

**Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Antropologie a genetika člověka



Bc. Simona Cibulková

**Geometricko-morfometrický přístup k věkové
a pohlavní variabilitě acetabula**

**Geometric-morphometric approach to age and sex
variability of the acetabulum**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. RNDr. Jaroslav Brůžek, CSc., Ph.D.

Konzultanti: Mgr. Anežka Kotěrová, Ph.D.

Mgr. Rebeka Rmoutilová, Ph.D.

Praha, 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 25.04.2022

.....
Simona Cibulková

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému školiteli prof. RNDr. Jaroslavu Brůžkovi, CSc., Ph.D. za trpělivost, cenné rady a připomínky. Dále svým konzultantkám Mgr. Rebece Rmoutilové, Ph.D. a Mgr. Anežce Kotěrové, Ph.D. za podnětné připomínky, pomoc při statistickém zpracování a také za poskytnutí materiálu.

Obsah

Abstrakt.....	5
Seznam zkratek a pojmů	7
1 Úvod	9
2 Anatomie kyčelního kloubu	11
2.1 Acetabulum	11
2.2 Chrupavka	15
2.3 Vazivo	15
2.4 Femur	16
2.5 Dynamika pohybu a síly působící na kyčelní kloub	17
3 Faktory ovlivňující morfologii acetabula	19
3.1 Věk	19
3.2 Pohlaví.....	22
3.3 Aktivita.....	23
3.4 Obezita, strava a prostředí.....	25
3.5 Patologie a genetické faktory	27
3.6 Lokomoce.....	29
3.7 Mezipopulační rozdíly	30
4 Odhad věku dožití a pohlaví v bioarcheologii.....	31
4.1 Význam acetabula pro odhad věku dožití a pohlaví	32
4.2 Geometricko-morfometrické metody	35
5 Cíle a hypotézy	36

6	Materiál.....	37
7	Metody.....	39
7.1	Získání dat a digitalizace landmarků.....	39
7.2	Zpracování dat.....	40
7.3	Analytické metody	40
7.4	Intraobservační chyba při digitalizaci landmarků.....	43
8	Výsledky.....	44
8.1	Vliv pohlaví a věku na velikost a tvar acetabula.....	44
8.2	Vliv pohlaví, velikosti a věku na tvar acetabula	46
8.3	Vliv pohlaví a věku na formu acetabula	54
8.4	Kanonická variační analýza	60
8.4.1	Tvar acetabula	60
8.4.2	Forma acetabula	65
9	Diskuze.....	71
10	Závěr	76
11	Přehled použité literatury.....	78
12	Seznam příloh	91

Abstrakt

Tato práce analyzovala pomocí 3D geometricko-morfometrického přístupu věkové a pohlavní rozdíly, vyskytující se v oblasti *facies lunata* pánevní kosti. Acetabulum 240 jedinců obou pohlaví ve věku od 20 do 90 let, pocházejících ze 3 geografických oblastí, bylo porovnáno prostřednictvím landmarků a semilandmarků, rozmístěných podél okraje *facies lunata*. Práce navázala na studii San-Millán et al. (2017a), v níž bylo acetabulum zkoumáno pomocí 2D geometricko-morfometrického přístupu. Analýzy v této práci ukázaly, že velikost, pohlaví i věk významně ovlivňují tvar acetabula. Rozdíly mezi pohlavími spočívají ve velikosti a hloubce acetabula, šířce *incisura acetabuli*, v nárůstu kosti na rozích *facies lunata* a podél jejího okraje. Pozorované změny spojené s věkem jsou sdíleny muži i ženami a zdá se, že souvisejí s postupným ukládáním kosti podél vnějšího okraje *facies lunata*, na rozích *facies lunata*, i ve *fossa acetabuli*, která má tendenci ztrácet morfologii jetelového listu se třemi laloky. Výsledky geometricko-morfometrické analýzy v našem souboru naznačují, že acetabulum je vhodnější spíše pro odhad věku jedinců mladších 65 let.

