom, pretože má význam pre zdravie a výkon športovcov ako aj pre tímový úspech. V rôznych športoch sa zloženie tela považuje za určujúci faktor atletického výkonu. Napríklad v športoch, kde sa telesná hmota musí opakovane zdvíhať proti gravitácii (napr. beh alebo skákanie), alebo kde je z estetických dôvodov potrebný štíhly vzhľad, sa postava, napr. vyznačujúca sa nízkym obsahom tukového tkaniva, považuje za dôležitú zložku telesnej zdatnosti a úspechu. Atletický výkon určuje množstvo faktorov. Z nich okrem genetických vlôh majú veľký význam aj adekvátne tréningové a regeneračné stratégie. Fyzický výkon a úspech tiež jednoznačne závisia od zdravia športovca a jeho schopnosti vyhýbať sa zraneniam. Zloženie tela môže tieto parametre ovplyvniť. Napríklad, dostatočná MM môže pomôcť predchádzať športovým zraneniam, zatiaľ čo zlá regulácia hmotnosti v športoch citlivých na váhu môže viesť k zdravotným problémom.

V športoch zahŕňajúcich silu a rýchlosť/výkon sa športovci snažia zvýšiť FFM a znížiť FM uplatňovaním špecifických tréningových a nutričných stratégií (napr. tréning na svalovú hypertrofiu a vysoký príjem bielkovín). Tu je potrebné rozlišovať medzi športovcami, ktorí sa zameriavajú výlučne na zvýšenie MM, a tými, ktorí sa snažia optimalizovať pomer sily k hmotnosti. Na druhej strane, vo vytrvalostných športoch môže optimalizované zloženie tela do značnej miery závisieť od typu vytrvalostného športu. Zatiaľ čo veslári môžu profitovať z vysokej MM a hustoty kostných minerálov, čo nevyhnutne zvyšuje telesnú hmotnosť, bežci na dlhé trate môžu najviac profitovať z nízkej telesnej hmotnosti a FM.

Vo všeobecnosti sa LBM považuje za prediktor svalovej kondície. Okrem toho, zatiaľ čo nadmerná hydratácia je u športovcov celkom nezvyčajná, fyziologické dehydratačné procesy môžu byť vyvolané fyzickou aktivitou, čo vedie k hypotonickej, izotonickej alebo hypertonickej dehydratácii.

Medzi športy, ktoré pomáhajú najviac posilňovať svaly, sa radí bedminton,

horolezectvo, jazda na bicykli, tanec, atletika, futbal, beh, lyžovanie, snowboarding, aerobik, plávanie či tenis. Šport musí byť však vykonávaný s vysokou intenzitou aspoň desať minút. Do tejto kategórie môžeme zaradiť aj športy ako hokej, korčuľovanie, pilates, volejbal, posilňovanie či jogu, ak sú športy vykonávané najmenej po dobu desať minút a účastník pritom cíti svalovú tenziu, trasenie alebo zvyšujúce sa teplo. Posilňovanie v kombinácii s inými aktivitami dvakrát alebo trikrát týždenne účinne zvyšuje MM. Posilňovanie patrí medzi najobľúbenejšiu aktivitu zameranú na zvýšenie fyzickej sily a MM. Pomáha pri raste MM aktiváciou syntetickej dráhy svalových proteínov, aktiváciou vytvárania satelitných buniek svalov, aktiváciou testosterónu a znížením degradačnej aktivity prozápalových cytokínov. Posilňovací tréning, ktorý spočíva v krátkom a intenzívnom cviku s následným odpočinkom, sa preukázal ako účinný pri zlepšovaní telesného zloženia znížením FM a zvýšením MM u jedincov s normálnou hmotnosťou aj s obezitou.

Športová antropológia zahŕňa rôzne metódy napomáhajúce športovcovi dosahovať elitný športový výkon. Dôležitejšie ako celková telesná hmotnosť je pre športovca poznanie množstva FM a LBM, a práve preto patrí bioimpedančná analýza k neodmysliteľne najviac používaným metódam, ktorá v súčasnosti nachádza uplatnenie v mnohých športových disciplínach, pretože prispieva k optimalizácii tréningového a súťažného procesu. Poznanie a pravidelné monitorovanie telesného zloženia poskytuje športovcovi, ako i trénerovi, cenné informácie odhaľujúce reakciu organizmu športovca na tréning a stravovacie návyky. V rámci telesného zloženia je možné sledovať rôzne parametre, ktoré sú nápomocné a často aj kľúčové pri dosahovaní maximálnych športových výkonov. Športovci a tréneri môžu na základe výsledkov analýzy prispôsobiť intenzitu ako aj obsah tréningu. Napríklad sledovanie MM môže indikovať potrebu zamerať sa na silový tréning alebo regeneráciu. Sledovanie zmien v hydratácii a MM napomáha pri hodnotení úpravy stravy a odpočinku. Správna hydratácia je základom pre optimálne fungovanie organizmu a rozvíjanie kondičných schopností športovca, pretože dehydratácia spôsobuje zahustenie krvi, a teda srdce musí vynaložiť viac úsilia na transport všetkých živín. Rýchlejšie sa zvyšuje pulzová frekvencia, organizmus skôr pociťuje únavu, oslabené sú koordinačné schopnosti, čím sa zvyšuje riziko zranenia, a to bráni dosiahnutiu optimálneho výkonu. Preto pre optimálnu regeneráciu je dôležité sledovať stratu tekutín počas intenzívneho cvičenia a zabezpečiť ich adekvátne doplnenie. To znamená, že tréneri a športovci by mali venovať pozornosť nielen správnej hydratácii pred, počas a po tréningu, ale aj sledovaniu zmien v telesnom zložení, aby sa zabezpečil najlepší možný výkon a regenerácia po náročných fyzických aktivitách.

Identifikácia nevyvážeností, napríklad medzi pravou a ľavou končatinou, môže byť kľúčová pri prevencii zranení najmä v asymetrických športoch. Analýza asymetrií v telesnom zložení je veľmi dôležitá pri prevencii zranení, najmä v športoch, ktoré si vyžadujú asymetrické pohyby alebo záťaž na jednu stranu tela viac ako na druhú. Identifikácia nevyvážeností medzi jednotlivými časťami tela, ako je napríklad rozdiel medzi pravou a ľavou končatinou, môže odhaliť rizikové faktory, ktoré by mohli viesť k zraneniam. Napríklad, ak je na jednej strane tela väčší podiel MM alebo silnejší svalový tonus, môže to viesť k nerovnomernému rozloženiu síl pri pohybe, čo zvyšuje riziko nadmerného zaťaženia alebo preťaženia. V asymetrických športoch, ako sú tenis, futbal, basketbal či vzpieranie, kde sú určité pohyby vykonávané prevažne jednou rukou alebo nohou (napríklad pri kopaní, hádzaní alebo švihaní raketou), môže byť takáto asymetria ešte výraznejšia. Ak sú svaly na jednej strane tela slabšie alebo menej flexibilné než na druhej, môže to viesť k nevyváženému zaťaženiu kĺbov, väzov alebo svalov, čo zvyšuje pravdepodobnosť zranení, ako sú natrhnuté väzy, šliach alebo svalové poškodenia. Včasné odhalenie týchto asymetrií môže športovcom umožniť prijať preventívne opatrenia, ako je cielené posilňovanie slabšej strany tela, zlepšenie flexibilnosti, alebo modifikácia techniky, aby sa rovnomerne rozložil nápor na telo.

Zvýšené množstvo FM môže mať negatívny vplyv na športový výkon, pretože nadbytok tuku vedie k vyššej energetickej náročnosti pohybu a znižuje efektivitu svalovej práce. Nadmerné množstvo FM môže ovplyvniť aj výdrž, rýchlosť a celkovú fyzickú zdatnosť, pretože telo musí vynaložiť viac energie na pohyb a udržiavanie základných funkcií. Tento stav môže tiež zvyšovať riziko vzniku metabolických problémov, ako sú inzulínová rezistencia, obezita alebo srdcovo-cievne ochorenia. Avšak, rovnako negatívne účinky na organizmus môže mať aj nedostatok FM. FM nie je len zásobárňou energie, ale aj dôležitým prvkom pre správne fungovanie organizmu. Nedostatočné množstvo tuku v tele môže viesť k rôznym zdravotným problémom. Avitaminóza, alebo nedostatok vitamínov rozpustných v tukoch (A, D, E, K), je jedným z hlavných rizík spojených s nízkym podielom FM. Tieto vitamíny sú nevyhnutné pre množstvo biologických procesov, ako sú ochrana pred oxidačným stresom (vitamín E), podpora imunitného systému (vitamín A), udržiavanie zdravia kostí (vitamín D) a správna zrážanlivosť krvi (vitamín K). Bez dostatočného množstva FM v tele sa ich absorpcia môže výrazne znížiť, čo vedie k nedostatku týchto životne dôležitých látok. Ďalším negatívnym dôsledkom nízkeho množstva FM je znížená produkcia niektorých hormónov, ako je napríklad testosterón, ktorý zohráva kľúčovú úlohu v procese nárastu MM. Testosterón je dôležitý pre syntézu bielkovín, čo je základný proces pri budovaní svalov. Keď je množstvo FM prí-

liš nízke, organizmus môže reagovať na tento deficit hormonálnymi nerovnováhami, ktoré negatívne ovplyvňujú nielen výkonnosť, ale aj regeneráciu a rast MM. Rovnako aj u žien môže nedostatok FM narušiť hormonálnu rovnováhu, čo vedie k problémom s menštruačným cyklom, ako sú nepravidelnosti alebo úplná absencia menštruácie (amenorea), čo môže mať ďalekosiahle dôsledky na zdravie kostí a celkovú hormonálnu funkciu. Z tohto dôvodu je dôležité udržiavať vyvážený podiel tuku v tele, ktorý podporuje optimálne fungovanie organizmu a zároveň nebráni športovému výkonu.

Okrem vyššie spomenutých parametrov, aj ostatné parametre telesného zloženia sú dôležitými indikátormi a ukazovateľmi prospievania organizmu športovca v rámci tréningovej prípravy, resp. regenerácie, a práve preto pravidelná analýza telesného zloženia by mala byť neodmysliteľnou súčasťou života každého jedného športovca.

2 KOSTNÁ HMOTA A FAKTORY, KTORÉ JU OVPLYVŇUJÚ

2.1 Biológia kosti

Vývoj kosti začína už v štádiu embrya tvorbou chrupavkového tkaniva, ktoré je postupne nahradené kostným tkanivom. Tento proces je známy pod pojmom endochondrálna osifikácia. Kosti majú svoje vlastné hierarchické usporiadanie na viacerých úrovniach. Na úrovni celého tkaniva rozdeľujeme kosti na dlhé, krátke, ploché a nepravidelné. Na tkanivovej úrovni rozlišujeme dva typy kostí: kortikálna (kompaktná) kosť a trabekulárna (lamelárna) kosť. Kortikálna kosť predstavuje tvrdé a husté kompaktné tkanivo tvoriace diafýzy všetkých dlhých kostí. Podieľa sa na vytvorení vonkajšej vrstvy takmer všetkých krátkych, plochých a nepravidelných kostí. Trabekulárna kosť je špongiózne (hubovité) kostné tkanivo, ktoré možno pozorovať v epifýzach dlhých kostí a v centrálnych oblastiach stavcov (obr. 3).

Obr. 3 Kompaktné (vľavo) a špongiózne (vpravo) kostné tkanivo (foto: Vorobeľová 2025).

Na mikroskopickej úrovni kosť pozostáva z matrice, minerálov a samotných buniek, pričom na úrovni nanometrov pozorujeme jednotlivé kryštály, kolagénové vlákna a molekuly. V závislosti od veku jedinca sa v nich vyskytujú rôzne inklúzie a substitúcie. Najčastejšie sa jedná o uhličitan, ktorý nahrádza hydroxyl a fosfát na povrchu apatitu a kryštálovej mriežky. Prítomnosť minerálov fosforečnanu vápenatého v kostiach prvýkrát popísal Scheele v roku 1 771. Neskôr sa ukázalo, že kostný minerál je na základe chemického zloženia porovnateľný s geologickým apatitom. Vďaka týmto informáciám bol neskôr opísaný ako forma hydroxyapatitu $(Ca)_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Pasteris et al. (2004) poukázali na dôležitú skutočnosť, že nie všetky kosti majú jednotné zloženie. Napriek tomu sa v súčasnosti akceptuje, že zrelý kostný materiál pozostáva zo substituovanej kryštalickej fázy fosforečnanu vápenatého, inak nazývaného aj sýtený hydroxyapatit. Organická matrica pozostáva najmä z kolagénu 1. typu. Prítomné sú však

aj iné typy kolagénu a približne päť percent nekolagénových proteínov. Z bunky je vylučovaný kolagén vytvárajúci trojzávitnicové fibrily, ktoré sa následne spájajú a vytvárajú kolagénové vlákna. Zosieťovanie takýchto kolagénových fibríl vo veľkej miere ovplyvňuje celkovú pevnosť kostí. V prípade proteínov sa ukázalo, že s vekom dochádza k zníženiu ich produkcie. Bunky, ktoré majú za úlohu vyživovať, remodelovať a produkovať mineralizovanú extracelulárnu matricu reagujú na množstvo podnetov určujúcich morfológiu a funkciu kosti. V kostiach existuje viacero typov kostných buniek pričom väčšina z nich je mezenchymálneho pôvodu. Jednými z týchto buniek sú chondrocyty, ktoré riadia vznik rastovej platničky a jej následnú remodeláciu. Ďalším typom buniek sú osteoblasty a osteocyty. Osteoblasty syntetizujú kostnú matricu a zároveň napomáhajú pri procesoch mineralizácie. Úlohou osteocytov je reagovať na mechanickú záťaž a následne regulovať resorpciu a samotnú tvorbu kosti. Až 90 % všetkých kostných buniek tvoria práve osteocyty, ktoré sa vyznačujú životnosťou do 50 rokov. Posledným typom kostných buniek sú osteoklasty. Osteoklasty sú mnohojadrové bunky riadiace resorpciu kosti na základe prijatých signálov z osteoblastov a osteocytov. Životnosť všetkých kostných buniek je riadená počtom replikačných cyklov a vonkajšími faktormi. Naznačuje to aj Hayflickov limit bunkového delenia, ktorý zároveň uvádza, že počet takýchto delení s vekom klesá.

Rast kostí do dĺžky zabezpečuje rastová platnička, ktorá je umiestnená medzi epifýzou a metafýzou dlhých kostí. Rastová platnička môže byť rozdelená na viaceré horizontálne zóny chondrocytov nachádzajúcich sa v rôznych štádiách diferenciácie. Na epifýznom konci rastovej platničky sa nachádza tzv. zóna pokojových chondrocytov, resp. kmeňových buniek. Pokojové chondrocyty sa následne dostávajú do proliferačnej zóny, kde podliehajú deleniu. V určitom momente zanikne ich schopnosť deliť sa a dochádza k procesu diferenciácie, kedy sa chondrocyty stávajú hypertrofickými. Plne diferencované chondrocyty sú okrúhleho vzhľadu a ich funkciou je vylučovanie matricových proteínov. V týchto bunkách zároveň dochádza k zvyšovaniu hladín vápnika a postupnej mineralizácii prepážok. Chondrocyty nachádzajúce sa v mineralizovanej zóne nakoniec podliehajú apoptóze. Až 80 % vytvorených pozdĺžnych prepážok rastovej chrupavky je následne resorbovaných po invázii krvnými cievami. Zvyšné prepážky využívajú osteoblasty na ukladanie kostnej matrice. Týmto procesom dochádza k formovaniu primárnych trabekúl, ktoré vytvárajú kosť nazývanú ako primárna špongióza. So zvyšujúcou sa vzdialenosťou od rastovej platničky dochádza k zrieďovaniu primárnych trabekúl, až sa postupne odstráni všetok materiál rastovej chrupavky, čím vznikajú sekundárne trabekuly a sekundárna špongióza. Ak rast do dĺžky naďalej pokračuje a neustále dochádza k ďalšiemu zriedeniu, trabekuly nachádzajúce sa najďalej (v strede

kosti) sú úplne resorbované. Je to jeden z dôvodov prečo v diafýze kostí nenájdeme žiadne trabekuly. Naopak trabekuly nachádzajúce sa v periférii metafýzy sa stávajú čoraz hustejšími a hrubšími a interagujú až do kôry metafýzy. Ak rast ďalej pokračuje, môže dôjsť k posunu metafýzových trabekúl a v niektorých prípadoch sa môžu objaviť aj v kôre diafýzy. Rast kostí do šírky je jeden z kľúčových determinantov pevnosti kosti. Kosti rastú do šírky procesom nazývaným periostálna apozícia. Periostálna apozícia prebieha vďaka osteoblastom, ktorých úlohou je hromadenie mineralizovaného tkaniva na periosteálny (vonkajší) povrch kosti. Periosteum inak nazývané aj okostica, je zložené z dvoch základných vrstiev. Vonkajšia vrstva pozostáva z vláknitého tkaniva zatiaľ čo vnútorná vrstva (kambium) je tvorená osteogénnymi bunkami.

2.2 Remodelácia kosti

Kostný obrat je proces, pri ktorom dochádza k odbúravaniu kostného tkaniva (resorpcii) a jeho následnej náhrade novou kosťou, pričom tvar kosti sa mení len minimálne. Tento proces prebieha počas celého života človeka. Na regulácii kostného obratu sa podieľajú tri hlavné typy buniek: osteoblasty, osteocyty a osteoklasty, ktoré vykonávajú protichodné funkcie. Kostný obrat možno rozdeliť na dve základné fázy: modelovanie a remodelácia. Modelovanie kostí prebieha hlavne počas vývoja a rastu až do dospelosti. Naopak, remodelácia zabezpečuje nepretržitú obnovu kostného tkaniva po celý život. Aj po dosiahnutí dospelosti proces kostného obratu pokračuje, aj keď jeho tempo sa výrazne spomalí. Kostra dospelého človeka sa totiž neustále odbúrava a obnovuje koordinovaným pôsobením osteoklastov a osteoblastov.

Cyklus remodelácie prebieha v piatich fázach: aktivácia, resorpcia, reverzia, formácia a ukončenie. Tento proces je prísne regulovaný a prebieha v základnej multicelulárnej jednotke (BMU), ktorá pozostáva z osteoklastov, osteoblastov a cievneho zásobenia. Štruktúra a zloženie BMU sa líšia v závislosti od toho, či sa nachádza v trabekulárnej alebo kortikálnej kosti. V trabekulárnej kosti sa BMU nachádza na povrchu, kde osteoklasty vytvárajú prehĺbeniny nazývané Howshipove lakúny. Tieto lakúny sa najskôr resorbujú a následne vyplňujú novým kostným tkanivom. V kortikálnej kosti vytvárajú osteoklasty tzv. rezný kužeľ, ktorý sa „tuneluje“ do kôry kosti a odstraňuje poškodené tkanivo. Počas tohto procesu sa diferencované osteoblasty ukladajú na steny vytvoreného tunela, kde formujú novú kosť, čím zároveň zabezpečujú cievne zásobenie v Haversovom kanáliku nového osteónu.

Prvá fáza cyklu remodelácie, aktivácia, začína iba vtedy, keď je remodelácia skutočne potrebná. Pri cielenej remodelácii, ktorá odstraňuje poškodenú

alebo opotrebovanú kosť, zohrávajú hlavnú úlohu osteocyty. Prostredníctvom svojej rozsiahlej siete dendritových procesov vysielajú signály iným bunkám a aktivujú celý proces. Ak dôjde k apoptóze osteocytov, napríklad v dôsledku mikropoškodenia kostnej matrix, uvoľňujú sa parakrinné faktory. Tie stimulujú lokálnu angiogenézu a nábor prekurzorových buniek osteoklastov a osteoblastov. Naopak, necielená remodelácia sa spúšťa ako odpoveď na systémové hormonálne zmeny, napríklad na zvýšenú hladinu parathormónu (PTH). Tento mechanizmus umožňuje organizmu uvoľniť vápnik z kostí podľa aktuálnej potreby, bez zamerania na konkrétne miesta v kostre.

Cyklus remodelácie pokračuje fázou resorpcie, počas ktorej osteoblasty reagujú na signály od osteocytov alebo na priame endokrinné stimuly a privolávajú prekurzory osteoklastov na miesto remodelácie. Pri remodelácii vyvolanej PTH osteoblasty vylučujú monocytárny chemoatraktantový proteín-1 (MCP-1), ktorý podporuje tvorbu osteoklastov prostredníctvom signálnej dráhy receptorového aktivátora ligandu jadrového faktora kappa-B (RANKL). PTH zároveň zvyšuje expresiu kľúčových cytokínov podporujúcich osteoklastogenézu, konkrétne faktora stimulujúceho kolónie 1 (CSF-1) a RANKL, a znižuje produkciu osteoprotegerínu (OPG), ktorý by inak osteoklastogenézu inhiboval. CSF-1 a RANKL spoločne stimulujú proliferáciu, prežívanie a diferenciáciu prekurzorových buniek osteoklastov. Osteoblasty zároveň vylučujú matrixové metaloproteinázy (MMP), ktoré degradujú nemineralizovaný osteoid, čím odhaľujú adhézne miesta kyseliny arginín-glycín-asparagovej v mineralizovanej kosti. To umožňuje osteoklastom prichytenie prostredníctvom integrínov αvβ3, čo vedie k vytvoreniu uzavretej zóny. V tejto oblasti osteoklasty vytvárajú kyslé prostredie, ktoré rozpúšťa mineralizovanú matrix a vytvára Howshipove lakúny. Zvyšná organická matrix je následne degradovaná enzýmami, ako je katepsín K, ktorý účinne štiepi kolagén.

Po ukončení fázy resorpcie nasleduje fáza reverzie, ktorá zastavuje odbúravanie kosti a pripravuje podmienky na tvorbu novej kosti. Počas tejto fázy sa zvyšky kolagénu odstránia pomocou špecializovaných buniek, ktorých presné funkcie ešte nie sú úplne objasnené. Tieto bunky zároveň ukladajú tenkú vrstvu kolagénu, ktorá tvorí tzv. reverznú líniu. Táto vrstva slúži ako ohraničenie nového osteónu od staršej matrix. Tento proces zabezpečuje prechod BMU do ďalšej fázy – formácie.

Fáza formácie je obdobím, keď osteoblasty ukladajú nový osteoid, ktorý pozostáva prevažne z kolagénu typu I. Tento proces, ktorý zahŕňa aj mineralizáciu kosti, trvá u ľudí približne 90 dní a je pomalší než fáza resorpcie. Transformujúci rastový faktor beta (TGF-β) zohráva kľúčovú úlohu pri signalizácii mezenchýmovým kmeňovým bunkám, ktoré migrujú do resorpčných lakún,

kde sa diferencujú a začínajú produkovať molekuly potrebné na tvorbu novej kosti. Hlavnou organickou zložkou osteoidu je kolagén typu I, doplnený nekolagénovými proteínmi a lipidmi. Mineralizácia kosti prebieha ukladaním hydroxyapatitových kryštálov medzi kolagénové fibrily. Tento proces je podporovaný enzýmami, ako je tkanivová nešpecifická alkalická fosfatáza, ktorá zabezpečuje tvorbu anorganického fosfátu potrebného na mineralizáciu.

Po dokončení mineralizácie vstupuje cyklus do fázy pokoja. V tomto období osteoblasty buď podstúpia apoptózu, transformujú sa na bunky pokrývajúce povrch kosti, alebo sa zakotvia v matrix a premenia na osteocyty. Osteocyty zohrávajú dôležitú úlohu pri ukončení remodelácie, pretože vylučujú inhibičné látky, ako je sklerostín, ktoré blokujú Wingless/Int-1 (Wnt) signálnu dráhu. U dospelých jedincov je remodelácia kostí nevyhnutná na opravu mikropoškodení a udržanie rovnováhy vápnika v tele. Ak v tomto procese dôjde k nerovnováhe, pevnosť kostí sa môže výrazne znížiť. Takáto nerovnováha vedie k poklesu objemu a mineralizácie kostí, strate trabekúl, narušeniu ich spojenia, vzniku resorpčných dutín a perforáciám trabekulárnej štruktúry. Zvýšený kostný obrat, pri ktorom resorpcia prevažuje nad tvorbou novej kosti, má negatívny vplyv nielen na minerálnu hustotu kostí (BMD), ale aj na ich vnútornú architektúru a pórovitosť. Výsledkom je zvýšené riziko zlomenín, ktoré nie je spôsobené len znížením BMD, ale aj zhoršením kvality kostnej štruktúry.

Kostná minerálna hustota (Bone Mineral Density – BMD)

BMD predstavuje množstvo minerálov podieľajúcich sa na stavbe kostného tkaniva. V súčasnosti sa považuje za hlavný determinant stanovenia pevnosti kosti. Keďže BMD nie je objemová hustota kostí, ale plošná hustota (aBMD), neberie sa do úvahy len samotné množstvo minerálov, ale aj celkový rozmer kosti. Vďaka tomu sa táto premenná vyznačuje vysokou úrovňou predikcie sily kostí. V bežnej populácií sa znížená mineralizácia a znížená hustota kostného tkaniva spája so zvýšeným rizikom vzniku zlomenín a ochorením nazývaným osteoporóza.

BMD sa vyjadruje v jednotkách štandardnej odchýlky (SD – Standard Deviation), ktoré sa pri porovnávaní s priemernými hodnotami zdravej referenčnej populácie prevádzajú na hodnoty T-skóre. Priemerná hodnota T-skóre v mladej zdravej populácii predstavuje číslo 0. Vyššie hodnoty majú pozitívny charakter a spájajú sa s lepšou kvalitou kostí, zatiaľ čo hodnoty pod touto hranicou sú záporného charakteru. V praxi to znamená, že ak je T-skóre −2, je 2 SD pod priemernou hodnotou zdravej populácie. Ak sa hustota kostného tkaniva porovnáva u vekovo a rodovo zhodných jedincov, jedná sa o tzv. Z-skóre. Z-skóre sa bežne nevyužíva v prípade diagnostiky osteopénie alebo osteoporózy, ale svoje

uplatnenie nachádza najmä pri predikcii relatívneho rizika fraktúr v porovnaní s inými jedincami rovnakého pohlavia a veku. Na základe kritérií stanovených podľa WHO sa hodnoty BMD driekovej chrbtice a proximálneho femuru využívajú pri diagnostike osteoporózy. Rozoznávame štyri základné kategórie T-skóre. Optimálne T-skóre −1 alebo vyššie, nízka hustota kostí (osteopénia) T-skóre v rozmedzí −1 až −2,5 a štádium osteoporózy kedy T-skóre nadobúda hodnoty nižšie ako −2,5. Poslednou kategóriou je ťažká osteoporóza, ktorá sa vyznačuje hodnotou T-skóre nižšou ako −2,5 a prítomnosťou minimálne jednej osteoporotickej zlomeniny.

Svetová prevalencia osteoporózy je 18,3 %, pričom u žien je 23,1 % a u mužov 11,7 %. Najvyššia prevalencia osteoporózy bola zaznamenaná v Afrike 39,5 %. Napriek tomu, že osteoporóza sa najčastejšie spája s dospelosťou a starobou, ukázalo sa, že sa môže vyvinúť aj u detí a adolescentov.

Vrchol kostnej hmoty (Peak Bone Mass – PBM)

Pojem vrchol kostnej hmoty (PBM) označuje maximálny objem kostnej hmoty, ktorý jedinec dosiahne počas svojho života. PBM sa dosahuje na začiatku dospelosti a po krátkom období rovnovážneho stavu nastáva prevaha odbúravania kosti nad jej novotvorbou s následným poklesom kostnej hmoty. Podiel kostnej hmoty dosiahnutý počas puberty predstavuje až 90 % maximálnej kostnej hmoty u dospelých. Staršie štúdie uvádzali, že maximálne PBM sa dosahuje okolo tretej dekády. Avšak súčasné výskumy dokazujú, že PBM v populácii kaukazoidnej variety je možné dosiahnuť už v 20. roku života, pričom ženy spravidla dosahujú maximálny PBM skôr ako muži. Predikovaný medián ny vek dosiahnutia celkovej PBM u žien je 22,31 roka a u mužov 26,86 rokov. Avšak, vek PBM pre jednotlivé kosti skeletu je variabilný, pričom niektoré kosti svoju maximálnu hmotu dosiahnu skôr, iné naopak neskôr. Napríklad, PBM lumbosakrálnej chrbtice a bedrového kĺbu je u žien v 16,8 roku a u mužov v 18,5 roku života. PBM krčka stehennej kosti u žien v 14,8 roku a vo veku 16,5 rokov u mužov.

Počas procesu starnutia dochádza k prirodzenému úbytku kostnej hmoty u mužov aj u žien, s čím sa spája aj zvýšené riziko zlomenín. K úbytku trabekulárnej kosti dochádza už v priebehu tretej dekády života. Kortikálna kosť zostáva konštantná (v niektorých prípadoch sa môže dokonca zvyšovať) až do piatej dekády života. Dôležitú úlohu pri pevnosti kosti zohráva aj samotná veľkosť kosti, pretože odolnosť kosti voči ohybu a torznému zaťaženiu súvisí práve s jej priemerom.

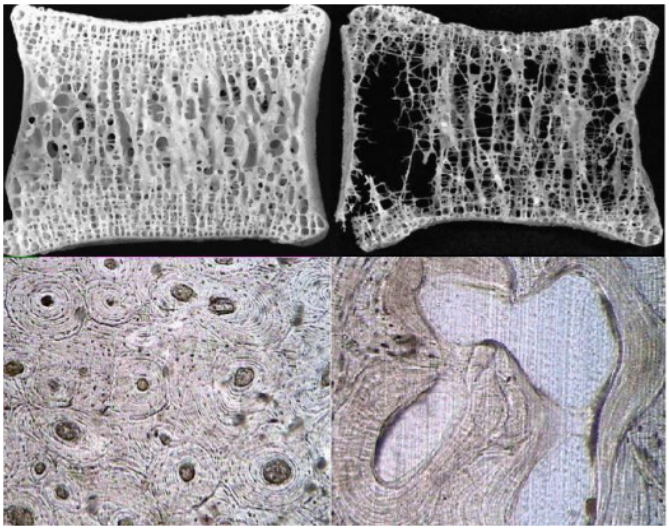
2.3 Faktory, ktoré ovplyvňujú kostnú hmotu

Hodnota kostnej minerálnej denzity je dôležitým ukazovateľom zdravia kostného tkaniva jedinca. Nízke hodnoty BMD sú asociované s rôznymi ochoreniami ako sú napríklad osteoporóza, endokrinné poruchy a ochorenia tráviaceho traktu. Nízke BMD sa zároveň spája so zvýšenou morbiditou a mortalitou. Medzi endogénne faktory ovplyvňujúce BMD patria vek, pohlavie, genetická predispozícia, niektoré ochorenia, neskorý nástup menštruácie a menopauza. Medzi exogénne faktory zaraďujeme: fyzickú inaktivitu, nesprávne stravovacie návyky, fajčenie, nadmerné užívanie alkoholu či vysokú úroveň environmentálnej expozície ťažkým kovom.

Menopauza

Menopauza je definovaná ako prirodzené a trvalé zastavenie menštruácie a ovulácie z dôvodu atrofie ovárií. Objavuje sa po 12 mesiacoch amenorei, kedy sa znižuje sekrécia ovariálnych hormónov a počet folikulov klesne pod kritickú hodnotu, čo má za následok zníženie produkcie ovariálnych hormónov – estradiolu a progesterónu.

V premenopauze majú estrogény ochranný účinok na kostnú hmotu, pozitívnym spôsobom upravujú remodeláciu kostí a zaisťujú tak optimálnu rovnováhu medzi tvrdosťou a elasticitou kosti. Ďalej ovplyvňujú vstrebávanie vápnika z krvi do kosti, čím zabraňujú jeho stratám. Po menopauze však tento ochranný mechanizmus mizne a u žien dochádza k výraznej prevahe odbúravania nad novotvorbou kosti. Zvyšuje sa životnosť osteoklastov, ktoré nadmerne resorbujú kosť a zároveň sa znižuje životnosť osteoblastov, čo má za následok znížené formovanie kosti. V postmenopauze sa tiež zvyšuje počet miest remodelácie a vznikajú hlbšie resorbčné lakúny. Vo vnútri kosti sa tvoria drobné otvory, ktoré sa postupne rozširujú. Oslabuje sa tým celková štruktúra i podporné tkanivo kosti, až kosť stratí svoju hrúbku a hustotu (obr. 4). Dekalcifikované kosti sú tenšie, krehkejšie a rýchlejšie sa lámu. Najväčšie postmenopauzálne zmeny boli zaznamenané na špongióznej kosti, preto sa strata kostného tkaniva najviac prejavuje na stavcoch a krčku stehennej kosti. Postupne vzniká osteoporóza a riziko zlomeniny.



Obr. 4 Zdravá kosť (vľavo hore) a kosť postihnutá osteoporózou (vpravo hore). Mikroskopická stavba kostného tkaniva bez patologických zmien (vľavo dole) a mikroskopická stavba osteoporotického kostného tkaniva (vpravo dole) (foto: Vorobeľová 2007).

Somatické rizikové faktory

Malnutrícia

Nízky energetický príjem u dospelých (1 500 kcal/deň) alebo extrémne nízky energetický príjem (1 000 kcal/deň) zvyšuje riziko deficiencie mikronutrientov v organizme a redukciu kostnej minerálnej hustoty.

Štúdie uskutočnené na tých, ktorí prežili holokaust, zaznamenali zvýšené riziko zlomenín, skorší nástup osteopénie a osteoporózy u dospelých a spomalený rast u detí. Tieto výsledky boli potvrdené aj na súbore 1 826 čínskych žien vo veku 65 rokov a viac. Zistilo sa, že ženy, ktoré v určitom okamihu svojho života zažili hladomor, mali vyšší výskyt osteoporózy a to s 5,3 % nárastom miery rozvoja tohto stavu v porovnaní s tými, ktoré ho nezažili. Ďalšie súčasné výskumy zaznamenali, že ženy, ktoré hladovali, mali zníženú hustotu a obsah minerálov v krčku stehennej kosti.

Mentálna anorexia môže viesť k fyziologickým následkom, ako je strata hmotnosti, strata svalovej hmoty a amenorea, čo sú klasické príznaky hladovania. Mentálna anorexia zapríčiňuje deficit estrogénov, vápnika, vitamínu D, hyperkortizolémiu, čo následne prispieva k zhoršeniu kvantity a kvality kostného tkaniva s následným rozvojom osteoporózy.

FM a obezita

Kosť je aktívne tkanivo, ktoré je významne prepojené s inými orgánmi a systémami. Pomocou rôznych endokrinných a parakrinných funkcií sa spolupodieľa na metabolizme, starnutí a zdraví.

Nachádza sa v nej kostná dreň, ktorá môže byť vo forme „žltej drene", hlavne adipocytov, alebo „červenej drene", ktorej súčasťou sú hematopoetické bunky a adipocyty. Adipocyty obsiahnuté v kostnej dreni sú často označované aj ako tukové tkanivo drene (MAT) alebo adipózne tkanivo kostnej drene (BMAT). Adipocyty kostnej drene „pracujú" nielen ako zásobáreň tukového tkaniva, ale aj ako endokrinné a parakrinné bunky, ktoré majú potenciál prispievať k homeostáze a hematopoéze kostí a systematickému metabolizmu. Kostrová homeostáza je aktívne sprostredkovaná interakciou MAT s osteoblastami. Zatiaľ, čo endosteálne adipocyty sú u novorodencov zriedkavé, tieto bunky sa neustále hromadia počas celého života a starnutím zaberajú väčšiu časť dutiny kostnej drene v axiálnom skelete. MAT sa zvyšuje pri metabolických poruchách. Medzi takéto metabolické poruchy patria napríklad osteoporóza, obezita, či diabetes.

Bunky tukového tkaniva syntetizujú hormón leptín a adiponektín, ktoré spomedzi mnohých funkcií v organizme, majú významný vplyv aj na kostnú hmotu. Podporujú proliferáciu a diferenciáciu osteoblastov a zároveň inhibujú osteoklastogenézu. To naznačuje, že majú pozitívny vplyv na kosť a potenciálne sprostredkovávajú pozitívnu koreláciu medzi tukom a kostným tkanivom. I keď aj v tomto prípade sú výsledky rôznorodé a nejednoznačné.

BMD úzko súvisí s množstvom tukovej hmoty v organizme, pričom jej vplyv je multifaktoriálny. Z jednej strany, FM predstavuje mechanickú záťaž na kosť, čo zapríčiňuje zvýšenie hodnôt BMD a pozitívne zmeny v mikroštruktúre periférneho skeletu, ktoré spevňujú kosť. Ale na druhej strane má množstvo negatívnych vplyvov, ktoré spôsobujú zhoršenie stavu kostného tkaniva. Príkladom je obezitou indukované zvýšenie hladín zápalových cytokínov v organizme. Pre obéznych pacientov sú tiež charakteristické poruchy kalciofosfátového metabolizmu a metabolizmu kostí, vyššie riziko osteopénie, osteoporózy a nevertebrálnych fraktúr. U osôb s nadbytkom viscerálneho a podkožného tuku bola pozorovaná nižšia BMD stehennej kosti a vyššia frekvencia zlomenín stavcov, dokonca aj u tých s optimálnym BMI ($\leq 24{,}9$ kg/cm^2), čo naznačuje, že škodlivý účinok viscerálneho tuku na zdravie kostí ovplyvňuje aj neobéznych jedincov. U mužov s vertebrálnymi deformáciami bol pozorovaný nižší obsah tuku a nižšia BMD. Pacienti s rýchlym úbytkom kostnej hmoty majú výrazne menej tukovej hmoty ako tí s optimálnou rýchlosťou úbytku kostnej hmoty.

Existujú aj protichodné výskumy, ktoré tvrdia, že obézni jedinci majú nižšiu pravdepodobnosť vzniku osteoporotických fraktúr v porovnaní s jedincami,

ktorí majú hmotnosť v optimálnych hodnotách BMI (18,5 – 24,9). Nadbytok tukovej hmoty je v niektorých štúdiách spájaný s nárastom kostnej hmoty a pomalším úbytkom kostnej hmoty v dôsledku starnutia. Tento stav bol pozorovaný ako u dospelých osôb, tak aj u detí. Avšak, stále nie je známe, či ide o tuk alebo svalovú hmotu, ktoré určujú vývoj kostnej hmoty, nakoľko výsledky štúdií o tejto problematike sú rozporuplné.

Vzťah medzi obezitou a kostnou hmotou závisí tiež od etnickej príslušnosti, pričom obezita je spájaná s vyššou BMD u kaukazoidných žien a naopak nižšou BMD u afroamerických žien.

Nejednotné závery mnohých prác sú pravdepodobne zapríčínené odlišnosťami v dizajne a metodike štúdie. Štúdie často sledujú odlišné vekové kategórie a etnickú príslušnosť, používajú rôzne metódy merania a zameriavajú sa na iné časti skeletu.

LBM a MM

Svalový a kostný aparát sa podieľajú na vytvorení jedného funkčného aparátu, pričom sú počas celého života navzájom prepojené. Ich spoločný pôvod nájdeme v somitoch pochádzajúcich z paraxiálneho mezodermu. Počas života sa synergicky vyvíjajú, pôsobia a starnú súčasne. Ukázalo sa, že dôvodom je vývoj z rovnakých progenitorových buniek už počas vnútromaternicového vývinu. Skeletálne kmeňové bunky plnia veľmi dôležitú úlohu v organizme. Podieľajú sa nielen na vývoji samotnej kosti, ale zároveň aj na jej „údržbe" a oprave. U dospelých jedincov ich môžeme v organizme lokalizovať na viacerých miestach, ako napríklad v perioste či kostnej dreni.

Niektoré štúdie preukázali, že dospelé zvieracie myoblasty sú schopné sa diferencovať na osteogénne bunky a zároveň, že satelitné bunky sa počas procesu hojenia môžu stať osteocytmi a osteoblastami. Sondag et al. (2014) sa zaoberali skúmaním konkrétnych svalových buniek C2C12 in vitro, pričom potvrdili schopnosť premeny myoblastov na kostné bunky.

Na veľkosť a silu svalovo-kostného aparátu vplýva viacero faktorov ako napríklad pohlavie, fyzická aktivita, telesná hmotnosť a v neposlednom rade samotné starnutie organizmu. Sumnik et al. (2006) skúmali vplyv týchto faktorov na muskulo-skeletálnu jednotku u dospievajúcich jedincov. Vo svojom výskume jasne preukázali pozitívny vzťah medzi obsahom minerálov v kostiach a plochou prierezu svalov. Poukázali aj na fakt, že pomer medzi uvedenými dvoma parametrami sa počas života nemení, zostáva konštantný.

Prepojenie medzi kostným tkanivom a MM je mechanické. Mechanické zaťaženie sa považuje za primárny determinant pevnosti kostí, pretože svaly pripojené ku kostiam vytvárajú malé páky, ktoré vyžadujú veľké sily na krútiaci

moment. Tieto sily vytvárajú mechanické zaťaženie, ktoré spôsobuje napätie v kosti. Vyčerpanie kostrového svalstva spúšťa stratu kostnej hmoty v dôsledku uvoľnenia kosti, čo podporuje koncepciu mechanickej interakcie medzi kosťou a svalom. Kosti a svaly spolu interagujú nielen anatomicky, mechanicky, ale aj biochemicky. Sú koordinované spoločnými dráhami a navzájom sa usmerňujú pomocou parakrinných signálov známych ako myokíny a osteokíny. Medzi najznámejšie myokíny vylučované kostným tkanivom zaraďujeme myostatín, interleukín 6 (IL-6), interleukín 8 (IL-8), interleukín 15 (IL-15), leukemický inhibičný faktor (LIF), mozgový neurotrofický faktor (BDNF), fibroblastový faktor 21 (FGF21) a irisín. Mnohé z týchto myokínov sú schopné vo veľmi veľkej miere ovplyvniť prestavbu, opravu a metabolizmus kostí. Posledným objaveným myokínom uvoľňujúcim sa po cvičení je spomínaný irisín. Úlohou irisínu je potlačiť diferenciáciu osteoklastov, podporuje mineralizáciu a diferenciáciu osteoblastov.

Berger et al. (2019) preukázali veľmi úzku interakciu týchto dvoch systémov aj v evolučnom kontexte. Poukázali najmä na to, že kostný aparát v prípade nebezpečenstva chráni vnútorné orgány pred poškodením a zároveň iniciuje odpoveď svalového aparátu, čo vedie k úteku zvieraťa. Táto štúdia dospela k záveru, že za akútnou stresovou reakciou stojí práve kostný aparát. Najdôležitejšiu úlohu pri stresovej reakcii zohráva jeden zo stresových hormónov nazývaný osteokalcín. Osteokalcín je polypeptidový proteín pozostávajúci zo 49 aminokyselín. Produkovaný je výlučne v kostiach, najmä zrelými osteoblastami a osteocytmi, predstavuje pravdepodobne až 15 % zo všetkých proteínov v kostnej matrici. Predpokladá sa, že jeho funkciou je regulácia mineralizácie kostí. Má vysokú afinitu k hydroxyapatitu, čo vedie k jeho účasti na kalcifikácii. Okrem toho ovplyvňuje metabolizmus glukózy, energetický metabolizmus, plodnosť a v neposlednom rade podporuje zdravie svalovej hmoty.

Osteokalcínová signalizácia sa podieľa na myovláknovej adaptácii počas cvičenia, pričom u dospelých žien dochádza k regulácii jeho cirkulujúcich hladín. Autori venovali svoju pozornosť aj prirodzenému znižovaniu hladín cirkulujúceho osteokalcínu a to počas starnutia, kedy dochádza k výraznému obmedzeniu pohybovej aktivity. Najvyššie hladiny boli pozorované v období dospievania u oboch pohlaví. V dospelosti následne dochádza k poklesu celkovej hladiny osteokalcínu taktiež u oboch pohlaví. Kim et al. (2015) vo svojom výskume pozorovali 39 obéznych mužov participujúcich v cvičebnom programe zameriavajúcom sa na aeróbne cviky po dobu ôsmich týždňov. Dospeli k záveru, že po cvičení dochádza k zníženiu telesného tuku a zároveň k zvýšeniu hladín osteokalcínu. Štúdie Lin et al. (2012) sa zúčastnilo 24 vysokoškolských

študentov mužského pohlavia. Jedinci boli rozdelený na skupinu vykonávajúcu plyometrické cviky s jedným úderom a skupinu vykonávajúcu prerušovaný beh (10 x 200 m). Zvýšené hladiny osteokalcínu boli potvrdené len v prípade skupiny venujúcej sa plyometrickým cvikom. V závere autori poznamenali, že za zvýšenie hladín osteokalcínu je zodpovedné práve mechanické zaťaženie a nie aktivácia kostných buniek.

Keďže svalová sila je pozitívnym determinantom BMD, je sarkopénia, definovaná ako nedostatok svalovej hmoty v kombinácii s nízkou svalovou funkciou, spojená v mnohých štúdiách s osteoporózou. Prítomnosť oboch týchto stavov sa nazýva osteosarkopénia.

Športová aktivita, ktorá generuje veľkú záťaž môže vo väčšine prípadov vyvolávať aj zmeny v zložení tela (FM a FFM, vrátane BM). Typickým príkladom sú vzpierači, ktorí majú zvyčajne vysoký podiel beztukovej hmoty, v porovnaní s inými športovcami. U vzpieračov má BMD tendenciu byť najvyššia v porovnaní s ostatnými skupinami, pretože počas zdvíhania záťaží dochádza k vytvoreniu záťažových síl na kostru prostredníctvom svalových kontrakcií. Zdá sa, že k zvyšovaniu BMD dochádza len v tom prípade, ak je intenzita cvičenia dostatočná na to, aby bola schopná spôsobiť nárast svalovej hmoty. Deng et al. (2021) analyzovali vzťahy medzi LBM, FM a PBF (percentuálny podiel telesného tuku) s BMD. Zaznamenali pozitívnu koreláciu medzi LM a FM s BMD. Po analyzovaní podskupín, sa im podarilo poukázať na silnejšiu asociáciu v prípade LM u aziatov ako u kaukazoidnej variety a v prípade PBF u mužov v porovnaní so ženami. Potvrdzujú to aj štúdie Kim et al. (2020) a Song et al. (2019), ktoré potvrdili výraznejší vplyv LM na BMD v prípade ázijskej populácie.

Zdravotné rizikové faktory

Diabetes mellitus

Diabetes mellitus 1. typu sa z pohľadu vzniku fraktúry považuje za rizikovejší typ v porovnaní s typom 2. Je to spôsobené pravdepodobne tým, že tento typ sa vyskytuje už v detstve a počas dospievania, pričom zapríčiňuje nižšie hodnoty maximálnej PBM, čo následne negatívne ovplyvňuje stav kostnej hmoty počas celého života. Patofyziológiou kostných zmien pri diabete 1. typu je takmer úplná deficiencia inzulínu – hormónu, ktorý stimuluje mitózu a inhibuje apoptózu osteoblastov. Navyše hyperglykémia vedie k narušeniu adhézie osteoblastov k extracelulárnej matrici, čo sa prejavuje krehkosťou kostí.

Vyššie opísané mechanizmy platia aj pre diabetes mellitus 2. typu, ktorý sa spája s nižšou BMD a horšou mikroarchitektúrou kortikálnych kostí, pričom pacienti sú náchylní najmä na zlomeniny bedrovej kosti.

Ochorenia štítnej žľazy

Štítna žľaza je žľaza s vnútornou sekréciou umiestnená v spodnej časti krku. Je tvorená dvoma lalokmi. Produkuje tri hormóny: 3,5,3′-trijód-l-tyronín (T3), tyroxín (T4) a kalcitonín. Sekrécia a syntéza T3 a T4 sú regulované hormónom stimulujúcim štítnu žľazu (TSH). Hormón T3 stimuluje produkciu osteoblastov a tvorbu kostí, ale tiež zvyšuje tvorbu osteoklastov a kostnú resorpciu. Poruchy štítnej žľazy (hyper- a hypotyreóza) spôsobujú negatívne zmeny viacerých orgánových systémov, vrátane oporného aparátu. Predstavujú riziko pre vznik osteoporózy a zlomenín. Hypertyreóza je charakteristická vysokým kostným obratom, a naopak hypotyreóza indukuje osteoklastickú kostnú resorpciu, ako aj osteoblastickú aktivitu. Obe poruchy sú príčinou zníženia hodnôt BMD.

Chronické ochorenie pečene

Chronické ochorenie pečene je charakteristické postupným poklesom funkcie pečene, vznikom zápalu a deštrukciou pečeňového parenchýmu. Príčiny zahŕňajú toxíny, dlhodobé užívanie alkoholu, infekcie, autoimunitné ochorenia, genetické a metabolické poruchy. Cirhóza je konečným štádiom, narúša architektúru pečene, tvoria sa uzliny a dochádza k vaskulárnej reorganizácii. Pri pokročilom ochorení pečene možno pozorovať zníženú mineralizáciu kostí a zníženú kostnú hmotu, čo sa označuje ako hepatická osteodystrofia. Uvádza sa, že až 64 % ľudí s primárnou cirhózou trpí zníženou mineralizáciou kostí.

Osteoporóza sa často vyskytuje u ľudí s chronickým ochorením pečene, u ľudí s chronickou cholestázou, hemochromatózou alebo alkoholizmom. Jedným zo základných mechanizmov u týchto pacientov je dysfunkcia osteoblastov, ktorá môže byť spôsobená nedostatkom trofických hormónov, ako je IGF-1, alebo retenciou chemikálií na cholestázu, ako je bilirubín a žlčové kyseliny. Čo potvrdzujú aj zistené nízke hladiny IGF-1 v sére u pacientov s cirhózou. Ďalším faktorom je zistená zvýšená koncentrácia bilirubínu u pacientov s ochorením pečene. Bilirubín inhibuje osteoblastogenézu a aktivitu osteoblastov. Okrem toho, prozápalové cytokíny IL-1 a TNF podporujú aktivitu osteoklastov a sú spojené so zápalom pečene a fibrózou. Hladiny TNF sú zvýšené v prípadoch vírusovej hepatitídy, alkoholického ochorenia pečene a cirhózy.

Kardiovaskulárne ochorenia

Kardiovaskulárne choroby, primárne spôsobené aterosklerózou, zahŕňajú koronárnu srdcovú chorobu (CHD), hyperlipidémiu, srdcové zlyhanie a cerebrovaskulárne ochorenia. Staršia literatúra považovala kardiovaskulárne ochorenia a zníženú BMD za navzájom nezávislé patológie, avšak nedáv-

ne vedecké štúdie toto tvrdenie vyvrátili a jednoznačne preukázali významný vzťah medzi kardiovaskulárnymi a skeletálnymi ochoreniami. V súčasnosti sa osteoporóza spája so zvýšeným rizikom vzniku kardiovaskulárnych ochorení. Navyše, sa preukázalo, že nižšia BMD a riziko zlomenín môžu predikovať výskyt budúcich kardiovaskulárnych ochorení. Podobne ďalšia prierezová štúdia s 13 707 ženami (priemerný vek 46,53 ±16,52 rokov) zistila, že pacientky, ktoré nemali v anamnéze zlomeniny, mali znížené riziko vzniku kardiovaskulárnych ochorení, ako aj inverzný vzťah medzi celkovou BMD a prevalenciou kardiovaskulárnych ochorení. Mechanizmy, ktoré spájajú tieto dva stavy, môžu byť ich spoločné rizikové faktory a markery zdravia kostí a kardiovaskulárneho zdravia, ako je adiponektín, leptín a vaspín.

Hypertenzia

Hypertenzia alebo vysoký krvný tlak je zdravotný stav spôsobený vyšším arteriálnym krvným tlakom. Viaceré štúdie naznačujú vzťah medzi hypertenziou a nesprávnym metabolizmom vápnika. Okrem toho hypertenzia aktivuje prištítnu žľazu, čo spôsobuje zvýšený prenos vápnika z kostí, inhibíciu funkcie obličiek a zníženie BMD. Nepriaznivý vplyv na kostné tkanivo majú tiež zvýšené hladiny angiotenzínu II u hypertenzných pacientov, ktoré sa spájajú s vyššou kostnou resorpciou a demineralizáciou.

Ochorenia dýchacieho systému

CHOCHP je chronické zápalové ochorenie dýchacích ciest charakterizované pretrvávajúcim obmedzením prietoku vzduchu. Toto ochorenie je asociované s nižším kostným obratom, zvýšenými hladinami IL-6 a zníženými hladinami irisínu v sére.

Ďalším ochorením dýchacieho systému s vysokou prevalenciou v populácii je astma, ktorá neovplyvňuje kostné tkanivo priamo, ale nepriamo prostredníctvom liečby. Perorálne kortikosteroidy vo vysokých dávkach môžu negatívne ovplyvniť rast kostí u detí, pretože glukokortikoidy znižujú absorpciu vápnika v čreve a zvyšujú vylučovanie vápnika močom. Na druhej strane, v prípade inhalačných kortikosteroidov sa asociácia nepotvrdila. Loke et al. publikovali v roku 2015 systematickú prehľadovú štúdiu, v ktorej sa nepreukázalo zvýšené riziko zlomenín a ani nízka BMD u detí a dospelých s astmou, ktorí užívali inhalačné kortikosteroidy. O tri roky neskôr uvedené výsledky potvrdila iná rozsiahla štúdia, ktorá zahŕňala 19 420 detí vo veku od dvoch do 18 rokov. Zistili významnú súvislosť medzi rizikom zlomenín a užívaním systémových kortikosteroidov, ale nie liečbou lokálnymi inhalačnými kortikosteroidmi (Gray et al. 2018).

Gastrointestinálne ochorenia

Gastrointestinálne poruchy, najmä zápalové poruchy čriev (IBD), Crohnova choroba, ulcerózna kolitída, celiakia, sú úzko asociované s redukciou BMD, osteoporózou, fragilitou kostí a zvýšeným rizikom zlomeniny.

Existuje viacero príčin vzniku osteoporózy u pacientov s IBD, jedným z nich je chronický zápal sliznice. Dochádza k nárastu prozápalových cytokínov v organizme, ktoré zapríčiňujú zvýšenie pomeru RANKL k osteoprotegerínu, čím podporujú kostnú resorpciu. Medzi ďalšie príčiny patrí zhoršené vstrebávanie živín, nedostatok vápnika a vitamínu D. Tento deficit životne dôležitých minerálov a vitamínov negatívne ovplyvňuje mineralizáciu kostí.

Ulcerózna kolitída je chronickým imunitne sprostredkovaným zápalovým stavom, pri ktorom zápal zahŕňa viaceré oblasti hrubého čreva a konečník. Na druhej strane, Crohnova choroba predstavuje chronické zápalové ochorenie, ktoré môže postihovať ktorúkoľvek časť tráviaceho traktu. Zápal prechádza cez celú hrúbku steny orgánu a ohraničený je do konkrétnych segmentov. Najčastejšie sa tieto zápalové ložiská vyskytujú v oblasti tenkého čreva, resp. v jeho konečnej časti s prechodom do hrubého čreva. Okrem tenkého čreva môže byť postihnutá aj akákoľvek ďalšia oblasť, ako napr. pažerák, žalúdok, konečník aj hrubé črevo.

Nedávne prehľadové štúdie zistili, že s nízkou BMD sa stretávame najmä u pacientov s Crohnovou chorobou a je zapríčinená vysokými hladinami cirkulujúcich cytokínov a používaním perorálnych systémových kortikosteroidov počas liečby. U ľudí s ulceróznou kolitídou je redukcia BMD menej častá a v tomto prípade súvisí predovšetkým s malabsorpciou a nedostatkom vitamínu D v organizme.

Celiakia, tiež známa ako gluténová enteropatia, je autoimunitné systémové ochorenie, pri ktorom imunitný systém po požití lepku napadne tenké črevo. Podobne ako pri IBD stavoch, je BMD ovplyvnená hypersekréciou prozápalových cytokínov, zvýšeným pomerom RANKL/OPG a zníženou absorpciou vápnika črevnou sliznicou.

Nefrologické poruchy

Obličky zohrávajú významnú úlohu pri regulácii tvorby a prestavby kostí udržiavaním homeostázy vápnika a fosfátov. Konkrétne kalcitriol produkovaný v proximálnych renálnych tubuloch podporuje vychytávanie a reabsorpciu vápnika a fosfátu, podporuje produkciu fibroblastového rastového faktora 23 (FGF-23) v kostiach. Obličky tiež vytvárajú *Klotho*, transmembránový proteín, ktorý buď interaguje s FGF-23 získaným z kostí, aby sa znížil obsah kalcitriolu, alebo priamo ovplyvňuje samotnú kosť.

Chronické ochorenie obličiek zapríčinené najmä progresívnym zhoršovaním ich funkcie z dôvodu DM a hypertenzie, vedie k retencii fosfátov, zníženiu vápnika v krvi a zvýšeniu hladiny PTH, FGF-23, osteokalcínu a markerov oxidačného stresu v sére. Všetky tieto faktory následne ovplyvňujú BMD.

Chronické ochorenia obličiek sa spájajú s nasledovnými poruchami: abnormálny metabolizmuz vápnika, fosforu, parathormónu a vitamínu D, abnormality kostného obratu, nedostatočná mineralizácia, poruchy v lineárnom raste kosti a nesprávna kalcifikácia mäkkých tkanív. Uvedené negatívne zmeny sú charekteristické pre ochorenie renálna osteodystrofia. Pacienti s týmto ochorením majú dvakrát až štrnásťkrát vyššie riziko zlomenín kostí ako bežná populácia.

Alergie

Alergie predstavujú prehnanú reakciu imunitného systému na inak neškodné látky, ktoré sa bežne nachádzajú v prostredí. Tieto cudzie látky (antigény) vyvolávajú reakciu imunitného systému známu ako hypersenzitivita alebo precitlivenosť. Napriek tomu, že všetci ľudia sú vystavení takýmto antigénom, len u určitej časti populácie dochádza k nepriaznivým imunologickým reakciám. Normálne totiž imunitný systém reaguje na alergény navodením tolerancie. Ak však dôjde k zníženiu tolerancie alebo jej zlyhaniu, môžu sa rozvinúť a pretrvávať aktívne imunitné reakcie.

Alergický zápal vzniká po kontakte s alergénmi a je sprostredkovaný najmä mechanizmami závislými od IgE. Tento proces vedie k typickému zápalu, ktorý sa vyznačuje prítomnosťou eozinofilov a mastocytov. Rozvoj alergickej zápalovej reakcie je spojený so vznikom alergických ochorení, ako sú astma alebo atopická dermatitída. Infiltrácia eozinofilov v tkanivách, ktorá je spoločná pre alergické zápaly, pripomína mechanizmy aktivované pri parazitárnych infekciách2014; Saglani et al., 2019. Niektoré alergény, ako roztoče domáceho prachu alebo peľové proteíny, môžu vyvolať eozinofilný zápal. Za normálnych okolností slúži takýto zápal na elimináciu parazitov. Pri alergických ochoreniach však podnetný stimul pretrváva, čo vedie k premene akútneho zápalu na chronický zápal.

Chronické zápalové ochorenia môžu významne ovplyvniť metabolizmus kostí. Významným príkladom je chronická rinosinusitída, zápalové ochorenie horných dýchacích ciest, ktoré môže prispievať k patogenéze osteoporózy.

Alergické ochorenia a osteoporózu spája zápalový proces, jeho mechanizmy, zapojené bunky a molekuly, ktoré majú obe ochorenia spoločné. Počas zápalových procesov sú uvoľňované cytokíny a zápalové mediátory, ktoré narúšajú prirodzenú remodeláciu kostí. Tieto látky zvyšujú resorpciu kostí

a zároveň znižujú ich novotvorbu. Medzi kľúčové osteoblastogénne cytokíny, ktoré majú negatívny vplyv na hustotu kostí, patria IL-6, IL-17, TNF-α a RANKL.

Zdravie kostí je ovplyvnené mnohými faktormi, pričom okrem zápalových procesov zohráva kľúčovú úlohu aj vplyv výživy a s tým spojené potravinové alergie, ako napríklad alergia na kravské mlieko. Mlieko, ako jeden z najdôležitejších zdrojov biologicky dostupného vápnika, obsahuje aj prospešné látky, ako sú ribonukleáza a laktoferín. Ribonukleáza podporuje angiogenézu potrebnú pre regeneráciu kostí, zatiaľ čo laktoferín stimuluje aktivitu osteoblastov, znižuje kostnú resorpciu a prispieva k pevnosti kostného tkaniva. Mliečne bielkoviny pozitívne ovplyvňujú BMD, konkrétne vretennej a holennej kosti. Výskum Nachshon et al. (2014) preukázal, že mladí dospelí s alergiou na kravské mlieko sprostredkovanou IgE (IgE-CMA) majú výrazne nižšiu BMD v porovnaní so zdravými rovesníkmi. Podobné výsledky priniesla aj štúdia Doulgeraki et al. (2017), ktorá naznačuje, že deti alergické na kravské mlieko sú vystavené vyššiemu riziku metabolických porúch kostí. Tieto deti často trpia narušenou tvorbou kostí a zvýšenou resorpciou kostného tkaniva, čo môže viesť k spomaleniu rastu, najmä ak nie je ich strava monitorovaná a dopĺňaná alternatívnymi zdrojmi vápnika a vitamínu D.

Potravinové intolerancie

Potravinové intolerancie sú neimunitné gastrointestinálne reakcie vyvolané konzumáciou určitých potravín. Sú charakteristické tým, že ich závažnosť často závisí od dávky – malé množstvo spúšťacej potraviny môže byť tolerované, zatiaľ čo väčšie množstvo spôsobuje tráviace ťažkosti, ako sú bolesti brucha, nadúvanie.

Nežiaduce reakcie na potraviny sa delia na imunitne sprostredkované (potravinové alergie) a neimunitne sprostredkované (potravinové intolerancie). Potravinové alergie predstavujú imunitnú odpoveď na špecifické bielkoviny v potravinách a môžu sa prejavovať od miernych symptómov až po život ohrozujúce anafylaktické reakcie. Na druhej strane, potravinové intolerancie nezahŕňajú imunitný systém a ich prejavy sú spravidla menej závažné. Najčastejšími formami sú neznášanlivosť laktózy, histamínu a lepku. Neliečené intolerancie môžu viesť k poškodeniu črevnej sliznice, k malabsorpcii živín a systémovým komplikáciám. Tieto procesy nielen znižujú kvalitu života, ale môžu prispieť k rozvoju ochorení, vrátane tých, ktoré negatívne ovplyvňujú kostný systém.

Intolerancia laktózy

Laktóza je disacharid tvorený galaktózou a glukózou, ktoré sú spojené β-1-4 glykozidickou väzbou. Aby sa laktóza absorbovala v tenkom čreve, musí sa štiepiť na dva monosacharidy, ktoré ho tvoria a to hydrolýzou väzby medzi C1 galaktózou a C4 glukózou pomocou enzýmu β-galaktozidáza. Nedostatok enzýmu vedie k zníženej schopnosti trávenia laktózy a jej absorpcie v tenkom čreve, čo vedie k jeho fermentácii v hrubom čreve prítomnými baktériami s následkom abdominálnej distenzie, bolesti, kŕčov, nevoľnosti, ako aj tekutej stolice generovanej osmotickým tlakom laktózy v črevnom lúmene.

Intolerancia laktózy predisponuje jedincov k vzniku osteoporózy a k zvýšenému riziku zlomenín, najmä ak je sprevádzaná nízkym príjmom alebo úplným vyhýbaním sa mliečnym výrobkom, ktoré sú bohaté na vápnik. U ľudí s intoleranciou na lakózu sa zistila nízka BMD v apendikulárnom skelete a chrbtici a zvýšené riziko zlomenín. Vyhýbanie sa mlieku a jeho derivátom znižuje BMD v driekovej chrbtici a krčku stehennej kosti.

Histamínová intolerancia

Histamín je zlúčenina prirodzene sa vyskytujúca v mnohých potravinách, ako sú syry, fermentované výrobky či niektoré druhy rýb. Jeho metabolizmus zabezpečuje enzým diaminoxidáza (DAO), ktorého nedostatok môže viesť k toxickej akumulácii histamínu. Táto akumulácia spôsobuje symptómy podobné alergickým reakciám, ako sú bolesti hlavy, vyrážky a tráviace ťažkosti.

Histamínová intolerancia má vplyv na zápalové procesy, ktoré negatívne ovplyvňujú kostný metabolizmus. Zápal znižuje tvorbu nového kostného tkaniva a urýchľuje jeho resorpciu. Pacienti s mastocytózou, ochorením spojeným s nadmernou produkciou histamínu, sú vystavení vyššiemu riziku osteoporózy, čo poukazuje na úlohu histamínu pri degradácii BM.

Dôkazy o vplyve histamínu na metabolizmus kostí poskytujú experimentálne štúdie na zvieratách. Myši s geneticky eliminovanou histidín dekarboxylázou, enzýmom zodpovedným za produkciu histamínu, mali pri strave bez histamínu aktivitu osteoklastov potlačenú, zatiaľ čo aktivita osteoblastov sa zvýšila. To naznačuje negatívny vplyv histamínu na rovnováhu medzi resorpciou a tvorbou kostí. Klinické štúdie ďalej naznačujú, že blokovanie histamínu antihistaminikami môže mať pozitívny účinok na zdravie kostí. Napríklad, pacienti užívajúci antihistaminiká majú významne lepšie výsledky v súvislosti s osteoporózou. Tieto poznatky zdôrazňujú význam histamínu nielen v imunologických reakciách, ale aj v regulácii zápalových procesov a kostného metabolizmu.

Negatívny dopad na kostnú hmotu má tiež vyhýbanie sa potravinám s vysokým množstvom histamínu, ako sú syry a fermentované potraviny, čo môže viesť k menej rozmanitej strave chudobnejšej na základné živiny, ako je vápnik a vitamín D, podobne ako pri intolerancii laktózy.

Intolerancia lepku

Lepok je hlavnou zásobnou bielkovinou pšeničných zŕn, tvorenou komplexom bielkovín, najmä gliadínom a glutenínom. Podobné bielkoviny sa nachádzajú aj v raži, jačmeni a ovse a súhrnne sa označujú ako lepok. Okrem celiakie a alergie na pšenicu sa lepok spája aj s neceliakálnou citlivosťou na lepok (NCGS). NCGS spôsobuje gastrointestinálne symptómy, ako sú bolesti brucha, nadúvanie, ale aj negastrointestinálne prejavy, ako sú bolesti hlavy, únava či bolesti kĺbov. Na rozdiel od celiakie pri NCGS neexistujú jasné biomarkery ani viditeľné poškodenie črevnej sliznice. Predpokladá sa, že jej patofyziológia zahŕňa vrodenú imunitnú odpoveď, ktorá sa líši od získanej imunitnej odpovede s autoimunitnou zložkou pri celiakii.

Pri celiakii sa zvyšuje počet intraepiteliálnych lymfocytov, ktoré produkujú interferón-γ (IFN-γ) a IL-10, čím sa spúšťa zápal. Tento zápal vedie k narušeniu kostného metabolizmu prostredníctvom cytokínov (TNFα, IL-1, IL-6), ktoré podporujú resorpciu kostí. Mnohé štúdie poukazujú na vplyv lokálneho a systémového zápalu pri rozvoji osteopénie a osteoporózy u pacientov s celiakiou.

Na rozdiel od celiakie je výskum vplyvu NCGS na hustotu kostí limitovaný. Mechanizmus tejto súvislosti zatiaľ nie je dostatočne preskúmaný, no predpokladá sa, že podobne ako celiakia môže NCGS zahŕňať zápalové procesy, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú kostný metabolizmus.

Medikamenty a výživové doplnky

Najviac študovanými výživovými doplnkami s vplyvom na kostnú hmotu sú vápnik a vitamín D. Dostatočný príjem vápnika významne ovplyvňuje maximálnu kostnú hmotu v ranej dospelosti, zabraňuje úbytku kostnej hmoty a predchádza osteoporotickým zlomeninám v neskoršom veku. Súčasné výskumy preukázali, že vplyv vitamínu D na kostné tkanivo je závislý od dávky. Trojročná randomizovaná klinická štúdia Burt et al. (2019) analyzovala súbor zdravých mužov a žien vo veku 55 až 70 rokov a zisťovali vplyv troch denných dávok vitamínu D: 400 IU, 4 000 IU a 10 000 IU na kostnú hmotu. Účastníci výskumu, ktorí dostali 400 IU, mali vyššiu hustotu a pevnosť vretennej a holennej kosti. Na druhej strane tí, ktorí dostali vysoké dávky 10 000 IU, zaznamenali stratu kostnej hmoty. Autori štúdie poskytli niekoľko možných vysvetlení

tohto paradoxu. Uvádzajú, že vysoké dávky vitamínu D bez dodatočnej suplementácie vápnikom sa spájajú so zvýšenými hladinami kalcitriolu a zároveň so zvýšením plazmatického markera kostnej resorpcie (CTx). Kalcitriol stimuluje osteoklastogenézu a diferenciáciu, buď pôsobením na osteoblasty alebo priamym pôsobením na osteoklastové prekurzory. Vysoké dávky vitamínu D môžu tiež viesť k supresii PTH buď priamym pôsobením na bunky prištítnych teliesok alebo nepriamo zvýšením absorpcie vápnika v čreve. To pravdepodobne redukuje PTH sprostredkovanú formáciu BM, čo v kombinácii s priamym účinkom vitamínu D na aktivitu osteoklastov (trend vyšších hladín CTx u ľudí s vysokými dávkami vit. D) vedie k rýchlemu poklesu BMD u ľudí užívajúcich 10 000 IU vit. D denne.

Glukokortikoidy patria medzi kortikosteroidy, ktoré sa používajú na potlačenie alergických, zápalových a autoimunitných ochorení. Sú hlavnou príčinou vzniku osteoporózy tým, že znižujú počet a aktivitu osteoblastov a osteocytov, nepriamo zhoršujú gastrointestinálnu absorpciu vápnika a podporujú aktivitu osteoklastov. Okrem toho glukokortikoidy znižujú cirkulujúci osteokalcín a OPG, čo vedie k zvýšenému účinku osteoklastov.

Behaviorálne rizikové faktory

Stravovacie návyky

Stravovacie návyky sú jedným z najdôležitejších faktorov ovplyvňujúcich BMD. Diétne faktory ovplyvňujúce kostné tkanivo zahŕňajú konzumáciu ovocia a zeleniny, pitie nápojov ako mlieko, sýtené nápoje, energetické nápoje a kávu.

Vegetariánstvo, či vegánstvo môžu mať negatívny dopad na zdravie kostí, pretože jednostranná rastlinná strava sa spája s nižším energetickým príjmom a v niektorých prípadoch neposkytuje dostatok mikroživín potrebných pre správne fungovanie organizmu. Býva ochudobnená o základné vitamíny a minerály, najmä vitamín D, vitamín B12, vápnik, železo, zinok a selén. Hoci rastlinná strava je prospešná pre celkové zdravie kvôli zvýšenej konzumácii čerstvého ovocia, zeleniny a orechov, z pohľadu BM sa zdá byť riziková. Súčasná literatúra uvádza, že vegeteriáni mávajú často zníženú BMD. Nízke hladiny vitamínu B12 charakteristické najmä pre vegánov, negatívne ovplyvňujú kostné tkanivo viacerými spôsobmi. Narušením syntézy taurínu a IGF-1 (inzulínu-podobný rastový faktor 1), znížením funkcie osteoblastov a osteoklastov, znížením prietoku krvi do kostného tkaniva a indukciou apoptózy.

Sýtené sladené nápoje a energetické nápoje majú významný impakt na kostné tkanivo. Výskumy zistili významné rozdiely v BMD u dospievajúcich, ktorí pili sýtené nápoje, najmä kolu. Účinok týchto nápojov sa líšil v závislosti od

typu kosti, keďže sa preukázal vplyv koly len na dolnú časť lumbálnej chrbtice, ale nie na celkovú BMD.

Hoci zložky energetických nápojov sa značne líšia podľa značky a produktu, väčšina z nich zdieľa niekoľko bežných zložiek, ako je kofeín, taurín, sacharóza a B vitamíny. Zdá sa, že znižujú BMD, predovšetkým kvôli vysokému obsahu kofeínu, ktorý môže byť až 141 mg v 250 ml plechovke. Kofeín ovplyvňuje BMD tým spôsobom, že zvyšuje osteoklastickú diferenciáciu a pôsobí ako nešpecifický antagonista adenozínových receptorov, obmedzuje tvorbu kostí a podporuje resorpciu.

Alkohol

Konzumácia alkoholu vo vysokých dávkach je zdraviu škodlivá. Ak sa však konzumuje v nízkych dávkach, má kardioprotektívny účinok, znižuje stres a riziko vzniku DM. Tieto skutočnosti boli zistené aj v súvislosti s BM. Ľudia často a pravidelne užívajúci alkoholické nápoje mali hodnoty BMD nízke a naopak ľudia príležitostne užívajúci alkoholické nápoje v nízkych množstvách mali vyššie hodnoty BMD v porovnaní s abstinentami.

Poškodenie kostného tkaniva pri konzumácii vysokých dávok alkoholu je často spôsobené sekundárne z dôvodu vzniku iných zdravotných komplikácií, ako je poškodenie pečene, hyperkortizolizmus a pseudo-cushingov syndróm. Ďalšími nepriamymi dôsledkami alkoholu je jeho vplyv na zmeny zloženia tela a zníženie koncentrácie leptínu, ktoré negatívne prispievajú k zmenám v pevnosti a štruktúre kosti. Alkohol ovplyvňuje kostné tkanivo aj priamo: znižuje aktivitu osteoblastov, zvyšuje apoptózu osteocytov a potláča signálne dráhy Wnt.

Na druhej strane, súčasné štúdie poukazujú na zaujímavý fakt protektívneho účinku nízkych dávok alkoholických nápojov na kostné tkanivo, pričom ponúkajú niekoľko vysvetlení. Jedným z nich je, že nízka konzumácia etanolu zvyšuje BMD v dôsledku inhibície kostnej resorpcie. Iné práce naznačujú, že práve fytochemikálie (napr. polyfenoly) bohato zastúpené v alkoholických nápojoch sú tie, ktoré pozitívne ovplyvňujú zdravie kostí.

Fajčenie

Jedným z ďalších faktorov ovplyvňujúcich hustotu a štruktúru kostného tkaniva a samotný metabolizmus kostí je fajčenie. Fajčenie má toxický účinok na osteoblasty. U fajčiarov boli zaznamenané nižšie hladiny osteokalcínu (markera tvorby kostí) v porovnaní s nefajčiarmi. Fajčenie zvyšuje riziko vzniku metabolických ochorení a centrálnej obezity, pričom v dôsledku zrýchleného metabolizmu mávajú fajčiari vyššie množstvo viscerálneho tuku a vyššie

WHR ako nefajčiari. Je príčinou hormonálnej nerovnováhy (najmä v súvislosti s pohlavnými hormónmi, hormónmi kôry nadobličiek a hormónmi prištítnych teliesok), znižuje množstvo vitamínu D v organizme a zhoršuje vstrebávanie vápnika v čreve. Všetky tieto faktory následne vedú k zhoršeniu celkového zdravia kostí nielen u dospelých, ale aj u adolescentov. Fajčenie je asociované so zníženým BMD, PBM, zvýšeným rizikom vzniku osteoporózy a fraktúr. Rozsah poškodenia kostného tkaniva v dôsledku fajčenia je však závislý od množstva vyfajčených cigariet, pričom pri vyšších dávkach môže byť proces poškodenia nezvratný, prípadne obnoviteľný len čiastočne.

Negatívny efekt fajčenia na kostný metabolizmus, nízke BMD a zvýšené riziko fraktúr preukázala aj štúdia Trevisan et al. (2020). Ich súbor pozostával z 1 067 postmenopauzálnych žien vo veku 65 ±10 rokov. Až 76,1 % celého súboru predstavovali ženy, ktoré nikdy nefajčili a 14,6 % žien, ktoré fajčili v minulosti. Zvyšných 9,3 % predstavovali aktívne fajčiarky. V prípade skupiny žien, ktoré fajčili aktívne počas celej doby výskumu, zaznamenali väčšie straty BMD, zvýšené riziko osteoporózy a vertebrálnych zlomenín v porovnaní s nefajčiarkami.

