

HODNOTENIE VARIABILITY TVARU ZADNEJ HRANY A UHLA SÁNKY DOSPELÝCH JEDINCOV Z HISTORICKÝCH POPULÁCIÍ Z ÚZEMIA SLOVENSKA METÓDAMI GEOMETRICKEJ MORFOMETRIE. PILOTNÁ ŠTÚDIA

Dagmara Gajanová¹, Michaela Dörnhöferová¹, Silvia Bodoriková¹, Marek Semelbauer²

¹ Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra antropológie, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovensko, e-mail: dagmara.gajanova@gmail.com

² Slovenská akadémia vied, Ústav zoológie, Dúbravská cesta 9, 845 06 Bratislava, Slovensko

Abstract: *Assessment of the variability of the posterior edge and the angle of mandible in adult individuals from historical populations from Slovakia using geometric morphometry. Pilot study.* In our study we focused on the variability assessment of the shape of the posterior edge of *ramus manibulae* and the angle of the mandible. Analysed mandibles were scanned using 3D digitizer MicroScribe G2X. The shape of the bones was evaluated in 76 adults with determined sex (33 males and 43 females). Analyses of the curves were realized by the methods of geometrical morphometry in the R Statistical Software. The main points of analysis were Principal Component Analysis (PCA) and Generalized Procrustes Analysis (GPA). The software carried out visualization of curves and statistical evaluation of the mandible shape in regard of the tree main components. For the statistical treatment of the data, Student's t-test has been selected. In this study, we have not been able to confirm the existence of intersexual and asymmetry differences.

Keywords osteology, mandible, geometric morphometrics, PCA, GPA, Central Europe

Úvod

Analýza tvaru je dôležitou súčasťou mnohých biologických výskumov. Rozmanitosť biologických procesov je zodpovedná za tvarové rozdiely medzi jednotlivcami ako aj časťami ich tiel. Rozdiely v tvare tela môžu naznačovať zmeny vo funkcii tej ktorej časti tela, môžu byť odpoveďami na selekciu, ale taktiež za ne môže byť zodpovedný rast a morfogenéza. Analýza tvaru je spôsob, ktorý vedie k pochopeniu tých odlišností, ktoré zapríčiňuje variácia a morfológická transformácia (Zelditch et al. 2004).

Geometrická morfometria je metóda založená na sledovaní geometrie tvaru, variability a zmien prostredníctvom zvolených význačných bodov, tzv. landmarkov, na sledovanom objekte. Na znázornenie tvaru je nutné poznať geometrický vzťah medzi jednotlivými nameranými bodmi ako aj vzdialenosti a uhly (Zelditch et al. 2004). Geometrická morfometria využíva dáta homologických landmarkov alebo x-vých a y-ových súradníc na vyčíslenie tvaru (Oettlé, Pretorius a Steyn 2009). Použitím kombinácie landmarkov i semilandmarkov, bodov, kriviek a povrchov sa dosiahne komplexnejšia kvantifikácia a analýza variácie biologického tvaru (Adams, Rohlf a Slice 2013). Cieľom práce bolo sledovať variabilitu tvaru sánok dospelých jedincov, pričom tvar sánky bol hodnotený z troch hľadísk: asymetrie ramien, intersexuálnych rozdielov a variability tvaru.

Materiál a metódy

Sánky vhodné na analýzu (n = 76) pochádzajú zo siedmich pohrebísk z územia Slovenska: Branč (2400 – 2000 pred n. l.; Hanulík 1970), Pata (2200 – 1800, 1500 pred n. l.; Miklíková 2000), Gáň A (5. – 6. stor. n. l.; Tonková 2010), Cífer-Pác (8. – 9. stor. n. l.; Baldovič 2003), Gáň C (9. – 10. stor.