Klíčová slova:

Bioarcheologie, forenzní antropologie, odhad věku, odhad pohlaví, acetabulum, *facies lunata*, populační specifická, analýza hlavních komponent, kanonická variační analýza

Abstract

This thesis compared age and sex differences in lunate surface morphology using a 3D geometric-morphometric approach. The acetabulum of 240 individuals was compared using landmarks and semilandmarks placed along the edge of the lunate surface. The individuals ranged in age from 20 to 90 and came from three geographic areas. This thesis was based on the study of San-Millán et al. (2017a) that used a 2D geometric-morphometric approach to investigate the shape of the acetabulum. Analyses in this thesis showed that size, sex, and age significantly affect the acetabular shape. The differences between both sexes can be observed in the size and depth of the acetabulum, the width of the acetabular notch, and the amount of bone growth at the acetabular horns and along the edges of the lunate surface. Both sexes exhibit age-related changes, which are linked to gradual deposits of bone along the edge of the lunate surface, the acetabular horns, and the acetabular fossa, which tends to lose the 3-lobed cloverleaf shape. According to the geometric-morphometric analysis conducted in this thesis, the acetabulum provides more accurate age estimates for individuals younger than 65 years of age.

Keywords:

Bioarchaeology, forensic anthropology, age estimation, sex estimation, acetabulum, lunate surface of hip bone, population specificity, principal component analysis, canonical variational analysis

Seznam zkratek a pojmů

ANOVA – analýza rozptylu (z anglického „analysis of variance“)

BMI – index tělesné hmotnosti (z anglického „body mass index“)

CEI/XXI - portugalská kosterní sbírka jedinců, kteří žili v 20. a 21. století (z anglického „The 21st Century Identified Skeletal Collection“)

CISC – portugalská kosterní sbírka jedinců, kteří žili v 19. a 20. století (z anglického „The Coimbra Identified Skeletal Collection“)

CS – bezrozměrná veličina označující v geometrické morfometrii míru velikosti (z anglického „centroid size“)

CT – počítačová tomografie (z anglického „computer tomography“)

CVA – kanonická variační analýza (z anglického „canonical variate analysis“)

GPA – prokrustovská analýza (z anglického „generalized Procrustes analysis“)

LOO – křížová validace „odlož-jeden-mimo“ (z anglického „leave-one-out“)

LM – význačný bod (z anglického „landmark“)

MSS – celkový průměrný čtverec (z anglického „mean sum of squares“)

PERMANOVA – permutační analýza variance (z anglického „permutational multivariate analysis of variance“)

PCA – analýza hlavních komponent (z anglického „principal component analysis“)

RANKL – faktor zvyšující diferenciaci buněk kostní dřeně v osteoklasty a zvyšující aktivitu zralých osteoklastů v odbourávání kosti (z anglického „receptor activator of nuclear factor kappa-B ligand“)

SS – celková suma čtverců (z anglického „sum of squares“)

TNF α – faktor nádorové nekrózy (z anglického „tumor necrosis factor“)

2D – dvourozměrná

3D – trojrozměrná

Forma – kombinace velikosti a tvaru (Klingenberg, 2016).

Platnost (validity) – zjišťuje, jestli metoda opravdu měří to, co je od ní očekáváno (Hendl, 2009).

Přesnost, správnost (precision) – vzdálenost měřené či počítané veličiny od její skutečné hodnoty (Sokal a Rohlf, 2009).

Spolehlivost (reliability) – u metody hodnocena na nezávislém vzorku jiné populace (Brůžek a Murail, 2006), např. míra shody správnosti v testovacím a testovaném souboru.

Úspěšnost (accuracy) – procento správné klasifikace věku a pohlaví ve vzorku, na kterém byla metoda zpracována (Brůžek a Murail, 2006; Chapman et al., 2014)

Tvar – soubor geometrických vlastností objektu, neměnných vzhledem k velikosti, poloze a orientaci v prostoru. Ke kvantifikaci rozdílu ve tvaru dvou objektů lze použít prokrustovskou analýzu, při které jsou oba objekty, dané landmarky, převedeny na stejnou velikost a jsou posunuty a rotovány tak, aby byl součet čtverců vzdáleností mezi odpovídajícími landmarky minimální. Druhá odmocnina součtu čtverců vzdáleností mezi odpovídajícími landmarky je tzv. prokrustovská vzdálenost, kterou nelze odstranit změnou měřítka, posunutím nebo otočením, a je proto užitečná jako míra rozdílu tvaru (Bookstein, 1991; Klingenberg, 2016; Zelditch et al., 2004).

Věk biologický (fyziologický) – hodnotí fyziologický stav jedince. Vyjadřuje souhrn opotřebení. Je ovlivňován vnitřními i vnějšími faktory, např. aktivitou, výživou, obezitou, nemocemi, zraněními (Kotěrová, 2020).