Účinky fajčenia u mužov analyzovali Ghadimi et al. (2018). Porovnávali 72 aktívnych fajčiarov (35,5 %) so 131 jedincami (64,5 %), ktorí fajčili v minulosti. U aktívnych fajčiarov pozorovali dvakrát nižšiu BMD v lumbálnej chrbtici (LSBMD – Lumbar Spine Bone Mineral Density) a krčku stehennej kosti (FNBMD – Femoral Neck Bone Mineral Density) v porovnaní s bývalými fajčiarmi. U aktívnych fajčiarov bola pozorovaná aj zvýšená frekvencia zlomenín. Strozyk et al. (2018) vo svojej štúdii zhodnotili, že odvykanie od fajčenia má jednoznačne priaznivý vplyv na hodnoty BMD. Iné výskumy dokázali nepriaznivé účinky pasívneho fajčenia na hodnoty BMD.

Sedentarizmus

Sedavý životný štýl zvyšuje riziko kardiovaskulárnych ochorení, DM a muskuloskeletálnych ochorení. Fyzická inaktivita výrazne znižuje PBM v mladosti a zvyšuje riziko vzniku osteoporózy v dospelosti. Neadekvátna fyzická aktivita v rozvinutých krajinách a zvýšené sedavé správanie sú primárnymi príčinami vzniku osteoporotických zlomenín. U starších dospelých vo veku nad 65 rokov sa zistila významná súvislosť medzi sedentarizmom a zníženou BMD. V súčasnosti sa sedentarizmus netýka výlučne starších jedincov, ale narastá aj u detí a mladých dospelých, pričom negatívne ovplyvňuje BMD u adolescentov s nadváhou, ale tiež s optimálnou hmotnosťou.

Fyzická aktivita

Počas fyzického cvičenia dochádza k „adaptívnej odozve kosti" – apozícii kosti. Je to jeden z hlavných dôvodov prečo sa cvičenie so záťažou odporúča ako jeden z hlavných bodov prevencie osteoporózy.

Adaptívna odozva kosti nastáva len v tom prípade, ak záťažový stimul prekročí obvyklé záťažové podmienky (kompresia, ohýbanie). Pokračujúca adaptácia si následne vyžaduje postupne zvyšujúce sa preťaženie. Jednorazová aplikácia trvalej sily, resp. statické zaťaženie kosti nespúšťa adaptívnu reakciu kosti, ku ktorému naopak dochádza pri dynamickom zaťažení. Čo sa týka intenzity zaťaženia, zahŕňa premenné ako napríklad veľkosť deformácie a rýchlosť deformácie kosti. Deformácia kosti je definovaná ako deformácia spôsobená v dôsledku vplyvu vonkajšieho zaťaženia, a je vyjadrená ako pomer veľkosti deformácie k pôvodnej dĺžke kosti. Burr et al. (2002) zistili, že zvýšenie rýchlosti deformácie pri konštantnej frekvencii zaťaženia a maximálnej veľkosti napätia je pozitívnym determinantom zmien BM.

Vykonávanie cvičenia stredne silnej až vysokej intenzity motorického dopytu so sebou prináša autokrinné, parakrinné a endokrinné prispôsobenia, ktoré modulujú svalový energetický metabolizmus, kostnú osteogénnu signalizáciu a tvorbu myofibríl. Všetky tieto stimuly následne vedú k prestavbe kostného tkaniva a zvyšovaniu hustoty a obsahu minerálov v kostiach. Mechanická stimulácia sa preto považuje, za jeden z kľúčových pozitívnych determinantov rastu a tvorby kostí. U fyzicky aktívnych detí a adolescentov sa taktiež zistila lepšia psychosociálna pohoda a celková kvalita života.

Vykonávanie čo i len 60-minútovej miernej až intenzívnej rekreačnej fyzickej aktivity denne, zvyšuje BMC (obsah minerálov v kostiach, Bone Mineral Content) a BMD stehennej kosti a chrbtice u dospievajúcich dievčat. Podobné výsledky boli zistené aj u fyzicky aktívnych detí vo veku 5 až 8 rokov, u ktorých sa zistila zvýšená BMD v pätovej kosti a distálnej oblasti predlaktia. Battafarano et al. (2020) odporúča, aby fyzická aktivita u detí zahŕňala nárazové cvičenia ako je samotné skákanie alebo skákanie cez švihadlo, pretože u týchto detí bola zaznamenaná zvýšená BM. Po siedmich mesiacoch praktizovania aktivít, ako je skákanie, deti vo veku 6 až 10 rokov mali zvýšenú BMD a BMC v driekovej chrbtici a krčku stehennej kosti. Nárazové sily počas skákania na zem môžu dosiahnuť 6- až 8-násobok telesnej hmotnosti. Niektoré gymnastické manévre dokonca vytvárajú nárazové sily s 10- až 15-násobkom telesnej hmotnosti. Na rozdiel od toho, nárazové sily počas behu alebo chôdze vytvárajú len 1- až 2-násobok telesnej hmotnosti.

Ďalšie prehľadové práce preukázali dôležitosť vykonávania fyzickej aktivity pre rast BM najmä v detstve a puberte. Najväčší pozitívny účinok

bol zaznamenaný počas obdobia ranej puberty. Dospelí muži, ktorí počas dospievania pravidelne vykonávali fyzickú aktivitu mali väčšiu kortikálnu oblasť a väčší obvod periostu v diafýze holennej kosti. Nasledujúce štúdie potvrdili pozitívny vplyv vykonávania činností s vysokou intenzitou na veľkosť kortikálnej kosti a BMD.

Geometria kosti je jeden z kľúčových determinantov pevnosti kosti. To je jeden z dôvodov prečo sa pri účinku mechanického zaťaženia na kosť berú do úvahy okrem zmien BMD aj iné faktory ako napríklad zmeny štrukturálnej pevnosti, materiálových a geometrických vlastností.

U žien po menopauze sa miera úbytku kostného tkaniva zvyšuje vekom, pričom úbytok BM vo vekových skupinách 60 – 69, 70 – 79 a 80 < je 0,6 %, 1,1 % a 2,1 % ročne. Počas prvých štyroch až piatich rokov je úbytok BM veľmi rýchly. Približná strata BMD pre chrbticu je 1,5 % ročne a 1,1 % až 1,4 % pre FNBMD. V nasledujúcich rokoch úbytok BM nie je až tak intenzívny. Veľmi zaujímavým faktom je, že Mitchell et al. (2018) nepozorovali žiadne rozdiely v zmenách BMD medzi pohlaviami v dôsledku pôsobenia fyzickej aktivity na kosť. Szulc a Delmas (2007) poukázali na skupinu mužov vo veku nad 70 rokov, u ktorých dochádza k 2- až 4-násobne rýchlejšiemu úbytku BM v porovnaní s mladšími mužmi vo veku 60 rokov. Najzásadnejšie zmeny v BMD boli pozorované v prípade kostí, ktoré sú vystavené zaťaženiu a priamo zapájané do cvičenia. Giangregorio a Blimkie (2002) skúmali vplyv mechanického zaťaženia na integritu kostí a jej adaptačných mechanizmov. Vo svojej štúdií poukazali na to, že nevykonávanie pravidelnej záťažovej aktivity automaticky generuje adaptačnú reakciu kosti, ktorá sa prejaví stratou minerálov v kostiach. Zameriavali sa na takzvané „ľudské modely osteoporózy z nečinnosti“ (pokoj na lôžku, poranenie miechy, vystavenie mikrogravitácii), na ktorých demonštrovali negatívne zmeny v biochemických markeroch kostného obratu a v množstve vápnika, v dôsledku čoho dochádzalo v sledovanom súbore k strate kostných minerálov a zníženiu BMD v dolných končatinách. Avšak tento proces sa ukázal ako reverzibilný a po návrate k normálnej aktivite došlo k obnove množstva kostných minerálov. Zotavenie však nemusí byť úplné, a môže trvať oveľa dlhšie ako samotný proces straty pôvodnej BM. Napriek všetkým pozitívnym vplyvom pravidelnej fyzickej aktivity na kostru, sa v niektorých prípadoch u mladých dospelých nemusí prejaviť. Jedná sa o hormonálne či diétne nedostatky, ktoré môžu negatívne ovplyvniť osteogénne účinky cvičenia.

Tenis

Športom s pozitívnym vplyvom na kosti je tenis. Štúdia pre-, peri- a postpubertálnych tenistov vo veku 10 až 19 rokov preukázala vyššiu BMC v aktívnej hornej končatine v porovaní s nešportujúcou mládežou. Podobné výsledky boli zistené aj u tenistiek vo veku 8 až 17 rokov, kde BMC a odolnosť voči torzii v ramennej kosti bola o 11 – 14 % vyššia v zaťaženej ruke.

Futbal

Medzi jeden z najrozšírenejších typov rekreačných športov u adolescentov patrí futbal. Nárast BMD v oblasti dolných končatín vplyvom futbalovej aktivity preukázali mnohé výskumy.

Vplyvom futbalu na BM sa zaoberali Bangsbo et al. (2015). Do výskumu boli zapojení muži vo veku od 20 do 75 rokov so sedavým životným štýlom. Muži podstúpili 12 týždňový tréning rekreačného futbalu s frekvenciou dvakrát týždenne. U mužov vo veku 20 – 43 rokov zaznamenali po intervencii významne zvýšené hodnoty BMC dolných končatín o 2 %. Aj napriek následnému zníženiu frekvencie tréningov na jeden tréning týždenne neboli pozorované žiadne negatívne zmeny v týchto hodnotách počas doby nasledujúcich 52 týždňov. Zmeny boli pozorované aj v prípade starších mužov vo veku od 65 do 75 rokov. BMD pravej a ľavej proximálnej časti stehennej kosti sa zvýšila o 1 % po štvormesačnom tréningu. S pokračujúcim tréningom nadobúdalo BMD stále vyššie hodnoty. Merania po ôsmich mesiacoch tréningu v tejto skupine ukázali zvýšenie BMD o 2,9 a 2,4 % v pravej aj ľavej proximálnej časti stehennej kosti, ako aj o 3,8 a 5,4 % v pravom a ľavom krčku stehennej kosti. Bangsbo et al. (2015) dospeli k záveru, že osteogénna odpoveď starších jedincov nie je nižšia, ale o niečo pomalšia ako u ich mladších rovesníkov.

Pozitívny vplyv rekreačného futbalu na BM zaznamenali aj Helge et al. (2010). Ich súbor pozostával z 50 zdravých dánskych žien pred menopauzou, ktoré podstúpili tréningový plán po dobu 14 týždňov. Tréningy prebiehali dvakrát týždenne po dobu 60 minút. Jedincov rozdelili na tri základné skupiny podľa typu vykonávaného športu (F – futbal, R – vytrvalostný beh, kontrolná inaktívna skupina). V skupine F bolo zaznamenané zvýšené vBMD v ľavej aj pravej tibii o 2,6 % a 2,1 %. V skupine R bolo taktiež pozorované zvýšenie v týchto oblastiach, avšak nižšie než v prípade skupiny F (0,7 %, 1,1 %).

Skoradal et al. (2018) realizovali výskum na staršej populácii vo veku od 55 do 70 rokov. Jedinci absolvovali celkovo 32 ±2 futbalových tréningov počas doby 16 týždňov. BMC a BMD celého tela, ako aj v špecifických oblastiach, boli na začiatku výskumu podobné v prípade kontrolnej i tréningovej skupiny. Po intervencii zaznamenali zvýšené hodnoty BMD v oblasti dolných končatín

v skupine športujúcich, v porovnaní s kontrolnou skupinou (0,023 g/cm^2 vs. −0,004 g/cm^2). Štatisticky významné hodnoty pozorovali aj v prípade BMC. Športujúci jedinci sa vyznačovali zvýšenými hodnotami BMC v dolných končatinách, v porovnaní s nešportujúcimi jedincami. Rozdiely medzi skupinami boli zaznamenané aj v prípade krčku stehennej kosti a driekovej chrbtice.

Autori ďalších významných prác dospeli k pozitívnym výsledkom v prípade vplyvu futbalu na celkové zdravie organizmu, vrátane zvýšenia obsahu minerálov v kostiach o 4 až 5 % a zvýšenia celkovej hustoty kostí o 5 až 13 %. Clemente et al. (2021) sa zaoberali skúmaním vplyvu rekreačného futbalu na BMD v rôznych segmentoch tela a tela ako celku. U hráčov rekreačného futbalu pozorovali výrazne zvýšené hodnoty BMD v oblasti dolných končatín, v porovnaní s kontrolnou inaktívnou skupinou. Autori štúdie tvrdia, že kombinácia behu a intenzitných aktivít spoločne vedú k vytvoreniu dostatočného mechanického zaťaženia a napätia, podporujúceho osteoblastickú a osteoklastickú aktivitu a celkovú prestavbu kosti. Ich výsledky však neodhalili žiadne signifikantné rozdiely v prípade nárastu celkového BMD. Napriek tomu sú presvedčení, že rekreačný futbal napomáha pri udržiavaní BMD a zabraňuje jeho úbytku, čo môže eliminovať negatívny dopad starnutia na BMD.

Silový tréning

Silový tréning sa zameriava na zlepšenie svalovej sily, objemu svalov, zvýšenie vytrvalosti a výkonu. Zvýšená záťaž a stres na organizmus poskytuje dostatočne veľký stimul schopný viesť k prirodzenej proliferácii. Mladí športovci sa v minulosti silovému tréningu vyhýbali, pretože sa predpokladalo, že v dôsledku pôsobenia veľkých síl na kostru dospievajúcich môže dôjsť k jej poškodeniu, čo súvisí aj so zvýšením počtu poranení a spomalením rastu daného jedinca. Viaceré štúdie túto teóriu vyvrátili a preukázali, že silový tréning má priaznivé účinky u adolescentov ak je správne navrhnutý. V súčasnosti je známe, že silový tréning je prospešný pre kosť vo viacerých smeroch. Pri silovom tréningu dochádza k zvýšenému zaťaženiu skeletu, čo má za následok zvýšenie obsahu minerálov v kostiach. Legerlotz et al. (2016) vo svojej štúdii poznamenali, že u športovcov, ktorí začlenili silový tréning do svojho tréningového režimu sa vyskytuje nižšie percento zlomenín a svalových poranení. Autori dospeli k záveru, že silový tréning je schopný znížiť riziko zranenia pomocou zvýšenia pevnosti kosti a obsahu minerálov v kostiach, posilnením šliach a v neposlednom rade zlepšením sily pomocných svalov.

Napriek tomu, že schopnosť kosti reagovať na vplyv fyzického tréningu je najvyššia v mladosti, kostné tkanivo si svoju plasticitu zachováva aj v staršom veku. Vykonávanie silového tréningu s pribúdajúcimi rokmi prirodzene klesá,

čo prispieva k úbytku svalovej a kostnej hmoty v dôsledku zvyšujúceho sa veku. Touto témou sa zaoberali Suominen et al. (2021), ktorí pozorovali vplyv pravidelného silového tréningu v kombinácii so šprintérskym tréningom na kosti po dobu 10 rokov. Preukázali, že pravidelné silové a šprintérske tréningy napomáhajú udržiavať trabekulárnu hustotu distálnej holennej kosti. Vplyvom silového tréningu na zdravie kostí sa zaoberala aj štúdia Chisati et al. (2020), ktorá skúmala účinky 12-týždňového silového tréningu na BMD u HIV pacientov. Autori štúdie potvrdili pozitívne účinky silového tréningu na BMD a silu kostí u týchto pacientov.

Vplyv silového tréningu na BMD analyzovala aj štúdia Chen et al. (2020). Ich predmetom skúmania bolo 147 mužov s priemerným vekom 34,2 ±5,8. Cviky ako sú tlak na lavičke, mŕtvy ťah a drepy súviseli so zvýšenými hodnotami BMD. Najvyššia korelácia bola zaznamenaná medzi celkovým BMD a drepmi v porovnaní s ostatnými cvikmi: tlak na lavičke a mŕtvy ťah. Naopak tlak na lavičke významne súvisel s BMD predlaktia v porovnaní s mŕtvym ťahom alebo drepmi.

Gymnastika

Vysoké mechanické zaťaženie na kostru spôsobuje aj gymnastický tréning. Počas vykonávania základných gymnastických prvkov ako je akrobacia alebo skoky dochádza k výrazným mechanickým nárazom. Medzi primárne gymnastické nástroje využívané pri tréningu patria: podlaha, klenba, kladina a ohybné tyče. Pri používaní, si každý jeden nástroj vyžaduje špecifické mechanické namáhanie vyžadujúce flexibilitu, obratnosť, svalovú silu a rovnováhu, s čím súvisí výrazný osteogénny potenciál. Profesionálne gymnastky začínajú so svojimi systematickými tréningami už v útlom veku (7 – 8 rokov). Veľmi často, najmä počas súťažného obdobia, trénujú viac ako 20 hodín týždenne. Štúdia Laing et al. (2005) preukázala, že u dievčat vo veku 4 – 8 rokov po dobu dvoch rokov stačila iba jedna hodina gymnastiky týždenne na výrazné zvýšenie BMD v oblasti predlaktia a LSBMD. Pozorovaním vplyvu gymnastiky na jednotlivé zložky kostného tkaniva sa zaoberala aj štúdia Erlandson et al. (2011). Ich súbor 120 jedincov zahŕňal okrem aktívnych gymnastov (n = 29) a kontrolnej skupiny (n = 45) aj bývalých gymnastov (n = 46). U aktívnych a bývalých gymnastov potvrdili zvýšené hodnoty BMC približne o 5 % oproti kontrolnej skupine. Okrem zvýšeného BMC u nich zaznamenali aj vyššie hodnoty celkového obsahu kostného tkaniva (ToC – Total bone Content), celkovej hustoty kostného tkaniva (ToD – Total bone Density) a celkovej sily kostí (BSI – Bone Strength Index) na distálnom rádiu o 6 až 25 %. Scerpella et al. (2011) uviedli, že u gymnastov s dlhšími tréningami resp. dlhšou praxou bola pozorovaná vyššia celková, ale aj

regionálna BMD. V ich štúdii boli dievčatá vo veku 7 – 11 rokov rozdelené do troch základných skupín na základe počtu odcvičených hodín po dobu šiestich mesiacov. Prvú skupinu tvorili dievčatá s dĺžkou tréningu 1 – 8 hodín/týždenne (skupina A), druhú skupinu reprezentovali dievčatá s tréningovým plánom viac než 8 hodín/týždenne (skupina B). Posledná skupina bola kontrolná skupina dievčat, s rovnakým vekom, telesnou výškou a telesnou hmotnosťou. Pri porovnaní výsledkov sa ukázalo, že dievčatá s tréningom 1 – 8 hodín/týždenne mali vyššie hodnoty BMD ako kontrolná skupina dievčat, ale zároveň nižšie BMD v porovnaní s trénujúcou skupinou viac než 8 hodín/týždenne. Pozitívne výsledky vplyvu gymnastiky na kostné tkanivo potvrdila aj prehľadová štúdia Jürimäe et al. (2018), v ktorej sa preukázalo, že systematické cvičenie pozitívne pôsobí na kostné parametre ako je aBMD, BMC a samotný rast kostí. Taktiež potvrdili, že i len rekreačné vykonávanie gymnastiky nevyžadujúce vysokú úroveň tréningu môže vo veľkej miere ovplyvniť formovanie kostného tkaniva.

Joga

Cvičenie jogy zahŕňa veľmi komplexné a koordinované pohyby spojené s hlbokým dýchaním vyžadujúce si veľkú svalovú silu v hornej a dolnej časti tela na udržanie váhy celého organizmu. Pravidelné cvičenie jogy môže stimulovať kosti k zadržiavaniu vápnika, prostredníctvom tzv. jogasán. Jogasány sú vzpieračské pozície pôsobiace na ruky, ramená, chrbticu a nohy. V posledných rokoch sa cvičenie jogy dostalo do popredia nielen vďaka jeho fyzickým, ale aj duševným výhodám. Phoosuwan et al. (2009) skúmali vplyv jogy na marker kostnej resorpcie (beta-CrossLap) a kvalitu života u postmenopauzálnych žien (50 – 60 rokov). Skúmaný súbor bol rozdelený na experimentálnu a kontrolnú skupinu. Experimentálna skupina bola podrobená 12-týždňovému tréningu (3 dni/týždeň, 50 minút). Po 12 týždňoch tréningu sa ukázalo, že v experimentálnej skupine došlo k signifikantnému zníženiu hladín resorpčného markera približne o 26,94 %, zatiaľ čo v kontrolnej skupine len o 0,77 %. Ženy podrobené fyzickému tréningu jogy pozorovali zlepšenie v celkom fyzickom fungovaní organizmu, vitalite, zdraví a zároveň zaznamenali zníženie fyzickej bolesti organizmu.

Viaceré štúdie sa zhodujú v tvrdení, že ženy vykonávajúce dlhodobo jogu majú hodnoty BMD nad priemerom, v porovnaní so zdravými ženami rovnakého veku a etnickej príslušnosti. Motorowala et al. (2016) pozorovali účinky jogy u postmenopauzálnych žien trpiacich osteoporózou. Skúmaný súbor pozostával z 30 žien podrobených šesť mesačnému tréningovému plánu jogy. Výsledky T-skóre driekovej chrbtice preukázali zvýšenie z hodnoty (–2,69) na (–2,55). Pozitívne účinky jogy na skelet preukázala aj štúdia Fishman (2009).

Praktizovanie jogy významne zvýšilo hodnoty T-skóre v chrbtici u pacientov s osteoporózou alebo osteopéniou, ktorí denne cvičili jogu osem až desať minút počas dvoch rokov.

2.4 Kvantita verzus kvalita kostného tkaniva z pohľadu zdravia skeletu

Zdravá kosť je dynamické živé tkanivo s pozoruhodnými mechanickými vlastnosťami a schopnosťou prispôsobiť sa aplikovanej záťaži. Kosť má výnimočné mechanické vlastnosti vďaka svojej kompozícii, ktorá jej dodáva pevnosť a tvrdosť, čím odoláva deformáciám a zlomeninám. Je zložená predovšetkým z minerálnych látok vo forme kryštálov uložených v organickej zložke s organizovanou hierarchickou štruktúrou od atómovej po makroskopickú. Kosť významne profituje z vlastností svojej minerálnej a organickej zložky.

Udržiavanie štrukturálnej integrity kosti je preto klinicky veľmi dôležité na zachovanie jej funkcie a adaptability, najmä počas rastu a vývinu oporného aparátu. U detí môžu choroby a abnormálne stavy zaťaženia kostry, ktoré sa vyskytujú sekundárne v dôsledku iných porúch, ako je detská mozgová obrna, viesť k osteopénii, zníženiu kvantity kostného tkaniva, alebo môžu zmeniť zloženie a štruktúru, čím sa ohrozí kvalita kostného tkaniva. Zmeny v kvantite a kvalite kostného tkaniva zvyšujú náchylnosť kostí na deformáciu a krehkosť.

Kostná kvantita

Kostná kvantita sa považuje za prediktor rizika zlomenín. Konkrétne nízka BM, resp. nízka BMD, súvisia so zvýšeným rizikom zlomenín v dôsledku starnutia a výskytu ochorení pohybovo-oporného aparátu u dospelých. V posledných troch desaťročiach však štúdie preukázali, že kvantita kostného tkaniva nie je jediným faktorom zodpovedným za zvýšený výskyt zlomenín, pričom ani samotné množstvo BM nevysvetľuje prínos liekovej terapie na fragilitu kostí u dospelých a detí. Z toho dôvodu sa nedávno zvýšil vedecký záujem o determinovanie ďalších parametrov regulujúcich kvalitu kostí, ako je kompozícia, štruktúra, mechanizmy mikropoškodenia, procesy remodelácie.

BMD je však stále len náhradným determinantom pevnosti kosti, a preto dôležitú úlohu zohrávajú aj iné faktory ako je geometria, hrúbka a pórovitosť kosti, kvalita kostného tkaniva, či morfológia trabekulárnej kosti. Ak by sme vzali do úvahy všetky spomínané determinanty podieľajúce sa na určovaní pevnosti, vieme určiť približne 60 % variability v sile kosti.

Kostná kvalita

Kosť pozostáva predovšetkým z kolagénu typu I, vláknitého organického proteínu tvoriaceho kostru extracelulárnej matrix, obklopeného kryštálmi hydroxyapatitu. Extracelulárna matrix je tvorená organickou zložkou, ktorá pozostáva z kolagénu (90 %), nekolagénových proteínov (NCP, 5 %), glykoproteínov (2 %), a anorganickou zložkou zloženou z minerálov a vody. Hoci obsah je malý, NCP a glykoproteíny, vrátane osteopontínu a osteokalcínu, sú kľúčovými faktormi pri formácii kostí, mineralizácii a regulácii kostnej formácie a resorpcie. Kolagén typu I je trojzávitnicová molekula obsahujúca dva symetrické reťazce α1 aminokyselín a jeden reťazec α2 aminokyselín, syntetizované génmi *COL1A1* a *COL1A2*. Kostný kolagén je mineralizovaný veľmi malými kryštálmi substituovaného hydroxyapatitu s uhličitanovými iónmi, nie úplne čistá forma fosforečnanu vápenatého. Obsahuje rôzne prímesy, okrem uhličitanov nahradzujúcich fosfátové skupiny (okolo 4 – 6 %), môže pozostávať aj z nižších množstiev horčíka, fluoridu a sodíka. Tvar, distribúcia a zloženie minerálnych kryštálov uložených v kosti má priamy vplyv na jej mechanické vlastnosti. Za optimálnych podmienok sú kryštály kostného hydroxyapatitu usporiadané v súlade s kolagénovou štruktúrou. Mineralizované molekuly kolagénu sa organizujú do fibríl. Kryštály apatitu sa zhlukujú do podlhovastých minerálnych nanodoštičiek, ktoré sú usporiadané v intrafibrilárnych medzerách v smere fibríl a ovíjajú sa okolo kolagénových fibríl na extrafibrilárnych povrchoch.

Kolagénové komponenty sa navzájom spájajú prostredníctvom enzymatického zosieťovania, ktoré poskytuje podporu minerálnej fáze a stabilitu a elasticitu kostnej štruktúre. Fibrily sa zoskupia do väčších vlákien na úrovni tkaniva, ktoré sa následne organizujú do vrstiev nazývaných lamely. V kortikálnej kosti sa lamely koncentricky usporiadajú v okolí Haversových kanálov a formujú osteóny ohraničené vrstvou hypermineralizovaného tkaniva, tzv. kostným cementom. Súčasťou kortikálnej kosti sú Volkmannove kanáliky, ktoré pomáhajú dodávať krv a živiny do kosti. Trabekulárna aj kortikálna kosť obsahujú lakuny (malé dutinky), ktoré obsahujú osteocyty.

Sila a pevnosť kostí u detí a adolescentov

Zložitá štruktúra a zloženie kosti sú základom jej mechanických vlastností. Sila kosti (t. j. odolnosť voči deformácii) závisí od jej kvantity a kvality. Naopak, pevnosť kosti (t. j. odolnosť voči zlomeninám) závisí výlučne od charakteristík kvality kosti, ako je mikroarchitektúra kosti, organizácia kolagénových vlákien, mineralizácia na úrovni tkaniva, interakcia kolagén – minerál, štruktúra a organizácia na subcelulárnej úrovni. Na nanoúrovni, mineralizované fibrily dodávajú kosti silu a tuhosť a ich usporiadanie v lamelách a osteónoch na

mikroúrovni umožňuje distribúciu pôsobiacich záťažových síl, čo umožňuje kosti zachovať si svoju mechanickú integritu. Na cementových líniách, tvorba mikrotrhlín a vychýlenie trhlín na rozhraní osteónov odvádza energiu a zvyšuje odolnosť voči zlomeninám, čím kosť znáša zaťaženie. Usporiadanie osteónov pozdĺž dlhej osi kosti teda spôsobuje, že je 5-krát odolnejšia voči zlomeniu ako rozštiepeniu.

Ochorenia a patologické stavy u detí menia zloženie kosti, narúšajú jej hierarchickú štruktúru a menia vplyv záťažových síl, čím ovplyvňujú mechanické a biologické vlastnosti kosti, zvyšujú jej náchylnosť na zlomeniny a deformácie. Pri ochorení osteogenesis imperfecta (OI), ovplyvňujú zmeny kolagénu kvalitu kostného tkaniva, čo spôsobuje zvýšenú lámavosť kostí. Strata pevnosti na molekulárnej úrovni je spôsobená znížením stabilizujúcich enzymatických zosieťovaní a na druhej strane zvýšením neenzymatických zosieťovaní, čo vedie k menším a neusporiadaným mineralizovaným fibrilám, ktoré sa pri zaťažení ľahko naťahujú a lámu, obmedzujú plasticitu kostí a podporujú vznik trhlín. Pozmenené fibrily vedú k tvorbe dezorganizovaných vláken zoskupených do mikrolamel. Na úrovni tkaniva, výrazná vaskulárna a lakunárna pórovitosť znižuje množstvo kostného materiálu a naopak zvyšuje koncentráciu napätia okolo dutín, čím podporuje vznik a rast trhlín počas zaťaženia, čím sa zvyšuje pravdepodobnosť zlomenín. Toto demonštruje, ako rôzne modifikácie kostí na molekulárnej úrovni u pacienta s OI ovplyvňujú celkovú mechanickú integritu kosti.

Podobne pri deficiencii vitamínu D nie je zvýšená náchylnosť na zlomeniny spôsobená výlučne nízkou hustotou kostných minerálov, ale najmä zmenami v zložení a štruktúre kosti. Kosť s nedostatkom vitamínu D má na povrchu mineralizovanej kosti hrubú vrstvu nemineralizovaného osteoidu. Nadbytok osteoidu bráni remodelácii kosti, pretože osteoklasty (bunky, ktoré odstraňujú kosť) sa nedokážu dostať cez hrubú osteoidnú vrstvu. V dôsledku toho oblasti kosti skryté pod osteoidom naďalej starnú a mineralizujú sa a stávajú sa čoraz krehkejšími. Hypovitaminóza vitamínu D je teda komplexným ochorením, ktoré nemá za následok výlučne zníženie BMD.

Laboratórna analýza patologických kostí z biopsií alebo ex-vivo zo zvieracích modelov umožňuje skúmať štruktúru, zloženie a mechaniku kosti od molekulárnej až po orgánovú úroveň. Vďaka tomu je možné analyzovať impakt uvedených zmien na silu a pevnosť celej kosti a demonštrovať účinnosť rôznych liečebných postupov. In vivo merania sily a pevnosti ľudských kostí sú náročnejšie a limitované kvôli ťažšej dostupnosti výskumného materiálu.

2.4.1 In-vivo skríning kvantity a kvality kostného tkaniva

Skríning kostnej kvantity

DEXA

Na hodnotenie kvantity kostného tkaniva existuje viacero zobrazovacích techník, z ktorých každá má svoje výhody aj obmedzenia. Jednou z najbežnejších metód je DEXA. Táto technika využíva nízku dávku ionizujúceho žiarenia, ktoré umožňuje rozlíšiť tkanivá na základe ich rozdielnej rádiografickej hustoty. Pomocou DEXA sa meria BMD ako dvojrozmerná projekcia (2D) trojrozmernej štruktúry. Kvôli tejto projekcii však výsledok neberie do úvahy hĺbku kostí, a preto hodnota BMD získaná touto metódou predstavuje priemernú plošnú hustotu (aBMD, g/cm^2), nie skutočnú objemovú hustotu (vBMD). DEXA dokáže tiež kvantifikovať BMC na rôznych miestach tela. Hoci je DEXA výhodná pre svoju nízku radiačnú záťaž, má aj svoje limity. Nedokáže odlíšiť trabekulárnu a kortikálnu kosť a neposkytuje dostatočné rozlíšenie na hodnotenie mikroarchitektúry kostí. Na interpretáciu výsledkov sa používa T-skóre, ktoré porovnáva hodnoty s priemernou hustotou kostných minerálov mladých zdravých dospelých, a Z-skóre, ktoré vyjadruje odchýlky od priemernej hustoty kostných minerálov jedinca rovnakého veku a pohlavia. Z-skóre je vhodné používať u jedincov s neukončeným rastom skeletu. Súčasné literárne zdroje však uvádzajú, že Z-skóre by sa malo vedecky prehodnotiť a podrobiť ďalšiemu výskumu. Medzinárodná spoločnosť pre klinickú denzitometriu zastáva názor, že Z-skóre by podľa správnosti malo zohľadňovať nielen vek a pohlavie, ako je tomu v súčasnosti, ale aj veľkosť tela, pubertálny status a etnickú príslušnosť. Ďalším limitom DEXA metódy je, že sa nedá použiť v prípade detí od narodenia do 5 rokov, z dôvodu neexistujúcich referenčných dát pre túto vekovú kategóriu.

Diagnóza osteopénie u detí vychádza v súčasnosti hlavne z hodnotenia $aBMD_{DEXA}$ (plošná minerálna kostná hustota meraná pomocou DEXA) a výskytu aspoň jednej zlomeniny. Najnovšie vedecké štúdie však vyvracajú spoľahlivosť DEXA pri hodnotení BMD (Z-skóre) za účelom predikcie budúcich fraktúr u detí. Použitie 2-rozmerného obrazu z DEXA má totiž niekoľko nevýhod. Keďže neposkytuje podrobné údaje o mikroarchitektúre kosti a ich objemovej hustote, interpretácia DEXA scanov je obzvlášť náročná. To platí najmä pre závažnú osteopéniu, ktorá sa vyskytuje pri ťažkej forme OI. Môže reflektovať nízky telesný vzrast dieťaťa a nie nevyhnutne „zmenenú kosť".

U detí a dospievajúcich s deficienciou vitamínu D sa napriek nízkej aBMD v niektorých výskumoch nezistila významná súvislosť medzi hladinami vitamínu D v krvnom sére a parametrami hustoty kostí zistenými pomocou DEXA.

Autori prehľadovej štúdie Docaj a Carriero (2024) preto tvrdia, že rutinné testovanie vitamínu D môže byť u nedospelých pacientov so zlomeninami užitočnejším ukazovateľom zdravia kostí ako samotná analýza skeletu pomocou DEXA.

Napriek svojim limitom sa považuje DEXA za „zlatý štandard" a je aktuálne jediným praktickým nástrojom na meranie BM u detí. Používa sa na získanie objektívnych dát za účelom sledovania priebehu a vývoja ochorenia a efektivity terapeutických postupov u detí s extrémnou fragilitou kostí. Rýchlosť zlomeniny a účinok liečby rekombinantným rastovým hormónom alebo bisfosfonátmi sa bežne analyzujú na základe $aBMD_{DEXA}$ a BMD v driekovej chrbtici.

Okrem iného, spôsoby predikcie zlomenín založené na kostných parametroch z DEXA využívaných u dospelých, akými je odhad prahovej hodnoty FRAX (10-ročná pravdepodobnosť zlomenín), nie sú platné u detí a hodnotenie zlomenín stavcov môže byť zavádzajúce v prípadoch fyziologického zníženia výšky stavcov alebo pri stavoch, ako je Scheurmannova choroba.

Kvantitatívna počítačová tomografia (QCT), periférna pQCT a vysokorozlišovacia periférna HR-pQCT

Na rozdiel od DEXA dokáže kvantitatívna počítačová tomografia (QCT) prekonať dvojrozmerné obmedzenia a poskytuje trojrozmerné (3D) skenovanie kostí. QCT umožňuje presnú kvantifikáciu vBMD (g/cm^3 alebo mg/cm^3) a BMC. Okrem bežného celotelového CT existujú špecializované verzie, ako periférna kvantitatívna počítačová tomografia (pQCT) a vysokorozlišovacia periférna počítačová tomografia (HR-pQCT). Tieto techniky umožňujú lepšie rozlíšenie trabekulárnej a kortikálnej kosti, čo DEXA nedokáže.

Riziko vzniku rakoviny súvisiacej s ožiarením z expozície CT po viacnásobnom použití metódy je oveľa vyššie u malých detí ako u dospelých, preto CT nie je možné rutinne použiť v pediatrickej populácii. pQTC je v porovnaní s konvenčným QCT spojený s nižšou radiáciou. Hodnotenie periférnych miest pomocou pQCT má výhody oproti skenom DEXA u pediatrickej populácie s deformáciami chrbtice, kontraktúrami alebo kovovými implantátmi napriek vyššej dávke žiarenia. pQCT je však vysoko citlivý na pohyb, preto je pomerne náročné získať spoľahlivé výsledky od detských pacientov. Z tohto dôvodu a kvôli vyššej úrovne žiarenia v porovnaní s DEXA, v súčasnosti pQCT nenachádza široké uplatnenie v klinickej pediatrickej praxi.

Skríning kostnej kvality

Kvantitatívna počítačová tomografia (QCT), periférna pQCT a vysokorozlišovacia periférna HR-pQCT

Kvantitatívne parametre kvality kosti pre kortikálne a trabekulárne kostné kompartmenty možno vypočítať pomocou QCT, p-QCT a HR-pQCT. Geometrické merania, ako je plocha prierezu kosti (CSA) a kortikálna hrúbka, plocha a objem, ako aj biomechanické parametre, ako napríklad moment zotrvačnosti prierezu (CSMI) ako miera sily kosti, sa môžu vypočítať pomocou QCT, pQCT a HR-pQCT. HR-pQCT sa tiež používa na hodnotenie kortikálnej a trabekulárnej makro- a mikroarchitektúry, najmä v oblasti distálnej časti vretennej kosti a holennej kosti. Deti a dospievajúci so zlomeninou distálneho predlaktia v dôsledku miernej traumy, majú tenšiu kortikálnu časť kosti a deficity v mikroštruktúre trabekulárnej kosti, čo následne ohrozuje pevnosť kosti a odolnosť voči zlomeninám. Nedávne výskumy zistili významnú pozitívnu koreláciu medzi hladinami vitamínu D a parametrami kvality kostného tkaniva determinovanými pomocou HR-pQCT, akými sú objem a hrúbka trabekulárnej kosti.

MRI

MRI využíva magnetické pole na vytvorenie detailného prierezového obrazu kortikálnej aj trabekulárnej kosti a umožňuje analýzu mikroarchitektúry kosti vo veľkých detailoch. Táto mikroarchitektúra zahŕňa hodnotenie viacerých kvalitatívnych parametrov: pomer zdanlivého objemu kosti k celkovému objemu (appBV/TV), zdanlivé trabekulárne číslo (appTbN), zdanlivú trabekulárnu hrúbku (appTbTh) a separáciu v trabekulárnej kosti.

Hoci v dospelej populácii sa na hodnotenie skeletálnych zmien MRI používa pomerne bežne, u detí je jej rutinné využitie limitované z dôvodu potreby celkovej anestézie u detských pacientov. V súčasnosti, MRI nachádza svoje uplatnenie u detí s osteosarkómom, diabetom a detskou mozgovou obrnou. Deficit v mikroarchitektúre trabekulárnej kosti (appBV/TV a appTbN) bol pozorovaný najmä u detí s DM 1. typu. V tejto populácii sa však nezistila žiadna súvislosť medzi trabekulárnymi charakteristikami a zlomeninami.

Kvantitatívny ultrazvuk (QUS)

Na rozdiel od DEXA a CT je ultrazvuk neinvazívnou zobrazovacou metódou bez riadácie. Metóda má niekoľko výhod vrátane cenovej dostupnosti, prenosnosti a ľahkej izolácie konkrétneho anatomického miesta. Hoci jeho užitočnosť môže závisieť od používateľa, jeho výhody z neho robia vhodný prístroj na hodnotenie kvality kostí nielen u dospelých, ale najmä u detí a dospievajúcich. Metóda QUS sa využíva najmä na hodnotenie kostného tkani-

va v periférnych oblastiach skeletu ako napríklad pätová kosť, holenná kosť, vretenná kosť a články prstov ruky.

Ultrazvukové vlny interagujú s kosťou veľmi odlišným spôsobom v porovnaní s ionizujúcim žiarením a poskytujú informácie o vlastnostiach kosti vrátane hustoty tkaniva, elasticity a architektúry. V trabekulárnej kosti dochádza k útlmu vĺn rozptylovým spôsobom, čo spôsobuje, že energia sa rozptýli pozdĺž komplexnej architektúry tkaniva. V kortikálnej kosti je akustická energia prevažne absorbovaná a následne premenená na tepelnú energiu. Kvantitatívne výsledky, ktoré možno odvodiť z ultrazvukového zobrazovania, teda zahŕňajú: rýchlosť nezávislú od amplitúdy, rýchlosť zvuku (SOS), amplitúdovo závislú SOS (AD-SOS), a širokopásmový útlm ultrazvuku (BUA).

Zisťuje sa čas transmisie zvuku kosťou, ktorý charakterizuje vlastnosti kosti nezávisle od okolitého mäkkého tkaniva. Ultrazvuk vo všeobecnosti používa axiálny alebo biaxiálny režim prenosu. V režime obojsmerného axiálneho prenosu (BDAT, Bi-Directional Axial Transmission) a v biaxiálnom režime je rýchlosť prvého prichádzajúceho signálu priamo asociovaná s tuhosťou kortikálneho tkaniva, hrúbkou kortikálnej časti a kortikálnou pórovitosťou. Z tohto dôvodu je možné BDAT ultrazvuk použiť na monitorovanie liečby detí a mladých dospelých s ochoreniami kostí. Keď sa BDAT ultrazvuk použil u štvorročných detí s hypofosfatemickou krivicou viazanou na X chromozóm, zistili sa signály s nižšou rýchlosťou v porovnaní so zdravými kontrolami zodpovedajúceho veku. Tieto signály nižšej rýchlosti sú priamo asociované s kvalitatívnymi parametrami kostného tkaniva. Vzhľadom na vysokú senzitivitu a špecificitu ultrazvuku pri detekcii zlomenín u detí je možné túto zobrazovaciu techniku použiť na hodnotenie zlomenín v detskej populácii.

Biochemické markery

Kosť je vysoko metabolický systém s jemnou rovnováhou medzi tvorbou a resorpciou. Počas rastu prevláda formácia a modelovanie kosti nad resorpciou. Ochorenie môže túto rovnováhu narušiť, čo vedie k zmenám v kvalite a kvantite kostného tkaniva. To je dôvod, prečo sa laboratórne testy často vykonávajú u detí, ktoré vykazujú známky fragility kostí. Takéto biomarkery sú ovplyvnené vekom, pohlavím a pubertálnym statusom u detí a sú nevyhnutné pri monitorovaní liečebných terapií, pretože zmeny markerov kostného obratu (BTM) v reakcii na liečbu sú oveľa rýchlejšie a dynamickejšie ako zmeny v BMD.

Súčasný neinvazívny skríning zdravia kostí zahŕňa laboratórne vyšetrenie krvi a moču, ktoré zahŕňa komplexnú metabolickú analýzu. Napríklad analýzu hladín vápnika a fosfátu za účelom zhodnotenia správnej mineralizácie kostí,

analýzu množstva horčíka na kontrolu nečistôt v kosti, albumínu a hladín alkalickej fosfatázy na sledovanie úrovne kostnej formácie. Meria sa tiež množstvo PTH na posúdenie hladiny vápnika v krvi a stanovujú sa hladiny vitamínu D v tele pomocou 25-hydroxyvitamínu D testu. Ďalšie laboratórne testy zahŕňajú vyšetrenie moču. Analyzujú sa hladiny pyridinolínu (PD), pomer deoxypyridinolín/kreatinín (DPD/krea; marker kostnej resorpcie) a hladiny vápnika/kreatinínu (marker osteopénie).

Hormonálne biomarkery, ako je sérový PFAS a močový ftalát, a markery kostného obratu sa testujú u detí a dospievajúcich s narušenými hormonálnymi signálnymi dráhami ovplyvňujúcimi homeostázu kostí.

2.5 FRAX (metóda hodnotenia rizika zlomeniny, Fracture Risk Assessment Tool)

S pojmom osteoporózy je v dnešnej dobe značne prepojená aj predikcia zlomenín. Toto prepojenie zabezpečuje štatistický výpočtový program FRAX vytvorený za účelom sledovania stavu kostného zdravia a predikcie zlomenín v populácii. Bol založený na základe analýzy údajov z dvanástich veľkých prospektívnych observačných štúdií mužov a žien v rôznych oblastiach sveta. Ide o počítačový algoritmus, ktorý vytvára predikciu zlomeniny bedrového kĺbu alebo osteoporotickej zlomeniny na desať rokov u konkrétneho pacienta.

Vstupnými údajmi pre FRAX sú vek, pohlavie, výška, hmotnosť pacienta, odpoveď „áno/nie“ na otázky ohľadne siedmich majoritných klinických rizikových faktorov na kostné zdravie:

1. výskyt zlomeniny spôsobenej neadekvátnou silou ku vzniku fraktúry alebo zlomenina zapríčinená nízkou kostnou hustotou v minulosti v dospelom veku,
2. zlomenina bedrového kĺbu u rodičov,
3. fajčenie (v súčasnosti),
4. užívanie glukokortikoidov (najmenej 5 mg prednizolónu po dobu najmenej troch mesiacov),
5. potvrdená reumatoidná artritída,
6. diagnostikovaná sekundárna osteoporóza (alebo ochorenie s ňou súvisiace napr.: diabetes mellitus I. typu, OI u dospelých, neliečená dlhotrvajúca hypertyreóza a hypogonadizmus a iné) alebo predčasná menopauza. Odpoveď „áno“ v tomto prípade nemá žiadny vplyv na výpočet rizika zlomeniny, pokiaľ je zadaná hodnota BMD krčka stehennej kosti.

7. Príjem alkoholu viac ako tri jednotky denne (pričom jednotka alkoholu je definovaná ako ekvivalent pohára piva, asi 30 ml liehoviny alebo stredne veľkého pohára vína).

Medzi výhody FRAX môžeme zaradiť kvantitatívny odhad rizika zlomeniny, ktorý je založený na rozsiahlych údajoch z rôznych populácií a etník. FRAX je možné použiť na odhad pravdepodobnosti zlomeniny aj bez nameranej hodnoty BMD krčka stehnovej kosti, čo umožňuje jeho použitie aj v prípadoch, kedy DEXA nie je k dispozícii. Výhodou je určite aj jeho voľná dostupnosť na internete (https://frax.shef.ac.uk/FRAX/tool.aspx?lang=sl) v rôznych jazykových variantoch. Nevýhodou je, že na vygenerovanie čo najpresnejšieho výstupu musia byť odpovede na otázky o rizikových faktoroch korektne vyplnené (napríklad samodiagnostika reumatoidnej artritídy môže skresliť výsledky a nadhodnotiť riziko zlomeniny), ale aj faktory nezahrnuté vo vstupnej informácii programu (ako napr. pády).

Riziko zlomeniny môže byť podcenené alebo nadhodnotené aj v dôsledku dichotomizovaného (áno − nie) vstupu pre rizikové faktory. Ide napríklad o podcenenie rizika zlomeniny, ak pacient užíva vysoké dávky glukokortikoidov alebo má v anamnéze viac zlomenín. Program môže podceniť riziko zlomenín aj v prípadoch, kedy je BMD lumbálnej chrbtice výrazne nižšie ako BMD krčka stehennej kosti (cca 15 % pacientov s osteoporózou). FRAX bol validovaný len na jedincoch neliečených na osteomaláciu alebo osteoporózu, čo znamená, že u liečených pacientov môže preceniť riziko zlomenín. „Neliečený jedinec" pritom môže byť interpretovaný iba ako nikdy neliečený, ktorý neužíval žiadny bisfosfonát za posledné dva roky; neužíva žiadny estrogén, raloxifén, kalcitonín alebo denosumab za posledný rok. V tejto súvislosti užívanie vápnika a vitamínu D nepredstavujú liečbu. FRAX umožňuje vyhodnotenie výsledku len pre štyri etnické skupiny (kaukazoidnú, negroidnú, hispánsku a mongoloidnú). Napriek mnohým obmedzeniam je tento program užitočným klinickým nástrojom, ak je využívaný odborníkmi s adekvátnou znalosťou faktorov ovplyvňujúcich hustotu kostí.

3 ANTROPOLOGICKÉ METÓDY VO FORENZNEJ PODIATRII

Antropologické metódy vo forenznej podiatrii predstavujú špecifickú oblasť forenznej vedy, ktorej hlavným cieľom je identifikácia jedincov na základe charakteristík dolných končatín a ich odtlačkov. Tieto metódy zahŕňajú analýzu morfologických znakov chodidla, hodnotenie biometrických parametrov a aplikáciu štatistických postupov na určenie identity jednotlivcov. S rozvojom technológií a zvyšujúcou sa presnosťou metód sa forenzná podiatria stala dôležitou súčasťou kriminalistiky a súdnej medicíny.

Jednou z hlavných oblastí výskumu je analýza morfometrických charakteristík chodidla, ktoré sa vyskytujú v individuálnych variáciách a sú ovplyvnené genetickými, etnickými a environmentálnymi faktormi. Morfologické črty chodidla zahŕňajú tvar prstov, oblúk chodidla, hrúbku kože a rozmery jednotlivých častí nohy. Pre forenzné účely sa tieto znaky analyzujú pomocou štandardizovaných metód, ktoré umožňujú presnú komparáciu medzi jednotlivcami.

Významnou metódou v forenznej podiatrii je biometrická analýza chodidla, ktorá zahŕňa meranie dĺžky a šírky chodidla, pomerov medzi jednotlivými časticami a asymetrií v štruktúre dolných končatín. Tieto metriky sa využívajú na určenie veku, pohlavia a výškovo-hmotnostných parametrov pri analýze neznámych osôb v kriminálnych alebo antropologických kontextoch. Softvérové nástroje na digitálne spracovanie obrazu umožňujú presnejšiu identifikáciu a elimináciu chýb spojených s manuálnym meraním.

Odtlačky chodidla a obuvi sú často analyzované v kontexte miesta činu, kde poskytujú cenné informácie o pohybe páchateľa a jeho fyzických charakteristikách. Porovnaním odtlačkov s databázou známych vzoriek je možné s vysokou presnosťou určiť identitu jedinca alebo potvrdiť jeho prítomnosť na mieste činu. Moderné technológie, ako napríklad 3D skenovanie a algoritmy umelej inteligencie, umožňujú automatizovanú analýzu a efektívne spracovanie veľkého množstva dát.

Antropologické metódy vo forenznej podiatrii sú tiež aplikované v prípadoch masových katastrof, kde tradičné metódy identifikácie nie sú možné z dôvodu značného poškodenia tela. V takýchto situáciách sa analyzujú jedinečné znaky chodidiel, ako sú zmeny v kosti, jazvy alebo ortopedické abnormality, ktoré môžu poskytnúť dôležité indície pre určenie identity obetí.

Význam antropologických metód vo forenznej podiatrii sa neustále zvyšuje s narastajúcim dôrazom na presnosť a spoľahlivosť identifikácie. Vývoj nových

technológií a zdokonalené postupy v analýze chodidla a odtlačkov prispievajú k lepšiemu využitiu týchto metód v praxi, čo z nich robí neoddeliteľnú súčasť forenznej vedy a kriminalistiky.

3.1 Charakteristika forenznej podiatrie

Forenzná veda je súborom vied používaných na kriminalistické účely, najmä pri odhaľovaní trestných činov a pri výkone spravodlivosti. Do tejto skupiny sa zaraďuje aj forenzná podiatria, ktorá využíva podiatrickú expertízu. Hoci je forenzná podiatria relatívne mladé vedecké odvetvie, v posledných rokoch sa jej dostáva viac pozornosti než v sedemdesiatych rokoch, kedy vznikla. Forenzná podiatria môže byť nápomocná pri biologickom profilovaní a následnej osobnej identifikácii, na preukázanie spojitosti jednotlivca s miestom činu alebo ako pomoc pri akomkoľvek inom právnom vyšetrovaní, ktoré sa týka chodidla alebo obuvi a vyžaduje si pochopenie funkcie chodidla. Zaoberá sa teda analýzou a vyhodnocovaním dôkazov súvisiacich s ľudskou nohou, chodidlom a odtlačkami stupaje. Jej hlavnou úlohou je identifikácia jedinca na základe charakteristických znakov stopy nohy, a to buď prostredníctvom odtlačkov na rôznych povrchoch alebo analýzou obuvi a jej vnútornej štruktúry. Tento odbor úzko súvisí s forenznou biomechanikou, ktorá sa zameriava na vyhodnocovanie lokomócie, analýzu chôdze a biomechanické aspekty pohybu človeka. Podľa Strausa (1999) je forenzná biomechanika definovaná ako vedný odbor aplikujúci biomechaniku a biomechanické metódy na skúmanie kriminalistických stôp, ktoré vznikajú pri pohybovej činnosti človeka. Táto veda dekóduje informácie z relevantných kriminalistických udalostí a pomáha pri určovaní jedincov na základe ich pohybových charakteristík a odtlačkov stupají. Na preukázanie spojitosti jednotlivca s miestom činu je potrebné využitie solídnych a preskúmaných poznatkov a odborných znalostí z oblasti forenznej podiatrie. Medzi kľúčové oblasti forenznej podiatrie patrí: porovnanie individuálnych charakteristík s údajmi z kartových záznamov jednotlivca, forenzná analýza chôdze, analýza a identifikácia obuvi a porovnanie stôp zanechaných na mieste činu pre účel identifikácie.

Identifikácia je pre forenzných podiatrov založená na základe individuálnych charakteristík v oblasti prstov a päty. V prípadoch hromadných katastrof môžu byť dôkazy nájdené vo forme neúplných/úplných odtlačkov chodidiel alebo oddelených kostí chodidiel. V prípade nálezu odtlačkov na mieste činu, je možné pozorovať vzor chôdze a celkový pohyb páchateľa na mieste činu.

Forenzná podiatria sa zaoberá aj analýzou bosých chodidiel a ich využití pri identifikácii jedinca. V západnom svete je mnoho zločinov spáchaných páchateľom, ktorý nosí obuv.

To nemusí byť vždy prípad v krajinách tretieho sveta a rozvojových krajinách, kde nosenie obuvi môže byť neobvyklé. Výsledky štúdií výrobcov obuvi a antropológov podporujú teóriu, že každá zanechaná stopa môže byť jedinečná, keďže aj v samotnej obuvi dochádza ku vzniku odtlačku chodidla a tým pádom stielka obuvi slúži ako cenný podiatrický dôkaz. Forenzná podiatria sa neobmedzuje iba na analýzu statických odtlačkov, ale zahŕňa aj dynamické aspekty, ako je chôdza jedinca, rýchlosť kroku a tlak na jednotlivé časti nohy počas pohybu. V kriminalistike sa odtlačky nôh často nachádzajú na mieste činu v podobe stôp v pôde, v prachu, v krvi alebo v iných substanciách. Tieto dôkazy môžu byť kľúčové pri identifikácii páchateľa a rekonštrukcii udalostí.

Niektorí podiatri so záujmom o ľudskú identifikáciu môžu mať problém prejsť od klinickej paradigmy k identifikácii jedincov. Forenzní podiatri sa podieľajú na prezentácii a hodnotení forenzných prípadov od začiatku 70. rokov 20. storočia v Spojených štátoch amerických, Spojenom kráľovstve, Kanade, Austrálii, na Strednom východe a Novom Zélande. Vzhľadom na význam forenznej podiatrie v modernom vyšetrovaní sa zdôrazňuje potreba zahrnutia tejto subdisciplíny pri stanovovaní biologického profilu z pozostatkov chodidiel a odtlačkov nôh. Aj keď v zahraničí sa forenzní podiatri podieľajú na riešení forenzných prípadov od 70. rokov, na Slovensku ešte zatiaľ chýba tejto disciplíne úplné využitie v praxi.

Vzhľadom na hodnotu forenznej podiatrie pri procese identifikácie je potrebné, aby podatri ovládali podiatrické poznatky, vrátane pochopenia anatómie a fyziológie dolnej končatiny, štruktúrnych patológií nohy, podiatrickej biomechaniky a vzťahu medzi obuvou a fungovaním nohy.

3.1.1 Stručný vývoj forenznej podiatrie

Forenzná podiatria je mladá aplikovaná špecializácia, ktorá využíva znalosti klinickej podiatrie za účelom biologického profilovania a následnej identifikácie osôb. V minulosti bola definovaná ako veda uplatňujúca skúseností podiatrie v oblasti súdneho vyšetrovania na preukázanie asociácie jedinca s miestom činu alebo zodpovedanie akýchkoľvek otázok týkajúcich sa nohy a obuvi.

História forenznej podiatrie siaha až do konca 19. storočia, keď sa začali prvé pokusy o analýzu vzťahu medzi dĺžkou nohy a telesnou výškou. Medzi priekopníkov patrili Alphonse Bertillon a Henri de Parville, ktorí skúmali lineárnu závislosť medzi telesnou výškou a rozmermi nohy. Bertillonova tabuľka koeficientov, publikovaná v Revue Scientifique v roku 1889, patrí medzi prvé známe nástroje na odhad telesnej výšky z dĺžky nohy. V nasledujúcich desaťročiach sa forenzná biomechanika začala etablovať ako samostatný odbor. Prípad

vraždy poštára v Káhire v roku 1959 predstavuje míľnik v jej vývoji. Forenzný patológ sir Sidney Smith v tomto prípade predpovedal fyzické charakteristiky páchateľa na základe odtlačkov nôh a obuvi, čím preukázal praktickú využiteľnosť tejto metódy. Jeho predikcia sa pri zatknutí páchateľa potvrdila, čo výrazne zvýšilo dôveryhodnosť forenznej podiatrie v kriminalistike.

V 70. a 80. rokoch 20. storočia sa výskum v tejto oblasti ďalej rozvíjal vďaka prácam Viktora Poradu a Vladimíra Karasa, ktorí sa venovali biomechanickej analýze trasologických stôp. V tomto období sa začali skúmať aj dynamické faktory chôdze a ich vplyv na odtlačky stupají. Forenzná podiatria vznikla v roku 1970 v Kanade a vo Veľkej Británii, ale výskum bol zahájený až v roku 1990. V roku 1972 kanadský vedec Norman Gunn vyvinul metódu identifikácie jedinca na základe stôp nôh, pričom mnohé jeho techniky sa používajú dodnes ako tzv. Gunnova metóda. Robbinsovej analýza bosého odtlačku chodidla, z roku 1985, bola použitá ako šablóna pre potvrdenie unikátnosti nohy a jej odtlačkov ako dôkazového materiálu.

Identifikáciu z podiatrických záznamov pôvodne navrhol doktor Ivor Doney v roku 1984 s myšlienkou, že lekárske podiatrické záznamy môžu dopomôcť k profilovaniu odtlačkov. Tieto záznamy obsahujú údaje o vykonanej liečbe, morfologickom type nohy, patológiách a o mieste a forme existujúcich kožných lézií. Doney predpokladal, že údaje môžu byť použité vo forenznej identifikácii.

V oblasti forenznej podiatrie bol zaznamenaný významný progres v uplynulých dvadsiatich rokoch a od roku 2007 bola uznaná IAI (International Association for Identification) ako plnohodnotná forenzná disciplína.

Moderná forenzná podiatria sa dnes opiera o kombináciu tradičných metód s pokročilými technológiami, ako sú digitálne plantogramy, 3D skenovanie chodidla a analýza chôdze pomocou senzorových systémov. Výskum v tejto oblasti pokračuje aj v súčasnosti, pričom významným prínosom sú práce odborníkov ako Ansert, Nirenberg, Vernon a Reel, ktorí sa venujú aplikáciám podiatrických metód v kriminalistike.

3.2 Anatomicko-morfologická charakteristika nohy

Noha človeka je zložitá anatomická štruktúra pozostávajúca z viacerých kostí, kĺbov, svalov a väzov. Jej biomechanické vlastnosti ovplyvňujú spôsob chôdze a odtlačky, ktoré zanecháva. Klenba nohy zohráva dôležitú úlohu v stabilite a pohybe, pričom rôzne deformity, ako napríklad plochá noha alebo vysoká klenba, môžu byť charakteristickými znakmi dôležitými pri forenznej analýze.

Lokomočný systém je jednou z hlavných odlišností človeka od jeho fylogenetických predkov. Tieto rozdiely spočívajú v štruktúrach súvisiacich s polohou a premiestňovaním sa tela v priestore. Medzi ne patria najmä kosti, svaly, šľachy a niektoré ďalšie doplnkové orgány. Pre človeka je typický pohyb vo vzpriamenej polohe na dolných končatinách. Tento druh pohybu nazývame dvojnohosť čiže bipédia. Hoci anatomické adaptácie na bipédiu nachádzame prakticky na celej kostre, väčšina z nich sa prejavuje na dolných končatinách, na panve a v driekovej časti chrbtice.

V priebehu fylogenetického vývoja sa ľudská noha zmenila z uchopovacej končatiny na nosnú štruktúru. U človeka sa palec priklonil k ostatným prstom, aby umožnil státie a chôdzu a jeho strata mobility bola na úkor prenosu telesnej hmotnosti. Tým, že pri chôdzi pôsobil silný tlak na palec, spôsobil jeho zväčšenie a na druhej strane, v dôsledku oslabenia lokomotorickej funkcie, došlo k redukcii veľkosti ostatných prstov. Palec je rovnobežný s pozdĺžnou osou nohy a jeho pohyb je hlavne vo vertikálnej rovine, teda v smere zhora nadol a naopak a jeho pohyb do strán je obmedzený. Ľudská noha sa líši od nohy primátov stavbou i funkciou. Mení sa vzájomný dĺžkový pomer jednotlivých stavebných oddielov nohy. U človeka pripadá na tarzus 52 % dĺžky nohy, na metatarzus 30 % a na články prstov iba 18 %.

Vývoj dvojitého zakrivenia na nohe znamenal vznik pozdĺžnej a priečnej klenby, čo umožnilo pružnú lokomóciu a stlmenie nárazov vznikajúcich pri každom kroku, aby neboli v plnej intenzite prenášané na životne dôležité orgány. Priečna a pozdĺžna klenba je prítomná len u človeka.

Noha je anatomická oblasť, ktorá je charakteristická vysokým stupňom individuality. Je spojená v pravom uhle s kosťami predkolenia pomocou kĺbu a vytvára oporu celému telu. Noha ako bazálny článok ľudského tela je základným prvkom pri lokomócii, ale taktiež slúži aj ako významný senzitívny snímač a jej stav sa odráža v demonštrácii posturálnej aktivity. Na stav a funkciu nohy vplýva niekoľko faktorov, medzi ktoré patria genetické predispozície, adekvátna fyzická záťaž, vhodná pohybová aktivita a anatomicky vhodná a kvalitná obuv. Detská noha sa stále vyvíja, rastú nielen dĺžkové rozmery, ale aj šírkové a objemové, čím vzniká väčšie riziko poškodenia nohy v detskom veku.

Noha sa skladá z kostí priehlavku (*ossa tarsalia*), predpriehlavkových kostí (*ossa metatarsalia*) a článkov prstov (*phalanges)*. Sedem kostí priehlavku je usporiadaných do dvoch pozdĺžnych prúdov prekrývajúcich sa pod tibiou. Členková kosť (*talus*), člnkovitá kosť (*os naviculare*) a tri klinové kosti (*ossa cuneiformia*) tvoria vrchný a vnútorný prúd. Pätová kosť (*calcaneus*) a kockovitá kosť (*os cuboideum*) tvoria spodný a laterálny prúd. Pätová a členková kosť patria medzi najväčšie kosti priehlavku. Spolu tvoria páku, ktorá dvíha

pätu v okamihu prenosu ťažiska tela na druhú nohu. Členková kosť sa kladkou (*trochlea tali*) kĺbovo spája s kosťami predkolenia a práve pomocou tohto kĺbu sa celá noha pripája k predkoleniu. Päť predpriehlavkových kostí sa proximálne spája s kosťami priehlavku a distálne s proximálnymi článkami prstov. Každý prst, okrem palca má tri články, palec má len dva. Na vnútornej strane palcovej predpriehlavkovej kosti sa nachádzajú dve tzv. sezamské voľné kostičky. Svaly nohy rozdeľujeme na dve skupiny – dorzálnu a plantárnu, kde rozlišujeme svaly tenaru, hypotenaru a strednú skupinu svalov. Tieto svaly uskutočňujú najmä pohyby prstov nohy a majú statický význam, nakoľko pomáhajú udržiavať klenbu nohy. Sú pokryté silnou väzivovou blanou – plantárna aponeuróza.

3.2.1 Klenba nohy

Anatomická stavba nohy, ktorá je daná usporiadaním kostí do pozdĺžnej a priečnej klenby, podmieňuje statickú (vzpriamený postoj) a dynamickú funkciu (pohyb človeka – odvíjanie nohy od podložky a ochranu mäkkých častí). Klenba sa skladá z piatich pozdĺžnych lúčov. Vpredu sú pomerne voľné a mnohonásobne rozdelené, čím umožňujú dokonalejšie prispôsobenie tvaru chodidla podložke. Zadné lúče majú nepatrnú pohyblivosť a sú masívne stavané, aby uniesli veľké zaťaženie. Zdravá klenba nohy a jej statika je zaistená hlavne ťahom ligamentov, ktoré sa však nezaobídu bez dynamickej funkcie svalov. Vďaka tomuto usporiadaniu označujeme nohu ako samostatnú funkčnú jednotku. Klenba nohy totiž nesie hmotnosť tela, ktorú má nad sebou. Vplyvom nadmerného zaťaženia klenby nohy je klenba vystavená silám, ktoré ju majú tendenciu znížiť a oploštiť.

Pozdĺžna klenba nohy

Sedem kostí priehlavku je usporiadaných **do dvoch pozdĺžnych prúdov** prekrývajúcich sa pod tibiou. Členková kosť (*talus)*, člnkovitá kosť (*os naviculare*) a tri klinové kosti (*ossa cuneiformia*) tvoria vrchný a vnútorný (*mediálny*) prúd. Pätová kosť (*calcaneus*) a kockovitá kosť (*os cuboideum*) tvoria **spodný a laterálny prúd**. **Mediálna (vnútorná) pozdĺžna klenba** je často označovaná ako **hlavná klenba**, prebieha po vnútornej strane chodidla a je nevyhnutnou pre udržiavanie rovnováhy. Poskytuje dynamickú pružnosť pre chôdzu a absorbuje hlavný nápor otrasov, s ktorými sa dolné končatiny stretávajú. Laterálna (vonkajšia) pozdĺžna klenba je oveľa subtilnejšia a má funkciu stabilizátoru rovnováhy. Pri udržiavaní tohto oblúku má dôležitú úlohu najmä ligamentum plantare longum, čo je silný väz na chodidle, ktorý sa nachádza medzi pätovou kosťou a kĺbovými puzdrami metatarzálnych kĺbov. Svaly udržiavajúce vykle-

nutie nohy smerujú pozdĺž chodila a napínajú pozdĺžnu klenbu neustálym pnutím do oblúku. Pri tejto činnosti sú dôležité nasledovné svaly: zadný píšťalový sval (*musculus tibialis posterior*), ktorý svojim priebehom podchytáva najvyššie miesto oblúku, dlhý ohýbač prstov (*musculus flexor digitorum longus*), dlhý ohýbač palca (*musculus flexor hallucis longus*) a povrchovo prebiehajúce krátke svaly na chodidle.

Priečna klenba nohy

Predná metatarzálna (priečna) klenba prebieha v pravom uhle oproti predchádzajúcim klenbám, čím poskytuje chodidlu priečnu podporu a rovnováhu. Priečne klenutie vedie v podstate celou dĺžkou nohy. Je tvorené niekoľkými priečnymi oblúkmi, ktoré majú rôzny tvar a stavbu podľa jednotlivých úrovní. Priečna klenba je podmienená tvarom a usporiadaním klinových kostí (*ossa cuneiformia*). Na udržiavaní priečnej klenby nohy sa podieľa najmä priečne orientovaný systém ligamentov a svaly – predný píšťalový sval (*musculus tibialis anterior*) a dlhý lýtkový sval (*musculus fibularis longus*).

3.2.2 Prehľad vybraných frekventovaných deformít na nohe

Zdravá noha je definovaná ako noha, ktorej kostrová sústava, svaly, kĺby a ani nervy nie sú postihnuté žiadnou vrodenou alebo získanou chybou s trvalými následkami. Normálne klenutá noha sa opiera o tri body: pätu, sezamskú kostičku pod hlavicou I. metatarzálnej kosti a o hlavičku V. metatarzálnej kosti. Dotýka sa podložky vonkajším okrajom nohy a bruškami prstov. Faktory, ktorými sa zo zdravej nohy stane noha s patologickým stavom, resp. rôznymi deformitami, napríklad deformitami klenby alebo prstov je viacero. Môže to byť nosenie nevhodnej obuvi, úrazy, zápaly šliach alebo väzov, obezita, zvyšujúci sa vek alebo reumatoidná artritída a ďalšie iné, ktoré budú bližšie uvedené v podkapitole 3.2.4.

Deformity nôh možno rozdeliť do viac kategórií podľa rôznych kritérií. Rozlišujeme vrodené a získané deformity nôh.

Medzi základné vrodené deformity nohy patria:

Pes planovalgus congenitus (vrodená hákovitá noha) – deformita sa môže vyskytovať jednostranne alebo obojstranne. Charakteristickým znakom je, že noha je pri narodení v hyperextenznej polohe a zdvihnutá dopredu. Jej pasívne vyrovnanie je spočiatku nemožné v dôsledku skrátenia extenzorov prstov. Táto deformita môže byť spojená s neurologickými alebo genetickými faktormi.

Pes equinovarus congenitus („konská noha", vtočená noha) – vrodená ortopedická deformita, pri ktorej je chodidlo vtočené dovnútra a smeruje dole v plantárnej flexii. V literatúre sa často označuje ako *clubfoot* alebo *talipes equinovarus*, pričom v slovenskej a českej terminológii sa používa skratka **PEC** (*pes equinovarus congenitus*). Etiológia tejto deformity nie je úplne objasnená, avšak predpokladá sa, že vzniká v dôsledku abnormálneho vývoja svalov, kostí a šliach počas intrauterinného vývoja. Včasná diagnostika a adekvátna liečba, najčastejšie metódou podľa Ponsetiho, sú kľúčové pre dosiahnutie optimálneho funkčného výsledku.

Pes adductus congenitus (vrodená vbočená noha) – ide o vrodenú deformitu chodidla, pri ktorej je zadná časť nohy v miernej varóznej (vnútornej) polohe, zatiaľ čo predná časť chodidla je v addukcii (stočená dovnútra) a supinácii (otočená smerom nahor). Táto deformita sa môže vyskytovať samostatne alebo v rámci syndrómových ochorení a často sa spontánne upraví. V prípade pretrvávania je indikovaná konzervatívna liečba, napríklad strečing, dlahovanie alebo fyzioterapia.

Medzi základné získané deformity nohy patria:

Pes equinus (zvislá noha) – chodidlo je fixované v plantárnej flexii, čo znamená, že pacient našľapuje výlučne na prednú časť chodidla a došľap na pätu nie je možný. Pri chôdzi dochádza k extrémnej dorzálnej flexii prstov, pričom celková telesná hmotnosť je prenesená na hlavičky metatarzov. Dôsledkom je pokles priečnej klenby a vznik otlakov na nášľapnej ploche. Svalstvo lýtka a chodidla postupne atrofuje. Najčastejšie príčiny zahŕňajú neurologické ochorenia (mozgová obrna, polyneuropatie, stavy po cievnych mozgových príhodách), posttraumatické kontraktúry Achillovej šľachy alebo nesprávne liečené zlomeniny dolnej končatiny. Diagnostika sa opiera o klinické vyšetrenie, RTG a dynamickú plantografiu. Liečba zahŕňa rehabilitáciu, ortopedické pomôcky (dorziflexné ortézy), v pokročilých prípadoch je indikovaný chirurgický zákrok, napríklad predĺženie Achillovej šľachy alebo korekčná osteotómia.

Pes calcaneus (hákovitá noha) – opačná deformita oproti pes equinus. Pacient našľapuje iba na pätu, zatiaľ čo predná časť chodidla je zdvihnutá nahor, čím chodidlo pripomína hák. Príčinou môžu byť neurologické ochorenia (periférne neuropatie, poškodenie n. tibialis), myopatie alebo posttraumatické stavy. Komplikácie zahŕňajú preťaženie pätovej kosti, tvorbu hyperkeratóz a bolestivé lézie na päte. Terapia je konzervatívna (rehabilitácia, ortézy), v závažných prípadoch chirurgická korekcia.

Pes cavus (vysoká, lukovitá noha) – deformita charakterizovaná nadmerným vyklenutím pozdĺžnej klenby chodidla, ktorá môže byť flexibilná ale-

bo rigidná. Príčinou môže byť vrodená anomália, neurologické poruchy (Charcot-Marie-Toothova choroba, spinálna svalová atrofia), stavy po úrazoch alebo reumatické ochorenia. Stupeň vyvýšenia sa hodnotí v troch kategóriách. Pri rigidnej forme vysokého chodidla nie je stredná časť chodidla v kontakte s podložkou, čo obmedzuje schopnosť absorbovať nárazy pri chôdzi. Os subtalárneho kĺbu je vertikálnejšia ako pri normálnom chodidle a s podložkou zviera uhol väčší ako 45°. Klinické prejavy zahŕňajú nestabilitu pri chôdzi, časté vyvrtnutia členka, bolestivosť v oblasti metatarzálnych hlavičiek a otlaky na laterálnom okraji chodidla. Diagnostika zahŕňa klinické vyšetrenie, RTG, plantografiu a EMG pri podozrení na neurologickú príčinu. Liečba závisí od príčiny – konzervatívna terapia zahŕňa rehabilitáciu, ortopedické vložky na podporu klenby a korekčné ortézy. V pokročilých prípadoch sa využíva chirurgická intervencia, ako je osteotómia alebo korekcia šliach.

Pes planus (plochá noha) – deformita charakterizovaná znížením pozdĺžnej nožnej klenby rôzneho stupňa, ktorá býva sprevádzaná zmenami v topografii nohy a anatomickej štruktúre. V inej literatúre sa stretávame s charakteristikou, ktorá hovorí, že sa jedná o abnormálne zníženie pozdĺžnej klenby, dokonca môže dôjsť k úplnému vymiznutiu. Pre túto deformitu je typické chýbanie mediálnej časti klenby nohy sprevádzané zvýšenou valgozitou päty. Stav nožných klenieb súvisí taktiež s postavením kolien, čiže aj ovplyvňuje postavenie chrbtice a panvy.

Plochú nohu delíme podľa nálezu na niekoľko stupňov podľa Sosna et al. 2008:

- 1. stupeň – k splošteniu klenby dochádza iba pri zaťažení, pričom pri odľahčení sa klenba vyrovná.
- 2. stupeň – pri zaťažení dochádza k splošteniu pozdĺžnej klenby, splo-štenie trvá aj pri odľahčení, pasívne je možné priviesť nohu do normálneho stavu.
- 3. stupeň – mediálny okraj nohy je konvexný (vypuklý), klenbu nohy je nemožné pasívne korigovať.

Podľa Riegerová a Přidalová 2006 môžeme plochú nohu rozdeliť aj na základe veľkosti deformity, a to nasledovne:

- 1. stupeň – „unavená noha“, je typ nohy, kde je tvar zachovaný, ale pri námahe a zaťažení dochádza k pocitu únavy a bolestiam. Vyšetrením sa často odhalí aj valgózne postavenie päty.
- 2. stupeň – „ochabnutá noha“ , kde pozdĺžna a priečna klenba klesá dôsledkom zaťaženia, ale pri uvoľnení (odľahčení) sa obe klenby vrátia do normálneho postavenia.

- 3. stupeň – „plochá noha“ , kde klenba nohy ostáva sploštená trvalo, je voľná, avšak pasívne je možné ju sformovať do správneho tvaru.
- 4. stupeň – „plochá noha s fixovanou deformitou“, pri tomto type sa päta nachádza vo valgóznom postavení, do pronácie prechádza aj predkožie a rozširuje sa. Palec je takisto stlačený do valgózneho postavenia. Zároveň sa vyvíjajú tzv. kladivkovité prsty, začínajú byť pozorované bolesti predkolenia, a postupujú smerom nahor po dolnej končatine, čiže tieto bolesti postihujú aj kolenný a bedrový kĺb, ba dokonca bedrový úsek chrbtice, a to v dôsledku nepružnej chôdze.

