

Časopis České  
**ČESKÁ**  
**ANTRO**  
**POLOGIE**  
společnosti  
antropologické



**66/2**  
**OLOMOUČ**  
**2016**

Časopis České společnosti antropologické – Česká antropologie je nezávislým celostátním časopisem s dlouhou tradicí.

Vychází od roku 1947, kdy byl nazván Zprávy Československé společnosti antropologické při ČSAV, pod tímto názvem časopis vycházel až do roku 1983. V roce 1983 (ročník 37) byl název časopisu změněn na Sborník Československé společnosti antropologické při ČSAV (ISSN 0862-5085). Od roku 1993 (ročník 46), po rozpadu Československé společnosti antropologické, byl název časopisu změněn na Sborník České společnosti antropologické. Od roku 1994/95 až do roku 2001 vycházel časopis pod názvem Česká antropologie – sborník ČSA, se změnou ISSN na 1804-1876. Od roku 2002 dosud pod názvem Česká antropologie – časopis ČSA (ISSN 1804-1876). Od roku 2008 časopis vychází dvakrát ročně pod evidenčním číslem Ministerstva kultury ČR MK ČR E 19056.

**Předseda redakční rady/Editor in Chief**

doc. RNDr. Pavel Bláha, CSc.

Vysoká škola tělesné výchovy a sportu PALESTRA, spol. s r. o., Praha

**Výkonný redaktor/Managing Editor**

doc. RNDr. Miroslava Přidalová, Ph.D.

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci

**Redakční rada/Editorial Board**

doc. Mgr. Martina Cichá, Ph.D.

doc. RNDr. Eva Drozdová, Ph.D.

prof. Dr. Med. Michael Hermanussen

doc. RNDr. Ladislava Horáčková, CSc.

doc. PaedDr. Miroslav Kopecký, Ph.D.

doc. PhDr. Petr Kutáč, Ph.D.

doc. RNDr. Ivan Mazura, CSc.

RNDr. Patrik Mottl, Ph.D.

RNDr. Eva Neščáková, CSc.

prof. dr. Ester Rebato, Ph.D.

doc. RNDr. Petr Sedlak, Ph.D.

prof. dr. Charles Susanne

prof. RNDr. Jarmila Riegerová, CSc.

RNDr. Petr Velemínský, Ph.D.

doc. Jelizaveta Veselovskaja

Dr. Konrad Zellner

prof. dr. hab. Ewa Ziolkowska-Lajp

prof. RNDr. Daniela Siváková, CSc.

Pedagogická fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

Přídodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity, Brno

Universitaet Kiel, Německo

Lékařská fakulta Masarykovy Univerzity, Brno

Fakulta zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci

Pedagogická fakulta Ostravské univerzity, Ostrava

Ústav informatiky AVČR, Praha

Vysoká škola finanční a správní, Praha

Přírodovědecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava

University of Basque Country, Bilbao, Španělsko

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Free University, Brusel, Belgie

Fakulta sportovních studií Masarykovy Univerzity, Brno

Národní muzeum, Praha

Ruská akademie věd, Moskva, Ruská federace

Universitaet Jena, Německo

Akademia Wychowania Fizycznego, Poznań

Přírodovědecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava

## Obsah

### Původní práce

- 4.....Srovnání metod pro odhad procentuálního zastoupení  
tělesného tuku u mladých žen z Brna a okolí  
Martin Čuta, Klára Bařicová
- 10.....Analýzy zubní kazivosti nedospělých jedinců  
z velkomoravského pohřebiště Znojmo-Hradiště  
z archeologického výzkumu v letech 2007 a 2008  
Martina Jančová, Bohuslav Klíma
- 15.....Komparace výsledků zastoupení tělesného tuku  
a validita měření bioimpedančními analyzátory  
s rozdílnými měřicími frekvencemi u mladých atletů  
Petr Kutáč
- 20.....Anthropological evaluation of early skeletal  
tuberculosis in the medieval population  
of Devín-Castle (11<sup>th</sup>–12<sup>th</sup> century ad., Slovakia)  
Klaudia Kyselicová, Lukáš Šebest, Radoslav Beňuš,  
Csaba Bognár, Michaela Dörnhöferová
- 26.....Izolácia a analýza archaickéj dna  
z ľudských kostrových pozostatkov  
Lukáš Šebest, Klaudia Kyselicová, Marian Baldovič,  
Csaba Bognár, Radoslav Beňuš, Ľudvík Kádasi
- 30.....Posouzení tělesného složení v rámci kategorizace  
Body Mass Indexu u žen ve věku 18–30 let  
Tereza Sofková
- 34.....Výskyt morfologických typů chodidla  
v súvislosti s laterálnym vbočením palca  
u vysokoškolských študentiek  
Kristína Tománková
- 37.....Sledovanie zmien telesných parametrov  
7- až 9-ročných detí z Bratislavského kraja  
Petra Uhrová, Kristína Stahlová, Eva Neščáková,  
Tomáš Zeman, Silvia Bodoriková, Mária Fuchsová,  
Daniela Kramárová, Radoslav Beňuš

Olomouc 2016

ISSN 1804-1876  
MK ČR E 19056

### Česká antropologie 66/2

Časopis České společnosti antropologické za rok 2016. Odpovědná redaktorka: doc. RNDr. Miroslava Přidalová, Ph.D., Katedra přírodních věd v kinantropologii Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci, třída Míru 117, 771 11 Olomouc (T: +420 585 636 158 | E: miroslava.pridalova@upol.cz) Grafická úprava: Renáta Slezáková (E: renata.slezakova@upol.cz). Vydala Česká společnost antropologická s finanční podporou Rady vědeckých společností České republiky při Akademii věd České republiky. Náklad 200 výtisků. Vytiskla Books print s. r. o. Olomouc.

Pokyny autorům naleznete na [www.anthropology.cz](http://www.anthropology.cz).  
Instruction to authors can be found at [www.anthropology.cz](http://www.anthropology.cz).

Příspěvky byly recenzovány anonymně.  
All contributions were reviewed anonymously.

Autoři odpovídají za obsah a jazykovou správnost prací.  
The authors take response for contents and correctness of their texts.

## PŮVODNÍ PRÁCE

# SROVNÁNÍ METOD PRO ODHAD PROCENTUÁLNÍHO ZASTOUPENÍ TĚLESNÉHO TUKU U MLADÝCH ŽEN Z BRNA A OKOLÍ

## Comparison of body fat percentage estimation methods in young women from Brno and its surroundings

Martin Čuta, Klára Bařicová

Ústav antropologie, Přírodovědecká fakulta,  
Masarykova univerzita, Brno, Česká republika

### Abstract

There are many methods available to evaluate nutritional status. They can be divided into three major categories: clinical methods, anthropometrical methods and alimentation assessment methods. Among these, body composition evaluation methods have an important place.

Despite massive development and expansion of advanced methods, anthropometrical methods are still widely used in anthropological practice, e.g. Matiegka's method (1921) which is used to calculate body composition or subcutaneous fat percentage estimation methods based on multiple skinfold thickness measurement /e.g. Jackson-Pollock method (Jackson & Pollock 1978; Jackson, Pollock, & Ward, 1980), Durnin-Womersley method (Durnin & Womersley, 1974) or one widely spread in our country – method by Pařízková/.

Biophysical methods prevail in the clinical practice – especially the method of bioelectric impedance (BIA). There are several potential problems which have to be taken into account when comparing results or data acquired using different methods. These problems include measurement errors, inadequate use of equations/firmware installed in bioimpedance analyzers and also different measurement principle when comparing data acquired by caliperation to data acquired by BIA.

The aim of this paper was to compare the results of caliperation and three bioimpedance analyzers.

100 females, patients of the Gynfit s.r.o. center participated in the study. The participants were all between their 20 and 30 years of age and of varying lifestyles. Anthropometric measurements were taken and bioimpedance examination was carried out while adhering to standard conditions and conditions of the manufacturer. To estimate body fat percentage an anthropometric method by Pařízková (1962) was used which calculates with 10 skinfold thicknesses as measured by a Best type caliper. Three bioimpedance analyzers were used to estimate body fat by BIA: Tanita BC-545, InBody 230 and BodyStat 1500 MDD.

The working hypothesis stated that individual methods do not differ in body fat percentage estimation. This hypothesis was tested non-parametrically using Kruskal-Wallis ANOVA. The test manifested on the  $p$  level of 0,05 that results of at least two methods are significantly different. Multiple  $p$ -values com-

parisons then established that body fat percentage estimate by method of Pařízková (1962) is significantly different from the estimate provided by bioimpedance analyzers. The caliperation method estimates a significantly lower percentage of body fat than all bioimpedance analyzers.

Also, the body fat percentage estimated by Tanita BC-545 differs from the results acquired by BodyStat 1500 MDD, as Tanita BC-545 estimates significantly higher fat percentage than BodyStat 1500 MDD. In fact, Tanita BC-545 estimates significantly higher body fat percentage than any other method which we used. These findings contradict the findings of other authors, for example Riegerová and Přidalová (1996) or Barreto Silva, Avesani, Vale, Lemos, & Bregman (2008) who did not find a significant difference between caliperation and bioimpedance method results. Our findings suggest that results acquired using different methods are incomparable.

**Keywords:** *nutritional status; body fat; bioimpedance; method by Pařízková (1962); Tanita BC-545; InBody 230; BodyStat 1500 MDD*

### Úvod

Pro hodnocení výživového stavu byla vyvinuta celá řada metod. Při hodnocení individuálního výživového stavu a zvláště při hodnocení větších populačních vzorků vystavených riziku malnutrice je volba vhodné metodiky zásadní nejen z hlediska praktického (časového), ale i z hlediska reliability výsledků a možnosti jejich srovnání a správné diagnostiky. Proto jsme se v této práci zaměřili na zhodnocení porovnatelnosti výsledků výživového stavu získané antropometrickou kaliperací metodou a třemi odlišnými bioimpedančními přístroji.

Metody hodnocení výživového stavu můžeme rozdělit do tří základních kategorií: metody klinické, metody antropometrické a metody hodnocení stravování. Důležitou roli hraje hodnocení tělesného složení (frakcionace tělesné hmotnosti). Modelové hodnocení tělesného složení lze vzhledem k praktické aplikaci rozdělit dle užitého přístupu, přehled uvádí Riegerová, Přidalová a Ulbrichová (2006).

K hodnocení tělesného složení v antropologické praxi je i přes výrazný rozvoj pokročilých metod stále velmi často využíváno metod antropometrických: zmíníme například celotělový tříkomponentový model Matiegkův (Matiegka, 1921) nebo celou řadu dvoukomponentových modelů; v našem prostředí je nejvíce využívána metoda Pařízkové (1962), vycházející z 10 kožních řas.

V klinické praxi se využívají převážně metody biofyzikální (které můžeme zařadit většinou mezi modely dvoukomponentové). Jedná se o metody radiologické (CT, DEXA), dále o denzitometrii, podvodní vážení, pletysmografii a další (Kleinwächterová & Brázdová, 2001). Velmi rozšířenou metodou je vzhledem ke své relativní finanční a časové nenáročnosti metoda bioelektrické impedance (či bioelektrické impedanční analýzy – BIA).

Při srovnávání výsledků získaných pomocí různých metod, případně různých přístrojů, je potřeba počítat s následujícími potenciálními problémy: chyby u měření pomocí impedančními přístroji vznikají nejčastěji nedodržením podmínek vyšetřování a nesprávným umístěním elektrod (Bunc, Cimbálek, Moravcová, & Kalous, 2001), u antropometrických metod chyba vzniká nejčastěji z důvodu nezkušenosti pozorovatele a nesprávného shrnování kožních řas (Krejčovský, Riedlová, & Bláha, 2001). Z hlediska srovnatelnosti výsledků potenciální problémy vznikají z důvodu nevhodného použití bioimpedan-

ních přístrojů s pevně instalovanými regresními rovnicemi kalkulovanými na základě referenčních populací nesrovnatelných s hodnoceným výzkumným vzorkem (Bunc et al., 2001). Jako další možná příčina problémů při srovnávání výsledků získaných pomocí kaliperace s výsledky bioimpedančních přístrojů je jiný princip měření. Kaliperací se zjišťuje tloušťka tuku v podkoží, zatímco bioimpedanční přístroje pracují i s vrstvou viscerálního tuku. Eston, Hawes a Martin (2009) sice uvádějí, že existují určité důkazy nárůstu množství viscerálního tuku v závislosti na nárůstu množství podkožního tuku, ale že tento vztah je ovlivněn celou řadou doprovodných faktorů, zvláště věku. Například Riegerová a Přidalová (2007), Lima Rodrigues et al. (2012), Puiggros et al. (2003) zjistili, že výsledky získané kaliperační metodou se významně liší od výsledků bioimpedanční metody.

Metoda bioimpedanční analýzy je extenzivně využívána a rozvíjena od 90. let minulého století a byla provedena řada validačních studií pro zhodnocení spolehlivosti této metody, zvláště s metodou označovanou jako „zlatý standard“, tedy s metodou DEXA, případně s metodou ADP (air-displacement plethysmography). Hodnocení spolehlivosti metody BIA ve vztahu k referenční metodě je nejednoznačné, někteří autoři ji při srovnání s výsledky metody DEXA hodnotí jako spolehlivou (Andreoli et al., 2002; Gupta, Balasekaran, Govindaswamy, Hwa, & Shun, 2011; Karelis, Chamberland, Aubertin-Leheudre, & Duval, 2013; Thomson, Brinkworth, Buckley, Noakes, & Clifton, 2007), naopak Kutáč, Gajda, Přidalová a Šmajstrla (2008), Newton et al. (2005), Sun et al. (2005), Verdich et al. (2011), uvádějí, že výsledky získané bioimpedanční metodou jsou s výsledky metody DEXA srovnatelné jen velmi obtížně.

## Cíl

Cílem práce bylo porovnat výsledky mladých žen z Brna a okolí získané pomocí metody antropometrické/kaliperační metody a výsledků tří přístrojů fungujících na bázi BIA, užívaných běžně ke stanovení odhadu procentuálního zastoupení tělesného tuku a zjistit, zda je možno srovnávat výsledky získané pomocí rozdílných přístupů.

## Metodika

Studie se zúčastnilo 100 patientek centra Gynfit s.r.o. ve věkovém rozmezí 20–30 let, různého životního stylu. Pro dílčí analýzy byl výzkumný vzorek rozdělen do následujících věkových kategorií: kategorie 20,00–21,99 roků (15 žen); 22,00–24,99 roků (39 žen) a 25,00–30,99 roků (46 žen). Probandky byly vedeny pod kódovým číslem z důvodu zachování anonymity. Vyšetření bylo provedeno na základě dobrovolnosti, zájemkyně byly předem informovány pomocí letáku (ten obsahoval i informace o nutnosti dodržení podmínek objektivního měření – před vyšetřením: 24 hodin nekonzumovat alkohol, 12 hodin necvičit, 4 hodiny nejíst a nepít; těsně před vyšetřením vyprázdnit močový měchýř). Svůj souhlas účastnice vyjádřily podpisem informovaného souhlasu, kde prohlásily, že nemají diagnostikovanou srdeční vadu ani nejsou v raném stádiu těhotenství (v těchto případech může bioimpedanční vyšetření představovat určité riziko).

Vyšetření probandek probíhalo při jejich návštěvě centra. Probandky byly všechny vyšetřeny jednou výzkumníci v ordinaci lékařky centra, při vyšetření byly ve spodním prádle, vyšetření probíhalo za pokojové teploty v průběhu ordinací doby (v průběhu celého dne, nebylo možné dodržet podmínku stejné – ideálně ranní – doby vyšetření všech probandek). Vyšetření bioimpedanční metodou probíhalo za dodržení standardních podmínek pro bioimpedanční analýzy a podmínek stanovených výrobcem, antropometrické vyšetření bylo provedeno v základním antropometrickém postoji za použití standardního instrumentáře.

Tloušťka kožních řas byla zjišťována pomocí kaliperu typu Best na pravé straně těla, pro odhad zastoupení tělesného tuku dle Pařízkové je měřeno 10 kožních řas, na jejichž základě je s použitím regresní rovnice kalkulováno procentuální zastoupení tukové složky (Pařízková, 1962).

Odhad procentuálního zastoupení tělesného tuku pomocí metody bioelektrické impedance byl proveden pomocí tří tetrapolárních přístrojů: pomocí osobní digitální váhy Tanita BC-545, přístroje InBody 230 a přístroje BodyStat 1500 MDD. Každý z přístrojů má specifický design, vyžadující poněkud odlišný postup měření. Při měření byl přesně sledován protokol uvedený v uživatelských příručkách jednotlivých výrobců, dále je postup měření detailně popsán například ve studiích autorů Knechtle, Wirth, Knechtle a Rosemann (2009); Scheers, Philippaerts a Lefevre (2013); Utter, McAnulty, Riha, Pratt a Grose (2012).

Získané údaje byly zpracovány pomocí tabulkového editoru MS Excel a statistické zhodnocení bylo provedeno v programu STATISTICA verze 12 (StatSoft Inc., 2013). Kromě popisné statistiky byl proveden Lilieforsův test normality rozložení dat a Kruskal Wallisova ANOVA pro otestování rozdílů mezi výsledky získanými čtyřmi metodami. Stanoveny byly následující hypotézy: H0: Jednotlivé metody se v odhadu procentuálního zastoupení tuku neliší. H1: Jednotlivé metody se v odhadu procentuálního zastoupení tuku liší. Hladina významnosti byla 0,05.

## Výsledky

V tabulce 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty a hodnoty směrodatných odchylek procentuálního zastoupení tělesného tuku získaného pomocí 4 metod odhadu zastoupení tuku.

V následující části (Tabulka 2) jsou uvedeny výsledky testování rozdílů hodnot porízených čtyřmi metodami odhadu zastoupení tuku.

Dva ze čtyř výběrů nemají normální rozložení, k testování rozdílů byl využit neparametrický test – Kruskal-Wallisova ANOVA.

Na základě p-hodnoty, která je nižší než hladina významnosti, zamítáme nulovou hypotézu. Alespoň jedna dvojice metod se v měření % tuku liší. Které dvojice to jsou, zjistíme metodou mnohonásobného porovnání hodnot  $p$  (Tabulka 3).

Statisticky významně se liší procento tuku podle Pařízkové (1962) a odhad tělesného tuku získaný pomocí bioimpedančních přístrojů. Dá se říci, že metoda procenta tuku podle Pařízkové (1962) měří statisticky významně nižší procento tuku než bioimpedanční analyzátoři.

Dále se liší i procento tuku měřené přístrojem Tanita BC-545 a BodyStat 1500 MDD. Přístroj Tanita BC-545 měří statisticky významně vyšší procento tuku než přístroj BodyStat 1500 MDD.

Přístroj Tanita měří statisticky významně nejvyšší procento tuku ze všech přístrojů a celkově ze všech použitých metod.

## Diskuze

Zjištěn byl významný rozdíl výsledků získaných kaliperační metodou Pařízkové (1962) a metodou BIA. S podobným závěrem přichází řada studií – např. Lima Rodrigues et al. (2012), Puiggros et al. (2003), Riegerová a Přidalová (2007). Přesto, že vzhledem k rozdílnému principu odhadu tukové složky u kaliperační metody (která nebere v potaz vrstvu viscerálního tuku) a metody bioimpedanční, jsou naše výsledky očekávatelné, celá řada autorů uvádí závěry rozdílné. Například z výsledků Riegerové a Přidalové (1996) vyplývá, že mezi hodnotami získanými kaliperací a hodnotami získanými pomocí přístroje BodyStat 500 není významný rozdíl. K podobnému závěru (u pacientů s normální tělesnou hmotností) došli i Barreto Silva et al. (2008), Kamimuro et al. (2003) či Ten Haaf, Memelink, Verreijen, Engberink a Weijs (2014).



**Tabulka 1.** Popisná statistika průměrných hodnot procenta tuku dle Pařízkové v měřeném souboru pro věkové kategorie 1, 2 a 3

|                    | Procento tuku    |      |            |      |               |      |                   |      |
|--------------------|------------------|------|------------|------|---------------|------|-------------------|------|
|                    | Pařízková (1962) |      | InBody 230 |      | Tanita BC-545 |      | BodyStat 1500 MDD |      |
|                    | M                | SD   | M          | SD   | M             | SD   | M                 | SD   |
| Věková kategorie 1 | 15,45            | 4,58 | 21,11      | 4,26 | 22,38         | 5,17 | 17,93             | 4,19 |
| Věková kategorie 2 | 19,10            | 5,05 | 26,01      | 8,06 | 27,26         | 6,77 | 23,38             | 6,63 |
| Věková kategorie 3 | 19,28            | 5,39 | 27,88      | 8,81 | 28,19         | 7,89 | 26,58             | 8,20 |

Poznámka: M – průměr; SD – směrodatná odchylka, věková kategorie 1 – 20,00–21,99 let, věková kategorie 2 – 22,00–24,99 let, věková kategorie 3 – 25,00–30,99 let

**Tabulka 2.** Kruskal-Wallisova ANOVA, přiřazené pořadí pro procentu tuku získané čtyřmi metodami

| Procento tuku<br>(závislá proměnná) | n   | Nezávislá proměnná |                 |
|-------------------------------------|-----|--------------------|-----------------|
|                                     |     | Součet pořadí      | Průměrné pořadí |
| Pařízková (1962)                    | 100 | 12070,00           | 120,70          |
| InBody 230                          | 100 | 22953,50           | 229,53          |
| Tanita BC-545                       | 100 | 24983,00           | 249,83          |
| BodyStat 1500 MDD                   | 100 | 20193,50           | 201,93          |

Poznámka: n – počet platných; závislá proměnná – procento tuku, Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí procenta tuku, nezávislá (grupovací) proměnná – typ měření, Kruskal-Wallisův test –  $H(3, N = 400) = 72,17078$ ,  $p = 0,0000$

**Tabulka 3.** Kruskal-Wallisova ANOVA, mnohonásobné porovnání p hodnot

| Procento tuku<br>(závislá proměnná) | Procento tuku (nezávislá proměnná) |            |               |                   |
|-------------------------------------|------------------------------------|------------|---------------|-------------------|
|                                     | Pařízková (1962)                   | InBody 230 | Tanita BC-545 | BodyStat 1500 MDD |
| Pařízková (1962)                    | –                                  | 0,000000   | 0,000000      | 0,000000          |
| InBody 230                          | 0,000000                           | –          | 1,000000      | 0,548422          |
| Tanita BC-545                       | 0,000000                           | 1,000000   | –             | 0,020384          |
| BodyStat 1500 MDD                   | 0,000000                           | 0,548422   | 0,020384      | –                 |

Poznámka: n – počet platných; závislá proměnná – procento tuku, Kruskal-Wallisova ANOVA založená na pořadí procenta tuku, nezávislá (grupovací) proměnná – typ měření, Kruskal-Wallisův test –  $H(3, N = 400) = 72,17078$ ,  $p = 0,0000$

U našeho vzorku byly zjištěny také významné rozdíly mezi výsledky odhadů procentuálního zastoupení tuku provedených pomocí jednotlivých bioimpedančních přístrojů. Celá řada autorů se věnovala testování spolehlivosti výsledků bioimpedančního šetření s referenční metodou (DEXA) s tím, že někteří autoři deklarují dobrou shodu, např. Andreoli et al. (2002), Gupta et al. (2011), Karelis et al. (2013), Thomson et al. (2007), a jiní naopak nesrovnatelnost výsledků BIA metody s metodou DEXA, např. Kutáč et al. (2008), Newton et al. (2005), Sun et al. (2005), Verdich et al. (2011). Srovnávání výsledků pořízených rozdílnými přístroji pracujícími na principu BIA se věnuje méně studií; např. Kutáč a Kopecký (2015) ve své práci uvádějí, že výsledky rozdílných přístrojů (dokonce od stejného výrobce) jsou v praxi neporovnatelné. Demura, Sato, & Kitabayshi (2004), Dolezal, Lau, Abrazado, Storer, & Cooper (2013), a Velazquez-Alva, Irigoyen-Camacho, Huerta-Huerta, & Delgadillo-Velazquez (2014) srovnávali tetrapolární a oktopolární přístroje s referenčními hodnotami pořízené metodou DEXA a zjistili, že oktopolární přístroje generují spolehlivější výsledky. Gába, Kapuš, Cuberek a Botek (2015) došli k závěru, že spolehlivější ve srovnání s DEXA jsou multifrekvenční přístroje nežli přístroje jednofrekvenční. Naopak Wang et al. (2013) uvádějí, že různé typy bioimpedančních přístrojů mají při porovnání s DEXA a MRI snímkováním srovnatelné výsledky. Hanson, Handu, Gubbels a Broeder (2009) provedli průzkum na malém vzorku sportovců se závěrem, že výsledky tří rozdílných BIA analyzátorů jsou navzájem srovnatelné.

Bunce et al. (2001) uvádí, že slabými místy metodik využívajících k odhadu procentuálního zastoupení tukové tkáně bioimpedančních přístrojů jsou mimo jiné nepřesnosti v umístění elektrod a neshody v regresních rovnicích. Každý z přístrojů je vyráběn jiným výrobcem, který používá specifické regresní rovnice. Referenční populace, které jsou využívány pro tvorbu regresních rovnic, také nemusí odpovídat populaci výzkumného vzorku. Dle Bunce et al. (2001) může chyba způsobená

ná použitím neadekvátní regresní rovnice dosahovat až 80 % z naměřených hodnot. Někteří autoři také uvádějí, že u žen v průběhu premenstrua může docházet k odchylkám měření (Gleichauf & Roe, 1989). U probandek účastnicích se našeho výzkumu nebyla zjišťována fáze menstruačního cyklu, měření pomocí všech čtyř metod však bylo provedeno v rámci jednoho vyšetření a tím pádem by nemělo hrát roli, ve které fázi cyklu se probandky nacházely.

Rozdíly mezi hodnotami získanými pomocí různých metod mohou mít také praktický dopad. Hodnoty procentuálního zastoupení tělesného tuku se (vedle plošně užívaného BMI) používají k identifikaci obezity. Přestože užití hraničních hodnot (cut-off points) procenta tělesného tuku pro klasifikaci obezity je považováno za subjektivní (Snitker, 2010), pro účely této studie jsme se pro ilustraci praktického dopadu rozdílných výsledků jednotlivých metod rozhodli využít hodnot udávaných ve studiích Gáby a Přidalové (2014, 2015), Kutáče a Kopeckého (2015), Lavie, Milani, Ventura a Romero-Corral (2010). Lavie et al. (2010) a Gába a Přidalová (2015) udávají jako hraniční hodnotu, jejíž překročení signalizuje obezitu u žen, 35 % tělesného tuku. Kdybychom použili toto kritérium pro stanovení procentuálního zastoupení obézních žen v našem vzorku, podle kaliberační metody dle Pařízkové by nebyla obézní ani jedna žena, při měření bioimpedančním přístrojem InBody 230 by bylo obézních 18 % žen, přístroj Tanita klasifikuje jako obézní 14 % žen a přístroj BodyStat jako obézní klasifikuje 10 % žen. Pokud bychom vycházeli z hodnoty, kterou používal Kutáč a Kopecký (2015) jako hodnotu procentuálního zastoupení tělesného tuku „stanovenou pro mladé ženy (odpovídající naší kategorii 1: 20,00–21,99 let)“ – 25 % (Görner, Boraczynski, & Štihec, 2009; Nazmi, Irfan, Osman, & Serdar, 2011; Rutherford, Diemer, & Scott, 2011), podle výsledků kaliberační metody dle Pařízkové tuto hodnotu překračuje žádná z žen, podle výsledků přístroje InBody je to 27 % žen (4 z 15), podle přístroje Tanita 40 % žen (6 z 15) a podle přístroje BodyStat

jedna žena z 15 v nejmladší věkové kategorii. Pro ženy z první věkové kategorie můžeme (vhodněji) jako doporučenou použít také hodnotu 23 % tělesného tuku – hodnotu 50. percentilu udávanou Gábou a Přidalovou (2014). Tuto hodnotu podle výsledků kaliperační metody překračuje jedna žena, podle výsledků přístroje InBody je to 33 % žen (5 z 15), podle přístroje Tanita 40 % žen (6 z 15) a podle přístroje BodyStat dvě ženy (13 %) v nejmladší věkové kategorii.

Pro ženy z druhé věkové kategorie (22,00–24,99 let) byla jako doporučená zvolena hodnota 23 % tělesného tuku – hodnota 50. percentilu udávaná Gábou a Přidalovou (2014). Tuto hodnotu podle výsledků kaliperační metody překračuje 26 % žen (10 z 39), podle výsledků přístroje InBody je to 59 % žen (23 z 39), podle přístroje Tanita 69 % žen (27 z 39) a podle přístroje BodyStat 44 % žen (17 z 39) v prostřední věkové kategorii.

Pro ženy z třetí věkové kategorie (25,00–30,99 let) byla jako doporučená též zvolena hodnota 23 % tělesného tuku – hodnota 50. percentilu udávaná Gábou a Přidalovou (2014). Tuto hodnotu podle výsledků kaliperační metody překračuje 17 % žen (8 z 46), podle výsledků přístroje InBody je to 65 % žen (30 z 46), podle přístroje Tanita 76 % žen (35 z 46) a podle přístroje BodyStat 63 % žen (29 z 46) v třetí věkové kategorii.

Vzhledem k rozdílné věkové distribuci referenčního vzorku jsme ještě vytvořili čtvrtou skupinu žen nad 30 let věku a srovnali výsledky s hodnotou, kterou lze považovat za doporučenou – hodnotou 50. percentilu uváděnou Gábou a Přidalovou (2014) – 24,2 % tělesného tuku. Tuto hodnotu podle výsledků kaliperační metody překračuje 56 % žen (5 z 9), podle výsledků přístroje InBody doporučenou hodnotu překračuje všech 9 žen, stejně jako podle přístrojů Tanita a BodyStat.

Pro přístroj BodyStat 1500 MDD je pro dané věkové kategorie uváděno doporučené „normální“ rozpětí hodnot zastoupení tělesného tuku 20–26 %, pro přístroj Tanita BC-545 je uváděno rozpětí 21–32 %, pro přístroj InBody 230 je to 18–28 %. Přístroj BodyStat klasifikoval 35 žen pod dolní hranici doporučených hodnot, 29 žen v mezích doporučených hodnot a 36 žen nad horní hranici doporučených hodnot. Přístroj Tanita klasifikuje pod dolní hranici doporučených hodnot 21 žen, v rozmezí doporučených hodnot 57 žen a nad horní hranici doporučených hodnot 23 žen. Přístroj InBody klasifikuje pod dolní hranici doporučených hodnot 16 žen, v rozmezí doporučených hodnot 52 žen a nad horní hranici doporučených hodnot 32 žen.

Pokud bychom využili výše uvedených hodnot pro doporučení úpravy životního stylu, případná doporučení by v početných individuálních případech byla zásadně odlišná.

### Omezení studie

Nelze vyloučit, že zjištěné rozdíly byly způsobeny chybou měření. Při měření tloušťky kožních řas se může vyskytnout celá řada chyb (ve smyslu intra-observer i inter-observer error), způsobených nesprávnou lokalizací řasy, rozdílnou tuhostí podkožní tkáně či individuálního způsobu zdvihání kožní řasy. Dále by za neshodu ve výsledcích mohlo být zodpovědné i nedodržení podmínek pro objektivní měření. Probandky byly před vyšetřením informovány o nutnosti dodržení podmínek vyšetření (nepožívat alkohol minimálně 24 hodin před vyšetřením, 12 hodin před vyšetřením necvičit, 4 hodiny před vyšetřením nejíst a nepít), reálné dodržení těchto podmínek nebylo možné beze zbytku ověřit.