Věk chronologický (kalendářní) – měřen počtem let od narození. Je nezávislý na okolních faktorech a neinformuje o stupni biologického vývoje (Kotěrová, 2020)

1 Úvod

Ve forenzní antropologii a bioarcheologii je odhad věku a pohlaví, spolu s odhadem výšky a původu, součástí biologického profilu jedince. Úspěšné a spolehlivé metody odhadu těchto charakteristik u zemřelých jedinců jsou nesmírně důležité – ve forenzní antropologii mohou nepřesné odhady vyloučit správného jedince, v bioarcheologii mohou vést např. ke zkresleným odhadům věku dožití v minulých populacích.

Odhad věku u dospělých jedinců je však pro antropology poměrně obtížný, na rozdíl od odhadu věku u nedospělých jedinců, kde se změny, související s věkem, řídí podle předvídatelných vývojových vzorců. U dospělých jedinců jsou věkově závislé změny na kostech dále ovlivňovány složitějšími interakcemi vnitřního i vnějšího prostředí, lišícího se mezi různými jedinci. K odhadům věku u dospělých jedinců jsou často využívány metody, zkoumající změny na kloubních plochách, které vykazují věkově závislé a/nebo degenerativní změny, přičemž degenerativní změny korelují s věkem méně než změny věkově závislé. Degenerativní změny kostry je obtížné kvantifikovat, neboť podléhají mnoha vlivům (např. vliv genů, výživy, obezity, nadměrné mechanické zátěže nebo aktivity) a jsou výraznější a variabilnější u starších jedinců. Navíc se mohou během života jednotlivce prohloubit či zrychlit a tento efekt se může s postupujícím věkem promítnout do další snížené úspěšnosti odhadu věku (Milner, 2012). Odhadu věku u staršího dospělého jedince se tak často dosahuje obtížněji a je méně úspěšný než odhad věku u mladšího dospělého jedince. Metody odhadu věku mají navíc tendenci podhodnocovat věk u nejstarších jedinců (Buikstra a Ubelaker, 1994).

Klíčovým krokem ve vývoji úspěšnějších a spolehlivějších metod odhadu věku je identifikace relevantních kosterních indikátorů a ověření metod, na nich založených. Množství metod je založeno na odhadech věku dle pánevní kosti, zejména podle pubické symfýzy (Brooks a Suchey, 1990; Schmitt, 2004) a *facies auricularis* (Buckberry a Chamberlain, 2002; Lovejoy a kol., 1985; Schmitt, 2004). Časté nedochování pubické symfýzy či méně úspěšný odhad věku u starších jedinců znemožňují její použitelnost jako ukazatele věku, zejména u starších jedinců. V posledních desetiletích byly vyvinuty metody odhadu věku podle acetabula (Rissech et al., 2006; 2007; Rougé-Maillart et al., 2004; 2007; 2009, San-Millán et al., 2017b), které se vyznačují vysokou úspěšností odhadu věku, a to i u starších jedinců (Rissech et al., 2006; San-Millán et al., 2017b). Acetabulum se dochovává častěji než pubická symfýza a má srovnatelnou zachovalost

jako *facies auricularis* (Haglund, 1989; Waldron, 1987). Změny, pozorované na kyčelním kloubu, jsou spíše věkově závislé, nicméně jejich povaha zůstává stále nejasná.