Plochá noha môže byť spôsobená chabými väzmi, ale aj ako súčasť niektorých syndrómov, ako napríklad Downom alebo Marfanov syndróm. Ďalej môže byť spôsobená svalovou slabosťou, pri porušení periférnych nervov alebo pri juvenilnej reumatoidnej artritíde. Výskyt plochej nohy je ovplyvnený viacerými faktormi, medzi ktoré patrí genetická predispozícia, telesná hmotnosť, stav väzivového a svalového aparátu, ako aj environmentálne faktory vrátane nosenia obuvi. V minulosti niektorí autori tvrdili, že vyšší výskyt plochej nohy bol zaznamenaný u detí, ktoré nosili obuv, pričom predpokladali, že obuv mala za následok obmedzenie prirodzeného vývoja klenby chodidla. Taktiež sa uvádza, že vývoj pozdĺžnej klenby pokračuje aj po období predškolského veku (teda aj u jedincov starších ako päť rokov), pričom vekom môže dôjsť k jej spontánnemu vyformovaniu a niektorí autori sa zhodli na tom, že práve šiesty rok života dieťa je považovaný za tzv. senzitívne alebo kritické obdobie, čo sa týka vývoja pozdĺžneho klenutia nohy. V dospelosti môže dôjsť k rozvoju získanej plochej nohy v dôsledku dlhodobého preťaženia dolných končatín, najmä pri profesiách vyžadujúcich dlhodobé státie či chôdzu (napr. čašníci, predavači, zdravotnícki pracovníci). Fixovaná deformita plochej nohy môže viesť k sekundárnym muskuloskeletálnym komplikáciám vrátane kompresívnych zlomenín tarzálnych kostí či cievnych porúch, ako sú kŕčové žily.

Hoci tradičný prístup k liečbe plochej nohy zahŕňa ortopedické vložky a podporu klenby, moderné prístupy sa čoraz viac orientujú na prirodzené mechanizmy vývoja nohy, ako je chôdza naboso alebo nosenie minimalistickej obuvi. Kľúčom je individuálny prístup, pričom je potrebné zohľadniť vek, fyzickú aktivitu a štrukturálne charakteristiky chodidla. Pre optimálnu funkciu nohy je dôležitá kombinácia správnej obuvi, cvičení na posilnenie svalstva chodidla a vyváženej pohybovej aktivity.

V posledných rokoch získal na popularite tzv. **barefoot trend**, ktorý propaguje chôdzu naboso alebo v minimalistickej obuvi. Zástancovia tohto prístupu argumentujú, že tradičná obuv s pevnou podrážkou a podporou klenby osla-

buje prirodzenú funkciu svalov chodidla a môže prispieť k rozvoju deformít, vrátane plochej nohy. Naopak, barefoot obuv napodobňuje prirodzený pohyb chodidla, podporuje propriocepciu a stimuluje aktiváciu svalov plantárnej časti chodidla. Výskumy naznačujú, že deti, ktoré trávia viac času naboso alebo nosia minimalistickú obuv, majú vyšší výskyt fyziologického klenutia nohy v porovnaní s deťmi nosiacimi konvenčnú obuv. Dlhodobé nosenie barefoot obuvi môže viesť k posilneniu plantárnych svalov a zlepšeniu stability nohy, avšak je dôležité upozorniť na skutočnosť, že tento prístup nie je vhodný pre všetkých. U osôb s existujúcou plochou nohou môže práve takéto nadmerné zaťaženie bez adekvátnej podpory viesť k bolestivým stavom a preťaženiu štruktúr nohy, teda v tomto prípade by bolo nosenie barefoot obuvi kontraproduktívne.

3.2.3 Vybrané deformity na prstoch nohy

Hallux valgus (vbočený palec)

Je najčastejším ortopedickým ochorením. *Hallux valgus* je komplexnou vadou, na ktorej vzniku sa podieľajú dedičné faktory v kombinácii s nevhodnou, príliš špicatou obuvou, ktorá vychyľuje palec z osi a obmedzuje svalovú činnosť, a takisto preťažovaním prednej časti nohy. Tým, ako sa palec viac vychyľuje laterálne, jeho báza sa skĺzava smerom ku I. metatarzu a hlavica II. metatarzu sa dislokuje mediálne. Väčšinou však vzniká neskôr, a to v dôsledku ochabnutia väzivového a svalového aparátu, ktoré vedie k poklesnutiu priečnej a pozdĺžnej klenby nohy a zároveň aj ku zmene postavenia palca. Charakteristické znaky *hallux valgus* sú valgózne postavenia palca, zvýšená varozita I. metatarzu a mediálne vyčnievanie jeho hlavice. Následkom tohto faktu je zvýšené uhlové postavenie I. intertarzálnej oblasti a uhlové postavenie palca. Terminologicky presnejšie je však označenie *„hallux abducto valgus“*.

Ako sa deformita *hallux valgus* vyvíja, dochádza k obmedzeniu dynamiky, ktoré postihuje aj plantárnu aponeurózu, sezamské kostičky a krátke svaly nohy. Počiatočné štádia možno korigovať, pretože postavenie je flexibilné, ale postupom času dochádza k fixácii tejto deformity v dôsledku atrofických zmien na metatarzo phalangeálnom (MTP) kĺbe palca a svalových kontraktúr, čiže ich skrátením. V počiatočných štádiách potiaže v kľudovej fáze ustupujú, v pokročilých fázach sa pridružujú aj artrotické zmeny, kedy bolesti pretrvávajú aj pokoji. Veľmi dôležitým postupom pri podozrení na hallux valgus je podstúpiť komplexné kineziologické vyšetrenie. Jedná sa o metódy, ktoré vykonáva fyzioterapeut a je vytváraná anamnéza, kde sa musí uviesť vek, zamestnanie, obuv, druh práce alebo fyzickej aktivity, lokalizácia bolesti a dĺžka

ťažkostí. Je dôležité potvrdiť alebo vylúčiť vplyv kardiovaskulárnych, reumatických alebo neurologických ochorení u pacienta, prípadne nejaké traumatické udalosti.

Hallux varus (vybočený palec)

Termínom *hallux varus* označujeme vychýlenie palca do mediálnej strany. Má rôzne stupne vychýlenia, symptomatológie a etiológie. Najčastejšou príčinou vzniku je následok po nie vždy vydarenej chirurgickej korekcii *hallux valgus*. *Hallux varus* je bežný nález u novorodencov a zvyčajne sa koriguje ešte v ranom detstve, kedy dieťa začína chodiť.

Týmto termínom označujeme deformitu, pri ktorej hlavica piateho metatarzu odstupuje od línie prstov a vyčnieva do laterálnej strany a špička malíčka sa nakláňa do mediálnej strany ku ostatným prstom, pričom môže dôjsť až k nadvihnutiu štvrtého prsta. Väčšina postihnutých chodidiel má prítomný tzv. bunionet alebo krajčírsky pľuzgier a nie je nezvyčajné túto deformitu vidieť v kombinácii s plochou nohou alebo *hallux valgus*. Chronickou iritáciou a tlakom vznikajúcim pri opakovanom tlaku na laterálnu stranu chodidla v tzv. tureckom sede alebo krajčírskej pozícii môže byť takisto faktorom, ktorý sa podieľa na vzniku pľuzgiera, preto sa aj nazýva práve krajčírskym pľuzgierom. Môže však vznikať aj nevhodnou, príliš úzkou obuvou, dokonca boli robené štúdie, kde sa predpokladalo, že deformita môže byť kongenitálna, čiže vrodená a vzniká už počas intrauterinného vývinu.

3.2.4 Faktory vplývajúce na anatomicko-morfologickú štruktúru nohy

Každý človek je svojím spôsobom jedinečný a odlišuje sa od všetkých ostatných, túto odlišnosť označujeme pojmom variabilita. Príčinou variability v živých organizmoch je nutnosť prispôsobiť sa meniacim sa podmienkam životného prostredia. Morfológia nohy je tak ako iné morfologické znaky ovplyvnená kombináciou dedičných faktorov, prostredia a životného štýlu jedinca, prejavuje sa v nej aj výrazná populačná špecifickosť.

Dedičné faktory

Mnoho morfologických znakov človeka je daných multifaktoriálnou dedičnosťou, pri ktorej interagujú gény veľkého účinku (*major* gény) s polygénnym systémom *minor* génov (gény s malým účinkom) a navyše sú ovplyvňované vonkajším prostredím. Heritabilita (dedivosť) opisuje, akú časť premenlivosti znaku zapríčiňujú genetické faktory. Jej hodnota sa pohybuje od nuly po

hodnotu jedna. Ak sa heritabilita rovná jednej, znamená to, že fenotyp je zapríčinený čisto genotypovou varianciou. Sharma (1986) uvádza, že najvyššiu mieru heritability majú dĺžkové rozmery (telesná výška, výška v sede, dĺžka končatín), šírkové rozmery majú podstatne nižšiu mieru dedivosti. Heritabilita morfologických znakov je často skúmaná na súboroch dvojčiat, u ktorých možno najlepšie sledovať mieru vplyvu prostredia. Hannan et al. (2013) skúmal dedičnosť najbežnejších deformít prednej časti chodidla na základe ich výskytu v rodinách. Sledoval výskyt vbočeného palca (*hallux valgus*), deformity prstov nohy (*digitus malleus* – podľa miesta kontraktúry spojivových tkanív rozdelené na pazúrikovitý, tĺčkovitý a kladivkovitý prst) a atrofie mäkkých tkanív priehlavku u kaukazoidnej populácie. Zistil, že vbočený palec a deformity prstov vykazujú relatívne vysokú mieru heritability, atrofia mäkkých tkanív je naopak zapríčinená faktormi prostredia bez významnej hodnoty dedivosti. Upozorňuje tiež, že vrodené deformity prstov sú vzácne, takže dedičné sú skôr predispozície k ich vzniku.

K dedičným znakom patria aj epigenetické variácie kostry, medzi nimi aj nadpočetné kosti dolnej končatiny. K najčastejším patria: nadpočetná loďková (člnková) kosť (synonymá *os tibiale, os tibiale externum* alebo *os naviculare secundarium, os trigonum, os peroneum, os vesalianum*) a nadpočetné sezamské kostičky. Vznikajú nedokonalou fúziou osifikačných centier alebo vzácne ako dôsledok predošlých zranení. Zväčša sa tieto kosti nachádzajú čiastočne vnorené v úponoch svalov, vo veľkých šľachách nohy alebo sú synostózou spojené so susednými kosťami a často spôsobujú bolestivé stavy alebo zápaly spojivového tkaniva. V niektorých prípadoch môžu dokonca zapríčiniť aj pokles klenby nohy.

Offenbacker a Case (2010) uvádzajú, že podľa predošlých výskumov je nadpočetná loďková (člnková) kosť dedičná autozomálne dominantne s neúplnou penetranciou. Vďaka tomu by podľa nich teoreticky mohol byť tento epigenetický znak použitý v rámci historickej antropológie pri určovaní príbuzenstva jedincov z menších pohrebísk.

Populačná špecifickosť

Človek sa počas svojho vývoja rozšíril do geografických oblastí s rozmanitými klimatickými a ekologickými podmienkami. Počas mnohých generácií preto dochádzalo k prispôsobovaniu tomuto prostrediu. Okrem genetickej a morfologickej zmeny mali ľudia vždy k dispozícii aj výdobytky svojej kultúry.

Pri vyhodnocovaní výsledkov, porovnávaní s inými populáciami a pri tvorbe rovníc používajúcich tieto rozmery je potrebné zohľadniť populačné rozdiely. Štúdie, ktoré zhrnuli poznatky z predchádzajúcich výskumov o rozdie-

loch v morfológii nohy na základe etnicity uvádzajú, že negroidní jedinci majú mierne užší priehlavok a širšiu pätu v porovnaní s kaukazoidmi, mongoloidní jedinci majú celkovo širšie chodidlo ako kaukazoidi. Na základe vlastného výskumu však zistili, že v šírkových rozmeroch nohy nie je významný rozdiel medzi kaukazoidmi a mongoloidmi. Pozorovali odlišnosti najmä vo výške palca a v celkovom tvare prednej časti nohy. Gurney et al. (2012) porovnávali morfológiu chodidla etnickej skupiny Māori s kaukazoidnou populáciou Nového Zélandu. Pozoroval u Māorov výrazne vyššiu hodnotu klenbových indexov (t. j. probandi mali plochejšie nohy). Ako možný zdroj tejto odlišnosti uviedol kultúrne rozdiely – v tradičnej maorskej kultúre je časté chodenie naboso. V tropických oblastiach a v rozvojových krajinách často ľudia chodia úplne naboso alebo nosia šľapky či žabky s plochou podrážkou, ktorá neposkytuje oporu klenbe nohy. Konfekčná obuv má zvyčajne tvarovanú stielku s cieľom poskytnúť oporu klenby a komfort, ak však nesedí správne, môže dlhodobým nosením spôsobiť deformácie chodidla.

Skúmaniu rozdielov spôsobených nosením obuvi u rôznych etnických skupín sa venovalo aj viacero indických autorov. Kadambande et al. (2006) skúmal rozdiely medzi indickými jedincami chodiacimi naboso a britskými jedincami používajúcimi štandardnú obuv. Pozoroval, že u bosých jedincov boli chodidlá flexibilnejšie, čo sa prejavilo väčším rozdielom medzi rozmermi nezaťaženého chodidla a pri zaťažení vlastnou hmotnosťou tela. Tento efekt bol výraznejší u žien ako u mužov, čo môže byť spôsobené častým nosením módnej obuvi s nesprávnou veľkosťou, typické skôr pre ženy.

Intersexuálne a bilaterálne rozdiely

Je známe, že v rozmeroch nohy existujú aj výrazné intersexuálne a menej výrazné bilaterálne rozdiely. Všetky dĺžkové aj šírkové rozmery nôh majú bežne u mužov vyššie absolútne hodnoty ako u žien. Tieto rozdiely vznikajú ako dôsledok vplyvu rôznych hormónov počas ontogenézy. U žien končí rast krátko po nástupe menarché, u mužov pokračuje často aj po 18. roku života. Ženy majú vo väčšine populácií menšie chodidlá v pomere k telesnej výške ako muži.

Žiadny človek nemá dokonale symetrické nohy. Noha vykazuje vysokú mieru individuality, ešte aj identické dvojčatá majú rozdielne odtlačky nôh. U slovenskej populácie bolo pozorované, že dĺžka a šírka ľavej nohy sú väčšie ako na pravej strane a naopak, výška členku a priehlavku sú vyššie na pravej strane. Tieto rozdiely môžu vzniknúť väčším zaťažovaním preferovanej nohy.

Tehotenstvo, hormonálne zmeny a životný štýl

Počas gravidity dochádza v tele k mnohým fyziologickým, morfologickým, biomechanickým aj hormonálnym zmenám. S rastúcim plodom zákonite narastá aj hmotnosť ženy a nezriedka dochádza v dôsledku zmien v obehovej sústave (zadržiavanie vody, stlačenie ciev zväčšenou maternicou) aj k opuchom dolných končatín. Okrem opuchov ženy často subjektívne vnímajú aj celkové zväčšenie chodidiel, ktoré pretrváva aj po pôrode (napríklad nie sú schopné nosiť pôvodnú veľkosť topánok).

Obdobie zvýšenej hmotnosti počas gravidity nestačí na trvalú deformáciu tkanív chodidla. Objemové a veľkostné zmeny pripisuje skôr retencii tekutín, zmenenému ukladaniu tuku v tkanivách a hormonálne indukovanej zvýšenej flexibilite spojivového tkaniva. Relaxín, hormón zodpovedný za zmäkčenie lonovej spony a uvoľnenie panvových ligamentov pred pôrodom podľa niektorých výskumov vykazuje aj periférnu aktivitu v iných kĺbových spojeniach. Počas tehotenstva sa jeho hladina zvýši až desaťnásobne. Tieto zmeny sú dôvodom bolesti kĺbov, ktoré postihujú mnohé gravidné ženy.

Počas gravidity dochádza k významnému poklesu klenby nohy a v dôsledku toho aj k zväčšeniu dĺžkových a šírkových rozmerov chodidla. Najvýraznejšou zmenou prechádza kĺbové spojenie členkovej kosti s okolitými štruktúrami, hlavička *talusu* klesá až o jeden centimeter. Klesá aj vnútorný členok, dostáva sa do pronácie. Pokles klenby u žien pretrváva aj v mesiacoch po pôrode, v mnohých prípadoch je táto zmena trvalá. Pri matkách, ktoré prekonali viacero gravidít sa ukazuje prvá gravidita ako najvýznamnejšia, čo sa týka poklesu klenby.

Dôležitým faktorom pri rozvoji deformít prstov na nohe je nosenie nevhodnej veľkosti alebo typu obuvi, pridružené abnormality nohy (*pes planus, pes cavus*, abnormálne dlhé prsty na nohách). Na pružnosť a tvar klenby má vplyv aj BMI jedinca, osoby s obezitou častejšie trpia poklesom priečnej aj pozdĺžnej klenby. Tento pokles je spôsobený dlhodobým nadmerným zaťažením spojivových tkanív (šliach, plantárnej fascie) a ich postupným oslabením, ktoré vedie k splošťovaniu chodidla.

Vývin zdravej morfológie nohy v detstve je kritický pre dlhodobé zdravie a kvalitu života počas dospelosti. Tento vývin je narušený, pokiaľ je pohybová sústava neprimerane zaťažená nadhmotnosťou alebo obezitou. U detí a adolescentov je uvádzaný významný rozdiel v šírkových a dĺžkových rozmeroch u jedincov s obezitou v porovnaní so zdravou hmotnosťou – obézni jedinci vykazovali vyššie hodnoty oboch rozmerov. Predošlé výskumy tiež ukazujú u obéznych detí zvýšený výskyt plochej nohy a v porovnaní so zdravými jedincami aj mierne skrátené dolné končatiny v pomere k celkovej telesnej

výške. V súvislosti s dramatickým nárastom prevalencie detskej obezity u súčasných populácií očakávajú autori v budúcnosti nárast počtu dospelých s ortopedickými problémami.

Morfológiu nohy u dospelých trpiacich obezitou skúmali viacerí a zhodujú sa vo výsledkoch, ktoré ukazujú výrazne väčšie rozmery chodidiel u obéznych jedincov ale aj zníženú funkčnosť priťahovačov prstov (*m. flexores digiti*), zníženú pevnosť klenby nohy a zmeny v spôsobe chôdze. Najvýraznejší rozdiel bol zistený v hrúbke mäkkých tkanív, ktorá sa zvyšuje priamo úmerne so stúpajúcim BMI. Jedinci trpiaci nadváhou (BMI do 30) sa líšili od skupiny so zdravou hmotnosťou len minimálne, výrazné funkčné a morfologické zmeny boli pozorované hlavne u jedincov trpiacich obezitou (BMI nad 30). S obezitou spájajú aj chronické bolesti nôh, znižujúce možnosť pohybu a celkovú kvalitu života.

3.3 Plantogram (odtlačok stupaje) a mechanizmus jeho vzniku

Plantogramy predstavujú odtlačky bosého chodidla, ktoré vznikajú pri kontakte nohy s povrchom. Sú významným nástrojom v biomechanickom výskume, podologickej diagnostike a forenznej analýze, pričom sú definované ako odtlačky získané v statickej alebo dynamickej fáze pohybu jednotlivca. Odrážajú morfologické a metrické vlastnosti chodidla na akomkoľvek povrchu, či už ide o podlahu alebo stielku obuvi a poskytujú cenné informácie o rozložení tlaku a biomechanike pohybu. Straus (1999) charakterizuje plantogram ako odtlačok stupaje alebo nohy, ktorý je zaťažený vlastnou hmotnosťou tela. V lekárskych vedách sa častejšie používa pojem podogram, avšak v oblasti forenznej analýzy sa uprednostňuje termín plantogram.

Na základe spôsobu ich vzniku možno plantogramy rozdeliť na **statické** (obr. 5) a **dynamické** (obr. 6). Statické odtlačky chodidla vznikajú, keď jedinec stojí, resp. vertikálnym zdvihnutím chodidla. Naopak dynamické odtlačky chodidla vznikajú pri chôdzi, keď sa chodidlo odvíja od podložky. Vznik dynamických odtlačkov chodidiel možno vysvetliť pomocou mechanizmu chôdze a umožňuje sledovanie biomechaniky kroku, pričom poskytujú údaje o tom, ako jednotlivé časti chodidla interagujú s povrchom. Vznik dynamického plantogramu je proces, ktorý prebieha v piatich fázach. Prvým krokom je kontakt päty s podložkou, po ktorom nasleduje postupné zväčšovanie kontaktnej plochy smerom k prstom. V ďalšej fáze dochádza k úplnému kontaktu chodidla s podložkou, čo je moment maximálneho rozloženia tlaku. Nasleduje odrážanie päty, pri ktorom sa plocha kontaktu zmenšuje, a proces končí odrážaním prstov,

pričom posledný kontakt s podložkou má najčastejšie prvý prst. Dôležitú úlohu pri chôdzi nesie klenba nohy, keďže nesie celú hmotnosť tela. Pri chôdzi tlačíme na zem palcom nohy a potom prenášame váhu na druhý, prípadne tretí prst, pričom štvrtý a piaty prst sú menej zaťažené. Má to súvis s dynamickým charakterom mediálneho oblúka klenby nohy (pozri podkapitolu 3.2.1) a jeho výraznejším zapojením do lokomócie a zároveň menšou pevnosťou väzív a šliach a zvýšenou laxnosťou laterálneho oblúka klenby nohy. V prípade neustáleho zaťažovania klenby môže dôjsť k jej poklesu a vzniku plochej nohy (pozri podkapitolu 3.2.2), čo sa na odtlačku chodidla zobrazí vo forme odtlačenej celej spodnej časti chodidla. Tieto fázy sú kľúčové pri analýze chôdze, keďže umožňujú detailné sledovanie priebehu pohybu a môžu byť využité na identifikáciu patologických stavov ovplyvňujúcich funkciu dolných končatín. Správna interpretácia mechanizmu vzniku plantogramu je nevyhnutná nielen pre forenzné účely, ale aj pre medicínske aplikácie v podiatrii, fyzioterapii a ortopédii.

Obr. 5 Statické odtlačky stupají/plantogramy (foto: Švábová 2024).

Obr. 6 Dynamické odtlačky stupají/plantogramy (foto: Švábová 2024).

V prípadoch, keď sa na mieste činu nájde viacero stôp je nezvyčajné, aby boli všetky statické a je pravdepodobné, že niektoré sú dynamické. V takýchto prípadoch je potrebné rozlíšenie medzi statickými a dynamickými odtlačkami chodidiel. Všeobecne možno povedať, že dynamické plantogramy sú dlhšie a väčšie ako tie statické. Dynamické odtlačky stupají čiastočne súvisia s morfológiou, biomechanikou, patologickým stavom a štruktúrou chodidla. Okrem

toho je dynamické správanie chodidla ovplyvnené jeho statickou štruktúrou. Hoci parametre vypočítané z dynamických odtlačkov chodidiel sú vo všeobecnosti vyššie, hodnota tohto rozdielu sa značne líši v závislosti od jednotlivca. Viacero štúdií potvrdilo rozdiely medzi dynamickými a statickými odtlačkami vo viacerých oblastiach plantogramov, ako je napríklad ich veľkosť, oblasť kontaktu s podložkou a rôznymi dĺžkovo-šírkovými parametrami.

Okrem tohto rozdelenia je možné plantogramy klasifikovať aj na **kompletné** a **čiastočné.** Kompletné plantogramy obsahujú odtlačok celej plochy chodidla vrátane prstov, metatarzálnej oblasti, päty a klenutia, zatiaľ čo čiastočné zachytávajú len vybrané časti chodidla, napríklad môže byť odtlačené len metatarzálna oblasť alebo časť prstov, päty a pod. Prítomnosť alebo neprítomnosť určitých segmentov môže byť dôsledkom individuálnych anatomických rozdielov, patologických stavov alebo kvality povrchu, na ktorom bol plantogram získaný.

3.3.1 Základné faktory ovplyvňujúce charakteristiky plantogramov

Faktory ovplyvňujúce charakteristiky plantogramov zahŕňajú širokú škálu premenných, ktoré ovplyvňujú morfologické a metrické vlastnosti odtlačkov chodidiel. Plantogramy sú dôležitým biometrickým nástrojom využívaným v rôznych oblastiach, ako sú forenzné vedy, medicína a športová diagnostika. Ich charakteristiky môžu byť determinované vnútornými faktormi, ako sú telesné a genetické predispozície, a vonkajšími faktormi, medzi ktoré patrí povrch, dynamické zaťaženie, prostredie a druh obuvi. Sú výsledkom interakcie viacerých premenných vrátane telesnej hmotnosti, klenutia nohy, morfológie chodidla, anatomických anomálií, spôsobu chôdze, typu povrchu a zdravotného stavu jedinca. Pri analýze plantogramov v rôznych aplikáciách, od forenzných vyšetrovaní po diagnostiku pohybových porúch, je nevyhnutné brať do úvahy všetky tieto faktory.

Na tom, aký typ plantogramu (odtlačku stupaje) vznikne, sa podieľajú aj základné faktory ovplyvňujúce anatomicko-morfologickú štruktúru nohy, ktoré sú bližšie popísané v podkapitole 3.2.4. Okrem týchto faktorov je potrebné spomenúť aj ďalšie, ktoré výnamne ovplyvňujú charakteristiky vzniknutých plantogramov.

Tvar, veľkosť a iné charakteristiky odtlačku chodidla sú nielen jedinečné pre jednotlivca, ale môžu tiež poskytnúť informácie týkajúce sa identity osôb pri forenznom skúmaní. Rozdiely v morfológii chodidla sú výsledkom dedičnosti a prostredia. Môžu byť spôsobené jedinečným usporiadaním kostí, ale

aj spôsobom, akým sú držané spojivovým tkanivom. Toto usporiadanie sa líši nielen medzi jednotlivcami, ale aj medzi ľavým a pravým chodidlom jedinca. To je dôvod, prečo dve chodidlá nevytvoria identické odtlačky ani v prípade monozygotných dvojčiat.

Telesná hmotnosť má zásadný vplyv na šírkové rozmery plantogramov, keďže zvýšený tlak na chodidlo vedie k väčšiemu kontaktu s podložkou. Štúdia Krishana (2008) preukázala, že dodatočné záťaže, napríklad nosenie bremena s hmotnosťou 20 kg, môžu viesť k rozšíreniu odtlačku chodidla, pričom dochádza k zväčšeniu kontaktnej plochy a zníženiu klenutia nohy. V tejto súvislosti sú dynamické plantogramy považované za presnejšie pri odhadoch telesnej hmotnosti, pretože statické plantogramy môžu byť ovplyvnené krátkodobými zmenami polohy alebo nerovnomerným rozložením tlaku.

Dôležitým faktorom ovplyvňujúcim tvar plantogramu je aj **klenutie nohy** (pozri podkapitolu 3.2.1). Vo všeobecnosti rozlišujeme tri základné typy klenutia (pozri podkapitolu 3.5.1, obr. 9): vysoká klenba vedie k užšiemu plantogramu s výrazným oblúkom, pričom sa odtlačia hlavne prsty, päta a predná časť metatarzálnej oblasti; normálna klenba spôsobuje čiastočné odtlačenie strednej časti chodidla; plochá noha (*pes planus*) vedie k výraznejšiemu odtlačeniu strednej a prednej časti chodidla, čo môže naznačovať preťaženie alebo ortopedické abnormality. Tieto rozdiely sú využiteľné nielen pri diagnostike ortopedických ochorení, ale aj pri forenznej analýze chôdze s cieľom biologického profilovania a následnej identifikácie osôb.

Štrukturálne rozdiely v morfológii chodidla ovplyvňujú aj spôsob, akým sa rozkladá **tlak pri kontakte s podložkou**. Pri širších chodidlách dochádza k laterálnemu rozkladu tlaku, teda smerom von, zatiaľ čo užšie chodidlá majú vyšší mediálny tlak, teda smerom dovnútra. Tieto faktory zohrávajú významnú úlohu pri analýze forenzných odtlačkov, keďže môžu ovplyvniť nielen samotný tvar plantogramu, ale aj spôsob jeho vyhodnotenia.

Výrazný vplyv na konečnú podobu plantogramu má aj **typ povrchu**, na ktorom je odtlačok zhotovený. Výskumy naznačujú, že dĺžka a šírka plantogramu sa menia v závislosti od tvrdosti podložia. Mäkký povrch spôsobuje hlbšie vnoreniu chodidla, čím sa celková plocha odtlačku zväčšuje, zatiaľ čo tvrdý povrch vedie k ostrejšiemu a kompaktnejšiemu plantogramu s menšou kontaktnou plochou. Tento jav môže mať významný dopad na presnosť analýzy odtlačkov v kriminalistike a športovej diagnostike.

Zdravotný stav jedinca taktiež zohráva dôležitú úlohu pri určovaní charakteristík plantogramov. Niektoré ochorenia môžu výrazne ovplyvniť výsledný tvar odtlačku, najmä v prípadoch neurodegeneratívnych ochorení, ako je Parkinsonova choroba alebo diabetická neuropatia, pri ktorých dochádza

k zmenám v pohybových vzorcoch. Ochorenia pohybového aparátu, ako artróza, ploché nohy alebo deformácie prstov, môžu viesť k asymetrickým alebo atypickým plantogramom, čo môže byť využiteľné v diagnostike a forenznej analýze. Keďže v praxi ide často o kombináciu viacerých faktorov, pri analýze plantogramov je nevyhnutné brať do úvahy komplexné zdravotné súvislosti.

3.4 Metódy používané pri odoberaní/získavaní plantogramov

Analýza odtlačkov chodidiel je kľúčová pri vypracovaní biologického profilu a môže byť nápomocná pri biologickom profile a následnej identifikácii jedinca. Analýzou a porovnávaním charakteristík odtlačkov chodidiel nájdených na mieste činu so stopami páchateľa je možné zistiť súvislosť a priradiť páchateľa na miesto činu. Orientácia alebo poloha odtlačkov chodidiel vzhľadom na predmety ako je napríklad zbraň, dvere, krvné stopy, či telo obete, môže vyšetrovateľom pomôcť pochopiť sled udalostí, ktoré viedli k trestnému činu. Odtlačky chodidiel môžu pomôcť pri rekonštrukcii miesta činu a udalostí, ktoré sa na mieste činu odohrali. V závislostí od plochy kde bol odtlačok zanechaný rozlišujeme **dvojrozmerné a trojrozmerné odtlačky chodidiel**. Keď sa nosná časť chodidla dostane do kontaktu s kompaktným povrchom, ako napríklad keramické dlaždice, betón, či drevené obklady, vytvoria sa dvojrozmerné odtlačky. Tie potom ďalej rozlišujeme na latentné odtlačky (okom neviditeľné) a viditeľné odtlačky. V prípade kontaktu chodidla s poddajným povrchom, ako je koberec či sneh, vznikajú trojrozmerné odtlačky chodidiel.

Metódy získavania plantogramov sa delia na **metódy používané na mieste činu a laboratórne techniky**. Vo forenzných aplikáciách je kľúčová spoľahlivosť metódy, zatiaľ čo v klinickej praxi sa kladie dôraz na jednoduchosť a presnosť záznamu. Na mieste činu existujú najmenej tri základné metódy na získanie trvalého záznamu odtlačkov chodidiel: **fotografia originálneho plantogramu, odliatok originálneho plantogramu a zber originálnych plantogramov**. Voľba konkrétnej metódy závisí od povrchu, na ktorom bol odtlačok zanechaný.

Pri fotografickej metóde sa odtlačok najskôr vizualizuje a následne sa zachytí prostredníctvom fotografie, ktorá sa analyzuje a porovnáva s odtlačkami odobratými podozrivým osobám. **Odlievanie je metóda**, pri ktorej sa do skutočného odtlačku naleje rýchlo tvrdnúca látka, napríklad sadra alebo silikónový materiál. Po stuhnutí vznikne presná kópia odtlačku, ktorá je vhodná na ďalšiu analýzu. Tento postup sa využíva najmä pri trojrozmerných odtlačkoch na mäkkom povrchu, ako je piesok, blato či sneh. V prípade odtlačkov na látke,

nábytku alebo koberci nie je možné vytvoriť odliatok, preto sa na prenos dvojrozmerných odtlačkov využívajú **techniky založené na statickej elektrine, želatíne, lepidle alebo silikónových materiáloch**.

Ak sa odtlačky chodidiel nájdu na mieste činu, je nevyhnutné porovnať ich s odtlačkami podozrivých osôb. Na tento účel sa využíva niekoľko laboratórnych metód. Jednou z nich je **krémová metóda**, pri ktorej sa na spodnú časť chodidla nanesie súvislá vrstva bezfarebného krému, napríklad vazelíny. Dôraz sa kladie na okrajové časti chodidla, ako je päta, priehlavok a špičky prstov. Po nanesení krému sa jedinec postaví na pripravený papier a vykročí dopredu, čím sa vytvorí jasný odtlačok chodidla. Ďalšou možnosťou je **metóda využívajúca dermatoglyfickú čerň**. Pri tejto metóde sa čerň nanesie valčekom na spodnú časť chodidla a následne sa jedinec postaví na papier, čím zanechá zviditeľnenú čiernu stopu chodidla. Výhodou oboch týchto metód je ich neinvazívnosť, jednoduchosť a nenáročnosť v aplikácii, krémová metóda je i o niečo „čistejšia" v porovnaní s metódou na báze daktyloskopickej černe. Nevýhodou použitia krémovej metódy je, že vzniknuté plantogramy je potrebné bezprostredne po odtláčaní obkresliť, aby sa dlhodobo zachovala originálna anatomicko-morfologická štruktúra plantogramu a optimálne potom hneď vytvoriť kvalitný digitálny záznam v podobe fotky alebo skenu. Digitálny záznam sa odporúča vytvoriť aj v prípade, ak sú plantogramy odobrané pomocou daktyloskopickej černe. Alternatívnym spôsobom aplikácie je využitie **podložky nasiaknutej atramentom**, na ktorú sa jedinec postaví, a tým sa pokryje spodná časť chodidla čerňou. Pri následnom vykročení sa na papieri zanechá jasný a presný odtlačok chodidla, prípadné súvislé radené stopy lokomócie, teda viaceré po sebe nasledujúce plantogramy, t. j. dynamické plantogramy. Taktiež, aj v tomto prípade je optimálne ak sa vzniknuté, či už statické alebo dynamické plantogramy digitálne zdokumentujú. V laboratóriách sa často využíva **neatramentová metóda**, známa aj ako „inkless paper system" alebo Identifikačný systém bez atramentovej potlače LE 25P – Identicator. Táto metóda je založená na chemickej interakcii medzi špeciálne ošetreným papierom a látkou na podložke. Keď osoba stúpi na podložku, vznikne odtlačok na papieri umiestnenom pod ňou. Výhodou tejto metódy je jej čistota a jednoduchá manipulácia, avšak nevýhodou môže byť skreslenie dynamického plantogramu, resp. plantogramov, keďže umelé rozmiestnenie podložiek môže ovplyvniť prirodzený spôsob chôdze probanda. Aj v tomto prípade sa vzniknutý plantogram, resp. dynamické plantogramy digitalizujú.

Moderné digitálne technológie ponúkajú presnejšie metódy analýzy plantogramov. Patria sem snímacie podložky a počítačové spracovanie obrazu, ktoré umožňujú detailnú analýzu plantogramov a ich presnejšie porovnanie s databá-

zami. Digitálne metódy síce ponúkajú vysokú presnosť, avšak ich využitie je často obmedzené dostupnosťou špecializovaného vybavenia.

Každá z uvedených metód má svoje výhody a nevýhody. Atramentové a krémové metódy sú jednoduché na použitie. Neatramentové metódy sú čistejšie, avšak môžu skresľovať vzniknutý plantogram. Digitálne metódy poskytujú najvyššiu presnosť, no ich cena a dostupnosť môžu byť limitujúce. Výber konkrétnej metódy závisí od účelu analýzy a dostupného vybavenia. Zatiaľ čo forenzné aplikácie vyžadujú metódy so zachovaním vysokých detailov, klinické a výskumné aplikácie kladú dôraz na jednoduchosť a opakovateľnosť procesu. Preto je optimálne ak sa plantogramy, odobrané akoukoľvek vyššie uvedenou metódou (krémová, čerňová, atramentová i neatramentová) aj digitalizujú, teda vytvorí sa kvalitná fotografia alebo sken vzniknutého statického plantogramu i plantogramov chôdze, teda dynamických plantogramov.

3.4.1 Postup odoberania odtlačkov pomocou krémovej a čerňovej metódy

Proband sedí a nohy si vydezinfikuje alebo dôkladne umyje a osuší a následne si na chodidlo nanesie primerané množstvo vazelíny/krému za asistencie skúseného odborníka. Ak používame čerňovú metódu, v tom prípade sa probandovi na stupaj nanesie neinvazívna daktyloskopická čerň pomocou valčeka. Pri oboch metódach sa dôraz kladie aj na okrajové časti chodidla, ako je päta, vnútorná a vonkajšia časť metatarzálnej oblasti a špičky prstov (obr. 7A). Proband sa postaví na vopred pripravený papier a v prípade, že chceme získať dynamické plantogramy, tak vykročí preferovanou nohou. Na záver, po získaní súvisle radených stôp chôdze, t. j. minimálne šesť krokov, sa proband postaví s nohami vedľa seba a sadne si napríklad na vopred pripravenú stoličku, nohy si očistí. V prípade, že chceme získať tzv. statický odtlačok stupaje, tak bezprostredne po aplikácii krému/vazelíny alebo daktyloskopickej černe na stupaje sa proband postaví na vopred pripravený papier a následne zdvihne obe nohy vertikálne od podložky (opäť si sadne napríklad na vopred pripravenú stoličku). Tu je dôležité, aby jedinec nevykročil, teda nepohol sa smerom vpred alebo vzad, pretože to už by mali vzniknuté odtlačky dynamický charakter. V prípade použitia čerňovej metódy vzniknuté plantogramy odfotíme, naskenujeme alebo následne manuálne vyhodnotíme. Pri použití krémovej metódy je potrebné vzniknuté statické i dynamické odtlačky stupají obkresliť tenkou ceruzou (obr. 7B). Optimálne čím skôr po ich odobraní, nakoľko, v závislosti od charakteru papiera, hrozí, že vzniknuté odtlačky sa môžu rozpiť alebo vpiť na papieri, čím by mohlo dôjsť k skresleniu až znehodnotenie originálneho odtlačku stupaje probanda.

Obr. 7 Použitie krémovej metódy na odobranie plantogramov (A) a následné vzniknutý a obkreslený odtlačok pravej stupaje (B) (foto: Švábová 2022).

3.5 Biometrická analýza plantogramov a jej význam

Biometrická analýza plantogramov predstavuje významný nástroj v oblasti forenznej vedy, biomechaniky a podiatrie. Odtlačky chodidiel sa môžu často na mieste činu nachádzať v neúplnej forme, resp. vo forme čiastočného odtlačku. Plantogramy umožňujú detailné skúmanie morfologických a metrických charakteristík a parametrov chodidla, pričom vedia poskytnúť aj špecifické identifikačné informácie. Po odobraní odtlačku stupaje možno na analýzu a porovnanie odtlačku použiť rôzne metódy. Metódy analýzy plantogramov možno rozlíšiť do dvoch kategórií. Jedna skupina zahŕňa kvantitatívne metódy – hodnotenie dĺžkovo-šírkových rozmerov plantogramov a uhlové veľkosti jednotlivých častí odtlačkov stupají. Druhou kategóriou sú metódy, ktoré sa zameriavajú na kvalitatívne charakteristiky – ako je napríklad fenomén „ghosting" (arteficiálny presah) alebo morfologické charakteristiky plantogramov. Morfologické hodnotenie odtlačkov chodidiel sa zameriava na hodnotenie individuálnych morfologických charakteristík odtlačkov chodidiel. Pri vzniku odtlačku chodidla dochádza k odtlačeniu morfologických vlastností plantárneho povrchu chodidla. Odtlačky chodidla a kombinácia ich morfologických znakov sú pre každého jedinca jedinečné a pomáhajú pri pozitívnej identifikácii. Rôzne štúdie naznačujú, že plantogramy dizygotných a monozygotných dvojčiat vykazujú rozdiely v niektorých štrukturálnych charakteristikách. Tretiu skupinu predstavujú morfologicko-metrické metódy, kedy je potrebné zmerať určité rozmery

na plantogramoch, aby bolo možné klasifikovať morfologickú charakteristiku, napr. pri hodnotení klenby nohy alebo uhlového postavenia malíčka a palca na nohe/odtlačku stupaje.

Tieto metódy napomáhajú pri zhotovovaní biologického profilu a najčastejšie hodnotené metrické, morfologické alebo morfologicko-metrické znaky na odtlačku chodidla (plantograme, či už statickom alebo dynamickom) sú: typ klenutia chodidla, typ chodidla na základe dĺžky prstov, morofologický tvar na základe medziprstových vzdialeností, počet hrbolčekov v metatarzálnej oblasti, prítomnosť falangeálnych markantov, počet a smerovanie rýh, či rôzne deformácie prstov a kože.

Biometrická analýza plantogramov má uplatneni pri už spomínanom biologickom profile jedinca a následne môže dopomôcť pri forenznej identifikácii, kde sa využíva pri analýze odtlačkov na miestach činu alebo následne v laboratóriách. Kvalitatívne metódy umožňujú presnejšie porovnanie odtlačkov a zvyšujú spoľahlivosť analýzy. Arteficiálny presah je jedným z dôležitých faktorov pri určovaní, či bol odtlačok vytvorený staticky alebo dynamicky, čo môže byť rozhodujúce pri rekonštrukcii pohybovej trajektórie jedinca.

Metrické charakteristiky predstavujú zasa významný prínos pri stanovení biologického profilu jedinca, kedy sa rozmery plantogramov využívajú pri odhade telesnej výšky, hmotnosti i pohlavia. Vzhľadom na pokračujúci vývoj v oblasti digitálnej analýzy sa očakáva, že presnosť a spoľahlivosť biometrických metód sa bude v budúcnosti ďalej zlepšovať. Kombinácia tradičných metrických metód s modernými digitálnymi technológiami môže viesť k vytvoreniu presnejších a komplexnejších forenzných databáz, čo prispeje k efektívnejšiemu riešeniu kriminálnych prípadov a identifikácii osôb na základe plantogramov.

3.5.1 Morfologicko-metrické parametre plantogramov

I. *Hodnotenie morfologického tvaru nohy na základe medziprstovej vzdialenosti*

Medziprstové vzdialenosti dávajú odtlačku chodidla charakteristický vzor. Môžu sa navzájom dotýkať alebo je medzi nimi určitá vzdialenosť. Medziprstová vzdialenosť je individuálna a špecifická pre každého jedinca. Určité rozdiely v medziprstových vzdialenostiach existujú nielen medzi jedincami, ale aj medzi ľavým a pravým odtlačkom jedinca. Všeobecne možno medziprstové vzdialenosti rozdeliť do troch kategórii: úzke, stredné, široké (obr. 8). Štúdie vykonané na egyptskej, malajskej, severoindickej a východoindickej populácii preukázali najvyšší výskyt strednej medziprstovej vzdialenosti.

Obr. 8 Typy medziprstových vzdialeností: úzka (označená modrou), stredná (označená zelenou), široká (označená červenou) (foto: Švábová 2024).

V praktickej časti postupujeme nasledovne: vzdialenosť medzi prstami možno definovať ako najmenšiu vzdialenosť medzi dvoma susednými prstami a hodnotí sa tak, že sa spočítajú jednotlivé vzdialenosti medzi susednými prstami a taktiež sa vypočíta aj priemerná hodnota pre všetky prsty, resp. medziprstové vzdialenosti. V rámci jedného plantogramu môžeme teda pozorovať viacero typov medziprstových vzdialeností. Tvar plantogramu v prstovej oblasti klasifikujeme na základe toho, ktorý typ medziprstovej vzdialenosti najviac prevláda na pravej alebo ľavej nohe, resp. plantograme alebo presnejšie, aká je priemerná hodnota po sčítaní jednotlivých medziprstových vzdialeností.

Klasifikácia medziprstových vzdialeností (obr. 8):

1. úzky: vzdialenosť medzi dvoma prstami nižšia alebo rovná 0,50 cm,
2. stredný: vzdialenosť medzi dvoma prstami medzi 0,51 až 1,50 cm,
3. široký: vzdialenosť medzi dvoma prstami vyššia ako 1,51 cm.

Tvar prstovej oblasti z priemernej hodnoty medziprstových vzdialeností (obr. 8):

1. úzky: vzdialenosť medzi dvoma prstami nižšia alebo rovná 0,50 cm,
2. stredný: vzdialenosť medzi dvoma prstami medzi 0,51 až 1,50 cm,
3. široký: vzdialenosť medzi dvoma prstami vyššia ako 1,51 cm.

II. *Hodnotenie klenby chodidla*

Klenba chodidla môže byť plochá, nízka, stredná, normálna a vysoká (obr. 9). Zdravá, resp. fyziologická klenba má normálnu (fyziologickú) anatomickú štruktúru so silnými väzmi s fyziologickou výškou jednej priečnej a dvoch pozdĺžnych klenieb, čo poskytuje lepšiu stabilitu držania tela (obr. 9B). Plochá

noha je definovaná ako stav, pri ktorom dochádza k poklesu klenby nohy a celá plocha chodidla prichádza do väčšieho kontaktu s podložkou. Tento stav sa odráža aj na odtlačku chodidla vo forme širšieho odtlačku najmä v strednej oblasti (obr. 9C). Rozlišujeme dva typy plochej nohy a to unilaterálnu a bilaterálnu. Unilaterálna plochá noha sa vyskytuje len na jednom chodidle jedného jedinca, zatiaľ čo bilaterálna plochá noha je prítomná na obidvoch chodidlách jedného jedinca. Pri vysokom type klenby (obr. 9A) dochádza k menšiemu kontaktu s podložkou čo vedie k vzniku užších odtlačkov chodidla najmä v prednej a pätovej oblasti chodidla.

Obr. 9 Odtlačky stupají s rôznymi typmi klenutia: A) vysoká klenba, B) normálna klenba, C) plochá klenba (foto: Švábová 2024).

V praktickej časti hodnotíme klenutie nohy viacerými metódami.

Index Chippaux-Šmiřák

Na vyhodnotenie výšky klenby chodidla sa najčastejšie používa Chippaux-Šmirak index (CSI). CSI je pomer najužšieho rozmeru strednej časti chodidla a najširšieho rozmeru metatarzálnej časti chodidla, vynásobený 100. CSI sa v niektorých prípadoch preukázal ako cenná charakteristika pri odhade pohlavia, avšak odhady v prípade etnicity neboli signifikantné. Plantogram, ktorý je obrazom stupaje nohy nás informuje svojim odtlačkom o obryse nohy, z ktorého vieme určiť najväčšiu a najmenšiu šírku chodidla (obr. 10). Najväčšia šírka nohy je vzdialenosť medzi antropometrickými bodmi metatarzale *fibulare*

(mt.f.) a metatarzale *tibiale* (mt.t.) V podstate sa jedná o pomer medzi najmenším a najväčším miestom plantogramu a vypočítame ho pomocou nasledujúceho vzorca:

$$i\ [\%] = (a/b) * 100$$

a = rozmer najužšieho miesta plantogramu [cm]
b = rozmer najväčšieho miesta plantogramu [cm]

Klenutie nohy z analyzovaných plantogramov vyhodnocujeme na základe hodnôt uvádzaných Chippaux a Šmiřákom a Klementom, ktoré sú uvedené v tabuľkách 2 až 4.

Tab. 2 Klasifikácia normálne klenutej nohy podľa indexu Chippaux-Šmiřák (Klementa 1987).

Normálne klenutá noha	Rozmedzie
1. stupeň	0,1 – 25, 0 %
2.stupeň	25,1 – 40,0 %
3.stupeň	40,1 – 45,0 %

Tab. 3 Klasifikácia plochej nohy podľa indexu Chippaux-Šmiřák (Klementa 1987).

Plochá noha	Rozmedzie	Vyhodnotenie
1. stupeň	45,1 – 50,0 %	mierne plochá noha
2.stupeň	50,1 – 60,0 %	stredne plochá noha
3.stupeň	60,1 – 100,0 %	veľmi plochá noha

Metóda hodnotenia vysokej nohy

Pri vyhodnocovaní vysokej nohy sa určuje šírka medzery medzi odtlačkom prednej časti chodidla a odtlačkom päty.

Tab. 4 Klasifikácia vysokej nohy podľa Klementu (1964).

Vysoká noha	Rozmedzie	Vyhodnotenie
1. stupeň	od 0,1 do 1,5 cm	mierne vysoká
2. stupeň	od 1,6 do 3,0 cm	stredne vysoká
3. stupeň	od 3,1 a viac cm	veľmi vysoká

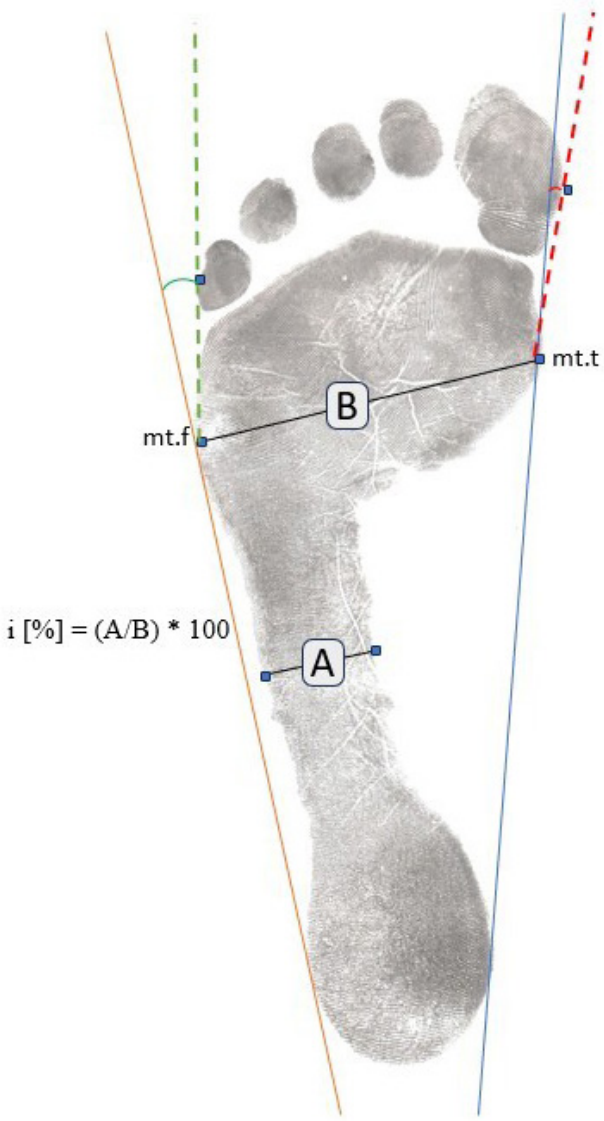
III. *Analýza základných deformít na základe uhlového postavenia palca a malíčka na nohe*

Metóda vyhodnocovania uhlového postavenia palca a malíčka na nohe podľa Weifloga pokladá za limitujúci uhol 9°, podľa Hegrovej 6° (Riegerová et al. 2003). Ak je palec relatívne rovnobežným s osou nohy a jeho rozmery sú v rozmedzí 0° – 9°, resp. 0° – 6° pokladá sa jeho postavenie za fyziologicky primerané. Pri uhle väčšom ako 9°, resp. 6° hovoríme o valgóznej polohe, čiže *hallux valgus*, naopak pri uhle menšom ako 0°, čiže s negatívnou hodnotou hovoríme o varóznej polohe, čiže *hallux varus*. Spôsob merania je nasledovný – zostroja sa dve dotyčnice na vonkajšej strane plantogramu. Prvá dotyčnica spája najviac vystupujúci bod na mediálnej strane línie päty a *mt. tibiale*. Následne sa zostrojí druhá dotyčnica, ktoré spája *mt. tibiale* a najviac vystupujúci bod mäkkého tkaniva na bočnej strane palca (obr. 10). Uhol, ktorý vznikne medzi dvomi dotyčnicami sa zmeria uhlomerom a vyhodnotí sa podľa informácií uvedených v tabuľke 4 alebo 5, záleží, akú metódu si zvolíme.

Pri vyhodnocovaní malíčka sa používa rovnaká metóda, t. j. polohy malíčka sa vyhodnocujú pri rovnakých uhloch. Spôsob merania je nasledovný – zostroja sa dve dotyčnice. Dotyčnica na laterálnej strane chodidla spája najviac vystupujúci bod na laterálnej strane línie päty a *mt. fibulare*. Následne sa zostrojí druhá dotyčnica, ktorá spája *mt. fibulare* a najviac vystupujúci bod na bočnej strane malíčka (obr. 10). Uhol, ktorý vznikne medzi dvomi dotyčnicami sa zmeria uhlomerom a vyhodnotí sa podľa tabuľky 5.

Tab. 5 Kategorizácia na základe uhlového postavenia palcov a malíčkov podľa Weisfloga a Hegrovej (Riegerová et al. 2003).

	Weisflog	**Hegrová**
Normálna poloha	0° – 9°	0° – 6°
Valgózna poloha	> 9°	> 6°
Varózna poloha	< 0°	< 0°



Obr. 10 Ilustrácia hodnotenia klenby nohy a uhlového postavenia palca a malíčka na nohe z plantogramov. Vysvetlivky: A – najužšia oblasť plantogramu, B – najširšia oblasť plantogramu, modrá dotyčnica spája najviac vystupujúci bod na mediálnej strane línie päty a mt. *tibiale*, oranžová dotyčnica spája najviac vystupujúci bod na laterálnej strane línie päty a mt. *fibulare*, červená prerušovaná dotyčnica spája mt. tibiale a najviac vystupujúci bod na bočnej strane palca, zelená prerušovaná dotyčnica spája mt. *fibulare* a najviac vystupujúci bod na bočnej strane malíčka (foto: Švábová 2024).

3.5.2 Morfologické charakteristiky plantogramov

I. *Morfologické typy chodidiel na základe dĺžky prstov*

Oblasť prstov tvorí dôležitú súčasť morfológie odtlačku chodidla. Dlhé či krátke prsty, okrúhle prsty, chýbajúce prsty a poškodené prsty na nohách môžu predstavovať individuálne charakteristiky a byť nápomocné pri identifikácii jedinca. Akékoľvek rezné rany, praskliny, či iné poškodenia pokožky dávajú vzoru prstov jedinečnosť. V niektorých prípadoch sa môže nájsť odtlačok, ktorému chýba odtlačený niektorý prst. Chýbajúci odtlačok niektorého z prstov môže súvisieť s chýbajúcim prstom, stiahnutými prstami alebo samotnou funkciou chodidla, čo môže viesť k absencii kontaktu so zemou v mieste chýbajúceho odtlačku prsta. Vo väčšine prípadov je piaty prst prítomný, len jeho zobrazenie na odtlačku absentuje (obr. 11). Nižšia pravdepodobnosť vytvorenia odtlačku piateho prsta je vysvetlená ako dôsledok vyššej laxity v tejto oblasti chodila a teda zníženej pevnosti extenzorových a flexorových šliach v oblasti piateho prsta.

Obr. 11 Plantogramy bez odtlačeného piateho prsta (foto: Švábová 2024).

Na základe relatívnej morfologickej dĺžky prvého, druhého a tretieho prsta možno odtlačok chodidla rozdeliť do troch kategórii: typ *tibularis* alebo tzv. egyptský typ nohy, typ *fibularis* alebo tzv. grécky typ nohy, stredný alebo kvadratický (štvorcový) typ nohy (obr. 12). Na základe morfologickej dĺžky sa typ odtlačku líši nielen medzi populáciami, pohlaviami a jednotlivcami, ale aj medzi pravým a ľavým odtlačkom chodidla jednotlivca. Štúdia vykonaná Atef et al. (2020) na egyptskej a malajskej populácii poukazuje na to, že u mužov prevažuje typ *fibularis* a u žien typ *tibularis*. Krishan (2007) vykonal štúdiu na mužskej populácii severnej Indie, kde prevažoval typ *fibularis*. V štúdii vykonanej na slovenskej populácii prevažoval u mužov aj u žien typ *tibularis*.

V praktickej časti sa typ chodidla, hodnotený z odtlačkov chodidiel rozdeľuje do troch kategórií v závislosti od relatívnych morfologických dĺžok prvého, druhého a tretieho prsta na nohe:

a) Typ *tibularis* alebo tzv. egyptský typ => T1 > T2 (obr. 12A) – dĺžka prvého prsta (T1) je väčšia ako dĺžka druhého prsta (T2), resp. ostatných prstov.
b) Typ *fibularis* alebo tzv. grécky typ => T2 > T1 (obr. 12C) – dĺžka druhého prsta (T2) je väčšia ako dĺžka prvého prsta (T1).
c) Typ stredný alebo kvadratický (štvorcový) typ => T1 = T2 (obr. 12B) – dĺžky prvého prsta (T1) a druhého prsta (T2) (prípadne aj tretieho prsta) sú rovnaké.

Obr. 12 Charakteristika odtlačku stupaje na základe dĺžky prvých troch prstov: A) typ tibularis (T1 > T2) = egyptský typ, B) typ stredný (T1 = T2) = kvadratický/štvorcový typ, C) typ fibularis (T2 > T1) = grécky typ (foto: Švábová 2024).

II. *Hodnotenie prítomnosti a počtu hrbolčekov*

Hrbolčeky možno definovať ako vyčnievajúce zakrivenie v distálnej časti metatarzálnej oblasti odtlačku chodidla. Prítomnosť hrbolčekov je dôležitou charakteristikou, ktorá môže pomôcť pri procese eliminácie podozrivých z trestných činom. Hrbolček môže byť rovný, zakrivený, vypuklý alebo nepravidelný. V metatarzálnej oblasti sa môže nachádzať jeden, dva alebo viac hrbolčekov, alebo žiaden (obr. 13). Počet hrbolčekov sa líši nielen medzi populáciami ale aj medzi pohlaviami. Atef et al. (2020) vo svojom výskume zistili, že v egyptskej populácii sa najčastejšie vyskytujú tri hrbolčeky u mužov a dva hrbolčeky u žien. Moorthy a Sulaiman (2015) a Moorthy a Mond 2018 zistili, že v malajskej populácii a malajsko-čínskej populácii bol u žien najčastejší výskyt troch hrbolčekov a u mužov sa častejšie vyskytovali dva hrbolčeky. Štúdia autorov Singh a Biswas (2024) na východoindickej populácii potvrdila bilaterálne rozdiely v počte hrbolčekov medzi ľavým a pravým odtlačkom chodidla, pričom na ľavom odtlačku chodidla sa častejšie vyskytovali tri hrbolčeky a na pravom odtlačku chodidla dva hrbolčeky. Autori taktiež zistili, že v ženskej aj mužskej vzorke sa najčastejšie vyskytujú tri hrbolčeky.

V praktickej časti hodnotíme prítomnosť a počet hrbolčekov aj ich ch umiestnenie na v distálnej časti metatarzálnej oblasti, teda pod ktorým prstom, resp. na okraji ktorého metatarzu sa nachádzajú, prípade na ich rozhraní.

Obr. 13 Hodnotenie prítomnosti hrbolčekov na platograme:
A) prítomnosť troch hrbolčekov, B) prítomnosť dvoch hrbolčekov,
C) absencia hrbolčekov (foto: Švábová 2024).

III. *Hodnotenie prítomnosti a počtu falangeálych markantov*

Falangeálne markanty vznikajú odtlačením článkov prstov na nohe. Pri prvom prste ide o odtlačenie proximálneho článku a pri ostatných o odtlačenie mediálneho a proximálneho článku prsta. Zohrávajú dôležitú úlohu pri identifikácii, keďže ich tvar, veľkosť a počet sú individuálne znaky (obr. 14). Na odtlačkoch chodidiel rôznych jedincov možno pozorovať rôzne typy falan-

geálnych markantov. U niektorých jedincov dochádza k odtlačeniu článkov všetkých prstov a u iných nemusí dôjsť k odtlačeniu vôbec. Niektoré odtlačky chodidiel môžu mať jeden, dva, tri prípadne štyri falangeálne markanty, ale ich tvar a veľkosť sa líšia, čo pomáha rozlíšiť jeden odtlačok od druhého. Výsledky viacerých štúdii preukazujú najvyšší výskyt falangeálneho markantu na odtlačku prvého prsta.

V praktickej časti hodnotíme počet a polohu falangeálnych markantov. Falangeálne markanty sú tvorené odtlačkom mediálnych a proximálnych článkov prstov. V prípade prvého prsta ide o odtlačenie proximálneho článku prsta (obr. 14B), pri ostatných prstoch sa môže jednať o odtlačenie mediálneho alebo proximálneho článku druhého až piateho prsta na nohe.

Obr. 14 Hodnotenie prítomnosti a počtu falangeálnych markantov na odtlačku stupaje: A) odtlačok stupaje bez falangeálnych markantov, B) odtlačok s falangeálnymi markantmi vyznačenými modrou šípkou (pod prvým, štvrtým a piatym odtlačkom distálneho článku prsta) (foto: Švábová 2024).

IV. *Hodnotenie prítomnosti rýh na plantárnej oblasti*

Ďalšou individuálnou charakteristikou odtlačku chodidla je prítomnosť rýh na plantárnej oblasti. Ryhy na odtlačku chodidla sú tvorené kožnými záhybmi na plantárnom povrchu chodidla. Tieto záhyby môžu byť dlhodobé alebo dočasné, pričom oba druhy sú významné pri identifikácii jedincov. Ryhy, rovnako ako dermatoglyfické charakteristiky, sú kontrolované polygénnymi faktormi. Všeobecne môžu prebiehať v dvoch smeroch: horizontálne a vertikálne (obr. 15). Ďalšie typy priebehu rýh sú prekrížené a zmiešané. Pri prekrížených ide o kríženie horizontálnych a vertikálnych rýh a pri zmiešanom type ide o kombináciu vyššie spomínaných typov. Priebeh a počet rýh sa líši v závislosti od jedinca. Niektoré odtlačky chodidiel môžu vykazovať jednu veľkú ryh v metatarzálnej oblasti, iné niekoľko rýh v strednej časti odtlačku, prípadne žiadne ryhy. Všeobecne platí, že odtlačky chodidiel žien obsahujú väčší počet

rýh ako odtlačky chodidiel mužov, a že odtlačky plochých nôh ich obsahujú viac ako odtlačky nôh s normálnou klenbou. Na počet rýh na odtlačku chodidla vplýva tiež tvar klenby. U jedincov s plochou nohou je štatisticky viac rýh ako u jedincov s normálnou klenbou. Systematická analýza jednotlivých rýh, vo vzťahu k priľahlým dermatoglyfickým znakom, môže poskytnúť praktické poznatky osobnej identifikácie.

V praktickej časti hodnotíme počet rýh na odtlačku chodidla a ich smerovanie. Smer rýh je klasifikovaný do štyroch základných skupín: vertikálne, horizontálne, prekrížené a zmiešané ryhy (obr. 15). Pri horizontálnych ryhách sa jedná o ryhy, ktoré smerujú sprava doľava, vertikálne ryhy smerujú zhora dole a prekrížené ryhy sú také, pri ktorých dochádza k prekríženiu predošlých dvoch typov rýh a to vertikálnych a horizontálnych. Zmiešaná skupina obsahuje viacero typov z vyššie spomenutých príkladov, teda môže to byť napríklad kombinácia vertikálnych a prekrížených a podobne. Následne sa ryhy spočítajú na pravom aj ľavom plantograme. Pre lepšiu orientáciu a jednoduchšiu analýzu môžeme výsledné počty jednotlivých typov rýh rozdeliť do štyroch kategórií: 0 – absencia rýh, 1 – jedna ryha, 2 – dve ryhy, 3 – tri a viac rýh.

Obr. 15 Znázornenie (modrou šípkou) prítomnosti vertikálnych, transverzálnych, prekrížených a zmiešaných rýh na plantogramoch (foto: Švábová 2024).

V. *Individuálne charakteristiky – jamky, kurie oká, praskliny*

Prítomnosť rôznych typov poškodení kože chodidla ako sú kurie oká, jamky, praskliny, rezné rany a iné deformity sú veľmi dôležitým identifikačným znakom odtlačku chodidla (obr. 16). Tieto charakteristiky sú špecifické pre

jedinca a vedú k identifikácii osoby, ak máme porovnávací materiál, teda odtlačok chodidla podozrivej osoby. Ich prítomnosť alebo naopak absencia, tvar a poloha na odtlačku chodidla odlišujú jeden odtlačok od druhého. Niektoré z týchto charakteristík však nemusia byť trvalé, ale vytvárajú sa len dočasne, napr. jazvy a mozole, ktoré keď sa časom vyliečia, tak stopy po nich už na odtlačkoch nie sú.

V praktickej časti sa hodnotí na plantogramoch prítomnosť jamiek, prasklín, kurieho oka, otlakov/mozoľov, jazvy a iných deformít na pokožke chodidla. Zaznamenajú sa jednotlivé individuálne charakteristiky a následne, ak sú prítomné, tak sa plantogram zaradí do kategórie – prítomná kožná deformácia na chodidle.

Obr. 16 Kožné deformácie na nohách a ich následné zobrazenie na plantogramoch: A) jamky, prasklinky, B) jazva, C) otlak/mozoľ (foto: Švábová 2024).

VI. *Metóda prekryvu*

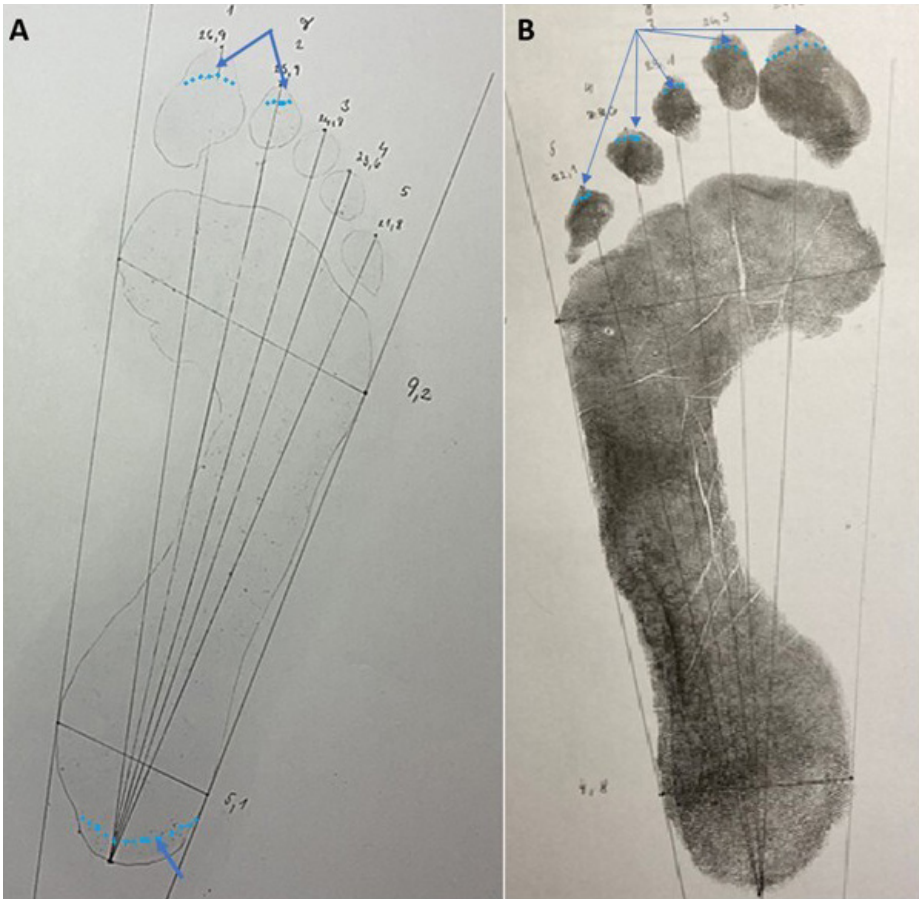
Táto kvalitatívna metóda spočíva v umiestnení papiera na nájdený odtlačok chodidla, ktorý môže byť buď v pôvodnej podobe, alebo v latentnej forme. Následne sa obrys odtlačku starostlivo vyznačí perom alebo ceruzkou, aby vzniklo čo najmenej chýb (obr. 17). Takto získaný obrys odtlačku sa prenesie na vzorové odtlačky, aby sa zistili ďalšie podobnosti či rozdiely. Táto metóda sa dá použiť na porovnanie akéhokoľvek druhu odtlačku nájdeného na mieste činu. Neskôr bola metóda vylepšená a zaviedli sa opisné termíny, ako napríklad

morfologické identifikačné línie. Okrem tvaru a veľkosti odtlačku možno pozorovať viac detailov bosej nohy, ako je tvar prsta, prítomnosť alebo neprítomnosť niektorej časti chodidla, prípadné zranenia alebo detaily jaziev na odtlačku. Autori Howsam et al. (2022) vo svojej štúdii testovali presnosť tejto metódy pri identifikácii jedincov a zistili, že metóda prekryvu by sa nemala používať samostatne na porovnanie odtlačkov chodidiel, ale skôr ako podporná metóda, ktorá môže byť nápomocná pri identifikácii osoby.

Obr. 17 Metóda prekryvu (foto: Švábová 2024).

3.5.3 Fenomén arteficiálneho presahu na odtlačkoch stupají

Arteficiálny presah plantogramu (APP; z anglického „ghosting phenomenon“) je fenomén popísaný Burrowom (2015), pri ktorom sa na okrajoch odtlačku objavuje svetlejšia oblasť, ktorá presahuje štandardnú tmavšiu časť odtlačku. Tento jav spôsobuje dojem, že niektoré časti chodidla, napríklad prsty alebo päta, sú predĺžené (obr. 18).



Obr. 18 Prítomnosť arteficiálneho presahu na plantogramoch: A) pravý odtlačok stupaje zhotovený pomocou krémovej metódy s prítomným artificiálnym presahom na prvom a druhom prste a na päte (označené modrou prerušovanou čiarou a modrými šípkami), B) ľavý odtlačok stupaje zhotovený pomocou čerňovej metódy s prítomným artificiálnym presahom na prvom až piatom prste (označené modrou prerušovanou čiarou a modrými šípkami) (foto: Švábová 2024).

APP môže byť spôsobený rôznymi faktormi, ako sú deformácia mäkkých tkanív pri kontakte s podložkou alebo dynamické zmeny v tlaku chodidla počas chôdze. Podľa Vernon et al. (2017) a Ansert et al. (2023) dochádza k APP v oblasti päty v dôsledku rozšírenia fibrózneho tukového vankúšika, zatiaľ čo presah na prstoch vzniká pri zdvihnutí päty, keď sa distálne konce prstov krátkodobo dotýkajú podložky. Prítomnosť APP bola pozorovaná na dynamických aj na statických odtlačkoch chodidiel v indickej, americkej i slovenskej populácii. Výskyt APP bol však výrazne vyšší na dynamických odtlačkoch

chodidiel. Práve preto autori navrhli, aby bol APP definovaný ako svetlejšie oblasti predĺženia na distálnej strane odtlačkov prstov. Štúdie naznačujú, že APP je bežnejší pri dynamických plantogramoch, no môže sa objaviť aj pri statických odtlačkoch, čo komplikuje ich presnú klasifikáciu, keďže pôvodne mal byť APP používaný ako indikátor pri rozlíšení medzi statickým a dynamickým plantogramom a jeho analýza mala byť kľúčová pri určovaní pohybovej aktivity podozrivej osoby na mieste činu. Avšak, keďže už súčasné výskumy naznačujú, že výskyt APP je prítomný aj v prípade statických pantogramov, tak je potrebné preskúmať ďalšie aspekty APP, ak má byť táto charakteristika nápomocná pri rozlišovaní statických plantogramov od dynamických. Niektoré štúdie naznačujú, že by sa mohlo jednať o metrické parametre APP. Je dôležité podotknúť, že APP treba brať do úvahy aj pri vytváraní biologického profilu jedinca, napríklad pri predikcii telesnej výšky, teda kvantitatívne charakteristiky (bližšie popísane v podkapitole 3.5.4) je potrebné vyhodnocovať vrátane APP. Samozrejme, je dôležité aby skúsený pozorovateľ a hodnotiteľ vedel odlíšiť, či sa skutočne jedná o APP alebo došlo iba k rozmazaniu odtlačku stupaje v určitej oblasti plantogramu.

3.5.4 Kvantitatívne (metrické) hodnotenie plantogramov

Kvantitatívne metódy analýzy plantogramov zahŕňajú rôzne metrické techniky, ktoré umožňujú objektívne porovnanie odtlačkov. Pri vyšetrovaní plantogramu využívame množstvo rozmerov na opis zanechanej stopy. Existujú metódy, ktoré využívajú vzdialenosť bodu *pternion* po prsty a uhly medzi nimi. Identifikácia pozostáva z dvoch častí – priamej pozorovacej metódy a interpretácie.

Bod *pternion* (Pte) je určený ako najzadnejší bod na päte nohy/plantogramu, ktorý bol zanechaný stojacím alebo kráčajúcim subjektom. Bod *pternion* sa nemusí nachádzať v presnom strede okraju pätovej oblasti.

Medzi najčastejšie používané metódy patria metóda podľa Gunn (1991), metóda prekryvu, metóda podľa Reel (2012) a metóda podľa Robbins (1978). V súčasnosti sa už metódu podľa Robbinsovej neodporúča používať, nakoľko si vyslúžila kritiku od autorov Reel (2012) pre irelevantnosť použitia vo forenznom kontexte.

I. *Metóda podľa Gunn (1991)*

Táto metóda bola vyvinutá kanadským doktorom Normanom Gunnom na hodnotenie kompletných odtlačkov chodidiel. Pri tejto metóde sa nakreslí šesť čiar od najzadnejšej časti päty odtlačku chodidla po anteriórnu stranu každého z piatich prstov odtlačku (obr. 19). Šiesta čiara vedie cez najširšiu časť plo-

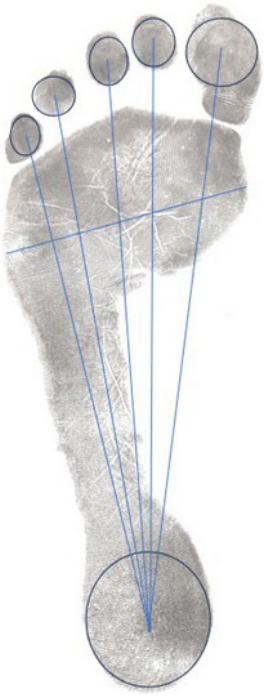
chy odtlačku chodidla. Následne sa rozmery zmerajú pomocou štandardných meradiel manuálne alebo sa vyhodnotia z odfoteného/naskenovaného odtlačku digitálne a ďalej sa porovnávajú s odtlačkami podozrivých osôb. V prípade nálezu čiastočného odtlačku chodidla, na ktorom chýba päta, sa používa rozšírená verzia tejto metódy. Pri tejto metóde sa z ľubovoľného bodu načrtne séria šiestich čiar, ktoré sa následne porovnávajú s odtlačkom podozrivého.

Obr. 19 Plantogramy zhotovené čerňovou metódou so znázornenými kvantitatívnymi – metrickými charakteristikami: A) metóda podľa Gunn, B) rozšírená metóda podľa Gunn (foto: Švábová 2024).

Curran a Bailey (2017) vo svojej štúdii použili metódu podľa Gunn na porovnanie rozmerov statických odtlačkov a odtlačkov, ktoré vznikli pri skákaní. Na analýzu každého plantogramu bola použitá metóda podľa Gunn a odtlačky boli zmerané. Rozdiely v dĺžke a šírke odtlačkov chodidiel boli štatisticky významné. Výhody tejto metódy spočívajú v jej presnosti pri porovnávaní kompletných odtlačkov. Nevýhodou je však obmedzená použiteľnosť pri čiastočných odtlačkoch, kde chýba päta alebo prsty. Použitie tejto metódy sa odporúča len ak je k dispozícii porovnávací materiál (odtlačok stupaje alebo stupají podozrivého).

II. *Metóda optického stredu*

Rozvinutím Gunnovej metódy vznikla metóda optického stredu. Metóda bola vyvinutá za účelom demonštrácie individuality ľudského chodidla. Optický stred je stred morfologickej oblasti, ktorá reprezentuje stred kružnice do nej umiestnenej. Základom tejto metódy je vyhotovenie piatich priamok z optického stredu pätovej oblasti po optický stred každého prstu a šiesta priamka je vedená cez najširšiu časť metatarzálnej oblasti, teda na spojnici bodov *mt.t* a *mt.f* (obr. 20). Hoci metóda optického stredu nie je tak rozšírená ako metrické metódy hodnotenia plantogramov, jej aplikácia v kombinácii s inými metódami môže zvýšiť presnosť a spoľahlivosť podiatrických analýz vo forenznom kontexte.