n. 1.; Tonková 2010), Kopčany (9. – 10. stor. n. 1.; Beňuš a Dörnhöferová 2015), Devín-Hrad (9. – 12. stor. n. 1.; Poláčeková 1991, Beňuš 1998, Beňuš a Masnicová 2012). Sánky využité v tejto práci patrili dospelým jedincom s odhadnutým pohlavím (33 mužov a 43 žien). Kost' nesmela vykazovať výrazné známky poškodenia, nakoľko pre geometrickú morfometriu je nevyhnutná prítomnosť zvolených landmarkov. Tieto landmarky jednak ohraničujú sledovanú krivku, ale sú využité aj na kalibráciu prístroja MicroScribe G2X, ktorý zaznamenáva 3D súradnice bodov (semilandmarkov) na skúmanej krivke vo vzdialenosti dvoch milimetrov. Pre kalibráciu prístroja boli zvolené tri body: linguale (li – horný koniec symfýzy sánky na lingválnej ploche) a párový bod lingulare (lg – horný hrot *lingula mandibulare* na pravej a ľavej strane; Merriam-Webster 2018). Krivku ohraničovali body kondylion (ko – najviac laterálne položený bod na kĺbových výbežkoch sánky; Stloukal et al. 1999) a antegonial notch (an – najvyšší bod zárezu alebo konkavity na dolnej hrane sánky v mieste, kde sa rameno pripája k telu sánky; The Free Dictionary by Farlex 2017), pričom každá krivka prechádzala cez antropometrický bod gonion (go – bod na uhle sánky, ktorý leží najviac dole a najviac laterálne; Stloukal et al. 1999).

Spracovanie údajov prebiehalo v programe R verzia 3.4.2 (R Development Core Team 2008). Metodika hodnotenia asymetrie a intersexuálnych rozdielov bola v princípe rovnaká. Súradnice landmarkov sa vyhodnotili metódou GPA (Generalized Procrustes Analysis), ktorá umožňuje škálovanie dát, ich prenášanie a rotovanie, čím sa dosiahne odstránenie faktoru veľkosti a je tak možné sledovať aj tie najjemnejšie odchýlky v tvare sledovaných objektov (Badawi-Fayad a Cabanis 2007). Ďalšou analýzou bola PCA (analýza hlavných komponentov), ktorá umožňuje vytvárať nové premenné. Tie sú lineárnou kombináciou premenných z pôvodných dát, pri čo možno najmenšej strate informácií. Výhodou a hlavným dôvodom použitia tejto metódy je teda zjednodušenie vstupných dát, nakoľko dochádza k redukcii množstva premenných. Prvá nová súradnicová os (PC 1 – prvý hlavný komponent) je vedená v smere maximálnej variancie medzi objektmi. Druhá os (PC 2) je kolmá na prvú os a je vedená v smere druhej najväčšej variancie medzi objektmi. Na tomto princípe je možné popísať i ďalšie komponenty (Dubová 2011). V programe R bola vykonaná štatistická analýza prvých hlavných komponentov PC1, PC2 a PC3. Pre štatistickú analýzu bol zvolený Studentov t-test a pre vizualizáciu tvarov sledovaných objektov sa vytvorili grafy.

Výsledky a diskusia

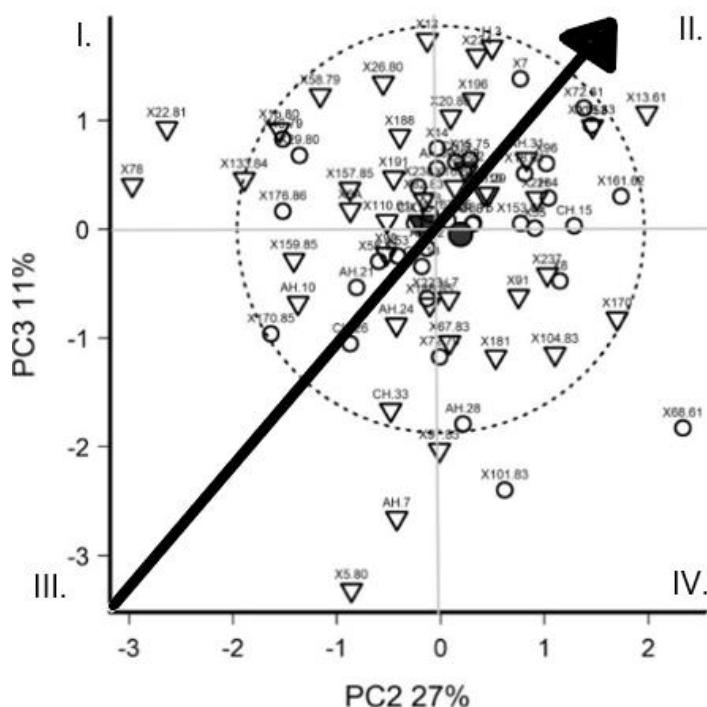
Pri posúdení variability tvaru hrany ramena a uhla sánky sme sa v prvom rade zamerali na sledovanie asymetrie a intersexuálnych rozdielov. Použitím metód PCA a GPA sa však nepotvrdili štatisticky významné intersexuálne rozdiely ($p > 0,05$). Obdobné výsledky sme získali aj pri hodnotení asymetrie. Na základe analýzy tvaru môžeme tvar ramena sánky hodnotiť ako takmer symetrický. Výsledky párového t-testu neboli štatisticky významné ($p > 0,05$). Dá sa teda tvrdiť, že tvar ramien sánky nie je ovplyvnený pohlavím ani asymetriou. V sledovanom súbore sme však pozorovali trend tvarových zmien, ktorý sa dá sledovať u všetkých jedincov bez ohľadu na pohlavie. Pre opísanie tvarových rozdielov je kľúčová poloha jedinca vo výstupnom grafe PCA analýzy.