### Závěr

Ze šetření 100 mladých žen vyplynulo, že se statisticky významně liší odhad procenta tuku vyhodnoceného podle Pařížkové (1962) a odhady získané třemi bioimpedančními přístroji.

Lze říci, že metoda odhadu procenta tuku podle Pařížkové (1962) odhaduje statisticky významně nižší procento tuku než všechny bioimpedanční přístroje a přístroj Tanita BC-545 měří statisticky významně nejvyšší procento tuku ze všech přístrojů a použitých metod. Výsledky získané pomocí rozdílných metod a taktéž výsledky získané pomocí rozdílných přístrojů jsou mezi sebou neporovnatelné.

### Souhrn

Pro hodnocení výživového stavu existuje řada metod. Lze je rozdělit do tří základních kategorií: na metody klinické, metody antropometrické a metody hodnocení stravování. Mezi těmito metodami hrají významnou roli metody hodnocení tělesného složení.

Přes výrazný rozvoj pokročilých metod se v antropologické praxi stále využívají metody antropometrické, například metoda Matejkova (1921) pro výpočet tělesného složení či metody pro odhad procentuálního zastoupení podkožního tuku založené na tloušťce kožních řas /např. Jackson-Pollockova metoda (Jackson & Pollock 1978; Jackson, Pollock, & Ward, 1980), Durnin-Womersleyova metoda (Durnin & Womersley, 1974) či v našem prostředí hojně užívaná metoda Pařížkové/.

V praxi převažují metody biofyzikální – zvláště metoda bioelektrické impedance (BIA). Při srovnávání výsledků získaných pomocí různých metod, případně různých přístrojů, je potřeba počítat s potenciálními problémy. Jedná se o chyby měření, nevhodně použité regresní rovnice pevně instalované do bioimpedančních analyzátorů a případně jiný princip měření při srovnání výsledků získaných kaliperací a pomocí BIA.

Cílem práce bylo porovnat výsledky získané pomocí kaliperace a výsledků tří přístrojů fungujících na bázi BIA.

Studie se zúčastnilo 100 pacientek centra Gynfit s.r.o. ve věkovém rozmezí 20–30 let různého životního stylu. U těchto žen bylo provedeno antropometrické vyšetření a vyšetření bioimpedanční metodou za dodržení standardních podmínek a podmínek stanovených výrobcem. Z antropometrických metod pro odhad zastoupení tělesného tuku byla využita metoda dle Pařížkové (1962). Byla zjišťována tloušťka 10 kožních řas pomocí kaliperu typu Best. Pro odhad zastoupení tělesného tuku bylo využito tří bioimpedančních přístrojů: Tanita BC-545, přístroj InBody 230 a přístroj BodyStat 1500 MDD.

Byla stanovena pracovní hypotéza, že se jednotlivé metody v odhadu procentuálního zastoupení tuku neliší. Tato hypotéza byla ověřována neparametricky, pomocí testu Kruskal-Wallisova ANOVA. Test na hladině významnosti 0,05 ukázal, že se liší výsledky alespoň jedné dvojice metod. Pomocí mnohonásobného porovnání hodnot *p* bylo zjištěno, že se statisticky významně liší procento tuku podle Pařížkové (1962) a odhad tělesného tuku získaný pomocí bioimpedančních přístrojů. Dá se říci, že metoda procenta tuku podle Pařížkové (1962) měří statisticky významně nižší procento tuku než všechny bioimpedanční přístroje.

Dále se liší i procento tuku měřené přístrojem Tanita BC-545 a BodyStat 1500 MDD. Přístroj Tanita BC-545 měří statisticky významně vyšší procento tuku než přístroj BodyStat 1500 MDD. Přístroj Tanita měří statisticky významně nejvyšší procento tuku ze všech přístrojů a celkově ze všech použitých metod. Tato zjištění neodpovídají zjištění např. Riegerové a Přidalové (1996) nebo Barreto Silvy et al. (2008), kteří nezjistili rozdíly ve výsledcích kaliperační a bioimpedanční metody. Z našeho šetření vyplývá, že výsledky získané pomocí rozdílných metod jsou neporovnatelné.

**Klíčová slova:** výživový stav, tělesný tuk, bioimpedance, metoda dle Pařížkové (1962), Tanita BC-545, InBody 230, BodyStat 1500 MDD

## Literatura

- Andreoli, A., Melchiorri, G., De Lorenzo, A., Caruso, I., Sinibaldi Salimei, P., & Guerrisi, M. (2002). Bioelectrical impedance measures in different position and vs dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(2), 186–189.
- Barreto Silva, M. I., Avesani, C. M., Vale, B., Lemos, C., & Bregman, R. (2008). Agreement between anthropometry and bioelectrical impedance for measuring body fat in non-obese and obese nondialyzed chronic kidney disease patients. *Journal of Renal Nutrition* 18(4), 355–362.
- Bunc, V., Cimbálek, R., Moravcová, J., & Kalous, J. (2001). Možnosti stanovení tělesného složení u dětí bioimpedanční metodou. In Válková, H. & Hanelová, Z. (Eds.). *Pohyb a zdraví* (pp. 102–106). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Demura, S., Sato, S., & Kitabayashi, T. (2004). Percentage of Total Body Fat as Estimated by Three Automatic Bioelectrical Impedance Analyzers. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 23(3), 93–99.
- Dolezal, B. A., Lau, M. J., Abrazado, M., Storer, T. W., & Cooper, C. B. (2013). Validity of two commercial grade bioelectrical impedance analyzers for measurement of body fat percentage. *Journal of Exercise Physiology Online*, 16(4), 74–83.
- Durnin, J. V. G. A., & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: Measurements on 481 men and women aged 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition* 32, 77–97.
- Eston, R., Hawes, M., & Martin, A. (2009). Human body composition. In Eston, R. & Reilly, T. (Eds.). *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual. Tests, procedures and data. Volume One: Anthropometry* (pp. 3–53). New York: Routledge.
- Gába, A., & Přidalová, M. (2014). Age-related changes in body composition in a sample of Czech women aged 18–89 years: a cross-sectional study. *European Journal of Nutrition*, 53(1), 167–176.
- Gába, A., & Přidalová, M. (2015). Diagnostic performance of body mass index to identify adiposity in women. *European Journal of Clinical Nutrition*, advance online publication, 1–6.
- Gába, A., Kapuš, O., Cuberek, R., & Boteck, M. (2015). Comparison of multi- and single-frequency bioelectrical impedance analysis with dual energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in postmenopausal women: Effects of body mass index and accelerometer-determined physical activity. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 28(4), 390–400.
- Gleichauf, C. N., & Roe, D. A. (1989). The menstrual cycle's effect on the reliability of bioimpedance measurements for assessing body composition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 50(5), 903–907.
- Görner, K., Boraczynski, T., & Štihec, J. (2009). Physical activity, body mass, body composition and the level of aerobic capacity among young, adult women and men. *Sport Scientific & Practical Aspects*, 6(2), 7–14.
- Gupta, N., Balasekaran, G., Govindaswamy, V. V., Hwa, Ch. Y., & Shun, L. M. (2011). Comparison of body composition with bioelectric impedance (BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) among Singapore Chinese. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(1), 33–35.
- Hanson, E. D., Handu, D. J., Gubbels, A., & Broeder, C. (2009). Accuracy of Two Home-Use BIA Tools Compared to a Clinical-Use BIA Tool in Collegiate Athletes. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(9 – supplement), A75.
- Jackson, A. S., & Pollock, M. L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition* 40, 497–504.
- Jackson, A. S., Pollock, M. L., & Ward, A. (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 12, 175–182.
- Kamimura, M. A., Dos Santos, N. S., Avesani, C. M., Fernandes Canziani, M. E., Draibe, S. A., & Cuppari, L. (2003). Comparison of three methods for the determination of body fat in patients on long-term hemodialysis therapy. *Journal of the American Dietetic Association*, 103(2), 195–199.
- Karelis, A. D., Chamberland, G., Aubertin-Leheudre, M., & Duval, C. (2013). Validation of a portable bioelectrical impedance analyzer for the assessment of body composition. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(1), 27–32.
- Kleinwächterová, H., & Brázdová, Z. (2001). *Výživový stav člověka a způsoby jeho zjišťování*. Brno: IDV PZ.
- Knechtle, B., Wirth, A., Knechtle, P., & Rosemann, T. (2009). Increase of total body water with decrease of body mass while running 100 km nonstop – formation of edema? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 80(3), 593–603.
- Krejčovský, L., Riedlová, J., & Bláha, P. (2001). Metodika měření vybraných tělesných parametrů. In Vignerová, J., Bláha, P. (Eds.). *Sledování růstu českých dětí a dospívajících. Norma, vyhublost, obezita* (pp. 15–21). Praha: SZÚ.
- Kutáč, P., Gajda, V., Přidalová, M., & Šmajstrla, V. (2008). Validity of Measuring Body Composition by Means of the BIA Method. *New Medicine* 12(4), 89–93.
- Kutáč, P., & Kopecký, M. (2015). Comparison of body fat using various bioelectrical impedance analyzers in university students. *Acta Gymnica* 45(4), 177–186.
- Lavie, C. J., Milani, R. V., Ventura, H. O., & Romero-Corral, A. (2010). Body composition and heart failure prevalence and prognosis: getting to the fat of the matter in the “obesity paradox.” *Mayo Clinic Proceedings*, 85(7), 605–608.
- Lima Rodrigues, N. C., Campos Sala, P., Horie, L. M., Gonçalves Dias, M. C., Matos de Miranda Torrinhas, R. S., Romão Jr., J. E., . . . Linetzky Waitzberg, D. (2012). Bioelectrical Impedance Analysis and Skinfold Thickness Sum in Assessing Body Fat Mass of Renal Dialysis Patients. *Journal of Renal Nutrition*, 22(4), 409–415.
- Matiegka, J. (1921). The testing of physical efficiency. *American Journal of Physical Anthropology* 4(3), 223–230.
- Nazmi, S., Irfan, Ö., Osman, P., & Serdar, B. (2011). Evaluation of body fat percentage of female university students according to three different methods. *Ovidius University Annals, Series Physical Education & Sport / Science, Movement & Health* 11, 244–249.
- Newton, R. L., Alfonso, A., White, M. A., York-Crowe, E., Walden, H., Ryan, D., . . . Williamson, D. (2005). Percent body fat measured by BIA and DEXA in obese, African-American adolescent girls. *International Journal of Obesity*, 29, 594–602.
- Pařízková, J. (1962). *Rozvoj aktivní hmoty a tuku u dětí a mládeže*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství.
- Puiggros, C., Molinos, R., Rivas, M., Ortiz, D., Romero, C., Perez-Portabella, C., & Planas, M. (2003). Fat mass by skinfold thickness vs bioelectrical impedance analysis. *Clinical Nutrition*, 22(Supplement 1), S4.
- Riegerová, J., & Přidalová, M. (1996). Evaluation of the body fat in the view of anthropometrical methodologies and Bodystat 500. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*, 26, 31–34.
- Riegerová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (2006). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu (příručka funkční antropologie)*. Olomouc: Hanex.



- Riegerová, J., & Přidalová, M. (2007). Analysis of body composition through the meditation of anthropometry and bioimpedance in senior females. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*, 37(2), 94.
- Rutherford, W. J., Diemer, G. A., & Scott, E. D. (2011). Comparison of bioelectrical impedance and skinfolds with hydrodensitometry in the assessment of body composition in healthy young adults. *Journal of Research in Health, Physical Education, Recreation, Sport, and Dance* 6, 56–60.
- Scheers, T., Philippaerts, R. & Lefevre, J. (2013). Objectively-determined intensity- and domain-specific physical activity and sedentary behavior in relation to percent body fat. *Clinical Nutrition*, 32(6), 999–1006.
- Snitker, S. (2010). Use of body fatness cutoff points. *Mayo Clinic Proceedings*, 85(11), 1057.
- Sun, G., French, C. R., Martin, G. R., Younghusband, B., Grenn, R. C., Xie, Y., . . . Zhang, H. (2005). Comparison of multifrequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of percentage body fat in a large, healthy population. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 74–78.
- Ten Haaf, T., Memelink, R. G., Verreijen, A. M., Engberink, M. F., & Weijs, P. J. M. (2014). Fat Free Mass Assessed by 4- and 7-Point Skinfold, BIA, and BIS Measurement Compared with Air-Displacement Plethysmography in Recreational Athletes. *Clinical Nutrition*, Volume 33(Supplement 1).
- Thomson, R., Brinkworth, G. D., Buckley, J. D., Noakes, M., & Clifton, P. M. (2007). Good agreement between bioelectrical impedance and dual-energy X-ray absorptiometry for estimating changes in body composition during weight loss in overweight young women. *Clinical Nutrition*, 26(6), 771–777.
- Utter, A. C., McAnulty, S. R., Riha, B. F., Pratt, B. A., & Grose, J. M. (2012). The validity of multifrequency bioelectrical impedance measures to detect changes in the hydration status of wrestlers during acute dehydration and rehydration. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 9–15.
- Velazquez-Alva, M., Irigoyen-Camacho, M. E., Huerta-Huerta, R., & Delgadillo-Velazquez, J. (2014). A comparison of dual energy X-ray absorptiometry and two bioelectrical impedance analyzers to measure body fat percentage and fat-free mass index in a group of Mexican young women. *Nutricion Hospitalaria*, 29(5), 1038–1046.
- Verdich, C., Barbe, P., Petersen, M., Grau, K., Ward, L., Macdonald, I., . . . Oppert, J. M. (2011). Changes in body composition during weight loss in obese subjects in the NUGENOB study: Comparison of bioelectrical impedance vs. dual-energy X-ray absorptiometry. *Diabetes & Metabolism*, 37(3), 222–229.
- Wang, J. G., Zhang, Y., Chen, H. E., Li, Y., Cheng, X. G., Xu, L., . . . Li, B. (2013). Comparison of two bioelectrical impedance analysis devices with dual energy X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging in the estimation of body composition. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(1), 236–243.

# ANALÝZY ZUBNÍ KAZIVOSTI NEDOSPĚLÝCH JEDINCŮ Z VELKOMORAVSKÉHO POHŘEBIŠTĚ ZNOJMO-HRADIŠTĚ Z ARCHEOLOGICKÉHO VÝZKUMU V LETECH 2007 A 2008

## Dental caries of non-adults in population from the Great Moravian burial site Znojmo-Hradiště from archaeological research in 2007 and 2008

Martina Jančová<sup>1</sup>, Bohuslav Klíma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra biologie, Pedagogická fakulta,  
Masarykova univerzita, Brno, Česká republika

<sup>2</sup>Katedra historie, Pedagogická fakulta,  
Masarykova univerzita, Brno, Česká republika

### Abstract

The aim of this study is to analyse the caries incidence of deciduous and permanent teeth of Slavic non-adults from burial site Znojmo-Hradiště, find out the most by caries affected tooth type and compare with the results of other Slavic burial sites in South Moravia. Macroscopic method and dental probe have been applied. I-CE of deciduous set is 7.91, F-CE 36.0%. I-CE of permanent teeth set is 3.2, F-CE 22.5%. A total of 1385 teeth and 103 individuals were analysed, in the age category Circumnatale 4 individuals, Infans I 62 individuals (F-CE 29.8%; I-CE 5.2), Infans II 25 individuals (deciduous teeth: F-CE 52.9%, I-CE 20.4%; permanent teeth: F-CE 19.1%, I-CE 3.5) and Juvenis 12 individuals (only 1 deciduous tooth; permanent teeth: F-CE 41.7%, I-CE 3.3). The incidence of tooth decay is higher than for individuals from other Slavic burial sites in South Moravia (Mikulčice-Kostelisko, Prušánky).

**Keywords:** deciduous and permanent teeth, caries prevalence, I-CE, F-CE, Slavonic population

### Úvod

Analýza zubní kazivosti a jiných zubních patologií je dnes široce rozšířena při studiu historických populací, neboť významně přispívá k rekonstrukci jejich životního stylu, sociálního chování a výživy. Svoji odolností vůči nejrůznějším post-mortálním změnám a poškozením umožňují zkoumat patologie v jejich původním stavu (Cucina & Tiesler, 2003; Esclassan et al., 2009; Herrscher, Bocherens, Valentin, & Colardelle, 2001; Hillson, 2003; Moore & Corbett, 1973; Müldner & Richards, 2005; Slaus, Pecina-Hrnčević, & Jakovljević, 1997; Stránská, Velemínský, & Velemínská, 2008; Temple & Larsen, 2007). Řada dřívějších studií se však věnuje pouze analýze zubních onemocnění u dospělých jedinců zkoumané populace. Zubům dočasné dentice a permanentním zubům nedospělých jedinců se věnovalo méně studií. V souvislosti s rostoucím zájmem o poznání ontogeneze minulých populací se řada analýz zaměřila i na tuto oblast (Bodoriková & Veselá, 1999; Ferreira, Béria, Kramer, Feldens, & Feldens, 2007; FitzGerald Ch Saunders, Bondioli, & Macchiarelli, 2006; Garcin et al.,

2010; Stránská, Velemínský, & Velemínská, 2015; Watt, Lunt, & Gilmour, 1997).

V naší studii hodnotíme výskyt zubního kazu u jedinců ve věku 0–20 let velkomoravské slovanské populace obývajících v 9. století ostrožnu u Znojma, nazvanou Hradiště Sv. Hypolita. Archeologický materiál pochází z výzkumných sezon 2007 a 2008 vedených doc. Klímou za Katedry historie Pedagogické fakulty Masarykovy univerzity v Brně (Jančová & Klíma, 2014; Klíma, 2009)

### Cíl

Cílem naší studie je zhodnotit výskyt zubního kazu u nedospělých jedinců od narození do dvaceti let ve věkových kategoriích Circumnatale, Infans I, II a Juvenis. Zhodnotit stav chrupu mléčného a stálého, které typy zubů jsou zubním kazem postíženy nejčastěji na deciduální a permanentní dentici a zda výskyt zubního kazu vykazuje rozdíly mezi horními a dolními čelistmi. Dalšími cíli je zjistit, zda se u dětí zkoumané slovanské populace vyskytuje časná zubní kazivost a srovnání výsledků s obdobnými slovanskými pohřebišti jižní Moravy se shodnou datací 9.–10. století (Mikulčice-Kostelisko, Prušánky).

### Metodika

Zubní kazy byly na odontologickém materiálu vyhledávány makroskopicky, v případě nejistoty byla použita zubařská sonda. Zejména u malých kazů je přínosná pro rozlišení od jiných struktur. Větší kazy jsou charakteristické zaoblenými okraji, hladkými stěnami a kruhovým až oválným tvarem. Důsledkem toho jsou poměrně snadno odlišitelné od post-mortálních poškození.

U každého jedince byly zaznamenány zuby přítomné v čelistech, zuby volně přiložené, zuby nesoucí zubní kaz, počet kazů na jednom zubu, jejich lokalizace na korunce, krčku či kořeni zubu. Bylo přesně zaznamenáno která, popř. které plošky zubu jsou kazem zasaženy a přibližná velikost zubního kazu. Z těchto údajů bylo stanoveno F-CE, I-CE a procento intaktních jedinců.

Pro statistické zpracování srovnávaných dat byl použit neparametrický  $\chi^2$  test, stejně jako u autorů studie (Garcin et al., 2010) s jejichž výsledky jsme naše hodnoty srovnávali. Pro statistické analýzy byl použit program STATISTIKA Cz 12 (StatSoft, Inc. 1984–2013). Všechny hypotézy byly testované na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

### Výsledky

#### Dočasný chrup

V analýze bylo celkem vyšetřeno 103 jedinců, 28 z nich však nemělo žádný zub dočasného chrupu. Bylo tedy prozkoumáno 860 zubů dočasného chrupu náležející 75 jedincům. Zachovalost zubů dočasného chrupu byla stanovena na 63,9 %. Celkově byla frekvence kazivosti dočasného chrupu celého zkoumaného souboru stanovena na 36,0 %, intenzita kazivosti 7,9 a procento jedinců s intaktním chrupem 64,0 %. V dočasném chrupu byla zachovalost stoliček a špičáků horní čelisti výrazně vyšší než zachovalost řezáků, u zubů dolní čelisti je tento rozdíl o něco méně výrazný. Nejvyšší zachovalost měla druhá mandibulární stolička, nejnižší druhý horní řezák. Početně v analýze převažují dočasné zuby dolní čelisti nad zuby čelisti horní (Tabulka 1).

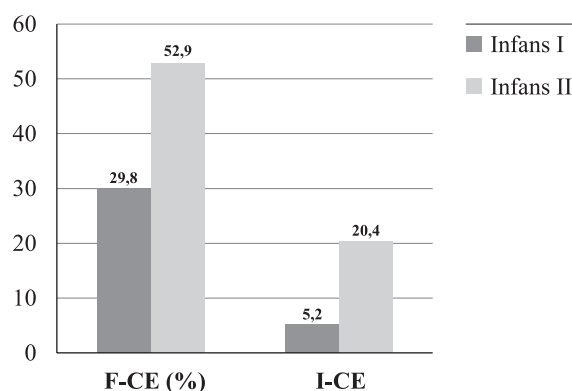
V kategorii Circumnatale (0–0,5 roku) se nacházeli 4 jedinci, z nichž ani jeden podle očekávání neměl prořezán žádný zub, proto nebylo možné zubní kaz hodnotit.

Nejvyšší početní zastoupení ( $n = 62$ ) mají jedinci z kategorie Infans I (0,5–6,9 let), kam spadalo 712 zubů. Z 62 jedinců mělo 40 dočasný chrup intaktní, tedy bez zubního kazu a 17 jedinců neslo zubní kazy na 37 zubech. Pět jedinců nemělo zachován

Tabulka 1. Celkový přehled zkoumaného souboru ze Znojma-Hradiště

| Věková kategorie     | Počet jedinců | Počet zachovalých zubů | Zachovalost zubů (%) | Počet zubů s kazem | Počet zachovalých alveolů | Frekvence kazivosti (F-CE, %) | Intenzita kazivosti (I-CE) |
|----------------------|---------------|------------------------|----------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| <b>dočasný chrup</b> |               |                        |                      |                    |                           |                               |                            |
| Circumnatale         | 0             | 0                      | —                    | 0                  | 0                         | —                             | —                          |
| Infans I             | 57            | 712                    | 67,7                 | 37                 | 728                       | 29,8                          | 5,2                        |
| Infans II            | 17            | 147                    | 62,7                 | 30                 | 148                       | 52,9                          | 20,4                       |
| Juvenis              | 1             | 1                      | —                    | 1                  | 1                         | —                             | —                          |
| Celkem               | 75            | 860                    | 65,2                 | 68                 | 877                       | 36,0                          | 7,9                        |
| <b>stálý chrup</b>   |               |                        |                      |                    |                           |                               |                            |
| Circumnatale         | 0             | 0                      | —                    | —                  | 0                         | —                             | —                          |
| Infans I             | 7             | 23                     | 53,2                 | 0                  | 36                        | 0,0                           | 0,0                        |
| Infans II            | 21            | 229                    | 44,7                 | 8                  | 268                       | 19,1                          | 3,5                        |
| Juvenis              | 12            | 273                    | 76,8                 | 9                  | 300                       | 41,7                          | 3,3                        |
| Celkem               | 40            | 525                    | 58,2                 | 17                 | 604                       | 22,5                          | 3,2                        |

Obrázek 1. Znázornění intenzity kazivosti (I-CE) a frekvence kazivosti (F-CE) na dočasném chrupu ve věkových kategoriích Infans I a II



žádný dočasný zub. Počet zubních kazů byl 41 na 41 zubních ploškách. Některé zuby byly zasaženy více kazy. Frekvence kazivosti (F-CE) pro tuto věkovou kategorii je 29,8 %, intenzita kazivosti (I-CE) je 5,2 (Obrázek 1). Nejpočetněji bylo zubních kazů nalezeno u jedinců ve věku 4–5 let. V této kategorii se vyskytuje nejvyšší kazivost u horních řezáků, následovaná prvními stoličkami a vysoká kazivost obou dolních stoliček. Dolní řezáky kazem nebyly zasaženy i přes jejich vyšší zachovalost a ukázala se velmi nízká kazivost maxilárních i mandibulárních špičků (Obrázek 3).

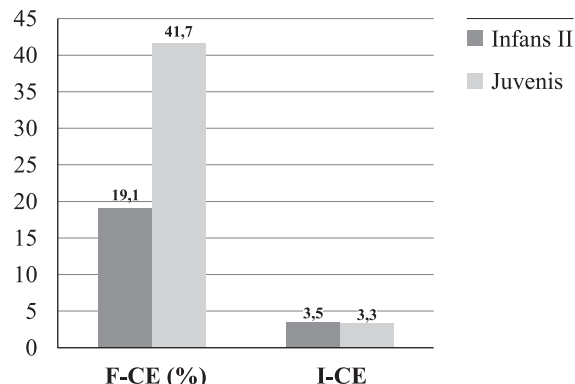
Kategorie Infans II (7,00–13,9 let) zahrnovala 25 jedinců nesoucích 147 zubů. Osm z nich nemělo zachován dočasný chrup, ze zbývajících jedinců mělo 8 dočasný chrup intaktní a 9 neslo kaz, a to na 30 zubech celkem 32 kazů. Počet zubních kazů na jednoho jedince se zvýšil přibližně na 3 kazy na osobu. F-CE pro tuto věkovou kategorii je 52,9 %, I-CE 20,4 (Obrázek 1). Opět se vyskytuje velmi vysoká kazivost horních řezáků, zatímco dolní zubní kaz nenesly. Nejvyšší kazivost je u horních prvních a následně druhých stoliček, kazivost dolních stoliček je nižší. Dolní i horní špičky vykazují rovněž velmi nízkou či nulovou kazivost (Obrázek 4).

Kategorie Juvenis (14–20 let) zahrnovala 12 jedinců s pouze 1 dočasným zubem, který nesl zubní kaz.

Analýza rozložení kazů podle zubních plošek ukázala, že na předních zubech (i) jsou postiženy nejčastěji labiální a mesiální ploška, na stoličkách pak plošky kontaktní, mesiální a distální, následované ploškami okluzálními s fisurálními kazy.

V kategorii Infans I výrazně převažují jedinci s intaktním dočasným chrupem nad jedinci s alespoň jedním kazem. V kategorii Infans II naopak mírně převažují jedinci se zubním ka-

Obrázek 2. Znázornění intenzity kazivosti (I-CE) a frekvence kazivosti (F-CE) na stálém chrupu ve věkových kategoriích Infans II a Juvenis



zem nad jedinci s intaktním dočasným chrupem. V kategorii Juvenis nelze tento poměr hodnotit, protože 92,0 % jedinců již nemá žádný zub dočasného chrupu.

#### Stálý chrup

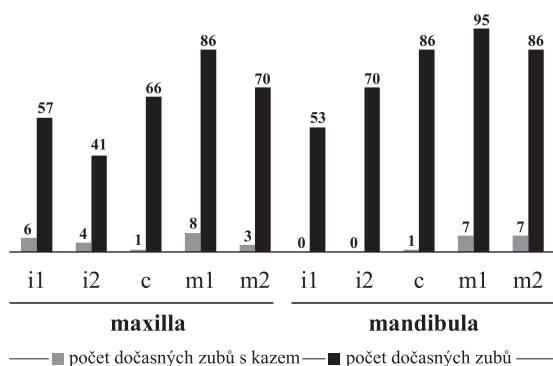
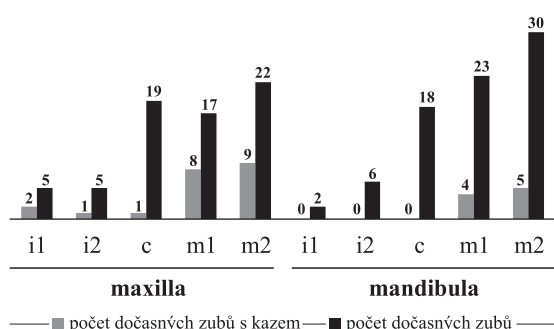
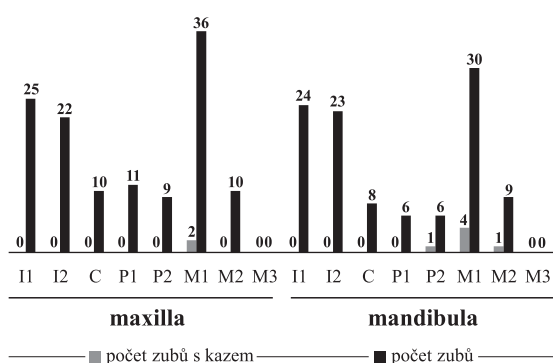
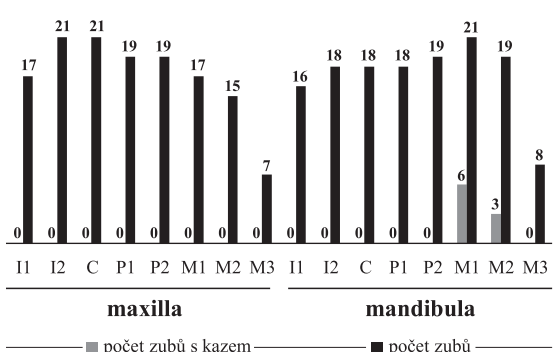
Zubů stálého chrupu, které patřily 40 jedincům, bylo analyzováno 525, největší zastoupení měla kategorie Juvenis (273 zubů), následovaná kategorií Infans II (229 zubů). V kategorii Infans I bylo zjištěno pouze 23 zubů stálého chrupu, jednalo se o první stoličky (M1) (Tabulka 1).

U zubů stálého chrupu nebyly rozdíly v zachovalosti předních a zadních zubů zdaleka tak výrazné jako u dočasného chrupu. Mírně zde převažuje zastoupení zubů horní čelisti, které vykazují nevýrazně vyšší zachovalost než zuby dolní čelisti.

Výskyt zubního kazu na stálých zubech byl v kategorii Infans I nulový, žádná ze zachovalých prvních stoliček kaz nenesla.

V kategorii Infans II mělo z 21 jedinců 17 chrup intaktní, čtyři jedinci nesli dvanáct kazů na osmi zubech a čtyři jedinci neměli zachován ani jeden stálý zub. Počet zubních kazů na jednoho jedince se výrazně zvýšil oproti chrupu dočasněmu. F-CE pro tuto věkovou kategorii je 19,1 %, I-CE 3,5 (Obrázek 2). Nejvíce zubních kazů bylo nalezeno u jedince ve věku 13–14 let, na jehož pěti stálých zubech bylo nalezeno devět kazů. V kategorii Infans II jsou počty některých typů zubů nízké. Zubní kaz je nejpočetněji zastoupen u dolních stoliček M1 a M2, kaz se nachází také na jednom dolním P2 a dvou horních prvních stoličkách (Obrázek 5).