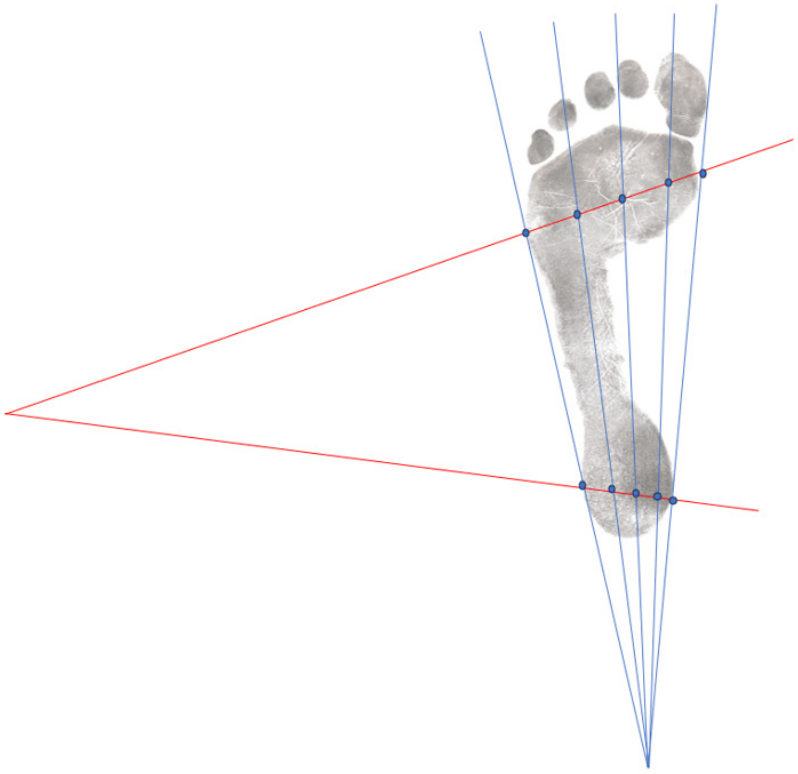


Obr. 20 Metóda optického stredu (foto: Švábová 2024).

III. *Rossiho podometrický systém*

Rossi vytvoril alternatívnu metódu kategorizácie odtlačku stupají, ktorú pomenoval podmetrický systém. Rossiho podmetrický systém je metóda založená na systéme priamok vedených longitudinálne a tranzverzálne cez plantogram (obr. 21). Prvá priamka je vedená ako spojnica najvzdialenejšieho laterálneho bodu päty s laterálnym bodom metatarzálnej oblasti, druhá priamka spája

mediálny bod päty s mediálnym bodom metatarzálnej oblasti, a tretia, štvrtá a piata priamka sú vedené medzi nimi. Podobne sa postupuje pri horizontálnych priamkach.



Obr. 21 Rossiho podmetrický systém (foto: Švábová 2025).

IV. *Metóda podľa Robbins (1978)*

Robbinsovej metóda (obr. 22 a 23) je kvantitatívna metóda vypracovaná Louise Robbinsovou v 80. rokoch minulého storočia. Využíva bodové merania odtlačku, ktoré sú podobné Gunnovej metóde. Pridané priamky sú kolmé na základné priamky prechádzajúce cez zadnú časť päty ku špičke každého prstu a uhol sklonu je meraný medzi špičkou 1. a 5. prstu.

Robbinsová vytvorila mriežku na analýzu rozmerov a obrysov plantogramov a fotografovanie chodidiel alebo topánok. Mriežka má niekoľko rozmerov – 250 mm, 300 mm a 350 mm, jej stredom prechádza nulová os X a je rozdelená na 1 mm štvorcové bunky, na rozdiel od pôvodnej Abbotovej mriežky, ktorej štvorcové bunky mali rozmer 6,35 mm (1/4 palca).

Proces merania dĺžkových rozmerov odtlačkov je podobný ako meranie dĺžkovo-šírkových rozmerov ľudskej nohy. Pred každým meraním musíme určiť longitudinálnu os a základnú priamku. Longitudinálna os vychádza z bodu *pternion* a pri použití Robbinsovej mriežky ju predstavuje nulová os X mriežky a základná priamka je totožná s vertikálnou nulovou osou Robbinsovej mriežky. Longitudinálna os a základná priamka sa dajú určiť aj bez Robbinsovej mriežky pomocou pravítka a uhlomeru, pričom platí, že základná priamka je kolmá na longitudinálnu os. Dĺžkové rozmery odtlačkov sa merajú v paralelnom a aj diagonálnom smere. Pri paralelných rozmeroch (obr. 22) sa merajú od vrcholu každého prsta kolmo na základnú priamku paralelne s longitudinálnou osou. Diagonálne rozmery sú rozmery z vrcholu každého prsta po bod *pternion*, *pte* (Robbins 1985) (obr. 23).

Dĺžkové rozmery plantogramu sú, okrem základných paralelných a diagonálnych rozmerov, merané aj v ďalších oblastiach, a to:

- dĺžkový rozmer prvého až piateho prsta,
- dĺžkový rozmer oblasti od päty po metatarzálnu oblasť,
- dĺžkový rozmer oblasti od päty po klenbu,
- dĺžkový rozmer pätovej oblasti.

Použitím tejto diagonálnej metódy sa zisťuje vzdialenosť od vrchného okraja každého prstu odtlačku stupaje (d1.t – d5.t) po bod *pternion (pte),* ktorý leží na zadnom okraji na päty (obr. 23).

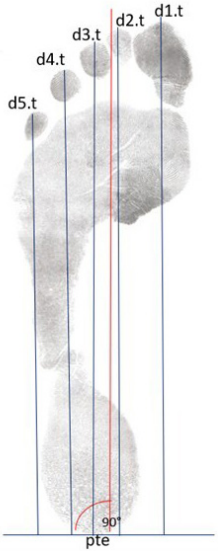
Pri analýze odtlačkov je dôležité zozbierať informácie nielen o dĺžkových ale aj šírkových rozmeroch. Zo šírkových rozmerov sa merajú:

- šírkový rozmer prstov,
- šírkový rozmer metatarzálnej oblasti,
- šírkový rozmer pätovej oblasti,
- šírkové rozmery oblasti klenby.

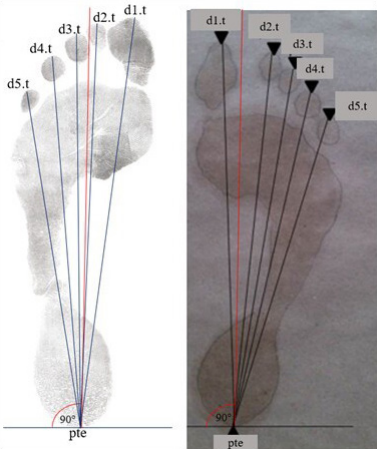
Okrem dĺžkových a šírkových rozmerov sa môžu zisťovať veľkosti uhlov, konkrétne:

- medzi prvým až piatym prstom,
- uhol naklonenia medzi metatarzálnou oblasťou a oblasťou klenby na vnútornej strane chodidla,
- uhol sklonu medzi horizontálnou šírkovou líniou a diagonálnou šírkovou líniou vzhľadom na špecifický bod na opačnej strane na okraji odtlačku v oblasti päty, klenby a metatarzálnej oblasti.

Táto metóda bola používaná pri odhade telesnej výšky z rozmerov odtlačkov chodidiel. Autori viacerých štúdií používajú práve rozmery získané touto metódou na dosadenie do populačne špecifických regresných rovníc na odhad telesnej výšky.



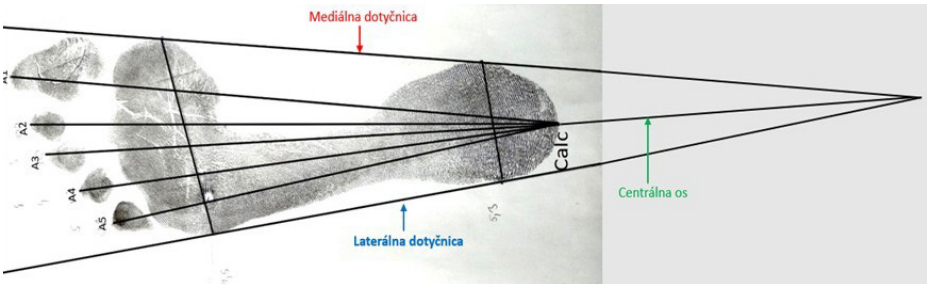
Obr. 22 Paralelné rozmery podľa Robbins na čerňovom odtlačku stupaje. Vysvetlivky: pte – antropometrický bod pternion, d1.t – d5.t – paralelná dĺžka odtlačku stupaje po okraj prvého až piateho prsta (foto: Švábová 2024).



Obr. 23 Diagonálna metóda podľa Robbins: vľavo – odtlačok stupaje odobraný pomocou daktyloskopickej černe, vpravo – odtlačok stupaje odobraný pomocou krému. Vysvetlivky: pte – antropometrický bod pternion, d1.t – d5.t – diagonálna dĺžka odtlačku stupaje po okraj prvého až piateho prsta (foto: Švábová 2024).

V. *Metóda podľa Reel (2012)*

Reel (2012) vyvinula metódu, v ktorej sa na získanie odtlačkov chodidla používa „Inkless Shoeprint Kit" (súprava na odber odtlačkov bez atramentu). Tento odtlačok sa následne naskenuje a zdigitalizuje. Na odtlačkoch sa pri tejto metóde hodnotia rôzne dĺžkové, šírkové a uhlové merania. Centrálna os sa nakreslí pretnutím vnútorných a vonkajších dotyčníc z mediálneho a laterálneho okraja odtlačku (obr. 24). Pomocou softvéru sa na odtlačok nanesie mriežka a stredová os chodidla sa zarovná so zvislou osou mriežky. Po zarovnaní odtlačku sa v zadnom bode chodidla vyznačí vodorovná čiara, ktorej priesečník s centrálnou osou slúži ako referenčný bod pre ďalšie merania. K dĺžkovým meraniam patrí vzdialenosť od základne päty po vrchol každého prsta (A1 – A5), šírka metatarzofalangeálneho kĺbu a šírka päty. Táto metóda preukazuje vysokú spoľahlivosť pri dvojdimenzionálnych odtlačkoch chodidiel. V súčasnosti je táto metóda vyhodnocovania statických a dynamických odtlačkov chodidiel považovaná za najspoľahlivejšiu, pričom sa využíva pri odhade telesnej výšky z rozmerov odtlačkov chodidiel a taktiež pri odhade dĺžky nohy. Výhodou tejto metódy je vysoká presnosť vďaka digitálnemu spracovaniu, avšak jej hlavnou nevýhodou je potreba špecializovaného vybavenia, čo môže limitovať jej použiteľnosť v teréne.



Obr. 24 Ukážka dĺžkovo-šírkových meraní na plantograme zhotovenom daktyloskopickou čerňou pomocou Reel metódy (foto: Švábová 2024).

3.5.5 Manuálne a digitalizované vyhodnotenie plantogramov

Autori Mukhra et al. (2018) vypracovali štúdiu, ktorá sa venuje porovnaniu viacerých metrických metód hodnotenia odtlačkov chodidla. Z výsledkov tejto štúdie vyplýva, že najspoľahlivejšou metódou na hodnotenie plantogramov je práve metóda podľa Reel (2012). Hlavným rozdielom medzi vyššie spomínanými metódami a metódou podľa Reel (2012) je, že každá iná metóda sa vykonáva ručne alebo priamo na odtlačkoch chodidiel, čo môže mať za násle-

dok vyššiu pravdepodobnosť chyby merania. Keďže metóda podľa Reel (2012) analyzuje naskenované obrazy plantogramov, jej spoľahlivosť je preto o stupeň vyššia ako u iných metód.

V súčasnosti, tak ako bolo spomínané v podkapitole 3.4, je dôležité, aby všetky odobrané statické i dynamické plantogramy boli digitalizované, čo umožňuje ich presnejšie vyhodnotenie. Analýza digitálnych odtlačkov chodidiel môže prebiehať buď manuálne priamo na získanom plantograme, alebo automatizovane pomocou špecializovaných softvérov. V oblasti metrického a morfologického hodnotenia plantogramov sa využíva viacero softvérových riešení, ktoré umožňujú objektívne posúdenie rozmerových a štrukturálnych parametrov chodidla.

Jedným z najčastejšie používaných softvérov je ImageJ, voľne dostupný program, ktorý umožňuje presné manuálne i automatizované merania dĺžky, šírky, uhlov a pomerov jednotlivých segmentov odtlačku. Pre pokročilú analýzu obrazových dát a aplikáciu matematických modelov sa často využíva MATLAB, ktorý umožňuje spracovanie obrazu a výpočet špecifických metrických parametrov chodidla.

GIMP (GNU Image Manipulation Program) je ďalším softvérom, ktorý môže byť využitý pri analýze plantogramov, najmä v prípadoch, keď je potrebné upravovať, filtrovať alebo zvýrazňovať jednotlivé časti odtlačkov chodidla. Hoci GIMP primárne nie je určený na metrické analýzy ako špecializované biomechanické softvéry (napr. Footscan alebo Podoprint), poskytuje široké spektrum nástrojov na prácu s obrazovými dátami, vrátane merania vzdialeností, uhlov a pomerov medzi rôznymi bodmi na plantograme.

V kombinácii s vhodnými zásuvnými modulmi môže GIMP slúžiť na predbežnú analýzu odtlačkov chodidiel pred ich ďalším spracovaním v sofistikovanejších softvéroch, ako sú MATLAB alebo ImageJ. Jeho výhodou je otvorený zdrojový kód a široká kompatibilita s rôznymi formátmi obrázkov, čo umožňuje jeho využitie na rôznych úrovniach analýzy – od základného vizuálneho hodnotenia až po aplikáciu pokročilých obrazových filtrov na zvýraznenie špecifických čŕt odtlačkov.

V rámci forenznej podiatrie a antropologického výskumu tak GIMP môže byť užitočný nástroj na predspracovanie digitálnych plantogramov, najmä pri zvýrazňovaní kontúr, kontrastu a úpravách obrazových artefaktov, ktoré môžu ovplyvniť presnosť následnej analýzy.

V klinickej praxi a biomechanickom hodnotení sa uplatňuje Footscan, profesionálny systém, ktorý poskytuje podrobné informácie o rozložení tlaku, priečnej a pozdĺžnej klenbe chodidla, ako aj o asymetriách v statike a dynamike chôdze. Podobným nástrojom je Podoprint, ktorý sa využíva na komplexnú

podologickú analýzu plantogramov a umožňuje hodnotenie deformít chodidla na základe tlakových bodov a morfologických ukazovateľov.

Pre biomechanickú analýzu a simuláciu pohybu chodidla sa využíva Delft Foot Model, ktorý umožňuje podrobné hodnotenie dynamických vlastností odtlačkov a modelovanie pohybu dolnej končatiny. Ďalším pokročilým riešením je FeetMe Evaluation, digitálny nástroj určený na hodnotenie funkcie chodidla v statických aj dynamických podmienkach, ktorý sa často využíva pri analýze chôdze a držania tela.

Implementácia týchto softvérov v analýze plantogramov výrazne prispieva k presnejšiemu hodnoteniu morfologických a biomechanických charakteristík chodidla, čím nachádza uplatnenie nielen v klinickej praxi, ale aj vo forenznej podiatrii, antropológii a podologickom výskume.

3.5.6 Využitie biometrickej analýzy plantogramov pri biologickom profile a identifikácii

Identifikácia je kľúčovým prvkom každého forenzného vyšetrovania. Biometrická analýza plantogramov sa ukazuje ako efektívny nástroj pri tvorbe biologického profilu jednotlivca a jeho identifikácii. Plantogramy, teda odtlačky chodidiel, obsahujú špecifické morfologické charakteristiky, ktoré môžu pomôcť pri odhade telesnej výšky, telesnej hmotnosti a niekedy aj pohlavia osoby. Hoci nie je možné jednoznačne určiť vek a etnickú príslušnosť na základe plantogramov, ich analýza môže poskytnúť cenné informácie v kombinácii s ďalšími antropologickými metódami.

Vo forenznej antropológii sa biologický profil vzťahuje na súbor charakteristík jednotlivca, ktoré zahŕňajú pohlavie, vek, etnickú príslušnosť, telesnú výšku a telesnú hmotnosť. Na druhej strane, identifikácia predstavuje presné určenie identity konkrétnej osoby. Tieto dva koncepty sú úzko prepojené, no biologický profil slúži skôr na zúženie okruhu možných osôb, zatiaľ čo identifikácia vedie k jednoznačnému priradeniu identity.

Odhad telesnej výšky zo statických alebo dynamických odtlačkov chodidiel je dôležitou metódou využívanou vo forenznej antropológii. Viaceré štúdie preukázali, že dĺžka a šírka odtlačku chodidla sú v úzkom vzťahu k telesnej výške. Kanchan et al. (2012) analyzovali odtlačky chodidiel indickej populácie a zistili, že rozmery prednej časti chodidla poskytujú presnejšie odhady telesnej výšky než rozmery päty. Štúdia Švábovej et al. (2022) na slovenskej populácii potvrdila, že dynamické odtlačky chodidiel sú vhodným nástrojom na odhad telesnej výšky a poskytla populačne špecifické regresné rovnice.

Okrem telesnej výšky sa však z plantogramov dá odhadnúť aj telesná hmotnosť. Krishan (2008b) preukázal pozitívnu koreláciu medzi telesnou hmotnosťou a šírkou metatarzálnej oblasti chodidla. Pri vyššej telesnej hmotnosti dochádza k zväčšeniu šírky chodidla, čo vedie k lepšiemu rozloženiu tlaku na podložku. Napriek tejto korelácii je odhad telesnej hmotnosti menej presný než odhad telesnej výšky, nakoľko telesná hmotnosť môže byť ovplyvnená faktormi, ako sú strava, fyzická aktivita a životný štýl.

Pri forenznom vyšetrovaní sú odtlačky chodidiel dôležitým dôkazom, ktorý môže napomôcť pri rekonštrukcii pohybu páchateľa na mieste činu. Plantogramy sa používajú na určenie veľkosti obuvi, špecifických znakov chôdze a asymetrií vývoja chodidla, čo môže napomôcť pri identifikácii. Porovnanie plantogramov z miesta činu s referenčnými vzorkami môže viesť k potvrdeniu totožnosti páchateľa.

Rozdiel medzi biologickým profilom a identifikáciou spočíva v miere špecifickosti poskytovaných informácií. Biologický profil pomáha pri vytvorení širších kategórií, ktoré sa používajú na vylúčenie alebo zaradenie osôb do skupiny podozrivých. Identifikácia na druhej strane vyžaduje jednoznačné priradenie identity na základe konkrétnych individuálnych znakov.

Napriek tomu, že biometrická analýza plantogramov poskytuje užitočné informácie, výsledky musia byť interpretované v kontexte iných forenzných dôkazov. Každý jednotlivý parameter odtlačku môže byť ovplyvnený rôznymi faktormi, ako je typ povrchu, tlak pri odtlačku alebo anatomické variability jednotlivca. Preto je nevyhnutné kombinovať túto metódu s inými technikami, ako je DNA analýza, analýza odtlačkov prstov alebo digitálne forenzné metódy.

4 DERMATOGLYFIKA

Dermatoglyfika (pôvod z gréckeho *derma* – koža, *glyphé* – brázda) je vedný odbor, ktorý sa zaoberá štúdiom papilárneho terénu človeka, ktorý môžeme inými slovami označiť aj ako koža chirídia. Takáto koža sa nachádza na ventrálnej strane dlaní, prstov a stupají všetkých primátov, vrátane človeka. Je charakteristická papilárnymi líniami a medzi nimi ležiacimi ryhami. Papilárne línie si môžeme predstaviť ako kožné vyvýšeniny, medzi ktorými sa nachádzajú brázdy. Koža chirídia je špecifická len pre spomínané oblasti ľudského tela, v iných častiach tela sa nenachádza. Uloženie kože do záhybov zvyšuje trenie medzi uchopovaným predmetom a povrchom papilárneho terénu, čím koža papilárneho terénu plní funkciu mechanického orgánu ľudského tela. Nachádza sa v nej množstvo nervových zakončení, čím zastáva funkciu zmyslového orgánu hmatu. Takáto koža je bez ochlpenia a absentuje prítomnosť mazových žliaz. Naopak, je bohato prestúpená potnými žľazami, ktoré svojimi vývodmi dosahujú až na povrchovú vrstvu kože, kde sa otvárajú v podobe potných pórov.

Papilárne línie (*cristae superficiales*) kože chirídia vytvárajú na jej povrchu unikátne dermatoglyfické obrazce, ktoré sú, spolu s ich charakteristickými bodmi, predmetom štúdia dermatoglyfiky s aplikáciou v rôznych oblastiach, ako napríklad v klinickej dermatoglyfike, populačnej dermatoglyfike, etnickej dermatoglyfike či v kriminalistickej daktyloskopii. Na lepšie porozumenie aplikácie dermatoglyfiky do spomínaných odborov je potrebné poznanie základov anatómie kože, kľúčových momentov ontogenézy horných a dolných končatín a pochopenie ich prepojenia s jedinečnosťou dermatoglyfických stôp. Každá dermatoglyfická stopa je unikátna, je to nezameniteľný originál. Táto jedinečnosť je daná viacerými charakteristikami, ako napríklad druhostupňovými identifikačnými markermi, variabilitou dĺžky a šírky papilárnych línií alebo aj variabilitou potných pórov. Identické odtlačky prstov nenájdeme ani u monozygotných dvojčiat a jestvujú prepočty, že dodnes sa nenarodili dvaja ľudia s identickými odtlačkami všetkých desiatich prstov. To znamená, že každý odtlačok papilárneho terénu je jedinečný a jeho detailnou analýzou vieme, vďaka poznatkom z mnohých odvetví dermatoglyfiky, odhadnúť telesnú výšku jedinca, jeho pohlavie, príslušnosť k danej etnicite a dokonca vieme určiť výskyt niektorých ochorení.

4.1 Koža

4.1.1 Anatómia kože

Koža človeka pokrýva celé telo, čím vytvára najväčší orgán ľudského tela. Tvorí bariéru medzi vonkajším a vnútorným prostredím. Má ochrannú, termoregulačnú a vylučovaciu funkciu a slúži ako zmyslový orgán. Chráni tkanivá pred mechanickým, chemickým a termickým poškodením. Zabraňuje prenikaniu cudzorodých látok do tela, absorbuje žiarenie, reguluje schopnosť kompenzovať náhle zmeny teploty, podieľa sa na regulácii hydrosalinovej rovnováhy a vylučuje z tela metabolity. Zabraňuje nadmernému vyparovaniu vody z vnútorného prostredia, čím zabezpečuje potrebné životné podmienky. Podieľa sa aj na termoregulácii organizmu. Zabezpečuje vyrovnávanie tepla organizmu a prostredia, a tým zabezpečuje konštantnú telesnú teplotu. Koža obsahuje potné žľazy, ktoré okrem termoregulačnej a zvlhčovacej funkcie slúžia aj ako exkrečné orgány vody, soli, aromatických látok a produktov metabolizmu.

Kožu tvorí niekoľko vrstiev. Hrúbka kože varíruje medzi 0,5 mm až 4,0 mm. Na povrchu sa nachádza pokožka – *epidermis*. Jej hrúbka sa pohybuje v rozmedzí od 0,03 mm do 0,1 mm. Je tvorená epitelovými bunkami a nie je prestúpená cievami. Pre dermatoglyfiku to má dôležitý praktický význam, pretože ak je poranením zasiahnutá iba povrchová vrstva kože, zmena papilárneho terénu bude len dočasná a pôvodný dermatoglyfický vzor bude plne regenerovaný, zatiaľ čo pri poranení hlbokých vrstiev, ako je *dermis*, hojenie spôsobí trvalú zmenu epidermálneho povrchu v podobe jazvy.

Bunky *epidermis* sú usporiadané do vrstiev. Tieto vrstvy sa pohybujú procesom stratifikácie, čiže cyklom, ktorý začína v spodných vrstvách a končí v najvrchnejšej vrstve. To je dôvod, prečo je *epidermis* definovaná ako epitel v nepretržitej obnove. Na povrchu *epidermis* sa nachádza zrohovatená vrstva buniek, kým jej spodná vrstva obsahuje živé, deliace sa bunky epitelu, ktoré nahrádzajú opotrebovanú zrohovatenú vrstvu a zabezpečujú regeneráciu kože pri poraneniach. *Epidermis* má dve základné vrstvy: *stratum germinativum* a *stratum corneum*. *Stratum germinativum* sa histologicky skladá z niekoľkých vrstiev. Najspodnejšia je *stratum basale* a tvoria ju cylindrické bunky. Sleduje nerovnosti papíl zamše a nasadá priamo na *corium*. Na *stratum basale* nasadá *stratum spinosum*, ktorú tvoria polyedrické bunky a vyrovnáva jej nerovnosť. Smerom k povrchu je ďalšou vrstvou *stratum granulosum*, ktorú tvoria sploštené bunky s degenerovanými jadrami. Na nej sa nachádza vrstva na seba tesne nasadajúcich plochých buniek *stratum lucidum.* Na povrchu kože je vrstva s názvom *stratum corneum*. Je tvorená približne 20 vrstvami (na stupaji 100 vrstvami) zrohovatených bezjadrových buniek. Tie sa sústavne opotrebúvajú a odlupujú.

Farba kože je podmienená viacerými faktormi. Najviac ju podmieňuje melanín, čo je pigmentové farbivo, hemoglobín spolu s jeho rozpadovými látkami, vek jedinca a samotná hrúbka *epidermis*. Melanín je tvorený špecializovanými bunkami – melanocytmi. Tie zasahujú svojimi výbežkami do povrchových vrstiev *epidermis*. V týchto výbežkoch, ako aj v samotných melanocytoch, sa nachádzajú granuly, ktoré svojou veľkosťou a počtom určujú stupeň pigmentácie kože. Pred účinkami svetelného a iného žiarenia sú hlboké vrstvy kože chránené práve pigmentom. Hrúbka *epidermis* varíruje v rámci rôznych častí tela. Najväčšiu hrúbku dosahuje na dlaniach a stupajach (označujeme ju ako kožu hrubého typu), čo sa u tmavo pigmentovaných populácií prejavuje svetlejšou farbou kože dlaní a stupají, a to najmä v porovnaní s ostatnými časťami ich tela. Na ostatných častiach tela je *epidermis* relatívne tenká.

V *epidermis* nachádzame viaceré druhy buniek, ktoré sú nevyhnutné pre plnenie jej funkcií. Radíme medzi ne Langerhansove bunky, čo sú antigén reprezentujúce bunky a ako také sú zložkou imunitného systému. To znamená, že vystavujú antigény T-lymfocytom (antigén – látka, ktorá vyvoláva tvorbu protilátok a môže vyvolať imunitnú odpoveď). Pomáhajú tým brániť telo pred patogénmi vstupujúcimi do tela cez pokožku. Vyvíjajú sa v kostnej dreni a následne sa do pokožky dostanú krvným obehom. Ďalej medzi takéto bunky radíme aj Merkelove bunky, čo sú receptorové bunky, ktoré sa podieľajú na formovaní dermatoglyfických vzorov. Nachádzajú sa v bazálnej vrstve ľudskej a živočíšnej kože. Sú v úzkom kontakte s nervovými vláknami. Vyskytujú sa najmä v žľaznatých záhyboch kože a mukóznych (hlienových) tkanivách. Obsahujú množstvo granúl, ktoré obsahujú heterogénne polypeptidy, z ktorých niektoré fungujú ako neurotransmitery a prostredníctvom nich Merkelove bunky a k nim priľahlé nervy fungujú ako mechanoreceptory I. typu. Iné fungujú ako rastové faktory a môžu sa zúčastňovať na raste počas fetálneho vývinu a v dospelosti pri homeostáze rozličných štruktúr. Počas intrauterinného vývinu vytvárajú dvojdimenzionálnu mriežku, ktorá vytvára anatomické základy pre dermatotopickú mapu prstov, ktorá je daná na celý život.

Dermálno-epidermálna vrstva leží medzi *dermis* a *epidermis*. Najhrubšia je v oblasti dlaní a stupají. Z dermatoglyfického hľadiska je táto vrstva nesmierne dôležitá, pretože jej vlastnosti ovplyvňujú papilárne línie povrchovej vrstvy kože. Hlavné funkcie tejto vrstvy zahŕňajú mechanickú podporu *epidermis* a adhéziu medzi *epidermis* a *dermis.*

Pod *epidermis* je *corium* alebo inak aj *dermis* (zamša). Tvorí ju väzivo mezodermálneho pôvodu a jej hrúbka varíruje v závislosti od oblasti tela. Je bo-

hato prekrvená a obsahuje veľké množstvo elastických a kolagénových vláken, čím zabezpečuje mechanickú odolnosť a pevnosť kože. Hranica medzi *coriom* a *epidermis* nie je rovná. *Corium* do *epidermis* vybieha mnohými výbežkami, ktoré nazývame papily. Tieto papily varírujú v počte, smere, veľkosti, tvare a štruktúre. Na ventrálnej strane dlaní, prstov a stupají sa usporadúvajú do papilárnych valov. Tie svojim plynutím ovplyvňujú tvar dermatoglyfických obrazcov. V každom papilárnom vale sú papily usporiadané v dvojrade. Na papilárne dvojrady nasadá epidermálny val – *crista superficialis*. Epidermálne papilárne valy vytvárajú na volárnej ploche dlaní, bruškách prstov a stupají rôzne kresby, ktoré nazývame dermatoglyfické útvary.

Tela subcutanea alebo *hypodermis* (podkožné väzivo) je najhlbšia vrstva kože. Tvorí ju riedke lamelárne väzivo, ktoré má vlastnú sekretorickú časť, teda obsahuje časť potných žliaz a nervové zakončenia špeciálneho typu (prenášajú pocity bolesti, tlaku, tepla, chladu, slúžia ako hmatové receptory). Podkožné väzivo sa skladá z troch vrstiev. Na povrchu sa nachádza *panniculus adiposus*, ktoré je tvorené tukovým väzivom. Jeho hlavnou úlohou je tepelná a mechanická izolácia, pričom slúži ako energetická zásobáreň organizmu. Pod tukovým väzivom sa nachádza väzivová blana pod ktorou je vlastné podkožné väzivo. Práve *hypodermis* dodáva oblasti dlaní a stupají tonus a pevnosť.

4.1.2 Prídavné orgány kože

V dermatoglyfike majú žľazy, ktoré vyúsťujú na povrch papilárneho terénu, veľký význam. Ich sekréty, ktoré sa rozširujú na povrch kože, umožňujú zanechať oku neviditeľný odtlačok papilárneho terénu prostredníctvom jednoduchého kontaktu kože s povrchom predmetu. Produkty týchto žliaz zabezpečujú pokrytie povrchu kože hydrolipidovým filmom, ktorý má imunitné, antimikrobiálne a regulačné funkcie. Na rukách tento hydrolipidový film častokrát obsahuje organické alebo anorganické prímesi.

Ekrinné žľazy, ktoré sa vyskytujú v takmer všetkých oblastiach kože, sú najpočetnejšie na dlaniach a stupajach. Hlavná funkcia týchto žliaz spočíva v termoregulácii, a to prostredníctvom vylučovania potu. Potenie sa je hlavná forma vylučovania vody, čo slúži na reguláciu vodnej bilancie tela. Ekrinné žľazy majú podobu tenkej trubice, na jednom konci otvorenej na voľnom povrchu *epidermis* (cez otvor) a na druhom konci uzatvorenej 2 mm pod povrchom *epidermis* do podoby klbka, ktoré je vnorené do *dermis*. Nenachádzajú sa iba na vnútornej ploche *praeputia* a na *glans penis.* Sekrécia ekrinných žliaz je diskontinuálna a je výsledkom viacerých typov stimulov a faktorov, napríklad: tepla, senzorického a emocionálneho impulzu, ktoré spôsobujú intenzívnu

sekréciu. Ekrinný pot je bezfarebná kvapalina, ktorá obsahuje približne 98 % vody a zvyšok tvoria chlorid sodný, močovina, kreatinín, kyselina mliečna a kyselina močová.

Apokrinné žľazy sú prítomné len v niektorých oblastiach kože, ako je napríklad podpazušie. Vývin týchto žliaz je spojený s činnosťou pohlavných hormónov. Apokrinné žľazy pozostávajú zo spletených častí – glomerulu a kanálika vylučujúceho pot. Pot týchto žliaz je nepriehľadná tekutina s vysokým obsahom aromatických látok.

Holokrinné žľazy vylučujú mastnú substanciu, kožný maz, ktorý vylučujú do vlasového folikulu alebo priamo na povrch *epidermis*.

4.1.3 Ontogenéza kože a papilárneho terénu

Pre úplné porozumenie aplikácie dermatoglyfických útvarov a ich charakteristík do identifikačného procesu alebo diagnostiky vrodených ochorení, je potrebné si ozrejmiť niektoré skutočnosti ohľadom ontogenézy končatín a papilárneho terénu.

Dôležitým faktom je, že horné a dolné končatiny sa vyvíjajú rovnako s tým rozdielom, že dolné končatiny sú s vývinom o týždeň oneskorené za vývinom horných končatín. V období piateho až šiesteho týždňa po fertilizácii vajíčka sa objavujú po stranách tela zárodku dve dvojice plutvovitých výrastkov. Tie časom vykazujú na svojich distálnych okrajoch lúče, ktoré predstavujú základy budúcich prstov. V šiestom týždni intrauterinného vývinu sú lúče zreteľné a v siedmom týždni po fertilizácii vajíčka sa jednotlivé lúče od seba oddeľujú a formujú sa prsty. Toto oddeľovanie prebieha procesom apoptózy, čiže programovanou bunkovou smrťou. V tomto období sa objavujú volárne podušky na dlaniach. Tie sú miestom vývinu budúcich papilárnych línií. V ôsmom týždni intrauterinného vývinu sa objavujú apikálne volárne podušky. V druhej polovici ôsmeho týždňa po oplodnení dosahuje ruka vonkajšiu morfológiu v pomere k zárodku.

Význam volárnych podušiek v ontogenéze papilárnych línií spočíva v tom, že sú miestom ich vzniku a práve mechanickými procesmi prebiehajúcimi vo volárnych poduškách je ovplyvnené aj rozmiestnenie papilárnych línií do dermatoglyfických vzorov. Volárne podušky sa na dlaniach spočiatku objavujú v podobe rozdelených vyvýšenín (vankúšikov), približne v období druhej polovice šiesteho týždňa intrauterinného vývinu, kým apikálne volárne podušky sa na prstoch objavujú približne o týždeň neskôr. Prvé volárne podušky sa objavujú v II., III. a IV. interdigitálnom priestore dlane ruky. Ostatné dlaňové volárne podušky nasledujú v tesnom slede za nimi. Medzi druhou polovicou šiesteho týždňa a druhou polovicou 10. týždňa intrauterinného vývinu podliehajú vo-

lárne podušky rapídnemu rastu. Deje sa tomu tak vplyvom silného krvného zásobenia, čiže vplyvom vaskularizácie. Vtedy dosahujú volárne podušky svoje objemové maximum a sú najviac vyklenuté. Koža pokrývajúca ich povrch je hladká, bez záhybov. Takéto podušky sa musia následne sploštiť. Splošťenie volárnych podušiek prebieha vplyvom regresie, ktorá nastáva v druhej polovici 10. týždňa intrauterinného vývinu. Tento proces zabezpečuje vznik dostatočného množstva tkaniva na to, aby sa mohla koža papilárneho terénu uložiť do záhybov. Viaceré embryologické štúdie sa domnievajú, že ryhy na dlaniach, stupajach a prstoch sa objavujú súčasne s volárnymi poduškami ako výsledok flexie (ohnutia). Na stupajach sa volárne podušky formujú takmer rovnako ako na dlaniach, ale ich formovanie je o polovicu týždňa oneskorené.

Samotné papilárne línie sa vyvíjajú v období medzi 11. a 17. týždňom intrauterinného vývinu. Počiatočná regresia volárnych podušiek zodpovedá počiatočnému formovaniu epidermálnych líšt. V tomto čase je *epidermis* hladká, tenká vrstva, ktorej priľahlé epidermálne bunky sú pospájané silnými desmozómami. Epidermálne lišty sa spočiatku objavujú ako lokalizované bunkové proliferácie (zmnoženia) na bazálnej vrstve *epidermis* počas 10. týždňa po fertilizácii. Tieto proliferácie formujú nevýrazné primárne lišty, ktoré zasahujú do povrchovej vrstvy *epidermis*. Formujú sa pomerne rýchlo, aby držali krok s celkovým rastom ruky. V 14. týždni vnútromaternicového vývinu sa na koži objavujú vyústenia potných pórov, ktoré sa nachádzajú na vrcholoch papilárnych línií v určitých rozostupoch za sebou pozdĺž ich plynutia. V 17. týždni vnútromaternicového vývinu má vyvíjajúci sa plod usporiadanie papilárnych línií ako v dospelom veku. Na konci tohto obdobia sa papilárne línie stávajú viditeľnými na volárnej strane prstov a dlaní. V 24. týždni intrauterinného vývinu dosahuje systém papilárnych línií morfológiu dospelého jedinca.

4.1.4 Faktory ovplyvňujúce rozmiestnenie papilárnych línií počas vnútromaternicového vývinu

Počas vnútromaternicového vývinu vplýva na rozmiestnenie papilárnych línií viacero faktorov. Môžeme sem zaradiť rôzne ochorenia, chromozómové aberácie, volárna topografia, vrodené malformácie a iné.

Genetické a environmentálne faktory

Všetky morfologické, fyziologické a štrukturálne znaky ľudského tela sú podriadené všeobecným biologickým zákonom. Dermatoglyfická variabilita nie je výnimkou. To, že je variabilita dermatoglyfických znakov geneticky podmienená dokazuje viacero štúdií. Dedia sa polygénne (súčinnosťou viacerých

génov malého účinku) a do istej miery je ich variabilita ovplyvnená aj exogénne, ale len do tretieho mesiaca intrauterinného vývinu. Presná miera vplyvu jednotlivých faktorov na dermatoglyfické črty nebola doposiaľ zistená, pričom niektoré štúdie naznačujú rozdielny vplyv genetických a environmentálnych faktorov na jednotlivé dermatoglyfické črty. To znamená, že celkový fenotypový prejav (fenotypová variancia V_P) má dve základné zložky, a to genotypovú varianciu (V_G) a varianciu prostredia (V_E). Tento vzťah môžeme vyjadriť vzorcom:

$$V_P = V_G + V_E$$

Treba však doplniť, že genotypová variancia (V_G) vzniká v dôsledku aditívnej genetickej variancie (V_A), variancie dominancie iných génov (V_D) a nadradenosti iných lokusov chromozómu (V_I). Ak by sme uviedli všetky zložky fenotypovej variancie, vzorec by vyzeral nasledovne:

$$V_P = V_A + V_D + V_I + V_E$$

Dedičnosť alebo heritabilita udáva, aká veľká časť premenlivosti znaku je zapríčinená variabilitou genetickej informácie v populácii, čiže meria podiel genotypovej variancie, ktorá je výsledkom kombinácií rôznych alel génov determinujúcich danú vlastnosť. Vyjadruje ju koeficient heritability.

Heritabilita v širšom slova zmysle (H^2) je pomer genetickej variancie k tej fenotypovej:

$$H^2 = \frac{V_G}{V_P} = \frac{V_A + V_D + V_I}{V_P}$$

Heritabilita v užšom slova zmysle (h^2) vyjadruje len tú časť genotypu, ktorá prispieva aditívnou zložkou k formovaniu fenotypu:

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P}$$

Heritabilita znaku (koeficient heritability) dosahuje hodnoty 0 až 1, pričom 0 značí, že všetka variancia fenotypu daného znaku je zapríčinená prostredím, zatiaľ čo hodnota heritability 1 poukazuje na fenotypovú varianciu zapríčinenú vplyvom genotypu.

Ochorenia

Zoznam ochorení, ktoré ovplyvňujú papilárne línie je veľmi rôznorodý a nekomplexný. Najčastejšie sa s abnormálnymi dermatoglyfmi spájajú chromozómové aberácie, ktoré sú v rámci tejto problematiky podrobnejšie preskúmané. V súčasnosti sa do pozornosti dostávajú iné ochorenia, ako napríklad kongenitálne srdcové ochorenia, rakovina prsníka či schizofrénia.

Schizofrénia je mentálna porucha charakterizovaná rozmanitou psychopatológiou. Základ ochorenia sú psychotické symptómy, ako preludy a halucinácie, počas ktorých sa stratí kontakt s realitou. Neskôr sa objavia symptómy ako zhoršená motivácia, zhoršenie spontánnej reči a sociálna samota. Vzniká pri poruche vývinu mozgu, ktorá môže byť spôsobená genetickými faktormi, environmentálnymi faktormi alebo súčinnosťou oboch. Je to závažné psychiatrické ochorenie, ktoré má vplyv nielen na pacienta trpiaceho týmto ochorením, ale aj na okolie, kde sa pacienti nachádzajú. Zo všetkých pacientov má až 20 % z nich chronické symptómy. Schizofrénia sa najčastejšie diagnostikuje v období mladšej dospelosti (20 – 30 rokov). Zatiaľ čo jestvujú nespochybniteľné dôkazy o vplyve genetických komponentov na toto ochorenie, ich presná povaha nie je úplne objasnená. Existuje aj viacero dôkazov o vplyve environmentálnych faktorov pôsobiacich počas prenatálneho a perinatálneho obdobia, ktoré majú za následok následný rozvoj schizofrénie. Vývin dermatoglyfov môže byť ovplyvnený viacerými faktormi pôsobiacimi počas intrauterinného vývinu. Vzhľadom k masívnej migrácii neurálnych buniek počas vývinu dermatoglyfov, ktorá prebieha v rovnakom období a v tej istej zárodočnej vrstve ako vývin kože, môžu dermatoglyfy zaisťovať nepriame spojenie s defektami vo vývine mozgu, prejavujúcimi sa neskoršími psychiatrickými ochoreniami. Niektoré dermatoglyfické charakteristiky sú obzvlášť vhodné pre vyšetrovanie psychiatrických ochorení, ako napríklad disociácia papilárnych línií a abnormálne flekčné ryhy na dlani. Tie sú často spájané:

- s vrodenými syndrómami, ktoré zdieľajú klinické príznaky, ako je nízka pôrodná hmotnosť, spomalenie rastu a mentálna retardácia,
- s fetálnym alkoholovým syndrómom v spojení s kraniofaciálnymi defektami a defektami končatín,
- s vnútromaternicovým vystavením plodu vírusom a iným teratogénnym látkam.

Disociácia papilárnych línií sa na papilárnom teréne javí v podobe krátkych „polámaných“ segmentov neorganizovane prebiehajúcich papilárnych línií, ktoré pokrývajú časť povrchu pokožky na miestach vytvárania dermatoglyfických stôp. Táto porucha sa objavuje v období formovania papilárneho

terénu a spôsobuje, že prvky tvoriace papilárnu líniu zlyhávajú vo formovaní súvislej papilárnej lišty. To môže mať za následok úplné zničenie určitých častí papilárneho povrchu, čo neovplyvní vzor ako celok, alebo môže spôsobiť úplné vyhladenie tej časti povrchu pokožky, ktorý je zasiahnutý malformáciou. Táto malformácia je podmienená dedične, aj keď sa pomerne často vyskytuje u pacientov trpiacich epilepsiou, albinizmom, schizofréniou a Downovým syndrómom. Najčastejšie sa vyskytuje na prvých prstoch rúk, pričom frekvencia výskytu klesá od prvého prsta k piatemu. Zaujímavým prejavom tejto malformácie sú takzvané „dotted ridges" (bodkované línie), kedy nastala asociácia v plynutí papilárnej lišty, avšak jednotlivé prvky papilárneho terénu sa nespojili do súvislej línie.

Abnormálnymi flekčnými ryhami na dlani označujeme tie ohybové ryhy, ktoré svojím plynutím vykazujú určitý abnormálny trend. Neplynú tak, ako by mali, ale ich priebeh môže byť náhle ukončený, môžu sa vzájomne spájať, a podobne. Príkladmi abnormálnych flekčných rýh na dlani sú: „opičia" ryha, Sydney ryha alebo viditeľne prerušované plynutie flekčných rýh.

Počas embryonálneho vývinu môže dôjsť k zlyhaniu apoptózy pri oddeľovaní lúčov, ktoré predstavujú základy našich prstov. To znamená, že prsty zostanú zrastené, neoddelia sa od seba. Táto vývinová vada sa nazýva syndaktýlia. Syndaktylia patrí medzi vrodené vady, prenáša sa genetickými mutáciami. Môže sa vyskytovať samostatne alebo ako súčasť genetických syndrómov, ako napríklad Apertovho syndrómu alebo Polandovho syndrómu. Postihuje hornú aj dolnú končatinu na viacerých úrovniach v závislosti od závažnosti syndaktýlie, a to na úrovni kože, mäkkého tkaniva alebo kostí.

- Syndaktýlia symlexná (jednoduchá) – v tomto prípade došlo k zrasteniu len mäkkých tkanív a kože.
- Syndaktýlia komplexná – v tomto prípade sú zrastené aj kosti a kĺby postihnutej končatiny.
- Syndaktýlia komplikovaná – v tomto prípade sú prsty nie len zrastené, ale aj deformované.

Aby sme vedeli rozlíšiť o aký typ syndaktýlie sa jedná, je potrebné RTG (röntgenové) vyšetrenie. Toto vyšetrenie určí, aké tkanivá sú zrastené a do akého rozsahu. Terapia spočíva v chirurgickom zákroku, ktorým sa prsty oddelia. Najvhodnejšie je ju absolvovať v ranom detstve. Prsty ostávajú plne funkčné.

Z dermatoglyfického hľadiska sa syndaktýlia prejavuje najmä na dlani, kedy sa u pacienta trpiaceho touto vadou vytvorí pás transverzálnych línií a interdigitálny trirádius lokalizovaný v interdigitálnom priestore medzi postihnutými prstami.

Genetickou mutáciou v rôznych génoch ovplyvňujúcich vývin rúk a nôh môže dôjsť k vytvoreniu nadpočetného prsta. Tento jav nazývame polydaktýlia a jedná sa o autozomálne dominantne dedičnú vadu. Tento jav môže postihovať jednu alebo obe končatiny. Môže sa vyskytovať samostatne alebo ako súčasť chromozomálnych aberácií, napríklad pri Patauovom syndróme. Pri polydaktýlii rozoznávame, podľa umiestnenia nadpočetných prstov, nasledovné typy:

- Preaxiálna polydaktýlia – nadpočetný prst sa nachádza na radiálnej strane ruky/tibiálnej strane nohy (laterálne od palca).
- Postaxiálna polydaktýlia – nadpočetný prst je umiestnený na ulnárnej strane ruky/fibulárnej strane nohy (laterálne od malíčka).
- Centrálna polydaktýlia – nadpočetný prst sa nachádza medzi ostatnými prstami končatiny (medzi palcom a malíčkom).

Liečba polydaktýlie závisí od konkrétneho typu a závažnosti stavu, ako aj od funkčných a estetických potrieb pacienta, pričom sa najčastejšie jedná o chirurgické odstránenie nadpočetného prsta. Tento zákrok sa odporúča absolvovať v detstve, aby sa minimalizovali komplikácie a optimalizovali výsledky.

Čo sa týka dermatoglyfických charakteristík polydaktýlie sa prejavujú vo vytvorení takmer identických dermatoglyfických útvarov na pôvodnom a zdvojenom prste. Odlišujú sa minimálne, najmä druhostupňovými identifikačnými charakteristikami.

Volárna topografia

Volárna topografia hovorí o vzťahu volárnej podušky k danému dermatoglyfickému vzoru. Najčastejšie sa do tejto súvislosti dáva výška vyklenutia volárnej podušky, obrys volárnej podušky alebo pomer šírky a výšky volárnej podušky. Tiež hovorí o načasovaní utvárania primárnych papilárnych línií. Skoré utváranie papilárnych línií je spájané s útvarom víru. Naopak, neskoré utváranie s dermatoglyfickým vzorom oblúčika a stredne rýchle utváranie papilárnych línií sa spája s dermatoglyfickým vzorom kľučky.

4.1.5 Faktory ovplyvňujúce papilárny terén počas života

Papilárne línie jedinca nie sú vždy zreteľné a ľahko čitateľné. V mnohých prípadoch je papilárny terén počas života ovplyvnený faktormi, ktoré vytvárajú abnormálne dermatoglyfy alebo znižujú kvalitu papilárneho terénu. Medzi takéto faktory radíme vek, poranenia kože, zamestnanie a iné.

Poranenia kože

Pri porušení papilárneho terénu nastáva otázka, či sa jedná o poškodenia trvalé alebo dočasné. Oba typy poškodení kože našli v kriminalistickej daktyloskopii využitie. Kožu tvoria prekrývajúce sa tkanivá a záleží od rozsahu ich porušenia, či bude poškodenie trvalé alebo dočasné. Pri poranení *epidermis* sa jedná o poškodenia dočasné, zatiaľ čo pri poraneniach *dermis* o poškodenia trvalé. V kriminalistickej daktyloskopii sa jazva považuje skôr za pridanú črtu než za problém, pričom je skutočnosťou to, že dočasné a trvalé poškodenia môžu spomaľovať analýzu získaných odtlačkov papilárneho terénu. Jazvy môžu byť rôzneho tvaru, pričom sa papilárne línie v ich tesnej blízkosti ohýbajú a náhle končia. Vážne zranenia môžu mať za následok amputáciu časti alebo celej končatiny. Po transplantácii kože, napríklad po plastickej operácii poranenia prstov, sa na transplantovanej koži objavujú primitívne papilárne línie. V niektorých prípadoch po amputácii časti hornej končatiny nastáva Bartošov fenomén, kedy sa na distálnom konci kýpťa končatiny vytvoria abnormálne papilárne línie. Dočasné poškodenia kože sú tie, ktoré sú spôsobené dočasným narušením papilárnych línií. To môže byť spôsobené javmi, ktoré majú za následok suchú alebo oslabenú kožu, mozoľmi, zhrubnutím kože, bradavicami alebo povrchovými popáleninami. Tieto prípady môžeme ľahko rozlíšiť na odtlačkoch papilárneho terénu tak, že ich jedincovi odoberáme opakovane s odstupom určitého času. Papilárne línie odtlačkov papilárneho terénu, na ktorých sa prejavovalo povrchové zranenie, sa časom vrátia do pôvodnej konfigurácie a nepreukazujú žiadne zranenie, zatiaľ čo pri hlbokých poraneniach kože sa na odtlačkoch papilárneho terénu stále ukazujú stopy po poranení.

Vek

Starnutím kože sa jej funkcie postupne redukujú, čo ukazuje jasné a rozšírené zoslabenie kože. Znižuje sa turgor, čo ovplyvňuje aj charakter papilárnych línií. To znamená, že odtlačky papilárneho terénu získané od starších jedincov vykazujú nižšiu kvalitu kvôli veľkému množstvu vrások a slabej hydratácii kože. Vyhodnocovanie latentných odtlačkov papilárneho terénu od starších jedincov je niekoľkonásobne sťažené aj v dôsledku zníženého potenia sa.

Zamestnanie

U osôb, ktoré vykonávajú manuálnu prácu alebo často prichádzajú do styku s látkami škodlivými pre kožu, nachádzame narušený papilárny terén. Deje sa tak kvôli opakovaným monotónnym pohybom končatiny, kedy sa papilárny terén obrusuje o daný predmet, alebo neustálemu vystaveniu kože dráždivým látkam bez vhodnej ochrany. Medzi takéto povolania patrí, napríklad: pokrý-

vač striech, učiteľ (častý kontakt s kriedou alebo strešnou krytinou obrusuje papilárne línie) alebo upratovač (kontakt s dráždivými látkami). Poškodenia papilárneho terénu spôsobené týmito vplyvmi sú zriedka trvalé, pretože majú tendenciu rýchlo sa zahojiť. To znamená, že dlhodobý oddych od tohto typu práce má za následok úplnú regeneráciu papilárneho terénu.

Liečivá

Pojem adermatoglyfia je definovaný ako absencia papilárnych línií na miestach ich typického výskytu. Ľudí so stratou papilárneho terénu nie je možné identifikovať na základe odtlačkov ich papilárneho terénu. Adermatoglyfia môže byť vrodená alebo získaná. Niektoré lieky, napríklad silné kortikosteroidy, môžu spôsobovať atrofiu papilárnych línií. Taktiež aj chemoterapia kapecitabínom alebo paklitaxelom môže viesť k strate papilárneho terénu.

Kapecitabín je protirakovinový liek používaný na liečbu rakoviny prsníka, rakoviny žalúdka a kolorektálneho karcinómu. Čo sa týka jeho vplyvu na dermatoglyfické črty, boli zaznamenané prípady kedy pri liečbe kapecitabínom došlo k strate papilárneho terénu. Hand-foot syndróm (silná kožná reakcia sprevádzaná opuchom, erytémom, pálivou bolesťou, opuchom v rôznych stupňoch závažnosti, pľuzgiermi, praskaním a odlupovaním kože) predchádzal tejto strate u viacerých pacientov. Adermatoglyfia sa objavila v rozmedzí od dvoch týždňov do tri a pol roka po začatí liečby kapecitabínom. Strata papilárneho terénu bola u niektorých pacientov vratná, naopak u viacerých sa papilárny terén neobnovil alebo sa obnovil len čiastočne. Identifikácia niektorých jedincov na základe odtlačkov prstov nebola ani po obnove papilárneho terénu možná. Pacienti často nevedeli o strate papilárneho terénu, až kým nebola nutná ich identifikácia. Neboli schopní prejsť letiskovou kontrolou, vybavovať úradné záležitosti alebo nemohli získať prístup k ich mobilnému zariadeniu alebo počítaču, ktoré vyžadovali snímanie ich odtlačkov prstov.

Paklitaxel je zlúčenina extrahovaná z tichomorského tisu Taxus brevifolia. Toto liečivo patrí k najsilnejším prírodným produktom na liečbu rakoviny s protirakovinovou aktivitou. Najčastejšie sa používa na liečbu rakoviny vaječníkov, prsníkov a pľúc. Medzi najbežnejšie dermatologické reakcie paklitaxelu patria zmeny nechtov, alopécia, vyrážka a dermatitída vyvolaná ožarovaním. Hand-foot syndróm, na základe ktorého môže dochádzať k strate papilárneho terénu pacienta, vyvolaný paklitaxelom patril medzi zriedkavé vedľajšie účinky.

4.2 Dermatoglyfické markery

Odtlačky papilárneho terénu predstavujú reprodukciu kože chirídia danej oblasti. Na hodnotenom odtlačku vidíme papilárne línie a brázdy, ktoré svojím plynutím vytvárajú vzory rôznych veľkostí a tvarov. Tieto sa nazývajú dermatoglyfické útvary a patria medzi všeobecné charakteristiky papilárneho terénu, čo znamená, že samotné neumožňujú identifikáciu, ale umožňujú klasifikovať a rozdeliť milióny odtlačkov prstov. V priebehu každej papilárnej línie sa vyskytujú drobné nepravidelnosti alebo odchýlky v jej plynutí, ktoré nazývame minúcie. Sú to osobitné charakteristiky a ich prítomnosť je potrebná pre účely identifikácie jedinca. Pri detailnejšom pohľade na odtlačok papilárneho terénu môžeme pozorovať aj ostatné špecifické štruktúry papilárnych línií, ktoré radíme medzi doplnkové identifikačné nástroje.

Medzinárodná nomenklatúra rozdeľuje dermatoglyfické znaky do troch úrovní:

- prvá úroveň – všeobecné charakteristiky (dermatoglyfické útvary),
- druhá úroveň – osobitné charakteristiky (minúcie),
- tretia úroveň – zahŕňa mikroskopické alebo získané charakteristiky papilárneho terénu.

4.2.1 Dermatoglyfické markery prvej úrovne

Dermatoglyfické markery prvej úrovne sú dermatoglyfické vzory, ktoré sú charakterizované viacerými východiskovými bodmi a vlastnosťami, kam radíme: systémy línií, jadro útvaru a trirádius. Tieto charakteristiky neumožňujú identifikáciu jedinca na základe jeho odtlačku, ale slúžia na klasifikáciu odtlačkov papilárneho terénu.

Papilárne línie sú na distálnych článkoch prstov usporiadané do troch systémov: bazálneho, marginálneho a centrálneho.

- Línie bazálneho systému tvoria dolnú oblasť dermatoglyfického vzoru. Sú horizontálne a viac klenuté v oblasti trirádia.
- Línie marginálneho systému ohraničujú hornú a laterálnu oblasť papilárneho terénu prsta. Tieto línie, v závislosti od ich priebehu, môžu byť pravouhlé alebo paralelné s tými, ktoré sa nachádzajú v bazálnom systéme.
- Línie centrálneho systému sa nachádzajú v centrálnej oblasti papilárneho terénu prsta, čiže medzi systémom bazálnym a marginálnym. V niektorých typoch vzorov prechádzajú plynule medzi tieto systémy a sú nimi absorbované. Línie tohto typu sú veľmi zakrivené s kruhovým trendom, alebo sú paralelné s bazálnym systémom línií.

Oblasť jadra vzoru

Tvorí stred centrálneho systému papilárnych línií. Papilárne línie tvoriace jadro útvaru môžu mať konfiguráciu: obyčajnú, reverznú, kruhovú, zloženú alebo hybridnú.

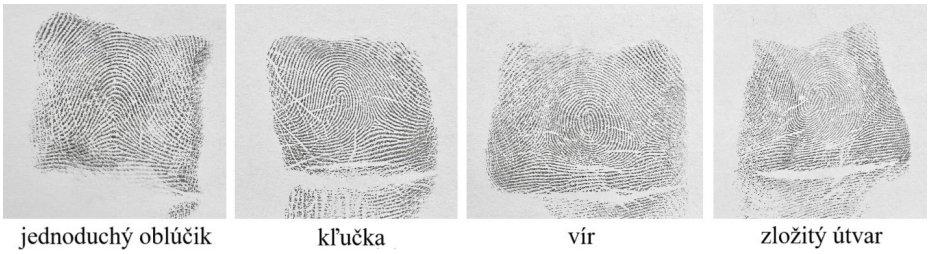
- Obyčajná alebo jednoduchá konfigurácia obsahuje len vodorovné línie. Takýto typ jadra spája línie bazálneho a marginálneho systému.
- Línie reverzného jadra tvoria slučku, ktorá môže mať ulnárny alebo radiálny trend s veľmi odlišnými sklonmi.
- Kruhové jadro má línie, ktoré sa vinú v špirále, v koncentrických kruhoch alebo veľmi rozmanitými spôsobmi.
- Zložené jadro útvaru je charakterizované výskytom dvoch jadier v jednom dermatoglyfickom útvare so zrkadlovou morfológiou.
- Hybridné jadro je jadro reverzného typu, ktoré nemá zrkadlovú morfológiu a je charakterizované prítomnosťou dvoch alebo viacerých jadier.

Oblasť trirádia

Trirádius je bod, v ktorom sa stretávajú tri systémy línií. Najčastejšie sa pri hodnotení dermatoglyfického útvaru stretávame s jedným trirádiom umiestneným v okrajovej časti vzoru. Vyskytujú sa prípady, kedy v útvare nie je prítomný ani jeden trirádius (útvar jednoduchý oblúčik) alebo naopak, kedy sa trirádiá vyskytujú vo vyšších počtoch (útvar accidental).

Typy dermatoglyfických vzorov na distálnych článkoch prstov

Priebeh papilárnych línií, prítomnosť trirádia a typ jadra umožňujú klasifikáciu odtlačkov distálnych článkov prstov podľa dermatoglyfického vzoru, ktorý tieto charakteristiky vytvárajú. V súčasnosti je známe veľké množstvo klasifikácií vzorov papilárneho terénu. Najpoužívanejšie sú tie, ktoré rozdeľujú dermatoglyfické útvary do troch, štyroch alebo piatich základných kategórií. Na určenie typu vzoru je potrebné získať celý odtlačok hodnotenej oblasti papilárneho terénu. Pri čiastkových odtlačkoch papilárneho terénu môžu chýbať trirádiá alebo iné dôležité charakteristické črty, ktoré sa nachádzajú na ich okrajoch. Základy klasifikácie odtlačkov prstov položili Galton, Henry a Vucetich. Na tejto báze sa navrhla klasifikácia štyroch typov vzorov: oblúčiky, kľučky (ulnárne a radiálne), víry a komplikované útvary (obr. 25).



Obr. 25 Základná klasifikácia dermatoglyfických útvarov (foto: Chovancová 2025).

Oblúčiky

Oblúčik je najjednoduchší dermatoglyfický vzor. Je zložený z bazálneho a marginálneho systému papilárnych línií. Označujeme ho písmenom „A" (*Arch*). Klasický oblúčik, nazývaný aj jednoduchý oblúčik, nemá trirádius a oblasť jadra sa nedá presne určiť.

V niektorých prípadoch sa môže slabo vyvinúť centrálny systém línií, ktorý zmení jednoduchý oblúčik na stanový oblúčik. Ten obsahuje jasne definované jadro vzoru a trirádius. Označujeme ho písmenom „T" (*Tented Arch*). V niektorej literatúre sa môžeme stretnúť s označením „TA".

Kľučky

Čo sa týka výskytu, kľučky patria medzi najfrekventovanejšie dermatoglyfické tvary v slovenskej populácii. Obsahujú spravidla jeden trirádius, jadro vzoru a línie, ktoré po dosiahnutí určitého limitu stočia svoj smer a vrátia sa na rovnakú stranu odtlačku prsta, z ktorej vychádzajú. Kľučky označujeme písmenami „Lu" (*Ulnar Loop*) a „Lr" (*Radial Loop*). Pri tomto type útvaru môže byť trirádius vytvorený rôznymi spôsobmi a môže sa nachádzať vo viacerých polohách, ktoré sú viac alebo menej decentralizované od jadra vzoru. Oblasť jadra vzoru môže byť pomerne nízko alebo stredne vysoko položená, čo vytvára štíhlu štruktúru vzoru. Kľučky sa rozdeľujú podľa viacerých kritérií, a to podľa:

- sklonu smeru línií (ulnárne a radiálne),
- plynutia línií vo vnútri kľučky,
- počtu línií medzi jadrom vzoru a trirádiom.

Smer papilárnych línií závisí od toho, na ktorú stranu prsta vychádzajú papilárne línie vybiehajúce z centrálneho systému línií. Takto môžeme odlíšiť kľučky smerujúce vpravo a vľavo. Aby bolo určenie smeru uniformné, udáva sa smer podľa kostí predlaktia. Napríklad pri pozorovaní karty s odtlačkami

prstov, na ktorej bola odobraná séria odtlačkov prstov ľavej ruky, budú kľučky s centrálnymi líniami vychádzajúcimi na pravú stranu odtlačku definované ako radiálne kľučky, zatiaľ čo tie, v ktorých vychádzali tieto línie na ľavú stranu odtlačku, budú definované ako ulnárne. Pri sledovaní odtlačkov pravej ruky budú trendy opačné.

Trend plynutia centrálneho systému línií pomáha rozdeliť kľučky v závislosti od toho, či obsahujú jednoduché otočenie línií okolo jadra (kľučka), alebo obsahujú zložitejšie stočenia línií (*central pocket*). Útvary so zložitejším stočením línií neradíme medzi kľučky, ale medzi zložité útvary.

Počet línií medzi trirádiom a jadrom vzoru je jedným z najjednoduchších parametrov. Slúži na kvantitatívne rozdelenie kľučiek podľa ich veľkosti.

Víry

Víry sú charakterizované prítomnosťou dvoch trirádiov po stranách vzoru a prítomnosťou jedného jadra. Víry označujeme písmenom „W“ (*Whorl*). Tieto vzory patria medzi pomerne časté útvary, ktoré sa rozdeľujú na základe:

- úrovne trirádia,
- trendu centrálneho systému línií,
- stočenia centrálnych línií,
- počtu línií medzi trirádiom a jadrom vzoru.

Úroveň trirádia sa určuje na základe priebehu typovej línie ľavého trirádia. Určujeme, či táto typová línia prechádza nad alebo pod pravým trirádiom, prípadne, či dosahuje rovnakú výšku.

Trend centrálneho systému línií sa sleduje pri jadre vzoru. Tieto línie môžu prebiehať v špirále, elipse alebo koncentricky.

Stočenie centrálnych línií rozdeľuje špirálové víry podľa toho, či jeho línie prebiehajú v smere hodinových ručičiek alebo proti smeru hodinových ručičiek.

Počet papilárnych línií medzi trirádiom a jadrom vzoru sa využíva pri kvantitatívnom hodnotení útvarov.

Zložité útvary

Medzi útvary s dvomi trirádiami radíme aj stredové jadro (*CP – Central Pocket*), dvojkľučku (*TL – Twin Loop*) a postranné jadro (*LP – Lateral Pocket*).

Stredové jadro sa častokrát zaraďuje do skupiny vírových vzorov. Je to malý vír uzatvorený v systéme kľučky. Aby sme mohli jasne rozlíšiť vír od stredového jadra je potrebné stanoviť presné kvantitatívne hranice. Ak je po zrátaní papilárnych línií na oboch spojniciach (trirádius – jadro – trirádius) pomer

zistených hodnôt 1/3 a menej, jedná sa o stredové jadro. Ak nie je splnená táto podmienka, jedná sa o útvar víru. Môžeme uviesť aj teoretický príklad. Po kvantitatívnom vyhodnotení útvaru s dvomi trirádiami a jedným jadrom dostaneme hodnoty 7/20. Čo to znamená? Znamená to to, že nebola splnená vyššie spomínaná podmienka „1/3 a menej" a jedná sa o útvar víru. Ak by tieto hodnoty dosahovali povedzme 15/5 alebo 6/19, podmienka bola jasne splnená a jedná sa o útvar stredového jadra.

Dvojkľučka a postranné jadro sú si veľmi podobné. Oba typy dermatoglyfických útvarov môžeme definovať ako dve do seba zakliesnené kľučky, ktoré obsahujú dve jadrá a dve trirádiá. Rozdiel nastáva iba v jednej veci. Po vytiahnutí typových línií jadier pri dvojkľučke môžeme vidieť, že sa tieto línie rozbiehajú každá na inú stranu odtlačku prsta. Jedna smeruje na stranu ulnárnu a druhá na stranu radiálnu. Pri postrannom jadre idú obe línie na rovnakú stranu prsta, a teda obe končia buď na ulnárnom okraji, alebo na radiálnom okraji odtlačku prsta.

Komplikované útvary

Tieto útvary sú charakterizované dvomi trirádiami a dvomi jadrami. V niektorých prípadoch sa stretávame s ich zaradením do skupiny vírových útvarov. Častokrát sa do tejto kategórie zaraďujú aj útvary s tromi až viacerými trirádiami alebo tromi až viacerými jadrami vzoru. V novších klasifikáciách sú komplikované útvary definované ako náhodné vzory, ktoré radíme do kategórie *„accidental"* so značením *„Acc"*.

Typy dermatoglyfických vzorov v interdigitálnych priestoroch dlane

V interdigitálnych priestoroch dlaní sa najčastejšie stretávame s dvomi typmi kľučiek. Častejšie sa vyskytujú tie, ktorých hranice sú tvorené len priebehom hlavných línií (to sú tie vychádzajúce z podprstových trirádiov). Väčšinou sa otvárajú distálnym smerom, označujeme ich (L), prípadne (l). Ďalším typom sú kľučky sprevádzané akcesórnym trirádiom. To je trirádius, ktorý sa vytvoril zdvojením už existujúceho trirádia. Je to akoby trirádius naviac. Tieto kľučky označujeme (D), príp. (d) ak sú otvorené distálne a (P), príp. (p) ak sú otvorené proximálne.

Typy dermatoglyfických vzorov v proximálnej časti dlane

Proximálna časť dlane je rozdelená na dve konfiguračné oblasti, a to na hypotenar (nachádzajúci sa na ulnárnej časti dlane) a tenar (nachádzajúci sa na radiálnej časti dlane). V konfiguračnej oblasti hypotenaru nachádzame zmnožené línie, zväčša lokalizované v jeho strede, ktoré označujeme „V" – *vestige*.

Ďalej sa v tejto oblasti môžeme stretnúť s mnohými typmi dermatoglyfických vzorov, ktoré sa vyskytujú aj na distálnych článkoch prstov, pričom treba zdôrazniť, že na dlani sa útvar oblúčika nepovažuje za skutočný útvar. Vyhodnocujú sa všetky typy útvarov, s výnimkou oblúčika. V tejto oblasti tiež nachádzame rôzne kombinácie dermatoglyfických vzorov, ktoré môžu byť veľmi komplikované a môžu zaberať celú oblasť hypotenaru.

V konfiguračnej oblasti tenaru sa dermatoglyfické útvary vyskytujú zriedka, pričom sa najčastejšie stretávame s vytváraním stôp dermatoglyfického útvaru, a to najmä v stredovej oblasti tenaru. Ak sa v tejto oblasti vyskytuje dermatoglyfický útvar, je charakteristický hranatým tvarom a lomenými líniami. Vyhodnocovanie tejto oblasti je sťažené zvýšeným výskytom sekundárnych rýh papilárneho terénu.

4.2.2 Dermatoglyfické markery druhej úrovne

Dermatoglyfické markery druhej úrovne našli najväčšie uplatnenie pri osobnej identifikácii prostredníctvom odtlačkov prstov vďaka svojim jedinečným vlastnostiam, akými sú jedinečnosť, nemennosť a neodstrániteľnosť. Sú to drobné charakteristiky papilárneho terénu, ktoré sa vyskytujú v priebehu papilárnych línií. Inak ich nazývame aj minúcie a patria sem, napríklad: ukončenia plynutí papilárnych línií, rozdvojenia papilárnych línií alebo krátke papilárne línie (obsahujúce maximálne 10 potných pórov). Na rozdiel od dermatoglyfických markerov prvej úrovne, ktoré možno vidieť voľným okom, sú menšie a na ich vyhodnotenie je potrebné dostatočné zväčšenie hodnoteného odtlačku papilárneho terénu. V kriminalistickej daktyloskopii sa stretávame s pomenovaním markanty. Na jednom odtlačku prsta sa môže vyskytovať v priemere až 100 minúcií. Ako už bolo spomínané, minúcie sa vyskytujú v priebehu papilárnych línií. Hustota papilárnych línií varíruje nie len medzi odtlačkami prstov u rôznych jedincov, ale aj v rámci odtlačku jedného prsta, kde sa nachádzajú oblasti s vyšším počtom papilárnych línií a oblasti s nižším počtom papilárnych línií. Najčastejšie sa počet hodnotených minúcií viaže na plochu odtlačku prsta, ktorá javí najvyššiu kvalitu.

V praxi sa stretávame s viacerými klasifikáciami dermatoglyfických minúcií. V súčasnosti je najpoužívanejšou klasifikácia podľa Gutiérrez et al. 2007, ktorá udáva 13 typov minúcií (tab. 6).

Tab. 6 Klasifikácia udávajúca 13 typov minúcií podľa Gutiérrez et al. 2007 (foto: Chovancová 2025).

Typ minúcie		**Definícia**
	Ukončenie	Náhle ukončenie papilárnej línie
	Vidlica	Rozdvojenie jednej línie alebo naopak spojenie dvoch papilárnych línií počas ich plynutia
	Fragment	Veľmi krátka papilárna línia, v ktorej sa nenachádza viac než 10 potných pórov
	Bodka	Samostatný malý útvar, ktorý obsahuje jediný potný pór
	Zlom	Dve ukončenia papilárnych línií, ktoré ležia oproti seba v malej vzdialenosti
	Očko	Rozdvojenie a následné spojenie papilárnej línie počas jej plynutia
	Prekrytie	Dve ukončenia papilárnych línií, ktoré sa navzájom prekrývajú v maximálnej dĺžke 10 potných pórov
	Crossbar	Plynutie papilárnej línie prerušené plynutím ďalšej papilárnej línie
	Mostík	Veľmi krátky úsek papilárnej línie spájajúci dve rovnobežne plynúce línie
	Skríženie	Prekríženie dvoch papilárnych línií v jednom bode
	Trojitá vidlica	Dve tesne za sebou dvojité vidlice na jednej papilárnej línií
	Dock	Ukončenie papilárnej línie zasahujúce medzi dve ďalšie ukončenia papilárnych línií nachádzajúcich sa oproti
	Otočenie	Náhla zmena plynutia papilárnej línie, nesmie sa nachádzať v centre vzoru

4.2.3 Dermatoglyfické markery tretej úrovne

Medzi dermatoglyfické markery tretej úrovne radíme špecifické štruktúry papilárnych línií, potné póry, šírku a tvar papilárnej línie, poranenia kože, bradavice, jazvy a iné charakteristiky kože (obr. 26). Tieto markery patria medzi doplnkové identifikačné nástroje za účelom kontroly alebo vyvrátenia zhody medzi porovnávanými odtlačkami papilárneho terénu. Využitie by mohli nájsť v kriminalistickej daktyloskopii pri osobnej identifikácii v prípade fragmentárnych odtlačkov papilárneho terénu, kde by mohli doplniť nepostačujúci počet minúcií. Na to, aby sme mohli určiť identitu jedinca musí mať získaný odtlačok papilárneho terénu minimálne 10 minúcií. Ak sa ich na získanom odtlačku nachádza menej, je z identifikačného procesu vyradený. Takéto odtlačky sa označujú buď ako čiastočne upotrebiteľné (ak majú sedem až deväť minúcií), alebo ako neupotrebiteľné (ak majú menej ako sedem minúcií). Počty minúcií, ktoré sú potrebné na určenie upotrebiteľnosti odtlačkov papilárneho terénu sa medzi jednotlivými krajinami líšia.

Obr. 26 Vybrané typy identifikačných markerov tretej úrovne (foto: Chovancová 2025).

Medzi najvýznamnejšie identifikačné markery tretej úrovne radíme biele línie, vmedzerené línie a potné póry.

Biele línie (obr. 27) sú nápadné tenké biele brázdy, ktoré prebiehajú kolmo na priebeh papilárnych línií. Kvalitatívne do útvaru nezasahujú. Nevyskytujú sa konštantne a ich výskyt stúpajúcim vekom klesá. Ak sa vyskytujú, tak častejšie u žien ako u mužov a častejšie na ľavej ruke ako na pravej. Tieto línie sa častejšie vyskytujú u detí. Dôvodom je cmúľanie prstov. Na odtlačkoch prstov tieto línie prebiehajú paralelne, zatiaľ čo na odtlačkoch dlaní sa križujú. Biele línie vznikajú až v *epidermis (stratum lucidum)*, histologické nálezy ukazujú, že v *coriu* sa žiadne takéto zmeny nenachádzajú. Pri získavaní odtlačku, či už dlane alebo prstov, sa tieto línie dajú zredukovať použitím vyššieho tlaku alebo použitím inej metodiky odoberania odtlačkov papilárneho terénu.

Obr. 27 Biele línie na odtlačku distálneho falangu prsta (foto: Chovancová 2025).

Vmedzerené línie sú jemné línie bez vyústenia potných pórov vyskytujúce sa na papilárnom teréne. V niektorých zdrojoch sa označujú aj ako nepravé papilárne línie. Vmedzerené línie vznikajú neskôr ako vlastné papilárne línie. Je to samostatná charakteristika papilárneho terénu a jedinca označujeme ako nositeľa vtedy, keď sa línie tohto typu vyskytujú aspoň v troch vedľa seba ležiacich brázdach medzi papilárnymi líniami a aspoň na jednom prste. Vyskytujú sa častejšie u mužov ako u žien a častejšie na pravej ako na ľavej ruke. Najvyšší počet vmedzerených línií bol zistený na palci (1. prste) a ich výskyt smerom k malíčku (5. prstu) klesal. Sú jedným z mála dermatoglyfických znakov, ktoré sa menia vekom. Uvádza sa, že u detí do 11 rokov sa vyskytujú s frekvenciou 14 %, u jedincov do 21 rokov s frekvenciou 35 % a u dospelých jedincov ich výskyt dosahuje 40 %. Častejší výskyt tohto znaku môže byť následkom opotrebovania kože alebo poškodenia kože napríklad alkalickými látkami. Veľmi často sa ich výskyt dáva do spojitosti s manuálnou prácou.

Azda najvýznamnejšie, spomedzi treťostupňových identifikačných markerov, sú potné póry. Sú to otvory vývodov potných žliaz, ktoré vyúsťujú na povrch papilárnych línií. Na odtlačkoch prstov, ktoré sa odobrali atramentovou metódou, sa javia ako malé biele body v priebehu papilárnych línií. V súčasnosti o ich výskum rastie záujem, pretože, podobne ako minúcie, vykazujú známky jedinečnosti, nemennosti a neodstrániteľnosti a mohli by nájsť využitie pri osobnej identifikácii. Vedná disciplína zaoberajúca sa hodnotením variability potných pórov sa nazýva poroskopia.