Krivky ramien v prvom kvadrante zodpovedajú tvaru mužských ramien, t.j. *ramus mandibulae* je zakrivený a je prítomná výrazná everzia uhla sánky (Kemkes-Grottenthaler, Löbig a Stock 2002). Prvá tretina krivky vybočuje posteriornym smerom, rameno sánky je anteriórne zakrivené a krivka v oblasti uhla sánky sa zatáča opäť posteriórne. Podobné týmto krivkám sú najmä krivky v treťom kvadrante. Prvá tretina krivky sa vychýľuje posteriórne, ramená sánok sú zakrivené anteriórne, pričom výraznejšie zakrivenie sa nachádza u mužských jedincov. Krivka je v oblasti uhla sánky viac zakrivená. V druhom kvadrante sa nachádzajú krivky, ktoré poukazujú na pomerne priame ramená sánok, prvá tretina krivky sa u dvoch jedincov, muž X96 a žena CH.22, vychýľuje anteriórne, kým u zvyšných jedincov je táto časť krivky zahnutá posteriórne. V oblasti uhla sa

nachádza len mierne zakrivenie posteriornym smerom, táto oblasť je položená vyššie ako u kriviek z ostatných kvadrantov. Prvá tretina kriviek u jedincov zo štvrtého kvadrantu má tendenciu vychyľovať sa posteriornym smerom. Krivky v oblasti ramien sú pomerne vyrovnané alebo sú mierne zakrivené anteriornym smerom. Niektorí jedinci majú krivky v oblasti uhla mierne zakrivené posteriorne. Posledná tretina krivky súvisí s vytvorením uhla sánky, do značnej miery je táto oblasť individuálnou charakteristikou.

Vzhľadom na zistené údaje môžeme konštatovať, že v čím zápornejších oblastiach x-ovej súradnicovej osi (prvý a tretí kvadrant) sú jedinci umiestnení, tým viac majú ich ramená mužské črty (výrazné zakrivenie ramena a prominujúca oblasť uhla sánky; Kemkes-Grotenthaler, Löbig a Stock 2002). So ženským tvarom ramien sánok (plynulý priebeh zadnej hrany ramena, prítomnosť mierneho zakrivenia len v hornej tretine ramena sánky, uhol sánky neprominuje; Stloukal et al. 1999) sa stretávame predovšetkým v kladných častiach x-ovej súradnicovej osi (druhý a štvrtý kvadrant). Nakoľko sila prejavu znaku súvisí s polohou v grafe, môžeme konštatovať, že jedinci v treťom kvadrante (súradnice [-;-]) majú ramená sánky s mužskejšími črtami v porovnaní s jedincami v prvom kvadrante, ktorých súradnice majú jednu súradnicu kladnú [-;+]. Rovnaký princíp výskytu črt zaznamenávame aj pri ženskom tvare ramien, a teda jedinci v druhom kvadrante (súradnice [+;+]) nesú väčší prejav ženských znakov ako jedinci štvrtého kvadrantu [+;-].