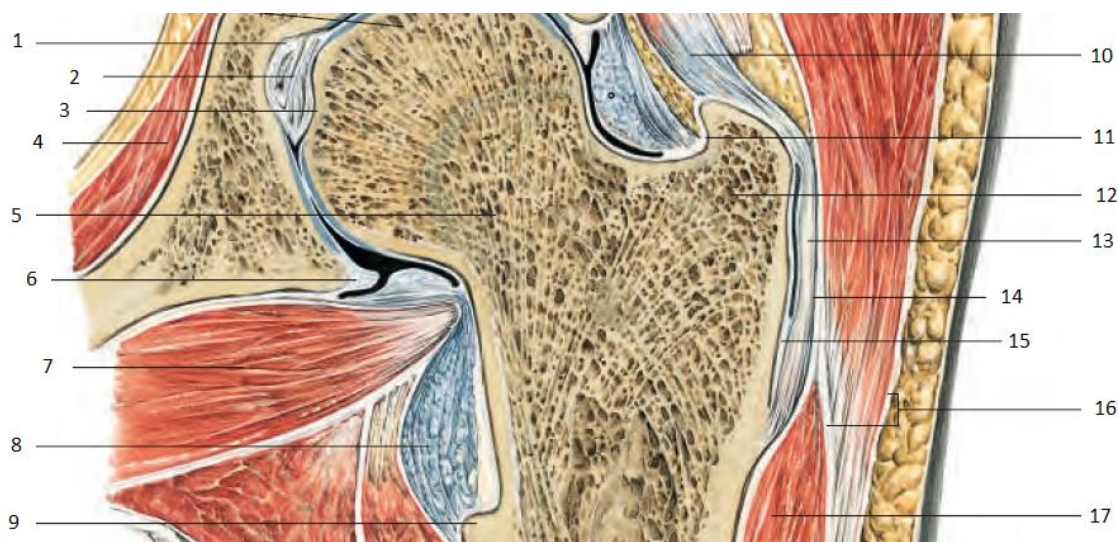
Nejčastěji používanými metodami odhadu věku jsou makroskopické analýzy změn na kostech, a to pro svou snadnou a přímou aplikaci. Makroskopická metoda odhadu věku podle acetabula si prošla, jako ostatní metody, svým vývojem (Rougé-Maillart et al., 2004; Rissech et al., 2006; 2007; Rougé-Maillart et al., 2007; Stull a James, 2010; Calce a Rogers, 2011; Calce 2012; Mays 2012; San-Millán et al., 2017a; 2017b; 2019; Winburn, 2017; 2018; Rissech et al., 2019; Muñoz-Silva et al.; 2020), během něhož byla zlepšována úspěšnost a spolehlivost metody. Měnil se systém hodnocení znaků, docházelo k její validaci a revizi, měnil se počet znaků, charakter jejich hodnocení a byl popsán pohlavní dimorfismus věkových změn na acetabulu. V roce 2017 (San-Millán et al., 2017a) byla použita pro kvantifikaci vlivu věku a pohlaví na tvar acetabula 2D geometrická morfometrie.

Cílem této diplomové práce je analyzovat tvarové rozdíly acetabula související s věkem a pohlavím dospělého člověka, a to pomocí 3D geometricko-morfometrické analýzy s využitím tzv. sliding semilandmarků.

2 Anatomie kyčelního kloubu

Pánevní kost (*os coxae*) tvoří pletenec dolní končetiny (*cingulum membri inferioris*). *Os coxae* je spojením tří na začátku ontogeneze původně samostatných kostí – kyčelní kosti (*os ilium*), sedací kosti (*os ischii*) a stydké kosti (*os pubis*) (Čihák 2011; Dylevský et al. 2009). Tyto kosti se společně podílejí na acetabulu, jamce kyčelního kloubu.

Kyčelní kloub (*articulatio coxae*) je geometrickým typem kloubu kulovitěho omezeného, ve kterém omezuje rozsah pohybu hloubka jamky kyčelního kloubu (obr. 1). Je tvořen hlavicí stehenní kosti (*caput femoris*) a jamkou kyčelního kloubu (*acetabulum*) (Čihák, 2011).



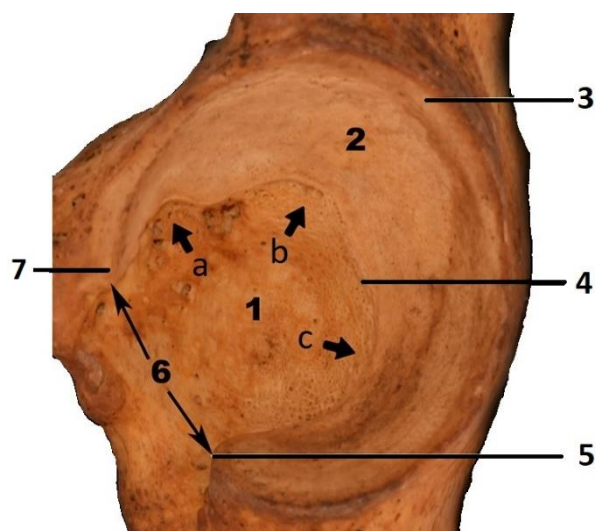
Obrázek 1. Koronální řez levým kyčelním kloubem. Popis: 1 fossa acetabuli, 2 ligamentum capitis femoris, 3 fovea capitis femoris, 4 obturatorius internus, 5 collum femoris, 6 labrum acetabulare, 7 obturatorius externus, 8 šlacha *m. iliopsoas*, 9 trochanter minor, 10 *gluteus minimus*, 11 fossa trochanterica, 12 trochanter major, 13 šlacha *m. gluteus maximus*, 14 bursa trochanterica *m. glutei maximimi*, 15 bursa trochanterica *m. glutei medii*, 16 tractus iliotibialis, 17 vastus lateralis (upraveno dle Standring, 2016).