Ako prvý opísal potné póry Sir Francis Galton v roku 1892 v jeho publikácii Fingerprints. Následne sa venoval detailnému opisu počtu potných pórov, ich tvaru a pozície na papilárnych líniách.

Tvar potných pórov je variabilný. V učebných textoch sa najčastejšie stretávame iba s ich kruhovou formou, čo je skreslená informácia. Vlastnosti potných pórov sú ovplyvnené intenzitou sekrécie potných žliaz, od čoho sa odvíja ich tvar a veľkosť. Líši sa aj ich poloha na papilárnych líniách. Nenachádzajú sa vždy v strede papilárnej línie, ale môžu sa vyskytovať aj na jej okraji. V tomto prípade sa na odtlačku prsta odobranom atramentovou metódou budú javiť ako

drobné zárezy na okrajoch papilárnych línií. Vedná disciplína zaoberajúca sa hodnotením okrajov papilárnych línií a ich ukončení sa nazýva edgeoskopia. Rozdiely boli pozorované aj pri hodnotení vzdialeností medzi potnými pórmi, ktoré boli odlišné aj medzi potnými pórmi ležiacimi za sebou na jednej papilárnej línii. Napriek unikátnym vlastnostiam majú tieto dermatoglyfické markery pomerne obmedzené využitie. Praktické využitie poroskopie vyžaduje zreteľné a viditeľné potné póry na získanom odtlačku. Pri pracovaní s potnými pórmi sa stretávame s dvomi základnými problémami:

- problém pri ich získavaní,
- ťažkosti s ich vyhodnotením.

Pokiaľ ide o ťažkosti s ich získavaním, treba zvážiť, či je atramentová metóda získavania odtlačkov papilárneho terénu vhodná na ich zachytenie. Atrament má, za účelom zvýraznenia samotných papilárnych línií, tendenciu vypĺňať otvory potných žliaz. Toto vysvetľuje, prečo sú potné póry na takto získaných odtlačkoch zriedkavo viditeľné. Odtlačky získané modernými metodikami, ako je live-scan metóda, majú nevýhodu v nedostatočnom rozlíšení získaného odtlačku. Potné póry nemôžme zviditeľňovať fyzikálnymi metódami. Najčastejšie sa zviditeľňujú pomocou chemických metód, napríklad metódou zviditeľňovania ninhydrínom či dusičnanom strieborným.

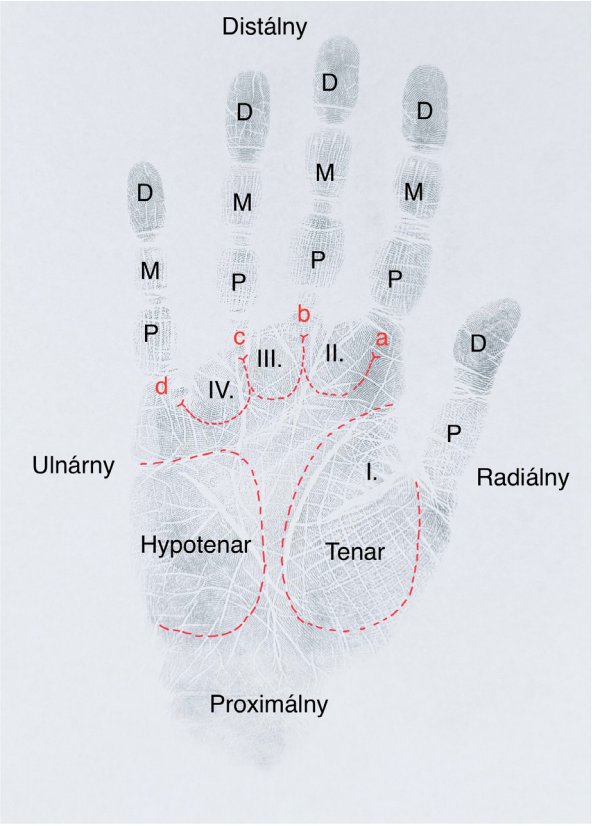
Potné póry sú na odtlačkoch papilárneho terénu zriedkavo pozorované s dostatočnou jasnosťou, čím je znemožnená ich klasifikácia. Jedným z riešení tohoto problému je použitie rôznych softvérových aplikácií, ktoré zvýšia kvalitu získaného odtlačku a jeho kontrast.

Potné póry hodnotíme na základe piatich základných kritérií, a to:

- Počet a frekvencia – najčastejšie vyjadrené na presne stanovenej dĺžke papilárnej línie alebo na danej ploche odtlačku papilárneho terénu.
- Vzdialenosť medzi dvomi potnými pórmi nasledujúcimi za sebou – vzdialenosť, ktorá sa nachádza medzi dvomi potnými pórmi je variabilná, teda môže slúžiť ako identifikačný marker.
- Veľkosť potných pórov – veľkosť potných pórov je variabilná. Poznáme potné póry malé, stredné a veľké, pričom na jednej papilárnej línií sa môžu nachádzať potné póry všetkých veľkostí.
- Tvar potných pórov – potné póry rozdeľujeme do siedmych tvarových skupín, a to: kruhové, oválne, štvorcové, kosoštvorcové, obdĺžnikové, trojuholníkovité a šesťuholníkové.
- Pozícia potných pórov na papilárnej línii – potné póry ležia najčastejšie uzatvorené v rade za sebou. Môžu sa vyskytovať aj otvorené potné póry, ktoré sa javia ako zárezy na okrajoch papilárnych línií.

4.2.4 Konfiguračné oblasti ruky a nohy

Vyhodnocovanie dermatoglyfických charakteristík vykonávame v rámci jednotlivých oblastí dlane a prstov, ktoré inak nazývame aj konfiguračné oblasti (obr. 28).



Obr. 28 Konfiguračné oblasti ruky spolu s anatomickými smermi (foto: Chovancová 2025).

Zodpovedajú dlaňovým a prstovým poduškám. Na dlani sa ich nachádza šesť a na prstoch päť. Najčastejšie sa dermatoglyfický vzor vyskytuje v každej oblasti dlane, no môže aj chýbať. Pri hodnotení dermatoglyfických vzorov sa určuje ich presná lokalizácia, kedy sa používajú anatomické pojmy: ulnárny, radiálny, proximálny a distálny. Dlaň je od predlaktia proximálne ohraničená zápästnou flekčnou ryhou (*plica flexoria carpalis*) a od proximálnych článkov prstov je distálne ohraničená flekčnou ryhou na bázach prstov (*plica flexoria metacarpophalangeale*).

Pri pohľade na ventrálnu stranu dlane vidíme tri zreteľné flekčné (ohybové) ryhy:

- distálnu transverzálnu flekčnú ryhu (*plica flexoria transversa distalis*), ktorá ohraničuje hornú časť dlane,
- proximálnu transverzálnu flekčnú ryhu (*plica flexoria transversa proximalis*), ktorá má tendenciu prechádzať stredovou oblasťou dlane,
- radiálnu longitudinálnu ryhu (*plica flexoria policis*), ktorá prebieha v oblúku cez stred dlane pod proximálnou transverzálnou flekčnou ryhou.

Tieto ohybové ryhy napomáhajú v presnom definovaní konfiguračných oblastí dlane a rozdeľujú dlaň na tri oblasti: interdigitálnu, hypotenarovú a tenarovú. Konfiguračné oblasti dlane a prstov sú z hľadiska vyhodnocovania odtlačkov ruky veľmi dôležité, nakoľko rozdeľujú papilárny terén ruky do jasne ohraničených oblastí.

Veľmi dôležitým dermatoglyfickým bodom je trirádius, ktorý okrem iného napomáha v presnom vymedzení konfiguračných oblastí dlane. Jedná sa o bod, v ktorom sa stretávajú tri systémy papilárnych línií alebo tri rôzne segmenty papilárnych línií. V distálnej oblasti dlane sa nachádzajú štyri interdigitálne trirádiá. Označujeme ich malými písmenami abecedy *a, b, c* a *d* v radioulnárnom smere. Ďalším trirádiom nachádzajúcim sa na dlani, konkrétne v jej proximálnej časti je trirádius *t*, ktorý inak voláme aj karpálny trirádius. Podobne umiestnené sú aj trirádiá na stupajach. Trirádiá nachádzame aj na prstoch rúk a nôh. Ich počet závisí od typu dermatoglyfického útvaru. Pri jednoduchých útvaroch môže absentovať, pri komplikovaných útvaroch sa ich môže na danom odtlačku nachádzať niekoľko.

Konfiguračné oblasti ruky

Interdigitálna oblasť dlane je ohraničená distálnou transverzálnou flekčnou ryhou a čiastočne aj proximálnou transverzálnou flekčnou ryhou. Je charakterizovaná papilárnymi líniami vytvárajúcimi podobné typy dermatoglyfických útvarov, ako sú tie na prstoch. V tejto oblasti sa pod každým prstom nachádza trirádius. Stretávame sa aj s prípadmi, kedy podprstový trirádius chýba alebo naopak, že sa vytvoril akcesórny trirádius, čiže nadpočetný trirádius. Interdigitálnu oblasť ďalej rozdeľujeme na I., II., III. a IV. interdigitálny priestor. I. interdigitálna oblasť sa spája s tenarom, pričom II., III. a IV. interdigitálny priestor sú jasne definované prostredníctvom podprstových trirádiov v distálnej oblasti dlane. II. interdigitálna oblasť sa nachádza medzi trirádiami *a* a *b*, III. interdigitálna oblasť leží medzi trirádiami *b* a *c* a IV. interdigitálna oblasť medzi trirádiami *c* a *d*. Pre skrátenie pojmu interdigitálnej oblasti používame skratku „id.“

V proximálnej oblasti dlane sa nachádzajú dve konfiguračné oblasti, a to hypotenar a tenar. Oblasť hypotenaru je ohraničená distálnou transverzálnou ryhou a radiálnou longitudinálnou ryhou. Nachádza sa na ulnárnej (malíčkovej) časti dlane. Je to oblasť bohatá na vzory, pričom sa najčastejšie stretneme so vzorom kľučky s akcesórnym trirádiom. Výskyt vzorov nie je konštantný a často sa stretneme s hypotenarom bez akéhokoľvek vzoru.

Oblasť tenaru je ohraničená radiálnou longitudinálnou ryhou. Nachádza sa na radiálnej (palcovej) časti dlane a v tejto oblasti sú vzory vzácne. Najčastejšie sa stretneme len s oblúkovitým priebehom papilárnych línií. V zriedkavých prípadoch sa v tejto oblasti môžu vyskytovať útvary pripomínajúce tie na prstoch, pričom vykazujú hranatý trend plynutia papilárnych línií. Na rozdiel od ostatných oblastí dlane sa tenarová oblasť na základe mnohopočetných bielych línií, ktoré sú v tejto oblasti omnoho výraznejšie ako v ostatných oblastiach dlane, ťažko vyhodnocuje. V dermatoglyfike sa tenar vyhodnocuje spolu s I. interdigitálnym priestorom, nakoľko sú spolu topologicky úzko spojené.

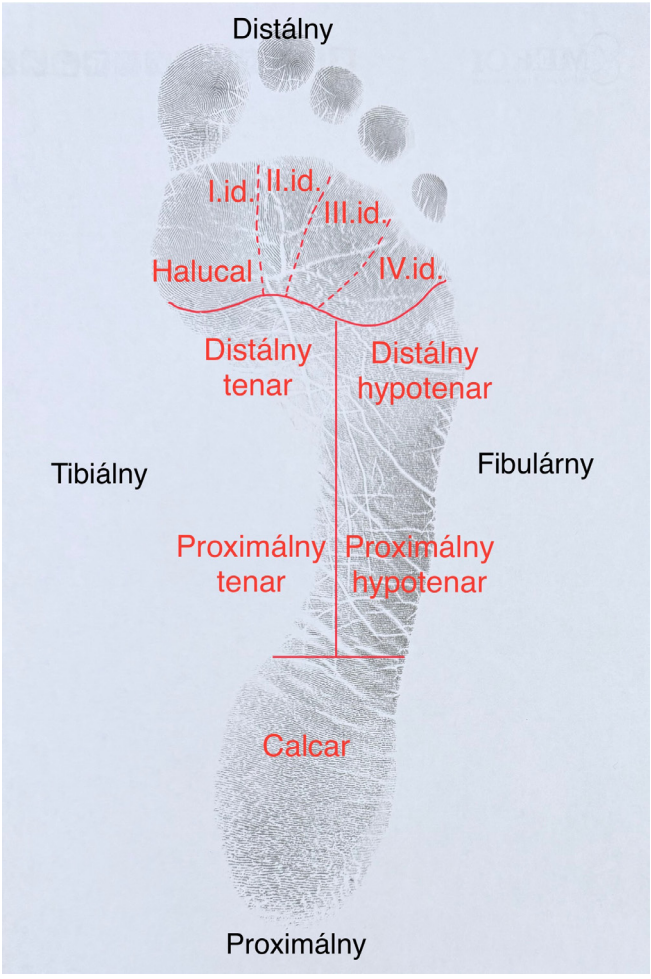
Prsty v dermatoglyfike označujeme číslicami 1. – 5., kde 1. prst je palec, 2. prst je ukazovák, 3. prst je prostredník, 4. prst je prstenník a 5. prst je malíček. Oblasti prstov ďalej rozdeľujeme na tri konfiguračné oblasti podľa falangov. Rozlišujeme oblasť distálnu, mediálnu a proximálnu. Pri palci rozlišujeme oblasti len dve, a to proximálnu a distálnu. Mediálny článok prsta u palcov chýba. Najviac vzorovo zastúpenou oblasťou sú distálne články prstov, ktoré sú z dermatoglyfického hľadiska najlepšie preskúmané.

O dermatoglyfických útvaroch mediálnych a proximálnych falangov prstov rúk je zatiaľ veľmi málo údajov. Ich najväčšie uplatnenie spočíva pri stanovovaní zygozity dvojčiat. „Klasické“ vzory, aké poznáme na distálnych falangoch sa v týchto oblastiach vyskytujú len veľmi zriedka, a preto sa pri hodnotení útvarov týchto častí sústredíme na zbiehanie a rozbiehanie línií, ich priebeh a zošikmenie. V jednoduchosti môžeme tieto vzory charakterizovať ako priame línie, vlnovité línie, hákovité línie a oblúkovité línie. Kombináciou týchto línií vznikajú zložitejšie, vlastné vzory na stredných a proximálnych falangoch prstov.

Konfiguračné oblasti nohy

Aj keď konfiguračné oblasti nohy, podobne ako konfiguračné oblasti ruky, zodpovedajú základnej schéme rozloženia volárnych podušiek, anatómia papilárneho terénu nohy vykazuje niekoľko odlišností v porovnaní s papilárnym terénom ruky (obr. 29). Na dlani totiž počas intrauterinného vývinu niektoré podušky splývajú. Na ploske tieto podušky vytvárajú nové oblasti súvisiace najmä s odlišnou funkciou nohy. Zmena nastáva aj pri vyjadrovaní laterálnych

smerov dermatoglyfických charakteristík. Kým na ruke/dlani používame výrazy ulnárny (smerujúci k malíčku) a radiálny (smerujúci k palcu), na nohe/ploske sú tieto výrazy nahradené pojmami fibulárny (smerujúci k malíčku) a tibiálny (smerujúci k palcu). Na ploske sa nachádza deväť konfiguračných oblastí. Vzhľadom na dĺžku chodidla je hypotenar a tenar rozdelený na distálny a proximálny, pričom na každom z nich sa môže vytvoriť dermatoglyfický útvar. Distálny tenar úplne splýva s poduškou I. interdigitálneho priestoru plosky nachádzajúcou sa pod I. prstom a práve táto oblasť sa označuje ako halucal. Ďalšou konfiguračnou oblasťou, ktorú nenájdeme na papilárnom teréne dlane je calcar. Je to oblasť päty.



Obr. 29 Konfiguračné oblasti nohy spolu s anatomickými smermi (foto: Chovancová 2025).

Podobne ako na ruke, aj na ploske sa nachádzajú štyri interdigitálne oblasti, ktoré sú od seba oddelené podprstovými trirádiami.

Taktiež sa líši aj samotné označenie niektorých charakteristík plosky. Aj keď na označenie podprstových trirádiov používame, podobne ako je to v prípade dlane, malé písmená *a, b, c* a *d*, rozdiel nastáva v tom, že na ploskách nájdeme aj trirádiá *e* a *f*. Obe trirádiá sa používajú na ohraničenie útvarov na halukale. V proximálnej oblasti plosky sa pod interdigitálnymi konfiguračnými oblasťami plosky môže vyskytovať trirádius *p.* Názov je odvodený z jeho proximálneho umiestnenia na ploske. Jeho výskyt však nie je konštantný a ak sa vyskytuje, tak medzi halukalom a II. interdigitálnym priestorom. Trirádiá, ktorými sa odlišuje papilárny terén plosky od papilárneho terénu ruky zodpovedajú akcesórnym trirádiám na paplilárnom teréne dlane.

Rozdiel spočíva aj v tom, že pri ploske nie je dôležité číslovanie jednotlivých oblastí, nakoľko sa proximálne radianty (hlavné línie trirádiov) nezapisujú do formúl, nakoľko je ich priebeh veľmi komplikovaný. Postup, ako sa zapisuje plynutie hlavných radiánt ruky si uvedieme pri kvalitatívnom vyhodnocovaní dlane. Na ploske sa hodnotí celkový priebeh papilárnych línií v jej strede a na päte, a to vo fibulo-tibiálnom smere, kolmo na hlavnú os, ktorá prechádza osou druhého prsta a najproximálnejším bodom na päte s názvom *acropodion*. Toto zošikmenie vykazuje viaceré stupne, a to:

- stupeň 1 (označuje výrazné proximálne zošikmenie),
- stupeň 2 (označuje mierne proximálne zošikmenie),
- stupeň 3 (označuje transverzálne zošikmenie),
- stupeň 4 (označuje mierny distálny sklon),
- stupeň 5 (označuje výrazný distálny sklon).

Prešli by sme ku charakterizácii jednotlivých konfiguračných oblastí plosky vzhľadom na výskyt dermatoglyfických charakteristík.

Oblasť halukalu je najviac vzorovo zastúpená konfiguračná oblasť plosky. V tejto oblasti sa vyskytujú všetky typy dermatoglyfických útvarov, vrátane rôznych druhov vírov (koncentrické, špirálovité). V tejto oblasti sa tiež vyskytujú tzv. smyčky (označenie SM), čo je kombinácia víru s iným systémom papilárnych línií.

Interdigitálne priestory plosky sú, čo sa dermatoglyfických útvarov týka, veľmi podobné interdigitálnym priestorom dlane. Najčastejšie sa stretávame s kľučkami otvorenými distálne, no, nachádzame tu aj kľučky otvorené proximálne a vírové vzory.

Útvary na hypotenare plosky sa vyskytujú pomerne často. Najčastejšie sa stretávame s kľučkami otvorenými tibiálne, fibulárne, ale aj tibioproximálne.

Často sa v tejto oblasti vyskytujú takzvané kuspidy, čo sú stopy po dermatoglyfickom útvare. Sú to línie, ktoré sa zbiehajú z určitej oblasti plosky a stretávajú sa v ostrom uhle. Kuspidy neradíme k pravým dermatoglyfickým útvarom. Tiež sa bežne označujú, ako na dlani, „V" – vestige. Veľmi zriedka sa na distálnom hypotenare môžu vyskytovať aj víry.

Ďalšou konfiguračnou oblasťou plosky je *calcar* (päta). Na päte prevažuje výskyt prázdnych políčok, čo znamená že prevládajú bezvzorové oblasti. Niekedy sa môžeme stretnúť so stopami po útvaroch, prípadne s výskytom tibiálnych a fibulárnych kľučiek.

Zaujímavým faktom je, že prsty na nohách neodoberáme v podobe samostatných odtlačkov, ako je to v prípade odtlačkov prstov rúk. Vyhodnocujeme ich len z celkových odtlačkov nohy, prípadne aspexiou (pohľadom). Deje sa tomu tak z viacerých dôvodov, akými sú: vlhké prostredie, výskyt otlakov, koža je macerovaná – vyskytujú sa tu plesne a tiež sú prsty v topánkach pomerne postláčané, čo spôsobuje chybovosť pri odoberaní týchto stôp. Čo sa týka výskytu dermatoglyfických útvarov, vyskytujú sa tu prakticky všetky typy dermatoglyfických útvarov čo na prstoch rúk (víry, kľučky, postranné jadrá, dvojkľučky, stredové jadrá). Tiež sa v tejto oblasti vyskytujú aj kombinácie týchto útvarov, prípadne komplikované útvary. Typickým útvarmi pre prsty nôh sú čapcovité kľučky, čo sú dve nad sebou ležiace kľučky toho istého smeru, ktoré nie sú do seba zaklinené, čo ich odlišuje od útvarov dvojkľučiek a postranných jadier. Ďalším charakteristickým dermatoglyfickým útvarom pre prsty nôh sú trojkľučky, ktoré taktiež nenájdeme na prstoch rúk.

4.3 Práca s dermatoglyfickou stopou

4.3.1 Odoberanie dermatoglyfických stôp

Na správne vyhodnotenie dermatoglyfickej stopy je potrebné jej správne odobratie. To znamená, že získaná stopa musí obsahovať všetky východiskové dermatoglyfické body a musí vykazovať čo najvyššiu kvalitu.

Na dermatoglyfický výskum sa najčastejšie odoberajú atramentové odtlačky papilárneho terénu. Samotné atramentové odtlačky papilárneho terénu ďalej delíme na valivé a kontaktné (obr. 30). Za účelom antropologického populačného výskumu sa odoberajú stopy valivé. To znamená, že sa odtlačok prenesie valivým pohybom na daný papier. Takto sa zabezpečí prenos všetkých dermatoglyfických východiskových bodov. Tento odtlačok papilárneho terénu je však mierne skreslený. Za účelom získania čo najkvalitnejšej dermatoglyfickej stopy sa odoberajú odtlačky kontaktné. Tie nemusia obsaho-

vať všetky dôležité východiskové body potrebné na dermatoglyfickú analýzu, ale vykazujú vysokú kvalitu, kedy sú jasne viditeľné aj druhostupňové identifikačné markery a potné póry. Tie sa najčastejšie odoberajú za účelom osobnej identifikácie.

Obr. 30 Kontaktný (vľavo) a valivý (vpravo) odtlačok toho istého prsta (foto: Chovancová 2025).

V oboch prípadoch je dôležité správne poučenie probanda. Pred tým, než pristúpime k samotnému odoberaniu dermatoglyfickej stopy je potrebné, aby si proband dôkladne umyl ruky mydlom, čím sa zbaví jednak nečistôt, ale čo je pre nás dôležitejšie, zbaví sa všetkej mastnoty a potu, ktoré by mohli spôsobiť nechcené machule atramentu na získaných odtlačkoch papilárneho terénu. Následne si ruky osuší úplne dosucha.

Odoberanie odtlačkov dlane

Proband pri odoberaní odtlačku ruky sedí, celú hornú končatinu má uvoľnenú bez akéhokoľvek silového vypätia a nesmie vykonávať žiaden pohyb. Tým by mohol negatívne zasiahnuť do odoberania dermatoglyfickej stopy. Pripravíme si sklenenú dosku, na ktorú nanesieme malé množstvo (asi ako hrášok) daktyloskopického atramentu. Daktyloskopickým valčekom vyvaľkáme tento atrament do tenkej súvislej homogénnej vrstvy. Ďalej si pripravíme hárok čistého papiera veľkosti A4 a v prípade odoberania valivých odtlačkov tvrdený valec, ktorý nesmie mať žiadnu povrchovú textúru. Začíname odoberaním plochy papilárneho terénu celej ruky. Odoberajúci sa postaví na tú stranu tela probanda, z ktorej ruky bude odoberať odtlačok. Čiže ak odoberáme odtlačky ľavej ruky, stojíme vľavo a ak pravej ruky, tak vpravo. Následne daktyloskopickým valčekom pokryjeme povrch dlane vrátane prstov tenkou rovnomernou vrstvou daktyloskopického atramentu. Pri nanášaní atramentu sme dôslední, aby sme pokryli celú požadovanú plochu atramentom. Dávame pozor na okraje daktyloskopického valčeka, ktoré pri kontakte s pokožkou môžu preniesť nesúvislú vrstvu farbiva za vzniku fľakatých oblastí. Teraz máme dve možnosti. Ak odoberáme valivé

odtlačky ruky, tak si položíme horný okraj papiera na pripravený valec. Priložíme distálne falangy prstov probanda na hornú časť papiera a následne valivým pohybom po valci, v smere od distálnych článkov prstov k proximálnej časti dlane, prenesieme odtlačok dlane, vrátane prstov, na pripravený papier. Proband pri tomto pohybe posúva celú hornú časť tela do mierneho predklonu. Valivá metóda odoberania odtlačkov dlaní poskytuje výhodu aj v zachytení papilárneho terénu stredovej oblasti dlane, ktorá je v porovnaní s ostatnými oblasťami viditeľne poklesnutá. Druhá možnosť je odobratie kontaktného odtlačku papilárneho terénu ruky. V tomto prípade po nanesení daktyloskopického atramentu jemne priložíme ruku probanda na papier a chrbtom našej ruky jemne pritlačíme najmä stredovú oblasť dlane probanda a proximálne a mediálne články prstov. Ruku opatrne zdvihneme, aby sme zamedzili vzniku rozmazaných oblastí. V oboch prípadoch bezprostredne po odobratí stopy skontrolujeme jej kvalitu a prítomnosť všetkých východiskových bodov. Akonáhle by bola kvalita získanej stopy narušená, je potrebné stopu odobrať znovu.

Odoberanie odtlačkov prstov

Následne pristúpime k odoberaniu odtlačkov prstov. Opäť máme na výber odtlačky valivé a kontaktné, pričom kritériá výberu zostávajú identické ako v prípade odtlačkov celých rúk. Valivé odtlačky prstov umiestňujeme na papier nesúci odtlačok ruky tak, že prsty ľavej ruky umiestnime pod odtlačok ľavej ruky a v takom poradí, v akom sa nachádzajú na papieri nesúcom odtlačok. Odtlačky prstov pravej ruky odoberieme na základe tých istých inštrukcií. To znamená, že na papieri nesúcom odtlačok ľavej ruky odoberieme jednotlivé prsty v poradí (zľava doprava) malíček – prstenník – prostredník – ukazovák – palec. Prsty pravej ruky budú odobrané v opačnom trende, nakoľko sú ruky svojím zrkadlovým obrazom. Po ozrejmení týchto informácii môžeme pristúpiť k odoberaniu valivých odtlačkov prstov. Ako prvé si pripravíme papier s odtlačkom ruky. Na odoberanie odtlačkov prstov môžeme použiť sklenenú tabuľu s tenkou uniformnou vrstvou daktyloskopického atramentu alebo daktyloskopické podušky už nasiaknuté atramentom. Odoberajúci sa postaví na tú stranu tela probanda, kde bude odoberať odtlačky prstov tak, ako tomu bolo aj v prípade odoberania odtlačkov rúk. Odoberajúci palcom a prostredníkom jemne uchopí daný prst probanda po stranách mediálneho článku prsta (v prípade palca sa jedná o proximálny článok prsta) a ukazovákom pridržiava vrchol distálneho falangu odoberaného prsta tak, aby bol odoberaný prst narovnaný. Takto má odoberajúci úplnú kontrolu nad prstom probanda a valivým pohybom od jednej nechtovej ryhy až po druhú nechtovú ryhu nanesie farbivo zo sklenenej tabule/podušky na prst probanda. Je dôležité, aby bol farbivom pokrytý celý papilárny terén distálneho článku prsta (od jednej

nechtovej ryhy po druhú a od vrcholu prsta po distálnu ohybovú ryhu prsta). Rovnakým pohybom sa prenesie odtlačok prsta na papier. Tento pohyb je vždy len jeden, nikdy „neváľame" prst druhýkrát akoby naspäť. Stopu by sme zbytočne rozmazali. Pri odoberaní odtlačkov prstov musíme dbať na tlak akým sa odtlačky odoberajú, aby sme zamedzili vzniku rozmazaných plôch. Bezprostredne po odobratí odtlačku prsta nastáva kontrola prítomnosti všetkých východiskových bodov. Akonáhle sa na odtlačku nachádzajú oblasti znemožňujúce jeho vyhodnotenie alebo sme neodtlačili potrebnú oblasť papilárneho terénu, je potrebné odoberanie zopakovať. V tomto prípade nevhodný odtlačok na papieri prešKrtneme „X". Na jednom papieri je možné sa opraviť len jedenkrát. Ak by sme sa pomýlili viackrát, je potrebné celý proces odoberania, vrátane odoberania odtlačku celej ruky, zopakovať. Ukážka správne odobraného valivého odtlačku ruky spolu s odtlačkami prstov je znázornená na obr. 31.

Obr. 31 Ukážka správne odobraného valivého odtlačku ruky spolu s odtlačkami prstov (foto: Chovancová 2025).

Kontaktné odtlačky prstov sa najčastejšie odoberajú na daktyloskopickú kartu, kde je jasne vymedzené miesto na daný prst. Farbivo nanesieme na prst jednoduchým pritlačením papilárneho terénu na sklenenú tabuľu s atramentom alebo na impregnovanú podložku. Prst nijak nevaľkáme, jedná sa o priamy pohyb. Následne odtlačok prenesieme na papier. V tomto prípade dbáme na precízny pohyb, kedy jemným tlakom, na papier pritlačíme len stredovú oblasť distálneho článku prsta a prst následne zdvihneme. Tento odtlačok spravidla neobsahuje všetky východiskové body, no vykazuje vyššiu kvalitu, ktorá je potrebná pre účely osobnej identifikácie.

4.3.2 Vyhodnocovanie dermatoglyfických stôp

Dermatoglyfické stopy vyhodnocujeme kvalitatívne a kvantitatívne.

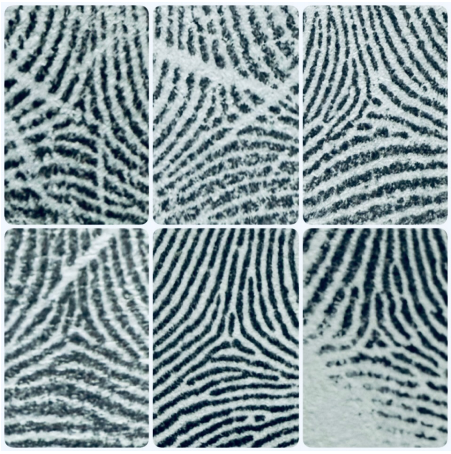
Kvalitatívne vyhodnocovanie predstavuje určenie vzoru, ktorý sa v danom odtlačku nachádza. Kvantitatívne vyhodnotenie stopy nám hovorí o veľkosti daného útvaru, počte papilárnych línií medzi východiskovými bodmi a podobne.

Kvalitatívne vyhodnocovanie odtlačkov distálnych falangov prstov

Kvalitatívne vyhodnocovanie dermatoglyfickej stopy začneme určením základných dermatoglyfických východiskových bodov, akými sú trirádius a jadro útvaru.

Určenie typu dermatoglyfického útvaru na distálnych článkoch prstov

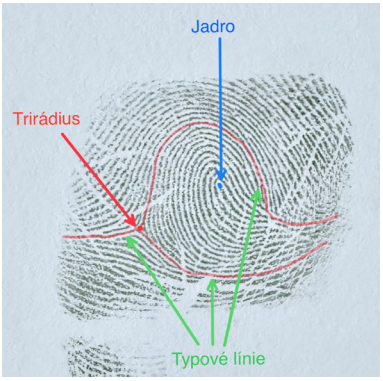
Trirádius je bod stretu troch systémov línií. Môže sa vyskytovať vo viacerých variáciách a tvaroch (obr. 32), ktoré nezávisia od typu útvaru.



Obr. 32 Rôzne druhy trirádiov (foto: Chovancová 2025).

Naopak, tvar jadra dermatoglyfického vzoru je silne viazané na dermatoglyfický vzor. Jadro dermatoglyfického útvaru sa nachádza najčastejšie v jeho strede, pričom každý dermatoglyfický útvar má špecifický tvar svojho jadra. Kým jednoduché oblúčiky jadro nemajú, u stanových oblúčikov sa za jadro útvaru považuje vrchol papilárnej línie, ktorá vybieha z trirádia distálnym smerom. Víry a centrálne jadrá majú niekoľko foriem jadier. V ich prípade môže byť jadro útvaru zastúpené krátkou papilárnou líniou vyzerajúcou ako bodka, úsekom papilárnej línie, líniou stáčajúcou sa v špirále do stredu papilárneho útvaru alebo malým kruhom. V prípade úseku papilárnej línie sa za jadro považuje jej najdistálnejší bod a v prípade stáčajúcej sa papilárnej línie vrchol jej najvnútornejšej špirály. V prípade kruhovej formy centra útvaru sa za vrchol dermatoglyfického útvaru označí najvzdialenejší bol od oboch trirádiov (zväčša jeho najdistálnejší bod). V prípade kľučiek, dvojkľučiek a postranných jadier sa za jadro považuje vrchol prostrednej papilárnej línie tvoriacej dermatoglyfický útvar. Tu sa stretávame s viacerými problémami, nakoľko sa v centrálnej oblasti kľučiek môže nachádzať viacero papilárnych línií. V prípade dvoch paralelných línií je za jadro vzoru považovaný vrchol tej línie, ktorá je vzdialenejšia od trirádia. Ak sa v centre dermatoglyfického útvaru nachádzajú tri línie (alebo nepárny počet línií), za jadro vzoru označíme vrchol prostrednej papilárnej línie. Ak by sme sa stretli s viacerými papilárnymi líniami v párnom počte, nájdeme stredový pár týchto línií a z neho vyberieme tú vzdialenejšiu líniu od trirádia a jej vrchol označíme ako jadro útvaru. Takto vyznačené odtlačky papilárneho terénu môžeme kvalitatívne vyhodnotiť.

Aj keď na určenie niektorých dermatoglyfických útvarov postačuje len počet trirádiov a jadier, odporúča sa obkresliť ich radianty, inak nazývané aj typové línie, vychádzajúce z trirádia/trirádiov (obr. 33). Typové línie nám dermatoglyfický útvar v odtlačku znázornia.



Obr. 33 Základné charakteristické body na odtlačkoch prstov spolu s typovými líniami (foto: Chovancová 2025).

Pri obkresľovaní (vyťahovaní) plynutia papilárnych línií sa môžeme stretnúť s prerušením ich plynutia. Ak je prerušenie krátke (minúcia zlom), snažíme sa pokračovať v pôvodnom smere po prerušení. Ak je prerušenie väčšie alebo papilárna línia ukončila svoje plynutie, snažíme sa nájsť papilárnu líniu v bezprostrednej blízkosti tej línie, ktorá ukončila svoje plynutie. Ak je vzdialenosť papilárnych línií z oboch strán k ukončenej línii rovnaká, ceruzkou prejdeme na tú periférnejšiu – vzhľadom k pozícii jadra útvaru. Tiež sa môžeme stretnúť s rozvetvením papilárnej línie. V tomto prípade postupujeme zvolením si periférnejšej papilárnej línie. Na rozlíšenie dvojkľučiek a postranných jadier si musíme navyše dopomôcť stredovými radiantami. To sú tie papilárne línie, ktoré vychádzajú z jadra dermatoglyfického útvaru. Aby sme vedeli tieto dvojjadrové typy útvarov od seba odlíšiť, musíme vytiahnuť smer plynutia ich centrálnych radiánt. Červenou ceruzkou sa snažíme obkresľovať presné plynutie papilárnych línií, vychádzajúcich z jadier daného útvaru až kým nevyjdeme na okraj odtlačku prsta. Ak obe papilárne línie vybiehajú na rovnakú stranu odtlačku prsta (či už ulnárne alebo radiálne), jedná sa o útvar postranného jadra. Ak každá z línií vybieha na iný okraj odtlačku prsta (jedna ulnárne a druhá radiálne) jedná sa o útvar dvojkľučky. Pri dermatoglyfických útvaroch, ktoré obsahujú tri a viac trirádiov postupujeme tak, že na ich odtlačku vyznačíme všetky trirádiá a jadrá. Typy útvarov sa zaznačujú do štandardizovaných tabuliek spolu aj s ostatnými charakteristikami papilárneho terénu.

Kvalitatívne vyhodnocovanie odtlačkov dlaní

Odtlačky dlaní sa, v porovnaní s odtlačkami prstov, vyhodnocujú s menšími odlišnosťami. Najskôr vyhodnocujeme interdigitálne oblasti s tým, že I. interdigitálny priestor vyhodnocujeme neskôr spolu s tenarom.

Určenie dermatoglyfického útvaru na dlani

To, či sa v danom interdigitálnom priestore nachádza dermatoglyfický útvar nám napovedia samotné proximálne radianty podprstových trirádiov a trirádiá samotné. Podprstové trirádiá sú zväčša štyri a označujeme ich malými písmenami abecedy písanými kurzívou (*a, b, c* a *d*), pričom z každého vychádza proximálna radianta. Tieto radianty označujeme veľkými tlačenými písmenami podľa trirádia, z ktorého vychádzajú. Trirádius *a* má proximálnu radiantu A, trirádius *b* má proximálnu radiantu B, a pod. Proximálna radianta je tá papilárna línia, ktorá smeruje k zápästiu. Ak sa táto línia náhle stočí a vyjde z odtlačku dlane vo vedľajšom interdigitálnom priestore, tak to znamená, že v danom interdigitálnom priestore je kľučka. Napríklad trirádius *a* sa nachádza pod ukazovákom. Ak jeho proximálna radianta vyjde z odtlačku dlane medzi

ukazovákom a prostredníkom, tak v II. interdigitálnom priestore sa nachádza dermatoglyfický útvar. Ďalšou skutočnosťou, ktorá nám napovie, či sa v danom interdigitálnom priestore nachádza útvar sú samotné trirádiá. Ako bolo spomínané vyššie, typický počet podprstových trirádiov je štyri. Ak by sme v danej oblasti našli viac trirádiov, tak v priestore, kde sme našli tzv. akcesórny trirádius (trirádius „navyše“) sa nachádza dermatoglyfický útvar. Pri dermatoglyfických útvaroch interdigitálnych priestorov nehľadáme ich jadrá. Tvarom sa podobajú tým na distálnych článkoch prstov, pričom oblúčik v tomto prípade nevyhodnocujeme za pravý útvar. Najčastejšie sa stretneme s kľučkami a vírmi. Čo sa týka kľučiek, najčastejšie sa stretávame s kľučkami otvorenými distálne. Označujeme ich „L“ alebo „l“. Označenie rozlišujeme na základe kvantitatívnych hodnôt kľučky. Ak má daná kľučka v najširšom mieste šesť a viac línií, označíme ju veľkým „L“. Ak toto kritérium nespĺňa, označíme ju malým „l“. Ďalším typom sú kľučky sprevádzané akcesórnym trirádiom. Tieto kľučky označujeme (D), príp. (d) ak sú otvorené distálne a (P), príp. (p) ak sú otvorené proximálne. Veľkosť označujúceho písmena závisí od kritéria spomínaného vyššie v tomto odstavci. Víry sú v tejto oblasti menej početné, ale ak sa vyskytujú, sú spravidla sprevádzané akcesórnym trirádiom. Označujeme ich „W“.

Následne sa presunieme na proximálnu časť dlane. Čo sa týka dermatoglyfických útvarov, tak v tomto prípade sú všetky dermatoglyfické vzory sprevádzané aspoň jedným akcesórnym trirádiom. To znamená, že kľučka, vyskytujúca sa v tejto oblasti nebude mať jeden trirádius, ako je to v prípade distálnych článkov prstov, ale dva. Vír bude sprevádzaný tromi trirádiami, a podobne. Tieto trirádiá sa niekedy hľadajú veľmi obťažne, musíme totiž brať do úvahy aj veľkosť dermatoglyfického útvaru. Častokrát sa stáva, že kvôli veľkosti dermatoglyfického útvaru, najmä v oblasti hypotenaru, je akcesórny trirádius akoby vytlačený na laterálnu oblasť dlane, ktorej odtlačok nebol odobraný. V proximálnej oblasti dlane nachádzame zväčša kľučky, pričom v tomto prípade k ich označeniu „L“ alebo „l“ dávame smerový index ulnárny/radiálny a proximálny/distálny. V tomto prípade nastala zmena aj v počte línií definujúcom veľkosť písmena pri označovaní dermatoglyfických útvarov. V oblasti hypotenaru a tenaru musia mať útvary vo svojom najširšom mieste deväť a viac línií, aby boli označené veľkým písmenom. Ak majú v najširšej oblasti osem a menej línií, tak sú označené malým písmenom. Čiže ak by sme na odtlačku dlane našli v oblasti hypotenaru kľučku, ktorá má vo svojom najširšom mieste napríklad 12 línií a otvára sa smerom k ukazováku, mali by sme ju označiť „Lrd“ (čiže kľučka s 9 a viac líniami v najhrubšej oblasti, ktorá je otvorená radio-distálne). V proximálnej oblasti dlane môžeme nájsť aj víry „W“, komplikované útvary (označenie podľa kombinácie daných útvarov v tvare zlomku

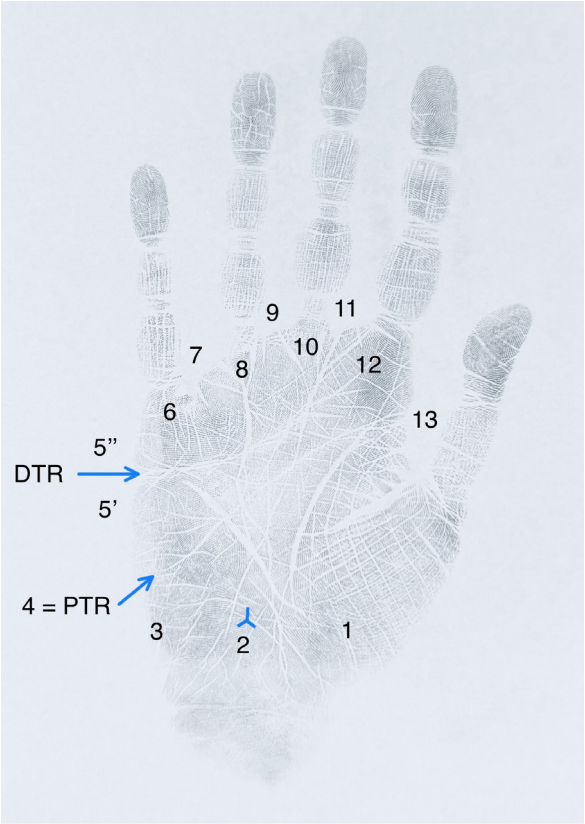
v proximo-distálnom smere) a aj dvojkľučky. V oblasti hypotenaru a tenaru nastáva zmena v označení dvojkľučiek. Ako sme spomínali, na odtlačkoch distálnych článkov prstov ich označujeme skratkou „TL“, no v tomto prípade je to písmeno „S“. Typ dermatoglyfického útvaru zistíme jednoducho, a to vytiahnutím radiánt všetkých trirádiov, ktoré sprevádzajú dané dermatoglyfické útvary. Tie nám daný dermatoglyfický útvar doslova nakreslia.

Typy dermatoglyfických útvarov sa zaznačujú do štandardizovaných tabuliek, pričom oblasť tenaru a I. interdigitálneho priestoru značíme v zlomku, kde v čitateli je dermatoglyfický útvar nachádzajúci sa na tenare a v menovateli je dermatoglyfický útvar v I. interdigitálnom priestore. Nie v každej konfiguračnej oblasti dlane sa musí vyskytovať dermatoglyfický útvar. Nachádzame aj také odtlačky dlaní, kde nenájdeme žiaden dermatoglyfický útvar, a naopak také, kde nájdeme dermatoglyfický útvar v takmer každej oblasti dlane. Ak sa v danej konfiguračnej oblasti nenachádza dermatoglyfický útvar, do tabuľky je potrebné zapísať znak „Ø“ za danú konfiguračnú oblasť. V prípade neprítomnosti dermatoglyfického útvaru v tenare a I. interdigitálnom priestore je potrebné vyjadriť obe oblasti, teda „Ø/Ø“.

Dlaňová formula

Ďalším kvalitatívnym znakom, ktorý vyhodnocujeme na dlani je dlaňová formula. Je to číselný zápis ukončenia plynutia proximálnych radiánt podprstových trirádiov. Tie môžeme pomenovať aj ako hlavné línie dlane. Odtlačok dlane je rozdelený na 13 oblastí, pričom každej prislúcha určitá číselná hodnota (obr. 34):

- 1 patrí dolnému okraju tenaru,
- 2 sa nachádza medzi tenarom a hypotenarom,
- 3 patrí dolnému okraju hypotenaru,
- 4 je stred ulnárneho okraja dlane = koniec PTR,
- 5 je vyústením DTR, je rozdelená na 5´a 5´´ (5´je proximálne od ukončenia DTR, 5´´ je distálne od ukončenia DTR),
- 6 patrí trirádiu *d*, 8 patrí trirádiu *c*, 10 patrí trirádiu *b*, 12 patrí trirádiu *a*,
- 7 patrí IV. interdigitálnemu priestoru, 9 patrí III. interdigitálnemu priestoru, 11 patrí II. interdigitálnemu priestoru,
- 13 patrí radiálnemu okraju dlane a báze palca.



Obr. 34 Dlaň rozdelená na 13 oblastí za účelom vyhodnotenia dlaňovej formuly (foto: Chovancová 2025).

Z každého podprstového trirádia vytiahneme jeho proximálnu radiantu, až kým nevyjdeme na okraj odtlačku dlane. Ak by sa radianta prerušila, ukončila svoje plynutie alebo sa rozdvojila, postupujeme rovnako ako pri vyťahovaní radiánt trirádiov na odtlačkoch distálnych falangov prstov. Keď sa nám podarí radiantu vytiahnuť až na okraj odtlačku dlane, zapíšeme do vyhodnocovacieho hárku prislúchajúce políčko, kde sa tomu tak stalo. Medzi jednotlivé hodnoty píšeme bodky, napr. 11.9.7.5. Toto je kompletný zápis ukončenia všetkých štyroch proximálnych radiánt. Poradie zápisu identické pre obe ruky, teda aj ľavú aj pravú dlaňovú formulu zapisujeme v poradí D.C.B.A. V praxi sa však môžeme stretnúť s určitými odchýlkami v priebehu týchto radiánt. Príkladom je tzv. abortívna línia. Tento prípad nastáva najčastejšie pri proximálnej radiante trirádia *c*, kedy radianta ukončí svoje plynutie, ale žiadna z okolitých radiánt neposkytuje nadväznosť v jej plynutí. Naopak, tento jav pripomína stanový oblúčik na prstoch, teda ostatné papilárne línie obiehajú vo vysokom oblúku

popod abortívnu líniu. Tento jav zapisujeme do vyhodnocovacieho hárku symbolom „Y“. Ďalší jav, s ktorým sa môžeme stretnúť, je chýbanie podprstového trirádia. To znamená, že tento trirádius nebol založený, a to zapisujeme do hodnotiaceho hárku symbolom „X“. Veľmi dôležité je rozlíšiť skutočné podprstové trirádiá od akcesórnych. Podprstový trirádius sa vyskytuje spravidla pod daným prstom. Akcesórny trirádius môže proximálne alebo laterálne skĺznuť. Akcesórne trirádiá značíme podobne ako skutočné podprstové trirádiá s tým rozdielom, že im pridáme za označenie apostrof. To znamená, že ak nájdeme akcesórny trirádius pri trirádiu *c*, označíme ho *c´*. Jeho proximálna radianta má označenie C´. Pri hodnotení dlaňových formúl vyťahujeme proximálne radianty aj akcesórnych trirádiov a ich zápis je cez pomlčku k skutočnému trirádiu. Ak by sme vyhodnotili priebeh proximálnej radianty A trirádia *a* v políčku 5´a našli by sme akcesórny trirádius *a´*, ktorého radianta A´ by končila v políčku 7, zápis týchto radiánt by bol 5´– 7. Tiež sa môžeme stretnúť s javom, kedy proximálna radianta vbehne do iného trirádia alebo sa krátko po svojom plynutí otočí sama do seba, čiže do trirádia z ktorého vychádza. V tomto prípade značíme do vyhodnocovacieho hárku tú hodnotu, ktorá prislúcha danému trirádiu. Špecifickým a pomerne častým javom je ukončenie línie v útvare na hypotenare. Keďže ulnárnemu okraju dlane prislúcha políčko 3 a radianta končí v konfiguračnej oblasti hypotenaru, tento jav označíme ako 3h. Pozor, veľakrát sa línia len otočí okolo daného útvaru a vyjde z dlane v políčku 13. Preto je dôležité proximálne radianty vyťahovať až do ich úplného ukončenia plynutia a nemôžeme túto činnosť predčasne ukončiť.

Špecifickým a nie častým javom sú interdigitálne trirádiá, ktoré sú dislokované z pôvodného miesta do interdigitálneho priestoru. Vznikli splynutím dvoch susediacich trirádiov. V porovnaní s podprstovými trirádiami sa interdigitálne trirádiá líšia aj svojou orientáciou. Sú akoby rotované, čo znamená, že majú až dve proximálne radianty a len jednu distálnu. V tomto prípade zapisujeme do vyhodnocovacieho hárku do políčok prislúchajúcich daným trirádiám hodnotu 0id0.

Valšíkovo papilárne číslo a MLI

Z dlaňových formúl následne počítame Valšíkovo papilárne číslo, čo je súčet zakončení všetkých proximálnych radiánt dlane. Ak by sme použili ten istý príklad uvedený vyššie, a to formulu dlane 11.9.7.5, papilárne číslo by bolo 32 (11+ 9 + 7 + 5 = 32). Nemôžeme zabudnúť na špecifické javy, ktoré sme popisovali vyššie. Pri hodnotách políčok 5´a 5´´ sa ich hodnota rovná číslu 5. Ak máme aborciu hlavnej línie („Y“) alebo chýba trirádius („X“), tak počítame s hodnotou, ktorá prislúcha oblasti, kde sa trirádius nevytvoril alebo hlav-

ná línia ukončila svoje plynutie. Valšíkovo papilárne číslo sa počíta pre ľavú a pravú ruku zvlášť. Následne z týchto hodnôt počítame individuálne číslo „I“ a rozdielové číslo „R“, a to nasledovne:

$$I = \frac{(L+P)}{2} \quad a \quad R = L - P$$

Pri rozdielovom čísle môže výsledok dosiahnuť kladnú, zápornú a nulovú hodnotu. Ak je Valšíkovo papilárne číslo na ľavej ruke vyššie ako na pravej, rozdielové číslo dosiahne kladnú hodnotu. Ak je Valšíkovo papilárne číslo na pravej ruke vyššie ako na ľavej, tak rozdielové číslo dosiahne zápornú hodnotu a ak Valšíkovo papilárne číslo dosiahlo na oboch rukách rovnakú hodnotu, rozdielové číslo bude nulové.

Z dlaňových formúl počítame aj MLI (*Mail Line Index*) alebo teda index hlavných línií. Ten, v porovnaní s Valšíkovým papilárnym číslom, vykazuje určité odlišnosti. V tomto prípade sa počíta ukončenie len dvoch hlavných radiánt, a to radianty D a A. Hodnoty zvyšných proximálnych radiánt sú z tohto indexu vynechané. Najväčším rozdielom je však prečíslovanie niektorých oblastí dlane:

- Oblasti 1 až 5 si zachovali svoju hodnotu.
- Oblasť 5´´ sa prečíslovala na 6.
- Oblasti trirádiov zmenili svoje číslovanie:
  - *d*: Valšíkovo papilárne číslo 6, MLI 1,
  - *c*: Valšíkovo papilárne číslo 8, MLI 3,
  - *b*: Valšíkovo papilárne číslo 10, MLI 5,
  - *a*: Valšíkovo papilárne číslo 12, MLI 7.
- Oblasti interdigitálnych priestorov zmenili číslovanie:
  - IV. id: Valšíkovo papilárne číslo 7, MLI 2,
  - III. id: Valšíkovo papilárne číslo 9, MLI 4,
  - II. id: Valšíkovo papilárne číslo 11, MLI 6,
  - I. id a radiálna oblasť dlane: Valšíkovo papilárne číslo 13, MLI 8.

Rozdiel medzi Valšíkovým papilárnym číslom a MLI si môžeme prakticky znázorniť na príklade našej dlaňovej formuly, teda 11.9.7.5. Kým Valšíkovo papilárne číslo dosahovalo hodnotu 32, MLI bude v tomto prípade len 11 (počítame len zakončenia línií D a A = 11.-.-.5 = 11 bola prečíslovaná na 6 a políčko 5 si zachovalo svoju hodnotu = 6 + 5 = 11).

Kvantitatívne vyhodnocovanie odtlačkov distálnych falangov prstov

V prvom kroku dermatoglyfického vyhodnocovania sme si na odtlačkoch distálnych článkov prstov zvýraznili trirádiá a jadrá. Ich presná lokalizácia je pri určovaní kvantitatívnych hodnôt kľúčová. Kvantitatívne hodnoty dermatoglyfických útvarov na distálnych článkoch prstov hovoria o veľkosti dermatoglyfického vzoru prostredníctvom počtu papilárnych línií. Toto hodnotenie môže prebehnúť tromi spôsobmi, a to:

- počtom papilárnych línií na úsečke dlhej 1 cm,
- počtom papilárnych línií medzi trirádiom a protiľahlou radiantou,
- počtom papilárnych línií medzi trirádiom a jadrom dermatoglyfického vzoru.

V praxi sa najčastejšie stretávame s tretím spôsobom. To znamená, že si, najčastejšie pravítkom, spojíme trirádius a jadro vzoru na získanom odtlačku prsta a spočítame koľko papilárnych línií nám túto spojnicu preťalo. Neberieme ohľad na to, či papilárna línia končí hneď nad touto spojnicou, či sa rozdvojuje alebo naopak spája. Predmetom záujmu sú papilárne línie pretínajúce spojnicu trirádia a jadra vzoru, aj keď potom hneď ukončia svoje plynutie a pod. Tento postup je jasný v prípade kľučiek. Pri ostatných dermatoglyfických útvaroch je hodnotenie nasledovné. Jednoduchý oblúčik má kvantitatívne hodnoty nulové na základe neprítomnosti východiskových bodov hodnotenia. Aj keď stanový oblúčik má aj trirádius, aj jadro, jeho hodnoty budú napriek tomuto nulové, nakoľko je jadro kolmo nad trirádiom. Akonáhle by sme napočítali hodnotu 1 a viac, už sa nejedná o stanový oblúčik, ale o kľučku. Víry a stredové jadrá majú dve trirádiá. V tomto prípade spájame obe trirádiá s jadrom útvaru a rátame obe hodnoty. Najskôr spojíme s jadrom útvaru trirádius vľavo, spočítame papilárne línie a potom spojíme s jadrom trirádius vpravo. Opäť zrátame papilárne línie, a hodnoty zapíšeme v zlomku tak, ako sme ich aj počítali, čiže zľava doprava. Pri dvojjadrových útvaroch (dvojkľučky a postranné jadrá) spojíme trirádiá s tými jadrami, ktoré sú v ich bezprostrednej blízkosti. Tak spojíme každé jadro s jedným trirádiom a opäť rátame obe hodnoty tak, že najskôr zrátame papilárne línie medzi ľavým trirádiom a jeho prislúchajúcim jadrom, potom zrátame papilárne línie medzi pravým trirádiom a jeho prislúchajúcim jadrom. Zápis robíme podobne, ako pri víroch, čiže hodnoty zapíšeme v zlomku v poradí zľava doprava. Komplikované útvary nevyhodnocujeme kvantitatívnymi metódami. Do vyhodnocovacieho hárku zapíšeme len jeho značku „Acc“. Zo získaných kvantitatívnych hodnôt počítame celkový súčet papilárnych línií na všetkých prstoch ruky (TFRC – *Total Finger Ridge Count*) a absolútny počet papilárnych línií na všetkých prstoch ruky (AFRC – *Absolute Finger Ridge*

Count). Rozdiel medzi týmito charakteristikami spočíva v tom, že pri TFRC pri dvojjadrových útvaroch a útvaroch s dvomi trirádiami započítame len vyššiu napočítanú hodnotu daného odtlačku, bez ohľadu na to, či je táto hodnota v čitateli alebo v menovateli zapísaného zlomku. To pri AFRC môžeme opomenúť, nakoľko sa pri tejto charakteristike ráta s oboma napočítanými hodnotami.

Kvantitatívne vyhodnocovanie odtlačkov dlaní

Najviac využívanými kvantitatívnymi znakmi dlane sú počty papilárnych línií v jednotlivých interdigitálnych oblastiach a veľkosť uhla *atd*.

Počet papilárnych línií v interdigitálnych oblastiach dlane

Počet papilárnych línií v interdigitálnych oblastiach určujeme pomocou podprstových trirádiov. Podobne, ako to mu bolo pri kvantitatívnom vyhodnocovaní odtlačkov distálnych falangov prstov, aj v tomto prípade si vytvoríme spojnicu medzi danými trirádiami a papilárne línie zrátame bez ohľadu na ich predošlé alebo budúce plynutie. V prípade chýbajúceho trirádia (najčastejšie trirádius *c*) musíme pristúpiť k jeho rekonštrukcii. Hraničný bod, ktorý bude predstavovať náš trirádius je priesečník dlhej osi daného prsta a 11. papilárnej línie pod jeho metakarpofalangeálnou ryhou. Takto zrekonštruovaný trirádius slúži výlučne na vyhodnotenie tohto kvantitatívneho znaku.

Uhol atd

V proximálnej časti dlane, medzi tenarom a hypotenarom sa nachádza karpálny trirádius *t*. Abnormálne pozície tohto trirádia sú spoľahlivým ukazovateľom v klinickej dermatoglyfike. Hodnotí sa najmä jeho distálne skĺznutie, ktoré vieme vyhodnotiť prostredníctvom uhla *atd* alebo relatívnej vzdialenosti trirádia. Metóda podľa Penrose (1954) meria uhol *atd* v stupňoch. To znamená, že na dlani vytvoríme spojnice dvojíc trirádiov, a to *a – t* a *t – d.* Následne uhlomerom zmeriame vyznačený uhol. Na vyjadrenie stupňa distálneho skĺznutia karpálneho trirádia sa používajú tri kategórie:

- *t* = nameraný uhol je menší ako 45°,
- *t´* = nameraný uhol je vo veľkosti 45° až 57°,
- *t´´* = nameraný uhol je väčší ako 57,1°.

Druhou metódou vyjadrenia distálneho skĺznutia karpálneho trirádia je metóda relatívnej vzdialenosti trirádia podľa Walkerovej (1957). Pri tejto metóde sa poloha karpálneho trirádia vyjadruje v percentách jeho celkovej vzdialenosti medzi *plica flexoria carpalis* a *plica metacarpophalangeale* III. prsta. Túto vzdialenosť počítame jednoduchou trojčlenkou, kde dĺžka dlane (vzdialenosť

medzi *plica flexoria carpalis* a *plica metacarpophalangeale* III. prsta) predstavuje hodnotu 100 % a vzdialenosť trirádia od *plica flexoria carpalis* je v rovnici naša neznáma. Na základe vypočítaných percentuálnych hodnôt sa karpálne trirádiá zaraďujú do troch kategórií:

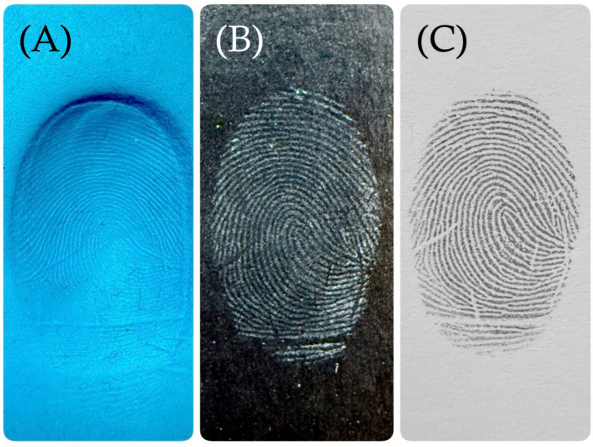
- *t* sa nachádza vo vzdialenosti ≤ 14,9 % od bazálnej ryhy k flekčnej ryhe prostredníka,
- *t´* sa nachádza vo vzdialenosti 15 % – 39,9 % od bazálnej ryhy k flekčnej ryhe prostredníka,
- *t´´* sa nachádza vo vzdialenosti ≥ 40 % od bazálnej ryhy k flekčnej ryhe prostredníka.

Ak sa na dlani nachádza viac karpálnych trirádiov, vyhodnocuje sa skĺznutie všetkých a zapisujú sa v proximo-distálnom smere. Ak karpálny trirádius chýba, označíme ho preškrtnutou nulou „Ø“.

4.4 Dermatoglyfická stopa a jej využitie

V dermatoglyfickej praxi sa stretávame s viacerými druhmi stôp papilárneho terénu. Jednotlivé odtlačky papilárneho terénu do nich zaraďujeme v závislosti od ich viditeľnosti a substrátu, na ktorom boli zanechané. Rozlišujeme:

- impresie (vtlačky) papilárneho terénu,
- latentné odtlačky papilárneho terénu,
- viditeľné odtlačky papilárneho terénu (obr. 35).



Obr. 35 Obrázok znázorňujúci tú istú dermatoglyfickú stopu v podobe impresie (A), zviditeľneného latentného odtlačku prsta (B) a odtlačku prsta získaného atramentovou metódou (C) (foto: Chovancová 2025).

Impresie, inak povedané aj vtlačky, vznikajú vtlačením papilárneho terénu do mäkkého alebo tvarovateľného substrátu. Pre lepšie zviditeľnenie zanechanej stopy používame svetelný zdroj.

Latentné odtlačky prstov, alebo aj voľným okom neviditeľné odtlačky, musia byť zviditeľnené rôznymi metódami (daktyloskopickým práškom, chemikáliami, kombináciou týchto techník, a pod.). Práve tento typ dermatoglyfickej stopy nachádzame najčastejšie na mieste činu ako fyzický dôkaz prítomnosti osoby. Vznikajú otlačením čiastočiek potno-tukovej substancie, nachádzajúcej sa na povrchu kože chirídia, na substrát. Tým, že sa potné póry nachádzajú na vrcholoch papilárnych línií, tak sa pot z potných pórov otlačí na povrch vo forme obrysov, ktoré sú zrkadlovým obrazom papilárnych línií.

Viditeľné odtlačky papilárneho terénu sú viditeľné voľným okom bez použitia akýchkoľvek zviditeľňovacích metód. Vznikajú na pevnom substráte. Ak poskytujú dostatok kontrastu, tak ich vyhodnocujeme priamo. V inom prípade používame svetelný zdroj, aby sme dosiahli lepšiu viditeľnosť jednotlivých štruktúr obsiahnutých v získanej stope.

4.4.1 Zviditeľňovanie latentných dermatoglyfických stôp

Pri zviditeľňovaní latentných daktyloskopických stôp využívame rôzne metódy. Výber vhodného druhu zviditeľňovacej metódy závisí od nosiča dermatoglyfickej stopy a času, ktorý prešiel, od kedy bola stopa zanechaná. Na tomto základe musíme vybrať najvhodnejšiu metódu zviditeľnenia odtlačku papilárneho terénu, aby sme zabezpečili najvyššiu kvalitu získanej stopy a zamedzili deštrukcii zanechaného odtlačku. Využívame:

- fyzikálne metódy,
- chemické metódy,
- fyzikálno-chemické metódy,
- špeciálne metódy.

Fyzikálne metódy

Fyzikálne metódy (obr. 36) patria medzi najrozšírenejšie zviditeľňovacie metódy. Využívajú celú škálu rôznych druhov daktyloskopických práškov s rôznymi vlastnosťami. Druh daktyloskopického prášku sa vyberá tak, aby zviditeľnená stopa kontrastovala so substrátom, na ktorom bola zanechaná. Tieto prášky nanášame prostredníctvom špeciálnych štetcov, ktorých štetiny sa získavajú z pierok vtáka marabu alebo srsti veveričiek alebo sa použijú magnetické aplikátory. Základ tejto metódy je vo využití adhézie stopy. Prášok sa nanesie pro-

stredníctvom štetca a ten následne priľne na stopu, čím ju zviditeľní. Následne sa takto zviditeľnená stopa zaistí fotograficky alebo prostredníctvom daktyloskopickej pásky. Daktyloskopické prášky delíme do viacerých kategórií.

Základné daktyloskopické prášky sa používajú na recentné stopy. Vyrábajú sa vo viacerých farbách, aby sa zabezpečil najvyšší kontrast s nosičom stopy. Nanášajú sa daktyloskopickými štetcami a využívajú sa pri zviditeľnení latentných stôp nachádzajúcich sa na suchých, neporéznych a nepriľnavých povrchoch.

Fluorescenčné daktyloskopické prášky poskytujú určitú výhodu v porovnaní so základnými daktyloskopickými práškami, nakoľko ich môžeme použiť na viacfarebné povrchy. Obsahujú špeciálne farbivá, ktoré po osvetlení vhodným svetelným zdrojom fluoreskujú. Tieto daktyloskopické prášky sa nanášajú rovnakým spôsobom ako prášky základné.

Magnetické daktyloskopické prášky obsahujú magnetickými komponentami obalené farbivo. Tieto komponenty zaručujú vždy rovnakú štruktúru prášku. Nanášame ho špeciálnym magnetickým aplikátorom, ktorý priťahuje tieto komponenty a následne z nich vytvára zhluky, ktoré pripomínajú štetiny. Princíp zviditeľňovania spočíva v tom, že magnetické komponenty sa otierajú o povrch zviditeľňovanej stopy, a tak farbivo priľne k mastným zložkám potu vytvárajúcim danú stopu. Metódu je možné využiť len na nemagnetických povrchoch.

Obr. 36 Obrázok znázorňujúci rôzne druhy daktyloskopických práškov, magnetický aplikátor a daktyloskopické štetce vyrobené z pierok vtáka marabu (foto: Chovancová 2025).

Chemické metódy

Chemické metódy sú účinnejšie ako fyzikálne metódy. Ich základom je chemická reakcia nami zvolenej zlúčeniny s určitou zložkou obsiahnutou v ľudskom pote. Reakcia nie je okamžitá a vyžaduje pomerne dlhý čas na svoje uskutočnenie. Priamo sa na mieste činu nepoužívajú, nakoľko predmet nesúci stopu je nutné zaistiť a premiestniť do laboratória. Najčastejšie používanými chemickými zlúčeninami sú ninhydrín a dusičnan strieborný.

Ninhydrín reaguje s aminokyselinami prítomnými v ľudskom pote. Aplikuje sa vo forme roztoku alebo vo forme spreja. U každého jedinca je zloženie potu odlišné, teda žiadna reakcia ninhydrínu s ľudským potom nebude rovnaká. Nevýhodou tejto metódy je dlhá reakčná doba. Štandardne ide o 24 – 72 hodín, pričom niekedy k zviditeľneniu všetkých detailov je potrebné čakať niekoľko týždňov. Na akceleráciu reakcie sa používa teplo. Výsledný odtlačok má fialovú farbu. Výhodou použitia ninhydrínu je, že touto metódou sa dokážu zviditeľniť latentné stopy staré až 20 rokov. Takto zviditeľnené stopy sa uskladňujú otvorené na vzduchu alebo uzatvorené v obálke.

Chemická metóda využívajúca dusičnan strieborný dosahuje výborné výsledky na všetkých druhoch papiera, dreva a lepenky. Roztok dusičnanu strieborného reaguje s chloridmi nachádzajúcimi sa v latentnom odtlačku papilárneho terénu. Reakcia má za následok vznik hnedých až hnedo-čiernych stôp. Zviditeľnené stopy by mali byť ihneď odfotografované, nakoľko sa zviditeľnená stopa vystavením na svetle znehodnocuje. Pre efektívne zaistenie stopy sa odporúča ich skladovanie v tmavých priestoroch.

Fyzikálno-chemické metódy

Odtlačky prstov je možné vizualizovať aj vďaka fyzikálno-chemickým metódam, medzi ktoré patria jódové pary alebo kyanoakrylátové pary.

Vizualizácia jódovými parami je jednoduchá, lacná, rýchla, reverzibilná a neeliminuje použite iných možných techník. Jódové pary vznikajú uvoľnením pár kryštalického jódu (sublimáciou). Je to proces, pri ktorom lipidy absorbujú pary jódu a získa sa hnedo sfarbený odtlačok papilárneho terénu. Zviditeľnené stopy nie sú trvácne vďaka sublimačným vlastnostiam jódu. Zviditeľnená stopa sa zaisťuje fotograficky a ak nie je chemicky zafixovaná fixačným roztokom dochádza k jej degradácii. Túto zviditeľňovaciu metódu možno použiť na rôznych povrchoch.

Kyanoakrylátové pary sa používajú na všetkých materiáloch. Pracujú na princípe kyanoakrylátovej kvapaliny, ktorá vytvára paru a následne reaguje s mazovými a potnými zložkami obsiahnutými v latentných stopách. Para selektívne polymerizuje a vytvára biely odtlačok papilárneho terénu. Takto

vizualizované stopy sa zaisťujú pomocou základných alebo fluorescenčných daktyloskopických práškov, následne sa odoberú na daktyloskopickú fóliu alebo sa zaistia fotograficky.

Špeciálne metódy

Špeciálne metódy zviditeľnenia latentných odtlačkov prstov sa používajú vo výnimočných situáciách. Ide o metódy, ktoré slúžia na vizualizáciu odtlačkov papilárneho terénu na rôznych druhoch plastu. Najpoužívanejšou špeciálnou metódou zviditeľňovania latentných stôp je laserová metóda. Výsadou tejto metódy je, že povrch, na ktorom sa vyskytujú latentné stopy môže byť variabilne veľký. Jej princípom je, že povrch, na ktorom je latentný odtlačok papilárneho terénu zanechaný sa ožiari zdrojom monochromatického (jednofarebného) koherentného svetla, čím dôjde k luminiscencii potných zvyškov. Túto metódu je možné kombinovať s inými zviditeľňovacími metódami.

4.4.2 Využitie dermatoglyfickej stopy

Najčastejšie využitie dermatoglyfickej stopy nájdeme v kriminalistickej daktyloskopii pri osobnej identifikácii alebo pri populačnej charakterizácii v antropologickom výskume. Papilárny terén, ktorého odtlačky sa využívajú v kriminalistickej daktyloskopii, vykazuje tri základné atribúty, vďaka ktorým je možné stanoviť identitu jedinca. Tieto atribúty vyslovil v roku 1892 Sir Francis Galton, a sú to: jedinečnosť, nemennosť a neodstrániteľnosť. Papilárny terén je jedinečný pre každého jedinca. Dokonca, u monozygotných dvojčiat vykazuje papilárny terén odlišnosti v druhostupňových identifikačných markeroch (minúciách). Čo sa týka nemennosti, bolo by vhodné poznamenať, že papilárny terén je relatívne nemenný. Vieme, že ruka a noha človeka od narodenia rastie, čo je zmena. Nemenná je však konfigurácia dermatoglyfických charakteristík. Taktiež, rastom končatiny nevznikajú nijaké nové papilárne línie. Ich počet, rozloženie a tvar sa rastom končatiny nemení. Tieto charakteristiky zostávajú od narodenia až po smrť jedinca rovnaké bez akejkoľvek zmeny. Zmeny nastávajú až rozkladovými procesmi. Neodstrániteľnosť papilárneho terénu je tiež relatívna. Ako sa spomína vyššie, papilárny terén je možné odstrániť, a to zásahom do vnútornej *dermis*. Takýto zásah má devastačný dopad na papilárne línie, ktoré už neobnovia svoju pôvodnú konfiguráciu. Namiesto nich však vznikne iný dermatoglyfický identifikačný marker, a to jazva. Tá je taktiež do konca života nemenná.

V súčasnosti odtlačky papilárneho terénu nachádzajú aj širšie využitie.

Odhad pohlavia

Pri odhade pohlavia sa využíva hustota epidermálnych líšt a výskyt niektorých treťostupňových identifikačných markerov. Tieto charakteristiky vykazujú silný intersexuálny rozdiel medzi mužmi a ženami. Vo všeobecnosti platí, že muži majú výraznejšie vrásnenie papilárneho terénu ako ženy, teda majú väčšiu hrúbku papilárnych línií ako ženy. To znamená, že na jednotku plochy papilárneho terénu (napr. 1 cm^2) majú papilárnych línií menej ako ženy. Naopak, ženy majú jemnejšie vrásnenie papilárneho terénu ako muži, teda majú papilárne línie tenšie. To znamená, že na jednotku plochy papilárneho terénu ich majú viac.

Najvhodnejšími treťostupňovými charakteristikami na odhad pohlavia sú biele a vmedzerené línie. Obe charakteristiky vykazujú výrazný intersexuálny rozdiel vo svojom výskyte. Biele línie sa vyskytujú s omnoho vyššou pravdepodobnosťou u žien a naopak, vmedzerené línie nájdeme s vyššou frekvenciou výskytu u mužov. Z tohto vyplýva, že na základe spomínaných noriem pre tieto charakteristiky je možné v veľkou pravdepodobnosťou určiť, či daný odtlačok papilárneho terénu patrí žene alebo mužovi.

Detekcia drog a ich metabolitov z latentných odtlačkov papilárneho terénu

Detekcia drog a ich metabolitov z odtlačkov papilárneho terénu je možná vďaka tomu, že latentné dermatoglyfické stopy vznikajú práve potno-tukovými substanciami, ktoré sa nachádzajú na povrchu ľudskej kože. Tieto substancie sa kontaktom pokožky s predmetom naň prenesú, čím vytvoria dermatoglyfickú stopu. Potením sa, okrem iného, telo zbavuje aj zvyškov chemických látok a ich metabolitov. Medzi takéto látky patrí aj nikotín a kotinín.

Nanočastice zlata, dlhé 16 nm sú spolu s flourescečným činidlom pripojeným na antikotinínových protilátkach využívané k naviazaniu kotinínu. Táto reakcia sa prejaví fluoreskujúcimi odtlačkami papilárneho terénu v prípade naviazania kotinínových antigénov.

Získavanie DNA z dermatoglyfickej stopy

Toto využitie dermatoglyfickej stopy je založené na teórii o výskyte DNA v latentných stopách. Tá vychádza z faktu, že *epidermis* je tvorená neustále sa reprodukujúcimi bunkami, ktoré vznikajú mitotickým delením v jej bazálnej vrstve. Najvrchnejšiu časť *epidermis* tvoria odumreté zrohovatené bunky, ktoré sa pri kontakte pokožky s predmetom odlupujú a ostávajú v malom množstve na jeho povrchu. To znamená, že odtlačky papilárneho terénu môžu vo forenznej praxi predstavovať zdroj DNA. Pri ich manipulácii za účelom získania DNA musí byť práca precízna, pričom je potrebné dodržiavať stanovené postupy, aby sa predišlo prípadnému znehodnoteniu DNA.

Odhad telesnej výšky z odtlačkov ruky

Aj pri tomto odhade sa využíva všeobecné pravidlo, že muži dosahujú vyššiu telesnú výšku ako ženy. Na základe tohto faktu sa mnohé štúdie zamerali na hodnotenie korelácií rozmerov ruky s telesnou výškou (obr. 37).

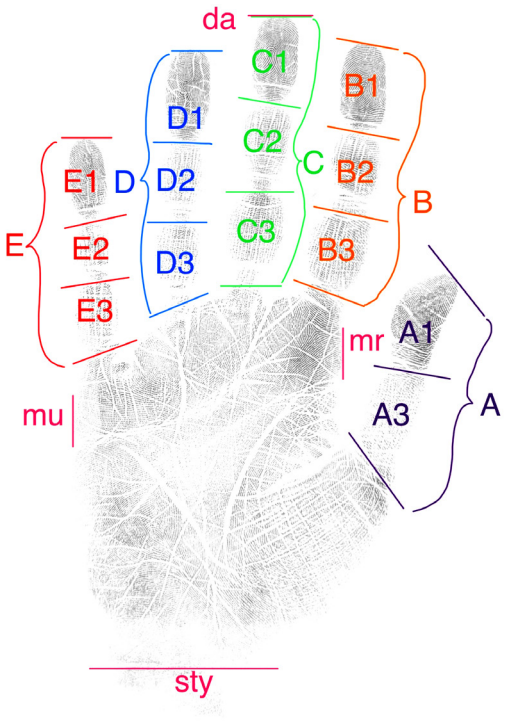
Pri meraní jednotlivých rozmerov ruky je dôležité dbať na správne ohraničenie meranej oblasti, teda správne stanoviť hranice medzi jednotlivými segmentami ruky. Na odtlačkoch ruky sú jednotlivé segmenty od seba oddelené ohybovými ryhami, ktoré sa na atramentovom odtlačku javia ako výrazné biele čiary. Prostredníctvom týchto čiar vieme presne ohraničiť a následne odmerať rozmery dlane, prstov a aj jednotlivých segmentov prstov. Pri meraní základných rozmerov, ako je dĺžka ruky a šírka ruky sa využívajú aj antropometrické body:

- sty – (*stylion*) bod na *processus styloideus radii* na pripaženej končatine lokalizovaný najviac dolu, hmatateľný na palcovej strane predlaktia,
- da – (*daktylion*) bod na konci najdlhšieho prsta na ruke, najčastejšie na treťom prste,
- mr – (*metacarpale radiale*) bod ležiaci najviac radiálne na hlavičke druhého metakarpu,
- mu – (*metacarpale ulnare*) bod ležiaci najviac ulnárne na hlavičke piateho metakarpu.