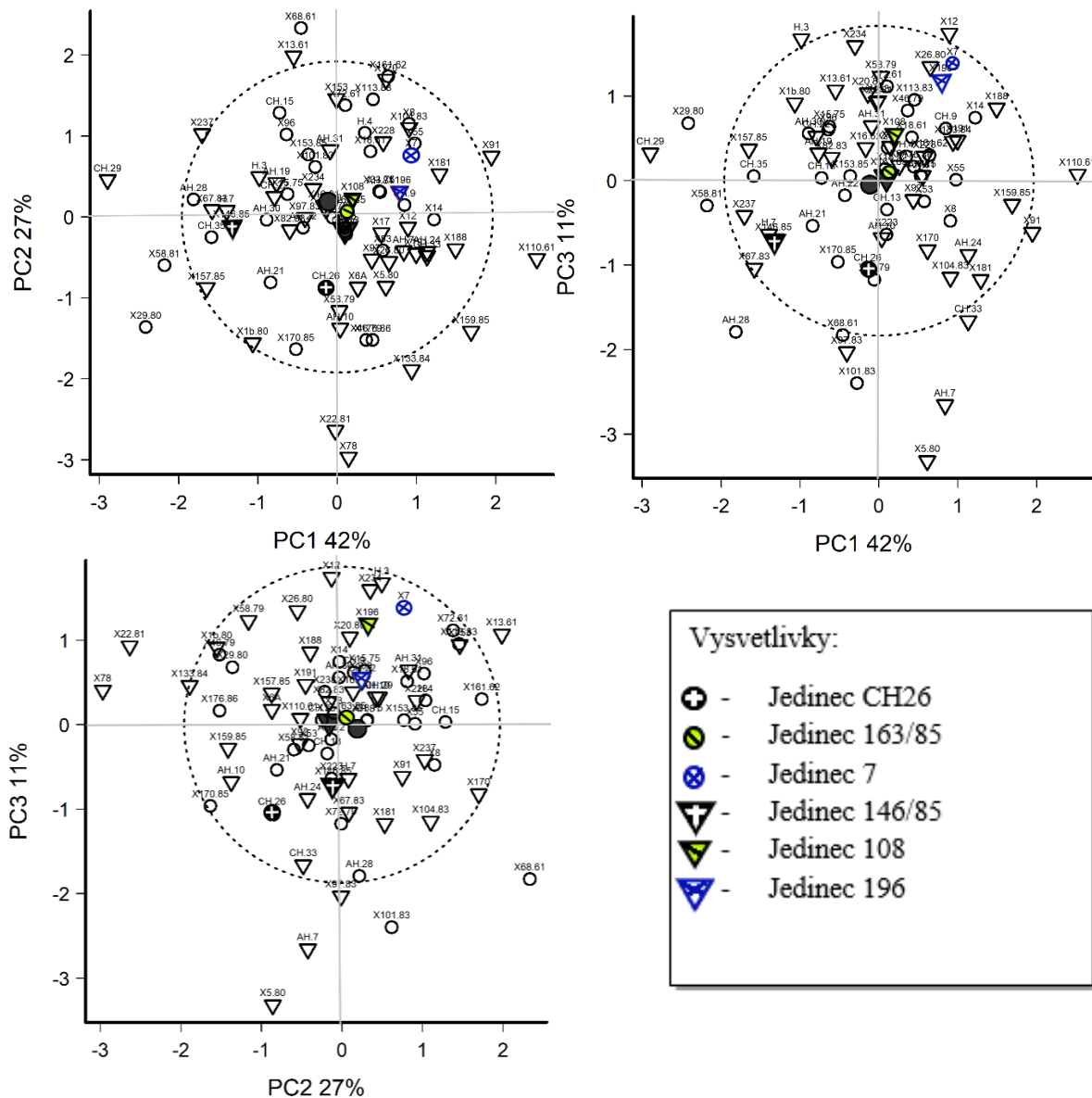
Z výsledkov predloženej analýzy vyplýva, že posun tvarových zmien sledovaného súboru (obr. 1) sa deje v smere od tretieho (mužský tvar ramena a uhla sánky) k druhému (ženský tvar ramena a uhla sánky) kvadrantu.