2.1 Acetabulum

Acetabulum je polokulovitá jamka v kyčelní kosti, která je obrácena ventrálně a skloněna laterokaudálně. Tvar a orientace acetabula jsou pro každého člověka jedinečné. Na acetabulu, které má tvar polokoule o poloměru asi 2,5 cm, se nerovnoměrně podílí všechny tři složky pánevní kosti. *Os pubis* tvoří anteriosuperiorní pětinu kloubního povrchu, *os ischii* tvoří dno *fossa acetabuli* a cca dvě pětiny posteroinferiorní artikulující části a *os ilium* tvoří superiorní část acetabula (Standring, 2016).

Nejmohutnější částí acetabula je jeho horní okraj, zesílený dvěma systémy kostních trámců (tzv. ilioischiálním a iliopubickým pilířem). Tento horní okraj acetabula (tzv. stříška) často osifikuje samostatně. Velikost a sklon horního okraje mají význam pro stabilizaci a upevnění hlavice stehenní kosti v kloubní jamce (Dylevský, 2000). Horní okraj acetabula převyšuje střed hlavice stehenní kosti asi o 30 stupňů (Kapandji, 1987).

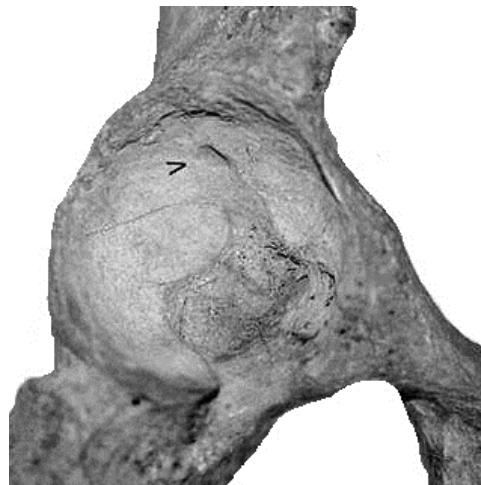
Okraj kloubní jamky se dorzálně zvedá v ostrou hranu *margo acetabuli*. Její ventrokaudální okraj je přerušen hlubokým zářezem *incisura acetabuli*. Prstencovitá anatomická struktura *labrum acetabulare*, fibroartilaginózní okraj, který je připojen k acetabulárnímu okraji, slouží k prohloubení acetabula a přemostění *incisura acetabuli* připojením k perifernímu okraji příčného acetabulárního vazů (Standring, 2016). Tím, že labrum obklopuje hlavici stehenní kosti, přispívá ke stabilitě artikulace. Jeho bázi tvoří vazivová chrupavka, volný konec je složen z husté vazivové tkáně. Výška labra nabývá nejvyšších hodnot ve své dorsální a kraniální části, kde dosahuje průměru až 10 mm (Nishii et al., 2007). Acetabulární labrum také zvětšuje kontaktní plochu kloubu, utěsňuje kloub a umožňuje optimální intraartikulární distribuci synoviální tekutiny. Taktéž usnadňuje výživu kloubní chrupavky, pomáhá snižovat nitrokloubní tření a hraje roli brzdy během extrémního pohybu díky tomu, že se vyhýbá přímému kontaktu mezi femorálním krčkem a kostěným acetabulárním lemem (Standring, 2016).



Obrázek 2. Acetabulum z laterální distální strany, levé. Popis: 1 *Fossa acetabuli* - neartikulující povrch v acetabulu, tři šipky zvýrazňují tři laloky *fossa acetabuli*: a) anteriorní, b) superiorní a c) posteriorní, 2 *Facies lunata* - kloubní povrch v acetabulu, artikulace pánevní kosti a hlavice stehenní kosti, 3 Okraj ohraničující acetabulum, 4 Vnější okraj *fossa acetabuli* - hranice mezi *facies lunata* a *fossa acetabuli*, 5 Vrchol posteriorního rohu (apexu) *facies lunata*, 6 *Incisura acetabuli* - mezi dvěma rohy (apexy) *facies lunata*, 7 Vrchol anteriorního rohu (apexu) *facies lunata* (upraveno podle San-Millán et al., 2017b).