Následne môžeme pristúpiť k samotnému meraniu požadovaných segmentov, pričom všetky rozmery meriame na pravej a ľavej ruke zvlášť, nakoľko ruky človeka vykazujú určitý stupeň asymetrie. Medzi merané rozmery a segmenty patria:

- HL – dĺžka ruky (sty – da),
- HB – šírka ruky (mr – mu),
- PL – dĺžka dlane,
- A – dĺžka I. prsta,
- A1 – dĺžka distálneho článku I. prsta,
- A3 – dĺžka proximálneho článku I. prsta,
- B – dĺžka II. prsta,
- B1 – dĺžka distálneho článku II. prsta,
- B2 – dĺžka mediálneho článku II. prsta,
- B3 – dĺžka proximálneho článku II. prsta,
- C – dĺžka III. prsta,
- C1 – dĺžka distálneho článku III. prsta,
- C2 – dĺžka mediálneho článku III. prsta,
- C3 – dĺžka proximálneho článku III. prsta,

- D – dĺžka IV. prsta,
- D1 – dĺžka distálneho článku IV. prsta,
- D2 – dĺžka mediálneho článku IV. prsta,
- D3 – dĺžka proximálneho článku IV. prsta,
- E – dĺžka V. prsta,
- E1 – dĺžka distálneho článku V. prsta,
- E2 – dĺžka mediálneho článku V. prsta,
- E3 – dĺžka proximálneho článku V. prsta.



Obr. 37 Segmenty ruky merané za účelom odhadu telesnej výšky jedinca spolu s vyznačenými potrebnými antropometrickými bodmi (foto: Chovancová 2025).

Namerané hodnoty následne dosadíme do lineárnych regresných rovníc. Tieto rovnice sa líšia pre pravú a ľavú roku, kvôli už vyššie spomínanej asymetrii. Ak by sme rozmery merali priamo na rukách probandov a nie na odtlačkoch ich rúk, tak namerané hodnoty dosádzame do rovníc určených pre výpočet telesnej výšky z rozmerov ruky (tab. 7).

Tab. 7 Lineárne regresné rovnice na výpočet telesnej výšky z rozmerov a odtlačkov ruky (Uhrová et al. 2015).

Výpočet z rozmerov ruky	Výpočet z rozmerov odtlačku ruky
Ľavá ruka	
S = 58,899 + 5,469 x HL	S = 62,953 + 5,506 x HL
S = 50,247 + 4,299 x HL + 3,934 x HB	S = 73,901 + 3,622 x HL + 8,524 x C2
Pravá ruka	
S = 48,653 + 6,030 x HL	S = 79,359 + 10,301 x C
S = 51,742 + 7,653 x HL + (-5,783 x E)	S = 58,926 + 8,703 x C + 4,020 x HB
	S = 59,775 + 7,201 x C + 3,556 x HB + 5,253 x A3

Lineárnymi regresnými rovnicami sa zistilo, že najvyšší korelačný koeficient, pri odhade telesnej výšky z odtlačku ruky, bol zistený pri dĺžke ruky. Po tomto rozmere nasledovala dĺžka dlane, kedy bol korelačný koeficient podstatne nižší. Čo sa týka rozmerov prstov ruky alebo ich jednotlivých segmentov, korelačné koeficienty dosahovali veľmi nízke hodnoty. Na odhad telesnej výšky z odtlačkov ruky človeka sa preto odporúča vyhodnotenie korelačného koeficientu pri rozmere celkovej dĺžky ruky.

4.4.3 Etnická a populačná dermatoglyfika

Etnická dermatoglyfika vyjadruje rozdiely vo frekvenciách výskytu jednotlivých dermatoglyfických útvarov medzi populáciami. Táto variabilita je obrovská. Aby sme mohli populáciu definovať dermatoglyfickými charakteristikami, analyzovaný súbor musí byť dostatočne veľký. Jednou z možností dermatoglyfického populačného výskumu je výpočet P.I.I. (Pattern Intenzity Index), inak nazývaný aj Volockoj index (1937). Je to jediný pravý index, ktorý vyjadruje priemerný počet trirádiov. V staršej literatúre ho môžeme nájsť ako deltový index, nakoľko delta je staršie pomenovanie pre trirádius. Tento index môžeme počítať pre celú populáciu alebo pre jedinca, a to nasledovne:

$$P = \frac{L + 2W\,(\%)}{A + L + W\,(\%)} \,.\, 100 \text{ (pre celú populáciu)}$$

$$P = \frac{L + 2W}{10} \text{ (pre jednotlivca)}$$

Dermatoglyfickým populačným výskumom sa zistili nasledovné frekvencie výskytu jednotlivých dermatoglyfických útvarov v daných populačných celkoch.

U obyvateľov Európy (europoidného obyvateľstva) je typický vyšší výskyt kľučiek v porovnaní s ostatnými dermatoglyfickými útvarmi. Dosiahnuté hodnoty výskytu útvarov v tejto populácii sú: L = 60 %, W = 36 % a A = 4 %. Z toho vyplýva hodnota P.I.I. = 10,77 – 14,65.

Obyvateľstvo Ázie (mongoloidné obyvateľstvo) má pomerne vyváženú frekvenciu výskytu kľučiek a vírov. Konkrétne dosahujú hodnoty W = 47 %, L = 51 %, A = 2 %. Vyššia frekvencia vírov sa odzrkadlí aj vo vyššom P.I.I. = 13,45 – 15,9. Analýzou lokálnych populácií sa zistila mimoriadne vysoká frekvencia vírov u obyvateľov ostrova Sachalin (Orokovia), u ktorých táto frekvencia dosiahla hodnotu 60 – 80 % a tým aj P.I.I. dosahuje vysokú hodnotu, a to 16 – 18. Ainovia sa po dermatoglyfickej stránke podobajú europoidom. Japonská populácia patrí medzi najlepšie preskúmané ázijské populácie. Predstavuje priemer pre mongoloidných obyvateľov s mierne zvýšenou frekvenciou oblúčikov.

U obyvateľov Afriky sa vyskytuje vyššia frekvencia kľučiek a oblúčikov v porovnaní s europoidnou populáciou. Dermatoglyfické útvary dosahujú frekvencie W = 27 %, L = 64 %, A = 9 % a P.I.I. varíruje medzi hodnotami 11,43 – 13,54. Analýzou lokálnych populácií sa opäť zistili odchýlky v tomto trende, a teda u afrických Pygmejov je zvýšený výskyt oblúčikov (nad 9 %). Populácia Khoi je charakteristická zníženou frekvenciou vírov (19 %) a nepatrne zvýšenou frekvenciou kľučiek (74 %). Obyvatelia San (Krováci) sa taktiež vyznačujú nepatrne zvýšenou frekvenciou kľučiek (72 %).

Čo sa týka Indonézie, Austrálie a Oceánie, tak z dermatoglyfického hľadiska bolo hodnotené domorodé obyvateľstvo, kde bol zistený vysoký výskyt vírov (77 %), a tým pádom aj vysoké P.I.I. 17,7.

Pôvodné obyvateľstvo bolo dermatoglyficky hodnotené aj v Amerike, konkrétne Inuiti a Indiáni. Zaujímavosťou bolo, že u Inuitov žijúcich v Grónsku bola zistená približne rovnaká frekvencia výskytu jednotlivých dermatoglyfických útvarov ako u obyvateľov ázijského kontinentu, kým u Inuitov žijúcich na ostrove Buffin boli zistené frekvencie dermatoglyfických útvarov podobné europoidnému obyvateľstvu. Inuiti z východného pobrežia Grónska mali mimoriadne vysokú frekvenciu výskytu vírov a vysoké hodnoty P.I.I. (17,13). U Indiánov boli zistené nasledovné hodnoty frekvencií výskytu dermatoglyfických útvarov: W 43 %, L 52 %, A 5 %, P.I.I. 12,33 – 15,15, pričom sa zistila výnimka v lokálnej populácii Indiánov žijúcich v Brazílii, ktorý vykazovali zvýšenú hodnotu P.I.I., a to 17.

4.4.4 Klinická dermatoglyfika

Dermatoglyfické charakteristiky našli využitie aj v klinickej praxi. Táto teória spočíva na základe toho, že dermatoglyfy ako jeden z telesných morfologických znakov vychádzajú z genetickej informácie jedinca. To znamená, že na tomto základe je možné hľadať súvislosť medzi ich utváraním a vývinom geneticky podmienených ochorení. Pri skúmaní dermatoglyfov je snaha odhaliť ich charakteristické utváranie, ktoré súvisí s konkrétnymi ochoreniami. Takto by dermatoglyfy mohli slúžiť ako znak pre diagnostiku dedičných ochorení. Najväčšie uplatnenie by našli pri tých ochoreniach, ktoré sa u človeka prejavia až v neskoršom veku. Takýmto príkladom sú rôzne psychiatrické ochorenia, ktoré sú vrodené, no prepuknú najmä v období adolescencie jedinca vplyvom určitého spúšťača (traumatický zážitok, experimentovanie s drogami a podobne). Je veľmi dôležité spomenúť, že vzhľadom k masívnej migrácii neurálnych buniek práve počas vývinu dermatoglyfov, ktorá prebieha v rovnakom období intrauterinného vývinu a v tej istej zárodočnej vrstve, môžu dermatoglyfy zaisťovať nepriame spojenie s defektami vo vývine mozgu, prejavujúcimi sa neskoršími psychiatrickými ochoreniami. V tejto súvislosti sa sledujú vybrané dermatoglyfické charakteristiky, ktoré vykazujú určité abnormálne hodnoty. V prípade preukázania silného vzťahu medzi utváraním papilárneho terénu a špecifickými ochoreniami by mohli byť abnormálne dermatoglyfy využiteľné pri jednoduchej prvotnej diagnostike. Tiež by mohli dopomôcť k ranému odhaleniu ochorenia, čím by sa zamedzilo rozvinutiu ochorenia a zabezpečila by sa včasná prevencia. Dôležité sú aj charakteristické nálezy pacientov trpiacich chromozomálnymi aberáciami, ktorých diagnóza nie je komplikovaná a prebieha na základe vyšetrenia karyotypu. V týchto prípadoch býva psychické aj somatické postihnutie natoľko závažné, že analýza dermatoglyfov má sekundárny význam. Prítomnosť abnormálnych dermatoglyfov u týchto jedincov potvrdzuje hypotézu o ich častejšom výskyte u jedincov trpiacich určitým genetickým alebo psychiatrickým ochorením. Na základe doterajších neúplných výsledkov je však využitie dermatoglyfov v klinickej medicíne, aj napriek sľubným záverom, stále obmedzené.

Abnormálne dermatoglyfy u pacientov trpiacich chromozomálnymi aberáciami

Ako už bolo spomínané, jedinci trpiaci chromozomálnymi aberáciami sú nositeľmi určitých dermatoglyfických abnormalít.

Pacienti trpiaci Downovým syndrómom (trizómia 21. chromozómu) majú všeobecne jemnejšie vrásnenie kože. To znamená, že ich papilárny terén je niž-

ší s väčším počtom tenších papilárnych línií. Ich dermatoglyfické útvary na prstoch rúk vykazujú znížený počet papilárnych línií medzi jadrom a trirádiom vzoru, čo znamená, že majú nízky TFRC. Kým zdraví jedinci majú na svojej dlani tri výrazné ohybové flekčné ryhy, pacienti trpiaci touto aberáciou majú výrazné ohybové ryhy na dlani len dve. Distálna transverzálna ryha a proximálna transverzálna ryha splynuli do jednej s názvom transverzálna flekčná ryha. Aj keď majú jedinci trpiaci touto aberáciou dokonalo vyvinuté kĺby v malíčku ruky, na pokožke medzi distálnym a mediálnym článkom prsta absentuje ohybová ryha. Tento jav nazývame „single crease". Ďalej u týchto jedincov zaznamenávame ulnárne posunutú palcovú flekčnú ryhu (radiálna longitudinálna ryha), vysoký výskyt rozsiahlych útvarov na hypotenare, častý výskyt kľučiek typu (L) v III. interdigitálnom priestore, zníženú frekvenciu výskytu útvarov vo IV. interdigitálnom priestore a znížený počet papilárnych línií medzi trirádiami *a – b*. Karpálny trirádius je distálne skĺznutý, vyskytuje sa takmer v strede dlane. Ďalej sa u pacientov trpiacich Downovým syndrómom vyskytuje znížená frekvencia výskytu vírov na distálnych falangoch prstov spojená s výrazným zvýšením frekvencie výskytu kľučiek. Odlišnosti vykazujú aj dermatoglyfy na stupajach týchto pacientov. Na chodidle sa vyskytuje výrazná ohybová flekčná ryha medzi I. a II. prstom, ktorú inak nazývame aj „sandálová" flekčná ryha. Tiež majú zvýšenú frekvenciu útvarov vo IV. interdigitálnom priestore a hypotenare chodidla.

Patauov syndróm (trizómia 13. chromozómu) zasahuje do výskytu dermatoglyfických charakteristík nasledovne. Jedným z veľmi častých znakov je výskyt nadpočetného prsta. Tento jav nazývame polydaktýlia. Ďalej sa u týchto jedincov vyskytuje zvýšená frekvencia výskytu radiálnych kľučiek a oblúčikov na úkor ulnárnych kľučiek. Karpálny trirádius je skĺznutý distálne. Trirádius *a* je skĺznutý radiálne, čo má za následok zvýšenie počtu papilárnych línií medzi trirádiami *a – b*. Proximálna radianta vychádzajúca z trirádia *a* má tendenciu zakončenia v tenare. Ďalej u jedincov trpiacich touto aberáciou môžeme pozorovať zvýšenú frekvenciu útvarov v III. interdigitálnom priestore a naopak, vo IV. interdigitálnom priestore znížený počet útvarov. U 60 % pacientov je výskyt „single crease" na malíčku a transverzálnej flekčnej ryhy na dlaniach.

Dermatoglyfické nálezy pacientov trpiacich Turnerovým syndrómom (monozómia chromozómu X) nepodliehajú značným zmenám v porovnaní so zdravou populáciou. Najvýraznejším znakom je signifikantné zvýšenie priemerných hodnôt TFRC, ktorý v priemere dosahuje hodnotu až 154. Je to vďaka veľkosti dermatoglyfických útvarov. Koža týchto jedincov je tenká a zvráskavená s výraznými poduškami a sekundárnymi flekčnými ryhami. Papilárny te-

rén ďalej vykazuje tendenciu k ulnárnemu posunu trirádia *b*, čo má za následok zvýšený počet papilárnych línií medzi trirádiami *a – b*. V III. a IV. interdigitálnom priestore môžeme pozorovať zvýšenú frekvenciu výskytu dermatoglyfických útvarov, ktoré vybiehajú výrazne proximálne do dlane. V prípadoch, kedy sa dermatoglyfický útvar v interdigitálnom priestore nevytvoril, prebiehajú proximálne radianty z podprstových trirádiov v transverzálnom trende. Karpálny trirádius je aj v tomto prípade skĺznutý distálne. Čo sa týka dermatoglyfických abnormalít na stupajach, tak u týchto jedincov sa vyskytujú veľké distálne víry a kľučky v oblasti halukalu.

Trizómia 18. chromozómu sa inak nazýva aj Edwardsov syndróm. Títo jedinci sú dermatoglyficky charakterizovaní veľmi vysokou frekvenciou oblúčikov, ktoré predstavujú až 90 % všetkých útvarov. U 40 % postihnutých týmto syndrómom sa oblúčiky vyskytujú na všetkých prstoch ruky. Tento jav nazývame monomorfné ruky. Pojem monomorfné ruky sa neviaže špecificky na oblúčiky, jeho podstatou je výskyt jedného typu útvaru na všetkých prstoch oboch rúk. V zdravej vzorke populácie sa najčastejšie vyskytujú monomorfné ruky pre dermatoglyfický znak ulnárnej kľučky. Ďalej sa u pacientov trpiacich Edwardsovým syndrómom vyskytuje zmenené rozloženie radiálnych kľučiek v porovnaní so zdravou populáciou, pričom sa ich väčšina vyskytuje na palci (62 %), kým u zdravej vzorky populácie na ukazováku. Taktiež u nich môžeme pozorovať častý výskyt transverzálnej flekčnej ryhy a „single crease“ na malíčku.

Cri-du-chat syndróm vzniká deléciou krátkeho ramienka 5. chromozómu. Aj títo jedinci vykazujú určité dermatoglyfické abnormality. V tomto prípade línie na dlani vykazujú longitudinálny priebeh a karpálny trirádius skĺzol distálne. Na prstoch rúk jedincov trpiacich týmto syndrómom nájdeme najčastejšie oblúčiky. Dermatoglyfickou charakteristikou je aj to, že u nich neexistujú intersexuálne rozdiely vo frekvencií dermatoglyfických útvarov. Ich papilárny terén vykazuje znaky typické pre syndaktýliu.

Jedinci postihnutí Klinefelterovým syndrómom (XXY) majú všeobecnú tendenciu k tvorbe malých vzorov, teda vzorov s nízkou kvantitatívnou hodnotou a tiež bol u nich zaznamenaný znížený počet papilárnych línií medzi trirádiami *a – b*.

Dermatoglyfické abnormality sa objavujú aj pri veľmi zriedkavých genetických aberáciách. Príkladom je aj Wolf-Hirschhornov syndróm, ktorý patrí medzi extrémne zriedkavé chromozomálne poruchy. Je spôsobený čiastočnou deléciou krátkeho ramienka 4. chromozómu. Jedinci postihnutí týmto syndrómom vykazujú veľké množstvo dermatoglyfických osobitostí. Ako príklad môžeme uviesť nízku frekvenciu ulnárnych kľučiek a vírov, a teda vysoký počet

oblúčikov, frekventovanú transverzálnu flekčnú ryhu alebo vysokú frekvenciu výskytu útvarov vo IV. interdigitálnom priestore dlane.

Abnormálne dermatoglyfy u pacientov trpiacich duševným ochorením

Ako bolo spomínané vyššie, abnormálne dermatoglyfy by našli najväčšie uplatnenie pri tých ochoreniach, ktoré sa u človeka prejavia až v neskoršom veku. Mnohé duševné poruchy sa začínajú prejavovať až v rozmedzí obdobia puberty a skoršieho štádia dospelosti. Nemožno ich diagnostikovať prenatálne ani bezprostredne po narodení, či v období detstva. Tieto ochorenia sa javia ako latentné bez akéhokoľvek prejavu, kým neprepuknú vplyvom určitého spúšťača. Spúšťačov je viacero. Z tých bežných môžeme spomenúť hormonálne zmeny vyvolané prirodzeným prechodom do puberty alebo konzumáciu omamných látok a drog. Práve v období puberty a skorého štádia dospelosti dochádza k najčastejšiemu experimentovaniu s drogami. Po dosiahnutí pohlavnej zrelosti nastáva obdobie adolescencie. Toto obdobie sa vyznačuje zvýraznením intersexuálnych pohlavných znakov u mužov a žien, teda aj vývinom sekundárnych pohlavných znakov. Z tohto jasne vyplýva, že sa toto obdobie vyznačuje zvýšenou činnosťou hormonálnej sústavy, čo okrem telesných zmien sprevádza aj premeny v oblasti duševného zdravia. Mnohé príčiny majú v postpubertálnom období za následok prvotné prejavy duševných porúch. Príkladom takéhoto ochorenia je bipolárna porucha alebo schizofrénia.

Schizofrénia patrí medzi najrozšírenejšie psychiatrické ochorenia. Jedná sa o endogénnu psychózu, dlhotrvajúcu psychotickú poruchu, ktorá u pacienta môže viesť k poruchám vnímania reality. Spôsobuje ju nerovnováha chemických látok v mozgu, ktoré sú zodpovedné za komunikáciu medzi neurónmi. Táto nerovnováha môže zapríčiniť vizuálne, audio alebo audiovizuálne halucinácie u jedinca postihnutého týmto ochorením. Faktory, ktoré ovplyvňujú túto nerovnováhu neboli doposiaľ úplne objasnené, no svoju úlohu v nej môžu zohrávať faktory dedičnosti, vplyvy vonkajšieho prostredia, chemické i iné činitele. Pre zisťovanie dermatoglyfických abnormalít sa využívajú kvantitatívne i kvalitatívne dermatoglyfické charakteristiky. Mnohé z nich vykazovali u jedincov trpiacich schizofréniou abnormálne hodnoty v porovnaní so zdravou vzorkou populácie. U jedincov trpiacich schizofréniou sa vyskytoval znížený počet papilárnych línií medzi trirádiami *a – b*. Tiež sme u nich zistili znížený počet celkového počtu papilárnych línií na prstoch rúk (TFRC) a mierne zvýšený uhol *atd*. Veľmi často sa u týchto jedincov vyskytovala disociácia papilárnych línií. Rozdiely boli zistené aj vo frekvenciách výskytu dermatoglyfických útvarov, a to vo IV. interdigitálnom priestore dlane, kde sa zistila zvýšená frekvencia dermatoglyfických útvarov a rozdiely boli zistené aj vo výskyte

dermatoglyfických útvarov na distálnych falangoch prstov rúk, kde sa zistila zvýšená frekvencia výskytu stredových jadier a oblúčikov na úkor vírov.

Bipolárna alebo maniodepresívna porucha je častá, závažná, väčšinou sa opakujúca porucha nálady. Celosvetová prevalencia bipolárnej poruchy je 1,3 – 1,6 %. Úmrtnosť na toto ochorenie je dvakrát až trikrát vyššia ako u zdravej populácie. Približne 10 – 20 % jedincov postihnutých bipolárnou poruchou si vezme život a takmer tretina pacientov prizná aspoň jeden pokus o samovraždu. Klinické prejavy ochorenia sú rozmanité. Pohybujú sa od miernej hypománie alebo miernej depresie až po ťažké formy mánie alebo depresie sprevádzané hlbokou psychózou. Rovnako ako iné psychiatrické poruchy, ako je schizofrénia a depresia, aj bipolárna porucha je závažné a chronické psychiatrické ochorenie. Najvýznamnejšie pôsobiacim faktorom v etiológii tohto ochorenia sú genetické faktory. Čo sa týka dermatoglyfických charakteristík, aj v tomto prípade nachádzame súvislosť medzi abnormálnymi dermatoglyfmi a abnormálnym vývinom neurálnej sústavy. Medzi spoľahlivé ukazovatele bipolárnej poruchy na papilárnom teréne človeka patrí vyššia hodnota dlaňového uhla *atd* a zvýšená hodnota celkového počtu papilárnych línií na prstoch rúk (TFRC).

Rozdiely boli zistené aj v prípade kvalitatívnych dermatoglyfických charakteristík, konkrétne bola zistená znížená frekvencia výskytu oblúčikov u jedincov trpiacich bipolárnou poruchou a naopak, zvýšená frekvencia výskytu radiálnych kľučiek a vírov.

Z týchto informácií je jasné, že dermatoglyfické charakteristiky naozaj slúžia ako „fosílie“ neskorého prvého a druhého trimestra fetálneho vývinu, čo v spojitosti s duševnými ochoreniami znamená, že za pomoci dermatoglyfických metód by tak potenciálne mohli byť včasne predikované viaceré duševné ochorenia, čím by sa mohli potenciálne využiť ako včasný diagnostický marker. Táto diagnostická metóda by mohla z viacerých dôvodov uľahčiť život mnohým pacientom trpiacim duševným ochorením.

5 VYUŽITIE ULTRAZVUKU PRI ANALÝZE HRÚBOK MÄKKÝCH TKANÍV TVÁRE

Prvé pokusy, ktoré sa týkali analýz hrúbok mäkkých tkanív (HMTT) tváre, sa datujú do konca 19. storočia, kedy Welcker (1883) ako prvý sledoval vzťah medzi lebkou a celkovým výrazom tváre. Odvtedy bolo uskutočnených viac ako 95 výskumov zaoberajúcich sa hrúbkami mäkkých tkanív tváre. Bolo zmeraných viac ako 246 500 antropometrických bodov u viac ako 16 500 jedincov, pričom záujem o výskum HMTT výraznejšie stúpol za obdobie posledných tridsať rokov. Švajčiarsky anatóm Kollman meral hrúbky mäkkých tkanív tváre u 100 žien a spolu s Büchlym sa po prvý raz pokúsili zrekonštruovať fyziognómiu neolitickej ženy pomocou markerov mäkkých tkanív tváre, čo bol zároveň prvý pokus o rekonštrukciu podoby tváre. Začiatkom 20. storočia viaceré výskumy potvrdzujú významnú variabilitu hrúbok mäkkých tkanív tváre (Torrez et al. 2011, Domaracki a Stephan 2006, Simpson a Hennenberg 2002). Dáta boli získavané z kadáverov, avšak táto metóda je spochybňovaná kvôli postmortálnym zmenám ako je strata svalového tonusu, dehydratácia mäkkých tkanív a opuch tela po smrti.

Mäkké tkanivá pokrývajúce tvár sú usporiadané podľa kostného podkladu, ktorý ovplyvňuje celkový výzor tváre. Výzor tváre je taktiež ovplyvnený variabilitou mäkkých tkanív, teda závisí na ich hrúbke, napnutí a na množstve tkaniva v danej oblasti tváre. Množstvo štúdií, ktoré sa zaoberali HMTT dospelo k záveru, že existujú signifikantné rozdiely medzi jednotlivými etnickými skupinami, vekovými kategóriami a medzi pohlaviami. Preto je veľmi dôležité, aby boli vyvinuté individuálne štandardy a stupnice pre jednotlivé skupiny.

Hrúbky mäkkých tkanív tváre výrazne ovplyvňujú výsledky mnohých chirurgických zákrokov tváre. HMTT sa líšia medzi jednotlivými meranými skupinami, kde sú zaznamenávané rozdiely spôsobené pohlavím, vekom, etnickou príslušnosťou a telesnou hmotnosťou.

5.1 Topografia hlavy a stavba tváre

Hlavu možno rozdeliť na mozgovú a tvárovú časť, pričom od krku ju oddeľuje pomyselná línia prechádzajúca cez *protuberantia occipitalis externa*, *linea nuchalis superior* až k *porus acusticus externus* a po dolnom okraji sánky k brade, *menton*.

Mozgovú časť hlavy delíme na štyri oblasti podľa kostí, ktoré tvoria *neurocranium*: *regio frontalis*, *regio parientalis*, *regio occipitalis* a *regio*

temporalis. Oblasti sú silne ovplyvnené kosteným podkladom a mäkké tkanivá v týchto oblastiach majú takmer konštantnú hrúbku (Kos et al. 2014).

Tvár je jedným z najkomplexnejších regiónov ľudského tela. Je tvorená kosťami, ligamentami, svalmi, tukom a kožou. Cotofana et al. (2015) delia tvár na päť častí. Prvou vrchnou vrstvou je koža, ktorá má rôznu hrúbku na rôznych miestach tváre. V infraorbitálnej oblasti je najtenšia, priesvitná a len miestami pripojená k svalu (*orbiculis oculi*). Pod kožou sa nachádza podkožná vrstva tuku, ktorá má taktiež odlišnú hrúbku v rôznych oblastiach tváre. Táto vrstva má rôzne morfologické vlastnosti, v infaorbitálnej oblasti vrchná tenšia vrstva tuku úplne absentuje. Treťou vrstvou je muskuloaponeurotická vrstva. Je badateľná predovšetkým na krku, odkiaľ pokračuje na tvár (na nos a do periorbitálnej oblasti). Pod treťou vrstvou je ďalšia vrstva tuku, ktorá je hrubšia a hlbšie uložená. Takýto hlbšie uložený tuk je uložený v adipocytoch, ktoré sa veľkosťou líšia od tenšej vrchnej vrstvy. Hlavnou úlohou štvrtej vrstvy je tvorba akejsi „kĺzacej" plochy pre svaly a šľachy, ktoré zabezpečujú mimiku tváre. Poslednou a najhlbšou vrstvou je periosteum, ktoré prilieha tesne ku kosti.

Tvárová časť hlavy (*regio facialis*) sa dá od mozgovej časti odlíšiť vlasovou hranicou. Je členitá a morfologicky ju môžeme rozdeliť na tri časti; hornú, strednú a dolnú. Horná časť je definovaná čelom, obočím a očami, teda *regio frontalis*, *regio supraorbitalis* a *regio orbitalis*. Stredná časť tváre sa skladá z *regio nasalis*, *regio buccallis* a *regio zygomatica*. Dolná časť pozostáva z *regio oralis*, *regio mentalis* a *regio cervicalis*.

Pod *regio orbitalis* patria oblasti očných mihalníc, ktoré majú ochrannú funkciu a kryciu funkciu očnice a jej obsahu. Tvar očnej štrbiny môže byť úzky, široko vretenovitý až mandľový. Posledný spomínaný sa vyskytuje najmä u detí. Tvar očnej štrbiny je ovplyvnený vyklenutím hornej mihalnice, ktoré je v zásade väčšie ako vyklenutie dolnej mihalnice, a tiež posunutím vrcholu zakrivenia ku vnútornému kútiku oka. Funkcia hornej mihalnice tak spočíva v prekrývaní a ochrane väčšej časti rohovky a dúhovky (*iris*) než dolnej mihalnice. Na voľnom okraji kože mihalnice vyrastajú riasy, *cilia*.

Regio buccalis a *regio infraorbitalis* sú plynulo topograficky prepojené. Tieto oblasti obsahujú spolu s mimickými a žuvacími svalmi (*musculus masseter* a *musculus buccinator*) najväčší podiel tukového tkaniva na tvári tvoriace základ pre tvárové tukové teleso. *Regio zygomatica* je definované zygomatickými kosťami a zasahuje sem tukové teleso spánkového laloka (*corpus adiposum buccae – processus temporalis*), čím sa vytvára prepojenie *regi zygomatica* a *regio temporalis*.

Regio nasalis je spoločný názov pre oblasť nosa, nosovej dutiny (*cavum nasi*) a vedľajších nosových dutín (*sinus frontalis*, *sinus sphenoidales*, *sinus*

ethmoidales a *sinus maxillaris*). Je ohraničené koreňom nosa, vnútorným kútikom oka, nasolabiálnou ryhou (*sulcus nasolabialis)* a nosovou prepážkou (*septum nasi*). Veľká časť bazálneho podkladu tejto oblasti je tvorená hyalinnými chrupkami, ktoré nasadajú na kostné tkanivo *apertura piriformis*.

Regio oralis je vymedzená perami, nasolabiálnou ryhou a mentolabiálnou ryhou, čo oddeľuje oblasť úst od nosovej prepážky, líc a od brady. U mužov sa táto oblasť vyznačuje rastom tvárového ochlpenia, fúzov. Súčasťou pier sú červené slizničné pery (*vermilion*), ktoré slúžia na prekrytie zubného oblúka spredu až po úroveň očných zubov (*dentes canini*) alebo prvých črenových zubov (*dentes premolares*). *Regio mentalis* má malé rozloženie a pomerne jednoduchú stavbu. Od *regio oralis* je oddelená mentolabiálnou ryhou, *sulcus mentolabialis*, a laterálne plynulo prechádza do *regio buccalis*.

Regio cervicalis je tvorený najmä svalom *platysma.* Rozprestiera sa od *regio oralis*, cez *regio mentalis* až na krk a podkľúčnu oblasť. *Platysma* je podkožný sval, ktorý plynule prechádza do mimických svalov brady a dolnej pery. U starých ľudí často klesá a je viditeľný ako riasa.

5.2 Charakteristika mäkkých tkanív tváre a kostený podklad

Pod pojem mäkké tkanivá tváre spadajú tkanivá: koža, podkožné väzivo, svaly, tukové tkanivo a systém ciev hlavy. Kostné tkanivo, lebka, predstavuje oporu pre mäkké tkanivá a tiež udáva tvar hlavy.

Mäkké tkanivá pokrývajúce tvár sú usporiadané podľa kostného podkladu, ktorý ovplyvňuje celkový výzor tváre. Výzor tváre je taktiež ovplyvnený varírovaním mäkkých tkanív, teda závisí na ich hrúbke, napnutí a na množstve tkaniva v danej oblasti.

Koža je druhý najväčší orgán ľudského tela. Skladá sa z *epidermis*, *dermis* a podkožného väziva, *tela subcutanea*. Ide o orgán s ochrannou, termoregulačnou, imunitnou a vstrebávacou funkciou. Obsahuje kožné deriváty ako sú chlpy, nechty a žľazy. Koža postupne hrubne od tvárovej časti smerom k záhlaviu. Obsahuje potné a mazové žľazy. V mozgovej časti hlavy býva často pokrytá vlasmi. V tvárovej časti je koža hrúbkou aj typom variabilnejšia. Môže byť pokrytá výrazným ochlpením zvyčajne u mužov, v oblasti úst a brady.

Epidermis je vonkajšia vrstva kože s rôznou hrúbkou, od 0,05 mm až po 1,5 mm. Skladá sa z piatich vrstiev: *stratum corneum*, *stratum lucidum*, *stratum granulosum*, *stratum spinosum* a *stratum basale*.

Dermis sa nachádza pod *epidermis* a obsahuje pomerne veľký podiel kolagénu (66 – 69 %), ktorý definuje elasticitu kože. Jej hrúbka sa pohybuje

od 0,3 mm až do 3,0 mm. Skladá sa z dvoch vrstiev – papilárnej (tenšia) a retikulárnej (hrubšia). Papilárna vrstva obsahuje hrebeňovité výbežky, papily, ktoré zasahujú do *epidermis* do hĺbky 0,5 až 1 μm. Obsahuje nervové zakončenia a krvné kapiláry. Retikulárna vrstva nasadá na *hypodermis.*

Podkožné väzivo, *tela subcutanea*, *hypodermis*, predstavuje na hlave prepojenie medzi *galea aponeurotica* (šľachovitý základ pre *musculus epicranius* prichytená k okostici), *fascia* a kožou. Slúži ako mechanická ochrana, na tepelnú izoláciu aj ako rezerva živín v období hladovania. Hrúbka podkožného väziva je variabilná v rámci populácie. Závisí od lokalizácie na tele a tiež množstva tukového tkaniva (adipocytov) v tejto vrstve.

Pod podkožným väzivom sa nachádza *fascia*, ktorú možno definovať ako voľné spojivové tkanivo. Pokrýva všetky štruktúry tela, oddeľuje svaly a umožňuje ich prispôsobenie na mechanické namáhanie a teda aj schopnosť regenerácie.

Corpus adiposum buccae predstavuje najobjemnejšiu a najväčšiu časť tukového tvárového tkaniva a jeho hrúbku ovplyvňuje etnická príslušnosť. Nachádza sa vo *fossa infratemporalis* a zasahuje svojimi výbežkami a lalokmi do viacerých oblastí hlavy. Tuk, ktorý ho tvorí, je poddajný a má významnú funkciu pri prijímaní potravy (satie, žutie, prehĺtanie), ale jeho objem je ovplyvnený výživou len minimálne.

Na tvári sa nachádza celkovo 40 svalov, z ktorých každý má špecifickú úlohu pri pohyboch tváre. Svaly tváre sa odlišujú od ostatných svalov tela svojou veľkosťou ako aj rozsahom plochy a hĺbky kože, ktorú ovplyvňujú. Medzi základné svaly tváre, najmä pre estetiku tváre sú svaly čela (*musculus frontalis* a *musculus procerus*), svaly očí a nosa (*m. orbicularis oculi*, *m. nasalis*, *m. levator labii sup. alaque nasi*), zygomatické svaly a svaly líc (*m. zygomatic minor*, *m. zygomatic major* a *m. buccinator*), svaly úst a pier (*m. orbicularis oris*, *m. risorius*, *m. levator labii sup.*, *m. depressor labii inf.*, *m. levator anguli oris*, *m. depresor anguli oris*) a svaly brady (*m. mentalis* a *platysma*). Celkovo hrúbka mäkkých tkanív je najtenšia na čele (*regio frontalis*) a na jarmovej kosti (*regio zygomatica*) a najhrubšia v *regio buccalis*, kde sa nachádzajú silné žuvacie svaly, ako aj tukové teleso.

Kosť v tomto prípade slúži na upínanie svalstva ako aj iných, už spomínaných podporných štruktúr tváre. Dôležitými kosťami lebky v tvárovej časti sú *os frontale*, *ossa nasalia*, *os zygomaticum*, *maxilla* a *mandibula*. Hoci kostné tkanivo slúži ako základ pre tvár, ovplyvňuje len časť vizuálnej stránky tváre, čoho príkladom môže byť oblasť čela a lícnych kostí, oblasť koreňa nosa a brady. Tvar očí, umiestnenie špičky nosa, či tvar pier nie je ovplyvnený kostným podkladom a nedá sa predikovať z lebky samotnej. Kostný podklad je najdô-

ležitejším faktorom usporiadania mäkkých tkanív na tvári. Štúdia Richarda et al. 2009 (CT metóda) priniesla porovnanie anatomických vzťahov kostného podkladu a mäkkých tkanív tváre u mladých (18 – 30 rokov) a starších ľudí (55 – 65 rokov). Zistili, že skelet tváre sa aj v dospelosti remodeluje. *Os frontale* sa so zvyšujúcim sa vekom pohybuje anteriórne a inferiórne, naopak *maxilla* sa pohybuje presne opačne teda posteriórnym a superiórnym smerom.

Na lebke je možné sledovať prejavy sexuálneho dimorfizmu, ako aj určiť etnickú príslušnosť. Určenie pôvodu (etnickej príslušnosti) je dôležité vykonať ešte pred určením pohlavia, keďže etnická príslušnosť definuje intersexuálne rozdiely. Príkladom môžu byť lebky z juhovýchodnej Ázie, u ktorých sú len malé intersexuálne rozdiely. Môže dôjsť k zameneniu pôvodu kostrových pozostatkov muža z juhovýchodnej Ázie za ženu americkej príslušnosti, kaukazoidnej variety. Bolo tiež preukázané, že intersexuálne rozdiely sú najvýraznejšie u negroidnej variety.

Medzi časti lebky, ktoré sú dôležité pri stanovení pohlavia patria:

- *mandibula* – u mužov hranatá a u žien je sánka oblejšia,
- *processus alveolares* – u žien sa vyskytuje alveolárna prognathia,
- tvar *os frontale* (tvar čela a *glabella*) – u muža je ubiehavé, u žien je čelo viac ploché s výraznými *tubera frontalia*,
- tvar *os occipitale* (*planum occipitale*) – u muža je relatívne plochá s výrazne vyčnievajúcou *protuberantia occipitalis externa*, u žien je *planum occipitale* zakrivené,
- *processus mastoideus* – u mužov je tento výbežok výrazný a pri položení lebky na podložku je lebka ním podopieraná, u žien je výrazne menší.

Ďalšími časťami, ktoré vo väčšine prípadov zahŕňajú merania sú:

- *palatum durum* – výrazne väčšie u mužov,
- výška *apertura piriformis* – väčšia u mužov, veľkosť *apertura piriformis* je významne ovplyvnená etnickou a geografickou príslušnosťou,
- *ossa nasalia* – u mužov sú konkávne zahnuté v *norma lateralis*.

V rámci stanovenia pohlavia sa vykonávajú aj merania maximálnej dĺžky, výšky a šírky lebky, výšky a šírky tváre ako aj jej častí.

Štúdia od Bejdovej et al. (2018), v ktorej sa zaoberali intersexuálnymi rozdielmi súčasnej populácie a populácie zo 16. až 18. storočia z územia Českej republiky poskytuje prehľad o relatívnej stabilite intersexuálnych rozdielov v populácii v čase. Všeobecne sa intersexuálne rozdiely prejavujú vo veľkosti a tvare. Ženy majú v porovnaní s mužmi väčšie očnice. Mužské očnice sú

hlbšie a svojou šírkou menšie. V oblasti zygomatických oblúkov je u mužov viditeľné väčšie vystúpenie, čo spôsobuje širšiu a väčšiu tvár v porovnaní so ženami.

Intersexuálne rozdiely na sánke sa prejavujú najmä vo veľkosti (bigoniálna šírka; *gonion – gonion*), hoci práve táto kosť býva výrazne ovplyvnená viacerými vonkajšími faktormi (strava, výživa, prostredie). U mužov je sánka robustnejšia, so zdrsneným povrchom v miestach svalových úponov, čo môže byť spôsobené silnejšími svalmi. Tiež dĺžka kondylov a ramien mužskej sánky je väčšia a sklon kondylov je viac anteriórny. Ženy majú menšie sánky a povrch kosti v miestach svalových úponov je hladší.

5.3 Zobrazovacie metódy pri meraní HMTT

HMTT sú merané na vopred stanovených miestach, presne definovaných antropometrických bodoch, či prepojeniach kraniometrických landmarkov s faciálnymi. Medzi metódy, ktoré sa nedajú použiť na meranie živých jedincov patrí metóda vpichovania ihiel. Táto metóda zaznamenáva HMTT u kadáverov a teda merania môžu byť ovplyvnené posmrtnými procesmi alebo polohou kadávera, či vplyvom vektora gravitácie , čím sú považované za zavádzajúce.

HMTT merané na živých jedincoch môžu byť merané metódami: rádiografie, MRI, USG alebo CT a počítačová tomografia CBCT (Cone-beam computed tomography).

Rádiografia

Rádiografia, resp. röntgenografické zobrazenie (RTG) je považovaná za najstaršiu neinvazívnu metódu. Táto metóda bola pri poriaďovaní cefalogramu obmedzená len na dve zobrazovacie roviny tkanív hlavy: *norma lateralis* a *norma*. Hoci je röntgenografické zobrazenie nenáročné časovo ani finančne, nie je najvhodnejšou metódou na merania veľkého súboru práve kvôli radiačnému žiareniu, ktoré zároveň znemožňuje opakované merania. V minulosti bola často využívaná vo forenzných vedách a súdnych vyšetrovaní, pri určení pohlavia, veku, pri zhodnotení fraktúr a pri vyhľadávaní cudzích objektov v tele jedinca.

V súčasnosti sa cefalometrická rádiografia delí na dve metódy – na konvenčnú metódu a digitálnu metódu. Konvenčná metóda je klasická cefalometrická rádiografia, bez možnosti úpravy sily žiarenia, preto ju možno v súčasnosti považovať za invazívnu. Digitálna metóda je novšia a postupne nahrádza konvenčnú. Digitálne cefalometrické rádiografie sa vyznačujú možnosťou upravenia dávky žiarenia, podľa potreby a je teda „zdravšia“ ako konvenčná.

CT a CBCT

CT umožňuje zobrazovanie na základe kombinácie série röntgenových snímok z rôznych uhlov. Snímky zobrazujú tenké prierezy častí tela, čo umožňuje v medicíne diagnostiku závažných ochorení. Pri takto získaných dátach pre antropologické účely rekonštrukcie tváre je poloha ležmo snímaného jedinca nevýhodná kvôli ovplyvneniu dát o hrúbke mäkkých tkanív gravitáciou.

CBCT je novší druh zobrazovacej techniky CT. Röntgenový lúč ma podobu kužeľa a pri snímaní sa pohybuje v špirále, čo umožňuje získanie väčšieho množstva obrazových rezov (150 až 800 rezov). Následne pomocou softvérov, sú zosnímané rezy premietnuté do 3D modelu a dáta môžu byť použité pri rekonštrukcii podoby tváre. Na rozdiel od CT je možné merať jedinca vo vzpriamenej polohe, čím sa získavajú vhodnejšie a nedeformované dáta pre účely rekonštrukcie podoby tváre. Pri porovnaní dávky ožiarenia jedinca medzi CT a CBCT, práve CBCT má takmer stokrát nižšiu dávku žiarenia (102 – 298 μSv), čím sa stáva výhodnejším pri opakovaných meraniach živých jedincov. Pre porovnanie, dávka žiarenia CT je približne 860 μSv.

MRI

Existuje veľa špecializovaných typov MRI (hybridné MRI, rádiofrekvenčný systém, srdcové MRI, spektroskopia, MRI mozgu, a iné) a teda, sila ich magnetického poľa je odlišná (0,5 – 1,5 Tesla).

MRI je všeobecne považovaná za výbornú metódu zobrazovania mäkkých aj tvrdých tkanív tváre, keďže vie zachytiť aj štruktúry ako sú dutiny lebky alebo cievy. MRI sa čoraz častejšie využíva vo forenzných vedách vďaka svojej presnosti, opakovateľnosti a jednoduchej manipulácii s dátami.

3D tvárový sken (volumetrické metódy)

Metódy vyhodnocovania 3D tvárového skenu sa používajú najmä v medicíne pre úpravu estetiky tváre (napr. čeľustná ortopédia), pomáhajú pri stanovení správnej diagnózy (patologické stavy) a umožňujú výber správnej liečby. Z 3D tvárového skenu sa vyhodnocuje objem mäkkých tkanív tváre, posudzujú sa asymetrie aj zmeny v objeme tkanív spôsobených liečbou alebo spôsobených samotným kostným podkladom. Volumetrické metódy boli v štúdiách využité aj pri vyhodnocovaní výsledkov meraní HMTT, kedy sa proband nachádzal v rôznych polohách, čo umožnilo stanovenie vhodných dát pre rekonštrukciu podoby tváre.

5.3.1 Metódy merania HMTT pomocou USG

Na hodnotenie zápalov alebo patologických lézií mäkkých tkanív, štruktúry mäkkých tkanív a povrchu kože sa bežne využíva ultrasonografia. Umožňuje zachytenie detailných snímok v pomerne vysokom rozlíšení. Merania USG, na rozdiel od rádiografie, sú výhodné z hľadiska neprítomnosti škodlivého radiačného žiarenia. Jeho jediná nevýhoda môže spočívať v ľudskej chybe vyvíjania tlaku na merané tkanivá.

Ultrasonografia, ktorá sa dnes považuje za neoddeliteľnú súčasť medicínskej diagnostiky, vychádza z princípov sonaru. Táto technológia, pôvodne vyvíjaná už pred prvou svetovou vojnou na detekciu ponoriek a podmorských objektov, bola výrazne zdokonalená počas druhej svetovej vojny, čo umožnilo jej neskoršiu adaptáciu na medicínske účely. Jedným z priekopníkov jej klinického využitia bol rakúsky neurológ Karl Dussik, ktorý v roku 1942 aplikoval ultrazvukové vlny na zobrazovanie mozgových štruktúr. Tento postup, známy ako hyperfonografia, využíval vysokofrekvenčné ultrazvukové vlny na detekciu zmien v hustote tkanív, čo umožnilo prvé pokusy o diagnostiku nádorov. V nasledujúcich desaťročiach došlo k rozvoju dvojrozmerného a trojrozmerného ultrazvukového zobrazovania, čo umožnilo širšie využitie tejto metódy v klinickej medicíne a forenzných vedách.

Na rozdiel od röntgenového žiarenia USG nepatrí medzi elektromagnetické žiarenie. Ide o druh zvuku, ktorý je podobný počuteľnému zvuku, avšak jeho frekvencie sú oveľa vyššie, a teda mimo rozsahu ľudského sluchu. USG je definovaný ako frekvencia vyššia, než akú dokáže ľudské ucho vnímať, teda viac ako 20 000 Hz (20 kHz). Nižšie frekvencie majú lepšiu schopnosť prenikať hlbšie do tkanív, ale na úkor nižšieho rozlíšenia. Naopak, vyššie frekvencie poskytujú kvalitnejšie a detailnejšie obrazy, avšak nie sú vhodné na zobrazenie hlbokých štruktúr.

Ultrazvukové impulzy produkované skenermi pracujú s frekvenciou v rozsahu od 2 do 10 MHz, pričom 1 MHz predstavuje 1 000 000 cyklov za sekundu. Tieto impulzy majú trvanie približne 1 mikrosekundu, čo predstavuje milióntinu sekundy, a opakujú sa približne 1000-krát za sekundu. Ultrazvukové vlny majú rovnaké základné vlastnosti ako počuteľný zvuk, medzi ktoré patrí frekvencia, rýchlosť, vlnová dĺžka a výkon. Frekvencia ultrazvukovej vlny označuje počet vĺn, ktoré prejdú určitým bodom za sekundu. Diagnostický USG využíva frekvencie zvyčajne v rozsahu od 2 do 15 MHz, čo ho odlišuje od počuteľného zvuku. Pri diagnostike sa využíva aj schopnosť rôznych tkanív meniť ultrazvukové vlny. Niektoré tkanivá tieto vlny priamo odrážajú, zatiaľ čo iné ich rozptyľujú, kým sa vrátia k prevodníku ako ozveny. Rýchlosť, ktorou ultrazvukové vlny

prechádzajú rôznymi tkanivami, je odlišná. Napríklad mäkkými tkanivami prechádzajú približne rýchlosťou 1 540 metrov za sekundu.

USG predstavuje formu energie, ktorá sa šíri vo forme vĺn vytváraných vibráciami susediacich molekúl v prostredí. Zobrazovanie pomocou USG je založené na relatívne jednoduchej technológii. Zvukový impulz sa vytvára v prevodníku, čo je zariadenie schopné meniť jednu formu energie na inú. Tento impulz je vyslaný do tela, kde sa šíri tkanivami. Počas tohto procesu sa časť ultrazvukových vĺn postupne oslabuje v dôsledku absorpcie a odrazu. Časť zvukových vĺn sa však odráža späť k prevodníku vo forme ozveny. Odrazený signál (ozvena) je následne spracovaný a zobrazený na monitore ako bod, ktorého jas závisí od intenzity vrátenej ozveny. Poloha tohto bodu na obrazovke je vypočítaná pomocou systému registrácie, ktorý zabezpečuje presné zobrazenie polohy štruktúr vo vnútri tela. Pri práci s ultrazvukovým prístrojom je dôležité zabezpečiť vyvážený obraz, kde budú ozveny z rôznych hĺbok tkaniva približne rovnako silné. Po návrate ozvien k prevodníku je možné pomocou prijatých impulzov rekonštruovať dvojrozmernú mapu tkanív, ktoré boli v dráhe ultrazvukového lúča. Tieto údaje sa ukladajú do počítača a zobrazujú na monitore, zvyčajne vo forme videa.

Ozveny s vysokou intenzitou (silné ozveny) sa na obrazovke zobrazujú ako jasnejšie body, čo umožňuje vizualizáciu rôznych štruktúr v tele s vysokou presnosťou. Týmto spôsobom ultrazvukové zobrazovanie poskytuje prehľad o vnútorných orgánoch a tkanivách bez použitia ionizujúceho žiarenia.

Ultrasonografia je bezpečná a efektívna zobrazovacia metóda, ktorá sa využíva už viac ako pol storočia na podporu diagnostiky a usmerňovanie rôznych medicínskych postupov. Počas posledných dvoch desaťročí sa ultrazvukové zariadenia stali kompaktnejšími, kvalitnejšími a cenovo dostupnejšími, čo výrazne prispelo k rozšíreniu tzv. „point-of-care ultrasonografie“, teda ultrazvukového vyšetrenia priamo pri lôžku pacienta, ktoré vykonáva a interpretuje lekár na mieste.

Hlavné typy ultrazvukového zobrazenia

1. A-mode

Jednorozmerné zobrazenie, známe ako A-mode, je najjednoduchší typ ultrazvukového obrazu. Tento spôsob zobrazenia využíva graf, kde poloha jednotlivých výchyliek na osi predstavuje miesto, odkiaľ sa ultrazvuková vlna odrazila, a výška výchyliek zobrazuje množstvo odrazenej energie. Názov „A-mode“ pochádza z anglického slova „Amplitude“, pretože odrazy modulujú amplitúdu týchto výchyliek. Tento spôsob zobrazenia sa v súčasnosti využíva predovšetkým v oftalmológii na biometrické merania.

2. B-mode

Zavedenie dvojrozmerného zobrazenia, známeho ako B-mode, predstavovalo zásadný pokrok vo vývoji ultrazvukových diagnostických metód. Tento typ zobrazenia umožnil detailnejšie zobrazovanie anatomických štruktúr, pričom v počiatočných fázach sa obraz generoval pomaly ručným posúvaním a nakláňaním sondy s jediným meničom. Táto technológia však bola limitovaná, pretože nebola schopná zachytiť dynamiku pohyblivých štruktúr, ako sú napríklad srdcové steny alebo chlopne, čím sa jej použitie obmedzovalo výlučne na statické zobrazovanie. Tento nedostatok bol však postupne prekonaný s ďalšími technologickými pokrokmi. B-mode (brightness mode) je spôsob ultrazvukového zobrazenia, pri ktorom je jas každého pixelu na obraze úmerný sile odrazeného ultrazvukového signálu. Výsledkom je klasický obraz v odtieňoch šedej, ktorý je bežný na všetkých ultrazvukových monitoroch. Jasnejšie oblasti reprezentujú štruktúry, ktoré odrážajú viac ultrazvukových vĺn, zatiaľ čo tmavšie oblasti zobrazujú menej reflexné tkanivá alebo tekutiny. Tento režim umožňuje detailné dvojrozmerné zobrazenie anatomických štruktúr, ktoré je štandardom v ultrasonografii.

V súčasnosti sa používa výlučne dynamický typ B-mode zobrazenia, ktorý sa vyznačuje rýchlym snímaním a zobrazovaním s rozšírenou stupnicou šedej (128 až 256 odtieňov). Tento systém vytvára sériu obrazov danej oblasti, čím umožňuje jej plynulé prehliadanie a zároveň poskytuje možnosť sledovania pohybu v reálnom čase pokrokmi.

3. M-mode

M-mode (movement mode) je spôsob ultrazvukového zobrazenia, ktorý zobrazuje pohyb tkanív alebo štruktúr v čase. Funguje tak, že sleduje jedinú líniu obrazu v B-mode a zobrazuje ju ako kontinuálnu stopu na časovej osi. Jasné čiary v M-mode predstavujú viac reflexné tkanivá, zatiaľ čo tmavšie oblasti indikujú menej reflexné štruktúry, ako napríklad tekutiny. Tento režim umožňuje zaznamenávať pohyby, ako je napríklad tlkot srdca, a poskytuje informácie o dynamike pohybujúcich sa štruktúr. M-mode sa často používa v echokardiografii na hodnotenie pohybu srdcových stien a chlopní u plodov, detí aj dospelých.

4. Dopplerovské zobrazovanie

Dopplerovská ultrasonografia funguje na princípe zmeny frekvencie zvuku, ktorá nastáva, keď sa zdroj zvuku a objekt v pohybe navzájom približujú alebo vzďaľujú. Tento jav sa využíva na zachytenie pohybu, napríklad prietoku krvi, pričom výsledný signál sa môže zobrazovať rôznymi spôsobmi v závislosti od toho, aké informácie sú potrebné. Hoci sa Doppler často používa na zobraze-

nie prietoku krvi, v skutočnosti zobrazuje akýkoľvek pohyb, čo môže niekedy viesť k artefaktom (nepresnostiam či skreslenému obrazu) alebo nesprávnym interpretáciám. Dopplerovská ultrasonografia ponúka niekoľko spôsobov zobrazenia na hodnotenie pohybu a prietoku krvi:

- **Spektrálny Doppler:** zaznamenáva rýchlosť pohybu vo vzťahu k času a umožňuje sledovať pulzáciu krvi, napríklad v pupočníkovej tepne.
- **Farebný Doppler:** zobrazuje smer a rýchlosť toku krvi vo forme dvojrozmerného obrazu – farebnej mapy. Rýchlosti prietoku sú na tomto obraze rozlíšené pomocou rôznych farieb.
- **Power Doppler:** namiesto smeru toku zobrazuje energiu signálu a je obzvlášť vhodný na detekciu nízkorýchlostného toku, ako je kapilárna perfúzia. Tieto techniky sú neoceniteľné pri hodnotení vaskularizácie a prietoku krvi, s významnými aplikáciami v kardiológii a posudzovaní cievnych štruktúr.

Typy ultrazvukových sond

Transduktor (sonda) je najdrahšou súčasťou každého ultrazvukového prístroja. Obsahuje jeden alebo viac prevodníkov, ktoré vysielajú ultrazvukové impulzy a prijímajú odrazené echo signály počas vyšetrenia. Ultrazvukové sondy prešli významným vývojom od najstarších modelov s jediným prevodníkom až po moderné viacprevodníkové sondy vybavené analógovo-digitálnymi prevodníkmi. Každá sonda je zaostrená na určitú hĺbku. Tvar či veľkosť ultrazvukového lúča závisí od typu sondy a generátora. Podľa typu sondy sa líši aj tvar získaného ultrazvukového obrazu. Podľa tvaru získaného obrazu sa rozlišujú tri základné typy sond: sektorové, lineárne a konvexné.

Ultrazvukové prístroje umožňujú pripojenie viacerých typov sond, pričom výber správnej sondy závisí od typu vyšetrenia. Každá sonda obsahuje označenie pre správnu orientáciu obrazu a prepínanie medzi nimi sa vykonáva mechanicky alebo automaticky podľa zvoleného režimu vyšetrenia. Vďaka neustálemu vývoju sond a ultrazvukovej technológie dnes môžeme presne a neinvazívne zobrazovať rôzne anatomické štruktúry, čím sa zvyšuje diagnostická presnosť a komfort pacienta.

Sektorové sondy produkujú vejárovitý, takmer trojuholníkový obraz. Majú veľkú výhodu v tom, že dokážu zachytiť celý akustický rez vyšetrovanej oblasti z relatívne malej vstupnej plochy, tzv. akustického okna. Vďaka tejto konštrukcii dokáže skenovať cez veľmi malý akustický priestor, čo ju robí ideálnou pre vyšetrenia hornej časti brucha, gynekologické a kardiologické vyšetrenia. Sektorové sondy využívajú elektronické vychýlenie ultrazvukového lúča pomocou technológie „phased array“, ktorá umožňuje presné smerovanie vĺn.

Lineárne sondy poskytujú obdĺžnikový obraz a vytvárajú pravouhlé zobrazenie. Skladajú sa z veľkého množstva miniatúrnych prevodníkov usporiadaných do jednej línie („linear array"). Používajú sa najmä na vyšetrenie povrchových orgánov, v pôrodníctve, pri vyšetreniach prsníkov, štítnej žľazy a taktiež v kombinácii s Dopplerovskými modulmi na vyšetrenie ciev.

Konvexné sondy predstavujú kombináciu lineárneho a sektorového zobrazovania. Usporiadaním prevodníkov pripomínajú lineárne sondy, avšak ich zakrivený povrch umožňuje širší sektorový záber, čím poskytujú väčší diagnostický prehľad. Hoci menej detailne zobrazuje štruktúry blízko sondy, umožňuje dobrý prehľad vo väčších hĺbkach. Vďaka menšej kontaktnej ploche sa ľahšie používa, napríklad pri vyšetreniach brucha.

Špeciálne typy ultrazvukových sond

Maticové sondy (matrix transducers) predstavujú novú generáciu ultrazvukových prístrojov s miniaturizovanými piezoelektrickými prevodníkmi. Vďaka ich špeciálnemu usporiadaniu ponúkajú vyššiu ostrosť a kontrast obrazu. Endokavitárne sondy sa používajú na detailné zobrazovanie orgánov v blízkosti telových dutín. Podľa účelu sa delia na: transvaginálne (gynekologické vyšetrenia), transrektálne (urologické a gastroenterologické vyšetrenia), transesofageálne (kardiologické vyšetrenia), peroperačné a laparoskopické (chirurgické zákroky). Tieto sondy môžu zobrazovať v jednej rovine (monoplanárne), v dvoch kolmých rovinách (biplanárne) alebo vo viacerých rovinách (multiplanárne). Endoluminálne sondy s veľmi vysokými frekvenciami (30 – 40 MHz) sú určené na detailné zobrazovanie stien tenkých dutých orgánov pomocou katétrov.

Dôležitý je aj ultrazvukový gél, ktorý zlepšuje kvalitu zobrazovania tromi spôsobmi: zabezpečuje optimálne akustické spojenie, čím umožňuje maximálny prenos ultrazvukových vĺn zo sondy do tela, eliminuje vzduch a minimalizuje straty signálu, a zároveň uľahčuje plynulý pohyb sondy po pokožke, čo zvyšuje presnosť a komfort vyšetrenia.

5.4 Symetria a asymetria tváre

Symetria často súvisí s príťažlivosťou a krásou jedinca, avšak dokonalá symetria tváre je neatraktívna a rušivá. Preto je určitá miera bilaterálnych rozdielov (rozdiel medzi pravou a ľavou stranou tváre rozdelenej stredovou líniou tváre) považovaná za normálnu a žiaducu. Ak však bilaterálne rozdiely prekračujú prah normálnej variability tváre, sú vnímané ako deformita či patológia. Zväčša platí, že jedna strana tváre je väčšia ako druhá, pričom najčastejšie ide o pravú stranu tváre. Priemerné rozdiely v antropometrických bodoch od stre-

dovej línie sa pohybujú od 4 do 12 % vzdialenosti. Pokiaľ je teda pravá strana tváre väčšia, antropometrické body na nej sú posunuté, a to najmä v smeroch *inferior* a *posterior*.

Pre vyhodnotenie asymetrie tváre v medicíne sa používa 3D sken tváre a jeho prekrytie so zrkadlovou verziou 3D skenu. Tým je vytvorená tzv. diferenciálna mapa tváre, ktorá umožňuje analýzu prekrytia alebo neprekrytia antropometrických bodov tváre. Pomocou počítačových programov je možný výpočet nadbytočných alebo chýbajúcich objemov tkanív.

Asymetriu tváre je možné rozdeliť na statickú a dynamickú. Okrem toho asymetriu je možno ďalej deliť na prirodzenú a neprirodzenú, čo je ovplyvnené stupňom variability tváre, v chirurgii označovaným ako intervenčný prah. Pri identifikácii asymetrie je dôležitý kostný podklad, lebka, ktorý danú asymetriu môže spôsobiť. Na rast lebky môžu pôsobiť rôzne genetické faktory, či environmentálne a etiologické faktory (traumy), ktoré môžu viesť k poruchám rastu, a to už od veku troch rokov. Asymetria lebky a tváre je najčastejšia v dolnej časti tváre.

Prirodzená statická asymetria sa často prejavuje vo výške obočia, umiestnenia očí, nosa, postavení kútikov úst, rastom zubov aj samotnej lebky, nerovnomerným prežúvaním jedla. Príkladom môže byť najčastejšie sa vyskytujúca bradová asymetria, ktorá nie je závažná pokiaľ neprekračuje intervenčný prah od stredovej línie o 2 mm v bode *menton*.

Za neprirodzenú statickú asymetriu sa považujú viditeľné deformity tváre v pokoji, pričom často ide o prípady deformít samotného kostného podkladu tváre.

Dynamická asymetria, asymetria pri pohybe mimiky tváre, je viditeľná najmä pri usmievaní sa v oblasti úst, líc a očí. Príčinami neprirodzenej dynamickej asymetrie môžu byť tiež deformácie lebky, a to v oblasti sánky, ale aj poškodenia mäkkých tkanív tváre – jazvy a popáleniny, či ochorenia a neuromuskulárne poruchy.

5.5 Faktory vplývajúce na starnutie tváre

Proces starnutia je prirodzený jav, ktorý mení vzhľad tváre konštantnou rýchlosťou počas života jedinca. Tento proces je spôsobený rednutím kostí, svalovou atrofiou a zmenami v koži. Postupne mäkké tvárové tkanivá podliehajú rôznym vonkajším a vnútorným vplyvom a tiež strácajú oporu kostného tkaniva. Starnutie môžeme rozdeliť na vnútorné a vonkajšie. Vnútorné, nazývané aj chronologické starnutie, je séria degeneratívnych procesov na biochemickej a molekulárnej úrovni. Pri chronologickom starnutí platia rozdielne vzorce starnutia zapríčinené pohlavím a etnickou príslušnosťou.

Znaky starnutia môžu byť rozdielne v rôznych fázach života jedinca:

1. od detstva do dospelosti – ide najmä o zmeny kraniofaciálnym rastom, teda zväčšovanie rozmerov očí, nosa a úst, relatívne zmenšenie plochy čela,
2. od dospelosti do staroby – prevažujú zmeny štruktúry, farby a elasticity kože, tvorba línií, vrások, záhybov a škvŕn.

Vnútorné starnutie je úzko spojené s vonkajším starnutím, teda faktormi ako sú: podmienky prostredia (UV žiarenie, slnečné žiarenie, chemické znečistenie ovzdušia, teplota), životný štýl (stravovacie návyky, spánkové správanie, fajčenie) a mechanické opotrebovanie (opakovaný svalový stres a ochorenia).

5.5.1 Vnútorné starnutie

Toto starnutie je geneticky kódované, nemenné, nezvrátiteľné. Avšak môže byť ovplyvnené a urýchlené vonkajším starnutím.

Vplyv veku jedinca

Vek spôsobuje na tvári anatomické transformácie. Môže byť použitý preto ako základná kategorizácia jedincov, keďže podmieňuje starnutie rovnako ako iné faktory. Základnými skupinami znakov, ktoré sa menia v závislosti od veku sú: tvar, štruktúra a farba.

Zmeny tvaru ovplyvňujú hrúbku tkanív. Môžu byť spôsobené rastom či degradáciou kostného tkaniva, tiež zmenami v svaloch a distribúcii tukového tkaniva a vplyvom gravitácie spojeným so stratou elasticity kože, čo vedie k „ovísaniu“ kože.

Prestavba kostí je neustály proces, počas celého života človeka. V detstve prevažuje tvorba kostí, v dospelosti sa procesy prestavby vyvážia avšak v starobe začínajú prevažovať procesy resorpcie kosti. Tieto procesy sú teda ovplyvnené ťahom spôsobeným svalstvom tváre a stratou elasticity kože, čo vytvára na kostné tkanivo neustály tlak.

Príkladom prestavby kostného tkaniva starnúcej tváre môže byť pokles tkanív v oblasti *os zygomaticum*, či vizuálny posun brady smerom dopredu spôsobený skracovaním a zošikmením sánky (*protubernatia mentalis*) a zväčšovaniu jej uhla (*angulus mandibulae*).

Čo sa týka hrúbok mäkkých tkanív tváre a ich zmien v závislosti od veku jedinca, rozdiely sa pohybujú od 1 do 2 mm, najmä v oblastiach hornej pery (*midphiltrum*, *alare*, *fossa canina*), okluzálnej línie, oblasti spodného okraja očnice (*orbitale*) a v oblasti *angulus mandibulae* (*gonion*). Tieto zmeny sa prejavujú a ovplyvňujú merania v závislosti od polohy meraného jedinca.

Zmeny štruktúry a farby ovplyvňujú samotné starnutie kože. Medzi zmeny štruktúry môžeme zaradiť vrásky, póry a celkový mikroreliéf tváre. Zmeny farby predstavujú „žltnutie" a nerovnomerné objavenie sa hnedých škvŕn, nazývaných aj *lentigines*.

S pribúdajúcim vekom sa štruktúra tváre mení. V stredovej línii tváre sa najvýraznejšie zmeny diali po dovŕšení 40 rokov. Tieto zmeny zahŕňajú pokles objemu mäkkých tkanív v oblasti očníc, prehlbuje sa nazolabiálna ryha a záhyby v oblasti sánky a čeľuste. Zmeny v rozložení podkožného tuku sú pravdepodobne spôsobené kombináciou atrofie a migrácie tukových buniek. Zmenami štruktúry a výzoru tváre sa zaoberalo množstvo výskumov, vrátane Balut et al. 2014, ktorí pri meraní a vyhodnocovaní 320 jedincov tureckej populácie dospeli k záverom, že vek je jedným z najdôležitejších faktorov, ktoré ovplyvňujú hrúbky mäkkých tkanív tváre.

Vplyv pohlavia jedinca

Vplyv pohlavia, teda intersexuálny rozdiel v starnutí, je charakterizovaný intersexuálnymi rozdielmi v samotnej hrúbke kože, hrúbke mäkkých tkanív, hormonálnou aktivitou, ktorá býva často spojená u žien s menopauzou. U žien bolo dokázané, že po 20. roku života je hrúbka mäkkých tkanív stabilná, až do 60. roku, kedy hrúbka rapídne klesá až o 50 % na niektorých častiach tváre.

Intersexuálne rozdiely boli preukázané najmä v oblasti zygomatických kostí (bod zygomatic), ktoré dosahovali rozdiely viac ako 2 mm v HMTT. Iné rozdiely sa pohybovali od 1 do 1,5 mm a to v oblastiach hornej pery (*midphiltrum*, *alare*, *fossa canina*) a dolnej pery, ktoré boli hrubšie u mužov. U žien boli zistené hrubšie tkanivá ako u mužov najmä na lícach a tiež rozdiely v hrúbke mäkkých tkanív v antropometrických bodoch *supraorbital* a *glabella*. Celkovo boli mäkké tkanivá hrubšie u mužov ako u žien a najhrubšie v bode *nasion*, najmenšia hrúbka mäkkých tkanív bola v bode *rhinion*. Hrúbka mäkkých tkanív sa u žien zvyšovala priamo úmerne s ich vekom. U mužov je signifikantne najväčšia hrúbka mäkkých tkanív na špičke nosa (*pronasale*), ktoré sa s rastúcim vekom ďalej zväčšuje.

Výskum Al-Mashhadanyho et al. (2015) potvrdil, že HMTT sú vo všeobecnosti väčšie u mužov ako u žien kvôli testosterónu, ktorý pozitívne ovplyvňuje proces syntézy kolagénu. Naopak, u žien prítomný estrogén ovplyvňuje predovšetkým syntézu kyseliny hyalurónovej, a preto s pribúdajúcim vekom a klesajúcimi hladinami estrogénu u žien prechádzajúcich do obdobia menopauzy, klesá aj produkcia kyseliny hyalurónovej, rovnako ako sa znižuje produkcia kolagénu, čo robí ženskú pokožku tenšiu.

Vplyv etnicity jedinca

Vplyv etnicity jedinca na mäkké tkanivá tváre nie je ľahké určiť pre vplyvy klimatických podmienok, znečistenia prostredia ako aj rozdielností životného štýlu. Rozdiely etnických skupín vznikajú ako variácia v melanozómoch a tiež v množstve tukového tkaniva.

V štúdiách boli pozorované najmä ženy, u ktorých boli zistené rozdiely v tvorbe vrások, hydratácii tváre, pigmentácii škvŕn či vo vylučovaní mazu. U kaukazoidných žien sa vytvárajú vrásky vo väčšom počte a tvár majú menej hydratovanú. Afroameričanky sa vyznačujú hyperpigmentáciou škvŕn a prebieha u nich vylučovanie väčšieho množstva mazu. Čo sa týka rozdielov v množstve FM, u mongoloidov je hrubšie v oblasti tváre, čo spôsobuje plochý vzhľad tváre. Pri porovnaní starnutia u žien podľa etnicity, je možno tvrdiť, že kaukazoidky starnú rýchlejšie ako mongoloidky.

Autori niektorých štúdií upozorňujú na fakt, že dáta HMTT sú vysoko etnicky špecifické, preto konštatovania, ktoré platia pre jednu skupinu, či populáciu, s vysokou pravdepodobnosťou nebudú platiť pre tie ďalšie.

5.5.2 Vonkajšie starnutie

Vplyv prostredia

Najviac postihnutými časťami tela environmentálnymi faktormi, slnečným žiarením a atmosférickým znečistením sú tvár, krk, chrbát, povrch ramien a ruky. Atmosférické znečistenie môže kvoli bioakumulácii ťažkých kovov zvyšovať riziko zdravotných problémov kože (zápaly, opuchy, akné, rakovina, ekzémy), ako aj ochorenia iných orgánov.

Svetlo, resp. vystavenie kože slnečnému svetlu počas života jedinca, spôsobuje zmeny aj na bunkovej úrovni a môže vyvolať až patologické stavy, napr. rakovinu kože. Za prirodzené starnutie vplyvom svetla je považovaná tvorba vrások, pieh (*ephelides*), a vznik pigmentových „stareckých“ škvŕn (*lentigines*).

Vplyv mechanického opotrebenia

Koža, rovnako ako všetky mäkké tkanivá ľudského tela sú počas života človeka neustále mechanicky opotrebovávané, čím môže dochádzať k ich deformácii v závislosti od stupňa opotrebenia. Príkladom prirodzeného starnutia mechanickým opotrebovaním je pokles žuvacej sily. Tá je ovplyvnená stravovacími návykmi, pohybom sánky a počtom zhryzov (pattern žutia), ako aj tvrdosťou a veľkosťou potravy. Zníženie sily žutia môže byť tiež spôsobený patológiami a ochoreniami.

K mechanickému opotrebovaniu prichádza aj následkom tráum – od tvorby tržných rán, podliatin, poškodení zubov a krvácania na tvári, až k fraktúram kostí tváre. Takýto typ sa vyskytuje najmä u športovcov, pri loptových hrách a kontaktných športoch. Následkom tráum môže byť zhrubnutie mäkkých tkanív v poranených oblastiach, tvorba hrčiek, dokonca čiastočná nervová paralýza, čím dochádza k oslabeniu tkaniva.

Vplyv životného štýlu a starostlivosti o tvár

Za typ životného štýlu sa dá považovať fajčenie, resp. nikotín, ktorý všeobecne vplýva negatívne na zdravie človeka Spôsobuje zmeny v koži človeka, fajčiara, môže vyvolať ireverzibilné dermatologické ochorenia, rovnako ako iné závažnejšie ochorenia, či zhoršenie regenerácie a hojenia zranení. Časté fajčenie môže vyvolať na tvári takzvané predčasné starnutie – tvorbu vrások, bledú až sivastú farbu kože, pokles elasticity pokožky, presun tukového tkaniva, a tiež predčasné vypadávanie vlasov. Bolo dokázané, že koža 40-ročného fajčiara je porovnateľná s kožou 70-ročného nefajčiara.

Starostlivosť o pleť, jej výživa a ochrana zvyšuje odolnosť voči prirodzenému starnutiu. Chirurgické estetické zásahy ako vkladanie implantátov, opravy oklúzii alebo extrakcie zubov, tiež ovplyvňujú hrúbky mäkkých tkanív tváre. Pri procese hojenia po zásahoch dochádza k resorpcii alebo k hyperostóze kostného tkaniva, ako aj k zhrubnutiu mäkkých tkanív.

Vplyv BMI

De Greef et al. (2009) potvrdili významnú úlohu BMI pri zmenách v hrúbkach mäkkých tvárových tkanív využívaných pri aproximácii tváre. Najviac ovplyvnenými časťami ktoré preukázali korelácie hrúbky a BMI sú antropometrické body na sánke (*gonion* a *midmandible*), ďalej okluzálnu líniu a spodný okraj oka (*orbitale*). V týchto bodoch boli spôsobené rozdiely do 5 mm v hrúbkach mäkkých tkanív tváre. Naopak vôbec alebo minimálne boli ovplyvnené oblasti hornej pery (*midphiltrum*), nos (*alare* a *rhinion*) a čelo (*glabella*).

Starbuck a Ward (2007) využili rôzne hrúbky mäkkých tkanív tváre rozdelených podľa kolísania hmotnosti na hodnoty: vychudnutých, normálnych a obéznych tvárí pri rekonštrukcii podoby tváre. Vychudnutá tvár má podobné alebo menšie hodnoty ako normálna tvár a zasa hodnoty normálnej tváre sú rovné alebo menšie ako hodnoty obéznej tváre.

5.5.3 Vplyv polohy tela/hlavy

Mäkké tkanivá tváre ovplyvnené starnutím menia svoje rozloženie pri polohách, v ktorých sa jedinec nachádza. Ide o vektor gravitácie, ktorý vyvoláva deformácie, napätia a stres tkanív. Miera jeho prejavu závisí od času stráveného v polohách ležmo (na chrbte alebo na bruchu) a v polohe vzpriamenej. Výrazný vplyv na presun tkanív medzi polohami majú aj vek, BMI jedinca, aj jeho etnická príslušnosť.