Obr. 1: Zobrazenie osi trendu variability. ○ – muž, ▽ – žena, ● – priemerný muž, ▼ – priemerná žena, I. – IV. – kvadranty

Fig. 1: Visual display of the trend axis variability. ○ – male, ▽ – female, ● – average male, ▼ – average female, I. – IV. – quadrants

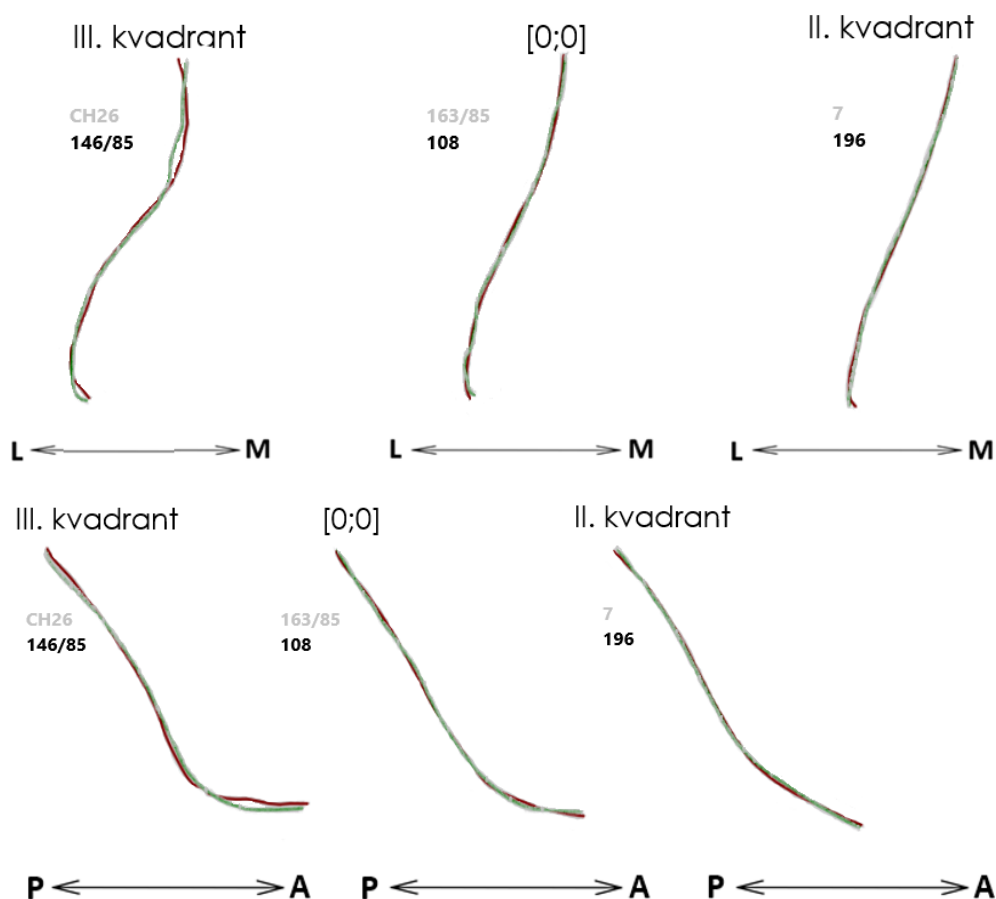
Pre potvrdenie tohto trendu boli na základe analýzy PCA vybraní jedinci, ktorí sa pri porovnaní každej dvojice komponentov nachádzali vždy v rovnakom kvadrante a zároveň sa nachádzali v oblasti s 95-percentným výskytom všetkých jedincov (obr. 2). Toto ohraňenie sa realizovalo v programe R. Ide o troch mužských jedincov – CH.26 z pohrebiska Gáň C, X163.85 z pohrebiska Devín-Hrad, H.7 z pohrebiska Pata, a troch ženských jedincov – X146.85 z pohrebiska Devín-Hrad a X108 a X196 z pohrebiska Pata (druhý kvadrant). Jedinci boli vybraní s cieľom vykresliť osi trendu variability tvarových zmien analyzovaného súboru mužov a žien.



Obr. 2: PCA analýza ľavých ramien mužov a žien. PC1 – prvý hlavný komponent, PC2 – druhý hlavný komponent, PC3 – tretí hlavný komponent, prerušovaná kružnica – ohraňenie oblasti s 95-percentným výskytom jedincov

Fig. 2: PCA analysis of left ramus mandible of males and females. PC1 – the first Principal Component, PC2 – the second Principal Component, PC3 – the third Principal Component, broken line – demarcation of the 95 % occurrence area