V kategorii Juvenis mělo všech 12 jedinců zachován stálý chrup, u sedmi z nich nebyl nalezen žádný zubní kaz, pět jedinců neslo patnáct kazů na devíti zubech. Opět se u jednoho

**Obrázek 3.** Znázornění počtu analyzovaných zubů a zubů s kazem dočasného chrupu v kategorii *Infans I***Obrázek 4.** Znázornění počtu analyzovaných zubů a zubů s kazem dočasného chrupu v kategorii *Infans II***Obrázek 5.** Znázornění počtu analyzovaných zubů a zubů s kazem stálého chrupu v kategorii *Infans II***Obrázek 6.** Znázornění počtu analyzovaných zubů a zubů s kazem stálého chrupu v kategorii *Juvenis*

jedince vyskytují průměrně tři zubní kazy. F-CE pro tuto věkovou kategorii je 41,7 %, I-CE je 3,3 (Obrázek 2). V kategorii *Juvenis* je zubní zachovalost poměrně vysoká, naopak výskyt kazu je nízký, postiženy jsou pouze dolní stoličky M1 a M2, ostatní zuby kazy nenesly (Obrázek 6).

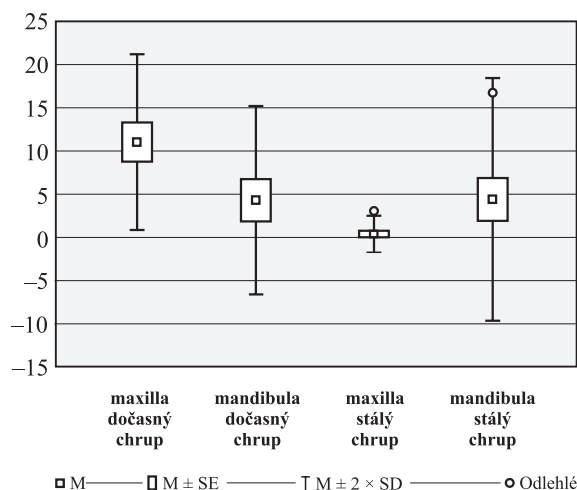
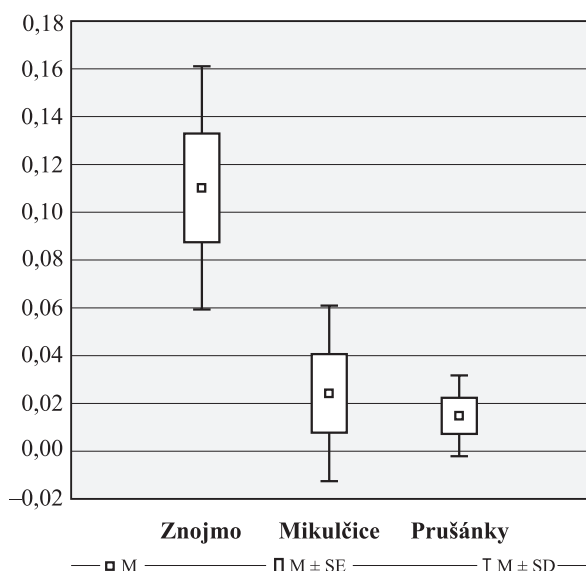
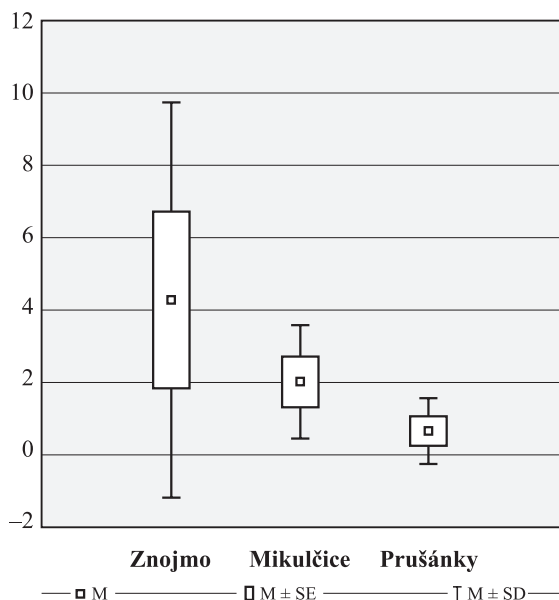
Celkově byla frekvence kazivosti stálého chrupu celého zkoumaného souboru stanovena na 22,5 %, intenzita kazivosti 3,2 a procento jedinců s intaktním chrupem 77,5 %. U stálých zubů převažují fisurální zubní kazy na okluzálních ploškách následované opět kontaktními kazy mezi stoličkami na mesiálních a distálních ploškách. Ve věkové kategorii *Infans II* převažují jedinci s intaktním chrupem nad jedinci se zubním s kazem. V kategorii *Juvenis* však zastoupení jedinců s kazem na stálém chrupu vzrůstá na 42,0 %.

## Diskuze

Intenzita kazivosti primární dentice mikulčických nedospělých jedinců je 2,6 a frekvence kazů 12,5 (Stloukal & Vyhnanek, 1976). Intenzita kazivosti (I-CE) nedospělých jedinců z Mikulčic-Kosteliska je 2,2 a Slovanů z pohřebiště v Prušánkách 1,1. I-CE našeho souboru (7,9) je tedy výrazně vyšší. Statistickým hodnocením byl zjištěn významný rozdíl mezi intenzitou kazivosti dočasného chrupu horních čelistí jedinců ze Znojma-Hradiště a nedospělých jedinců z Mikulčic-Kosteliska ( $\chi^2=29,78$ ;  $p=0,000005$ ) i z Prušánek ( $\chi^2=43,18$ ;  $p=0,000000$ ) (Obrázek 8). Rozdíl byl zjištěn i mezi intenzitou kazivosti dočasného chrupu dolní čelisti jedinců ze Znojma-Hradiště a Mikulčic-Kosteliska ( $\chi^2=16,56$ ;  $p=0,002348$ ) i z Prušánek ( $\chi^2=18,03$ ;  $p=0,001221$ ), kromě nulové kazivosti obou řezáků, které byla v těchto souborech shodná (Obrázek 9). Vyšší kazivost zubů v souborech obvykle způsobuje vyšší věkový průměr dětí, tedy vyšší zastoupení starších dětí (Garcin et al., 2010). V našem souboru ze Znojma-Hradiště je však nejvyšší zastoupení zkoumaných jedinců právě v nejnižších věkových kategoriích. Vyšší frekvence kazivosti je nacházena v souborech populací, které se živily zemědělstvím (2,3–26,5 %) (Esclassan et al., 2009; Garcin et al., 2010; Vodanović, Brkić, Slaus, & Demo, 2005). U společností se středními hodnotami kazivosti (6,4–10,3 %) byla obživa zajištěna lovem a zemědělstvím (Larsen, 1983; Lukacs, 1990; Schollmeyer & Turner, 2004). Jedná se však o hodnoty týkající se celé populace, nikoliv jen nedospělých jedinců jako v námi analyzovaném souboru. U jedinců pocházejících ze zemědělských populací jsou také nacházeny vážnější zubní léze než u jedinců populace městské. Velikost zubních kazů je dávana do souvislosti s výživou a péčí o zdraví (Garcin et al., 2010).

Naše výsledky potvrzují dřívější zjištění, že zadní zuby (stoličky m1 a m2) bývají kazem postiženy častěji než zuby přední (i1, i2 a c). Statistické hodnocení opět zjistilo významný rozdíl ( $\chi^2=10,01$ ;  $p=0,001562$ ). V našem souboru nebyl nalezen žádný kaz na dolních řezácích, tak jako v souboru z Prušánek. V souboru Mikulčice-Kostelisko byl na dolních řezácích nalezen jeden kaz (Garcin et al., 2010). Výsledky v námi prozkoumaném souboru se odlišují vysokým výskytem kazů na horních řezácích (i1 a i2) dočasného chrupu věkové kategorie *Infans I*. Jejich kazivost je vyšší než kazivost stoliček. Kazy na horních řezácích se nacházejí nejčastěji u dětí nejnižších věkových kategorií. V současné době je tato časná zubní kazivost, týkající se v první fázi právě horních řezáků, dávana do souvislosti s prodlouženým nočním kojením a především pitím slazených nápojů před spaním a v noci z kojenecké láhve, kdy právě tyto zuby nejsou dostatečně oplachovány slinami (Berkowitz, 2003; Curzon & Preston, 2004). Obživa Slovanů byla založena z větší části na zemědělství a strava se skládala z vypěstovaných produktů, především obilovin – pšenice, ječmene, žita a prosa, z nichž byl připravován chléb, placky a z prosa zřejmě hojně kaše ochucované ovocem a ořechy. Cukr v podobě jako jej



**Obrázek 7.** Intenzita kazivosti zubů dočasného a stálého chrupu**Obrázek 8.** Intenzita kazivosti zubů horních čelistí tří srovnávaných souborů**Obrázek 9.** Intenzita kazivosti zubů dočasného chrupu dolních čelistí tří srovnávaných souborů

známe dnes, ještě neexistoval, ale Slované byli dovední včelaři a sladili medem obilné kaše, pečivo a zřejmě také čaje. Je pravděpodobné, že sladili rovněž sirupy, zavařeninami a povidly. Kromě čajů pili ovocné mošty, pivo a medovinu. Zatímco mléko v čerstvé podobě bylo používáno zřejmě jen v malém množství, především bylo z důvodu skladovatelnosti zpracováváno na tvaroh a sýr. Hygienické pomůcky, jako jsou ušní lžičky, pinzety, hřebeny, nůžky, byly nalezeny ve výbavě žen velmožů. K hygieně dutiny ústní nejsou publikovány žádné podložené informace. Je tedy pravděpodobné, že u nižších společenských vrstev byla hygiena mizivá (Galuška, 2004). Konzumace uvečených slazených pokrmů a nápojů dětmi před spaním a prodloužené kojení v noci v době po prořezání zubů dočasného chrupu, ve spojitosti s nedostatečnou hygienou dutiny ústní, mohou být příčinou zvýšené kazivosti horních předních zubů v souboru ze Znojma-Hradiště.

### Závěr

V analyzovaném souboru 103 jedinců, z nichž pouze 75 mělo zachován dočasný chrup, bylo prozkoumáno 860 zubů, intenzita kazivosti je 7,91; frekvence kazivosti 36,0 %, jedinců s intaktním chrupem je 64,0 %. Zubní kazivost je oproti srovnávaným souborům ze slovanských jihomoravských pohřebišť vyšší. Ve zkoumaném souboru 40 nedospělých jedinců se stálým chrupem se nacházelo 525 zubů, intenzita kazivosti je 3,2; frekvence kazivosti 22,5 % a jedinců s intaktním chrupem bylo 77,5 %. Celkem, tedy bylo prozkoumáno 1385 zubů 103 nedospělých jedinců. Studie pokračuje analýzou jedinců s následujícími výzkumnými sezonami a hodnocením výskytu hypoplazií, které jsou dalším z ukazatelů výživy a stavu organismu.

**Klíčová slova:** dočasné a stálé zuby, výskyt zubního kazu, F-CE, I-CE, slovanská populace

### Literatura

- Berkowitz, R. J. (2003). Causes, treatment and prevention of Early Childhood Caries: a microbiologic perspective. *J Can Dent Assoc*, 69(5), 304–7.
- Bodoriková, S., & Veselá, S. (1999). Dentition state of the subadult individuals of the Slav-Avar population of Šebastovce (Eastern Slovakia). *Anthropologie*, 37(2), 187–189.
- Cucina, A., & Tiesler, V. (2003). Dental caries and antemortem tooth loss in the northern Peten Area, Mexico: a biocultural perspective on social status differences among the classic Maya. *Am J Phys Anthropol.*, 122(1), 1–10.
- Curzon, M. E. J., & Preston, A. J. (2004). Risk Groups: Nursing Bottle Caries/Caries in the Elderly. *Caries Res*, 38(suppl1), 24–33. doi: 10.1159/000074359
- Esclassan, R., Grimoud, A.M., Ruas, M.P., Donat, R., Sevin, A., Astie, F., ... Crubezy, E. (2009). Dental caries, tooth wear and diet in an adult medieval (12th–14th century) population from mediterranean France. *Arch Oral Biol.*, 54(3), 287–297.
- Ferreira, S. H., Béria, J. U., Kramer, P. F., Feldens, E. G., & Feldens, C. A. (2007). Dental caries in 0- to 5-year-old Brazilian children: prevalence, severity, and associated factors. *Int J Paediatr Dent.*, 17(4), 289–296.
- FitzGerald Ch Saunders, S., Bondioli, L., & Macchiarelli, R. (2006). Health of infants in an imperial Roman skeletal sample: perspective from dental microstructure. *Am J Phys Anthropol.*, 130(2), 179–189.
- Galuška, L. (2004). *Slované, dotečky předků*. Brno: Moravské zemské muzeum; Obec Modrá; Zlín: Krajská knihovna Františka Bartoše. 148 s.
- Garcin, V., Velemínský, P., Trefný, P., Alduc-Le Bagousse, A., Lefebvre, A., & Brůžek, J. (2010). Dental health and lifestyle

- le in four early medieval juvenile populations: Comparisons between urban and rural individuals, and between coastal and inland settlements. *HOMO*, 61(6), 421–439.
- Herrscher, E., Bocherens, H., Valentin, F., & Colardelle, R. (2001). Dietary behavior of the Middle Ages in Grenoble: application of isotopic biogeochemistry of the Saint-Laurent cemetery (XIIIth–XVth centuries, Isère, France). *C R Acad Sci III*, 324(5), 479–487.
- Hillson, S. (2003). *Dental anthropology*. 3rd ed. London: Cambridge University Press (pp. 1–5).
- Jančová, M., & Klíma, B. (2014). Zubní kazivost u nedospělých jedinců ve věku 0–6 let ze slovanského pohřebiště Znojmo-Hradiště: první zpráva o výzkumu. *Česká antropologie* 64(2), 21–27.
- Klíma, B. (2009). Jedinečný archeologický objev na Hradišti sv. Hypolita ve Znojmě. *Sborník prací Pedagogické fakulty Masarykovy univerzity, řada společenských věd*, 23, 3–14.
- Larsen, C. S. (1983). Behavioural implications of temporal change in cariogenesis. *J. Archaeol. Sci.*, 10, 1–8.
- Lukacs, J. R. (1990). On hunter-gatherers and their neighbors in prehistoric India: contact and pathology. *Curr. Anthropol.*, 31, 183–186.
- Moore, W. J., & Corbett, E. (1973). The distribution of dental caries in ancient British population: II. Iron age, Romano-British and mediaeval periods. *Caries Res.*, 7, 139–153.
- Müldner, G., & Richards, M. P. (2005). Fast of feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis. *J. Archaeol. Sci.*, 32, 39–48.
- Schollmeyer, K. G., & Turner, C. G. (2004). Dental caries, prehistoric diet, and the Pithouse-to-Pueblo transition in Southwestern Colorado. *Am. Antiq.*, 69, 569–582.
- Slaus, M., Pecina-Hrnčević, A., & Jakovljević, G. (1997). Dental disease in the late medieval population from Nova Raca, Croatia. *Coll. Anthropol.*, 21, 561–572.
- Stloukal, M., & Vyhnánek, L. (1976). *Slované z velkomoravských Mikulčic*. Praha: Academia.
- Stránská, P., Velemínský, P., & Velemínská, J. (2008). The state of dentition in the Great Moravian population. In Velemínský, P., Poláček, L. (Eds.). *Studien zum Burgwall von Mikulčice*, 27 (p. 121–140). Brno: Spisy AU AVČR.
- Stránská, P., Velemínský, P., & Poláček, L. (2015). The prevalence and distribution of dental caries in four early medieval non-adult populations of different socioeconomic status from Central Europe. *Archives of Oral Biology*, 60, 62–76.
- Temple, D. H., & Larsen, C. S. (2007). Dental caries prevalence as evidence for agriculture and subsistence variation during the Yayoi Period in prehistoric Japan: biocultural interpretations of an economy in transition. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 134, 501–512.
- Vodanović, M., Brkić, H., Slaus, M., & Demo, Z. (2005). The frequency and distribution of caries in the mediaeval population of Bijelo Brdo in Croatia (10th–11th century). *Arch. Oral Biol.*, 50, 669–680.
- Watt, M. E., Lunt, D. A., & Gilmour, W. H. (1997). Caries prevalence in the deciduous dentition of a mediaeval population from the southwest of Scotland. *Arch. Oral. Biol.*, 42, 811–820.

---

Jančová, M., & Klíma, B. (2016). Analýza zubní kazivosti nedospělých jedinců z velkomoravského pohřebiště Znojmo-Hradiště z archeologického výzkumu v letech 2007 a 2008. *Česká antropologie*, 66(2), 10–14.

# KOMPARACE VÝSLEDKŮ ZASTOUPENÍ TĚLESNÉHO TUKU A VALIDITA MĚŘENÍ BIOIMPEDANČNÍMI ANALYZÁTORY S ROZDÍLNÝMI MĚŘÍCÍMI FREKVENCEMI U MLADÝCH ATLETŮ

## Comparison of the results of body fat representation and validity of measurements of young athletes performed by bioimpedance analysers using various measuring frequencies

Petr Kutáč

Centrum diagnostiky lidského pohybu,  
Katedra studií lidského pohybu, Pedagogická fakulta,  
Ostravská univerzita, Ostrava, Česká republika

### Abstract

The aim of the study is to use the DXA method as a criterion to validate results of measurements of body fat representation by bioimpedance analysers (BIA) with a different measuring frequency and to compare differences in the resulting values. The researched group included U19 athletes. The measurement of body fat representation was performed by BIA analysers Tanita BC 418 MA (A1) and InBody 770 (A2). The DXA method was used as a reference method. To assess validity we used the modelling of the relationship between the observed variables by means of various models of regression functions. To assess empirical validity, the Pearson correlation coefficient ( $r$ ) and the standard error of the estimate ( $S_{y/x} = \text{SEE}$ ) were used. When comparing average values of body fat representation obtained by BIA analysers, statistically significant differences were identified. Practical significance expressed by the Cohen  $d$  ranged between 0.7 and 0.8. The value of the Pearson coefficient ( $r$ ) that expresses the degree of validity against the DXA method was shown by A1 analyser as 0.87–0.91 (% fat – kg fat) and 0.95–0.96 (% fat – kg fat) by A2 analyser. The values of  $d_{\max}$  ( $\pm 2S_{y/x}$ ) in case of values expressed in percentages ranged between 4.90–5.52 % and in kilograms 4.06–4.90 kg. Despite the relatively high value of the Pearson coefficient we cannot estimate sufficiently accurately the values of the DXA reference method from the measurement conducted by BIA analysers. The results are burdened with a high value of  $d_{\max}$ . A higher measuring frequency does not, in case of measuring proportion of fat, ensure significantly greater validity of measurement.

**Keywords:** statistical significance, practical significance, dual X-ray absorptiometry, standard error of estimate, men playing sports

### Úvod

Parametry tělesného složení bývají považovány za ukazatel zdravotního stavu jedince, úrovně výživy a jeho tělesné zdatnosti. Proto se analýza tělesného složení využívá jak

pro hodnocení zdravotně orientované zdatnosti (Cvejić, Pejović, & Ostojić, 2013; Sousa et al., 2013; Sofková, Přidalová, Mitáš, & Pelclová, 2013), tak je běžnou součástí funkční diagnostiky sportovců (Heyward & Gibson, 2014).

Pro odhad tělesného složení existuje řada metod, které můžeme rozdělit na metody laboratorní a terénní. Metody laboratorní (hydrostatické vážení, denzitometrie, DXA, TOBEC apod.) jsou považovány za přesnější. Proto jsou využívány jako metody referenční pro hodnocení validity ostatních metod. Tyto metody jsou však náročné na přístrojové vybavení i realizaci měření (Heymsfield, Lohman, Wang, & Going, 2005). V terénní praxi se proto využívají metody terénní. Mezi tyto metody patří i bioelektrická impedance (BIA). Přístroje využívající bioelektrickou impedanci (bioimpedanční analyzátory) jsou méně náročné na obsluhu, měření je rychlé a jsou cenově dostupnější. O širokém používání BIA svědčí stále se rozšiřující nabídka BIA analyzátorů. I když tyto analyzátory využívají pro měření stejnou metodu, která je založena na rozdílech v šíření elektrického proudu nízké intenzity v různých biologických strukturách, liší se v řadě parametrů. Mezi tyto parametry můžeme zařadit způsob vedení elektrického proudu jednotlivými částmi těla. Využívají se přístroje bipolární, které vedou proud pouze končetinami (horními nebo dolními) nebo tetrapolární, které vedou proud celým tělem. Dalším rozdílem je počet a použití elektrod, analyzátory používají nejen různý počet elektrod pro měření, ale některé analyzátory mají elektrody zabudovány a u některých se musí na tělo nalepovat. Dalším významným rozdílem je použití různých frekvencí pro měření. Jsou využívány jak monofrekvenční analyzátory měřící na frekvenci 50 kHz, tak multifrekvenční analyzátory využívající frekvence 100 až 1000 kHz. Z tohoto rozdílu plynou také rozdíly v parametrech, které nám mohou jednotlivé typy analyzátorů poskytnout. Analyzátory využívající vyšší frekvence poskytují díky průchodu elektrického proudu do hlubších struktur více parametrů a poskytují tak více informací o tělesném složení sledovaného jedince. Tyto analyzátory jsou ale finančně náročnější a je proto otázkou, zda jsou i validnější vzhledem k referenčním metodám než analyzátory monofrekvenční. Pokud by tomu tak nebylo, byly by v případě pouhé analýzy podílu tělesného tuku dostačující analyzátory monofrekvenční. V této studii jsme použili pro srovnání rozdílů naměřených hodnot zastoupení tělesného tuku a pro srovnání validity BIA analyzátorů 2 analyzátory s rozdílnými frekvencemi. Jednalo se o monofrekvenční tetrapolární analyzátor měřící na frekvenci 50 kHz a multifrekvenční tetrapolární analyzátor měřící na frekvenci 1000 kHz. Zařazení použitých analyzátorů vycházelo z jejich rozšíření na odborných pracovištích.

I když již byla realizována řada studií, ve kterých byly srovnávány výsledné hodnoty parametrů tělesného složení a jejich validita k referenčním metodám, jednalo se o jiné typy analyzátorů a hodnocení nebylo zaměřeno na rozdílnost použitých frekvencí měření (Beeson et al., 2010; Dolezal, Lau, Abrazado, Storer, & Cooper, 2013; Gupta, Balasekaran, Victor Govindaswamy, Hwa, & Shun, 2011; Leahy, O'Neill, Sohun, & Jakeman, 2012; Rutherford, Diemer, & Scott, 2011). Rovněž ve studiích, které se zabývaly porovnáváním výsledků měření na úrovni různých měřících frekvencí, byly používány jiné typy analyzátorů (Kutáč, 2013; Kutáč & Kopecký, 2015).

### Cíl

Cílem studie je využít metodu DXA jako kritérium validity výsledků měření zastoupení tělesného tuku u sportujících jedinců bioimpedančními analyzátory s rozdílnou frekvencí měření a porovnat rozdíly ve výsledných hodnotách.

Byly stanoveny 3 výzkumné otázky:

- Liší se výsledky naměřené různými BIA analyzátory?
- Liší se validita naměřených výsledků u různých typů BIA analyzátorů?
- Je vyšší měřicí frekvence zárukou vyšší validity naměřených výsledků?

## Metodika

### Charakteristika souboru

Výzkumný soubor tvořilo 21 mužů, jejich věkový průměr byl  $18,7 \pm 1,6$  let (věkové rozpětí bylo 17 až 21 let). Měřenými jedinci byli atleti, kteří se účastní nejvyšších soutěží v České republice v dané věkové kategorii ve skokanských a vrhačských disciplínách. Výzkumu se účastnili dobrovolně a byli předem informováni o postupu výzkumu. Všichni rovněž podepsali informovaný souhlas s účastí v tomto výzkumu. Výzkum byl schválen etickou komisí Ostravské univerzity a je v souladu s Helsinskou deklarací.

### Realizace výzkumu

Účastníci měření byli v dostatečném předstihu informováni o podmínkách, které musí před měřením dodržet. Měření probíhala vždy v ranních hodinách (7.30–9.30 hod.) ve stejný den v týdnu. Byly dodrženy všechny zásady pro měření metodou BIA (Riegerová et al., 2006). Při všech měřeních byli účastníci ve spodním prádle. Měření bylo realizováno vždy stejným týmem výzkumníků, kteří mají v realizovaných měřeních několika letou praxi. Každý účastník absolvoval měření na jednotlivých analyzátoch ve stejném pořadí. Abychom vyloučili případné ovlivnění výsledných naměřených hodnot v důsledku prodlev mezi měřeními (např. požitím tekutin nebo potravin), byla jednotlivá měření realizována bezprostředně po sobě a účastníci byli neustále pod dohledem. Vedle podílu tělesného tuku byly měřeny i základní antropometrické parametry (tělesná výška a hmotnost). Tělesná výška byla měřena antropometrickým měřidlem P 226 (Trystom, Česká republika), tělesná hmotnost byla měřena použitými analyzátory.

Použité BIA analyzátory pro diagnostiku podílu tělesného tuku a jejich základní charakteristika:

- A1<sub>(50 kHz)</sub>: Tanita BC 418 MA (Tanita corporation, Japonsko) jedná se tetrapolární monofrekvenční bioelektrický analyzátor, který pro měření využívá 50 kHz. Pro měření jsou využívány osmibodové dotykové elektrody, které jsou zabudovány v madlech a nášlapné plošině přístroje. Analyzátor je zároveň digitální vahou.
- A2<sub>(1000 kHz)</sub>: InBody 770 (Biospace, Jižní Korea) jedná se o tetrapolární multifrekvenční bioelektrický analyzátor, který pro měření využívá 1000 kHz. Pro měření jsou využívány osmibodové dotykové elektrody, které jsou zabudovány v madlech a nášlapné plošině přístroje. Analyzátor je zároveň digitální vahou.
- A3<sub>(DXA)</sub> referenčním přístrojem byl Denzitometr Holgic QDR (Hologic, USA) využívající metodu duální rentgenové absorpciometrie (DXA).

### Statistické zpracování

Normalita rozdělení byla ověřena Shapiro-Wilk testem. Pro hodnoty u kterých nedošlo k narušení normality rozdělení, byl pro ověření statistické významnosti použit párový t-test.

U hodnot, kde byly zjištěny statisticky významné rozdíly, byl pro posouzení věcné významnosti použit Effect of Size (Cohenovo *d*) (Cohen, 1988). K posouzení validity jsme použili modelování vztahu mezi sledovanými proměnnými pomocí různých modelů regresních funkcí. Nezávisle proměnnou tvořila měření bioimpedančních analyzátorů a závisle proměnnou

měření pomocí DXA. K posouzení empirické validity byl použit Pearsonův korelační koeficient (*r*) a standardní chyba odhadu ( $S_{y/x} = SEE$ ). Statistické zpracování výsledků bylo provedeno pomocí programu PASW SPSS 21.0. Hladina statistické významnosti byla zvolena u všech použitých testů na hladině  $\alpha = 0,05$ . Doporučení pro Cohenovo *d*: 0,2 = malá změna, 0,5 = střední změna, 0,8 = velká změna podle Cohena (1988).

## Výsledky

Ve výsledkové části jsou prezentovány průměrné hodnoty základních antropometrických parametrů, jako základní charakteristika sledované skupiny probandů (Tabulka 1). Vedle naměřených hodnot zastoupení tělesného tuku (Tabulka 2) jsou zde prezentovány také rozdíly mezi těmito hodnotami (Tabulka 3). Vzhledem k tomu, že u žádných hodnot nebylo zjištěno narušení normality rozdělení, mohlo být posouzení statistické významnosti provedeno mezi všemi BIA analyzátory pomocí párového t-testu. K odhadu regresní funkce jsme využili modely lineární, kvadratický, logaritmický a exponenciální a jejich R Square uvádí tabulka 4.

**Tabulka 1.** Základní antropometrické parametry

| Parametr                                       | M     | SD   |
|------------------------------------------------|-------|------|
| Tělesná výška (cm)                             | 181,2 | 4,8  |
| Tělesná hmotnost (kg) A1 <sub>(50kHz)</sub>    | 76,7  | 11,0 |
| Tělesná hmotnost (kg) A2 <sub>(1000 kHz)</sub> | 76,7  | 11,0 |
| Tělesná hmotnost (kg) A3 <sub>(DXA)</sub>      | 76,4  | 10,9 |

Poznámka: A1 – Tanita BC 418 MA; A2 – InBody 770; A3 – Denzitometr Holgic QDR; M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka

**Tabulka 2.** Hodnoty zastoupení tělesného tuku naměřené všemi přístroji

| Parametr | Analyzátory                      |                                    |                               |
|----------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
|          | A1 <sub>(50 kHz)</sub><br>M ± SD | A2 <sub>(1000 kHz)</sub><br>M ± SD | A3 <sub>(DXA)</sub><br>M ± SD |
| Tuk (%)  | 15,0 ± 4,3                       | 11,0 ± 5,2                         | 17,4 ± 5,6                    |
| Tuk (kg) | 11,8 ± 4,9                       | 8,7 ± 5,1                          | 13,5 ± 6,1                    |

Poznámka: A1 – Tanita BC 418 MA; A2 – InBody 770; A3 – Denzitometr Holgic QDR; M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka

**Tabulka 3.** Rozdíly mezi průměrnými hodnotami zastoupení tělesného tuku naměřenými BIA analyzátory

| Analýzátor                                       | Parametr | Rozdíl  | <i>d</i> |
|--------------------------------------------------|----------|---------|----------|
| A1 <sub>(50kHz)</sub> – A2 <sub>(1000 kHz)</sub> | Tuk (%)  | 4,0***  | 0,8      |
|                                                  | Tuk (kg) | 3,1***  | 0,6      |
| A1 <sub>(50kHz)</sub> – A3 <sub>(DXA)</sub>      | Tuk (%)  | –2,4**  | 0,5      |
|                                                  | Tuk (kg) | –1,7**  | 0,3      |
| A2 <sub>(1000 kHz)</sub> – A3 <sub>(DXA)</sub>   | Tuk (%)  | –6,4*** | 1,2      |
|                                                  | Tuk (kg) | –4,8*** | 0,9      |

Poznámka: A1 – Tanita BC 418 MA; A2 – InBody 770; A3 – Denzitometr Holgic QDR; \**p* < 0,05; \*\**p* < 0,01; \*\*\**p* < 0,001

Mezi BIA analyzátory (A1 vs A2) byl zjištěn statisticky významný rozdíl ( $p < 0,001$ ), byla potvrzena i věcná významnost. V procentuálním zastoupení tuku se jednalo o velkou změnu a v kilogramech střední. Rozdíl mezi zastoupením tuku naměřeným mezi BIA analyzátory a metodou DXA byl rovněž zjištěn statisticky významný rozdíl (A1 vs A3  $p < 0,01$  a A2 vs A3  $p < 0,001$ ). Věcná významnost v procentuálním zastoupení tuku byly mezi A1 a A3 střední a mezi A2 a A3 velká. V kilogramech nebyla věcná významnost mezi A1 a A3 prokázána ( $d$ : 0,3 = malá změna), ale mezi A2 a A3 prokázána byla, zjištěná změna je velká.