Pri polohe ležmo, v porovnaní s polohou vzpriamenou, sa tkanivá posúvajú smerom dolu a laterálne (zmena HMTT nastáva v laterálnych antropometrických bodoch) a to spôsobuje rozdiely od 1,2 mm do 3 mm. Zmeny bývajú tiež viditeľné v oblasti úst a nasolabiálnej ryhy (*alare*), kde sa rozdiely pohybujú od 1 mm do 2,4 mm. Tieto rozdiely sa zvyšujú vekom jedinca, avšak neprekračujú hranicu rozdielu 4 mm na centrálnej časti tváre.

Ďalšie rozdiely v HMTT boli dokázané v antropometrických bodoch *menton* (2,6 mm), *zygomatic* (0,7 mm) a *gonion* (1,1 mm) a teda možno povedať, že hĺbkový rozdiel býva významný pri meraniach. Podľa Buluta et al. (2017) rozdiely v laterálnych okrajových častiach tváre (bod *supraglenoid*) môžu dosahovať až 10 mm. Práve kvôli vzniknutým rozdielom v HMTT, Munn a Stephan (2018) odporúčajú merať vo vzpriamenej polohe, ak zozbierané dáta majú byť použité pri kraniofaciálnej rekonštrukcii.

Pri meraní vo vzpriamenej polohe (v sede), by proband mal sedieť pohodlne, s neutrálnym výrazom. Hlava probanda by sa mala nachádzať vo frankfurtskej horizontále (FH). Oči probanda by mali byť otvorené a ústa uvoľnené, t. j. pootvorené v prípade oklúzii, alebo uzatvorené, bez tzv. naťahovania pier. Meranie vo vzpriamenej polohe je výhodnejšie vzhľadom na menšie ovplyvnenie HMTT vektorom gravitácie.

Meranie v horizontálnej polohe (ležmo) nie je z hľadiska presnosti a pohodlia meraného probanda odporúčané, jednak kvôli „neprirodzenému“ pôsobeniu vektora gravitácie, tzv. „gravitačné skreslenie“, aj kvôli prípadnej oklúzii probanda.

5.6 Využitie údajov o hrúbkach mäkkých tkanív tváre

Údaje o hrúbke mäkkých tkanív tváre ako dáta antropometrickej kvantifikačnej analýzy sú dôležitými pre antropológiu, ale aj pre ďalšie oblasti vedy. Antropometria býva často využívaná v kontexte lekárskeho vyšetrenia, či sledovania rozvoja diagnostikovaných patologických lézií alebo prirodzenej variabilite v populácii. Teda sa dá považovať za neodmysliteľnú súčasť vied,

ako je medicína, kozmetológia, dermatológia, kriminalistika, archeológia, forenzná patológia a paleoantropológia. Taktiež je potrebná v odvetviach umenia, najmä v sochárstve kde bola využívaná už od starovekých čias Grécka.

V súčasnosti sú údaje o hrúbke mäkkých tkanív tváre rôznych populácií využívané najmä pri rekonštrukciách podoby tváre z lebky historicky významných osobností v rámci forenznej patológie na identifikáciu neznámych jedincov, keď iné metódy identifikácie zlyhajú. Používa sa aj v paleoantropológii, kde je možné rekonštruovať tváre, či celé telá prehistorických jedincov.

5.6.1 Rekonštrukcie podoby tváre

Hrúbky mäkkých tkanív tváre pri rekonštrukciách tváre by mali zodpovedať veku a výsledná rekonštrukcia by mala zodpovedať podobe zosnulého počas života v čase jeho smrti. Pod pojmom rekonštrukcia podoby tváre (aproximácia tváre) je myslený proces vytvárania pravdepodobného vzhľadu tváre na základe kostrových pozostatkov. Tvár by mala zodpovedať veku jedinca v okamihu smrti alebo jej mladšej verzií. Využíva sa vo forenzných vedách ako posledná metóda identifikácie, kedy iné metódy (napr. zubné záznamy alebo analýza DNA) neurčili identitu. Vytvorením pravdepodobnej tváre, je možné oslovenie širokej verejnosti pri hľadaní informácii. Ďalším využitím rekonštrukcie podoby, v archeológii, sú historické a dokonca aj prehistorické prípady. Cieľom takýchto rekonštrukcii je priblížiť podobu osôb a pritiahnuť pozornosť verejnosti, často medializáciou.

Existuje veľa rekonštrukčných metód, od modelovania hliny do 3D fyzických podôb po kresbu (2D podoba) a počítačové metódy. Práve počítačové metódy sú jedny z najvyužívanejších. Umožnili hlbšie preskúmanie vzťahov kostného tkaniva s mäkkými tkanivami tváre, zároveň uľahčili manipuláciu s dátami a ich ukladanie do špecializovaných datasetov (tvorba databáz). Okrem meraní HMTT boli potrebné aj anatomické výskumy zamerané na problematické časti tváre, ako sú oči a ich správne umiestnenie, šírka úst, rozmery nosa a ich vzťah k *apertura nasalis*.

Za základné rozdelenie rekonštrukčných metód sa dá považovať delenie podľa rozmerov – dvojrozmerné metódy (2D) a trojrozmerné metódy (3D). Tie sa ďalej môžu deliť podľa ich princípu na manuálne a počítačové.

V rámci 2D metódy je potrebné použitie fotografií alebo röntgenových snímok, na ktoré sa ručne dokreslovali MTT. Využívanie 2D metód je odporúčané najmä v prípadoch kedy lebka neznámeho jedinca je poškodená alebo veľmi krehká, pre 3D manuálne metódy. Pri 2D manuálnych metódach, teda kresbách je možné vytvoriť pomocou priesvitného papiera viacero va-

riant už finálnych čŕt ako sú vlasy, či tvárové ochlpenie, čo je však časovo náročné.

Zavedenie použitia počítačových softvérov v dvojrozmerných metódach umožnilo automatizáciu a zrýchlenie procesu vytvorenia pravdepodobnej tváre a jej viacero možných verzií. V 3D metódach, rovnako ako pri 2D, je dôležité použitie antropometrických bodov. Pri manuálnych metódach sa často modeluje podoba tváre na základe lebky (alebo jej modelu) z hliny, vosku alebo inej umelej hmoty za použitia referenčných údajov a údajov o HMTT. Nevýhodou manuálnych metód je: ich subjektivita, ktorá môže ovplyvňovať výslednú podobu rekonštruovanej tváre, ich časová náročnosť, ako aj ich neopakovateľnosť.

Práve preto sa v súčasnosti využívajú čoraz častejšie počítačové metódy, ktoré pre svoju realizovateľnosť potrebujú základné antropologické dáta rekonštruovaného (vek, pohlavie a etnická príslušnosť) ako aj štatistické údaje o HMTT, ktoré je potrebné získať meraním súčasných populácií. Hoci sú počítačové metódy považované za spoľahlivé, niektoré odchýlky vzniknuté štatistickými údajmi (napríklad z CT skenov) môžu predstavovať rozdiely 2,5 až 5 mm v zrekonštruovanej tvári, čo naznačuje nepresnosť rekonštrukcie.

V súčasnosti existujú štyri základné typy trojrozmerných metód, ktoré boli postupne zdokonaľované:

- antropometrická americká metóda, ktorá využíva údaje o HMTT,
- anatomická ruská metóda,
- kombinovaná manchesterská metóda, inak nazývaná britská metóda,
- počítačová 3D forenzná rekonštrukcia tváre.

5.6.2 Využitie HMTT v iných odvetviach vedy

Estetika tváre je jedným z hlavných dôvodov skúmania tváre v odvetviach vedy, ako sú medicína, dermatológia a kozmetológia. V dermatológii a kozmetológii, boli údaje o HMTT sledované v zmysle starnutia tváre, jeho priebehu vo vrstvách kože a svalov. Kvôli estetike tváre bolo nevyhnutné pochopenie anatómie, topológie tváre a zmien mäkkých tkanív tváre (napr. zmena elasticity kože). Ďalšími dôležitými poznatkami sa stali faktory ovplyvňujúce starnutie MTT alebo faktory spôsobujúce patologické lézie (aktinická a seboroická keratóza), ako je napríklad slnečné žiarenie. Tieto vedomosti umožnili vývoj kozmetických prípravkov, či mikrochirurgických zásahov na tvári (*microblading*).

K úpravám tváre patrí aj pigmentácia, čiže tetovanie, čo je proces vnášania metabolicky inertnej látky do rôznych hĺbok kože (zväčša *dermis*, v hĺbke 1 až 2 mm) alebo do mäkkého tkaniva tváre, kde môže dôjsť k presunu pigmen-

tačnej látky. V extrémnych prípadoch môže nastať trvalé poškodenie a jazvy, čo indikuje zhrubnutie MTT.

V medicíne, v čeľustnej ortopédii sa pri vyšetrení, diagnóze a liečbe, využívajú najmä volumetrické metódy na sledovanie objemu MTT. V minulosti sa mäkké tkanivá posudzovali na 2D zobrazení, čo bolo to nedostačujúce. Preto sú v súčasnosti využívané najmä 3D metódy zobrazovania pomocou počítačových programov.

Ďalšou oblasťou medicíny je plastická chirurgia. Údaje o HMTT sú využívané na posúdenie tváre, rozsahu poškodení (alebo chýb), jej symetrie, možností modifikácie a prípadné určenie miesta „opráv". Tiež sa využívajú skeny tváre na ich geometrické zhodnotenie a porovnanie s algoritmami rozpoznania tváre. Na rozdiel od dermatológie a kozmetológie, plastická chirurgia umožňuje remodeláciu celej tváre, teda aj kostného podkladu, ktorá je vo väčšine prípadov nezvrátiteľná. Nie je využívaná len v zmysle estetiky tváre, ale aj pri rôznych vážnych zraneniach, či vrodených chybách.

6 LABORATÓRNE CVIČENIA Z APLIKOVANEJ ANTROPOLÓGIE

Protokol 1

Hodnotenie kvantity a kvality kostného tkaniva vo vretennej a holennej kosti pomocou ultrazvuku

Metóda: Vlastnosti kostného tkaniva sú hodnotené na základe merania SOS pomocou kvantitatívneho ultrazvukového prístroja Sunlight MiniOmni™ (obr. 38; BeamMed, Inc.).

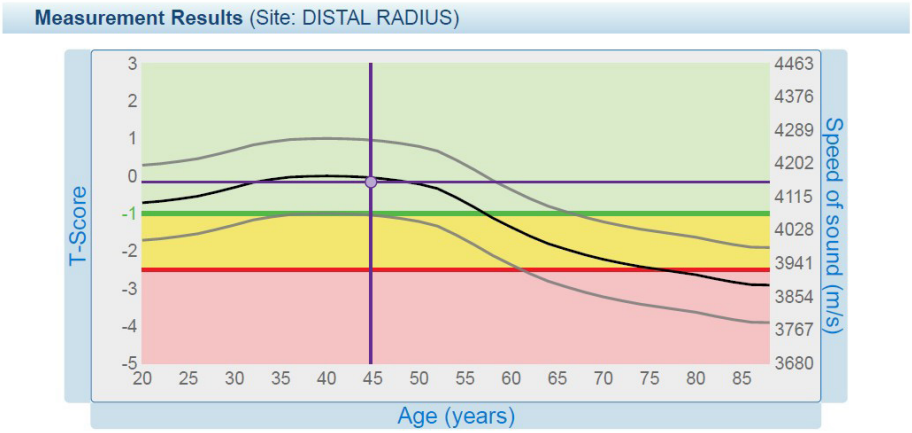
Obr. 38 Prístroj Sunlight MiniOmniTM (foto: Falbová 2025).

Postup:

1. Pred každým meraním prístroj vykonáva automatické overenie kvality sondy (System quality verification), ktoré zahŕňa aplikáciu tenkej vrstvy ultrazvukového gélu na sondu a následné použitie kalibračného fantómu. Kalibračný fantóm obsahuje tabuľku s očakávanými hodnotami SOS pri rôznych teplotách. Pri overovaní kvality merania je potrebné odčítať hodnotu SOS z fantómu podľa aktuálnej teploty.
2. Po automatickom overení kvality sondy sa do softvéru zadajú údaje probanda, vrátane dátumu narodenia, pohlavia, etnického pôvodu a strany tela, na ktorej bude meranie vykonané. Merania sa vykonávajú na vretennej kosti (*radius*) a holennej kosti (*tibia*).

3. Pri vretennej kosti sa presné miesto merania nachádza v polovici vzdialenosti medzi lakťovým výbežkom (antropometrický bod *olecranon*) a koncom tretieho prsta (antropometrický bod *daktylion III*). V prípade holennej kosti je bod merania v polovici vzdialenosti medzi pätovou kosťou (*calcaneus*) a hornou časťou kolenného kĺbu, pričom noha proband a je v sede ohnutá pod uhlom 90°.
4. Po označení bodov merania sa na tieto miesta aplikuje ultrazvukový gél, ktorý zabezpečuje účinný prenos ultrazvukových vĺn. Vyšetrujúci následne plynulo pohybuje sondou v rozsahu 140°, pričom sondu drží oboma rukami a zabezpečuje, aby zostala v kontakte s povrchom kože. Pri meraní vretennej kosti sa sonda umiestňuje bližšie k proximálnemu koncu kosti, zatiaľ čo pri meraní holennej kosti sa sonda pohybuje stredom označeného miesta. Každé meranie sa vykonáva minimálne trikrát a maximálne päťkrát, aby sa zabezpečila presnosť výsledkov.

Výstup: Prístroj meria SOS (m/s), pričom tieto hodnoty sa zobrazujú na referenčnom grafe, ktorý zohľadňuje pohlavie a vek probanda. Softvér prístroja konvertuje hodnoty SOS na T-skóre a Z-skóre. Podľa WHO hodnoty T-skóre nižšie alebo rovné −2,5 indikujú osteoporózu, zatiaľ čo hodnoty medzi −1 až −2,5 sú charakteristické pre osteopéniu. Optimálne T-skóre je väčšie alebo rovné −1. Hodnoty Z-skóre vyššie ako −2 sa považujú za optimálne, zatiaľ čo Z-skóre nižšie alebo rovné −2 signalizuje zníženú BMD. Výstup z merania je znázornený na obr. 39.



Obr. 39 Výstup z prístroja Sunlight Miniomni (Vorobeľová 2025).

Protokol 2

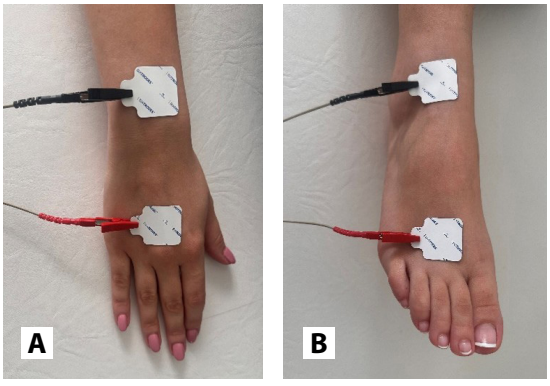
Hodnotenie telesného zloženia prostredníctvom BIA analýzy

Metóda: Komponenty telesného zloženia hodnotené prostredníctvom BIA analýzy na základe merania reaktancie (Xc) a rezistancie (Rz) pomocou prístroja BIA 101 (obr. 40; Akern, S. r. l.).

Obr. 40 Prístroj BIA 101 Akern S.r.l. (foto: Falbová 2025).

Postup:

1. Meranie prebieha v ležiacej polohe (nohy zvierajú uhol asi 45° a ruky s telom 30°). V tejto polohe je potrebné zotrvať aspoň tri minúty pred vykonaním merania.
2. Následne na meranie celkovej bioimpedancie tela sú štvorbodové povrchové jednorazové elektródy umiestnené na ruke (obr. 41A) a nohe (obr. 41B). Štandardná vzdialenosť medzi pármi elektród (na ruke aj nohe) je minimálne 5 cm, pričom jedna elektróda je umiestnená na dorzálnej strane ruky/nohy a druhá na distálnej časti.



Obr. 41 Umiestnenie elektród na ruke (A) a nohe (B) (foto: Falbová 2025).

Výstup: Získané údaje sa spracujú v softvéri BODYGRAM, ktorý vypočíta parametre telesného zloženia, ako sú sodíkovo-draslíková výmena (Na/K), PA, FM, FFM, MM, BCM, TBW, ECW, ICW a BMR. Výsledky sú interpretované na základe referenčných hodnôt s ohľadom na vek, pohlavie a fyziologický stav jedinca. Na obr. 42 je zobrazená ukážka získaného výstupu z programu BODYGRAM.

Obr. 42 Výstup z prístroja BIA 101 (Falbová 2025).

Protokol 3

Hodnotenie telesného zloženia prostredníctvom BIA analýzy

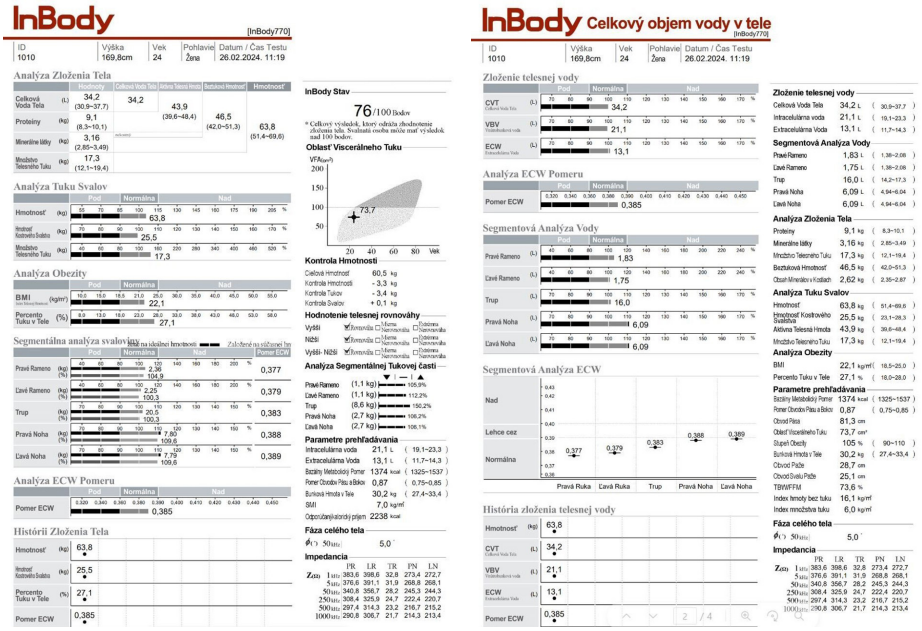
Metóda: Komponenty telesného zloženia hodnotené prostredníctvom BIA analýzy pomocou multifrekvenčného segmentálneho analyzátora InBody 770. Tento prístroj využíva osembodový dotykový systém elektród, ktorý umožňuje detailnú segmentálnu analýzu telesného zloženia. Vďaka tejto technológii je možné sledovať konkrétne hodnoty samostatne pre trup, ľavú hornú končatinu, pravú hornú končatinu, ľavú dolnú končatinu a pravú dolnú končatinu.

Postup:

1. Meranie sa vykonáva v stoji, pričom meraná osoba by mala byť bosá a oblečená v ľahkom oblečení (bez kovových predmetov, ako sú šperky či opasky).
2. Osoba sa postaví bosá na meracie plošiny prístroja tak, aby chodidlá boli zarovnané s vyznačenými plochami elektród.
3. Rukami uchopí elektródové rukoväte tak, aby palce a prsty pevne dosadli na dotykové senzory.
4. Ruky sú mierne od tela, aby sa zabránilo ich kontaktu s trupom (obr. 43).
5. Následne prístroj vyšle slabý elektrický signál cez telo pri viacerých frekvenciách (1 kHz – 1 MHz), čím umožní segmentálnu analýzu telesného zloženia.
6. Meranie trvá približne 60 sekúnd a počas merania je potrebné zostať v pokoji a nehybne stáť.

Obr. 43 Pozícia probanda počas merania prístrojom InBody 770 (foto: Falbová 2024).

Výstup: Prostredníctvom programu LookinBody 120 prístroj po dokončení merania automaticky vyhodnotí parametre telesného zloženia, ako sú: FM, FFM, LB, PBF, TBW, ECW, ICW, BCM, SMM, proteíny, minerálne látky, obsah minerálov v kostiach, PA, oblasť VAT a BMR. Ukážka získaného výstupu z programu je vyobrazená na obr. 44. Výsledky sú interpretované na základe referenčných hodnôt podľa veku, pohlavia a etnicity.



Obr. 44 Výstup z prístroja InBody 770 (Falbová 2025).

Protokol 4

Odoberanie statických plantogramov, hodnotenie morfologicko-metrických charakteristík a odhad telesnej výšky z rozmerov statických plantogramov

Metóda: Čerňovou metódou, teda pomocou daktyloskopickej černe budú odobrané statické plantogramy. Táto metóda je bližšie opísaná v kapitole 3.4.

Postup:

1. Proband sedí a nohy si vydezinfikuje alebo dôkladne umyje a osuší.
2. Následne sa probandovi na stupaj nanesie neinvazívna daktyloskopická čerň pomocou valčeka, pričom sa kladie dôraz aj na okrajové časti chodidla, ako je päta, vnútorná a vonkajšia časť metatarzálnej oblasti a špičky prstov.
3. Proband sa postaví na vopred pripravený papier oboma nohami, čo najprirodzenejšie a bez vyvíjania extra tlaku na chodidlá.
4. Následne si opäť sadne a zdvihne obe nohy vertikálne od podložky, čím vzniknú statické plantogramy. Tu je dôležité, aby jedinec nevykročil, teda nepohol sa smerom vpred alebo vzad, pretože to už by mali vzniknuté odtlačky dynamický charakter.
5. Vzniknuté plantogramy odfotíme, naskenujeme.
6. Vzniknuté plantogramy manuálne vyhodnotíme.

Výstup: Z odobraných statických plantogramov budú následné manuálne (prípadne digitálne, napr. v programe GIMP) vyhodnotené viaceré parametre, ktoré sú konkretizované v tab. 8, 9). Tieto základné metrické, morfologické a morfologicko-metrické charakteristiky sú detailne popísané v podkapitolách 3.5.1 až 3.5.4. Z metrických parametrov budú zisťované diagonálne rozmery statických plantogramov podľa metódy Robbins (kapitola 3.5.4, obrázok 23). Zistené rozmery budú dosadené do predikčných rovníc (tab. 10; publikovaných kolektívom autorov Caplová et al. 2018), z ktorých bude zistená odhadovaná telesná výška (tab. 11). Následne budú v digitálnej podobe merané dĺžkové a šírkové parametre statických plantogramov aj podľa metódy Reel 2012 (kapitola 3.5.4, obrázok 24).

Tab. 8 Vyhodnotenie morfologicko-metrických charakteristík na statických plantogramoch (Švábová 2025).

A) Morfologicko-metrické charakteristiky (podkapitola 3.5.1)									
Prsty – lokalizácia	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5
I. Hodnotenie morfologického tvaru nohy na základe medziprstovej vzdialenosti									

II. Hodnotenie klenby chodidla	
rozmer A	
rozmer B	
index hodnota	
TYP KLENUTIA	
Veľkosť medzery medzi odtlačenou pätovou a metatarzálnou časťou plantogramu	
TYP KLENUTIA	

III. Hodnotenie uhlového postavenia palca a malíčka na nohe	
Palec	Uhol/poloha
podľa Weisfloga	
podľa Hegrovej	
Malíček	Uhol/poloha
podľa Weisfloga	
podľa Hegrovej	

Tab. 9 Vyhodnotenie morfologických charakteristík na statických plantogramoch (Švábová 2025).

B) Morfologické charakteristiky (podkapitola 3.5.2)										
Prsty – lokalizácia	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	Päta
II. Hodnotenie prítomnosti a počtu hrbolčekov										
III. Hodnotenie prítomnosti a počtu falangeálych markantov										
IV. Hodnotenie prítomnosti rýh na plantárnej oblasti										
V. Individuálne charakteristiky – jamky, kurie oká, praskliny										
Prítomnosť arteficiálneho presahu („ghosting“) – podkapitola 3.5.3										
Morfologický typ chodidla										
Prstová formula		Zápis podľa najdlhšieho prstu a morfologického typu chodidla, napr.: T1 < T2 > T3 > T4 > T5								

Tab. 10 Zoznam predikčných rovníc na výpočet telesnej výšky z dĺžkovo-šírkových parametrov statických plantogramov podľa pohlavia (upravené podľa Caplova et al. 2018).

Muži		**Ženy**	
Pravý plantogram	SEE	**Pravý plantogram**	SEE
149,80 + 3,15 ŠOS	6,60	141,01 + 2,96 ŠOS	5,70
123,54 + 2,19 SDR_1	6,21	104,48 + 2,64 SDR_1	4,80
120,54 + 2,34 SDR_2	6,00	106,34 + 2,61 SDR_2	4,76
123,16 + 2,33 SDR_3	6,30	100,57 + 2,98 SDR_3	4,53
125,34 + 2,36 SDR_4	5,99	103,67 + 3,00 SDR_4	4,58
113,82 + 3,06 SDR_5	5,70	98,89 + 3,49 SDR_5	4,48
Ľavý plantogram	SEE	**Ľavý plantogram**	SEE
144,84 + 3,06 ŠOS	6,52	144,91 + 2,47 ŠOS	5,85
101,87 + 2,99 SDR_1	5,69	96,58 + 2,95 SDR_1	4,44
101,57 + 3,06 SDR_2	5,61	101,88 + 2,79 SDR_2	4,46
99,26 + 3,30 SDR_3	5,56	103,27 + 2,85 SDR_3	4,50
95,15 + 3,66 SDR_4	5,47	96,94 + 3,33 SDR_4	4,43
106,28 + 3,43 SDR_5	5,86	96,32 + 3,60 SDR_5	4,14

Vysvetlivky: SDR – diagonálna dĺžka statického plantogramu po prvý až piaty prst (1 – 5), ŠOS – šírka plantogramu, SEE – štandardná chyba odhadu, priemerná odchýlka predpovedaných hodnôt od skutočných hodnôt.

Tab. 11 Záznam odhadovanej (predikovanej) a nameranej (skutočnej) telesnej výšky z dĺžkovo-šírkových rozmerov statických plantogramov (Švábová 2025).

Statické plantogramy			
parameter	predikovaná TV	skutočná TV	rozdiel
pravý			
ŠOS			
SDR_1			
SDR_2			
SDR_3			
SDR_4			
SDR_5			
ľavý			
ŠOS			
SDR_1			
SDR_2			
SDR_3			
SDR_4			
SDR_5			

Vysvetlivky: SDR – diagonálna dĺžka statického plantogramu po prvý až piaty prst (1 – 5), ŠOS – šírka plantogramu.

Protokol 5

Odoberanie dynamických plantogramov, hodnotenie morfologicko-metrických charakteristík a odhad telesnej výšky z rozmerov dynamických plantogramov

Metóda: Krémovou metódou, teda pomocou krému alebo vazelíny budú odobrané dynamické plantogramy formou chôdze, teda probandi zanechajú súvisle radené stopy lokomócie. Táto metóda je bližšie opísaná v kapitole 3.4.

Postup:

1. Proband sedí a nohy si vydezinfikuje alebo dôkladne umyje a osuší.
2. Následne si na chodidlo nanesie primerané množstvo vazelíny/krému za asistencie skúseného odborníka, pričom sa dôraz kladie aj na okrajové časti chodidla, ako je päta, vnútorná a vonkajšia časť metatarzálnej oblasti a špičky prstov.
3. Proband postaví na vopred pripravený papier a vykročí preferovanou nohou, teda tou nohou, ktorou mi je prirodzené.
4. Kráča po vopred pripravenom papieri, s tým, že zanechá minimálne šesť krokov.
5. Na záver, po získaní súvisle radených stôp chôdze, t. j. minimálne šesť krokov sa proband postaví s nohami vedľa seba a sadne si napríklad na vopred pripravenú stoličku a nohy si očistí.
6. Bezprostredne po zanechaní dynamických odtlačky stupají je potrebné, aby každý jeden bol obkreslený tenkou ceruzou, aby sa predišlo prípadnému rozpitiu alebo vpitiu sa krému papierom, čím by mohlo dôjsť k skresleniu až znehodnotenie originálnych odtlačkov stupají probanda.
7. Po obkreslení budú vzniknuté dynamické plantogramy odfotené.
8. Vzniknuté dynamické plantogramy budú manuálne vyhodnotené.

Výstup: Z odobraných dynamických plantogramov budú hodnotené primárne piaty pravý a piaty ľavý dynamický plantogram, ktoré najlepšie odrážajú charakter chôdze a dynamiku vzniknutého plantogramu. Manuálne, prípadne digitálne (napr. v programe GIMP) budú vyhodnotené viaceré parametre, ktoré sú konkretizované v tab. 8 a 9 v protokole 4. Tieto základné metrické, morfologické a morfologicko-metrické charakteristiky sú detailne popísané v podkapitolách 3.5.1 až 3.5.4. Z metrických parametrov budú zisťované diagonálne rozmery dynamických plantogramov podľa metódy Robbins (kapitola 3.5.4, obrázok 23). Zistené rozmery budú dosadené do predikčných rovníc (tab. 12; publikovaných kolektívom autorov Švábová et al. 2022), z ktorých bude zistená odhadovaná telesná výška (tab. 13). Následne budú v digitálnej podobe merané dĺžkové a šírkové parametre statických plantogramov aj podľa metódy Reel 2012 (kapitola 3.5.4, obrázok 24).

Tab. 12 Zoznam predikčných rovníc na výpočet telesnej výšky z dĺžkovo-šírkových parametrov dynamických plantogramov podľa pohlavia (Švábová et al. 2022).

Muži		**Ženy**	
Pravý plantogram	SEE	**Pravý plantogram**	SEE
151,49 + 3,0 ŠOS	6,88	149,05 + 1,96 ŠOS	5,74
102,73 + 2,87 DDR_1	5,57	101,12 + 2,67 DDR_1	4,76
96,45 + 3,18 DDR_2	6,63	97,55 + 2,89 DDR_2	4,42
95,65 + 3,36 DDR_3	5,51	105,96 + 2,66 DDR_3	4,77
95,44 + 3,58 DDR_4	5,43	103,38 + 2,94 DDR_4	4,75
104,66 + 3,45 DDR_5	5,58	94,24 + 3,64 DDR_5	4,48
Ľavý plantogram	SEE	**Ľavý plantogram**	SEE
142,83 + 3,89 ŠOS	6,72	141,17 + 2,87 ŠOS_	5,60
105,43 + 2,77 DDR_1	5,86	107,44 + 2,39 DDR_1	4,85
111,46 + 2,60 DDR_2	6,00	109,97 + 2,36 DDR_2	4,77
103,52 + 3,05 DDR_3	5,72	104,66 + 2,70 DDR_3	4,72
106,61 + 3,09 DDR_4	5,90	105,25 + 2,83 DDR_4	4,89
114,16 + 3,01 DDR_5	6,60	120,46 + 2,28 DDR_5	5,15

Vysvetlivky: DDR – diagonálna dĺžka dynamického plantogramu po prvý až piaty prst (1 – 5), ŠOS – šírka plantogramu, SEE – štandardná chyba odhadu, priemerná odchýlka predpovedaných hodnôt od skutočných hodnôt.

Tab. 13 Záznam odhadovanej (predikovanej) a nameranej (skutočnej) telesnej výšky z dĺžkovo-šírkových rozmerov dynamických plantogramov (Švábová 2025).

Dynamické plantogramy			
parameter	predikovaná TV	skutočná TV	rozdiel
pravý			
ŠOS			
DDR_1			
DDR_2			
DDR_3			
DDR_4			
DDR_5			
ľavý			
ŠOS			
DDR_1			
DDR_2			
DDR_3			
DDR_4			
DDR_5			

Vysvetlivky: DDR – diagonálna dĺžka dynamického plantogramu po prvý až piaty prst (1 – 5), ŠOS – šírka plantogramu.

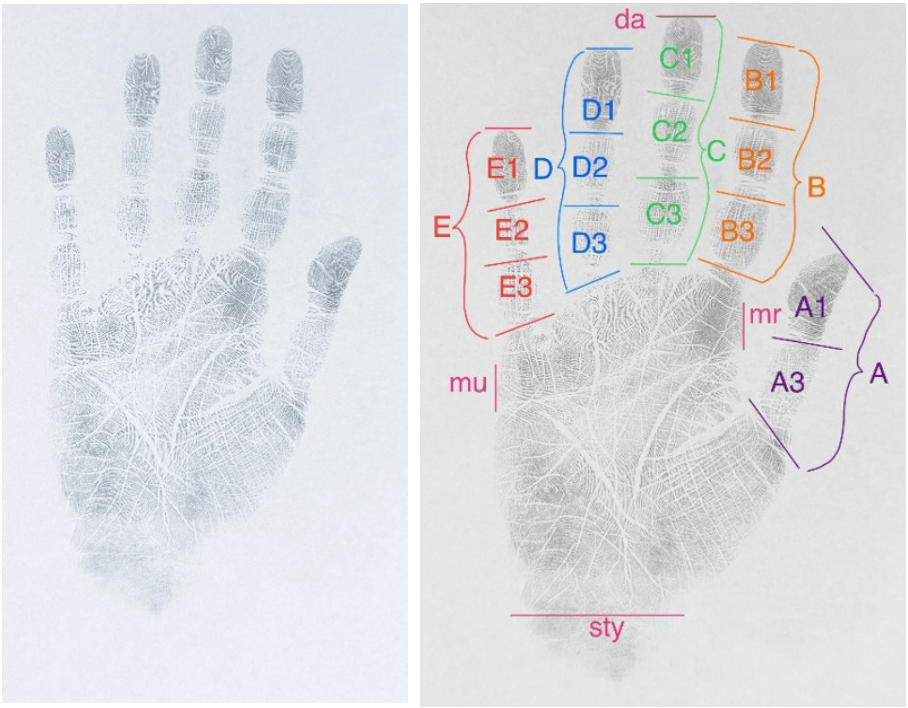
Protokol 6

Odhad telesnej výšky na základe rozmerov ruky meraných priamo a z odtlačkov ruky

Metóda: Na meranie jednotlivých segmentov ruky je vhodné použiť kontaktné odtlačky, aby sme predišli skresleniu jednotlivých rozmerov. Základnou metódou získavania odtlačkov papilárneho terénu človeka je atramentová metóda, ktorá využíva daktyloskopický atrament, daktyloskopický valček a sklenenú tabuľu na prípravu atramentu.

Postup (detailný popis postupu je uvedený v podkapitole 4.3.1):

1. Pomocou daktyloskopického valčeka rovnomerne naneste dostatočné množstvo daktyloskopického atramentu na sklenenú platňu. Správne množstvo atramentu je také, že cez vrstvu vidíte stôl (alebo obrus) pod sklenenou tabuľou.
2. Pred začiatkom odberu odtlačkov dôkladne vydezinfikujte ruky osoby, od ktorej budete odoberať odtlačky.
3. Umiestnite papier formátu A4 na rovný stôl, kde budete odtlačky odoberať.
4. Pomocou daktyloskopického valčeka naneste čerň na prsty a dlaň probanda v smere od koncových článkov prstov k proximálnej ohybovej ryhe dlane. Čerň nanášajte rovnomerne s minimálnym počtom pohybov. Dávajte pozor, aby ste pri nanášaní černe neprešli hranou valčeka po ruke, aby sa predišlo vzniku machúľ na odtlačku. Pred nanesením ďalšej vrstvy farbiva je potrebné valčekom opäť niekoľkokrát prejsť po sklenenej tabuli s daktyloskopickým atramentom.
5. Ruku probanda umiestnite papilárnym terénom nadol priamo na pripravený papier. Ruku pritlačte rovnomerným tlakom, pričom jemne popritláčajte stredovú oblasť dlane a oblasť proximálnych a mediálnych článkov prstov.
6. Po prichytení papiera jemne zdvihnite ruku probanda z papiera, aby ste získali odtlačok.
7. Tento postup zopakujte aj s druhou rukou probanda.
8. Na získaných odtlačkoch rúk (obr. 45) rozdelíme jednotlivé segmenty, ktoré následne odmeriame. Hodnoty zapíšeme do tabuľky na to určenej. Definície jednotlivých segmentov a používané antropometrické body sú uvedené nižšie. Tieto rozmery následne odmeriame priamo na rukách probanda a všetky získané hodnoty dosadíme do lineárnych rovníc.



Obr. 45 Získaný odtlačok ruky a odtlačok ruky s vymedzenými meranými segmentami (foto: Chovancová 2025).

Definície antropometrických bodov:

sty – (*stylion*) bod na *processus styloideus radii* na pripaženej končatine lokalizovaný najviac dolu, hmatateľný na palcovej strane predlaktia,

da – (*daktylion*) bod na konci najdlhšieho prsta na ruke, najčastejšie na treťom prste,

mr – (*metacarpale radiale*) bod ležiaci najviac radiálne na hlavičke druhého metakarpu,

mu – (*metacarpale ulnare*) bod ležiaci najviac ulnárne na hlavičke piateho metakarpu.

Výstup: Výstupom protokolu je vyplnená tabuľka so základnými informáciami o probandovi a nameranými hodnotami jednotlivých segmentov (tab. 14) a výpočty odhadu telesnej výšky probanda (tab. 15) spolu so získanými odtlačkami papilárneho terénu ruky, na ktorom sú jasne vymedzené jednotlivé segmenty.

Tab. 14 Tabuľka so základnými informáciami o probandovi a nameranými hodnotami jednotlivých segmentov (Chovancová 2025).

Meno a priezvisko:				
Biologické pohlavie:				
Dátum merania:				
Telesná výška (cm):				
Rukovosť:				
Rozmery ruky a prstov	Pravá ruka	Ľavá ruka	Odtlačok pravej ruky	Odtlačok ľavej ruky
HL dĺžka ruky (sty – da)				
HB šírka ruky (mr – mu)				
PL dĺžka dlane				
A dĺžka I. prsta				
A1 dĺžka dist. článku I. prsta				
A3 dĺžka proxi. článku I. prsta				
B dĺžka II. prsta				
B1 dĺžka dist. článku II. prsta				
B2 dĺžka med. článku II. prsta				
B3 dĺžka proxi. článku II. prsta				
C dĺžka III. prsta				
C1 dĺžka dist. článku III. prsta				
C2 dĺžka med. článku III. prsta				
C3 dĺžka proxi. článku III. prsta				
D dĺžka IV. prsta				
D1 dĺžka dist. článku IV. prsta				
D2 dĺžka med. článku IV. prsta				
D3 dĺžka proxi. článku IV. prsta				
E dĺžka V. prsta				
E1 dĺžka dist. článku V. prsta				
E2 dĺžka med. článku V. prsta				
E3 dĺžka proxi. článku V. prsta				

Vysvetlivky: sty – (stylion) bod na processus styloideus radii na pripaženej končatine lokalizovaný najviac dolu, hmatateľný na palcovej strane predlaktia; da – (daktylion) bod na konci najdlhšieho prsta na ruke, najčastejšie na treťom prste; mr – (metacarpale radiale) bod ležiaci najviac radiálne na hlavičke druhého metakarpu; mu – (metacarpale ulnare) bod ležiaci najviac ulnárne na hlavičke piateho metakarpu; I. prst – palec; II. prst – ukazovák; III. prst – prostredník; IV. prst – prstenník; V. prst – malíček; dist. – distálny; med. – mediálny; proxi. – proximálny.

Tab. 15 Výpočty odhadu telesnej výšky probanda (Uhrová et al. 2015).

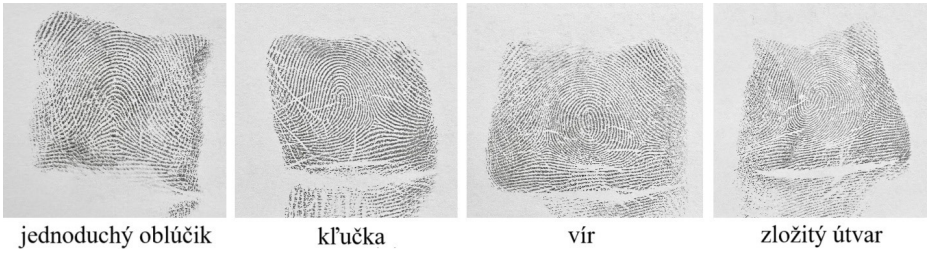
Výpočet z rozmerov ruky	**Výpočet z rozmerov odtlačku ruky**
Ľavá ruka	
S = 58,899 + 5,469 x HL	S = 62,953 + 5,506 x HL
S = 50,247 + 4,299 x HL + 3,934 x HB	S = 73,901 + 3,622 x HL + 8,524 x C2
Pravá ruka	
S = 48,653 + 6,030 x HL	S = 79,359 + 10,301 x C
S = 51,742 + 7,653 x HL + (–5,783 x E)	S = 58,926 + 8,703 x C + 4,020 x HB
	S = 59,775 + 7,201 x C + 3,556 x HB + 5,253 x A3

Vysvetlivky: HL – dĺžka ruky; HB – šírka ruky; E – dĺžka V. prsta; C2 – dĺžka mediálneho článku prostredníka; C – dĺžka prostredníka; A3 – dĺžka proximálneho článku palca.

Protokol 7

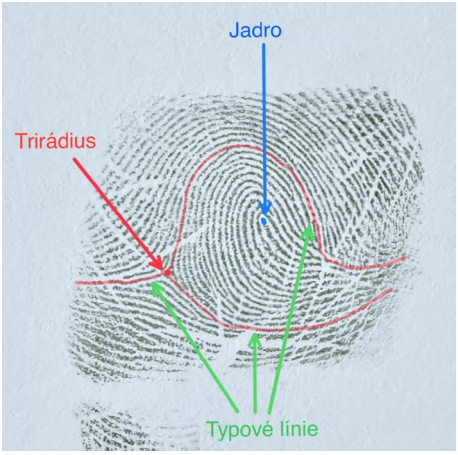
Vyhodnocovanie dermatoflygických útvarov

Metóda: Kvalitatívna dermatoglyfická analýza spočíva v správnom určení dermatoglyfického útvaru. Na vyhodnotenie dermatoglyfickej stopy sa navrhla klasifikácia uvádzajúca štyri typy dermatoglyfických vzorov: oblúčik, kľučka (ulnárna a radiálna), vír a komplikovaný útvar (obr. 46).



Obr. 46 Základná klasifikácia dermatoglyfických útvarov (foto: Chovancová 2025).

Pri kvalitatívnom a aj kvantitatívnom vyhodnocovaní dermatoglyfickej stopy vychádzame zo základných charakteristík dermatoglyfického útvaru (obr. 47).



Obr. 47 Základné charakteristické body na odtlačkoch prstov (foto: Chovancová 2025).

Postup (detailný popis postupu je uvedený v podkapitole 4.3.2):

1. Dostali ste valivé odtlačky distálnych článkov prstov pravej ruky.
2. Na týchto odtlačkoch si vyznačte vyššie spomínané charakteristické body a vytiahnite typové línie.

3. Určite dermatoglyfický útvar:
   - Oblúčik označujeme A. Je to útvar bez trirádia a jadra.
   - Kľučku označujeme L. Má jeden trirádius a jedno jadro. Pripisujeme k nej aj index podľa smeru, kam sa kľučka otvára: Lu – ulnárne otvorená kľučka a Lr – radiálne otvorená kľučka.
   - Vír označujeme W. Má jedno jadro a dve trirádiá (viac v kapitole 4.2.1).
4. Spravte spojnicu medzi trirádiom (trirádiami) a jadrom vzoru (jadrami) a jednotlivé hodnoty uveďte do tabuľky. Pri víroch zapisujeme obe hodnoty v zlomku v smere zľava doprava. Oblúčik má nulovú hodnotu.
5. Vyhodnoťte celkový počet papilárnych línií (TFRC) a hodnotu opäť zapíšte do tabuľky. Pri víroch rátame do celkového počtu papilárnych línií len väčšie číslo.

Výstup: Výstupom protokolu je vyplnená tabuľka s určenými dermatoglyfickými útvarmi spolu s ich kvantitatívnymi hodnotami (tab. 16). K výstupu protokolu je potrebné doložiť pridelenú sadu dermatoglyfických stôp, ktoré boli vyhodnocované.

Tab. 16 Tabuľka s určenými dermatoglyfickými útvarmi spolu s ich kvantitatívnymi hodnotami (Chovancová 2025).

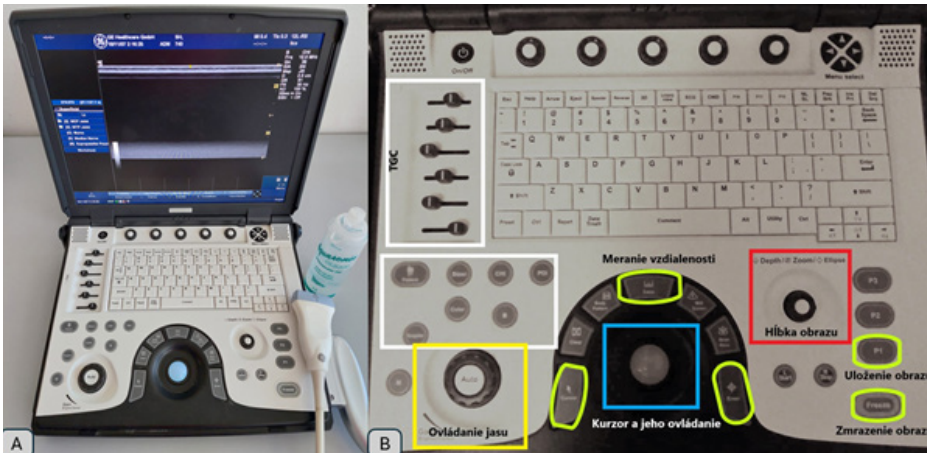
Meno a priezvisko:					
Kvalitatívne hodnoty					
Útvary na prstoch					
Pravá ruka					
1	2	3	4	5	
Kvantitatívne hodnoty					
Pravá ruka					
1	2	3	4	5	TFRC

Vysvetlivky: 1 – 5 – označenie jednotlivých prstov, kde 1 – palec, 2 – ukazovák, 3 – prostredník, 4 – prstenník, 5 – malíček; TFRC – celkový počet papilárnych línií.

Protokol 8

Meranie hrúbok mäkkých tkanív tváre pomocou ultrazvuku a ich predikcia

Metóda: V presne zadefinovaných antropometrických bodoch na tvári sú merané hrúbky mäkkých tkanív tváre pomocou ultrazvukového prístroja General Electric LOGIQe R7 (obr. 48A, B). Pre ďalšie analýzy bude zmeraná aj telesná výška a hmotnosť pre stanovenie BMI.

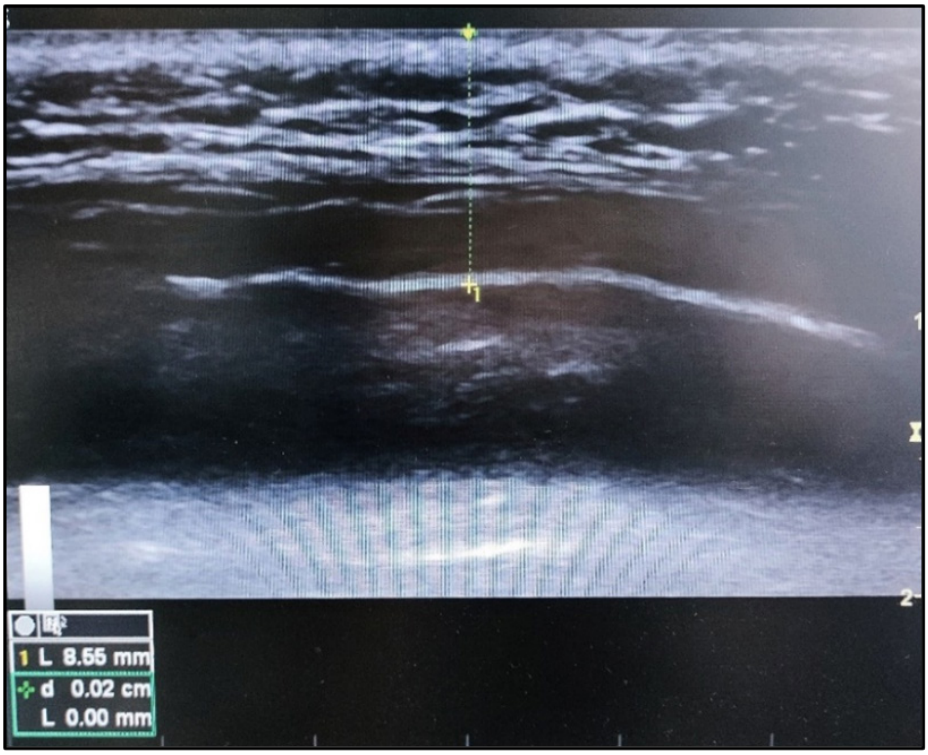


Obr. 48 Prístroj General Electric LOGIQe R7 (A) a vysvetlenie základných prvkov ovládacieho panelu prístroja General Electric LOGIQe R7 (B) (foto: Švábová 2025).

Postup:

1. Meranie hrúbok mäkkých tkanív (HMTT) tváre prebieha v sede.
2. Zapneme ultrazvukový prístroj, skontrolujeme pripojenie sondy a kvalitu zobrazenia. Na sondu nanesieme malé množstvo ultrazvukového gélu.
3. Ultrazvukovú sondu s tenkou vrstvou ultrazvukového gélu priložíme na vyznačený antropometrický bod na tvári.
4. Jemnými pohybmi upravíme polohu sondy, kým nezískame ostrý ultrazvukový obraz.
5. Po dosiahnutí optimálnej kvality obrazu stlačíme tlačidlo „Freeze“ na jeho zastavenie.
6. Pomocou kurzora a tlačidla „Calc“ odmeriame hrúbku mäkkého tkaniva v antropometrickom bode tak, že vyznačíme vzdialenosť od povrchu pokožky až po kosť, ktorá je vo výslednom obraze jasnobiela (obr. 49).

7. Snímka s vykonaným meraním uložíme pomocou tlačidla „P1“.
8. Rovnaký postup opakujeme pre všetky vopred zvolené antropometrické body na tvári, v prípade bodov, ktoré sú bilaterálne meriame len na ľavej strane. Zoznam antropometrických bodov pre meranie HMTT je v tabuľke 17.
9. Hodnoty zmeraných bodov sa zaznačia do tabuľky 18, do stĺpca s názvom „Nameraná hodnota FSTT“.
10. Zmeria sa telesná výška pomocou antropometra (od antropometrického bodu *basion* po *vertex*), telesná hmotnosť a vypočíta sa BMI podľa vzorca (**BMI** = telesná hmotnosť (kg)/telesná výška $(m)^2$).
11. Následne sa vypočítajú hodnoty HMTT v jednotlivých antropometrických bodoch podľa predikčných rovníc, ktoré sú uvedené v tabuľke 18. Vypočítané (predikované hodnoty) hodnoty FSTT sa porovnajú s nameranými, či sú v súlade s SEE (chybou odhadu).



Obr. 49 Ultrazvukové meranie antropometrického bodu *metopion* v stredovej línii tváre – žltá prerušovaná čiara znázorňuje meranú hrúbku mäkkého tkaniva v danej oblasti, ktorá dosiahla hodnotu 8,55 mm (foto: Švábová 2024).

Tab. 17 Zoznam a definície antropometrických bodov používaných pri meraniach hrúbok mäkkých tkanív tváre (kombinácia latinských názvov a názvov zaužívaných pri meraniach) (Švábová 2025).

Názov antropometrického bodu	Alternatívne názvy	Vysvetlenie
Metopion	Supraglabella, m	Bod umiestnený na mediálnej rovine tváre na čelovej kosti, nachádzajúci sa medzi tubera frontalia, zvislo nad bodom glabella.
Glabella	g	Najanteriórnejší mediálny bod na čelovej kosti, nachádzajúci sa medzi nadočnicovými oblúkmi.
Nasion	Sellion, n	Bod na šve medzi os frontale a ossa nasalia, definovaný ako priesečník sutura nasofrontalis a mediálnej roviny.
Rhinion	Nasale, r/rhi	Bod umiestnený inferiórne na konci spojenia nosových kostí, kde kosť prechádza do chrupky nosa.
Midphiltrum	Subspinale, Philtrum, mp	Bod umiestnený na intermaxilárnom šve, tesne pred zakrivením nosa pri septum nasi.
Supramentale	Mentolabial sulcus, Sublabiale, sm	Mediálny bod sánky nad protuberantia mentalis, najhlbší bod mentolabiálnej ryhy.
Pogonion	Mental eminence, pg	Najanteriórnejší bod sánky na mediálnej rovine tváre, na brade.
Gnathion	Menton, gn/me	Najinferiórnejší bod na basis mandibulae, na symfýze sánky.
Alare	Apertion, Lateral alare, al/ac	Párový bod na krídle nosa, najlaterálnejšie miesto apertura piriformis.
Supraorbitale	Supraorbital, Superciliary, so	Párový bod na hornom okraji očnice, v zvislej rovine s centrom očnej zrenice.
Infraorbitale	Orbitale, Infraorbital, or	Najspodnejší párový bod na dolnom okraji očnice.
Fossa canina	Inferior malar, Supracanina, im/sc	Najhlbší bod v oblasti fossa canina na hornej čeľusti.
Midmandible	Midmandibular, mmb	Bod na spodnom okraji sánky, v strede medzi gonion a pogonion, približne vo zvislej rovine s druhými stoličkami.
Malare	Jugale, Lateral orbit	Najprednejší mediálny bod na os zygomaticum, asi 10 mm pod očnicou.
Zygomatic	Zygion, Zygomatic arch, zy	Bod na arcus zygomaticus v najlaterálnejšom mieste, používaný na stanovenie bizygomatickej šírky.
Gonion	go	Bod na angulus mandibulae, medzi zadným dolným okrajom sánky.
Porion	Supraglenoid, Root of zygoma, po/sgl	Bod mierne mediálne a superiórne nad vonkajším zvukovodom pri koreni processus zygomaticus ossis temporalis.

Tab. 18 Zoznam neštandardizovaných koeficientov „b" pre prediktory – pohlavie (b1), vek (b2), BMI (b3) na výpočet odhadovaných hrúbok mäkkých tkanív v jednotlivých antropometrických bodoch (Švábová 2025).

Antropometrický bod	b0	Pohlavie	Vek	BMI	SEE	Predikovaná hodnota FSTT	Nameraná hodnota FSTT
		b1	b2	b3			
Metopion	2,711	- 0,245	0,013	0,080	0,790		
Glabella	2,589	0,103	0,014	0,070	0,759		
Nasion	3,038	- 0,091	0,006	0,028	0,775		
Rhinion	2,947	- 0,176	0,006	0,018	0,816		
Midphiltrum	13,024	- 1,796	- 0,010	- 0,012	1,948		
Supramentale	9,836	- 0,682	0,025	0,030	1,319		
Pogonion	3,766	0,073	0,013	0,124	2,396		
Gnathion	0,985	0,626	0,015	0,115	1,697		
Alare	7,440	0,014	0,011	0,116	1,381		
Supraorbital	0,195	0,546	0,025	0,108	1,548		
Infraorbital	1,150	0,497	0,016	0,087	1,361		
Fossa canina	13,459	- 0,241	0,024	0,158	2,237		
Midmandible	- 3,296	1,038	0,044	0,261	2,496		
Malare	8,498	- 0,056	- 0,004	0,101	1,519		
Zygomatic	- 0,442	1,525	0,017	0,241	1,625		
Gonion	- 3,009	1,256	0,028	0,213	2,259		
Porion	7,702	0,710	0,001	0,074	1,639		

Vysvetlivky: SEE – štandardná chyba odhadu, priemerná odchýlka predpovedaných hodnôt od skutočných hodnôt.

Výstup: Ultrazvukom sa zmerali hrúbky mäkkých tkanív v sede vo zvolených antropometrických bodoch (tab. GG). Po dosadení údajov o pohlaví, veku a BMI do predikčných rovníc budú zistené predikované hrúbky mäkkých tkanív, ktoré sa porovnajú s nameranými.

Predikčná rovnica na výpočet HMTT v antropometrických bodoch (Švábová et al. 2024):

y = b0 + b1*pohlavie (muž – 1, žena – 2) + b2*vek (v rokoch) + b3*BMI

Príklad použitia predikčnej rovnice: Chcem zistiť predikovanú hodnotu HMTT v antropometrickom bode metopion. Nájdem v tabuľke antropometický bod metopion a dosadím do všeobecnej predikčnej rovnice (uvedenej vyššie) tieto hodnoty pre bod metopion: y = 2.711 – 0.245*2 + 0.013*39 + 0.080*25 => výsledok doplním do tabuľky do stĺpca „Predikovaná hodnota FSTT" a porovnám s nameranou hodnotou a SEE (chybou odhadu).

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

2D – dvojrozmerný (Two Dimensional, napr. fotografia)
3D – trojrozmerný (Three Dimensional, napr. sken)
A – jednoduchý oblúčik
aBMD – plošná minerálna kostná hustota (areal Bone Mineral Density)
$aBMD_{DEXA}$ – plošná minerálna kostná hustota meraná pomocou DEXA
ADH – antidiuretický hormón, vazopresín (Antidiuretic Hormone)
ADP – pletyzmografia s využitím vzduchového odtláčania (Air Displacement Plethysmography)
AD-SOS – amplitúdovo závislá rýchlosť zvuku
AFRC – absolútny počet papilárnych línií
ANP – atriálny natriuretický polypeptid
APP – arteficiálny presah plantogramu
appBV/TV – pomer zdanlivého objemu kosti k celkovému objemu (apparent Bone Volume-to-Total Volume ratio)
appTbN – zdanlivé trabekulárne číslo (apparent Trabecular Number)
appTbTh – zdanlivá trabekulárna hrúbka (apparent Trabecular Thickness)
ASM – apendikulárna kostrová svalová hmota (appendicular skeletal muscle mass)
ATP – adenozíntrifosfát (Adenosine Triphosphate)
atd – uhol spájajúci trirádiá a, t a d
BAT – hnedé tukové tkanivo (Brown Adipose Tissue)
BCM – bunková hmota (Body Cell Mass)
BDAT – obojsmerný ultrazvukový axiálny prenos (Bi-Directional Axial Transmission)
BDNF – mozgový neurotrofický faktor (Brain-derived neurotrophic factor)
BED – porucha záchvatového prejedania (Binge Eating Disorder)
BIA – bioelektrická impedančná analýza (Bioelectrical Impedance Analysis)
BIVA – bioelektrická impedančná vektorová analýza (Bioelectrical Impedance Vector Analysis)
BM – kostná hmota (Bone Mass)
BMAT – adipózne tkanivo kostnej drene
BMC – obsah minerálov v kostiach (Bone Mineral Content)
BMD – kostná minerálna hustota (Bone Mineral Density)
BMI – Index telesnej hmotnosti (Body Mass Index)

BMR – bazálny metabolický výdaj (Basal Metabolic Rate)
BMU – základná multicelulárna jednotka (Basic Multicellular Unit)
BSI – celková sila kostí (Bone Strength Index)
BTM – markery kostného obratu (Bone Turnover Makers)
BUA – širokopásmové ultrazvukové útlmy
Ca – vápnik (Calcium)
CBCT – Počítačová tomografia pomocou kuželového zväzku lúčov (Cone-Beam Computed Tomography)
Cl – chlór (Chlorine)
CNTF – ciliárny neurotrofický faktor (Ciliary Neurotrophic Factor)
COL1A – kolagén typu I alpha (Collagen type I Alpha)
CP – centrálne jadro
CRP – C-reaktívny proteín (C-reactive protein)
CSF-1 – faktor stimulujúci kolónie 1
CSI – Chipaux-Šmirák index
CT – počítačová tomografia (Computed Tomography)
CTx – plazmatický marker kostnej resorpcie
Cu – meď (Copper)
da – daktylion, bod na konci najdlhšieho prsta na ruke, najčastejšie na treťom prste
DAO – diaminoxidáza
DEXA – röntgenová absorpčná spektrometria s dvojitou energiou (Dual-Energy X-ray Absorptiometry)
DM – diabetes mellitus
DNAH12 – ťažký reťazec dyneínu 12 (Dynein Heavy Chain 12)
DPD/krea – pomer deoxypyridinolín/kreatinín
ECW – extracelulárna voda (Extracellular Water)
EIM – elektrická impedančná myografia (Electrical Impedance Myography)
EWGSOP – Európska pracovná skupina pre sarkopéniu u starších ľudí (European Working Group on Sarcopenia in Older People)
FAIM2 – Fas Apoptotic Inhibitory Molecule 2
Fe – železo (Iron)
FFM – beztuková hmota (Fat-Free Mass)
FM – tuková hmota (Fat Mass)
FGF21 – fibroblastový faktor 21
FGF-23 – fibroblastový rastový faktor 23
FH – frankfurtská horizontála

FNBMD – kostná minerálna hustota krčka stehennej kosti (Femoral Neck Bone Mineral Density)
FNDC5 – prehormón irisín (Fibronectin Type III Domain Containing 5)
FRAX – metóda hodnotenia rizika zlomeniny (Fracture Risk Assessment Tool)
GWAS – genómová asociačná štúdia (Genome-Wide Association Study)
HCL – kyselina chlorovodíková (Hydrochloric acid)
HIV – vírus ľudskej imunitnej deficiencie (Human Immunodeficiency Virus)
HMB – β-hydroxy β-metylbutyrát
HMTT – hrúbky mäkkých tkanív tváre
HR-pQCT – vysokorozlišovacia periférna počítačová tomografia
HV – hydrostatické váženie (Hydrostatic Weighing)
ICW – intracelulárna voda (Intracellular Water)
Hz – Hertz
CHD – koronárna srdcová choroba
CHOCHP – chronická obštrukčná choroba pľúc (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)
IBD – zápalová porucha čriev (Intestinal Bowel Disease)
IFN-γ – interferón-γ
IgE-CMA – alergia na kravské mlieko sprostredkovaná IgE
IGF-1 – inzulínu podobný rastový faktor 1 (Insulin-like Growth Factor 1)
IL – interleukín
K – draslík (Potassium)
LBM – aktívna telesná hmota (Lean Body Mass)
LSBMD – kostná minerálna hustota lumbálnej chrbtice (Lumbar Spine Bone Mineral Density)
LIF – leukemický inhibičný faktor
LP – postranné jadro
Lr – radiálna kľučka
Lu – ulnárna kľučka
m. – musculus
MAT – tukové tkanivo drene
MCP-1 – monocytárny chemoatraktantový proteín-1
MF-BIA – viacfrekvenčné BIA (Multiple Frequency BIA)
Mg – horčík (Magnesium)
MLI – index hlavných línií (Main line index)
MM – svalová hmota (Muscle Mass)
MMP – matrixové metaloproteinázy

Mn – mangán (Manganese)
mr – bod ležiaci najviac radiálne na hlavičke druhého metakarpu (metacarpale radiale)
MRI – magnetická rezonancia (Magnetic Resonance Imaging)
MSCT – multidetektorová špirálová počítačová tomografia (Multi-slice Computed Tomography)
mt.f – antropometrický bod metatarzale fibulare
mt.t – antropometrický bod metatarzale tibiale
MTT – mäkké tkanivá tváre
mu – bod ležiaci najviac ulnárne na hlavičke piateho metakarpu (metacarpale ulnare)
Na – sodík (Sodium)
NCGS – neceliakálna citlivosť na lepok
NCP – nekolagénové proteíny
OI – osteogenesis imperfecta
OPG – osteoprotegerín
P – fosfor (Phosphorus)
P.I.I. – Pattern Intenzity Index, Volockoj index
PA – fázový uhol (Phase Angle)
PAT – ružové tukové tkanivo (Pink Adipose Tissue)
PBF – percentuálny podiel telesného tuku (Percentage Body Fat)
PBM – vrchol kostnej hmoty (Peak Bone Mass)
PD – pyridinolín
PEC – konská noha, vtočená noha (pes equinovarus congenitus)
pte – antropometrický bod pternion
PTH – parathormón (Parathyroid Hormone)
QCT – kvantitatívna počítačová tomografia
QUS – kvantitatívny ultrazvuk
pQCT – periférna kvantitatívna počítačová tomografia
RAAS – Renín-angiotenzín-aldosterónový systém (Renin-Angiotensin-Aldosterone System)
RANKL – receptorový aktivátor ligandu jadrového faktora kappa-B
RTG – röntgenové zobrazenie
Rz – rezistancia
S-BIA – segmentačná BIA (Segmental BIA)
SAT – podkožné tukové tkanivo (Subcutaneous Adipose Tissue)
SD – štandardná odchýlka (Standard Deviation)
SF-BIA – jednofrekvenčné BIA (Single Frequency BIA)
SMM – kostrová svalová hmota (Skeletal Muscle Mass)

SOS – rýchlosť zvuku
SPPB – skórovací test fyzického výkonu (Short Physical Performance Battery)
sty – bod na processus styloideus radii na pripaženej končatine lokalizovaný najviac dolu, hmatateľný na palcovej strane predlaktia (stylion)
sup. – horný, superior
Sv – Sievert
T3 – 3,5,3′-trijód-l-tyronín
T4 – tyroxín
TBW – celková telesná voda (Total Body Water)
TCW – transcelulárna voda (Transcellular Water)
TFRC – celkový počet papilárnych línií
TGF-β – transformujúci rastový faktor beta
TL – dvojkľučka vyskytujúca sa na distálnych falangoch prstov
TNF – tumor nekrotizujúci faktor
ToC – celkový obsah kostného tkaniva (Total bone Content)
ToD – celková hustota kostného tkaniva (Total bone Density)
TSH – hormónom stimulujúcim štítnu žľazu
UCP1 – proteín oddelujúci 1 (Uncoupling Protein 1)
USG – ultrazvuk (Ultrasound)
VAT – viscerálne tukové tkanivo (Visceral Adipose Tissue)
WAT – biele tukové tkanivo (White Adipose Tissue)
UV – UltraViolet (ultrafialové, napr. žiarenie)
vBMD – objemová kostná minerálna hustota (Volumetric Bone Mineral Density)
W – vír
WHO – Svetová zdravotnícka organizácia (World Health Organization)
WHR – pomer pásu k bokom (Waist to Hip Ratio)
WHtR – pomer obvodu pása k telesnej výške (Waist-to-Height Ratio)
Wnt – Wingless/Int-1
Xc – reaktancia
Zn – zinok (Zinc)
β-CTx – β-izomerizované C-terminálne telopeptidy (beta-CrossLaps)

POUŽITÁ LITERATÚRA

1. Abdelnasser I, Aspalilah A, Mohamed SS, Faridah MN. Applicatio of three-dimensional geometric morphometric analysis for sexual dimorphism of human skull: A systematic review. IMJM. 2019;18(1):131-144.
2. Abdullah SF, Rahman AFNA, Abas ZA, Saad WHM. Multilayer Perceptron neural Network in classifying gender using fingerprint global level features. Indian J Sci Technol. 2016;9(9):1-6.
3. Acree MA. Is there a gender difference in fingerprint ridge density? Forensic Sci Int. 1999 May 31;102(1):35-44. doi: 10.1016/s0379-0738(99)00037-7. PMID: 10423851.
4. Achamrah N, Colange G, Delay J, Rimbert A, Folope V, Petit A, Grigioni S, Déchelotte P, Coëffier M. Comparison of body composition assessment by DXA and BIA according to the body mass index: A retrospective study on 3655 measures. PLoS One. 2018;13(7):e0200465. doi: 10.1371/journal.pone.0200465.
5. Al-Akhras MAH, Qaseer MKH, Albiss BA, Alebrhim MA, Gezawa US. Investigation of composition and structure of spongy and hard bone tissue using FTIR spectroscopy, XRD, and SEM. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2018;305:012010. doi: 10.1088/1757-899X/305/1/012010.
6. Al-Khudairi N, et al. Foot deformities – a pictorial review. Clin Radiol. 2019;74:e4.
7. Allum RL, Higginson DW. Keller's operation with basal osteotomy of first metatarsal. J R Soc Med. 1983;76(2):116-120.
8. Al-Mashhadany SM, Al-Chalabi HMH, Nahidh M. Evaluation of facial soft tissue thickness in normal adults with different vertical discrepancies. Int J Sci Res. 2015;6(2):938-942. doi:10.21275/ART2017603.
9. Aloia J, Dhaliwal R, Mikhail M, Shieh A, Stolberg A, Ragolia L, Fazzari M, Abrams AS. Free 25(OH)D and calcium absorption, PTH, and markers of bone turnover. J Clin Endocrinol Metab. 2015;100(11):4140-4145. doi: 10.1210/jc.2015-2548 28.
10. Al-Sharify NT, Al-Sharify ZT, Al-Sharify TA, Al-Sharify MT, Al-Sharify AT. A technical overview and comparison between PET and MRI scanning. Syst Rev Pharm. 2020;11(1):35-41.
11. Andreoli A, Garaci F, Cafarelli FP, Guglielmi G. Body composition in clinical practice. Eur J Radiol. 2016;85(8):1461-1468. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.02.005.
12. Ansert E, Nirenberg MS, Mukhra R, Kanchan T, Krishan K. Ghosting phenomenon in static and dynamic footprints in India and the United States. Sci Justice. 2023;63:406-413. doi:10.1016/j.scijus.2023.04.008.
13. Arias C, Álvarez-Indo J, Cifuentes M, Morselli E, Kerr B, Burgos PV. Enhancing adipose tissue functionality in obesity: senotherapeutics, autophagy and cellular senescence as a target. Biol Res. 2024;57:51. doi: 10.1186/s40659-024-00531-z.

14. Asadujjaman MD, Rashid HO, Rana S, Hossain M. Stature estimation from footprint measurements in Bangladeshi adults. Forensic Sci Res. 2022;7(2):1-8. doi: 10.1080/20961790.2020.1776469.
15. Avelar LET, Cardoso MA, Bordoni LS, Avelar LM, Avelar JVM. Aging and sexual differences of the human skull. Plast Reconstr Surg Glob Open. 2017;5(4):e1297. Available at: https://insights.ovid.com/crossref?an=01720096-201704000-00005. Accessed May 16, 2019.
16. Ayvaz G, Çimen AR. Methods for body composition analysis in adults. Open Obes J. 2011;3:62-69.
17. Badiye A, Kathane P, Krishan K. Forensic Gait Analysis. PubMed. Available at: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557684/. Accessed February 16, 2023.
18. Baillie LJ, Muirhead JC, Blyth P, Niven BE, Dias GJ. Position effect on facial soft tissue depths: a sonographic investigation. J Forensic Sci. 2016;61(S1):S61-S70.
19. Balut O, Sipahioglu S, Hekimoglu B. Facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction in the Turkish adult population. Forensic Sci Int. 2014;242:44-61. doi:10.1016/j.forsciint.2014.06.012.
20. Banas A, Banas K, Breese MB, Loke J, Heng Teo B, Lim SK. Detection of microscopic particles present as contaminants in latent fingerprints by means of synchrotron radiation-based Fourier transform infra-red micro-imaging. Analyst. 2012 Aug 7;137(15):3459-65. doi: 10.1039/c2an35355e. Epub 2012 Jun 13. PMID: 22693711.
21. Bangsbo J, Hansen PR, Dvorak J, Krustrup P. Recreational football for disease prevention and treatment in untrained men: a narrative review examining cardovascular health, lipid profile, body composition, muscle strength and functional capacity. Br J Sports Med. 2015;49(9):568-576. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094781.
22. Battafarano G, Rossi M, Marampon F, Minisola S, Fattore A. Bone control of muscle function. Int J Mol Sci. 2020;21(4):1178. doi: 10.1359/jbmr.071203.
23. Baxter-Jones AD, Faulkner RA, Forwood MR, Mirwald RL, Bailey DA. Bone mineral accrual from 8 to 30 years of age: an estimation of peak bone mass. J Bone Miner Res. 2011;26(8):1729-39. doi: 10.1002/jbmr.412.
24. Bazzocchi A, Ponti F, Albisinni U, Battista G, Guglielmi G. DXA: Technical aspects and application. Eur J Radiol. 2016;85(8):1481-1492. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.04.004.
25. Bejdová Š, Dupej J, Krajíček V, Velemínská J, Velemínský P. Stability of upper face sexual dimorphism in central European populations (Czech Republic) during the modern age. Int J Legal Med. 2018;132:321-330.

26. Bejdová Š, Krajíček V, Velemínská J, Horák M, Velemínský P. Changes in sexual dimorphism of the human mandible during the last 1200 years in Central Europe. HOMO. 2013;64(6):437-453.
27. Beňuš R, Masnicová S, Kondeková M, Perzová B. Vekové zmeny v hrúbkach mäkkých tkanív tváre v slovenskej populácii – pilotná štúdia. Slov Antropol. 2017;20(2):61-66.
28. Berger JM, Singh P, Khrimian L, Morgan DA, Chowdhury S, Artega-Solis E, Horvath TL, Domingos AI, Marsland AL, Yadav VK, Rahmouni K, Gao YB, Karsenty G. Mediation of the acute stress response by the skeleton. Cell Metab. 2019;30(5):890-902. doi: 10.1016/j.cmet.2019.08.012.
29. Berman NK, Honig S, Cronstein BN, Pillinger MH. The effects of caffeine on bone mineral density and fracture risk. Osteoporos Int. 2022;33(6):1235 1241. doi: 10.1007/s00198-021-05972-w.
30. Bhatt HS, Bharadwaj S, Singh R, Vasta M. Plastic surgery and face recognition. In: Li SZ, Jain AK, eds. Encyclopedia of Biometrics. 2nd ed. New York, NY: Springer; 2015:1257-1261.
31. Bitencourt AGV, Miola TM, Souza JO, da Conceição ELS, Coimbra FJF, Barbosa PNVP. Computed tomography-measured body composition: Correlation with postoperative morbidity and mortality in patients with gastroesophageal cancer. Radiol Bras. 2019;52(6):351-355. doi: 10.1590/0100-3984.2019.0009.
32. Bonjour JP, Guéguen L, Palacios C, Shearer MJ, Weaver CM. Minerals and vitamins in bone health: the potential value of dietary enhancement. Br J Nutr. 2009;101(11):1581-96. doi: 10.1017/S0007114509311721.
33. Borga M, West J, Bell JD, Harvey NC, Romu T, Heymsfield SB, Dahlqvist Leinhard O. Advanced body composition assessment: from body mass index to body composition profiling. J Investig Med. 2018;66(5):1-9. doi: 10.1136/jim-2018-000722.
34. Boskey AL, Coleman R. Aging and bone. J Dent Res 2010:89(12):1333- 1348. doi: 10.1177/002203451037779.
35. Bosy-Westphal A, Müller MJ. Diagnosis of obesity based on body composition-associated health risks: Time for a change in paradigm. Obes Rev. 2021;22 Suppl 2:e13190. doi: 10.1111/obr.13190.
36. Bramon E, Walshe M, McDonald C, Martín B, Toulopoulou T, Wickham H, van Os J, Fearon P, Sham PC, Fañanás L, Murray RM. Dermatoglyphics and Schizophrenia: a meta-analysis and investigation of the impact of obstetric complications upon a-b ridge count. Schizophr Res. 2005 Jun 15;75(2-3):399-404. doi: 10.1016/j.schres.2004.08.022. PMID: 15885530.