Porovnaním kriviek, ktoré znázorňujú zadnú hranu ľavého ramena a uhla sánky daných jedincov, vidíme, že sledovaný trend zmien tvaru je v našom súbore prítomný. Os trendu variability smeruje od tretieho k druhému kvadrantu, teda od jedincov s čo možno najzápornejšími súradnicami, k jedincom v kladných častiach súradnicovej osi. Trend zmien postupuje od jedincov s mužskými znakmi ramena sánky k jedincom s ženskými tvarmi ramena. Jedinci z prvého kvadrantu (obr. 3) majú krivky, na ktorých je možné pozorovať zakrivenie v oblasti krčka ramena (pohľad zozadu – mediálne, pohľad z boku anteriórne), výraznejšie anteriórne zakrivenie v strednej časti krivky pri pohľade z boku a vybočenie krivky v oblasti uhla sánky (pohľad zozadu laterálne, pohľad z boku posteriórne). Tieto charakteristiky zodpovedajú tvaru mužských sánok. V strednej časti súradnicovej osi (obr. 3) sa nachádzajú jedinci predstavujúci akýsi prechod od mužských k ženským znakom. Jedinci z druhého kvadrantu (obr. 3) nesú znaky charakteristické pre ženských jedincov. Pri pohľade zozadu sa krivka javí ako takmer priama, náznak zakrivenia laterálnym smerom je možné pozorovať v oblasti uhla sánky. Krivky bez výrazného prehnutie možno sledovať aj pri pohľade z boku, taktiež môžeme vidieť, že v porovnaní s predchádzajúcimi jedincomi sa oblasť goniálnej everzie uhla sánky nachádza podstatne vyššie.



Obr. 3: Vizualizácie kriviek vybraných jedincov. Sivá krivka – muži, čierna krivka – ženy, L – laterálne, M – mediálne, P – posteriórne, A – anteriórne

Fig. 3: Visualization of the curves of selected individuals. Grey curve – males, black curve – females, L – lateral, M – medial, P – posterior, A – anterior

Nakoľko pozorovaný trend zmien tvaru v našom súbore nesúvisí s pohlavím jedincov, naskytá sa otázka, čo zapríčiňuje túto variabilitu. Predpokladáme, že v analyzovanom súbore sú za zmeny v tvare ramien a uhlov sánok mužov a žien zodpovedné rôzne faktory, pričom faktor pohlavia tu nezohráva tak výrazný vplyv, aký by sme očakávali. Za možné faktory ovplyvňujúce tvar ramien pokladáme vplyv intravitálnej straty zubov (najmä stoličiek), pričom táto strata zubov nemusí byť prejavom starnutia jedinca. Účinok straty zubov je ovplyvnený polohou vypadnutého zuba: čím bližšie ku gonionu, tým je vyšší stupeň zmien v morfológii sánky. Intravitálna strata zubov najviac ovplyvňuje stupeň zalomenia ramena sánky. Loth a Henneberg (2000) taktiež tvrdia, že rozvoj žuvacích svalov má vplyv na manifestáciu goniálnej everzie. Je teda možné, že tvar sánky sa mohol meniť vzhľadom na životné prostredie a predovšetkým stravu populácie. Ďalším možným faktorom je etnická príslušnosť jedincov. Dá sa predpokladať, že u jedincov z pohrebiska Cífer-Pác (8. – 9. stor. n. l.) sa na tvare ramena sánky prejavil vplyv mongoloidných elementov. Bodoriková et al. (2011) na základe výsledkov antropologických analýz radia polovicu jedincov z tohto pohrebiska do skupiny mixomorfov a jednu tretinu k mongoloidnej skupine, autori označujú populáciu ako populáciu mongoloidno-europoidného charakteru.

Záver

V závere možno konštatovať, že na analyzovaných oblastiach sánok jedincov z územia Slovenska nie je možné opísať rozdiely v tvare, ktoré by boli zapríčinené pohlavím jedinca. Ani ramená sánok nevykazujú asymetrické rozdiely. Variabilita tvaru je teda zapríčinená inými faktormi, ktoré sa však nedajú na základe predloženej práce jednoznačne identifikovať. Za možnú príčinu variability pokladáme vplyv intravitálnej straty zubov, prítomnosť etnických elementov a/alebo potravné zvyklosti. Pre potvrdenie tejto domnienky sú však potrebné ďalšie komplexnejšie a rozsiahlejšie analýzy.