Tabulka 4. R Square zvolených regresních funkcí

| Analyzátor               | Parametr | Regresní funkce |              |             |               |
|--------------------------|----------|-----------------|--------------|-------------|---------------|
|                          |          | Lineární        | Logaritmická | Kvadratická | Exponenciální |
| A1 <sub>(50 kHz)</sub>   | Tuk (%)  | 0,706           | 0,682        | 0,712       | 0,601         |
|                          | Tuk (kg) | 0,847           | 0,823        | 0,852       | 0,755         |
| A2 <sub>(1000 kHz)</sub> | Tuk (%)  | 0,863           | 0,854        | 0,867       | 0,655         |
|                          | Tuk (kg) | 0,902           | 0,880        | 0,913       | 0,712         |

Poznámka: A1 – Tanita BC 418 MA; A2 – InBody 770

Tabulka 5. Charakteristiky empirické validity měření použitých BIA analyzátorů vzhledem k DXA

| Analyzátor               | Parametr | <i>r</i> | <i>S</i> <sub>y/x</sub> | <i>d</i> <sub>max</sub> |
|--------------------------|----------|----------|-------------------------|-------------------------|
| A1 <sub>(50 kHz)</sub>   | Tuk (%)  | 0,84     | 2,49                    | 4,98                    |
|                          | Tuk (kg) | 0,92     | 2,00                    | 4,00                    |
| A2 <sub>(1000 kHz)</sub> | Tuk (%)  | 0,93     | 2,02                    | 4,04                    |
|                          | Tuk (kg) | 0,96     | 1,62                    | 3,24                    |

Poznámka: A1 – Tanita BC 418 MA; A2 – InBody 770; *r* – Pearsonův korelační koeficient; *S*<sub>y/x</sub> – standardní chyba odhadu (SEE); *d*<sub>max</sub> ( $\pm 2S_{y/x}$ ) – mezní chyba odhadu

Z vybraných regresních funkcí (Tabulka 4) vytváří nejlepší podmínky pro odhad model kvadratický. U analyzátoru A1 vysvětluje 71–85 % rozptylu a u analyzátoru A2 87–91 % rozptylu. Rozdíly mezi modelem kvadratickým, logaritmickým a lineárním jsou však zanedbatelné. Nejhorší podmínky vytváří u obou analyzátorů model exponenciální.

Stejně jako při využití regresních funkcí je odhad kritéria přesnější u A2 než u A1. Tuto skutečnost potvrzují také hodnoty standardní chyby odhadu (*S*<sub>y/x</sub>) a mezní chyby odhadu (*d*<sub>max</sub>). Rozdíly jsou však velmi malé.

## Diskuse

Při posouzení difference mezi průměrnými hodnotami zastoupení tělesného tuku naměřenými dvěma celotělovými BIA analyzátorů s rozdílnou měřicí frekvencí byl zjištěn nižší rozdíl než při srovnání výsledků naměřených celotělovým a bipolárním analyzátozem. Při srovnání celotělového analyzátoru s analyzátozem ruka-ruka byl zjištěn rozdíl 6,42 % tuku a při srovnání s analyzátozem noha-noha 7,46 % (Chin, Kiew, & Girandola, 2006; Trutschnigg et al., 2008). Nižší rozdíl uvádějí ve své studii Sigmund, Psotta a Agricola (2015). U sportujících chlapců ve věku 7–18 let byly zjištěny rozdíly mezi hodnotami bipedního a celotělového analyzátoru rozdíly v rozpětí 3,1–4,7 %. Při srovnání bipolárních analyzátorů ruka-ruka a noha-noha mezi sebou byl zjištěn rozdíl v průměrných hodnotách 5,7 % tuku (Velazquez-Alva, Irigoyen-Camacho, Huerta-Huerta, & Delgadillo-Velazquez, 2014). Ukazuje se tedy, že jako významný faktor výsledků měření se jeví nejen měřicí frekvence, ale i způsob vedení elektrického proudu lidským tělem.

Při posouzení přesnosti měření BIA analyzátorů bychom mohli vycházet z hodnot optimální velikosti chyby přístroje. Za hraniční hodnotu pro optimální velikost chyby analyzátoru je považováno 2 % tělesného tuku (Heyward & Wagner, 2004). Analyzátoři, které měří s touto chybou, jsou pak považovány za velmi přesné. Rozdíly průměrných hodnot procentuálního podílu obou BIA analyzátorů (A1, A2) k metodě DXA (A3) byly vyšší než 2 % (Tabulka 3). Nižší rozdíl byl zjištěn u analyzátoru A1, proto by měl být tento analyzátor přesnější, hodnoty empirické validity (Tabulka 5) to však nepotvrzují. Na základě zjištěných hodnot Pearsonova korelačního koeficientu *r* (Tabulka 5) musíme za přesnější považovat analyzátor A2. Jeho *r* mělo hodnotu 0,93 (tuk %) a 0,96 (tuk kg), což znamená, že vysvětluje 86,5 až 92 % rozptylu. Taková závislost je považována

velmi vysokou (Westgard, 2008). Hodnota *r* analyzátoru A1 (0,84 a 0,92) vysvětluje 76 až 84 % rozptylu, což můžeme považovat za vysokou až velmi vysokou závislost. Srovnání našich výsledků s výsledky jiných autorů je poměrně obtížné, neboť autoři zabývající se obdobnou problematikou používají rozdílné BIA analyzátoři, v nichž mohou být použity rozdílné softwary a rovnice. I přesto můžeme konstatovat, že námi zjištěné výsledky jsou v intencích hodnot prezentovaných v řadě studií. Hodnoty Pearsonova koeficientu se pohybují při použití celotělových analyzátorů v rozmezí 0,81–0,98 v závislosti na použitém analyzátoři a výběrovém souboru (Dolezal, Lau, Abrazado, Storer, & Cooper, 2013; Duz, Kocak, & Korkusuz, 2009; Karelis, Chamberland, Aubertin-Leheudre, Duval, & Ecological mobility in Aging and Parkinson (EMAP) group, 2013; Kutáč, Gajda, Přidalová, & Šmajstrla, 2008; Loenneke et al., 2013; Wang et al., 2013). U bipolárního analyzátoru noha-noha byla zjištěna hodnota korelačního koeficientu 0,85 a u analyzátoru ruka-ruka 0,74 (Esco, Olson, Williford, Lizana, & Russel, 2011).

Zjištěné hodnoty mezní chyby (*d*<sub>max</sub>) jsou však poměrně vysoké (Tabulka 5). Takové chyby se nám jeví věcně významné s ohledem na změny ve složení těla, které potřebujeme evidovat. Například v oblasti sportu je odborníky takový rozdíl považován za významný. V jednotlivých sportovních odvětvích je velmi často uváděno rozmezí procentuálního zastoupení tuku, ve kterém se sportovci pohybují od 2 do 5 % (Arroyo, Gonzalez-de-Suso, Sanchez, Ansotegui, & Rocandio, 2008; Ostojic, Stojanovic, Jukic, & Jourkesh, 2009; Papapanagiotou et al., 2011; Sigmund & Dostálová, 2011; Soric, Misigoj-Durakovic, & Pedisic, 2008). V případě použití rozdílných analyzátorů nebo jiné metody (např. DXA), tak může v důsledku již uvedených rozdílných výsledků naměřených hodnot dojít k jejich chybným interpretacím.

## Omezení studie

Jsmo si vědomi toho, že námi získané výsledky mohou být ovlivněny výběrovým souborem. A to jak jeho rozsahem, tak složením. Sledovaní jedinci jsou specifickou skupinou – závodníci v lehkotletických disciplínách. Jejich výsledky je však možno využít pro sportovce v řadě jiných sportů a disciplín.

Omezení se vztahuje také na použité analyzátoři. Z nabídky BIA analyzátorů byly použity 2 typy s rozdílnou frekvencí, které považujeme za velmi často používané na našich pracovištích.

## Závěr

Zjištěné rozdíly mezi hodnotami zastoupení tělesného tuku použitými BIA analyzátory ukázaly, že případná zastupitelnost BIA analyzátorů je nevhodná. V případě použití jiného analyzátoru při opakovaném měření, může dojít k zavádějící interpretaci zjištěných rozdílů.

Vyšší validitu měření zastoupení tělesného tuku k metodě DXA měl BIA analyzátor, který měří s vyšší frekvencí. To se potvrdilo nejen v hodnotách Pearsonova korelačního koeficientu, ale také v hodnotách standardní chyby a mezní chyby odhadu. Rozdíly mezi těmito parametry však mezi multifrekvenčním a monofrekvenčním analyzátozem (A2 vs A1) nebyly výrazné. U obou analyzátorů jsou naměřené výsledky zatíženy vysokou hodnotou  $d_{\max}$  ( $\pm 2S_{y/x}$ ). V případě pouhé analýzy zastoupení tělesného tuku vyšší měřicí frekvence není zárukou výrazně vyšší validity měření. I monofrekvenční celotělový analyzátor nám může poskytnout srovnatelně relevantní výsledky.

## Poděkování

Tato studie byla financována z projektů pod č. SGS 6167/PdF/2015-2016.

## Souhrn

Cílem studie je využití metody DXA jako kritéria validity výsledků měření zastoupení tělesného tuku bioimpedančními analyzátory (BIA) s rozdílnou frekvencí měření a porovnání rozdílů ve výsledných hodnotách. Výzkumný soubor tvořili atleti U19. Pro měření zastoupení tělesného tuku byly použity BIA analyzátory Tanita BC 418 MA (A1), a InBody 770 (A2). Jako referenční metoda byla použita DXA. K posouzení validity jsme použili modelování vztahu mezi sledovanými proměnnými pomocí různých modelů regresních funkcí. K posouzení empirické validity byl použit Pearsonův korelační koeficient ( $r$ ) a standardní chyba odhadu ( $S_{y/x}$  = SEE). Při srovnání průměrných hodnot zastoupení tělesného tuku naměřených BIA analyzátory byly zjištěny statisticky významné rozdíly. Věcná významnost vyjádřena Cohenovým  $d$  se pohybovala v rozmezí 0,7 až 0,8. Hodnota Pearsonova koeficientu ( $r$ ), která vyjadřuje míru validity k metodě DXA byla u analyzátoru A1 0,87–0,91 (% tuk – kg tuk), u A2 0,95–0,96 (% tuk – kg tuk). Hodnoty  $d_{\max}$  ( $\pm 2S_{y/x}$ ) se pohybovaly u hodnot vyjádřených v procentech v rozmezí 4,90–5,52 % a v kilogramech 4,06–4,90 kg. I přes poměrně vysokou hodnotu Pearsonova koeficientu nemůžeme z měření BIA analyzátorů odhadovat dostatečně přesně hodnoty referenční metody DXA. Výsledky jsou zatíženy vysokou hodnotou  $d_{\max}$ . Vyšší měřicí frekvence není u měření podílu tuku zárukou výrazně vyšší validity měření.

**Klíčová slova:** statistická významnost, věcná významnost, duální rentgenová absorpciometrie, standardní chyba odhadu, sportující muži

## Literatura

- Arroyo, M., Gonzalez-de-Suso, J. M., Sanchez, C., Ansotegui, L., & Rocandio, A. M. (2008). Body Image and Body Composition: Comparisons of Young Male Elite Soccer Players and Controls. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 18(6), 628–638.
- Beeson, W. L., Batech, M., Schultz, E., Salto, L., Firek, A., Deleon, M., ... Cordero-Macintyre, Z. (2010). Comparison of body composition by bioelectrical impedance analysis and dual-energy X-ray absorptiometry in Hispanic diabetics. *Int J Body Compos Res*, 8(2), 45–50.
- Chin, M. K., Kiew, O. F., & Girandola, R. N. (2006). A Comparison of Body Fat Measurement by BodPod, Skinfolts, and Three Bioelectrical Impedance Analysis Techniques in Chinese College Student. *Int J Phys Ed*, 43(2), 77–85.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cvejić, D., Pejović, T., & Ostojić, S. (2013). Assessment of physical fitness in children and adolescents. *Facta Universitatis: Series Physical Education & Sport*, 11(2), 135–145.
- Dolezal, B. A., Lau, M. J., Abrazado, M., Storer, T. W., & Cooper, Ch. B. (2013). Validity of Two Commercial Grade Bioelectrical Impedance Analyzers for Measurement of Body Fat Percentage. *Journal of Exercise Physiology Online*, 16(4), 74–83.
- Duz, S., Kocak, M., & Korkusuz, F. (2009). Evaluation of body composition using three different methods compared to dual-energy X-ray absorptiometry. *Eur J Sport Sci*, 9(3), 181–190.
- Esco, M. R., Olson, M. S., Williford, H. N., Lizana, S. N., & Russel, A. R. (2011). The accuracy of hand-to-hand bioelectrical impedance analysis in predicting body composition in college-age female athletes. *J Strength Cond Res*, 25(4), 1040–1044.
- Gupta, N., Balasekaran, G., Victor Govindaswamy, V., Hwa, C. Y., & Shun, L. M. (2011). Comparison of body composition with bioelectric impedance (BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) among Singapore Chinese. *J Sci Med Sport*, 14(1), 33–37.
- Heymsfield, S. B., Lohman, T. G., Wang, Z., & Going, S. B. (2005). *Human body composition*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Heyward, V. H., & Wagner, D. R. (2004). *Applied Body Composition Assessment*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Heyward, V. H., & Gibson, A. L. (2014). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Karelis, A. D., Chamberland, G., Aubertin-Leheudre, M., Duval, C., & Ecological mobility in Aging and Parkinson (EMAP) group. (2013). Validation of a portable bioelectrical impedance analyzer for the assessment of body composition. *Appl Physiol Nutr Metab*, 38(1), 27–32.
- Kutáč, P., Gajda, V., Přidalová, M., & Šmajstrla, V. (2008). Validity of measuring body composition by means of the BIA Metod. *New Medicine*, 12(4), 89–93.
- Kutáč, P. (2013). Vliv použitého typu bioimpedančního analyzátoru a režimu měření na výsledné hodnoty parametrů tělesného složení u adolescentní populace. *Česká antropologie*, 63(2), 19–26.
- Kutáč, P., & Kopecký, M. (2015). Comparison of body fat using various bioelectrical impedance analyzers in university students. *Acta Gymnica*, 45(4), 177–186.
- Leahy, S., O'Neill, C., Sohun, R., & Jakeman, P. (2012). A comparison of dual energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analysis to measure total and segmental body composition in healthy young adults. *Eur J Appl Physiol*, 112(2), 589–595.
- Loenneke, J. P., Wray, M. E., Wilson, J. M., Barners, J. T., Kearney, M. L., & Pujol, T. J. (2013). Accuracy of Field Methods in Assessing Body Fat in Collegiate Baseball Players. *Res Sports Med*, 21(3), 286–291.
- Ostojic, S. M., Stojanovic, M., Jukic, I., & Jourkesh, M. (2009). The effects of six weeks of training on physical fitness and performance in teenage and mature top-level soccer players. *Biology of Sports*, 26(4), 379–387.
- Papapanagiotou, A., Gissis, I., Papadopoulos, C., Souglis, A., Bogdanis, G. C., Giosos, I., & Sotiropoulos, A. (2011).

- Changes in Homocysteine and 8-iso-PGF2a Levels in Football and Hockey Players After a Match. *Research in Sports Medicine*, 19(2), 118–128.
- Riegerová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (2006). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu*. Olomouc: Hanex.
- Rutherford, W. J., Diemer, G. A., & Scott, E. D. (2011). Assessment of Body Composition in Healthy Young Adults. *Journal of Research in Health, Physical Education, Recreation, Sport & Dance*, 6(2), 56–61.
- Sofková, T., Přidalová, M., Mitáš, J., & Pelclová, J. (2013). The level of neighborhood walkability in a place of residence and its effect on body composition in obese and overweight women. *Cent. Eur. J. Public Health*, 21(4), 184–192.
- Sigmund, M., & Dostálová, I. (2011). Základní morfologické charakteristiky, tělesné složení a segmentální analýza u vybraných vrcholových hráčů ledního hokeje nejvyšší ruské soutěže. *Česká antropologie*, 61(1), 25–31.
- Sigmund, M., Psotta, R., & Agricola, A. (2015). Hodnocení zastoupení tělesného tuku metodou bioelektrické impedance u sportujících chlapců ve věku 7–18 let s ohledem na typ použitého analyzátoru. *Tělesná kultura*, 38(2), 49–62.
- Soric M., Misigoj-Durakovic M., & Pedisic Z. (2008). Dietary Intake and Body Composition of Prepubescent Female Aesthetic Athletes. *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 18(3), 343–354.
- Sousa, N., Mendes, R., Silva, S., Garrido, N., Abrantes, C., & Reis, V. (2013). Effects of resistance and multicomponent training on body composition and physical fitness of institutionalized elderly women. *British Journal of Sports Medicine*, 47(10), 21–23.
- Trutsnigg, B., Kilgour, R. D., Reinglas, J., Rosenthal, L., Hornby, L., Morais, J. A., & Vigano, A. (2008). Precision and reliability of strength (Jamar vs. Biodex handgrip) and body composition (dual-energy X-ray absorptiometry vs. bioimpedance analysis) measurements in advanced cancer patients. *Appl Physiol Nutr Metab*, 33(6), 132–140.
- Velazquez-Alva, M. C., Irigoyen-Camacho, M. E., Huerta-Huerta, R., & Delagadillo-Velazquez, J. (2014). A comparison of dual energy x-ray absorptiometry and two bioelectrical impedance analyzers to measure body fat percentage and fat-free mass index in a group of Mexican young women. *Nutr Hosp*, 29(5), 1038–1046.
- Wang, J. G., Zhang, Y., Chen, H. E., Li, Y., Cheng, X. G., Xu, L., ... Li, B. (2013). Comparison of two bioelectrical impedance analysis devices with dual energy X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging in the estimation of body composition. *J Strength Cond Res*, 27(1), 236–243.
- Westgard, J. O. (2008). *Basic Method Validation*. Madison: Westgard Q.C.

---

Kutáč, P. (2016). Komparace výsledků zastoupení tělesného tuku a validita měření bioimpedančními analyzátory s rozdílnými měřicími frekvencemi u mladých atletů. *Česká antropologie*, 66(2), 15–19.

# ANTHROPOLOGICAL EVALUATION OF EARLY SKELETAL TUBERCULOSIS IN THE MEDIEVAL POPULATION OF DEVÍN-CASTLE (11<sup>TH</sup>–12<sup>TH</sup> CENTURY AD., SLOVAKIA)

**Antropologická analýza  
počiatkových štádií tuberkulózy kostí  
v stredovekom súbore  
z pohrebiska Devín-Hrad  
(11.–12. storočie n. l., Slovensko)**

**Klaudia Kyselicová<sup>1</sup>, Lukáš Šebest<sup>2</sup>,  
Radoslav Beňuš<sup>1</sup>, Csaba Bognár<sup>2</sup>,  
Michaela Dörnhöferová<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Department of Anthropology,  
Faculty of Natural Sciences, Comenius University,  
Bratislava, Slovakia

<sup>2</sup>Department of Molecular Biology,  
Faculty of Natural Sciences, Comenius University,  
Bratislava, Slovakia

## Abstract

This paper presents the results of a macroscopic analysis of early-stage tuberculosis in the medieval population of Devín-Castle (11<sup>th</sup>–12<sup>th</sup> century AD) and it summarizes the first data on possible occurrence of tuberculosis in a historical population from the territory of Slovakia. A total of 210 individuals (129 adults and 81 subadults) was analysed for the presence of lesions attributable to tuberculosis. First this skeletal collection was analysed only macroscopically, where special attention was given to the presence of lesions typical for a tuberculosis infection with its typical predilection sites (tubercle formation, ankylosis of the spine, or severe inflammation of hip joints). After typical cases of a tuberculosis infection were excluded, the study was aimed on finding early stage TB (tuberculosis) or atypical lesions possibly linked with TB (most of them referred to as “MOLAT”). Based on our findings, we assume that in this population were 6 adult individuals suffering from early stage TB (4 females and 2 males) and an unexpectedly high number of subadult individuals with lesions attributable to an early skeletal form of TB. As many as 23 out of 81 (28.40%) individuals younger than 18 years at death had skeletal changes like hypervascularisation of vertebral bodies (with or without resorptive lesions) and periosteal depositions on the ventral rib surface. As these alterations are not always tuberculosis specific and the here presented results are derived from a macroscopic observation only, they can only indicate an infectious disease, but the presence of a mycobacterial infection and its pathogen (*Mycobacterium tuberculosis*) causing TB can only be confirmed by a DNA analysis. Therefore the here presented data will be verified molecularly and by shot gun sequencing in a later stage of the research.

**Keywords:** paleopathology, infectious diseases, periostitis, MOLAT, vertebral bodies

## Introduction

Tuberculosis is principally caused by two members (*M. bovis* and *M. tuberculosis*) of the pathogenic *Mycobacterium tuberculosis* complex (MTB). It is primarily a soft tissue infection, according to Roberts and Buikstra (2003) only 3–5% of untreated people develop bone damage in the skeleton. The pathogen (most frequently *Mycobacterium tuberculosis*) is spread via haematogenous and lymphatic route from a primary focus in the lungs or gastrointestinal tract, most often it is the spine that is involved. Osseous tuberculosis is a chronic destructive inflammatory process with tubercle formation in bone comparable to affection of other organs/tissues (Nerlich & Lösch, 2009). The predilection site of osseous tuberculosis is not only the spine, but also the epiphyses of large joints, the skull and various small and flat bones. In general, every bone may be affected (Ortner & Putschar, 1985).

The here presented research is based on the analysis of human skeletal remains from the medieval settlement at the Castle Devín, which is dated to the 11<sup>th</sup> to 12<sup>th</sup> century AD (Plachá & Hlavicová, 1987). The skeletal collection from this settlement represents one of the most elaborate bone sets from the territory of Slovakia. Due to its good preservation, it was the subject of several anthropological studies aimed on mainly paleopathological lesions such as traumatic and growth lesions, manifestation of physical stress, metabolic diseases, diseases of teeth and periodontium, neoplastic lesions and manifestations of unspecific stress (Beňuš & Masnicová, 2012).

The here presented study derives from the macroscopic analysis of lesions referred to as MOLAT (Minor Osseous Lesions Attributable to Tuberculosis; Maczel, 2003). These minor lesions are often used as diagnostic criteria for early skeletal tuberculosis and are represented by rather atypical location or manifestation like periosteal depositions on the ventral surface of ribs, hypervascularisation or collapsed vertebral bodies and abnormal blood vessel impressions or possible lesions on the endocranial surface of the skull (due to tuberculous meningitis; Hershkovitz et al., 2002). Other unspecific changes possibly related to tuberculosis such as periostitis of long bones and osteomyelitis were observed as well.

The analysed skeletal collection consisted of 129 adult individuals (54 males, 62 females and 13 individuals of not determined sex) and 81 subadult individuals and it is the first medieval skeletal collection from the territory of Slovakia which was examined for the presence of specific infectious diseases. Paying special attention to the above described minor lesions might be a helpful tool in avoiding the underestimation of the frequency of TB in any skeletal collection.

## Aim

The aim of this study was to detect the presence of atypical or early TB changes in skeletal remains and characterize them by location and frequency, in order to better understand the etiology and spread of this infectious disease in medieval populations.

## Methodology

All examinations were carried out macroscopically at the Department of Anthropology at the Comenius University in Bratislava, where the collection is currently deposited. Age and sex of the studied population were determined previously by Beňuš and Masnicová (2012), for age estimation the methodologies of Ubelaker (1978), Lovejoy (1985), Meindl and Lovejoy (1985), Hanihara and Suzuki (1987) and Lovejoy, Meindl and Przybeck (1985) were followed. For sex estimation Beňuš and Masnicová (2012) followed the methodologies of Acsádi and Nemeskéri (1970), Černý and Komenda (1980), Ferembach,



Schwidetzky and Stloukal (1979), Iscan and Derrick (1984), Loth and Hennenberg (1996) and Phenice (1969).

At first, the study was aimed on finding lesions typical for a tuberculosis infection, but after the presence of lesions such as ventral collapse of vertebral bodies leading to angulation of the vertebral column (“gibbus”; Ortner & Putschar, 1985) or inflammation of hip joints was excluded, the material was studied for the presence of lesions likely to be linked with an early stage of TB (known as “MOLAT”; Maczel 2003):

- rib lesions: periosteal depositions on the ventral surface of ribs (but also on the whole surface of the rib), or lytic lesions, indicative of pulmonary TB (Matos & Santos, 2006; Raff, Cook, & Kaestle, 2006).
- lesions on vertebral bodies: irregular pitting, hypervascularisation, resorptive lesions, minor cavitation (Zink et al., 2007; Nerlich & Lösch, 2009).
- other lesions linked with TB, but not TB specific: endocranial lesions – small granular impressions, abnormal blood vessel impressions (Hershkovitz et al., 2002) indicative of tuberculous meningitis, or other unspecific changes like osteomyelitis of different bones, and morphological alterations attributed to environmental and nutritional stress (due to malnutrition, bad hygiene, infectious disease) – cribrotic *cribra orbitalia* and anemic conditions.

The observed skeletal changes were compared with findings in literature (Aufderheide & Rodríguez-Martin, 1998; Nerlich & Lösch, 2009; Ortner 2003) and recent publications (Blondiaux, de Broucker, Colard, Haque, & Naji, 2015; Coqueugniot et al., 2015; Pálfi et al., 2015; Molnár et al., 2015). Samples were collected from the affected bones and will be tested molecularly for the presence of the tuberculosis pathogen (*Mycobacterium tuberculosis*) to confirm and attest the results of the morphological examination. This part of the research is still in progress.

## Results

Skeletal lesions attributable to early tuberculosis were present in 6 out of 129 examined adult individuals (4 females and 2 males), which means that 4.65% of adults were probably suffering from TB. All of the 6 cases occurred in one of the age categories classified as adults (2 females and 1 male aged 20 to

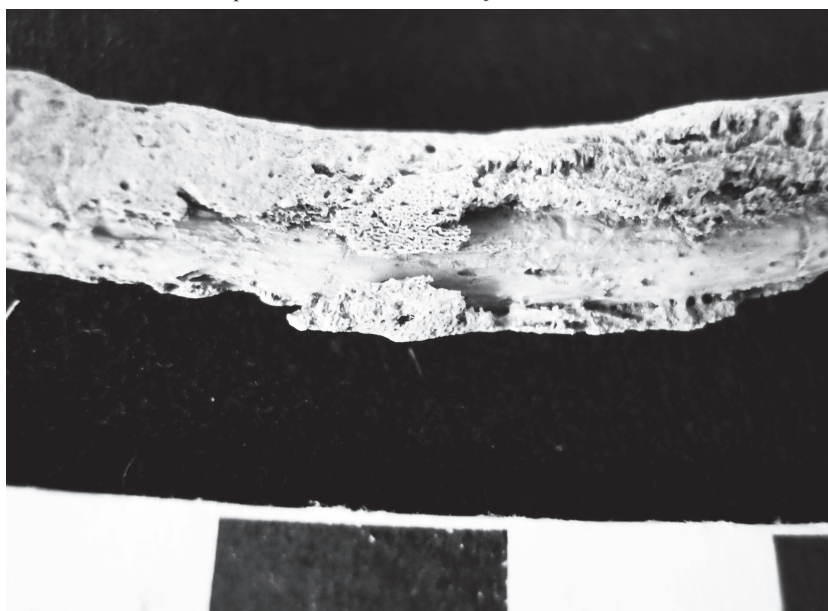
29 years, 1 female and 1 male aged 30 to 39 and one female classified as adult without precise determination) (Table 1). The localization of lesions on the adult skeletons was as following – hypervascularization of vertebral bodies was present in 2 of the affected individuals (1 female and 1 male), 2 individuals had periosteal depositions on the ventral surface of ribs (1 female and 1 male) and 2 female skeletons had a different localization of the lesions (periostitis of the left femur and periostitis of the left scapula) (Table 3).

The occurrence of minor osseous lesions attributable to tuberculosis was unexpectedly high in subadult individuals. As many as 23 (28.40%) out of 81 analyzed individuals younger than 18 years were suffering from skeletal changes indicative of TB. One half of the affected individuals were juveniles (14–18 years at death), surprisingly more than 60% of the whole group of juvenile individuals of this population had lesions attributable to this disease. Tuberculosis affected also children under 14 years, 6 were from the age category of younger infants (6 months – 6.9 years at death), 4 were aged between 7 and 13.9 years, and 2 were of undetermined subadult age. Based on an anthropological analysis only, no lesions indicative of tuberculosis were found in the 11 inspected circumnates from this population (Table 2). In the group of subadults the macroscopic diagnosis revealed a high frequency of TB affected vertebrae and ribs (Table 4): 14 cases of hypervascularisation of vertebral bodies (60.9% of all cases; Picture 2), 5 cases of affected vertebral bodies and periostitis of ribs (21.7% of all cases; Picture 1), 2 cases of affected ribs and periostitis of other bone than vertebrae (8.7%), 1 case of periostitis of ribs (4.3%) and 1 case of affected vertebrae, ribs and some other bone (4.3%).

Out of the 29 TB cases, in as many as 22 there was an involvement of the vertebral column (which is characteristic of osseous tuberculosis (Cotran, Kumar, & Robbins, 1994; Ortner & Putschar, 1985)). All of the 22 individuals without exception, had lesions affecting thoracic vertebrae, two had also lesions on cervical vertebrae and two on lumbar vertebrae as well. The most frequently affected thoracic vertebrae were these: Th<sub>7</sub> (in 13 out of 22 cases of spine involvement), Th<sub>5</sub> and Th<sub>8</sub> (in 11 out of 22 cases).

To minimize the mistake rate when evaluating subadult vertebral bodies that normally occur open/displaying the inner spongiosa and not confuse this condition with pathological hy-

Picture 1. Periosteal deposition on ventral rib surface



Picture 2. Abnormal vascularisation and pitting of the vertebral body of a subadult individual



pervascularisation, additional TB indicating lesions were observed as well. These TB unspecific but probably related changes were observed in 5 out of the 14 subadults who had only vascularized vertebrae as only TB specific lesion. The majority of these changes were potentially related to physical and nutritional stress, most often it was a cribrotic *cribra orbitalia*, *cribra cranii*, or hyperostosis of *lamina interna* of the skull, which may also be associated with tuberculosis as these are generally attributed to iron-deficiency anemia developing from the interaction of factors such as diet, hygiene, parasites and infectious disease. Other observed osseous changes in subadult individuals with affected vertebrae and ribs were osteomyelitis of different bones and minor periosteal depositions on different bones of the skeleton. All together there were 8 out of the 23 TB affected subadult skeletons which had lesions that could be indirectly correlated with an infectious disease as a respond to weakened immunity.

Discussion

Regarding the results of this macroscopic investigation aimed on paleopathological lesions attributable to skeletal tuberculosis, we can state that in the skeletal collection from Devín-Castle only alterations indicative of early skeletal tuberculosis were present. Atypical changes and early stage TB changes (reported in literature under the term “MOLAT”; Maczel 2003), which are considered to be closely linked with pulmonary TB (Masson et al., 2015; Haas et al., 2000; Baker, 1999; Maczel, 2003; Pálfi, Bereczki, Ortner, & Dutour, 2012) like periostitis of the ventral rib surface, or hypervascularisation and resorptive lesions on vertebral bodies, were present.