37. Bredella MA, Ghomi RH, Thomas BJ, Torriani M, Brick DJ, Gerweck AV, Misra M, Klibanski A, Miller KK. Comparison of DXA and CT in the assessment of body composition in premenopausal women with obesity and anorexia nervosa. Obesity (Silver Spring). 2010;18(11):2227-2233. doi: 10.1038/oby.2010.5.
38. Breyer B, Bruguera CA, Gharbi HA, et al. Manual of diagnostic ultrasound. In: Palmer PES, ed. World Health Organization; 1995.
39. Brinker TJ, Enk A, Gatzka M, et al. A dermatologist‘s ammunition in the war against smoking: a photoaging app. J Med Internet Res. 2017;19(9):e326. Available at: https://europepmc.org/article/med/28935619. Accessed February 22, 2020.
40. Brown T, Rutty GN. Prints, Footprints. In: Byard RW, Corey TS, Henderson C, eds. Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine. Vol 3. Oxford: Academic Press; 2005:13-18.
41. Browning LM, Mugridge O, Dixon AK, Aitken SW, Prentice AM, Jebb SA. Measuring abdominal adipose tissue: Comparison of simpler methods with MRI. Obes Facts. 2011;4(1):9-15. doi: 10.1159/000324546.
42. Buffa R, Marini E, Floris G. Variation in sexual dimorphism in relation to physical activity. Am J Hum Biol. 2001;13(3):341-8. doi: 10.1002/ajhb.1057.
43. Buffa R, Saragat B, Cabras S, Rinaldi AC, Marini E. Accuracy of specific BIVA for the assessment of body composition in the United States population. PLoS One. 2013;8(3):e58533. doi: 10.1371/journal.pone.0058533.
44. Bulut O, Liu CYJ, Koca F, Wilkinson C. Comparison of three-dimensional facial morphology between upright and supine positions employing three-dimensional scanner from live subjects. Leg Med. 2017;27:32-37. Available at: https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2017.06.002. Accessed April 19, 2020.
45. Burr DB, Robling AG, Turner CH. Effects of biochemical stress on bones in animals. Bone. 2002;30(5):781:786. doi: 10.1016/s8756-3282(02)00707-x.
46. Burrow JG, Kelly HD, Francis BE. Forensic Podiatry - An Overview. J Forensic Sci Crim Inves. 2017;5(4):555666. doi:10.19080/jfsci.2017.05.555666.
47. Burrow JG, Kelly HD, Francis BE. Forensic Podiatry - An Overview. J Forensic Sci Crim Inves. 2017;5(4):555666. doi:10.19080/jfsci.2017.05.555666.
48. Burrow JG. Ghosting of Images in Barefoot Exemplar Prints Collection: Issues for Analyses. J Forensic Identif. 2015;65(5):884-900. doi:10.19080/JFSCI.2017.05.555666.
49. Burt LA, Billington EO, Rose MS, Raymond DA, Hanley DA, Boyd SK. Effect of high-dose vitamin D supplementation on volumetric bone density and bone strength. JAMA. 2019;322(8):736-745. doi:10.1001/jama.2019.11889.
50. Can S, Demirkan E, Ercan S. The effects of exercise preferences on body fat and body mass index by self-report. Univers J Educ Res. 2019;7(1):293-299. doi: 10.13189/ujer.2019.070137.

51. Caplova Z, Švábová P, Fuchsová M, et al. Estimation of stature and body weight in Slovak adults using static footprints: A preliminary study. Leg Med (Tokyo). 2018;34:7-16. doi:10.1016/j.legalmed.2018.07.002.
52. Carriero A, Zavatsky A, Stebbins J, Theologis T, Shefelbine SJ. Correlation between lower limb bone morphology and gait characteristics in children with spastic diplegic cerebral palsy. J Pedia Orthop. 2009:29(1):73–79. doi: 10.1097/BPO.0b013e31819224d.
53. Clemente FM, Ramirez-Campillo R, Sarmento H, Castillo D, Raya-González J, Rosemann T, Knechtle B. Effects of recreational small-sided soccer games on bone mineral density in untrained adults: a systematic review and meta-analysis. Healthcare. 2021;9(4):457. doi: 10.3390/healthcare9040457.
54. Cohen PR. Capecitabine-Associated Loss of Fingerprints: Report of Capecitabine--Induced Adermatoglyphia in Two Women with Breast Cancer and Review of Acquired Dermatoglyphic Absence in Oncology Patients Treated with Capecitabine. Cureus. 2017 Jan 9;9(1):e969. doi: 10.7759/cureus.969. PMID: 28191373; PMCID: PMC5298917.
55. Correa-Rodríguez M, Rueda-Medina B, González-Jiménez E, Schmidt-Rioval. Associations between body composition, nutrition, and physical activity in young adults. Am J Hum Biol. 2017;29(1). doi: 10.1002/ajhb.22903.
56. Cotofana S, Fratila AAM, Schenck TL, et al. The anatomy of the aging face: A review. Facial Plast Surg. 2016;32:253-260. doi:10.1055/s-0036-1582234.
57. Cotofana S, Schenck TL, Trevidic P, et al. Midface: Clinical anatomy and regional approaches with injectable fillers. Plast Reconstr Surg. 2015;136(5):219-234. doi:10.1097/PRS.0000000000001837.
58. Creditt A, Joyce M, Tozer J. Skin and soft tissue ultrasound. In: Creditt A, Tozer J, Vitto M, Joyce M, Taylor L, eds. Clinical Ultrasound – A Pocket Manual. Cham, Switzerland: Springer; 2018:267-277.
59. Cruz-Jentoft AJ, Sayer AA. Sarcopenia. Lancet. 2019;393(10191):2636-2646. doi: 10.1016/S0140-6736(19)31138-9.
60. Curran M, Bailey R. An investigation into whether a bare footprint alters in length and width after jumping from a fixed height. College of Podiatry Annual Conference: Keep Moving, ACC Liverpool. 2017.
61. Čihák R. Anatomie 1. 2nd ed. Praha: Grada Publishing; 2001. ISBN 80-7169-970-5.
62. Davies H. Metatarsus quintus valgus. Br Med J. 1949;16:664-665.
63. De Greef S, Claes P, Vandermeulen D, et al. Large-scale in-vivo Caucasian soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction. Forensic Sci Int. 2006;159(1):S126-S146. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073806000879?via%3Dihub. Accessed December 4, 2020.

64. de Mesquita Barros Almeida Leite C, Di Renzo L, Sinibaldi Salimei P, Gualtieri P, Madalozo Schieferdecker ME, Vilela RM, Ghizoni Teive HA, Frehner C, Taconeli CA, Cabral A, Merra G, De Lorenzo A. Lean body mass: reference values for Italian population between 18 to 88 years old. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2018;22(22):7891-7898. doi: 10.26355/eurrev_201811_16415.
65. DiMaggio JA, Vernon DW. Forensic Podiatry: Principles and Methods. 1st ed. New York: Humana Press; 2011. ISBN 1-6173-7975-1.
66. DiMaggio JA, Vernon W. Forensic Podiatry: Principles and Methods. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2017.
67. DiMaggio JA. Forensic Podiatry (Part One of Two). Available at: http://www.evidencemagazine.com/index.php?option=com_content&task=view&id=41&Itemid=49. Accessed January 30, 2014.
68. Docaj A, Carriero A. Bone health: Quality versus quantity. J Pediatr Orthop Soc N Am. 2024;7:100054. doi:10.1016/j.jposna.2024.100054.
69. Dodgeon J, Harrison G. Clark‘s Essential Guide to Clinical Ultrasound. Boca Raton: CRC Press; 2023.
70. Doty J, Coughlin M. Hallux valgus and hypermobility of the first ray: facts and fiction. Int Orthop. 2013;37(9):1655-1660.
71. Doulgeraki AE, Manousakis EM, Papadopoulos NG. Bone health assessment of food allergic children on restrictive diets: a practical guide. J Pediatr Endocrinol Metab. 2017;30(2):133–139. doi:10.1515/jpem-2016-0162.
72. Drahansky M, Brezinová E, Lordová D, Orság F. Fingerprint recognition influenced by skin diseases. Int J Bio-Sci Bio-Technol. 2010;2(4):11-22.
73. Drobný I, Pospíšil MF, Hanulík M. Stavba ľudského tela. In: Pospíšil MF, Drobný I, Hanulík M, eds. Biológia človeka 2. Bratislava: Univerzita Komenského; 2008:17-101.
74. Dungl P. Ortopedie a Traumatologie Nohy. Praha: Avicenum; 1989. ISBN 08-082-89.
75. Duren DL, Sherwood RJ, Czerwinski SA, Lee M, Choh AC, Siervogel RM, Cameron Chumlea W. Body composition methods: Comparisons and interpretation. J Diabetes Sci Technol. 2008;2(6):1139-1146. doi: 10.1177/193229680800200623.
76. Duta N, Jain AK, Mardia KV. Matching of palmprints. Pattern Recogn Lett. 2001;23(4):477-485.
77. Eis E, Křivánek F. Ortopedie a Základy Ortopedické Protetiky. Praha: Univerzita Karlova; 1986.
78. El Hadi H, Di Vincenzo A, Vettor R, Rossato M. Food ingredients involved in white-to-brown adipose tissue conversion and in calorie burning. Front Physiol. 2019;9:1954. doi: 10.3389/fphys.2018.01954.

79. Erlandson MC, Kontulainen SA, Baxter-Jones ADG. Precompetitive and recreational gymnasts have greater bone density, mass, and estimated strength at the distal radius in young childhood. Osteoporos Int. 2011;22(1):75-84. doi: 10.1007/s00198-010-1263-9.
80. Fañanás L, Moral P, Bertranpetit J. Quantitative dermatoglyphics in schizophrenia: study of family history subgroups. Hum Biol. 1990 Jun;62(3):421-7. PMID: 2373511.
81. Fañanas L, van Os J, Hoyos C, McGrath J, Mellor CS, Murray R. Dermatoglyphic a-b ridge count as a possible marker for developmental disturbance in schizophrenia: replication in two samples. Schizophr Res. 1996 Jul 5;20(3):307-14. doi: 10.1016/0920-9964(95)00013-5. PMID: 8827858.
82. Fatani AZ, Alshamrani HM, Alshehri KA, et al. Awareness on the association between skin aging and smoking: impact on smoking quitting. Imam J Appl Sci. 2020;5(1):33-37. Available at: https://www.e-ijas.org/text.asp?2020/5/1/33/274293. Accessed February 28, 2020.
83. Fatjó-Vilas M, Gourion D, Campanera S, Mouaffak F, Levy-Rueff M, Navarro ME, Chayet M, Miret S, Krebs MO, Fañanás L. New evidences of gene and environment interactions affecting prenatal neurodevelopment in schizophrenia-spectrum disorders: a family dermatoglyphic study. Schizophr Res. 2008 Aug;103(1-3):209-17. doi: 10.1016/j.schres.2008.04.015. Epub 2008 Jun 26. PMID: 18583099.
84. Fearon P, Lane A, Airie M, Scannell J, McGowan A, Byrne M, Cannon M, Cotter D, Murphy P, Cassidy B, Waddington J, Larkin C, O'Callaghan E. Is reduced dermatoglyphic a-b ridge count a reliable marker of developmental impairment in schizophrenia? Schizophr Res. 2001 Jul 1;50(3):151-7. doi: 10.1016/s0920-9964(00)00089-x. PMID: 11439235.
85. Fessler DMT, Haley KJ, Lal RD. Sexual dimorphism in foot length proportionate to stature. Ann Hum Biol. 2005;32(1):44-59. doi:10.1080/03014460400027581.
86. Fève B, Cintid S, Beaupère C, Vatier C, Vigouroux C, Vali A, Capeau J, Grosfed A, Moldes M. Pink adipose tissue: A paradigm of adipose tissue plasticity. Ann Endocrinol (Paris). 2024;85(3):248-251. doi: 10.1016/j.ando.2024.05.004.
87. Fishman ML. Yoga for osteoporosis: a pilot study. Topics in Geriatric Rehab. 2009;25(3):244-250.doi: 10.1097/TGR.0b013e3181b02dd6.
88. Franklyn-Miller, A., Wilson, C., Bilzon, J., & McCrory, P. (2018). Barefoot running: biomechanics and implications for running injuries. Sports Medicine, 48(5), 1239-1253.
89. Froelich MF, Fugmann M, Daldrup CL, Hetterich H, Coppenrath E, Saam T, Ferrari U, Seissler J, Popp D, Lechner A, Sommer NN. Measurement of total and visceral fat mass in young adult women: A comparison of MRI with anthropometric measurements with and without bioelectrical impedance analysis. Br J Radiol. 2020;93(1110):20190874. doi: 10.1259/bjr.20190874.

90. Gabalda MK, Compton MT. Dermatoglyphic indices and minor physical anomalies in patients with schizophrenia and related disorders, their first-degree biological relatives, and non psychiatric controls. Psychiatry Res. 2010 Jul 30;178(2):255-9. doi: 10.1016/j.psychres.2009.10.014. Epub 2010 May 15. PMID: 20478629.
91. Gaggini M, Gastaldelli A. Brown versus white fat: are they really playing a role in obesity and cardiometabolic risk? Clin Lipidol. 2015;10(5):365-368. doi: 10.2217/clp.15.32.
92. Gallo J, et al. Ortopedie pro Student Lékařských a Zdravotnických Fakult. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci; 2011. ISBN 978-80-24424866.
93. Gelmon K, Chan A, Harbeck N. The role of capecitabine in first-line treatment for patients with metastatic breast cancer. Oncologist. 2006;11 Suppl 1:42-51. doi: 10.1634/theoncologist.11-90001-42. PMID: 16971739.
94. Gerbrecht BM. Current Canadian experience with capecitabine: partnering with patients to optimize therapy. Cancer Nurs. 2003 Apr;26(2):161-7. doi: 10.1097/00002820-200304000-00011. PMID: 12660565.
95. Ghadimi R., Hosseini SR, Asefi S., Bijani A., Heidari B., Babaei M. Influence of smoking on bone mineral density in elderly men. Int J Prev Med. 2018;9:11. doi: 10.4103/ijpvm.IJPVM_234_16.
96. Giangregorio L, Blimkie CJR. Skeletal adaptations to alterations in weight-bearing activity. Sports Med. 2002;32:459–476.doi:10.2165/00007256-200232070-00005.
97. Gibson DJ, Burden ST, Strauss BJ, Todd C, Lal S. The role of computed tomography in evaluating body composition and the influence of reduced muscle mass on clinical outcome in abdominal malignancy: A systematic review. Eur J Clin Nutr. 2015;69(10):1079-1086. doi: 10.1038/ejcn.2015.32.
98. Giel KE, Bulik CM, Fernandez-Aranda F, Hay P, Keski-Rahkonen A, Schag K, Schmidt U, Zipfel S. Binge eating disorder. Nat Rev Dis Primers. 2022;8(1):16. doi: 10.1038/s41572-022-00344-y.
99. Gietzen T, Brylka R, Achenbach J, et al. A method for automatic forensic facial reconstruction based on dense statistics of soft tissue thickness. PLoS One. 2019;14(1):e0210257. Available at: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0210257. Accessed March 17, 2020.
100. Giuliano A. Fingerprint Identification Handbook. Turin, Italy: Edizioni Minerva Medica S.p.A.; 2016:321.
101. Glegg DLJ. Poroscopy in practice. J Forensic Ident. 1994;44(1):15-21.
102. Golembo-Smith S, Walder DJ, Daly MP, Mittal VA, Kline E, Reeves G, Schiffman J. The presentation of dermatoglyphic abnormalities in schizophrenia: a meta-analytic review. Schizophr Res. 2012 Dec;142(1-3):1-11. doi: 10.1016/j.schres.2012.10.002. Epub 2012 Oct 29. PMID: 23116885; PMCID: PMC3502669.

103. Goodarzi MO. Genetics of obesity: what genetic association studies have taught us about the biology of obesity and its complications. Lancet Diabetes Endocrinol. 2018;6(3):223-236. doi: 10.1016/S2213-8587(17)30200-0.
104. Gou G. Age estimation. In: Li SZ, Jain AK, eds. Encyclopedia of Biometrics. 2nd ed. New York, NY: Springer; 2015:9-14.
105. Grandfield K, Vuong V, Schwarcz HP. Ultrastructure of bone: hierarchical features from nanometer to micrometer scale revealed in focused ion beam sections in the TEM. Calcif Tissue Int. 2018;103(6):606–616. doi: 10.1007/s00223-018-0454-9.
106. Gray K, Pacej V, Gibbons P, Little D, Burns J. Interventions for congenital talipes equinovarus (clubfoot). 2014 Aug 12;8:CD008602. doi:10.1002/14651858.CD008602.pub3.
107. Gray N, Howard A, Zhu J, Feldman LY, TO T. Association between inhaled corticosteroid use and bone fracture in children with asthma. JAMA Pediatr. 2018;172(1):57. doi:10.1001/jamapediatrics.2017.3579.
108. Gunn N. Old and new methods of evaluating footprint impressions by a forensic podiatrist. Br J Podiatr Med Surg. 1991;3:8-11.
109. Guo SS, Zeller C, Chumlea WC, Siervogel RM. Aging, body composition, and lifestyle: the Fels Longitudinal Study. Am J Clin Nutr. 1999;70(3):405-11. doi: 10.1093/ajcn/70.3.405.
110. Gupta A. Poroscopy: The reliability of fingerprint pore area in personal identification. Saarbrücken, Germany: VDM Verlag; 2009:120.
111. Gurney JK, Kuch C, Rosenbaum D, Kersting UG. The Māori foot exhibits differences in plantar loading and midfoot morphology to the Caucasian foot. Gait Posture. 2012;36(1):157-159. doi:10.1016/j.gaitpost.2012.01.013.
112. Gutiérrez E, Galera V, Martínez JM, Alonso C. Biological variability of the minutiae in the fingerprints of a sample of the Spanish population. Forensic Sci Int. 2007 Oct 25;172(2-3):98-105. doi: 10.1016/j.forsciint.2006.12.013. Epub 2007 Feb 7. PMID: 17289319.
113. Han CC, Cheng HL, Lin CL, Fan KC. Personal authentication using palm-print features. Pattern Recogn. 2003;36(2):371-381.
114. Haney B. Aesthetic Procedures: Nurse Practitioner's Guide to Cosmetic Dermatology. Irvine, CA: Springer International Publishing; 2020.
115. Hannan MT, Menz HB, Jordan JM, Cupples LA, Cheng CH, Hsu YH. High heritability of hallux valgus and lesser toe deformities in adult men and women. Arthritis Care Res (Hoboken). 2013;65(9):1515-1521. doi:10.1002/acr.22040.
116. Hazarika P, Russell DA. Advances in fingerprint analysis. Angew Chem Int Ed Engl. 2012 Apr 10;51(15):3524-31. doi: 10.1002/anie.201104313. Epub 2012 Mar 27. PMID: 22461202.

117. Hefti F, Brunner R, Freuler F, Hasler C, Jundt G. Pediatric Orthopedics in Practice. Heidelberg: Springer; 2007. ISBN-13 978-3-540-69963-7.
118. Helge EW, Aagaard P, Jakobsen MD, Eundstrup E, Randers MB, Karlsson MM, Krustrup P. Recreational football training decreases 82 risk factors for bone fractures in untrained premenopausal women. Scand J Med Sci Sports. 2010;20(1):31-39. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01107.x.
119. Hendrickx G, Boudin E, Van Hul W. A look behind the scenes: the risk and pathogenesis of primary osteoporosis. Nat Rev Rheumatol. 2015;11(8):462–474. doi: 10.1038/nrrheum.2015.48.
120. Hoffmann J, Thiele J, Kwast S, Borger MA, Schröter T, Schmidt J, Busse M. A new approach to quantify visceral fat via bioelectrical impedance analysis and ultrasound compared to MRI. Int J Obes (Lond). 2024;48(2):209-217. doi: 10.1038/s41366-023-01400-7.
121. Hollander, K., van der Zwaard, B. C., de Villiers, J. E., Braumann, K. M., & Zech, A. (2017). The effects of barefoot and shod running on foot strike biomechanics. Gait & Posture, 58, 230-234.
122. Holmes CJ, Racette SB. The utility of body composition assessment in nutrition and clinical practice: An overview of current methodology. Nutrients. 2021;13(8):2493. doi: 10.3390/nu13082493.
123. Holmes JH. Diagnostic ultrasound during the early years of AIUM. J Clin Ultrasound. 1980;8(4):299-308. doi:10.1002/jcu.1870080404.
124. Howsam N, Bridgen A. A comparative study of standing fleshed foot and walking and jumping bare footprint measurements. Sci Justice. 2018;58(5):346-354. doi:10.1016/j.scijus.2018.06.003.
125. Howsam N, Reel S, Killey J. A preliminary study investigating the overlay method in forensic podiatry for comparison of insole footprints. Sci Justice. 2022;62(5):494-505. doi:10.1016/j.scijus.2022.07.009.
126. Hrazdíra I. Úvod do ultrasonografie v otázkách a odpovědích pro studenty lékařské fakulty: Část I. Principy ultrazvukových diagnostických metod a způsoby jejich využití. Brno: Lékařská fakulta MU v Brně; 2015.
127. Huang Q, Zeng Z. A review on real-time 3D ultrasound imaging technology. Biomed Res Int. 2017;2017:6027029. doi:10.1155/2017/6027029.
128. Hutchinson M, Mallatt J, Marieb EN. Lidské tělo: Obrazový atlas latinsko-česko--anglický. Brno: CP Books; 2005:40, 53.
129. Chait A, den Hartigh LJ. Adipose Tissue Distribution, Inflammation and Its Metabolic Consequences, Including Diabetes and Cardiovascular Disease. Front Cardiovasc Med. 2020;7:22. doi: 10.3389/fcvm.2020.00022.

130. Chakraborty D, Mazumdar P, Than M, Singh R. Dermatoglyphic analysis in Malay subjects with bipolar mood disorder. Med J Malaysia. 2001 Jun;56(2):223-6. PMID: 11771083.
131. Chary T, Varma S, Singh S, Zain A, Dharap A. Dermatoglyphic patterns in subtypes of schizophrenia. Eur Psychiatry. 1996;11(1):12-5. doi: 10.1016/0924-9338(96)80453-6. PMID: 19698416.
132. Chen F, Su Q, Tu Y, Zhang J, Chen X, Zhao T, Huang Y, Xu G. Maximal muscle strength and body composition are associated with bone mineral density in chinese adult males. Medicine. 2020;99(6):e19050. doi:10.1097/MD.0000000000019050.
133. Chisati EM, Constatinou D, Lampiao F. Effects of maximal strength training on bone mineral density in people living with HIV and receiving anti retroviral therapy: a pilot study. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2020;12:67. doi: 10.1186/s13102-020-00216-6.
134. Chok JT, Kwapil TR. Extralimital triradii as a putative marker of schizotypy. Schizophr Res. 2005 Jul 15;76(2-3):239-45. doi: 10.1016/j.schres.2004.12.015. PMID: 15949656.
135. Chovancová M, Beňuš R, Švábová P, Masnicová S. Sexual dimorphism and bilateral difference of fingerprint sweat pore among Slovak population. J Forensic Leg Med. 2023 Feb;94:102487. doi: 10.1016/j.jflm.2023.102487. Epub 2023 Jan 14. PMID: 36708661.
136. Jain AK, Chen Y, Demirkus M. Pores and ridges: high-resolution fingerprint matching using level 3 features. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2007 Jan;29(1):15-27. doi: 10.1109/tpami.2007.250596. PMID: 17108380.
137. Jain AK, Prabhakar S, Hong L, Pankanti S. Filterbank-based fingerprint matching. IEEE Trans Image Process. 2000;9(5):846-59. doi: 10.1109/83.841531. PMID: 18255456.
138. Jira P. Forensic Investigation of Static Bare Footprints Sampled from Three Distinct Races: White British, Chinese, and Indians [dissertation]. Staffordshire University; 2019.
139. Jugdaohsingh R, O'Connell MA, Sripanyakorn S, Powell JJ. Moderate alcohol consumption and increased bone mineral density: potential ethanol and non-ethanol mechanisms. Proceedings of the Nutrition Society. 2006;65(3): 291-310. doi:10.1079/PNS2006508.
140. Jürimäe J, Gruodyte-Raciene R, Baxter-Jones ADG. Effects of gymnastics activities on bone accrual during growth: a systematic review. J Sports Sci Med. 2018;14:17(2):245-258. PMID: 29769826; PMCID: PMC5950742.
141. Justine M, Ruzali D, Hazidin E, Said A, Bukry SA, Manaf H. Range of motion, muscle length, and balance performance in older adults with normal, pronated, and supinated feet. J Phys Ther Sci. 2016;28(3):916-922. doi:10.1589/jpts.28.916.

142. Kadambande S, Khurana A, Debnath U, Bansal B, Hariharan K. Comparative anthropometric analysis of shod and unshod feet. Foot. 2006;16:188-191. doi:10.1016/j.foot.2006.06.001.
143. Kamak H, Celikoglu M. Facial soft tissue thickness among skeletal malocclusions: Is there a difference? Korean J Orthod. 2012;42:23-31. doi:10.4041/kjod.2012.42.1.23.
144. Kanchan T, Krishan K, Shyamsundar S, Aparna KR, Jaiswal S. Analysis of footprint and its parts for stature estimation in Indian population. Foot. 2012;22:175-180.
145. Kapandji AI. The Physiology of the Joints, Vol. 2: The Lower Limb. 6th ed. 2011. Reel S, Rouse S, Vernon OW, Doherty P. Estimation of stature from static and dynamic footprints. Forensic Sci Int. 2012;219(1-3):283.e1-283.e5. doi:10.1016/j.forsciint.2011.11.018.
146. Karastergiou K, Smith SR, Greenberg AS, Fried SK. Sex differences in human adipose tissues - the biology of pear shape. Biol Sex Differ. 2012;3(1):13. doi: 10.1186/2042-6410-3-13.
147. Kaur K, Sehrawat JS, Bahadur R. Sex dependent variations in craniofacial soft-tissue thicknesses estimated from MRI and CT scans: A pilot study based on Northwest Indian subjects. Int J Diagn Imaging. 2017;4(2):47-56.
148. Kennedy RB. Uniqueness of bare feet and its use as a possible means of identification. Forensic Sci Int. 1996;82:81-87.
149. Khalil SF, Mohktar MS, Ibrahim F. The theory and fundamentals of bioimpedance analysis in clinical status monitoring and diagnosis of diseases. Sensors. 2014;14(1):10895-10928. doi: 10.3390/s140108895.
150. Kim A, Baek S, Park S, Shin J. Bone mineral density of femur and lumbar and the relation between fat mass and lean mass of adolescents: based on Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHNES) from 2008 to 2011. Int J Environ Res Public Health. 2020;17:4471. doi: 10.3390/ijerph17124471.
151. Kim KB, Kim K, Kim C, Kang SJ, Kim HJ, Yoon S, Shin YA. Effects of Exercise on the Body Composition and Lipid Profile of Individuals with Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Obes Metab Syndr. 2019;28(4):278-294. doi: 10.7570/jomes.2019.28.4.278.
152. Kim YS, Nam JS, Yeo DW, Kim KR, Suh SH, Ahn CW. The effects of aerobic exercise training on serum osteocalcin, adipocytokines and insulin resistance on obese young males. Clin Endocrinol. 2015;82(5):686-694. doi: 10.1111/cen.12601.
153. Klementa J. Somatometrie nohy. Praha: Státní pedagogické nakladatelství; 1987. ISBN 14-045-88.

154. Kłosowski MM, Carzaniga R, Abellan P, Ramasse Q, McComb DW, Porter AE, Shefelbine JS. Electron microscopy reveals structural and chemical changes at the nanometer scale in the osteogenesis imperfecta murine pathology. ACS Biomater Sci Eng. 2017;3(11):2788–2797. doi:10.1021/acsbiomaterials.6b00300.
155. Koenig A, Girod A, Weyermann C. Identification of wax esters in latent print residues by gas chromatography-mass spectrometry and their potential use as aging parameters. J Forensic Ident. 2011;61(6):652-676.
156. Kolimechkov S. Body mass index. STK Sport UK. Published online 2014. Available at: https://www.stk-sport.co.uk/sports-science-projects-body-mass-index.html. Accessed February 28, 2020.
157. Kollmann J, Büchly W. Die Persistenz der Rassen und die Rekonstruktion der Physiognomie prähistorischer Schädel. Arch Anthropol. 1989;25(4):329-359.
158. Kondeková M, Beňuš R, Masnicová S, Švábová P. Distribution of the Minutiae in Hypothenar Palm Prints in Slovak Adults: Indications for Personal Identification. J Forensic Sci. 2020 Jul;65(4):1303-1309. doi: 10.1111/1556-4029.14299. Epub 2020 Feb 19. PMID: 32073656.
159. Kos J, Stingl J, Kachlík D, Báča V, Musil V. Přehled topografické anatomie. 2nd ed. Praha, Czech Republic: Nakladatelství Karolinum; 2014.
160. Kos J, Žilák P. Svaly nohy. In: Anatomie člověka pro výtvarníky. Praha: Aventium Nakladatelství; 1996:168. ISBN 80-85-277-98-0.
161. Kotrashetti VS, Mallapur MD. Radiographic assessment of facial soft tissue thickness in South Indian population – An anthropologic study. J Forensic Leg Med. 2016;39:161-168. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1752928X16000421. Accessed April 21, 2020.
162. Kozaková J, Janura M, Gregorková A, Svoboda Z. Hallux Valgus from the Physiotherapist Standpoint or Is Hallux Valgus Just a Hallux Deformity? Rehabil Phys Med. 2010;17(2):71–77.
163. Krishan K, Kanchan T, DiMaggio JA. Emergence of forensic podiatry: a novel sub-discipline of forensic sciences. Forensic Sci Int. 2015;255:16-27. doi:10.1016/j.forsciint.2015.06.012.
164. Krishan K, Kanchan T. Identification: Prints – Footprints. Encyclop Forensic Leg Med. 2016;3:81-91. doi:10.1016/B978-0-12-800034-2.00209-3.
165. Krishan K, Vij K. Diurnal variation of stature in three adults and one child. Anthropol. 2007;9(2):113-117. doi:10.1080/09720073.2007.11890987.
166. Krishan K. Establishing correlation of footprints with body weight: forensic aspects. Forensic Sci Int. 2008;179(1):63-69. doi:10.1016/j.forsciint.2008.04.015.
167. Krishan K. Estimation of stature from footprint and the foot outline dimensions in Gujjars of North India. Forensic Sci Int. 2008;175:93-101.

168. Krishan K. Individualizing characteristics of footprints in Gujjars of North India: forensic aspects. Forensic Sci Int. 2007;169:137-144. doi:10.1016/j.forsciint.2006.08.006.
169. Kubát R. Vady a nemoci nohou. Praha: Univerzita Karlova; 1988.
170. Kumar A, Kumar B, Patil A, Rastogi AK, Kumar P, Kumar G. Estimation of stature from footprint: a study on medical students of Bihar. J Indian Acad Forensic Med. 2022;44(1):4-9. doi:10.5958/0974-0848.2022.00026.4.
171. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, Heitmann BL, Kent-Smith L, Melchior JC, Pirlich M, Scharfetter H, Schols AM, Pichard C. Composition of the ESPEN Working Group. Bioelectrical impedance analysis – part I: review of principles and methods. Clin Nutr. 2004;23(5):1226-43. doi: 10.1016/j.clnu.2004.06.004.
172. Laing EM, Wilson AR, Modlesky CM, O´Connor PJ, Hall DB, Lewis RD. Initial years of recreational artistic gymnastics training improves lumbar spine bone mineral accrual in 4 – to 8 – year-old females. J Bone Miner. Res. 2005;20(3):509-519. doi: 10.1359/JBMR.041127.
173. Lake C. The Foot. 3rd ed. London; 1945.
174. Lassere Y, Hoff P. Management of hand-foot syndrome in patients treated with capecitabine (Xeloda). Eur J Oncol Nurs. 2004;8 Suppl 1:S31-40. doi: 10.1016/j.ejon.2004.06.007. PMID: 15341880.
175. Lee H, Lee B, Jung JW, Hong S, Kim E. Human biometric identification through integration of footprint and gait. Int J Control Autom. 2013;11(4):826-833.
176. Legerlotz K, Marzilger R, Bohm S, Arampatzis A. Physiological adaptations following resistance training in youth athletes – a narrative review. Pediatr Exerc Sci. 2016;28(4):501-520. doi: 10.1123/pes.2016-0023.
177. Li Y, Yun K, Mu R. A review on the biology and properties of adipose tissue macrophages involved in adipose tissue physiological and pathophysiological processes. Lipids Health Dis. 2020;19:164. doi: 10.1186/s12944-020-01342-3.
178. Limbert G, Masen MA, Pond D, et al. Biotribology of the ageing skin – Why we should care. Biotribology. 2019;17:75-90. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352573818300684?via%3Dihub. Accessed March 22, 2020.
179. Lin CF, Huang TH, Tu KC, Lin LL, Tu YH, Yang RS. Acute effects of plyometric jumping and intermittent running on serum bone markers in young males. Eur J Appl Physiol. 2012;112(4):1475-1484. doi: 10.1007/s00421-011-2108-8.
180. Lin X, Li H. Obesity: Epidemiology, Pathophysiology, and Therapeutics. Front Endocrinol (Lausanne). 2021;12:706978. doi: 10.3389/fendo.2021.706978.

181. Lindgren CM, Heid IM, Randall JC, Lamina C, Steinthorsdottir V, Qi L, Speliotes EK, Thorleifsson G, Willer CJ, Herrera BM, et al. Genome-wide association scan meta--analysis identifies three loci influencing adiposity and fat distribution. PLoS Genet. 2009;5(7). doi: 10.1371/annotation/b6e8f9f6-2496-4a40-b0e3-e1d1390c1928.
182. Livingstone KM, Tan MH, Abbott G, Duckham RL, Croft L, Ward J, McEvoy M, Keske MA, Austin C, Bowe SJ. Discovery Genome-Wide Association Study of Body Composition in 4,386 Adults From the UK Biobank‘s Pilot Imaging Enhancement Study. Front Endocrinol (Lausanne). 2021;12:692677. doi: 10.3389/fendo.2021.692677.
183. Loesch D, Penrose LS. Diagnosis with dermatoglyphic discriminants. J Ment Defic Res. 1971 Sep;15(3):185-95. doi: 10.1111/j.1365-2788.1971.tb01157.x. PMID: 4255526.
184. Lovejoy CO. Identification via pedal morphology. Int Crim Police Rev. 1985;40:186-190. doi:10.5455/ejfs.228548.
185. Lu J, Shin Y, Yen MS, Sun SS. Peak bone mass and patterns of change in total bone mineral density and bone mineral contents from childhood into young adulthood. J Clin Densit. 2016;19(2):180–191. doi:10.1016/j.jocd.2014.08.001.
186. Macková M. Integumentum commune. In: Mráz P, Belej K, Beňuška J, Holománová A, Macková M, Šteňová J, eds. Anatómia ľudského tela. 1st ed. Slovakia: Slovak Academic Press, spol. s r.o.; 2008:391-432.
187. Maheswari TNU, Krishnan M. Forensic facial reconstruction. Int J Forensic Odontol. 2019;4(1):1. Available at: http://www.ijofo.org/article.asp?issn=2542-5013;year=2019;volume=4;issue=1;spage=1;epage=1;aulast=Uma. Accessed April 24, 2020.
188. Maltoni D, Maio D, Jain AK, Prabhakar S. Handbook of Fingerprint Recognition. New York, NY: Springer Verlag; 2009:494.
189. Marini E, Toselli S. Bioelectrical impedance analysis of body composition Applications in sports science. Cagliari, UNICApress. 2021. https://doi.org/10.13125/unicapress.978-88-3312-033-1.
190. Martins PC, Alves Junior CAS, Silva AM, Silva DAS. Phase angle and body composition: A scoping review. Clin Nutr ESPEN. 2023;56:237-250. doi: 10.1016/j.clnesp.2023.05.015.
191. Marzetti E, Calvani R, Tosato M, Cesari M, Di Bari M, Cherubini A, Collamati A, D‘Angelo E, Pahor M, Bernabei R, Landi F; SPRINTT Consortium. Sarcopenia: an overview. Aging Clin Exp Res. 2017;29(1):11-17. doi: 10.1007/s40520-016-0704-5.
192. Masnicová S, Beňuš R, Panenková P. Rekonštrukcia podoby tváre z lebky. Bratislava, Slovakia: Akadémia policajného zboru v Bratislave; 2011.
193. Masood B, Moorthy M. Causes of obesity: a review. Clin Med (Lond). 2023;23(4):284-291. doi: 10.7861/clinmed.2023-0168.

194. Mateo-Orcajada A, González-Gálvez N, Abenza-Cano L, Vaquero-Cristóbal R. Differences in Physical Fitness and Body Composition Between Active and Sedentary Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Youth Adolesc. 2022;51(2):177-192. doi: 10.1007/s10964-021-01552-7.
195. Mathieson I, Upton D, Birchenough A. Comparison of footprint parameters calculated from static and dynamic footprints. Foot. 1999;9:145-149. doi:10.1054/foot.1999.0544.
196. Maurel DB, Boisseau N, Benhamou CL, Jaffre C. Alcohol and bone: review of dose effects and mechanisms. Osteoporos Int. 2012;23(1):1–16. doi:10.1007/s00198-011-1787-7.
197. McManus K, Antinoro L, Sacks F. A randomized controlled trial of a moderate--fat, low-energy diet compared with a low fat, low-energy diet for weight loss in overweight adults. Int J Obes Relat Metab Disord. 2001;25(10):1503-11. doi: 10.1038/sj.ijo.0801796.
198. Mei H, Chen W, Jiang F, He J, Srinivasan S, Smith EN, Schork N, Murray S, Berenson GS. Longitudinal replication studies of GWAS risk SNPs influencing body mass index over the course of childhood and adulthood. PLoS One. 2012;7(2):e31470. doi: 10.1371/journal.pone.0031470.
199. Meikle B, Stephan CN. B-mode ultrasound measurement of facial soft tissue thickness for craniofacial identification: a standardized approach. J Forensic Sci. 2020;65(3):939-947.
200. Meundi MA, David CM. Application of cone beam computed tomography in facial soft tissue thickness measurements for craniofacial reconstruction. J Oral Maxillofac Pathol. 2019;23(1):114-121.
201. Mialich MS, Covolo N, Vettori JCH, Jordao Jr AA. Relationship between body composition and level of physical activity among university students. Rev Chil Nutr. 2014;41(1):46-53.
202. Mickle KJ, Steele JR. Obese older adults suffer foot pain and foot-related functional limitation. Gait Posture. 2015;42(4):442-447. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.07.013.
203. Miller JR. Dermatoglyphics. J Invest Dermatol. 1973 Jun;60(6):435-42. doi: 10.1111/1523-1747.ep12702906. PMID: 4351102.
204. Minetto MA, Busso C, Lalli P, Gamerro G, Massazza G. DXA-derived adiposity and lean indices for management of cardiometabolic and musculoskeletal frailty: Data interpretation tricks and reporting tips. Front Rehabil Sci. 2021;2:712977. doi: 10.3389/fresc.2021.712977.
205. Mishra RK, Vardaini D. Assessment of relationship between footprint length and stature. Eur J Mol Clin Med. 2022;9(7):239-242.

206. Mohiuddin AK. Urbanization, environmental pollution & skin aging. Am Res J Dermatol. 2019;1(1):1-9. Available at: http://dx.doi.org/10.21694/2642-2980.19007. Accessed February 28, 2020.
207. Moore CL, Copel JA. Point-of-care ultrasonography. N Engl J Med. 2011;364(8):749-757. doi:10.1056/NEJMra0909487.
208. Moore RT. An analysis of ridge to ridge distance on fingerprints. J Forensic Ident. 1989;39(4):231-238.
209. Moorthy NT, Sangitha J, Norshafarina S, El Bakary A. Stature determination from 3D foot impression among Telugus in Malaysia. J Med Toxicol Leg Med. 2021;24(3-4):241-245. doi:10.37506/ijfmt.v15i2.14469.
210. Moorthy TN, Asogan R. Estimation of stature from foot outline in adult Malaysian Malayalee ethnics for forensic investigation. Sri Lanka J Forensic Med Sci Law. 2017;7(2):11-20. doi:10.4038/sljfmsl.v7i2.7777.
211. Moorthy TN, Mond T. Individualizing characteristics of footprints in Malaysian Chinese for person identification in forensic perspective. J South India Medicolegal Assoc. 2018;10(2):59-69.
212. Moorthy TN, Sulaiman SFB. Individualizing characteristics of footprints in Malaysian Malays for person identification from a forensic perspective. Egypt J Forensic Sci. 2015;5:13-22. doi:10.1016/j.ejfs.2014.04.003.
213. Morrison SC, McCarthy D, Mahaffey R. Associations between obesity and pediatric foot dimensions. J Am Podiatr Med Assoc. 2018;108(5):383-389. doi:10.7547/16-172.
214. Motorwala ZS, Kolke S, Panchal PY, Bedekar NS, Sancheti PK, Shyam A. Effects of Yogasanas on osteoporosis in postmenopausal women. Int J Yoga. 2016;9(1):44-48.
215. Mukhra R, Krishan K, Kanchan T. Bare footprint metric analysis methods for comparison and identification in forensic examinations: a review of literature. J Forensic Leg Med. 2018;58:101-112. doi:10.1016/j.jflm.2018.05.006.
216. Mukhra R, Krishan K, Nirenberg MS, Ansert E, Kanchan T. Comparative analysis of static and dynamic bare footprint dimensions in a North Indian population. Forensic Sci Int. 2020;308:110169. doi:10.1016/j.forsciint.2020.110169.
217. Mukhra R, Krishan K, Nirenberg MS, Ansert E, Kanchan T. The contact area of static and dynamic footprints: forensic implications. Sci Justice. 2021;61(2):187-192. doi:10.1016/j.scijus.2020.10.003.
218. Müller MJ, Geisler C, Blundell J, Dulloo A, Schutz Y, Krawczak M, Bosy-Westphal A, Enderle J, Heymsfield SB. The case of GWAS of obesity: does body weight control play by the rules? Int J Obes (Lond). 2018;42(8):1395-1405. doi: 10.1038/s41366-018-0081-6.

219. Mulya A, Kirwan JP. Brown and Beige Adipose Tissue: Therapy for Obesity and Its Comorbidities? Endocrinol Metab Clin North Am. 2016;45(3):605-21. doi: 10.1016/j.ecl.2016.04.010.
220. Munjal P, Utreja A, Mittal S, Sunda S, Arora N. Faciomandibular asymmetry: an analysis of skeletal parameters and possible etiological factors. Indian J Dent Sci. 2017;9(5):7-12.
221. Munn L, Stephan CN. Changes in face topography from supine-to-upright position and soft tissue correction values for craniofacial identification. Forensic Sci Int. 2018;289:40-50.
222. Murshed M. Mechanism of bone mineralization. Cold Spring Harb Perspect Med. 2018;8(12):a031229. doi: 10.1101/cshperspect.a031229.
223. Nádaždyová A, Thurzo A, Stanko P. Súčasné možnosti 3D analýzy mäkkých tkanív tváre. In: Varga I, ed. Biomedicínsky Výskum II., Zborník vedeckých prác. Bratislava, Slovakia: Občianske združenie Mamma Feminina; 2014:3-8.
224. Nagesh KR, Bathwal S, Ashoka B. A preliminary study of pores on epidermal ridges: Are there any sex differences and age related changes? J Forensic Leg Med. 2011 Oct;18(7):302-5. doi: 10.1016/j.jflm.2011.06.005. Epub 2011 Jul 13. PMID: 21907932.
225. Nachshon L, Goldberg MR, Schwartz N, Sinai T, Amitzur-Levy R, Elizur A, Eisenberg E, Katz Y. Decreased bone mineral density in young adult IgE-mediated cow's milk–allergic patients. J Allergy Clin Immunol. 2014;134(5):1108-1113.e3. doi.org/10.1016/j.jaci.2014.06.026.
226. Neumann C, Champod C, Puch-Solis R, Egli N, Anthonioz A, Bromage-Griffiths A. Computation of likelihood ratios in fingerprint identification for configurations of any number of minutiae. J Forensic Sci. 2007 Jan;52(1):54-64. doi: 10.1111/j.1556-4029.2006.00327.x. PMID: 17209910.
227. Nikolaidou ME, Boudolos KD. A footprint-based approach for the rational classification of foot types in young school children. Foot. 2006;16:82-90. doi:10.1016/j.foot.2006.02.001.
228. Nikolaou V, Syrigos K, Saif MW. Incidence and implications of chemotherapy related hand-foot syndrome. Expert Opin Drug Saf. 2016 Dec;15(12):1625-1633. doi: 10.1080/14740338.2016.1238067. Epub 2016 Oct 8. PMID: 27718746.
229. Nirenberg M, Ansert E, Campbell J, Curran M. Chasing ghosts: An investigation of the ghosting phenomenon in footprints. Sci Justice. 2020;60(5):432-437. doi:10.1016/j.scijus.2020.06.006.
230. Nirenberg MS, Ansert E, Reel S. Reliability of a two-dimensional sock-clad footprint linear measurement method. Sci Justice. 2021;61(5):649-656. doi:10.1016/j.scijus.2021.07.007.

231. Nirenberg MS, Krishan K, Kanchan T. A metric study of insole foot impressions in footwear of identical twins. J Forensic Leg Med. 2017;52:116-121. doi:10.1016/j.jflm.2017.09.005.
232. Nishikawa H, Yoh K, Enomoto H, Ishii N, Iwata Y, Nakano CH, Takata R, Nishimura T, Aizawa N, Sakai Y, Ikeda N, Hasegawa K, Takashima T, Iijima H, Nishiguchi S. Extracellular water to total body water ratio in viral liver diseases: a study using bioimpedance analysis. Nutrients. 2018;10(8):1072. doi: 10.3390/nu10081072.
233. Nousbeck J, Burger B, Fuchs-Telem D, Pavlovsky M, Fenig S, Sarig O, Itin P, Sprecher E. A mutation in a skin-specific isoform of SMARCAD1 causes autosomal-dominant adermatoglyphia. Am J Hum Genet. 2011 Aug 12;89(2):302-7. doi: 10.1016/j.ajhg.2011.07.004. Epub 2011 Aug 4. PMID: 21820097; PMCID: PMC3155166.
234. Nousbeck J, Sarig O, Magal L, Warshauer E, Burger B, Itin P, Sprecher E. Mutations in SMARCAD1 cause autosomal dominant adermatoglyphia and perturb the expression of epidermal differentiation-associated genes. Br J Dermatol. 2014 Dec;171(6):1521-4. doi: 10.1111/bjd.13176. Epub 2014 Oct 26. PMID: 24909267.
235. Offenbecker AM, Case DT. Accessory navicular: A heritable accessory bone of the human foot. Int J Osteoarchaeol. 2012;22(2):158-167. doi:10.1002/oa.1193.
236. Otová B. Lékařská biologie a genetika I. díl. 1st ed. Praha: Karolinium; 2008:123.
237. Owen MJ, Sawa A, Mortensen PB. Schizophrenia. Lancet. 2016 Jul 2;388(10039):86-97. doi: 10.1016/S0140-6736(15)01121-6. Epub 2016 Jan 15. PMID: 26777917; PMCID: PMC4940219.
238. Owsley JQ, Roberts CL. Some anatomical observations on midface aging and long-term results of surgical treatment. Plast Reconstr Surg. 2008;121:258-268. doi:10.1097/01.prs.0000293872.14916.bb.
239. Özkan MÇ, Yeşil F, Bayramyçli I, Bayramyçli M. Soft tissue thickness variations of the nose: A radiological study. Aesthet Surg J. 2020;40(7):711-718. doi:10.1093/asj/sjz320.
240. Ozturk CN, Larson JD, Ozturk C, Zins JE. The SMAS and fat compartments of the nose: An anatomical study. Aesthetic Plast Surg. 2013;37(1):11-15. doi:10.1007/s00266-012-0012-1.
241. Panenková P, Beňuš R, Masnicová S, et al. Facial soft tissue thicknesses of the mid-face for the Slovak population. Forensic Sci Int. 2012;220(1-3):293.e1-6. doi:10.1016/j.forsciint.2012.02.015.
242. Park HS. Treatment of facial asymmetry with microimplants. In: Park JH, ed. Temporary Anchorage Devices in Clinical Orthodontics. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2020:603-614.

243. Pasteris JD, Wopenka B, Freeman JJ, Rogers K, Valsami-Jones E, Houwen JAM, Silva MJ. Lack of OH in nanocrystalline apatite as a function of degree of atomic order: implications for bone and biomaterials. Biomaterials. 2004;25(2):229-238. doi: 10.1016/s0142-9612(03)00487-3.
244. Pataky TC, Mu T, Bosch K, Rosenbaum D, Goulermas JY. Gait recognition: highly unique dynamic plantar pressure patterns among 104 individuals. J R Soc Interface. 2012;9(69):790-800. doi:10.1098/rsif.2011.0430.
245. Pechenkina EA, Benfer RA Jr, Vershoubskaya GG, Kozlov AI. Genetic and environmental influence on the asymmetry of dermatoglyphic traits. Am J Phys Anthropol. 2000 Apr;111(4):531-43. doi: 10.1002/(SICI)1096-8644(200004)111:4<531::AID-AJPA8>3.0.CO;2-6. PMID: 10727971.
246. Pelegrini A, Bim MA, Alves AD, Scarabelot KS, Claumann GS, Fernandes RA, De Angelo HCC, Pinto ADA. Relationship between muscle strength, body composition and bone mineral density in adolescents. J Clin Densitometry. 2022;25(1):54–60. doi:10.1016/j.jocd.2021.09.001.
247. Pelegrini A. Klen JA, Costa AM, Bim MA, Claumann GS, De Angelo HCC, De Araújo Pinto A. Association between sedentary behavior and bone mass in adolescents. Osteoporos Int. 2020;31(9):1733–1740. doi:10.1007/s00198-020-05412-1.
248. Pereira Y, Mendelson M, Marillier M, Ghaith A, Verges S, Borowik A, Vuillerme N, Estève F, Flore P. Body composition assessment of people with overweight/obesity with a simplified magnetic resonance imaging method. Sci Rep. 2023;13(1):11147. doi: 10.1038/s41598-023-37245-3.
249. Phoosuwan M, Kritpet T, Yuktanandana P. The effects of weight bearing yoga training on the bone resorption markers of the postmenopausal women. J Med Assoc Thai. 2009;92(5):102-108.
250. Phoosuwan M, Yuktanandana P, Kritpet T. The Effects of Modified Yoga Pose Training on Bone Remodeling of Elderly Women with Osteopenia. J Exer Physiol. 2021:24(1).
251. Pietrzak A, Wawrzycki B, Schmuth M, et al. Structural and functional foot disorders in patients with genodermatoses: a single-centre, retrospective chart review. Orphanet J Rare Dis. 2022;17:53. doi:10.1186/s13023-022-02207-x.
252. Polcerová L, Chovancová M, Králík M, Beňuš R, Klíma O, Meinerová T, Čuta M, Petrová ME. Radioulnar contrasts in fingerprint ridge counts: Searching for dermatoglyphic markers of early sex development. Am J Hum Biol. 2022 May;34(5):e23695. doi: 10.1002/ajhb.23695. Epub 2021 Nov 10. PMID: 34757677.
253. Ponnapula P, Boberg JS. Lower extremity changes experienced during pregnancy. J Foot Ankle Surg. 2010;49:452-458. doi:10.1053/j.jfas.2010.06.018.

254. Pospíšil M. Základy dermatoglyfiky. 2nd ed. Bratislava, Slovakia: Univerzita Komenského; 1979:184.
255. Pospíšil MF, Drobná M, Neščáková E, Sivákova D, Thurzo M. Biológia človeka 2. Bratislava: Univerzita Komenského; 2002:264.
256. Pospíšil MF, Drobný I, Hanulík M. Biológia človeka 1. Bratislava, Slovakia: Univerzita Komenského; 2001:288.
257. Preethi DS, Nithin MD, Manjunatha B, Balaraj BM. Study of poroscopy among South Indian population. J Forensic Sci. 2012 Mar;57(2):449-52. doi: 10.1111/j.1556-4029.2012.02058.x. Epub 2012 Feb 15. PMID: 22335766.
258. Price C, Nester CH. Foot dimensions and morphology in healthy weight, overweight and obese males. Clin Biomech. 2016;37:125-130. doi:10.1016/j.clinbiomech.2016.07.003.
259. Ramesh G, Nagarajappa R, Sreedhar G, Sumalantha MN. Facial soft tissue thickness in forensic facial reconstruction: Is it enough if norms set? J Forensic Res. 2015;6(5):1000299. doi:10.4172/2157-7145.1000299.
260. Ramotowski R. Composition of latent print residue. In: Lee HC, Gaensslen RE, eds. Advances in Fingerprint Technology. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2001:63-104.
261. Rao UB, Joseph B. The influence of footwear on the prevalence of flat foot. J Bone Joint Surg Br. 1992;74(4):525-527.
262. Rauch F. Bone growth in length and width: the Yin and Yang of bone stability. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2005;5(3):194-201.
263. Reel S. Development and Evaluation of a Valid and Reliable Footprint Measurement Approach in Forensic Identification. [dissertation]. Leeds, UK: School of Health and Life Sciences, The University of Leeds; 2012.
264. Reilly JL, Murphy PT, Byrne M, Larkin C, Gill M, O'Callaghan E, Lane A. Dermatoglyphic fluctuating asymmetry and atypical handedness in schizophrenia. Schizophr Res. 2001 Jul 1;50(3):159-68. doi: 10.1016/s0920-9964(00)00044-x. PMID: 11439236.
265. Riegerová J, Přidalová M. Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu: (příručka funkční antropologie). 3rd ed. Olomouc: Nakladatelství HANEX; 2006:262. ISBN: 80-85783-52-5.
266. Riegerová J, Žeravová M, Peštuková M. A contribution to the foot morphology of school children and teenagers between the ages of 12-18 in Moravia. Slov Antropol. 2003;6(1):112-117.
267. Richard MJ, Morris C, Deen F, et al. Analysis of the anatomic changes of the aging facial skeleton using computed-assisted tomography. Ophthalmic Plast Reconstr Surg. 2009;25(5):382-386. doi:10.1097/IOP.0b013e3181b2f766.

268. Robbins LM. Estimating height and weight from size of footprints. J Forensic Sci. 1986;31(1):143-152.
269. Robbins LM. Footprints: Collection, Analysis, and Interpretation. Springfield, IL: C.C. Thomas; 1985:255.
270. Robbins LM. The individuality of human footprints. J Forensic Sci. 1978;23:778-785. doi:10.1520/JFS10737J.
271. Rocha Piedade S, Carvalho LM, Mendes LA, Possedente M, Ferreira DM. Facial trauma. In: Rocha Piedade S, Imhoff A, Clatworthy M, Cohen M, Espregueira--Mendes J, eds. The Sports Medicine Physician. Cham, Switzerland: Springer; 2019:261-273.
272. Rosa A, Cuesta MJ, Peralta V, Zarzuela A, Serrano F, Martínez-Larrea A, Fañanás L. Dermatoglyphic anomalies and neurocognitive deficits in sibling pairs discordant for schizophrenia spectrum disorders. Psychiatry Res. 2005 Dec 15;137(3):215-21. doi: 10.1016/j.psychres.2005.07.006. Epub 2005 Nov 17. PMID: 16297982.
273. Rosa A, Fañanas L, Bracha HS, Torrey EF, van Os J. Congenital dermatoglyphic malformations and psychosis: a twin study. Am J Psychiatry. 2000 Sep;157(9):1511-3. doi: 10.1176/appi.ajp.157.9.1511. PMID: 10964873.
274. Salari N, Ghasemi H, Mohammadi L, Behzadi HM, Rabieenia E, Shohaimi S, Mohammadi M. The global prevalence of osteoporosis in the world: a comprehensive systematic review and meta-analysis. J Orthop Surg Res. 2021;16:609. doi:10.1186/s13018-021-02772-0.
275. Santilli V, Bernetti A, Mangone M, Paoloni M. Clinical definition of sarcopenia. Clin Cases Miner Bone Metab. 2014;11(3):177-80.
276. Saunders J, Smith T. Malnutrition: causes and consequences. Clin Med (Lond). 2010;10(6):624-7. doi: 10.7861/clinmedicine.10-6-624.
277. Scerpella TA, Dowthwaite JN, Rosenbaum PF. Sustained skeletal benefit from childhood mechanical loading. Osteoporos Int. 2011;22(7):2205-2210. doi: 10.1007/s00198-010-1373-4.
278. Segal NA, Boyer ER, Teran-Yengle P, Glass N, Hillstrom HJ, Yack J. Pregnancy leads to lasting changes in foot structure. Am J Phys Med Rehabil. 2013;92(3):232-240. doi:10.1097/PHM.0b013e31827443a9.
279. Sharma K. Heritability of morphological traits in a Punjabi population of India. Z Morph Anthropol. 1986;77(1):87-93. PMID: 3471012.
280. Shepherd JA, Ng BK, Sommer MJ, Heymsfield SB. Body composition by DXA. Bone. 2017;104:101-105. doi: 10.1016/j.bone.2017.06.010.
281. Shukla R, Lodha A, Das S. Stature estimation from footprint: A study on Central Indian population. Eur J Forensic Sci. 2017;4(2):1-9. doi:10.5455/ejfs.228548.
282. Schaumann B, Alter M. Dermatoglyphics in Medical Disorder. New York, NY: Springer Verlag; 1976:258.

283. Schulz R, Schiborr M, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A. Sonographic assessment of the ossification of the medial clavicular epiphysis in 616 individuals. Forensic Sci Med Pathol. 2013;9:351-357. doi:10.1007/s12024-013-9440-8.
284. Silbernagl S, Despopoulos A. Atlas fyziologie člověka. 6. vyd., Praha, Grada 2004; 435 p. ISBN 80-247-0630-X.
285. Singh HN, Biswas P. Distinctive features of footprints of Eastern Indian tribes – forensic aspects. Sch Int J Law Crime Justice. 2024;7(2):61-72. doi:10.36348/sijlcj.2024.v07i02.002.
286. Singh RK, Sachdeva MP. Poroscopy: A study in population variation. Ind J Phys Anthrop Hum Genet. 2013;32(2):343-371.
287. Singh SP. Poroscopy in personal identification authenticity and acceptance. Indian Police J. 2009;3:55-61.
288. Singla P. Footprint characteristics which make them unique from the forensic perspective. IJARIIE. 2020;6(3):1623-1628.
289. Skoradal MB, Helge EW, Jorgensen NR, Mortensen J, Weihe P, Krustrup P, Mohr M. Osteogenic impact of football training in 55- to 70 year-old women and men with prediabetes. Scand J Med Sci Sports. 2018;28(1):52-60. doi: 10.1111/sms.13252.
290. Smith KB, Smith MS. Obesity Statistics. Prim Care. 2016;43(1):121-35, ix. doi: 10.1016/j.pop.2015.10.001.
291. Sondag GR, Salihoglu S, Lababidi SL, Crowder DC, Moussa FM, Abdelmagid SM, Safadi FF. Osteoactivin induces transdifferentiation og C2C12 myoblasts into osteoblasts. J Cell Physiol. 2014;229(7):955-966. doi: 10.1002/jcp.24512.
292. Song C, Zhu M, Zheng R, Hu Y, Li R, Zhu G, Chen L, Xiong F. Analysis of bone mass and its relationship with body composition in school-aged children and adolescents based on stage of puberty and site specificity: A retrospective case control study. Medicine. 2019;98:e14005. doi: 10.1097/MD.0000000000014005.
293. Song C, Zhu M, Zheng R, Hu Y, Li R, Zhu G, Chen L, Xiong F. Analysis of bone mass and its relationship with body composition in school-aged children and adolescents based on stage of puberty and site specificity: A retrospective case control study. Medicine. 2019;98:e14005. doi: 10.1097/MD.0000000000014005.
294. Sosna A, et al. Základy ortopedie. Triton; 2008:175. ISBN 978-80-7254-202-4.
295. Starbuck JM, Ward RE. The effect of tissue depth variation on craniofacial reconstructions. Forensic Sci Int. 2007;172(2-3):130-136.
296. Stephan CN, Meikle B, Freudenstein N, Taylor R, Claes P. Facial soft tissue thicknesses in craniofacial identification: Data collection protocols and associated measurement errors. Forensic Sci Int. 2019;304:109965. doi:10.1016/j.forsciint.2019.109965.

297. Stephan CN, Preisler R. In vivo facial soft tissue thicknesses of adult Australians. Forensic Sci Int. 2018;282:220.e1-220.e12. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037907381730470X?via%3Dihub. Accessed October 1, 2019.
298. Stoney DA, Thornton JI. A systematic study of epidermal ridge minutiae. J Forensic Sci. 1987;32(5):1182-1203.
299. Stotz JD, Alyea LA. Automated system for fingerprint authentication using pores and ridge structure. Proceedings of SPIE. 1994;2277:210-223.
300. Straus J. Forenzní biomechanika. Praha: Policejní akademie České republiky; 1999:256.
301. Ström O, Borgström F, Kanis JA, Compston J, Cooper C, McCloskey EV, Jönsson B. Osteoporosis: burden, health care provision and opportunities in the EU: a report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA). Arch Osteoporos. 2011;6:59-155. doi: 10.1007/s11657-011-0060-1.
302. Strozyk D, Gress TM, Breitling LP. Smoking and bone mineral density: comprehensive analyses of the third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III). Arch Osteoporos. 2018;13:16. doi: 10.1007/s11657-018-0426-8.
303. Stücker M, Geil M, Kyeck S, Hoffman K, Röchling A, Memmel U, Altmeyer P. Interpapillary lines--the variable part of the human fingerprint. J Forensic Sci. 2001 Jul;46(4):857-61. PMID: 11451067.
304. Sugimoto C. Masticatory evaluation in non-contact measurement of chewing movement. In: Ahram T, Karwowski W, Pickl S, Taiar R, eds. Human Systems Engineering and Design II. Cham, Switzerland: Springer; 2020:737-741.
305. Sumnik Z, Land C, Coburger S, Neu C, Manz F, Hrach K, Schoenau E. The muscle--bone unit in adulthood: influence of sex, height, age and gynecological history on the bone mineral content and muscle cross-sectional area. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2006;6(2):195-200.
306. Suominen TH, Alén M, Törmäkangas T., Degens H., Rittweger J, Heinonen A, Suominen H, Korhonen MT. Regular strength and sprint training counteracts bone aging: a 10 year follow up in male masters athletes. JBMR Plus. 2021;5(7):e10513. doi:10.1002/jbm4.10513.
307. Surjushe A, Vasani R, Medhekar S, Thakre M, Saple DG. Hand-foot syndrome due to capecitabine. Indian J Dermatol. 2009 Jul;54(3):301-2. doi: 10.4103/0019-5154.55651. PMID: 20161873; PMCID: PMC2810708.
308. Sykes JM, Cotofana S, Trevidic P, et al. Upper face: Clinical anatomy and regional approaches with injectable fillers. Plast Reconstr Surg. 2015;136(5):204-218. doi:10.1097/PRS.0000000000001830.

309. Szulc P, Delmas PD. Bone loss in elderly men: increased endosteal bone loss and stable periosteal apposition. The prospective MINOS study. Osteoporos Int. 2007;18(4):495-503. doi: 10.1007/s00198-006-0254-3.
310. Švábová (née Uhrová) P, Caplová Z, Beňuš R, Chovancová (née Kondeková) M, Masnicová S. Estimation of stature and body weight from static and dynamic footprints – forensic implications and validity of non-colouring cream method. Forensic Sci Int. 2022;330:111105. doi:10.1016/j.forsciint.2021.111105.
311. Tafazoli M, Shahri NM, Ejtehadi H, Haddad F, Nooghabi HJ, Shahri MM, Naderi S. Biological variability of sweat gland pores in the fingerprints of a Fars Iranian family from Khorasan Razavi Province, Iran. ASJ. 2013;10(2):99-104.
312. Ţarcă A, Barabolski C. Pathology of dermatoglyphics in infantile autism. Int J Prev Med. 2003;11(1):11-17.
313. Tewari N, Awad S, Macdonald IA, Lobo DN. A comparison of three methods to assess body composition. Nutrition. 2018;47:1-5. doi: 10.1016/j.nut.2017.09.005.
314. Thurzo M, Beňuš R. Morfologická variabilita ako dôsledok makroevolučných procesov. In: Všeobecná morfológia človeka. Manuscript. Bratislava: Katedra antropológie, Prír. fak. UK; 2007:105.
315. Tony T. Dermatoglyphic patterns in individuals with hypertension: Study of dermatoglyphic patterns in individuals with a history of hypertension. Indian Anthropol. 2012;42(2):97-103.
316. Tournadre A, Vial G, Capel F, Soubrier M, Boirie Y. Sarcopenia. Joint Bone Spine. 2019;86(3):309-314. doi: 10.1016/j.jbspin.2018.08.001.
317. Trevisan C, Alessi A, Girotti G, Zanforlini BM, Bertocco A, Mazzochin M, Zoccarato F, Piovesan F, Dianin M, Giannini S, Manzato E, Sergi G. The impact of smoking on bone metabolism, bone mineral density and vertebral fractures in postmenopausal women. J Clin Densitom. 2020;23(3):381-389. doi: 10.1016/j.jocd.2019.07.007.
318. Turek S. Dermatoglyphics and schizophrenia: Analysis of quantitative traits. Coll Anthropol. 1990;14(1):137-150.
319. Ubago-Guisado E, Mata E, Sánchez-Sánchez J, Plaza-Carmona M, Martín-García M, Gallardo L. Influence of different sports on fat mass and lean mass in growing girls. J Sport Health Sci. 2017;6(2):213-218. doi: 10.1016/j.jshs.2015.06.001.
320. Ubelaker D. Facial reconstruction/reproduction. In: Trevathan W, Cartmill M, Dufour DL, et al, eds. The International Encyclopedia of Biological Anthropology. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2018:1-3. Available at: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/9781118584538.ieba0171. Accessed April 1, 2020.
321. Uhrová P, Beňuš R, Masnicová S, et al. Estimation of stature using hand and foot dimensions in Slovak adults. Leg Med. 2015;17:92-97. doi:10.1016/j.legalmed.2014.10.005.

322. Uhrová P, Thomková G, Beňuš R, et al. Vyhodnotenie zdravotného stavu nôh z plantogramov študentov UK v Bratislave. Slov Antropol. 2016;19(1):29-34.
323. Uhrová P. Využitie parametrov ruky a nohy pri odhade telesnej výšky jedincov. [thesis]. Bratislava: Katedra antropológie, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského; 2013:55.
324. Utkualp N, Ercan I. Anthropometric measurement usage in medical sciences. Biomed Res Int. Published online 2015. Available at: https://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/404261/. Accessed February 8, 2020.
325. van Oel CJ, Baaré WF, Hulshoff Pol HE, Haag J, Balazs J, Dingemans A, Kahn RS, Sitskoorn MM. Differentiating between low and high susceptibility to schizophrenia in twins: the significance of dermatoglyphic indices in relation to other determinants of brain development. Schizophr Res. 2001 Dec 1;52(3):181-93. doi: 10.1016/s0920-9964(01)00153-0. PMID: 11705712.
326. van Os J, Fañanas L, Cannon M, Macdonald A, Murray R. Dermatoglyphic abnormalities in psychosis: a twin study. Biol Psychiatry. 1997 Mar 1;41(5):624-6. doi: 10.1016/s0006-3223(96)00498-2. PMID: 9046996.
327. van Os J, Fañanas L, Cannon M, Macdonald A, Murray R. Dermatoglyphic abnormalities in psychosis: a twin study. Biol Psychiatry. 1997 Mar 1;41(5):624-6. doi: 10.1016/s0006-3223(96)00498-2. PMID: 9046996.
328. Varghese RA, Rebello G, Shah H, Joseph B. Biomechanical basis for treatment of pediatric foot deformities Part I: Mechanics of the foot. J Pediatr Orthop Soc North Am. 2022;4(2):463. doi:10.55275/JPOSNA-2022-0028.
329. Vernon DW, McCourt FJ. Forensic podiatry – a review and definition. Brit J Podiatr. 1999;2:45-48.
330. Vernon DW. The foot. In: Thompson T, Black S, eds. Forensic Human Identification: An Introduction. Boca Raton: CRC Press; 2007:303-320. ISBN 0-8493-3954-5.
331. Vernon W, Reel S, Howsam N. Examination and interpretation of bare footprints in forensic investigations. Res Rep Forensic Med. 2020;10:1-14. doi:10.2147/rrfms.s241264.
332. Vernon W, Simmonite N, Reel S, Reidy S. An investigation into the cause of the inner dark areas and outer lighter areas (ghosting) seen in dynamically created two-dimensional bare footprints. Sci Justice. 2017;57(4):276-282. doi:10.1016/j.scijus.2017.03.007.
333. Vernon W. The development and practice of forensic podiatry. J Clin Forensic Med. 2006;13(6-8):284-287. doi:10.1016/j.jcfm.2006.06.012.
334. Vonk R, van der Schot AC, van Baal GC, van Oel CJ, Nolen WA, Kahn RS. Dermatoglyphics in relation to brain volumes in twins concordant and discordant for bipolar disorder. Eur Neuropsychopharmacol. 2014 Dec;24(12):1885-95. doi: 10.1016/j.euroneuro.2014.09.010. Epub 2014 Oct 8. PMID: 25451699.

335. Vora BMK, Wong BSS. Common accessory ossicles of the foot: imaging features, pitfalls and associated pathology. Singapore Med J. 2018;59(4):183-189. doi:10.11622/smedj.2018046.
336. Walsh BT, Hagan KE, Lockwood C. A systematic review comparing atypical anorexia nervosa and anorexia nervosa. Int J Eat Disord. 2023;56(4):798-820. doi: 10.1002/eat.23856.
337. Wan D, Amirlak B, Giessler P, et al. The differing adipocyte morphologies of deep versus superficial midfacial fat compartments: A cadaveric study. Plast Reconstr Surg. 2014;133(5):615-622. doi:10.1097/PRS.0000000000000100.
338. Wang TT, Wessels L, Hussain G, Merten S. Discriminative thresholds in facial asymmetry: A review of the literature. Aesthet Surg J. 2017;37(4):375-385.
339. Welcker H. Schillers Schädel und Totenmaske nebst Mitteilungen über Schädel und Totenmaske Kants. Braunschweig: Vieweg und Sohn; 1883.
340. Wells JC, Fewtrell MS. Measuring body composition. Arch Dis Child. 2006;91(7):612-617. doi: 10.1136/adc.2005.085522.
341. Wertheim K, Maceo A. The critical stage of friction ridge and pattern formation. J Forensic Ident. 2002;52(1):35-85.
342. World health organization (WHO), 2000: Obesity: preventing and managing the global epidemic. WHO Technical Report Series, 894.
343. Wilkinson C. Facial reconstruction – anatomical art or artistic anatomy? J Anat. 2010;216(2):235-250.
344. Wilkinson C. Forensic Facial Reconstruction. Cambridge: Cambridge University Press; 2004.
345. Winfeld MJ, Winfeld BE. Management of pediatric foot deformities: an imaging review. Pediatr Radiol. 2019;49(12):1678-1690. doi:10.1007/s00247-019-04503-4.
346. Woźniacka R, Oleksy Ł, Jankowicz-Szymańska A, et al. The association between high-arched feet, plantar pressure distribution and body posture in young women. Sci Rep. 2019;9(1):17187. doi:10.1038/s41598-019-53459-w.
347. Wu XY, Han LH, Zhang JH, Luo S, Hu JW, Sun K. The influence of physical activity, sedentary behavior on health-related quality of life among the 94 general population of children and adolescents: A systematic review. PLoS ONE. 2017;12(11):e0187668. doi:10.1371/journal.pone.0187668.
348. Wulc AE, Sharma P, Czyz CN. Midfacial rejuvenation. J Forensic Res. 2012;6(5):1000299. doi:10.1055/s-2003-40006.
349. Yengo L, Sidorenko J, Kemper KE, Zheng Z, Wood AR, Weedon MN, Frayling TM, Hirschhorn J, Yang J, Visscher PM; GIANT Consortium. Meta-analysis of genome-wide association studies for height and body mass index in ~700000 individuals of European ancestry. Hum Mol Genet. 2018;27(20):3641-3649. doi: 10.1093/hmg/ddy271.

350. Young A, Brown LK, Ennis S, Beattie RM, Johnson MJ. Total body water in full--term and preterm newborns: systematic review and meta-analysis. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2021;106(5):542-548. doi: 10.1136/archdischild-2020-321112.
351. Yousefi-Nooraie R, Mortaz-Hedjri S. Dermatoglyphic asymmetry and hair whorl patterns in schizophrenic and bipolar patients. Psychiatry Res. 2008 Jan 15;157 (1-3):247-50. doi: 10.1016/j.psychres.2007.05.005. Epub 2007 Oct 10. PMID: 17931706.
352. Zech, A., Kluttig, A., Völker, K., & Stetter, B. J. (2019). Influence of footwear on foot development in children: A systematic review. Footwear Science, 11(1), 1-15.
353. Zhao J, Bradfield JP, Li M, Wang K, Zhang H, Kim CE, Annaiah K, Glessner JT, Thomas K, Garris M, et al. The role of obesity-associated loci identified in genome--wide association studies in the determination of pediatric BMI. Obesity (Silver Spring). 2009;17(12):2254-2257. doi: 10.1038/oby.2009.159.
354. Zhou M. Skull, forensic evidence of. In: Li SZ, Jain AK, eds. Encyclopedia of Biometrics. 2nd ed. New York, NY: Springer; 2015:1422-1424.
355. Zhu K, Hunter M, James A, Lim EM, Cooke BR, Walsh JP.Relationship between visceral adipose tissue and bone mineral density in Australian baby boomers. Osteoporos Int. 2020;31(12):2439–2448. doi:10.1007/s00198-020-05556-0.
356. Zhu L, Chen L. Progress in research on paclitaxel and tumor immunotherapy. Cell Mol Biol Lett. 2019 Jun 13;24:40. doi: 10.1186/s11658-019-0164-y. PMID: 31223315; PMCID: PMC6567594.
357. Zhu S, Wang Z. Body composition: Clinical implications and biological diversities. Int J Obes. 2011;35 Suppl 1:S1-S3. doi: 10.1038/ijo.2011.69.
358. Zillikens MC, Demissie S, Hsu YH, Yerges-Armstrong LM, Chou WC, Stolk L, Livshits G, Broer L, Johnson T, Koller DL, et al. Large meta-analysis of genome-wide association studies identifies five loci for lean body mass. Nat Commun. 2017;8(1):80. doi: 10.1038/s41467-017-00031-7.

LENKA VOROBEĽOVÁ
DARINA FALBOVÁ
PETRA ŠVÁBOVÁ
MÁRIA CHOVANCOVÁ

APLIKOVANÁ ANTROPOLÓGIA: SÚČASNÉ INTERDISCIPLINÁRNE PRÍSTUPY A METÓDY

Vydala Univerzita Komenského v Bratislave, 2025
Technická redakcia, návrh obálky: Juraj Palkovič

Rozsah 276 strán, 22,23 AH, prvé vydanie,
vyšlo ako elektronická publikácia

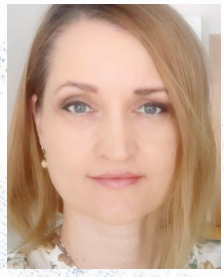
ISBN 978-80-223-6092-0 (online)

Mária Chovancová
(rod. Kondeková)

Pôsobí na Katedre antropológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Vo svojej vedeckovýskumnej činnosti sa zameriava na aplikovanú antropológiu, predovšetkým na dermatoglyfiku a daktyloskopiu, s upriamením pozornosti na ich využitie v klinickej praxi, najmä pri diagnostike psychiatrických ochorení. Kladie dôraz na prepojenie antropológie s ďalšími vedeckými disciplínami. Výučbu berie ako príležitosť sprostredkovať študentom vedecké poznatky pútavým a prístupným spôsobom. Antropológiu vníma ako viacrozmerný nástroj na komplexné poznanie človeka.

Darina Falbová
(rod. Drozdová)

Pôsobí na Katedre antropológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Venuje sa aplikovanej, klinickej antropológii a genetike človeka. Vo svojom výskume sa zameriava najmä na biomedicínske aspekty antropológie, pričom sa zaujíma o prepojenie antropológie s medicínou a možnosti jej využitia v prevencii a pochopení rôznych zdravotných stavov. Vo vedeckej aj v pedagogickej činnosti kladie dôraz na interdisciplinárne prepojenia a praktické uplatnenie poznatkov. Antropológiu vníma ako dôležitý nástroj na hlbšie porozumenie človeku v celej jeho komplexnosti.



Lenka Vorobeľová
(rod. Luptáková)

Pôsobí na Katedre antropológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Vedie prednášky a semináre z oblasti klinickej antropológie a biomedicíny. Zaujíma sa o rast a vývin, starnutie a štúdium biologickej variability v ľudských populáciách. V rámci vedeckých aktivít sa zaoberá najmä skúmaním exogénnych faktorov (životný štýl, výživa, fyzická aktivita), ktoré ovplyvňujú zloženie ľudského tela a kostnú hmotu (s ohľadom na metodologické aspekty a chronické patologické stavy).

Petra Švábová
(rod. Uhrová)

Pôsobí na Katedre antropológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Venuje sa aplikovanej, forenznej a vývinovej antropológii, najmä analýze odtlačkov chodidiel a problematike biologického veku. Zaujíma ju praktické využitie antropologických metód pri identifikácii osôb, ako aj v oblasti rastu, vývinu a klinickej praxe. Vo výučbe kladie dôraz na prepojenie teórie s terénnym a laboratórnym cvičením. Verí, že antropológia má zmysel všade tam, kde sa stretáva veda s človekom.

ISBN 978-80-223-6092-0