Literatúra

- ADAMS, D. C., ROHLF, F. J., SLICE, D. E., 2013: A Field Comes of Age: Geometric Morphometrics in the 21st Century. *Hystrix, It. J. Mamm.*, 24(1):7-14.
- BADAWI-FAYAD, J., CABANIS, E. A., 2007: Three-Dimensional Procrustes Analysis of Modern Human Craniofacial Form. *Anat. Rec.*, 290:268-276.
- BALDOVIČ, M., 2003: Antropologický rozbor kostrového pohrebiska Cífer – Pác (okr. Trnava) z 8. – 9. storočia n. l. -58 s., ms. (Diplom. práca; depon. in: Katedra antropológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Bratislava).
- BODORIKOVÁ, S., BEŇUŠ, R., DÖRNHÖFEROVÁ, M., PANENKOVÁ, P., BALDOVIČ, M., THURZO, M., FUCHSOVÁ, M., 2011: Profil tváre jedincov zo slovansko-avarského pohrebiska Cífer-Pác (Okr. Trnava). *Slov. Antropol.*, 14(1):11-15.
- BEŇUŠ, R., 1998: Antropologická analýza ranostredovekej populácie z pohrebiska Devín-hrad datovaného do 9. – 12. storočia. -109 s., ms. (Diplom. práca; depon. in: Katedra antropológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Bratislava).
- BEŇUŠ, R., MASNICOVÁ, S., 2012: Antropologická, paleodemografická a paleopatologická analýza historickej populácie z hradu Devín. *Slov. Archeol.*, 60(1):119-156.
- BEŇUŠ, R., DÖRNHÖFEROVÁ, M., 2015: Antropologická analýza hrobov z Kopčian. In: Baxa, P., 2015: Kostol sv. Margity v Kopčanoch, I. diel. Archeológia do roku 1050. Bratislava, Pamiatkový úrad SR, v tlači.
- DUBOVÁ, M., 2011: Metoda hlavných komponent a její aplikace. - 32 s., ms. (Bakalárska práca; depon. in: Katedra pravdepodobnosti a matematické statistiky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze, Praha).

HANULÍK, M., 1970: Antropológia starobronzovej populácie juhozápadného Slovenska reprezentovaná kostrovými nálezmi z Branča pri Nitre. -351 s., ms (Kandidátska dizertačná práca, depon. in: Katedra antropológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Bratislava).

KEMKES-GROTTENTHALER, A., LÖBIG, F., STOCK, F., 2002: Mandibular ramus flexure and gonial eversion as morphologic indicators of sex. *Homo*, 53(2):97-111.

LOTH, S. R., HENNEBERG, M., 2000: Gonial eversion: facial architecture, not sex. *Homo*, 51:81-89.

OETTLÉ, A. C., PRETORIUS, E., STEYN, M., 2009: Geometric morphometric analysis of the use of mandibular gonial eversion in sex determination. *Homo*, 60:29-43.

MERRIAM-WEBSTER, 2018: Medical Dictionary. Online. Available: <https://www.merriam-webster.com/medical>. 4. 3 .2018.

MIKLÍKOVÁ, Z., 2000: Antropologický posudok 14434/00 – Pata-Diely. -111 s., ms. (Depon. in: Archív AÚ SAV v Nitre).

POLÁČEKOVÁ, E., 1991: Antropologická analýza časti kostrového pohrebiska a epigenetické znaky skupiny z lokality Devín-hrad. -238 s., ms. (Diplom. práca; depon. in: Katedra antropológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Bratislava).

R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Online. Available: <http://www.R-project.org>. 28.1.2017.

STLOUKAL, M., DOBISÍKOVÁ, M., KUŽELKA, V., STRÁNSKÁ, P., VELEMÍNSKÝ, P., VYHNÁLEK, L., ZVÁRA, K., 1999: Antropologie: Příručka pro studium kostry. Praha, Národní muzeum, 513 s.

THE FREE DICTIONARY BY FARLEX: Antegonial notch. Online. Available: <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/antegonial+notch>. 28. 2. 2017.

TONKOVÁ, M., 2010: Antropologická analýza dospelých jedincov z pohrebísk v Gáni (okres Galanta), datovaných do 5. – 6. stor. a 9. – 10. stor. n. l. -56 s., ms. (Diplom. práca, depon. in: Katedra antropológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Bratislava).

ZELDITCH, M. L., SWIDERSKI, H., SHEETS, D., FINK, W. L., 2004: Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer. New York, Elsevier, 416 s.