Table 1. Adult individuals with tuberculous (TB) lesions

| Sex                                                | Age                        |                             |                                 | Total |
|----------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------|
|                                                    | Adultus I<br>(20–29 years) | Adultus II<br>(30–39 years) | Adultus<br>(age not determined) |       |
| Females with TB                                    | 2                          | 1                           | 1                               | 4     |
| Analyzed females in the categories of adults       | 40                         | 8                           | 4                               | 52    |
| TB (%)                                             | 5                          | 12.50                       | 25                              | 7.69  |
| Total of analyzed females                          |                            |                             |                                 | 62    |
| TB (%)                                             |                            |                             |                                 | 6.45  |
| Males with TB                                      | 1                          | 1                           | –                               | 2     |
| Analyzed males in the categories of adults         | 28                         | 13                          | 3                               | 44    |
| TB (%)                                             | 3.57                       | 7.69                        | –                               | 4.55  |
| Total of analyzed males                            |                            |                             |                                 | 54    |
| TB (%)                                             |                            |                             |                                 | 3.70  |
| Females + males with TB                            | 3                          | 2                           | 1                               | 6     |
| Analyzed individuals in the categories of adults   | 73                         | 23                          | 9                               | 105   |
| TB (%)                                             | 4.11                       | 8.70                        | 11.11                           | 5.71  |
| Total of analyzed individuals other than subadults |                            |                             |                                 | 129   |
| TB (%)                                             |                            |                             |                                 | 4.65  |

The number of ribs affected by periostitis or periosteal deposits was unexpectedly high (in 11 out of 29 affected individuals), which might reflect the fact, that the pulmonary form of TB was quite common in this population. We suppose that there was a primary infection of the lungs with a locus either at the ventral or dorsal surface of the lung lobes and the pathogen might have proceeded onto the rib surface. Even today, the respiratory tract is the most common organ affected by a TB infection, from this initial site of infection, the pathogen is spread into the circulatory system (by hematogenous route) and can potentially affect any organ (Ortner & Putschar, 1985).

A typical pattern of spine involvement was present in 22 out of 29 tuberculosis cases. These lesions had the form of hyper-

vascularised skeletal tissue, with or without minor resorptive lesions and without collapsed vertebral bodies, so they can be considered an early stage of tuberculosis of the vertebral column. The most frequently affected vertebrae were vertebrae of the thoracic spine (Th<sub>7</sub>, Th<sub>5</sub>, Th<sub>8</sub>), which is according to literature (Aufderheide & Rodríguez-Martin, 1998; Nerlich & Lösch, 2009; Ortner, 2003) besides the lumbar spine, the most common place of infection.

Despite the presence of a tuberculosis infection in the medieval population of Devín-Castle, there were no cases with typical late skeletal TB changes significant for a developed infection, that is usually described in literature as Pott’s disease (tuberculosis of the spine, with collapsed vertebral bodies and

**Table 2.** Subadults with tuberculous (TB) lesions

| Sex                                                      | Age                                                         |                                    |                                     |                                  |                               | Total |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------|
|                                                          | circumnatale<br>(5month inreuterine<br>– 6 month postnatal) | Infans I<br>(6 months – 6,9 years) | Infans II<br>(7 years – 13,9 years) | Juvenis<br>(14 years – 18 years) | Subadultus<br>(not specified) |       |
| Subadult females with TB                                 | –                                                           | –                                  | –                                   | 3                                | –                             | 3     |
| Analyzed subadult females                                | –                                                           | –                                  | –                                   | 4                                | –                             | 4     |
| (%)                                                      | –                                                           | –                                  | –                                   | 75                               | –                             | 75    |
| Total of subadult individuals with TB                    | –                                                           | 6                                  | 4                                   | 11                               | 2                             | 23    |
| (%)                                                      | –                                                           | 0                                  | 0                                   | 27.27                            | 0                             | 13.04 |
| Subadult males with TB                                   | –                                                           | –                                  | –                                   | 5                                | –                             | 5     |
| Analyzed subadult males                                  | –                                                           | –                                  | –                                   | 6                                | –                             | 6     |
| (%)                                                      | –                                                           | –                                  | –                                   | 83.33                            | –                             | 83.33 |
| Total of subadult individuals with TB                    | –                                                           | 6                                  | 4                                   | 11                               | 2                             | 23    |
| (%)                                                      | –                                                           | 0                                  | 0                                   | 45.45                            | 0                             | 21.74 |
| Subadult individuals with TB<br>(sex not determined)     | –                                                           | 6                                  | 4                                   | 3                                | 2                             | 15    |
| Analyzed subadult individuals<br>with not determined sex | 11                                                          | 36                                 | 12                                  | 8                                | 4                             | 71    |
| (%)                                                      | 0                                                           | 16.67                              | 33.33                               | 37.50                            | 50                            | 21.13 |
| Total of subadult individuals with TB                    | –                                                           | 6                                  | 4                                   | 11                               | 2                             | 23    |
| (%)                                                      | –                                                           | 100                                | 100                                 | 27.27                            | 100                           | 65.22 |
| Total of subadult individuals with TB                    | –                                                           | 6                                  | 4                                   | 11                               | 2                             | 23    |
| Total of analysed subadult individuals                   | 11                                                          | 36                                 | 12                                  | 18                               | 4                             | 81    |
| (%)                                                      | 0                                                           | 16.67                              | 33.33                               | 61.11                            | 50                            | 28.40 |

**Table 3.** Localization of tuberculous (TB) lesions on the skeleton of adult individuals

| Sex             | Bone      |                    |      |       |
|-----------------|-----------|--------------------|------|-------|
|                 | vertebrae | vertebrae and ribs | ribs | other |
| Females with TB | 1         | –                  | 1    | 2     |
| Males with TB   | 1         | –                  | 1    | –     |
| Total           | 2         | –                  | 2    | 2     |

**Table 4.** Localization of tuberculous (TB) lesions on the skeleton of subadult individuals

| Age group                        | Bone      |      |                  |                          |              |
|----------------------------------|-----------|------|------------------|--------------------------|--------------|
|                                  | vertebrae | ribs | vertebrae + ribs | vertebrae + ribs + other | ribs + other |
| Infans I (6 months – 6,9 years)  | 3         | 1    | 1                | 1                        | –            |
| Infans II (7 years – 13,9 years) | 3         | –    | 1                | –                        | –            |
| Juvenis (14 years – 18 years)    | 7         | –    | 2                | –                        | 2            |
| Subadultus (age not determined)  | 1         | –    | 1                | –                        | –            |
| Total                            | 14        | 1    | 5                | 1                        | 2            |

a serious malformation of the spine), nor tuberculosis of the hip joint or other severe skeletal changes (Ortner & Putschar, 1985). This might be due to the fact that individuals affected by TB simply didn't survive long enough to reach a developed stage of skeletal tuberculosis – a study by Blondiaux, de Broucker, colard, Haque and Naji (2015) assumes that individuals who may have died from TB are also part of the sample of individuals who were in their study free of paleopathological tuberculosis and didn't develop skeletal lesions. Paleopathological skeletal series typically exhibit frequencies of tuberculosis carriers between 1% and 5% (Roberts & Buikstra 2003). In case of a primary infection during childhood or adolescence where the disease maintained in the latent phase (dormant tuberculosis), some of these individuals may have died from active tuberculosis in a later stage of their life, without leaving traces of the disease (Blondiaux et al., 2015).

Regarding the most frequently affected age groups, it was obvious that the skeletal changes wouldn't appear in newborns or very old (senile) individuals after 60 years, which was confirmed by this analysis. Tuberculosis is a chronic condition

with onset usually occurring in childhood, therefore individuals dying by young adulthood or who experienced a later onset may not have survived long enough and the infection might not have reached its skeletal form. Referring to this - in the skeletal collection from Devín-Castle (11<sup>th</sup>–12<sup>th</sup> century AD), the most frequently affected individuals were in their teens and early adulthood. In general, younger individuals are more susceptible also because of the greater degree of vascularity in juvenile bone, which has a large amount of hematopoietic marrow and associated vascularity. According to Ortner and Putschar (1985) ribs and vertebrae are especially susceptible at all ages.

During the last years several studies aimed on analyzing TBC in affected skeletal samples were published. Some of these studies were also dealing with nontypical osseous changes, like periostitis and hypervascularisation on thoracic and lumbar vertebrae or osteolytic changes of ribs – found in individuals from 17<sup>th</sup> century Hungary (Haas et al., 2000). Another study confirmed TBC in a 7<sup>th</sup>–8<sup>th</sup> century Avar individual from Hungary with macroscopically affected vertebrae and abnormal blood vessel impressions on the endocranium (Pálfi et al.,

2015). Rib changes, abnormal blood vessel impressions and hypervascularization of vertebrae were further reported to be found in a Late Neolithic population from Hungary (Masson et al., 2015). In most of the above described cases with early TB skeletal changes a molecular analysis confirmed the diagnosis of tuberculosis.

Although there is a lot of literature (Kelley & Micozzi, 1984; Matos & Santos, 2006; Molnár et al., 2005; Pálfi & Molnár, 2009; Roberts, Lucy, & Manchester, 1994; Santos & Roberts, 2006) reporting the connection of the above described skeletal lesions and a tuberculosis infection, it is important to note that these alterations are not always TB specific, therefore in all of the cases (especially in the group of subadult individuals) the diagnosis of tuberculosis is only presumed and has to be confirmed by a biomolecular analysis. The presence of mycobacterial DNA can be proved only by amplification and sequencing. For this purpose samples have been taken from all of the affected bones and are currently being sequenced, only then we can collect and establish exact paleoepidemiological data from this medieval population and compare them with other medieval populations.

## Conclusion

A macroscopic analysis of the skeletal collection from the medieval site Devín-Castle revealed the presence of skeletal alterations highly suggestive of tuberculosis:

1. In this skeletal collection only lesions attributable to an early stage of skeletal tuberculosis were present, such as hypervascularization and circumferential pitting of vertebral bodies, periosteal depositions on the ventral rib surface and unspecific lesions likely to be linked with TB, such as periostitis of different bones.
2. The most frequently affected adults belonged to the age category Adultus I (3 individuals) and Adultus II (2 individuals). Regarding subadult individuals – there was a very high prevalence of TB affected juveniles (11 individuals) and children up to 7 years (6 cases). The high rate of infected children and juveniles in this population might be explained by the fact that young individuals are more susceptible to infection because of a greater degree of vascularity and more haematopoietic marrow in bone.
3. The most frequently affected bones were the vertebral column (in 2 out of 6 adults) and in 20 out of 23 affected subadults, with a typical location of the thoracic spine. There was also a high frequency of affected ribs – 2 out of 6 adults, 9 out of 23 affected subadults.

## Súhrn

Príspevok približuje výsledky makroskopickej analýzy raných štádií tuberkulózy kostí v stredovekej populácii z pohrebiska Devín-Hrad (11.–12. storočie n. l.). Tento súbor je prvým stredovekým súborom z územia Slovenska, ktorý bol cielene vyšetrený na prítomnosť paleopatologických lézií súvisiacich s tuberkulózou kostí, a tak poskytuje prvé dáta o výskyte tohto ochorenia na území Slovenska. Celkovo bolo zhodnotených 210 jedincov (129 dospelých a 81 nedospelých), u ktorých bola sledovaná prítomnosť lézií spôsobených tuberkulózou. Primárne bol sledovaný výskyt lézií typických pre skeletálnu tuberkulózu a ich lokalizáciu v miestach ktoré bývajú najčastejšie postihnuté (prítomnosť tuberkulov, ankylóza chrbtice, postihnutie bedrových kĺbov výrazným zápalovým procesom). Po tom, čo boli tieto typické prejavy vylúčené, bola pozornosť upriamená na počiatočné štádiá a s nimi spojené nešpecifické prejavy (často označované aj ako „MOLAT“). Paleopatologické lézie pravdepodobne súvisiace s tuberkulózou boli zistené u šiestich dospelých jedincov (štyroch žien a dvoch mužov) a u 23 nedospelých jedincov (28,40 %), čiže

u jedincov do 18 rokov. Spomedzi lézií súvisiacich s TBC, boli najčastejšie zastúpené – hypervaskularizácia tiel stavcov (s alebo bez známok kostnej resorpcie) a periostitída ventrálneho povrchu tiel rebier, buď osamotené drobné periosteálne ložiská alebo rozsiahla periostitída obaľujúca celý povrch tela rebra. Prítomnosť týchto lézií sa dáva do súvislosti s pretrvávajúcou tuberkulóznou infekciou, ale nemožno ich považovať za TBC špecifické. Prítomnosť patogénu spôsobujúceho toto infekčné ochorenie (*Mycobacterium tuberculosis*) možno dokázať iba molekulárnou analýzou zo vzoriek postihnutého tkaniva jedincov. Preto budú tu prezentované výsledky makroskopickej analýzy verifikované a doplnené prostredníctvom sekvenácie v druhej fáze tohto výskumu.

**Kľúčové slová:** infekčné ochorenia, periostitída, MOLAT, telá stavcov

## References

- Acsádi, G., & Nemeskéri, J. (1970). *History of Human Life Span and Mortality*. Budapest: Akadémia Kiadó.
- Aufderheide, A. C., & Rodríguez-Martin, C. (1998). *The Cambridge Encyclopedia of Human Paleopathology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Baker, B. J. (1999). Early manifestation of tuberculosis in the skeleton. In Pálfi, G., Dutour, O., Deák, J., Hutás, I. (Eds.). *Tuberculosis* (pp. 301–307). Szeged and Budapest: TB Foundation and Golden Book Publisher.
- Beňuš, R., & Masnicová, S. (2012). Antropologická, paleodemografická a paleopatologická analýza historickej populácie z Hradu Devín. *Slovenská archeológia*, 60, 1–38.
- Blondiaux, J., de Broucker, A., Colard, T., Haque, A., & Naji, S. (2015). Tuberculosis and survival in past populations: A paleoepidemiological appraisal. *Tuberculosis*, 95, 93–100.
- Cotran, R. S., Kumar, V., & Robbins, S. L. (1994). *Pathologic Basis of Disease*. Philadelphia. W. B. Saunders.
- Coqueugniot, H., Dutailly, B., Desbarats, P., Boulestin, B., Pap, I., Szikossy, ... Dutour, O. (2015). Three-dimensional imaging of past skeletal TB: From lesion to process. *Tuberculosis*, 95, 73–79.
- Černý, M., & Komenda, S. (1980). Sexual Diagnosis by the Measurement of Humerus and Femur. Sbor. Prací Ped. Fak. Univ. Olomouc. *Biol.* 2, 147–167.
- Ferembach, D., Schwidetzky, I., & Stloukal, M. (1979). Empfehlungen für die Alters- und Geschlechtsdiagnose am Skelett. *Homo*, 30, 1–32.
- Haas, Ch., Zink, A., Molnár, E., Szeimies, U., Reischl, U., & Marcsik, A., ... Nerlich, A. G. (2000). Molecular Evidence for Different Stages of Tuberculosis in Ancient Bone Samples from Hungary. *American Journal of Physical Anthropology*, 113, 293–304.
- Hanihara, K., & Suzuki, T. (1978). Estimation of Age from the Pubic Symphysis by Means of Multiple Regression Analysis. *American Journal of Physical Anthropology*, 48, 233–240.
- Hershkovitz, I., Greenwald, C. M., Latimer, B., Jellema, L. M., Wish-Baratz, S., & Eshed, V., ... Rothschild, B. M. (2002). *Serpens Endocrania Symmetrica* (SES): A new term and a possible clue for identifying intrathoracic disease in skeletal populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 118, 201–216.
- Iscan, M. Y., & Derrick, K. (1984). Determination of Sex from the Sacroiliac. A Visual Assessment Technique. *Florida Scien*, 47, 94–98.
- Kelley, M. A., & Micozzi, M. S. (1984). Rib lesions in chronic pulmonary tuberculosis. *American Journal of Physical Anthropology*, 56, 381–386.



- Loth, S. R., & Hennenberg, M. (1996). Mandibular Ramus Flexure. A New Morphologic Indicator of Sexual Dimorphism in the Human Skeleton. *American Journal of Physical Anthropology*, 99, 473–485.
- Lovejoy, C. O. (1985). Dental Wear in the Libben Population. Its Pattern and Role in the Determination of Adult Skeletal Age at Death. *American Journal of Physical Anthropology*, 68, 47–56.
- Lovejoy, C. O., Meindl, R. S., & Przybeck, T. R. (1985). Chronological Metamorphosis of the Auricular Surface of Ilium. A New Method for the Determination of Adult Skeletal Age at Death. *American Journal of Physical Anthropology*, 68, 15–28.
- Maczel, M. (2003). On the Traces of Tuberculosis. *Diagnostic criteria of tuberculosis affection of the human skeleton and their application in Hungarian and French anthropological series*. PhD Thesis. University of Szeged – University of La Méditerranée.
- Masson, M., Bereczki, Z., Molnár, E., Donoghue, H., Minnikin, D. E., & Lee, O., ... Pálfi, G. (2015). 7000 year-old tuberculosis cases from Hungary – Osteological and biomolecular evidence. *Tuberculosis*, 95, 13–17.
- Matos, V. & Santos, A. L. (2006). On the trail of pulmonary tuberculosis based on rib lesions: results from the Human Identified Skeletal Collection from the Museum Bocage (Lisbon, Portugal). *American Journal of Physical Anthropology*, 130, 190–200.
- Meindl, R. S., & Lovejoy, C. O. (1985). Ectocranial Suture Closure: A Revised Method for the Determination of Skeletal Age at Death and Blind Tests of its Accuracy. *American Journal of Physical Anthropology*, 58, 57–66.
- Nerlich, A. G., & Lösch, S. (2009). Paleopathology of Human Tuberculosis and the Potential Role of Climate. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases 2009*, Article ID 437187, 9 pages, 2009. doi: 10.1155/2009/437187.
- Molnár, E., Donoghue, H. D., Lee, O., Wu, H., Besra, G., & Minnikin, D., ... Pálfi, G. (2015). Morphological and biomolecular evidence for tuberculosis in 8th century AD skeletons from Bélmegyer-Csömöki domb, Hungary. *Tuberculosis*, 95, 35–41.
- Ortner, D. J. (2003). *Identification of pathological conditions in human skeletal remains*. Academic Press, San Diego.
- Ortner, D. J., & Putschar, W. G. J. (1985). *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Washington and London: Smithsonian Institution Press.
- Pálfi, G., Bereczki, Z., Ortner, D. J. & Dutour, O. (2012). Juvenile cases of skeletal tuberculosis from the Terry anatomical collection (Smithsonian Institution. Washington DC, USA). *Acta Biol Szeged*, 56, 1–12.
- Pálfi, G., Maixner, F., Maczel, M., Molnár, E., Pósa, A., Kristóf, L. A., ... Zink, A. (2015). Unusual spinal tuberculosis in an Avar Age skeleton (Csóngrád-Felgyő, Ürmöstanya, Hungary): A morphological and biomolecular study. *Tuberculosis*, 95, 29–34.
- Pálfi, G. & Molnár, E. (2009). The paleopathology of specific infectious diseases from Southeast Hungary: a brief overview. *Acta Biologica Szegediensis*, 53, 111–116.
- Phenice, T. W. (1969). A Newly Developed Visual of Sexing the Os Pubis. *American Journal of Physical Anthropology*, 30, 297–301.
- Plachá, V., & Hlavicová, J. (1987). *Nálezová správa za roky 1980–1987. Sektor 15 (Mestské múzeum v Bratislave)*. Bratislava 1987. Unpublished.
- Raff, J., Cook, D. C., & Kaestle, F. (2006). Tuberculosis in the New World: a study of ribs from the Schild Mississippian population, West-Central Illinois. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 101, 25–27.
- Roberts, Ch., Lucy, D. & Manchester, K. (1994). Inflammatory lesions of ribs: an analysis of the Terry Collection. *American Journal of Physical Anthropology*, 95, 169–182.
- Roberts, C. A. & Buikstra, J. E. (2003). *The bioarchaeology of tuberculosis. A global view on a reemerging disease*. Florida: University Press of Florida.
- Santos, A. L., & Roberts, Ch. (2006). Anatomy of a serial killer: differential diagnosis of tuberculosis based on rib lesions of adult individuals from the Coimbra Identified Skeletal Collection, Portugal. *American Journal of Physical Anthropology*, 130, 38–49.
- Ubelaker, D. H. (1978). *Human skeletal remains. Excavation, analysis, interpretation*. Washington.
- Zink, A. R., Molnár, E., Motamedi, N., Pálfi, G., Marcsik, A., & Nerlich, A. G. (2007). Molecular history of tuberculosis from ancient mummies and skeletons. *International Journal of Osteoarchaeology*, 17, 380–391.
- Kyselicová, K., Šebest, L., Beňuš, R., Bognár, C. & Dörnhöferová, M. (2016). Anthropological evaluation of early skeletal tuberculosis in the medieval population of Devín-Castle (11<sup>th</sup>–12<sup>th</sup> century ad, Slovakia). *Česká antropologie*, 66(2), 20–25.

# IZOLÁCIA A ANALÝZA ARCHAICKEJ DNA Z ĽUDSKÝCH KOSTROVÝCH POZOSTATKOV

## Isolation and analysis of ancient DNA from human skeletal remains

Lukáš Šebest<sup>1</sup>, Klaudia Kyselíková<sup>1</sup>,  
Marian Baldovič<sup>1</sup>, Csaba Bognár<sup>1</sup>,  
Radoslav Beňuš<sup>2</sup>, Ľudovít Kádasi<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Katedra molekulárnej biológie, Prírodovedecká fakulta,  
Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

<sup>2</sup>Katedra antropológie, Prírodovedecká fakulta,  
Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

<sup>3</sup>Ústav klinického a translačného výskumu,  
Biomedicínske centrum, Slovenská akadémia vied,  
Bratislava, Slovenská republika

### Abstract

The aim of this study was to isolate and analyse ancient DNA from the historical human skeletal remains of two populations who lived in 8<sup>th</sup>–9<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup>–12<sup>th</sup> century for the purpose of sex determination and the determination of mitochondrial haplogroups for detecting the possible kinship and origin. Determination of sex was performed by PCR amplification and subsequent analysis of a specific region of the amelogenin gene. The obtained molecular-genetic data were compared with the results of morphoscopic determination of sex. Determination of mitochondrial haplogroups was performed by amplification and sequencing of the hypervariable region I of mitochondrial DNA. Possible kinship of individuals was determined based on the correlation of polymorphisms in its HVR I sequences. Sex determination based on molecular-genetic data helped successfully determine the sex of individuals with an uncomplete skeleton or infants and also verified the morphoscopic data based sex determination of other individuals. Determination of mitochondrial haplogroups revealed the presence of several haplogroups with various haplotypes in this two researched historical populations. Possible kinship was detected between/among six individuals.

**Keyword:** ancient DNA, sex determination, mitochondrial haplogroups, HVR I, kinship

### Úvod

Pojem archaická DNA (aDNA) sa používa na pomenovanie všetkých typov DNA, ktoré je možné vyizolovať z biologických archeologických nálezov, múzejných preparátov či čiastočne fosilizovaných materiálov.

Vôbec prvá zmienka o aDNA pochádza z roku 1984, kedy sa ju podarilo izolovať a následne analyzovať zo 150 rokov starej vzorky svalového tkaniva vtedy už vyhynutej zebry Quagga (Higuchi, Bowman, Freiburger, Ryder, & Wilson, 1984). Výskum aDNA od tohto okamihu postupne napredoval a za 30 rokov svojej existencie zažil dva podstatné míľniky. Prvým bolo zavedenie metódy PCR do analýz aDNA, čo umožnilo získať milióny kópií aj z veľmi malého počtu molekúl DNA (Pääbo & Wilson, 1988). Druhým míľnikom bolo zavedenie techník „novej generácie sekvenovania“ (NGS)

do bežnej praxe (Poinar et al., 2006), ktoré sú v porovnaní s dovtedy používanou Sangerovou metódou sekvenovania niekoľko 100-násobne výkonnejšie a umožnili rekonštrukciu celých genómov dávno vyhynutých druhov (Miller et al., 2008).

Samotná izolácia a analýza aDNA je kvôli jej charakteristickým vlastnostiam veľmi náročný proces. Je to kvôli tomu, že molekuly aDNA sa v historickom materiáli nachádzajú vo veľmi nízkych koncentráciách a s vysokým obsahom sekvenčných lézií, čo je zapríčinené absenciou reparačných mechanizmov bunky po smrti organizmu a pôsobením rôznych environmentálnych faktorov. Okrem toho vo všetkých krokoch získavania či izolácie aDNA neustále hrozí riziko jej kontaminácie modernou DNA a preto je veľmi dôležité pri práci s ňou dodržiavať viaceré prísne pracovné a laboratórne opatrenia (Cooper & Poinar, 2000).

Informácie získané zo sekvencií aDNA si našli svoje uplatnenie v mnohých vedných odboroch a disciplínach. V súčasnosti je výskum aDNA zameraný prevažne na riešenie otázok súvisiacich s dávnou a aj pomerne recentnejšou históriou moderných ľudí. Predovšetkým v štúdiu vzťahu moderných ľudí voči ostatným hominidom (Sánchez-Quinto & Lalueza-Fox, 2015), paleopatológii (Anastasiou & Mitchell, 2013), geneológii (Keyser-Tracqui et al., 2003) či forenznom výskume obetí vojen a revolúcií (Coble et al., 2009).

### Cieľ

Cieľom tejto práce bolo izolovať a analyzovať aDNA z ľudských kostrových pozostatkov z dvoch historických populácií. Analýzy boli zamerané na molekulárno-genetické určenie pohlavia, určenie mitochondriálnych haplogrupín a na ich základe stanoviť pôvod a možné príbuzenské vzťahy skúmaných jedincov.

### Metodika

Analyzované kostrové pozostatky pochádzali z dvoch archeologických nálezísk na území Slovenska. Prvé sa nachádzajú v obci Cífer-Pác (okr. Trnava) a jedná sa o slovansko-avarské pohrebisko z 8.–9. storočia obsahujúce 119 kostrových pohrebov (Čilinská, 1975; Chropovský & Fusek, 1984). Druhé sa nachádzajú na hrade Devín (Bratislava) a jedná sa o ranostredoveký cintorín z 11.–12. storočia obsahujúce 216 kostrových pohrebov (Plachá & Hlavicová, 1987). Obe archeologické náleziská obsahovali dostatočné množstvo relatívne dobre zachovaných kostrových pozostatkov, vhodných na komplexnejšiu genetickú analýzu.

Izolácie aDNA boli vykonané z kostrových pozostatkov 112 jedincov, pričom väčšia časť jedincov (66) pochádzala z náleziska v obci Cífer-Pác.

Ako vzorky na izoláciu aDNA boli odobraté zuby (*d. canini*, *d. incisivi*) a dlhé kosti (*tibia*, *ulna*, *radius*), ktoré boli pred samotnou izoláciou zbavené povrchových nečistôt a mechanicky spracované. V prípade zubov, boli odobraté vzorky na niekoľko sekúnd ponorené do roztoku chlórnanu sodného (NaClO), následne opláchnuté ultračistou vodou (upH<sub>2</sub>O) a vysušené. Zo suchých vzoriek boli rezacím kotúčom (Dremel) odstránené korunky a korene boli vysvietené pod UV svetlom (260 nm) po dobu 5 minút. V prípade dlhých kostí, bola v miestach s ich najmenším priemerom odstránená 1mm povrchová vrstva (Dremel) a následne tu boli kosti narezané na 0,5 cm široké „kotúčky“ (Dremel). Kostné „kotúčky“ boli ešte vysvietené pod UV svetlom (260 nm) po dobu 5 minút. Vzorky zubov a kostí zbavené nečistôt boli mechanicky rozdrvené na jemný prach.

Izolačná metóda použitá v tejto práci bola kombináciou izolačných krokov použitých v dvoch rôznych štúdiách zameraných na izoláciu aDNA, pričom hlavným kritériom pre ich

výber bola finančná a časová nenáročnosť. Kroky dekalifikácie a štiepenia proteínov boli podľa Deguilloux et al. (2010) a kroky fenolovej extrakcie a následnej precipitácie boli podľa Kemp et al. (2007). Objemy jednotlivých chemických látok a zloženie roztokov použitých v tejto kombinovanej izolačnej metóde boli optimalizované aby vyhovovali potrebám autorov.

Pri určovaní pohlavia bola využitá PCR amplifikácia a nasledovná fragmentová analýza špecifickej oblasti génu pre amelogenín, ktorej predchádzal návrh vlastných fluorescenčne značených primerov (amelX – 80 bp, amelY – 83 bp). Do celkového objemu PCR reakčnej zmesi 30 µl bolo pridaných 1 µl izolovanej aDNA; 3 µl 10x reakčného pufru  $S_{1.5}$  (0,1 M Tris-HCl /pH 8,8; 15 mM  $MgCl_2$ ; 500 mM KCl;  $1,7 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$  BSA; 1% Triton X-100); 0,3 µl 2 pmol/l primerov; 0,19 µl 10 mM dNTP; 6 µl 25 mM  $MgCl_2$ ; 0,9 µl 10 mg/ml BSA; 1 µl 5 U Taq DNA polymerázy a doplnených  $upH_2O$ . Samotná PCR amplifikácia bola vykonaná v termocykleri Labcycler (SensoQuest GmbH) s klasickým teplotným programom s predošle optimalizovanými anelačnými teplotami primerov.

Z PCR produktu amplifikácie špecifickej oblasti amelogenínového génu bol pridaný 1 µl k 9 µl HiDi formamidu s molekulovým štandardom GS LIZ 500 a celá zmes bola následne denaturovaná na 95 °C po dobu 5 minút. Denaturované produkty boli analyzované v 4-kapilárovom genetickom analyzátoe ABI PRISM *Avant* (AppliedBiosystems). Pri vyhodnocovaní fragmentovej analýzy bol použitý softvér GeneMapper® ID 4.1 (AppliedBiosystems), pričom pohlavie bolo určované na základe prítomnosti signálu pre X chromozóm (žena) alebo signálov pre X a Y chromozóm (muž). Výsledky genetického určenia pohlavia boli porovnávané s výsledkami morfoskopického určenia pohlavia, ktoré bolo stanovené na základe hodnot DS indexu (degree of sexualisation) vypočítaného podľa metódy Acsádiho a Nemeskériho (1970). Pričom bolo hodnotených 55 znakov determinujúcich pohlavie (16 na lebke, 7 na sánke, 2 na krížovej kosti, 2 na ramennej kosti, 1 na laktovej kosti, 25 na panve a 3 na stehrovej kosti).

Pri určovaní mitochondriálnych haploskupín bola využitá amplifikácia a sekvenovanie HVR I mtDNA, ktorej predchádzal návrh 5 párov vzájomne sa prekrývajúcich primerov a súčasne pokrývajúcich celú HVR I. Do celkového objemu PCR reakčnej zmesi 40 µl bolo pridaných 1 µl izolovanej aDNA; 4 µl 10x reakčného pufru  $S_{1.5}$  (0,1 M Tris-HCl /pH 8,8; 15 mM  $MgCl_2$ ; 500 mM KCl;  $1,7 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$  BSA; 1% Triton X-100); 1 µl 2 pmol/l primerov; 0,25 µl 10 mM dNTP; 8 µl 25 mM  $MgCl_2$ ; 0,9 µl 5 U Taq DNA polymerázy a doplnených  $upH_2O$ . Samotná PCR amplifikácia bola vykonaná v termocykleri Labcycler (SensoQuest GmbH) s klasickým teplotným programom s predošle optimalizovanými anelačnými teplotami všetkých 5 párov primerov.

Z PCR produktov amplifikácie HVR I mtDNA bolo nanášaných 9 µl na 2% agarózový gél a po následnej elektroforéze boli ďalšej analýze podrobené len vzorky, u ktorých sa podarilo amplifikovať všetkých 5 amplicónov HVR I.

Pred sekvenovaním boli PCR produkty amplifikácie HVR I urifikované podľa doporučeného protokolu purifikačného kitu ExoSAP-IT® For PCR Product Clean-Up (Affymetix). Samotný proces sekvenovania bol vykonaný podľa doporučeného protokolu sekvenáčného kitu BigDye® Terminator v1.1 Cycle Sequence Kit (Invitrogen), pričom pre lepšie pokrytie HVR I boli jednotlivé amplicóny sekvenované „forward“ aj „reverse“ primerom. K 5 µl sekvenáčného produktu bolo pridaných 20 µl precipitačného roztoku (3 M NaOAc /pH 4,6; 95% etanol;  $upH_2O$ ). Celá zmes bola vortexovaná, inkubovaná pri –4 °C po dobu 10 minút a centrifugovaná pri 3700 rpm (Eppendorf 5804R) pri 4 °C po dobu 35 minút. Supernatant bol odstránený a k peletu bolo pridaných 100 µl 70% etanolu. Celá zmes bola opäť centrifugovaná pri 3700 rpm (Eppendorf

5804R) pri 4 °C po dobu 10 minút. Supernatant bol odstránený a pelet bol dôkladne vysušený pri 37 °C. K vysušenému peletu bolo pridaných 10 µl HiDi formamidu a celá zmes bola denaturovaná pri 95 °C po dobu 5 minút. Denaturované sekvenačné produkty boli analyzované v 16-kapilárovom genetickom analyzátoe ABI PRISM 3130 XL Genetic Analyzer (AppliedBiosystems). Sekvenačné dáta boli analyzované za pomoci softvéru ChromasPro 1.5 (Technelysium), pričom mitochondriálne haploskupiny boli určované na základe zloženia SNP polymorfizmov v HVR I mtDNA a možné príbuzenské vzťahy na základe zhody týchto polymorfizmov medzi skúmanými jednotlivcami.

Na elimináciu rizika kontaminácie modernou DNA boli dodržané stanovené podmienky pre prácu s aDNA (napr. oddelené pracovné priestory, sterilné pracovné nástroje a chemikálie, využívanie viacerých kontrol pri izolácii a amplifikácii, opakovaná izolácie či qPCR kontaminačné a inhibičné testy).

## Výsledky

Molekulárno-genetickým spôsobom bolo možné pohlavie určiť u 62 jedincov. Dosiahnuté výsledky boli následne porovnávané s dostupnými výsledkami morfoskopického určenia pohlavia (Baldovič, 2003; Beňuš & Masnicová, 2012). U 10 jedincov sa výsledky určenia pohlavia navzájom nezhodovali a u 3 jedincov bolo možné určiť pohlavie len molekulárno-genetickým spôsobom (Tabuľka 1).

Mitochondriálne haploskupiny boli určené u 52 jedincov. V súbore jedincov pochádzajúcich z náleziska Cífer-Pác boli zistené tieto haploskupiny: H, H1a, H5, H6a, HV, HV2, J, K, T2, U5, U8a a W6. V súbore jedincov pochádzajúcich z náleziska Devín boli zistené tieto haploskupiny: H, H1, H1a, J2b, K, T1a, U5a, V a W.

U troch dvojíc jedincov pochádzajúcich z náleziska Cífer-Pác bolo zistené totožné zloženie SNP polymorfizmov v HVR I mtDNA. Označenie jedincov, ich pohlavie a zistené polymorfizmy sú uvedené v tabuľke 2.

**Tabuľka 1.** Jedinci s odlišnými výsledkami morfoskopického a molekulárno-genetického určenia pohlavia

| Vzorka | Hrob    | Pohlavie |      | DS index        |
|--------|---------|----------|------|-----------------|
|        |         | MS       | MG   |                 |
| 1      | 8/75    | muž      | žena | 1,037           |
| 2      | 8/77    | žena     | muž  | –1,000          |
| 3      | 10/77   | muž      | žena | 0,638           |
| 4      | 28/75   | žena     | muž  | –0,161          |
| 5      | 53/79   | muž      | žena | 0,698           |
| 6      | 102/83  | žena     | muž  | –0,610          |
| 7      | 105/83  | žena     | muž  | –0,560          |
| 8      | 123/84  | muž      | žena | 0,500           |
| 9      | 145/85  | žena     | muž  | –0,220          |
| 10     | 57/83   | žena     | muž  | –0,500*         |
| 11     | 104/83a | –        | žena | <i>infans I</i> |
| 12     | 150/85  | –        | žena | <i>infans I</i> |
| 13     | 160/85  | –        | žena | <i>senilis</i>  |

Poznámka: MS – morfoskopicky stanovené, MG – molekulárno-geneticky stanovené, \* – na základe znakov lebky

**Tabuľka 2.** Jedinci s totožným zložením SNP polymorfizmov v HVR I mtDNA

| Hrob   | Pohlavie | Polymorfizmy           |
|--------|----------|------------------------|
| 7/75   | muž      | 16270C > T             |
| 117/83 | muž      | 16270C > T             |
| 40/79  | muž      | 16069C > T; 16126T > C |
| 51/79  | žena     | 16069C > T; 16126T > C |
| 57/79  | muž      | 16234C > T             |
| 58/79  | žena     | 16234C > T             |



## Diskusia

V prípade 49 jedincov došlo k zhode medzi výsledkami molekulárno-genetického a morfoskopického určenia pohlavia. Pri 10 jedincoch sa údaje molekulárno-genetického určenia pohlavia nezhodovali s morfoskopickými údajmi. U jedincov z hrobov 10/77; 28/75; 53/79; 102/83; 105/83; 123/84 a 145/85 sa hodnoty DS indexu pohybovali v rozmedzí –0,610 až 0,698. Ich odlišné molekulárno-genetické údaje by bolo možné vysvetliť absenciou dostatočného počtu sexuálne dimorfných znakov, ktorá mohla byť zapríčinená zníženou kvalitnou hodnoteného kostrového materiálu či tafonomickými procesmi, a preto sa na nich pôsobenie prírodných faktorov prejavilo v oveľa väčšej miere. U jedincov z hrobov 8/75 a 8/77 sa aj napriek vyšším hodnotám DS indexu (1,037 resp. –1,000), prikláňame k rovnakému zdôvodneniu ako u predošlých 7 jedincov. Morfoskopické pohlavie jedinca z hrobu 57/83 bolo určené len na základe znakov lebky (kostra končatín a trupu nebola k dispozícii) a preto mohlo byť stanovené nesprávne. U jedincov z hrobov 104/83a (*infans I*); 150/85 (*infans I*) a 160/85 (*senilis*) nebolo kvôli ich zachovalosti možné morfoskopicky určiť pohlavie, to bolo stanovené len na základe molekulárno-genetickej analýzy.

Mitochondriálne haploskupiny stanovené v populáciách žijúcich v 8.–9. storočí a 11.–12. storočí, zapadajú všetky do variability súčasných bežne rozšírených hlavných európskych mitochondriálnych haploskupín: H, J, K, N1, T, V, X, W, U4 a U5 (U) (Loogväli et al., 2012). Stanovené mitochondriálne haplotypy sa odlišovali medzi sebou (s výnimkou haplotypu CRS) a takisto aj od osôb zapojených do procesu izolácie a analýzy aDNA, čo je možné považovať za ďalší dôkaz o autenticite dosiahnutých výsledkov. Najviac sa vyskytovala haploskupina H a jej subhaploskupiny (celkom u 31 z 52 analyzovaných jedincov), čo koreluje s jej udávanou frekvenciou výskytu 40–60 % v Európe (Richards et al., 2000). Z najstaršej haploskupiny Európy U obsahujúcej sedem subhaploskupín U1–U6, U8 a K, boli určené haploskupiny U5 (3 jedinci), U5a (1 jedinec), U8a (1 jedinec) a haploskupina K (3 jedinci). Tieto výsledky je tiež možné porovnať s udávanou európskou frekvenciou výskytu haploskupiny U a jej podtried 7% (Finnilä, Hassinen, Alakokko, & Majamaa, 2000) a frekvenciou 6% haploskupiny K (Richards et al., 2000). Výskyt haploskupiny J (6 jedincov) a jej subhaploskupiny J2b (1 jedinec) je taktiež možno porovnať s európskou frekvenciou výskytu 10% (Dato et al., 2004). Zvyšné haploskupiny boli s výnimkou haploskupiny T2 (2 jedinci), zastúpené vždy len jedenkrát. Avšak pre detailnejšie porovnanie haploskupinového zloženia týchto dvoch historických populácií navzájom alebo so súčasnými populáciami, by bolo potrebné zanalyzovať omnoho väčší počet jedincov skúmanej skupiny. A okrem toho na to, aby sa v týchto dvoch populáciách vyskytovali úplne odlišné haploskupiny (v porovnaní s dnešnými) je 800 respektíve 1300 rokov príliš krátky časový úsek.

V súbore jedincov s určenými mitochondriálnymi skupinami sa vyskytli tri dvojice, u ktorých sa zhodovalo zloženie SNP polymorfizmov v HVR I mtDNA. Keďže sa mtDNA dedí matrilineárne (z matky na jej potomkov), nepodlieha pri tom rekombinácii (bez sekvenčných zmien) a dvojice pochádzali z archeologických náleziska Cífer-Pác (pohrebisko a nie cintorín), bolo u nich možné predpokladať určitý stupeň príbuznosti. Jedinci z hrobov 7/75 a 117/83 boli obaja mužského pohlavia s predpokladom, že sa pravdepodobne jednalo o dvoch bratov alebo bratrancov (pričom ich matky boli sestry). Jedincov z hrobov 40/79 a 51/79; 57/79 a 58/79 boli vždy muž a žena, a preto je možné predpokladať, že sa pravdepodobne môže jednať o príbuzenský vzťah: brat – sestra, matka – syn, alebo bratranec – sesternica (pričom ich matky boli sestry). Avšak úplné overenie alebo vyvrátenie týchto predpokladov, by do budúcnosti bola u spomínaných jedincov potrebná aj analýza

za polymorfizmov nachádzajúcich sa na Y chromozóme (dedený patrilineárne). A takisto by sa mohla využiť aj pri overovaní príbuznosti u jedincov s haplotypom CRS (spadajúcim pod haploskupinu H), ktorí majú identické sekvencie HVR I, ale tie neobsahujú polymorfizmy (v tejto štúdii neboli takýto jedinci bráni do úvahy).

Táto štúdia je vôbec prvou komplexnejšou prácou zameranou na analýzy aDNA zo Slovenska. Doposiaľ publikované práce využívali aDNA len na overenie pohlavia (Bauerová et al., 2005; Luptáková et al., 2005). Do budúcnosti autori plánujú zamerať sa na analýzu vybraných polymorfizmov v géne MCM6 zodpovedných za laktózovú intoleranciu/perzistenciu, zaviesť pri určovaní príbuznosti používanie STR polymorfizmov a takisto by boli radi, ak by sa analýza aDNA stala bežnou súčasťou každého archeologického výskumu na území Slovenska.

## Záver

Z ľudských kostrových pozostatkov pochádzajúcich z archeologického náleziska Cífer-Pác (8.–9. storočie) a Devín hrad (11.–12. storočie) sa podarilo izolovať aDNA a tú následne podrobiť viacerým analýzám. Molekulárno-genetickým spôsobom bolo možné úspešne stanoviť pohlavie z pozostatkov s nedostatočným počtom sexuálne dimorfných znakov potrebných na spoľahlivé určenie pohlavia (t.j. pozostatkov detí a starých ľudí, nekompletných či poškodených pozostatkov). Boli určené mitochondriálne haploskupiny u jedincov pochádzajúcich z dvoch odlišných historických populácií, pričom všetky spadali do variability súčasných bežne rozšírených európskych haploskupín. Na základe zhody polymorfného zloženia v HVR I mtDNA boli objavené tri dvojice, u ktorých je možné predpokladať istý stupeň príbuznosti, avšak na úplné overenie predpokladu bude nutné vykonať aj analýzu polymorfizmov Y chromozómu.

## Súhrn

Cieľom tejto štúdie bolo izolovať a analyzovať archaickú DNA (aDNA) z ľudských kostrových pozostatkov z dvoch historických populácií žijúcich v 8.–9. a 11.–12. storočí za účelom stanovenia pohlavia a určenia mitochondriálnych haploskupín s možnosťou detekcie možných príbuzenských vzťahov a pôvodu.

Pohlavie bolo stanovované amplifikáciou špecifického regiónu génu pre amelogenín a následnou fragmentovou analýzou PCR produktov. Získané molekulárno-genetické dáta boli porovnávané s morfoskopickými výsledkami stanovenia pohlavia. Mitochondriálne haploskupiny boli určované prostredníctvom PCR amplifikácie a sekvenovania HVR I mitochondriálnej DNA. Pričom možné príbuzenské vzťahy boli detegované na základe zhody polymorfizmov v tejto oblasti.

Úspešne sa podarilo stanoviť pohlavie u jedincov s poškodenými či nekompletnými pozostatkami či pozostatkami detí. Podarilo sa určiť viaceré mitochondriálne haploskupiny s rôznymi haplotypmi. U troch párov jedincov boli detegované možné príbuzenské vzťahy.

**KLúčové slová:** archaická DNA, stanovenie pohlavia, mitochondriálne haploskupiny, HVR I, príbuzenstvo

## Literatúra

- Anastasiou, E., & Mitchell, P. D. (2013). Palaeopathology and genes: investigating the genetics of infectious diseases in excavated human skeletal remains and mummies from past populations. *Gene*, 528(1), 33–40.
- Acsádi, G., & Nemeskéri, J. (1970). *History of human life span and mortality*. Budapest: Akadémiai Kiadó.



- Baldovič, M. (2003). Antropologický rozbor pohrebiska Cífer – Pác (okr. Trnava) z 8.–9. storočia n. l. Diplomová práca. Bratislava: Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského.
- Bauerová, M., Vondráková, M., Omelka, R., Bauer, M., Fabiš, M., & Martinakova, M. (2005). Use of a silica matrix DNA purification method in sex determination from archeological bone remains. In *American Journal of Physical Anthropology* (pp. 71–71). United States: John Wiley & Sons Wiley-Liss.
- Beňuš, R. & Masnicová, S. (2012). Antropologická, paleodemografická a paleopatologická analýza historickej populácie z hradu Devín. *Slovenská archeológia (Slovak Archaeology)*, 60(1), 119–155.
- Čilinská, Z. (1975). Pohrebisko z 8. storočia v Cíferi – Páci. *Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 1975*, 22–35.
- Coble, M. D., Loreille, O. M., Wadhams, M. J., Edson, S. M., Maynard, K., Meyer, C. E., ... Finelli, L. N. (2009). Mystery solved: the identification of the two missing Romanov children using DNA analysis. *PloS ONE*, 4, e4838.
- Cooper, A., & Poinar, H. N. (2000). Ancient DNA: do it right or not at all. *Science*, 289(5482), 1139–1139.
- Dato, S., Passarino, G., Rose, G., Altomare, K., Bellizzi, D., Mari, V., ... De Benedictis, G. (2004). Association of the mitochondrial DNA haplogroup J with longevity is population specific. *European journal of human genetics*, 12(12), 1080–1082.
- Deguilloux, M. F., Soler, L., Pemonge, M. H., Scarre, C., Joussaume, R., & Laporte, L. (2010). News from the west: ancient DNA from a French megalithic burial chamber. *American Journal of Physical Anthropology*, 144(1), 108–118.
- Finnilä, S., Hassinen, I. E., Ala-Kokko, L., & Majamaa, K. (2000). Phylogenetic network of the mtDNA haplogroup U in Northern Finland based on sequence analysis of the complete coding region by conformation-sensitive gel electrophoresis. *The American Journal of Human Genetics*, 66(3), 1017–1026.
- Higuchi, R., Bowman, B., Freiburger, M., Ryder, O. A., & Wilson, A. C. (1984). DNA sequences from the quagga, an extinct member of the horse family. *Nature*, 312, 282–284.
- ChromasPro 1.5 [Computer software]. (2015). Retrieved from <http://technelysium.com.au/>
- Chropovský, B. & Fusek, G. (1984). Výskum pohrebiska v Cíferi – Páci. *Archeologické výskumy a nálezy na Slovensku v roku 1983*, 89–90.
- Kemp, B. M., Malhi, R. S., McDonough, J., Bolnick, D. A., Eshleman, J. A., Rickards, O., ... Smith, D. G. (2007). Genetic analysis of early Holocene skeletal remains from Alaska and its implications for the settlement of the Americas. *American Journal of Physical Anthropology*, 132(4), 605–621.
- Keyser-Tracqui, C., Crubézy, E., Clisson, I., Gemmerich, I., Ludes, B., & Giscard, P. H. (2003). Megaplex analysis of a Mongolian population from the Egyin Gol site (300 BC–300 AD). In *International Congress Series* (Vol. 1239, pp. 581–584). Elsevier.
- Loogväli, E. L., Roostalu, U., Malyarchuk, B. A., Derenko, M. V., Kivisild, T., Metspalu, E., ... Pennarun, E. (2004). Disuniting uniformity: a pied cladistic canvas of mtDNA haplogroup H in Eurasia. *Molecular biology and evolution*, 21(11), 2012–2021.
- Luptáková, L., Babelová, A., Omelka, R., Kolena, B., Vondráková, M., & Bauerová, M. (2011). Sex determination of early medieval individuals through nested PCR using a new primer set in the SRY gene. *Forensic science international*, 207(1), 1–5.
- Miller, W., Drautz, D. I., Ratan, A., Pusey, B., Qi, J., Lesk, A. M., ... Schuster, S. C. (2008). Sequencing the nuclear genome of the extinct woolly mammoth. *Nature*, 456(7220), 387–390.
- Pääbo, S., & Wilson, A. C. (1988). Polymerase chain reaction reveals cloning artefacts. *Nature*, 334(6181), 387.
- Plachá, V., & Hlavicová, J. (1987). Nálezová správa za roky 1980–1987. Sektor 15 (Mestské múzeum v Bratislave). Nepublikované.
- Poinar, H. N., Schwarz, C., Qi, J., Shapiro, B., MacPhee, R. D., Buigues, B., ... & Schuster, S. C. (2006). Metagenomics to paleogenomics: large-scale sequencing of mammoth DNA. *Science*, 311(5759), 392–394.
- Richards, M., Macaulay, V., Hickey, E., Vega, E., Sykes, B., Guida, V., ... & Bandelt, H. J. (2000). Tracing European founder lineages in the Near Eastern mtDNA pool. *The American Journal of Human Genetics*, 67(5), 1251–1276.
- Sánchez-Quinto, F., & Lalueza-Fox, C. (2015). Almost 20 years of Neanderthal palaeogenetics: adaptation, admixture, diversity, demography and extinction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 370(1660), 20130374.
- Šebest, L., Kyseliová, K., Baldovič, M., Bognár, C., Beňuš, R., Kádasi, Ľ (2016). Izolácia a analýza archaickej dna z ľudských kostrových pozostatkov. *Česká antropologie*, 66(2), 26–29.

# POSOUZENÍ TĚLESNÉHO SLOŽENÍ V RÁMCI KATEGORIZACE BODY MASS INDEXU U ŽEN VE VĚKU 18–30 LET

## Assessment of body composition taking into account the Body Mass Index in 18 to 30 years old women

Tereza Sofková

Katedra antropologie a zdravotní pedagogiky, Pedagogická fakulta,  
Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika

### Abstract

Weight-height index, namely Body Mass Index (BMI,  $\text{kg/m}^2$ ) is used to assess the optimal body weight in relation to health risks. Nevertheless, it may lead to incorrect diagnosis in the sense of false obesity in individuals with highly developed muscle mass and vice versa to a false negative diagnosis of obesity in individuals with relatively high proportion of fat, so-called morbid obesity, or 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> category of obesity according to the BMI.

The aim of the study was to assess selected body composition parameters based on the BMI in 335 women aged 18 to 30 years. Researched group consisted of female students of pedagogic disciplines at the Palacký University Olomouc. The survey was conducted in October 2014 and 2015. Multi-frequency bioelectrical impedance analysis carried out by InBody 720 device was used to determine the body composition parameters.

Classification of the mass-height index shows that 75% (250 of 335) of the researched group females fall within the normal weight category (BMI<sub>1</sub>). Selected parameters (BFM: Body Fat Mass; VFA: Visceral Fat Area; FFM: Fat-Free Mass) within the BMI<sub>1</sub> category meet the general recommendations relating to the body composition. Average BFM values in the obese category ( $\geq 35\%$ ) fall within the overweight category BMI<sub>2</sub> (25.0 to 29.9  $\text{kg/m}^2$ ). Obesity category BMI<sub>3</sub> ( $\geq 30.0 \text{ kg/m}^2$ ) presents health risks in the selected body composition parameters.

From the presented results it is evident that according to the BFM, obesity may already be diagnosed in the given individual within the overweight category (BMI<sub>2</sub>). Consequently, it confirms the fact that specific body components are more suitable somatic condition indicators.

**Key words:** young adulthood, bioelectrical impedance, body fat mass, fat-free mass

### Úvod

Za adekvátní ukazatel funkčního stavu organismu a jeho zdravotnosti považujeme tělesné složení. Tělesné složení je ovlivněno geneticky, dále je formováno exogenními faktory, k nimž řadíme pohybovou aktivitu, výživové faktory a celkový zdravotní stav organismu. Vhodným ukazatelem somatického stavu jsou jednotlivé tělesné komponenty, především tělesný tuk, viscerální tuk a tukuprostá hmota (Hainer et al., 2011; Přidalová & Kopecký, 2013; Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006; Sofková & Přidalová, 2015).

Současná doba s sebou kromě nových vymožeností přináší vyšší nároky na jedince (vyšší pracovní vytížení, nedostatek volného času, úbytek klasické manuální práce, více dopravních prostředků a stále nové zábavní technologie do domácnosti). Proto je významná edukace v oblasti životního stylu již od dětství, zejména výchova k optimálním stravovacím návykům a pohybové aktivitě, což uvádí Hřivnová (2014). Průvodním jevem současného životního stylu je pohybová nedostatečnost a z ní vyplývající zdravotní komplikace. Nejčastějším důsledkem je vzestup nadváhy a obezity, která se projevuje v neadekvátním zastoupení jednotlivých tělesných komponent a neoptimálních ukazatelů zdravotního rizika tělesného složení (Brettschneider & Naul, 2007; Hornbuckle, Basset, & Thompson, 2005; Katzmarzyk et al., 2008; Thompson, Rakow, & Perdue, 2004).

Na základě hodnocení výsledků rozsáhlých populačních studií, prováděných v USA především agenturou NHANES II, bylo pro stanovení optimální tělesné hmotnosti v roce 1985 doporučeno užívání indexu tělesné hmotnosti Body Mass Indexu (BMI) (Block, Dresser, Hartman, & Carroll, 1985). Tento index se vypočítá, když hmotnost v kilogramech vydělíme druhou mocninou výšky v metrech (pro dospělou populaci platí kategorizace BMI – podváha:  $< 18,5 \text{ kg/m}^2$ ; normální hmotnost:  $18,5\text{--}24,9 \text{ kg/m}^2$ ; nadváha:  $25,0\text{--}29,9 \text{ kg/m}^2$ ; obezita I. stupně:  $30,0\text{--}34,9 \text{ kg/m}^2$ ; obezita II. stupně:  $35,0\text{--}39,9 \text{ kg/m}^2$ ; obezita III. stupně:  $\geq 40,0 \text{ kg/m}^2$ ). Pro zjednodušení nebere současná klasifikace v úvahu fyziologické pohlaví a věkové rozdíly. Stávající definice obezity je málo uspokojivá, hranice obezity je dána hodnotou BMI  $\geq 30,0 \text{ kg/m}^2$  (Hainer et al., 2011; Riegerová et al., 2006; World Health Organization, 2004).

Výhoda BMI spočívá v jeho jednoduchosti a jeho užítí v rozsáhlých epidemiologických výzkumech. Přesto řada autorů pokládá hodnocení kategorizace tělesné hmotnosti na základě BMI za nedostačující (Gába & Přidalová, 2015; Kyle, Morabia, Schutz, & Pichard, 2004; Romero-Corral et al., 2008). V některých věkových kategoriích je diagnostická průkaznost BMI velmi nízká. Jak uvádí Gába a Přidalová (2015) BMI má vysokou specifitu, ale nízkou citlivost pro detekci adipozity.

BMI neumožňuje postihnout zastoupení jednotlivých tělesných komponent, především zastoupení tělesného tuku, proto bylo primárním cílem výzkumné studie vyhodnotit jednotlivé tělesné komponenty v jednotlivých kategoriích BMI u žen ve věku 18–30 let.

### Cíl

Cílem výzkumné studie bylo vyhodnotit vztah mezi vybranými parametry tělesného složení a kategoriemi BMI u 335 studentek pedagogických oborů Pedagogické fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

### Metodika

#### Výzkumný soubor

Výzkumný soubor tvořilo 335 dospělých žen studujících pedagogické obory Pedagogické fakulty Univerzity Palackého v Olomouci ve věkovém rozmezí 18–30 let ( $22,3 \pm 2,5$  let). Ženy byly rozděleny do tří skupin na základě kategorizace hmotnostně výškového indexu (BMI<sub>1</sub> – normální hmotnost:  $18,5\text{--}24,9 \text{ kg/m}^2$ ,  $n = 250$ ; BMI<sub>2</sub> – nadváha:  $25,0\text{--}29,9 \text{ kg/m}^2$ ,  $n = 53$ ; BMI<sub>3</sub> – obezita:  $\geq 30,0 \text{ kg/m}^2$ ,  $n = 32$ ). Výzkumná část projektu byla uskutečněna v průběhu října roku 2014 a 2015. Každá žena podepsala písemný souhlas s měřením a byla obeznámena s organizačními náležitostmi výzkumu.

V rámci šetření byly použity standardizované antropometrické metody pro stanovení základních somatických parametrů a somatických indexů. K hodnocení kategorizace tělesné hmotnosti byl použit BMI (Riegerová et al., 2006). Tělesná

výška byla stanovena s přesností na 0,5 cm antropometrem P-226 (Trystom, Česká republika). Tělesná hmotnost byla zjišťována na přístroji InBody 720 (Biospace, Seoul, Jižní Korea).

#### Hodnocení tělesného složení

K diagnostice tělesného složení metodou přímo řízené vícefrekvenční bioelektrické impedance (BIA) (1–1000 kHz) byl využit přístroj InBody 720. Princip metody bioelektrické impedance spočívá v rozdílech šíření vysokofrekvenčního střídavého elektrického proudu různé intenzity v různých biologických strukturách. Jedná se o metodu neinvazivní a časově nenáročnou. Přístroj diferencuje tělesnou hmotnost na tři komponenty – celkovou tělesnou vodu (intracelulární a extracelulární voda), sušinu (proteiny a minerály) a tělesný tuk. InBody 720 také analyzuje množství viscerálního tuku, který je definován jako plocha transversálního průřezu v břišní oblasti na úrovni obratle  $L_4-L_5$ . Software InBody 720 umožňuje vyhodnotit doporučené hodnoty jednotlivých parametrů pro dané věkové kategorie. Korelace mezi metodou CT (Computer Tomograph) a InBody 720 je definována na úrovni  $r = 0,92$ . Použitá metoda je unifikována, měření proběhlo za standardních podmínek daných manuálem přístroje (Biospace, 2008). Před každým měřením byly ženy obeznámeny s pravidly, jejichž dodržení je nutné pro získání validních informací o tělesném složení.

#### Analýza dat

Získaná data týkající se tělesného složení byla zpracována pomocí programu Lookin'Body 3.0.

Statistická analýza dat byla provedena prostřednictvím statistického programu Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, OK). Byly vypočítány základní statistické veličiny pro sledované parametry a jejich rozdíly mezi kategoriemi BMI (BMI\_1, BMI\_2, BMI\_3). Významnost těchto diferencí byla testována pomocí

**Tabulka 1.** Základní somatické charakteristiky ve vztahu ke kategoriím BMI

| Parametr                 | BMI_1       | BMI_2       | BMI_3       |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Sta (cm)                 | 166,2 ± 5,7 | 167,4 ± 6,4 | 167,5 ± 6,9 |
| M. (kg)                  | 59,2 ± 6,4  | 75,2 ± 6,9  | 94,7 ± 12,2 |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | 21,4 ± 1,8  | 26,8 ± 1,2  | 33,6 ± 3,2  |

Poznámka: BMI\_1(2, 3) – kategorizace Body Mass Indexu (BMI\_1 – normální hmotnost, BMI\_2 – nadváha, BMI\_3 – obezita), Sta – tělesná výška, M. – tělesná hmotnost

cí analýzy rozptylu, pro sledování rozdílů příslušných dvojic jsme zvolili LSD test. Statistická významnost byla stanovena na hladině  $\alpha < 0,05$ . Pro stanovení závislosti hodnoty BMI na hodnotě tělesného tuku (BFM, %) byla využita metoda polynomické regrese.

#### Výsledky

Průměrný věk sledovaného souboru činil  $22,3 \pm 62,5$  let, průměrná tělesná výška dosahovala  $166,5 \pm 6,0$  cm a průměrná tělesná hmotnost byla  $63,6 \pm 12,6$  kg. Průměrná hodnota BMI spadá do kategorie normální hmotnosti ( $22,8 \pm 4,1$  kg/m<sup>2</sup>). Přehled základních somatických charakteristik v jednotlivých kategoriích BMI je uveden v tabulce 1.

Při pohledu na jednotlivé kategorie BMI (Tabulka 2) je patrné, že průměrné hodnoty procentuálního zastoupení tělesného tuku odpovídají kategoriím normální hmotnosti (BMI\_1: BFM = 25,9 %) a kategorie obezity (BMI\_3: BFM ≥ 35 %). Průměrné hodnoty BFM (35,4 %) v kategorii BMI\_2 spadají do kategorie obezity (Heyward & Wagner, 2004). V případě viscerálního tuku (VFA, cm<sup>2</sup>), který překračuje doporučené hodnoty (> 100 cm<sup>2</sup>) pouze v kategorii BMI\_3, jsme zaznamenali signifikantně rozdílné hodnoty mezi jednotlivými kategoriemi BMI (BMI\_1: VFA = 42,9 cm<sup>2</sup>; BMI\_2: VFA = 84,8 cm<sup>2</sup>; BMI\_3: VFA = 139,6 cm<sup>2</sup>). Vyšší relativní zastoupení průměrných hodnot kosterně-svalové hmoty (SMM, %) bylo zaznamenáno u kategorie BMI\_1. Rozdíly byly signifikantní.

Tabulka 3 prezentuje u jednotlivých souborů diferencovaných dle BMI vybrané kompartmenty tělesné vody. Zastoupení celkové tělesné vody (Total Body Water, TBW, %) u kategorie nadváhy (BMI\_2: TBW = 47,2 %) a obezity (BMI\_3: TBW = 40,5 %) nepřekročilo 50% hranici, což koresponduje s předpokladem, že množství TBW je v recipročním vztahu k zastoupení BFM. Optimální poměr zastoupení extracelulární (Extracellular Water, ECW) a intracelulární vody (Intracellular Water, ICW), který má být 1 : 2, není u našich souborů zachován. U kategorie BMI\_1 je poměr uspokojivý (1,2 : 1,9).

Na základě sledování závislosti hodnoty BMI na hodnotě BFM (%) byla stanovena rovnice:

$$BMI = 22,4067 - 0,4252x + 0,0145x^2, \text{ kde } x = BFM.$$

**Tabulka 2.** Vybrané somatické charakteristiky ve vztahu ke kategoriím BMI

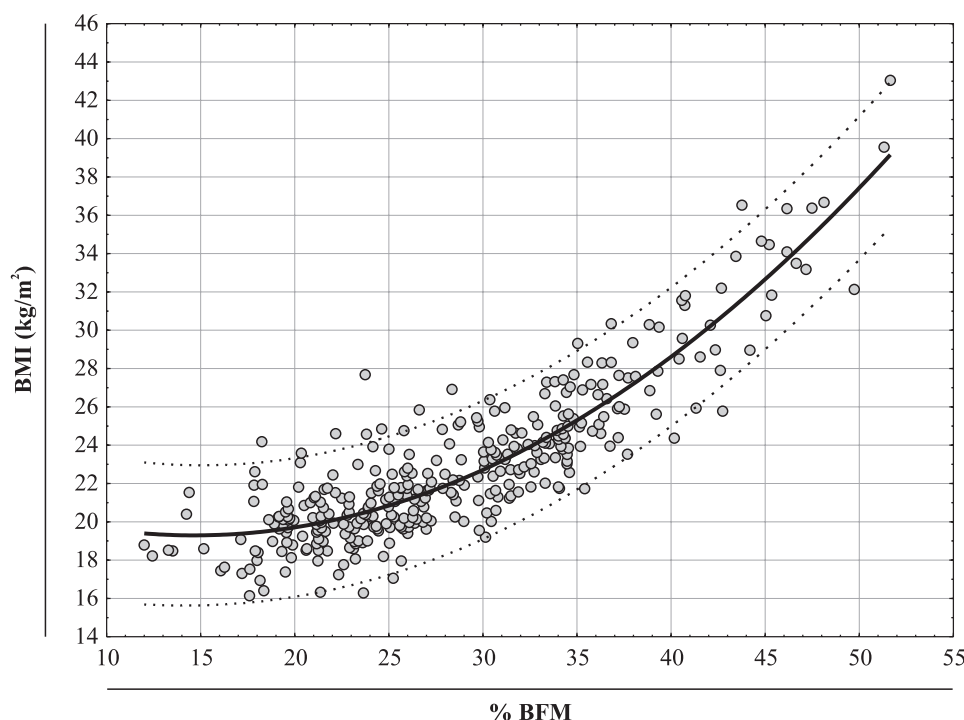
| Parametr               | BMI_1       | BMI_2       | BMI_3        | p_1-2 | p_1-3 | p_2-3 |
|------------------------|-------------|-------------|--------------|-------|-------|-------|
| BFM (%)                | 25,9 ± 5,4  | 35,4 ± 4,2  | 44,5 ± 3,9   | *     | *     | *     |
| BFM (kg)               | 15,5 ± 4,2  | 26,6 ± 4,3  | 42,4 ± 8,4   | *     | *     | *     |
| VFA (cm <sup>2</sup> ) | 42,9 ± 15,5 | 84,8 ± 15,2 | 139,6 ± 28,8 | *     | *     | *     |
| FFM (%)                | 74,0 ± 5,4  | 64,5 ± 4,2  | 55,4 ± 3,9   | *     | *     | *     |
| FFM (kg)               | 43,7 ± 4,5  | 48,5 ± 5,2  | 52,2 ± 5,2   | *     | *     | *     |
| SMM (%)                | 69,6 ± 5,2  | 60,6 ± 4,0  | 52,1 ± 3,6   | *     | *     | *     |
| SMM (kg)               | 41,1 ± 4,2  | 45,6 ± 4,9  | 49,1 ± 4,9   | *     | *     | *     |

Poznámka: BMI\_1(2, 3) – kategorizace Body Mass Indexu (BMI\_1 – normální hmotnost, BMI\_2 – nadváha, BMI\_3 – obezita), BFM – tělesný tuk, VFA – viscerální tuk, FFM – tukuprostá hmota, SMM – kosterně-svalová hmota, \* –  $p < 0,001$

**Tabulka 3.** Kompartmenty tělesné vody ve vztahu ke kategoriím BMI

| Parametr | BMI_1      | BMI_2      | BMI_3      | p_1-2 | p_1-3 | p_2-3 |
|----------|------------|------------|------------|-------|-------|-------|
| TBW (%)  | 54,2 ± 4,0 | 47,2 ± 3,1 | 40,5 ± 2,8 | *     | *     | *     |
| TBW (l)  | 32,0 ± 3,3 | 35,5 ± 3,8 | 38,2 ± 3,8 | *     | *     | *     |
| ICW (%)  | 33,6 ± 2,5 | 29,3 ± 2,0 | 25,1 ± 1,7 | *     | *     | *     |
| ICW (l)  | 19,8 ± 2,0 | 22,0 ± 2,3 | 23,7 ± 2,3 | *     | *     | *     |
| ECW (%)  | 20,5 ± 1,5 | 17,8 ± 1,1 | 15,3 ± 1,1 | *     | *     | *     |
| ECW (l)  | 12,1 ± 1,2 | 13,4 ± 1,4 | 14,5 ± 1,5 | *     | *     | *     |

Poznámka: BMI\_1(2, 3) – kategorizace Body Mass Indexu (BMI\_1 – normální hmotnost, BMI\_2 – nadváha, BMI\_3 – obezita), TBW – celková tělesná voda, ICW – intracelulární voda, ECW – extracelulární voda, \* –  $p < 0,001$

**Obrázek 1.** Závislost hodnoty Body Mass Indexu (BMI) na hodnotě tělesného tuku (% BFM)

Grafické znázornění závislosti uvádí obrázek 1. Jedná se o regresní křivku spolu s intervalem predikce. Koeficient determinace tohoto modelu je 0,86.

### Diskuze

V rámci terénních výzkumů celosvětově je nejvýhodnější metoda BIA. Její velkou nevýhodou jsou nároky na stav hydratace organismu při měření. Kvůli metabolickým procesům, příjmu jídla, pití, toalety atd. může celková tělesná voda u zdravého váhově-stabilního člověka oscilovat přibližně o  $\pm 5$  % (Chumlea, Guo, Zeller, Reo, & Siervogel, 1999).

Obsah vody je nízký u obézních lidí, u nichž tvoří pouze 45 % tělesné hmotnosti. Rokyta (2000) uvádí obsah vody v tukové tkáni pouze 10 %. U obézních žen (BMI\_3) jsme zaznamenali 40,5 % vody z tělesné hmotnosti. V provedené výzkumné studii byly jednotlivé kompartmenty tělesné vody hraniční, především u žen s nadváhou a obezitou z důvodu poklesu objemu svalové hmoty (Skeletal Muscle Mass, SMM, %). Chumlea et al. (1999) a Andersen (2003) také uvádějí, že poměr kompartmentů tělesné vody klesá v důsledku zvyšování BFM a snižování FFM. Gába a Přidalová (2015) prokázali u českých žen pokles TBW s nárůstem BMI a BFM.

Nejvariabilnější komponentou hmotnosti těla je tuk, který je hlavní faktor variability tělesného složení a je snadno ovlivnitelný vývojovými aspekty a pohybovou aktivitou (Riegerová et al., 2006). Na základě průměrných hodnot procentuálního BFM podle Heywarda a Wagnera (2004) byly skupiny žen s nadváhou a obezitou (BMI\_2, BMI\_3) klasifikovány jako obézní ( $> 35$  %). Také Romero-Corral et al. (2008) upozorňují na zkreslené údaje o nadváze a obezitě na základě BMI. Gába, Přidalová a Zajáč-Gawlak (2014) potvrzují, že zvýšené množství BFM nemusí být vždy doprovázeno vyšší tělesnou hmotností.

Hodnoty VFA determinují abdominální obezitu, která představuje jedno z hlavních posuzovacích kritérií metabolického syndromu a má téměř srovnatelnou prediktivní hodnotu pro závažné kardiovaskulární příhody jako zvýšená hladina LDL cholesterolu (Dukát et al., 2007). U VFA je střední riziko stano-

veno mezi 100–150  $\text{cm}^2$  a vysoké riziko nad hranicí 150  $\text{cm}^2$ . Průměrné hodnoty VFA (139,6  $\text{cm}^2$ ) u kategorie žen BMI\_3 signalizovaly střední riziko.

K posouzení optimální tělesné hmotnosti a determinaci zdravotních rizik je používán jeden z hmotnostně-výškových indexů – BMI. Antropometrické měření je nejjednodušší metodou ke stanovení rizika vzniku metabolických a oběhových komplikací spojených s obezitou a je hodnoceno na základě obvodu pasu. Z důvodu objektivního posouzení relativního zdravotního rizika tělesného složení je využíván například BFM (Body Fat Mass Index,  $\text{kg/m}^2$ ) (Hainer et al., 2011; Kyle et al., 2004; Sofková & Přidalová, 2016).

### Závěr

U kategorie žen s normální hmotností (BMI\_1) byly potvrzeny doporučované normy průměrných hodnot somatických charakteristik. U žen v kategorii BMI\_2 byla prokázána průměrná hodnota BFM signalizující obezitu. U kategorie BMI\_2 a BMI\_3 byly potvrzeny vyšší signifikantní průměrné hodnoty u vybraných charakteristik souvisejících s rizikovými aspekty nadváhy a obezity (BFM, VFA). Průměrná hodnota VFA u skupiny BMI\_3 signalizovala střední riziko výskytu kardiovaskulárního onemocnění a změny lipidového spektra. Dále byla prokázána nižší průměrná hodnota TBW, FFM a SMM.

Z prezentovaných výsledků vyplývá, že již při hodnotách BMI  $\geq 25$   $\text{kg/m}^2$  může být diagnostikována obezita. Z toho je možno vyvodit, že obezita by měla být stanovována na základě tělesného tuku (BFM, %).

### Souhrn

K posouzení optimální tělesné hmotnosti ve vztahu ke zdravotním rizikům je používán hmotnostně-výškový index (Body Mass Index: BMI,  $\text{kg/m}^2$ ). Přesto může vést u jedince k chybné diagnóze ve smyslu falešné obezity u osob s vysoce vyvinutou svalovou hmotou a naopak k falešné negativní diagnóze obezity u osob s relativně vysokým zastoupením tukové tkáně, u tzv. morbidní obezity, resp. 2. a 3. kategorie obezity dle BMI.



Cílem studie bylo vyhodnotit vybrané parametry tělesného složení na základě BMI u 335 žen ve věku 18–30 let. Výzkumný soubor tvořily studentky pedagogických oborů Univerzity Palackého v Olomouci. Šetření bylo realizováno v říjnu 2014 a 2015. Pro determinaci parametrů tělesného složení bylo využito multifrekvenční bioimpedanční analýzy prostřednictvím přístroje InBody 720.

Z hlediska hodnocení kategorizace hmotnostně výškového indexu vyplývá, že 75 % (250 z 335) studentek daného souboru spadá do kategorie normální hmotnosti. V kategorii normální hmotnosti (BMI\_1) jsou vybrané parametry (BFM: tělesný tuk, VFA: viscerální tuk, FFM: tukuprostá hmota) na základě obecného doporučení vztahující se k tělesnému složení splněny. V kategorii nadváhy (BMI\_2) průměrné hodnoty parametru BFM spadají do kategorie obezity ( $\geq 35$  %). Kategorie obezity (BMI\_3) představuje zdravotní rizika u vybraných parametrů tělesného složení.

Z prezentovaných výsledků vyplývá, že už při kategorii nadváhy (BMI: 25,0–29,9 kg/m<sup>2</sup>) může být u daného jedince diagnostikována obezita (BFM  $\geq 35$  %). Z tohoto důvodu se potvrzuje fakt, že vhodným ukazatelem somatického stavu jsou jednotlivé tělesné komponenty.

**Klíčová slova:** mladší dospělost, bioelektrická impedance, body fat mass, fat-free mass

## Poděkování

Je milou povinností poděkovat RNDr. Milanovi Elfmarkovi, pracovníku Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci za spolupráci při řešení výzkumu, a také účastníkům za vstřícnost a spolupráci.

## Literatura

- Andersen, R. E. (2003). *Obesity. Etiology assessment treatment and prevention*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Biospace. (2008). InBody 720 – The precision body composition analyzer (User's Manual).
- Block, G., Dresser, C. M., Hartman, A. M., & Carroll, M. D. (1985). Nutrient sources in the American diet: quantitative data from the NHANES II survey. II. Macronutrients and fats. *The American Journal of Epidemiology*, 122(1), 27–40.
- Brettschneider, W. D., & Naul, R. (2007). *Obesity in Europe*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Dukát, A., Lietava, J., Krahulec, B., Čaprná, M., Vacula, I., Sirotiaková, J., . . . Minárik, P. (2007). Prevalencia abdominálnej obezity na Slovensku, Štúdia IDEA Slovakia. *Vnitřní lékařství*, 53(4), 326–330.
- Gába, A., Přidalová, M., & Zajáč-Gawlak, I. (2014). Posouzení objektivit hodnocení výskytu obezity na základě body mass indexu vzhledem k procentuálnímu zastoupení tělesného tuku u žen ve věku 55–84 let. *Časopis lékařů českých*, 153(1), 22–27.
- Gába, A., & Přidalová, M. (2015). Age-related changes in body composition in a sample of Czech women aged 18–89 years: A cross-sectional study. *European Journal of Nutrition*, 53, 167–176.
- Hainer, V. et al. (2011). *Základy klinické obezitologie 2., přepracované a doplněné vydání*. Praha: Grada Publishing, a. s.
- Heyward, V. D., & Wagner, D. R. (2004). *Applied body composition assessment*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hornbuckle, L. M., Bassett, D. R., & Thompson, D. L. (2005). Pedometer-determined walking and body composition variables in African-American women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 1069–1074.
- Hřivňová, M. (2014). The Conception of Health Education at Primary Schools in the Czech Republic. *SGEM Conference on*

- Psychology & Psychiatry Society & Healthcare Education*, 2, 899–912. doi: 10.5593/SGEMSOCIAL2014/B12/S2.115
- Chumlea, W. C., Guo, S. S., Zeller, C. M., Reo, N. V., & Siervogel, R. M. (1999). Total body water data for white adults 18 to 64 years of age: *The Fels Longitudinal Study*. *Kidney International*, 56(1), 244–252.
- Katzmarzyk, P. T., Baur, L. A., Blair, S. N., Lambert, E. V., Oppert, J. M., & Riddoch, C. (2008). International conference on physical activity and obesity in children: Summary statement and recommendations. *Applied Physiology of Nutritional Metabolism*, 33(2), 371–388.
- Kyle, U. G., Morabia, A., Schutz, Y., & Pichard, C. (2004). Sedentarism affects body fat mass index and fat-free mass index in adults aged 18 to 98 years. *Nutrition*, 20(3), 255–260.
- Přidalová, M., & Kopecký, M. (2013). Srovnání vybraných zdravotních ukazatelů tělesného složení studentů a studentek FTK UP a PDF UP v Olomouci s ohledem na kategorizaci dle BMI a fitness skóre. *Česká antropologie*, 63(2), 26–34.
- Riegerová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (2006). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu*. Olomouc: Hanex.
- Rokyta, R. (2000). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV nakladatelství.
- Romero-Corral, A., Somers, V. K., Sierra-Johnson, J., Thomas, R. J., Collazo-Clavell, M. L., Korinek, J., . . . Lopez-Jimenez, F. (2008). Accuracy of body mass index in diagnosing obesity in the adult general population. *International Journal of Obesity*, 32(6), 959–966.
- Sofková, T., & Přidalová, M. (2015). Somatic characteristics in relation to meeting recommended physical activity in overweight and obese women aged 30–60 years. *Acta Gymnica*, 45(2), 121–128.
- Sofková, T., & Přidalová, M. (2016). *Somatodiagnostika u žen v kontextu redukční intervence*. Praha: Powerprint.
- Thompson, D. L., Rakow, J., & Perdue, S. M. (2004). Relationship between accumulated walking and body composition in middle-aged women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(5), 911–914.
- World Health Organization. (2004). *Global strategy on diet, physical activity and health*. Geneva: WHO.

- Sofková, T. (2016). Posouzení tělesného složení v rámci kategorizace Body Mass Indexu u žen ve věku 18–30 let. *Česká antropologie*, 66(2), 30–33.

# VÝSKYT MORFOLOGICKÝCH TYPOV CHODIDLA V SÚVISLOSTI S LATERÁLNYM VBOČENÍM PALCA U VYSOKOŠKOLSKÝCH ŠTUDENTIEK

## Morphology Foot Type Occurrence in Relation to Hallux Lateral Misalignment in University Female Students

Kristína Tománková

Katedra antropologie a zdravotní pedagogiky, Pedagogická fakulta,  
Univerzita Palackého v Olomouci, Česká republika

### Abstract

The main aim of this paper is to determine the most frequented morphological foot type and find out absolute and relative number of hallux misalignments in 235 university female students (average age  $20.5 \pm 1.4$  years). Characteristics of right and left feet were described by means of plantogram. For obtaining of plantograms was used classic plantograf with rubber membrane. On the plantogram was detected morphological foot type (Greek type, Egyptian or quadratic foot type) by Klementa (1987). Hallux angle was detected on the plantogram by Kabelka (2000). We confirmed Egyptian type as the most frequented foot type on the right and left foot. From total number of 235 women, feet of women with Egyptian foot type had prevalence of hallux lateral misalignments.

**Keywords:** morphology foot type, hallux lateral misalignment, hallux angle, plantogram

### Úvod

Ideálny tvar chodidla je veľmi náročné definovať. „Normálne chodidlo“ je pružné, s plantigrádnym došľapom, vytvorenou pozdĺžnou a priečnou klenbou, súčasne i dostatočne rigidné, udržiavajúce svoj tvar v zaťažení, s fyziologickým rozsahom pohybu v jednotlivých kĺboch (Dungl, 2005). Na morfológickom tvare chodidla závisí nášľapná plocha chodidla. Egyptský typ vzhľadom k pomeru jednotlivých častí disponuje optimálnym rozložením vertikálnej sily a vysokou dotykovou plochou. Zo športového hľadiska je najvhodnejším typom chodidla, vykazuje vzťah k maximálnemu športovému výkonu. Je však viac náchylný k vývoju *hallux valgus* a *rigidus*, v porovnaní s ostatnými typmi. Grécky typ je charakteristický menšou dotykovou plochou. Dominujúci je druhý prst, alebo druhý a tretí súčasne, prípadne druhý, tretí a štvrtý prst a tu je tiež vrchol záťaže v oblasti prechodu článkov prstov na metatarzy. Typ kvadratický je z výkonnostného hľadiska najmenej vhodný. Vzhľadom k mechanickému preťaženiu, ktoré je dané rozložením vertikálnej sily na všetky hlavičky metatarzov rovnomerne, vykazuje následnú výraznú senzitivnú odpoveď (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006). Pri chodidle egyptskom je najdlhší palec alebo palcový metatarzus. Palec a najmenej prvé dva prsty chodidla sú rovnaké pri kvadratickom chodidle. Najčastejšie sa vyskytujúci typom nohy je podľa viacerých autorov egyptský tvar chodidla s palcom ako najdlhším prstom (Dungl, 1989). K poruchám chodidla patria statické deformity predonožia sprevádzané charakteristickými syndrómami (Riegerová, Přidalová,

& Ulbrichová, 2006). Deformity prstov sú jednak vrodené, jednak získané. Na palci býva najčastejšie vrodený *hallux varus* (vybočený palec), *hallux valgus* (vbočený palec), *hallux flexus* (ohnutý palec) a *hallux rigidus* (stuhnutý palec). Ani jedna deformita predonožia sa nevyskytuje tak často ako *hallux valgus*. Súčasný literárny prehľad hovorí o globálnom rozšírení vbočeného halluxu od vyše 23% zastúpenia v populácii vo veku od 18. do 65. roku života po vyše 35% zastúpenie v populácii nad 65 rokov. Napriek tomu je však stále problémom náročné stanovenie hranice medzi normálnou a patologickou pozíciou palca (Nix, Smith, & Vicenzino, 2010). Dôvod vzniku deformity *hallux valgus* je individuálny a je ťažké ho zdefinovať. Môže byť často pridruženým problémom nevhodného obuvania a niekedy zohráva hlavnú úlohu dedičnosť. Ženy sú touto deformitou omnoho viac postihnuté ako muži, pretože častejšie nosia úzku obuv na vysokom opätku a často majú pružnejšie mäkké tkanivá (Nguyen, Hillstrom, & Li, 2010). Aj keď *hallux valgus* je rozšírená v strednom veku života, mnoho pacientov oboch pohlaví je postihnutých už v mladosti, obvyčajne unilaterálne, niekedy bilaterálne (Nguyen, Hillstrom, & Li, 2010; Nix, Smith, & Vicenzino, 2010; Wülker, 1997b). Patogenéza *hallux valgus* je komplexná. Všeobecne je prijímaná teória o nerovnováhe vybraných svalových skupín chodidla (extenzorov na dorzálnnej strane a adduktorov, abduktorov a ohýbačov klenby). Normálna zdravá noha má vždy šľachy extenzorov a flexorov mierne posunuté laterálne od centra. To je kompenzované ostatnými svalmi a šľachami nohy, tak aby boli pôsobiace sily vyrovňované. Popísaná rovnováha je citlivá na vplyv vnútorných a vonkajších faktorov. Sila vyvíjaná na udržovanie zdravej rovnováhy tak môže byť oslabená s eventúrnym patologickým výsledkom zvaným *hallux valgus* (Mann & Coughlin, 1981; Perera, Mason, & Stephens, 2011; Wülker, 1997a; Wülker, 1997b).

### Cieľ

Hlavným cieľom príspevku je určiť najčastejší morfológický typ chodidla. Vedľajším cieľom je zistiť absolútnu a relatívnu početnosť výskytu prípadov laterálneho vbočenia palca (med. *hallux valgus*) v závislosti od konkrétneho morfológického typu chodidla.

### Metodika

Výskumný súbor je tvorený vysokoškolskými študentkami v počte 235 žien vo veku od 19 do 25 rokov (priemerný vek  $20,5 \pm 1,4$  roka) bez pravidelnej pohybovej aktivity. Meranie bolo realizované v priestoroch antropologického laboratória Katedry zoológie a antropológie Fakulty prírodných vied Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre v období od septembra 2009 do novembra 2012 na základe súhlasu oslovených študentiek, pričom bola rešpektovaná ich anonymita a ochrana osobných údajov. Plantografia je postup, ktorý sme uskutočnili pri snímaní odtlačkov chodidiel. Charakteristiky pravého a ľavého chodidla sme popisovali pomocou plantogramu. Pre získanie plantogramu sme použili klasický plantograf s gumovou membránou. Pomocou plantogramu sme určili morfológický typ chodidla (grécky typ – najdlhší prst je druhý alebo tretí, alebo metatarzus prípadne oba sú rovnako dlhé; egyptský typ – najdlhší je palec alebo palcový metatarzus; alebo kvadratický typ – palec a najmenej prvé dva prsty sú rovnako dlhé) podľa Klementu (1987). Na plantograme sme ďalej merali uhol palca podľa Kabelku (2000), ktorý je meraný ako ostrý uhol dvoch dotýčnic. Prvá dotýčnica spája najviac do strany vystupujúci bod päty na mediálnej strane s najviac vystupujúcim bodom v oblasti prvého metatarzophalangeálneho kĺbu. Druhá dotýčnica spája prvý metatarzophalangeálny kĺb s mediálnou stranou palca. Pri laterálnom vybočení druhej dotýčnice má palec

valgus – pozíciu a uhol má kladnú hodnotu. Pri mediálnom vybočení má palec varus – pozíciu a uhol má hodnotu zápornú.

### Výsledky a diskusia

V prípade pozorovania trendu všeobecnej prevalence egyptského typu chodidla môžeme súhlasiť s tvrdením autorov, že najčastejšie sa vyskytujúcom morfológickým typom nohy je egyptský typ chodidla s palcom ako najdlhším prstom (Dungl, 1989). Literárny rešerš domáci aj zahraničný je v oblasti posudzovania morfológických typoch chodidla pomerne chudobný a v predmetnej vekovej kategórii sme sa stretli len s jednou vyhovujúcou a dostačujúcou štúdiou. Riegerová, Žeravová a Peštuková (2005) sa prikláňajú k danému tvrdeniu výsledkami výskumu v dorastovej kategórii 162 žien vo veku 12 až 18 rokov. 71 % žien (n = 115) vykazovalo obojstranne najčastejšie práve egyptský typ nohy, 29 % (n = 47) grécky typ nohy a kvadratický typ nohy vôbec nezaznamenali. V porovnaní s uvádzanými výsledkami štúdie autoriek sme v našich výsledkoch zaznamenali obojstranne najvyššiu frekvenciu egyptského typu (133 žien; 56,6 %), nasledovne gréckeho typu (56 žien; 23,8 %) a najnižšiu frekvenciu kvadratického typu (46 žien; 19,6 %). Čo sa týka realizovaných prieskumov v oblasti preukázania dispozície morfológických typov k niektorým deformitám chodidla je situácia ešte vážnejšia a podobné domáce či zahraničné výskumy v predmetnej vekovej skupine sme neevidovali, preto sa dá považovať predkladaná štúdia v tomto ohľade za prínosnú a špecifickú. V prípade dispozície egyptského typu chodidla k deformite laterálne vbočeného palca, nemôžeme na základe našich výsledkov odpovedať jednoznačne, pretože v každom morfológickom type je určitá prevaha valgózneho postavenia palca v porovnaní s varóznym a normálnym postavením. V početnej skupine žien s egyptským typom chodidla (n = 190), ale sledujeme 55,3% frekvenčné zastúpenie valgózneho pravého palca a 54,5 % zastúpenie valgózneho ľavého palca. Tieto výsledky potenciálne potvr-

dzujú teóriu o dispozícii egyptskej nohy k vzniku deformity *hallux valgus* (laterálne vbočenie palca). Domáci a zahraničný prieskum samotnej deformity palca u mladých žien je dostupný v dvoch nasledujúcich štúdiách. Podľa výskumného šetrenia Pridalovej & Dostálovej (2004) valgózný palec sa vyskytoval najpočetnejšie u študentiek Fakulty telesnej kultúry Univerzity Palackého v Olomouci (FTK UP) (priemerný vek 19,4 rokov; n = 61) a Vysoké vojenské školy pozemného vojska (VVŠ PV) (priemerný vek 19,7 rokov; n = 29), početnosť výskytu dosiahla hranice 80 %. U študentiek z VVŠ PV bola preukázaná laterálna diferenciacia vo výskyte valgózneho palca. Jednalo sa o diferenciu v kategórii vyosení väčšej než a menšej než 6°. U študentiek VVŠ PV frekvenčné zastúpenie varózneho palca rovnako vykazuje laterálne signifikantnú diferenciu. Študentky najviac obsadili kategóriu valgózy palca nad 6°. V kategórii varózy nie je signifikantná stranová diferenciacia v zmysle frekvenčného zastúpenia. Autorky dodávajú, že výskyt varózneho palca súvisí pravdepodobne s pronačným postavením nohy a s vnútornou rotáciou predonožia a je veľmi závažnou deformáciou predonožia. Varózný palec sa vyskytoval u 12 študentiek (19,7 %, *dex.*) a 14 študentiek VŠPV (22,9 %, *sin.*) na FTK UP, ďalej u 10 študentiek (34,5 %, *dex.*) a 6 študentiek (20,7 %, *sin.*) na VVŠ PV. Nulový uhol vyosenia palca (prípadne do  $\pm 2^\circ$ ) sa vyskytoval iba ojedinele. Zhodu s našimi výsledkami a výsledkami Pridalovej & Dostálovej (2004) nachádzame v percentuálnom zastúpení študentiek s valgóznym palcom (*dex.* n = 190; 80,9 %; *sin.* n = 191; 81,3 %) ako i s ojedinelým výskytom nulového vyosenia palca obojstranne (n = 12; 5,1 %). Okuda, Juman, Ueda, Miki a Shima (2014) prezentujú výsledky výskumu realizovaného na vzorke 343 žien vo veku  $18,7 \pm 0,6$  rokov, ktorý bol zameraný na hodnotenie prevalence *hallux valgus*. V zhode s našimi výsledkami percentuálneho zastúpenia poruchy uvádzajú, že u 77,5 % žien (n = 266) bol diagnostikovaný *hallux valgus* na ľavej nohe a u 79,3 % žien (n = 272) na pravej nohe.

**Tabuľka 1.** Frekvencia výskytu vbočeného a vybočeného palca podľa jednotlivých morfológických typov chodidla (*dex.*, *sin.*)

| Uhol                          |       | n   | %    | Typ chodidla |      |       |              |      |       |                 |      |       |
|-------------------------------|-------|-----|------|--------------|------|-------|--------------|------|-------|-----------------|------|-------|
|                               |       |     |      | Grécky typ   |      |       | Egyptský typ |      |       | Kvadratický typ |      |       |
|                               |       |     |      | n            | %    | %     | n            | %    | %     | n               | %    | %     |
| Uhol palca<br>( <i>dex.</i> ) | > 0°  | 190 | 80,9 | 46           | 24,2 | 82,1  | 105          | 55,3 | 78,9  | 39              | 20,5 | 84,8  |
|                               | 0°    | 12  | 5,1  | 3            | 25,0 | 5,36  | 6            | 50,0 | 4,5   | 3               | 25,0 | 6,5   |
|                               | < 0°  | 33  | 14   | 7            | 21,2 | 12,5  | 22           | 66,7 | 16,5  | 4               | 12,1 | 8,7   |
|                               | spolu | 235 | 100  | 56           | 23,8 | 100,0 | 133          | 56,6 | 100,0 | 46              | 19,6 | 100,0 |
| Uhol palca<br>( <i>sin.</i> ) | > 0°  | 191 | 81,3 | 46           | 24,1 | 82,1  | 104          | 54,5 | 78,2  | 41              | 21,5 | 89,1  |
|                               | 0°    | 12  | 5,1  | 3            | 25,0 | 5,4   | 6            | 50,0 | 4,5   | 3               | 25,0 | 6,5   |
|                               | < 0°  | 32  | 13,6 | 7            | 21,9 | 12,5  | 23           | 71,9 | 17,3  | 2               | 6,3  | 4,4   |
|                               | spolu | 235 | 100  | 56           | 23,8 | 100,0 | 133          | 56,6 | 100,0 | 46              | 19,6 | 100,0 |

### Záver

Potvrdili sme egyptský typ ako najčastejšie sa obojstranne vyskytujúci morfológický typ chodidla v sledovanom súbore. Z celkového počtu žien sa u žien s egyptským typom chodidla vyskytlo najviac prípadov vbočeného palca. Na základe štúdia literárnych prameňov vrátane predkladaných výsledkov práce sa prikláňame k predpokladu, že znalosť morfológického typu chodidla nemá zásadný klinický ani kineziologický význam, avšak do istej miery môže vytvárať potenciálny priestor pre prevenciu a včasnú diagnostiku niektorých porúch chodidla.

### PodĎakovanie

Autorka ďakuje študentkám, ktoré sa výskumu zúčastnili a ďalším osobám podieľajúcim sa na organizácii výskumu a realizácii štúdie.

### Súhrn

V predkladanom príspevku sme pozorovali trend všeobecnej prevalence egyptského typu chodidla v populácii a zaujímalo nás či sa preukáže dispozícia egyptského typu chodidla k laterálnemu vbočeniu palca. Zisťovali sme absolútnu a relatívnu početnosť výskytu prípadov laterálneho vbočenia palca v závislosti od morfológického typu chodidla. Výskumný súbor bol tvorený vysokoškolskými študentkami v počte 235 žien vo veku od 19 do 25 rokov (priemerný vek  $20,5 \pm 1,4$  roka). Charakteristiky pravého a ľavého chodidla sme popisovali pomocou plantogramu. Pre získanie plantogramu sme použili klasický plantograf s gumovou membránou. Pomocou plantogramu sme určili morfológický typ chodidla (grécky typ, egyptský alebo kvadratický typ) podľa Klementu (1987). Na plantograme sme ďalej merali uhol palca podľa metodiky Kabelku (2000).

Potvrdili sme egyptský typ ako najčastejšie sa vyskytujúci morfologický typ chodidla (*dex., sin.*). Z celkového počtu žien sa u žien s egyptským typom chodidla vyskytlo najviac prípadov vbočeného palca.

**Kľúčové slová:** morfologický typ chodidla, vbočenie palca, uhol palca, plantogram

## Literatúra

- Dungl, P. (1989). *Ortopédie a traumatologie nohy*. Praha: Avicenum.
- Dungl, P. (2005). *Ortopédie*. Praha: Grada Publishing.
- Kabelka, F. (2000). A method of measuring the Human Foot. Applicable to all Populations. In: Fírbas, W., Kabelka, F., Heinrich, W. & Krejs, M. (2000). *Growth Analysis of the Human Foot*. Cambridge July: AACA and BACA Joint Meeting.
- Klementa, J. (1987). *Somatometrie nohy*. Praha: SPN.
- Mann, R.A., & Coughlin, M.J. (1981). Hallux valgus: etiology, anatomy, treatment and surgical considerations. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 157, 31–41.
- Nix, S, Smith, M, & Vicenzino B. (2010). Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and metaanalysis. *Journal of Foot and Ankle Research*, 3, 21.
- Nguyen, U. S., Hillstrom, H. J., & Li, W. (2010). Factors associated with hallux valgus in a population-based study of older women and men: the MOBILIZE Boston Study. *Osteoarthritis Cartilage*, 18, 41–46.
- Okuda, H., Juman, S., Ueda, A., Miki, T., & Shima, M. (2014). Factors Related to Prevalence of Hallux Valgus in Female University Students: A Cross-Sectional Study. *Journal of Epidemiology*, 24(3), 200–208.
- Perera, A. M., Mason, L., & Stephens, M. M. (2011). The pathogenesis of hallux valgus. *Journal of Bone and Joint Surgery. American volume*, 11(93), 1650–1661.
- Přidalová, M. & Dostálová, I. (2004). Srovnání morfologických parametrů nohou u studentů a studentek FTK UP v Olomouci a VŠPV ve Výškově. *Česká antropologie*, 54, 90–91.
- Riegerová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (2006). *Aplikace fyzické antropologie*. Olomouc: Hanex.
- Riegerová, J., Žeravová, M., & Peštuková, M. (2005). Analysis of morphology of foot in Moravian male and female students in the age infans II. and juvenis. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*, 35(2), 69–74.
- Wülker, N. (1997a). Hallux valgus. *Orthopäde*, 26, 654–664.
- Wülker, N. (1997b). *Hallux valgus – Hallux rigidus*. Stuttgart: Enke.

---

Tománková, K. (2016). Výskyt morfologických typů chodidla v souvislosti s laterálním vbočením palce u vysokoškolských studentek. *Česká antropologie*, 66(2), 34–36.



# SLEDOVANIE ZMIEN TELESNÝCH PARAMETROV 7- AŽ 9-ROČNÝCH DETÍ Z BRATISLAVSKÉHO KRAJA

## Monitoring of body measurements changes in 7-to 9-year-old children from Bratislava region

Petra Uhrová<sup>1</sup>, Kristína Stahlová<sup>1</sup>,  
Eva Neščáková<sup>1</sup>, Tomáš Zeman<sup>1</sup>,  
Silvia Bodoriková<sup>1</sup>, Mária Fuchsová<sup>2</sup>,  
Daniela Kramárová<sup>1</sup>, Radoslav Beňuš<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra antropológie, Prírodovedecká fakulta,  
Univerzita Komenského v Bratislave, Bratislava  
Slovenská republika

<sup>2</sup>Centrum špeciálnopedagogického výskumu,  
Ústav špeciálnopedagogických štúdií, Pedagogická fakulta,  
Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika

### Abstract

The aim of the study was to evaluate intersexual differences between boys and girls from seven to nine years of age attending elementary school in the Bratislava Region. We also compare monitored group with group of Slovak children from 1976 (Hajniš, Brůžek, & Blažek 1989). A total of 265 children were measured, 141 boys and 124 girls.

There were investigated eight body parameters, and then calculated four indices of body dimensions to confirm differences between boys and girls, and to evaluate body composition in Slovak children after 40 years. There were used five body parameters and one index to compare these differences.

The obtained results showed that boys at the age of eight and nine years achieve higher mean values in almost all body dimensions, which affirm the fact that in this period boys are heavier and taller than girls. In comparison to Slovak population from 1976, higher mean values of stature and body weight were observed in monitored group. These findings provide existence of secular trend. Slovak population were only distinguished by the higher values of head width, in contrast to monitored children who have higher mean values of length of head, which confirm debrachycephalisation trend.

**Keywords:** development, anthropometry, body indices, secular trend

### Úvod

V ostatných dvoch storočiach pozorujeme relatívne výraznú zmenu rastového a vývinového tempa, ako aj zmeny v hodnotách niektorých telesných znakov. Deti v jednotlivých vekových kategóriách rastú a vyvíjajú sa rýchlejšie ako ich rovesníci v minulosti, vstupujú skôr do obdobia dospelosti a skôr sa u nich končí rast (akcelerácia).

Okrem veľkosti telesných častí sa však mení aj proporcionita tela, tzn., že priemerné hodnoty telesných parametrov súčasnej dospeléj populácie sú vyššie ako boli u dospelých v minulosti. Túto skutočnosť označuje termín sekulárny trend, ktorý sa týka najmä telesnej výšky, pričom hovorí o tom, že dospelí jedinci sú v súčasnosti vyšší ako boli tí pred viac ako

storočím (Rebato, 2007). Tento trend však zahŕňa aj detskú populáciu. Deti sú priemerne v dospelosti vyššie ako ich rodičia, pričom to platí zvlášť pre ženy a zvlášť pre mužov. Sekulárny trend bol zaznamenaný aj v hodnotách telesnej hmotnosti u detí aj dospelých, čo súvisí nielen so zmenou telesnej výšky (veľkosti tela), ale aj spomínanej proporcionality a telesnej stavby (Cole, 2003). Vo všeobecnosti dochádza k zvyšovaniu telesnej hmotnosti populácie, ako dospelých, tak aj detí. Tak ako sa zvyšuje priemerná telesná hmotnosť, zvyšuje sa aj priemerná telesná výška, čo potvrdzuje pozitívny sekulárny trend telesnej výšky. V ostatnej dobe však dochádza k spomaľovaniu tohto trendu, najmä u dievčat, u chlapcov naopak tento trend pokračuje, výraznejší je v predpubertálnom období.

### Cieľ

Hlavným cieľom štúdie je porovnať vybrané telesné rozmery a indexy dievčat a chlapcov v jednotlivých vekových kategóriách (7–9 rokov) a porovnať prezentované údaje sledovaného súboru s telesnými charakteristikami detí z roku 1976 (Hajniš, Brůžek, & Blažek 1989).

### Metodika

Sledovaný súbor pozostáva z 265 detí vo veku sedem až deväť rokov (Tabuľka 1). Decimálny vek bol stanovený použitím metódy podľa Weinera a Lourieho (1969) a vekové kategórie boli klasifikované podľa WHO (Svetová zdravotnícka organizácia). Merania probandov boli realizované v rokoch 2009–2010 a 2014–2015 na základných školách v Bratislavskom kraji.

**Tabuľka 1.** Počet detí v jednotlivých vekových kategóriách

| Věk (roky) | Chlapci | Dievčatá |
|------------|---------|----------|
| 7,00–7,99  | 52      | 47       |
| 8,00–8,99  | 44      | 38       |
| 9,00–9,99  | 45      | 39       |
| Spolu      | 141     | 124      |

Meranie telesných parametrov jednotlivých probandov bolo uskutočnené na základe štandardnej antropometrickej metodiky podľa Martina a Sallera (1957) a Fettera, Prokopce, Suchého a Titbalové (1967) a s použitím štandardných antropometrických prístrojov. V prezentovanej štúdii bolo použitých 8 telesných rozmerov zameraných na pravej strane tela a z nich následne vypočítané 3 indexy na zhodnotenie telesnej stavby jedincov (Tabuľka 2).

**Tabuľka 2.** Antropometrické rozmery a indexy telesnej stavby v sledovanom súbore

| Telesné rozmery                        |        |
|----------------------------------------|--------|
| Telesná hmotnosť (kg)                  | TH     |
| Telesná výška (cm)                     | TV     |
| Šírka hlavy (cm)                       | ŠHL    |
| Dĺžka hlavy (cm)                       | DHL    |
| Obvod hlavy (cm)                       | OHL    |
| Obvod pása (cm)                        | OP     |
| Obvod bokov (cm)                       | OB     |
| Obvod ramena uvoľneného (cm)           | ORu    |
| Indexy                                 |        |
| Index obvodu ramena ku odvodu hlavy    | OR/OHL |
| Index cephalicus (ICE – hlavový index) | ICE    |
| WHR index – Waist to Hip Ratio         | WHR    |
| Body Mass Index                        | BMI    |

Získané dáta boli štatisticky spracované v programe SPSS Statistics 19, použitý bol dvojvýberový t-test.

## Výsledky a diskusia

V sledovanom súbore detí sme zistili, že v skupine osem a deväť ročných detí dosahovali chlapci vyššie priemerné hodnoty telesných parametrov a indexov, z ktorých štatisticky významné rozdiely sa preukázali pre telesnej výšky, šírky a dĺžky hlavy, obvodu hlavy (Tabuľka 3) a v prípade indexov to bol WHR index (Tabuľka 4). Deti zo sledovaného súboru sa z hľadiska rastu a vývinu nachádzajú v období mladšieho školského veku, v ktorom sú ešte chlapci ťažší ako dievčatá, pričom rozdiel sa začne vyrovnávať na začiatku desiateho roku

života (Sedlak & Bláha, 2007). Štatisticky významný rozdiel v telesnej výške u osemročných detí potvrdzuje zákonitosť rastu a vývinu v tomto veku, kedy bývajú chlapci ešte vyšší ako dievčatá (Matejovičová et al., 2004). Výnimku tvorili sedem ročné dievčatá, ktoré boli naopak vyššie a ťažšie ako chlapci (Tabuľka 3) a rovnako dosahovali aj vyššie hodnoty indexov (Tabuľka 4). Bolo to pravdepodobne spôsobené tým, že niektoré dievčatá vykazovali vyššie hodnoty telesnej hmotnosti k výške a veku. Vyššie hodnoty telesnej výšky mali väčšinou probandy, u ktorých bola zistená aj vyššia telesná hmotnosť.

Tabuľka 3. Intersexuálne rozdiely vo vybraných telesných parametroch 7- až 9-ročných detí

| Vekové kategórie | Telesné rozmery | Chlapci |      | Dievčatá |      | t-test | p        |
|------------------|-----------------|---------|------|----------|------|--------|----------|
|                  |                 | M       | SD   | M        | SD   |        |          |
| 7-ročné deti     |                 | N = 52  |      | N = 47   |      |        |          |
|                  | TH (kg)         | 26,88   | 6,05 | 28,13    | 6,00 | -1,03  | n.s.     |
|                  | TV (cm)         | 128,50  | 6,74 | 128,64   | 6,61 | -0,10  | n.s.     |
|                  | ŠHL (cm)        | 14,18   | 0,48 | 14,03    | 0,48 | 1,55   | n.s.     |
|                  | DHL (cm)        | 17,18   | 0,67 | 17,31    | 0,63 | 0,99   | 0,001*   |
|                  | OHL (cm)        | 52,03   | 1,75 | 51,66    | 1,62 | 1,09   | n.s.     |
|                  | OP (cm)         | 56,32   | 5,86 | 56,78    | 5,85 | -0,39  | n.s.     |
|                  | OB (cm)         | 66,42   | 6,98 | 68,75    | 6,85 | -1,68  | n.s.     |
|                  | ORu (cm)        | 19,38   | 2,15 | 20,18    | 2,54 | -1,68  | n.s.     |
| 8-ročné deti     |                 | N = 44  |      | N = 38   |      |        |          |
|                  | TH (kg)         | 31,89   | 7,81 | 29,26    | 5,96 | 1,73   | n.s.     |
|                  | TV (cm)         | 134,93  | 6,96 | 131,89   | 6,09 | 2,11   | 0,042*   |
|                  | ŠHL (cm)        | 14,55   | 0,64 | 13,89    | 0,43 | 5,54   | 0,000*** |
|                  | DHL (cm)        | 17,80   | 0,78 | 17,38    | 0,61 | 2,80   | 0,008**  |
|                  | OHL (cm)        | 52,70   | 1,73 | 51,48    | 1,31 | 3,63   | 0,001**  |
|                  | OP (cm)         | 61,09   | 7,66 | 57,71    | 6,62 | 0,95   | n.s.     |
|                  | OB (cm)         | 71,51   | 7,86 | 70,30    | 7,03 | 0,46   | n.s.     |
|                  | ORu (cm)        | 20,85   | 2,68 | 20,37    | 2,53 | 0,48   | n.s.     |
| 9-ročné deti     |                 | N = 45  |      | N = 39   |      |        |          |
|                  | TH (kg)         | 36,48   | 8,83 | 34,38    | 8,66 | 1,10   | n.s.     |
|                  | TV (cm)         | 141,55  | 6,33 | 141,40   | 7,64 | 0,10   | n.s.     |
|                  | ŠHL (cm)        | 14,46   | 0,53 | 14,02    | 0,52 | 3,83   | 0,000*** |
|                  | DHL (cm)        | 18,09   | 0,75 | 17,37    | 0,57 | 4,99   | 0,000*** |
|                  | OHL (cm)        | 53,21   | 1,60 | 52,01    | 1,20 | 3,92   | 0,000*** |
|                  | OP (cm)         | 62,54   | 7,33 | 58,72    | 6,36 | 2,56   | 0,015*   |
|                  | OB (cm)         | 74,60   | 7,51 | 73,46    | 8,17 | 0,66   | n.s.     |
|                  | ORu (cm)        | 21,96   | 3,11 | 21,14    | 3,42 | 1,14   | n.s.     |

Poznámka: TH – telesná hmotnosť; TV – telesná výška; ŠHL – šírka hlavy; DHL – dĺžka hlavy; OHL – obvod hlavy; OP – obvod pásu; OB – obvod brucha; ORu – obvod ramena uvoľneného; M – priemer; p – p-hodnota; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; n.s. – nesignifikantné

Tabuľka 4. Intersexuálne rozdiely v hodnotách vybraných indexov 7- až 9-ročných detí

| Vekové kategórie | Indexy        | Chlapci |      | Dievčatá |       | t-test | p        |
|------------------|---------------|---------|------|----------|-------|--------|----------|
|                  |               | M       | SD   | M        | SD    |        |          |
| 7-ročné deti     |               | N = 52  |      | N = 47   |       |        |          |
|                  | OR/OHL (i.j.) | 0,37    | 0,04 | 0,39     | 0,045 | -2,14  | 0,038*   |
|                  | ICE (i.j.)    | 79,81   | 3,29 | 81,19    | 4,47  | -1,74  | n.s.     |
|                  | BMI (i.j.)    | 16,13   | 2,61 | 16,87    | 2,6   | -1,41  | n.s.     |
|                  | WHR (i.j.)    | 0,85    | 0,03 | 0,83     | 0,04  | 2,79   | 0,008**  |
| 8-ročné deti     |               | N = 44  |      | N = 38   |       |        |          |
|                  | OR/OHL (i.j.) | 0,40    | 0,05 | 0,40     | 0,05  | 0,49   | n.s.     |
|                  | ICE (i.j.)    | 81,88   | 5,15 | 80,03    | 3,83  | 1,86   | n.s.     |
|                  | BMI (i.j.)    | 17,37   | 3,30 | 16,73    | 2,77  | 0,96   | n.s.     |
|                  | WHR (i.j.)    | 0,85    | 0,04 | 0,82     | 0,04  | 1,16   | n.s.     |
| 9-ročné deti     |               | N = 45  |      | N = 39   |       |        |          |
|                  | OR/OHL (i.j.) | 0,41    | 0,05 | 0,41     | 0,06  | 0,00   | n.s.     |
|                  | ICE (i.j.)    | 80,03   | 3,93 | 80,76    | 4,11  | -0,83  | n.s.     |
|                  | BMI (i.j.)    | 18,03   | 3,35 | 17,07    | 3,45  | 1,29   | n.s.     |
|                  | WHR (i.i.)    | 0,84    | 0,03 | 0,8      | 0,03  | 6,09   | 0,000*** |

Poznámka: OR/OHL – Index obvodu ramena ku odvodu hlavy; ICE – hlavový index; BMI – Body Mass Index; WHR – Waist to Hip Ratio index; M – priemer; p – p-hodnota; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; n.s. – nesignifikantné

Pri porovnaní so slovenskou populáciou po 40. rokoch (Hajniš, Brůžek, & Blažek, 1989) sa potvrdil debrachycefalizačný trend. Kým slovenská populácia z roku 1976 mala zväčša brachycefalickú hlavu, v našom súbore sme zaznamenali úbytok brachycefalov a nárast mezocefalov a aj dolichocefalov (Tabuľky 5–7). Medzi sledovanými deťmi sa síce nevyskytuje veľa dolichocefalov, avšak ich počet je vyšší ako v bol v slovenskej populácii pred 40. rokov. Rovnako aj zistené hodnoty cefalického indexu udávajú smer debrachycefalizácie.

Mení sa teda tvar hlavy, ktorá sa vo všeobecnosti zužuje a predlžuje. Tento trend potvrdili rôzni autori vo svojich výskumoch, medzi inými napr. Krásničanová a Lesný (1998) v rokoch 1986, 1989, 1990, 1991, 1992, 1994 alebo Bláha et al.

(2010), ktorí dokonca zaznamenali pokles priemerných hodnôt hlavového indexu za ostatné dve desaťročia až dvojnásobne.

Potvrdil sa aj sekulárny trend, keďže priemerné hodnoty telesnej výšky boli u detí zo sledovaného súboru v porovnaní so slovenským výberom vyššie a vo väčšine aj vysoko, resp. veľmi vysoko signifikantné (Tabuľky 5–7). Výnimku tvorili len osemročné dievčatá, ktoré síce boli v priemere vyššie ako ich rovesníčky z roku 1976, ale tento rozdiel bol nevýznamný.

Signifikantne vyššie priemerné hodnoty telesnej hmotnosti sme zaznamenali v sledovanom súbore detí v porovnaní s priemernými hodnotami zistenými v populácii z roku 1976, čo poukazuje na negatívne aspekty sekulárneho trendu.

**Tabuľka 5.** Porovnanie vybraných parametrov v sledovanom súbore 7-ročných detí so slovenskou populáciou z roku 1976

| Telesné rozmery | 7-ročné dievčatá |      |                     |      |        |          | 7-roční chlapci |      |                     |      |        |          |
|-----------------|------------------|------|---------------------|------|--------|----------|-----------------|------|---------------------|------|--------|----------|
|                 | Sledovaný súbor  |      | Slovenská populácia |      | t-test | p        | Sledovaný súbor |      | Slovenská populácia |      | t-test | p        |
|                 | N = 47           |      | N = 160             |      |        |          | N = 52          |      | N = 158             |      |        |          |
|                 | M                | SD   | M                   | SD   | M      | SD       | M               | SD   |                     |      |        |          |
| TH (kg)         | 28,13            | 6,00 | 24,42               | 4,15 | 3,97   | 0,000*** | 26,88           | 6,05 | 24,98               | 4,42 | 2,09   | 0,041*   |
| TV (cm)         | 128,64           | 6,61 | 125,15              | 6,14 | 3,23   | 0,002**  | 128,50          | 6,74 | 124,52              | 5,96 | 3,79   | 0,000*** |
| ŠHL (cm)        | 14,03            | 0,48 | 14,55               | 0,49 | -6,50  | 0,000*** | 14,18           | 0,48 | 14,90               | 0,54 | -9,07  | 0,000*** |
| DHL (cm)        | 17,31            | 0,63 | 16,92               | 0,62 | 3,75   | 0,000*** | 17,78           | 0,67 | 17,30               | 0,61 | 4,57   | 0,000*** |
| OHL (cm)        | 51,66            | 1,62 | 51,30               | 1,46 | 1,37   | n.s.     | 52,03           | 1,75 | 52,04               | 1,35 | -0,04  | n.s.     |
| ICE             | 81,19            | 4,44 | 86,11               | 4,09 | -6,80  | 0,000*** | 79,81           | 3,29 | 86,60               | 4,13 | -12,05 | 0,000*** |

Poznámka: TH – telesná hmotnosť; TV – telesná výška; ŠHL – šírka hlavy; DHL – dĺžka hlavy; OHL – obvod hlavy; ICE – hlavový index; M – priemer; p – p-hodnota; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; n.s. – nesignifikantné

**Tabuľka 6.** Porovnanie vybraných parametrov v sledovanom súbore 8-ročných detí so slovenskou populáciou z roku 1976

| Telesné rozmery | 8-ročné dievčatá |      |                     |      |        |          | 8-roční chlapci |      |                     |      |        |          |
|-----------------|------------------|------|---------------------|------|--------|----------|-----------------|------|---------------------|------|--------|----------|
|                 | Sledovaný súbor  |      | Slovenská populácia |      | t-test | p        | Sledovaný súbor |      | Slovenská populácia |      | t-test | p        |
|                 | N = 38           |      | N = 148             |      |        |          | N = 44          |      | N = 149             |      |        |          |
|                 | M                | SD   | M                   | SD   | M      | SD       | M               | SD   |                     |      |        |          |
| TH (kg)         | 29,26            | 5,96 | 26,83               | 4,41 | 2,35   | 0,023*   | 31,89           | 7,81 | 26,86               | 4,00 | 4,12   | 0,000*** |
| TV (cm)         | 131,89           | 6,09 | 130,95              | 6,35 | 0,84   | n.s.     | 134,93          | 6,96 | 129,95              | 5,83 | 4,32   | 0,000*** |
| ŠHL (cm)        | 13,89            | 0,43 | 14,64               | 0,51 | -9,22  | 0,000*** | 14,55           | 0,64 | 14,99               | 0,54 | -4,15  | 0,000*** |
| DHL (cm)        | 17,38            | 0,61 | 16,7                | 0,56 | 6,23   | 0,000*** | 17,81           | 0,78 | 17,36               | 0,65 | 3,49   | 0,001**  |
| OHL (cm)        | 51,48            | 1,31 | 51,52               | 1,38 | -0,17  | n.s.     | 52,7            | 1,73 | 52,32               | 1,49 | 1,32   | n.s.     |
| ICE             | 80,03            | 3,83 | 86,4                | 4,24 | -8,94  | 0,000*** | 81,88           | 5,15 | 86,4                | 4,15 | -5,33  | 0,000*** |

Poznámka: TH – telesná hmotnosť; TV – telesná výška; ŠHL – šírka hlavy; DHL – dĺžka hlavy; OHL – obvod hlavy; ICE – hlavový index; M – priemer; p – p-hodnota; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; n.s. – nesignifikantné

**Tabuľka 7.** Porovnanie vybraných parametrov v sledovanom súbore 9-ročných detí so slovenskou populáciou z roku 1976

| Telesné rozmery | 9-ročné dievčatá |      |                     |      |        |          | 9-roční chlapci |      |                     |      |        |          |
|-----------------|------------------|------|---------------------|------|--------|----------|-----------------|------|---------------------|------|--------|----------|
|                 | Sledovaný súbor  |      | Slovenská populácia |      | t-test | p        | Sledovaný súbor |      | Slovenská populácia |      | t-test | p        |
|                 | N = 39           |      | N = 143             |      |        |          | N = 45          |      | N = 144             |      |        |          |
|                 | M                | SD   | M                   | SD   | M      | SD       | M               | SD   |                     |      |        |          |
| TH (kg)         | 34,38            | 8,66 | 29,75               | 4,68 | 3,21   | 0,003**  | 36,48           | 8,83 | 30,8                | 5,04 | 4,11   | 0,000*** |
| TV (cm)         | 141,40           | 7,64 | 135,64              | 5,91 | 4,37   | 0,000*** | 141,55          | 6,33 | 137,27              | 5,87 | 4,03   | 0,000*** |
| ŠHL (cm)        | 14,02            | 0,52 | 14,75               | 0,46 | -7,96  | 0,000*** | 14,46           | 0,53 | 15,19               | 0,52 | -8,10  | 0,000*** |
| DHL (cm)        | 17,37            | 0,57 | 17,13               | 0,54 | 2,36   | 0,022*   | 18,09           | 0,75 | 17,53               | 0,59 | 4,59   | 0,000*** |
| OHL (cm)        | 52,01            | 1,20 | 52,10               | 1,29 | -0,41  | n.s.     | 53,21           | 1,60 | 52,90               | 1,31 | 1,18   | n.s.     |
| ICE             | 80,76            | 4,11 | 86,210              | 3,94 | -7,41  | 0,000*** | 80,03           | 3,93 | 86,37               | 4,16 | -9,31  | 0,000*** |

Poznámka: TH – telesná hmotnosť; TV – telesná výška; ŠHL – šírka hlavy; DHL – dĺžka hlavy; OHL – obvod hlavy; ICE – hlavový index; M – priemer; p – p-hodnota; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; n.s. – nesignifikantné

## Záver

Vo väčšine parametrov vykazovali vyššie priemerné hodnoty chlapci vo veku osem a deväť rokov. Toto zistenie je v súlade s faktom, že chlapci bývajú do desiateho roku života ťažší a vyšší ako dievčatá. Výnimka bola v kategórii sedem ročných,

kde dievčatá boli vyššie a ťažšie ako chlapci, čo mohlo byť v dôsledku vyššej telesnej hmotnosti a výšky k veku.

Pri porovnaní so slovenskou populáciou po 40. rokoch (Hajniš, Brůžek, & Blažek, 1989) sa potvrdil debrachycefalizačný trend. V sledovanom súbore sme zistili nižší výskyt bra-

chycefalov a nárast mezocefalov a aj dolichocefalov. Výsledky poukazujú aj na sekulárny trend, keďže priemerné hodnoty telesnej výšky boli u detí zo sledovaného súboru v porovnaní so slovenským výberom vyššie. Nepotvrdili sa však len pozitívne aspekty sekulárneho trendu, ale i tie negatívne. V sledovanom súbore detí vo všetkých vekových skupinách sme zaznamenali významne vyššie priemerné hodnoty telesnej hmotnosti. Toto zistenie je alarmujúce, nakoľko sa týmto poukazuje na negatívne stránky sekulárneho trendu, ktorými sú okrem zvýšenej prevalence obezity aj hypertenzia, či stres.

### PodĎakovanie

Naše poďakovanie patrí všetkým jedincom, ktorí sa dobrovoľne zúčastnili meraní a podpore GUK s č. UK/459/2016.

### Súhrn

Štúdia sa venuje porovnávaniu chlapcov a dievčat vo veku sedem až deväť rokov, navštevujúcich prvý stupeň základných škôl v Bratislavskom kraji, so súborom slovenských detí sledovaných v roku 1976 Hajnišom, Brůžekom a Blažekom (1989), ako aj sledovaniu intersexuálnych rozdielov v rámci skúmaného súboru. Antropometrického merania sa celkovo zúčastnilo 265 detí, z čoho bolo 141 chlapcov a 124 dievčat.

V práci sme sa zamerali na osem telesných rozmerov, z ktorých boli následne vypočítané štyri indexy. Základným cieľom bolo potvrdiť rozdiely medzi pohlaviami, zhodnotiť zmeny v telesnej stavbe slovenských detí po takmer 40. rokoch. Pri porovnávaní sledovaného súboru a slovenskej populácie sme hodnotili rozdiely hodnôt piatich telesných rozmerov a jedného indexu.

Na základe získaných výsledkov môžeme skonštatovať, že vyššie priemerné hodnoty vykazujú takmer vo všetkých rozmeroch chlapci, a to vo veku osem a deväť rokov, čo potvrdzuje fakt, že chlapci bývajú v tomto veku vyšší a ťažší ako dievčatá. Výnimku tvoria iba sedemročné deti, kde boli zaznamenané vyššie priemerné hodnoty väčšiny rozmerov u dievčat. V porovnaní so slovenskou populáciou z roku 1976 sme zaznamenali vyššie priemerné hodnoty telesnej výšky a hmotnosti u detí z nášho súboru, čo poukazuje na sekulárny trend. Výsledky poukazujú i na tzv. debrachycefalizačný trend, keďže v sledovanom súbore 7- až 9-ročných detí z Bratislavy sme zaznamenali úbytok brachycefalov a nárast mezocefalov a aj dolichocefalov.

**Kľúčové slová:** vývin, antropometria, telesné indexy, sekulárny trend

### Literatúra

- Bláha, P., Hrušková, M., Krejčovský, L., Kobzová, J., Riedlová, J., & Vignerová, J. (2010). *Růst a vývoj českých dětí ve věku od narození do šesti let. Antropologický výzkum*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta.
- Cole, T. J. (2003). The secular trend in human physical growth: a biological view. *Economics and Human Biology*, 1, 161–168.
- Fetter, V., Prokopec, M., Suchý, J., & Titbalová, S. (1967). *Antropologie*. Praha: Academia.
- Hajniš, K., Brůžek, J., & Blažek, V. (1989). *Růst českých a slovenských dětí*. 1. vyd. Praha: Academia.
- Krásničanová, H., & Lesný, P. (1998). *Kompendium pediatrické auxologie*. Podporováno grantem GAUK 184/98.
- Martin, R., & Saller, K. (1957). *Lehrbuch der Anthropologie in der systematischer Darstellung*. Stuttgart: G. Fischer Verlag.
- Matejovičová, B., Balla, Š., Koldeová, M., Šedivá, K., Vondráková, M., & Vondrák, D. (2004). *Biologie dětí a vybrané kapitoly z hygieny*. Nitra: Univerzita Konštantína

Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied, Katedra zoológie a antropológie.

- Rebato, E. (2007). The secular trend in physical anthropology. In Bláha, P., Susanne, Ch., & Rebato, E. (Eds.). *Essentials of biological anthropology (Selected chapters)* (pp. 260–269). Praha: The Karolinum press.
- Sedlák, P., & Bláha, P. (2007). Onthogenetic development of the man. In Bláha, P., Susanne, Ch., & Rebato, E. (Eds.): *Essentials of biological anthropology (Selected chapters)* (pp. 161–217). Praha: The Karolinum press.
- Weiner, J. S., & Lourie, J. A. (1969) *Human biology: A Guide to fields methods, IBP Handbook*, 9. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

- Uhrová, P., Stahlová, K., Neščáková, E., Zeman, T., Bodoriková, S., Fuchsová, M., Kramárová, D., & Beňuš, R. (2016). Sledovanie zmien telesných parametrov 7- až 9-ročných detí z Bratislavského kraja. *Česká antropologie*, 66(2), 37–40.