V jamce kyčelního kloubu se nachází kloubní ploška *facies lunata* (obr. 2), která má tvar podkovy, otevřené ventrokaudálně, a je pokrytá kloubní chrupavkou. *Facies lunata* se směrem k oběma rohům zužuje. Střed acetabula je prohlouben o 3 až 5 milimetrů a tvoří nepravidelnou jamku zvanou *fossa acetabuli*, na niž nepůsobí hmotnost těla. Přispívá svým tvarem a velikostí k rovnoměrnějšímu rozdělení kloubního kontaktního napětí a následnému snížení maximálního kontaktního napětí v kyčelním kloubu (Daniel et al., 2003).

Jamka (*fossa acetabuli*) má nepravidelný tvar jetelového listu (Rissech, 2001), a tři laloky – superiorní (obr. 2, detail 1b), anteriorní (obr. 2, detail 1a) a posteriorní (obr. 2, detail 1c). Superiorní lalok je ze všech tří laloků morfologicky nejlépe definovaný a nachází se na kyčelní kosti. Anteriorní lalok se nachází na stydké kosti mezi *incisura acetabuli* a spojením kyčelní a stydké kosti, a posteriorní lalok na sedací kosti mezi *incisura acetabuli* a spojením kyčelní a sedací kosti. Morfologie jetelového listu je jasně definována u všech jedinců ve věku do 30 let, ve věkové skupině nad 30 let se tvar jamky acetabula stává méně výrazným (Govsa, 2005) a u starších jedinců se téměř zakulacuje (San-Millán et al., 2017a). Tyto laloky by mohly být pozůstatkem úponu *ligamentum teres*, popsaného u fétu (Boucher, 1957).



Obrázek 3. Izolovaný defekt nad superiorním lalokem označen šipkou (Govsa, 2005).

U některých jedinců lze nalézt izolovaný defekt nad superiorním lalokem (obr. 3), narušující *facies lunata* (Gupta, 2001). Tento defekt může být pozůstatkem acetabulární epifýzy – druhého osifikační jádra (Govsa, 2005). Znak se ve studii San Millán et al. (2017a) nejčastěji vyskytoval u nejmladší věkové skupiny (muži 6,7 %; ženy 14,9 %), u skupin středního věku byl výskyt nižší (muži: 3,6 %; ženy: 5,8 %) a nejnižší výskyt (muži: 0,0 %, ženy: 2,6 %) byl zjištěn u nejstarších jedinců. Zmenšení jamky může být

podmíněno věkem a s ním přicházející částečnou nebo úplnou obliterací výrazněji prodlouženého superiorního laloku (Arsuaga, 1990). Uvedený defekt ve formě rýhy nebo dolíku tak může být rovněž pozůstatkem prodlouženého superiorního laloku, který byl následně překryt věkovými změnami.

Nepravidelný tvar anteriorního a posteriorního rohu *facies lunata* zřejmě souvisí s rozdílnou flexibilitou obou rohů (Lazennec, 2004). Posteriorní roh se zdá být mnohem flexibilnější ve tvaru než anteriorní roh, což zřejmě souvisí s přenosem vyššího intraartikulárního tlaku (Govsa, 2005). Zadní část acetabula je totiž vystavena tlakům nižším.

Fossa acetabuli je vyplněna polštářkem tukového vaziva (*pulvinar acetabuli*), který je tvořen vazivovou tkání s množstvím buněčných tukových elementů a je pokryt synoviální membránou. *Pulvinar acetabuli* má během ontogeneze i pozdějšího průběhu života vyživující funkci. Kost je v této oblasti tenká pouze několik milimetrů (Dylevský, 1995). V jamce je také připojeno *ligamentum teres*, vazivo, omezující pohyblivost stehenní kosti (White, 2005) a poskytující stabilitu, a také další vazy kyčelního kloubu a chrupavčité labrum (Sariali et al., 2008).

Acetabulum má tvar více asférický než hlavičky stehenní kosti (Bullough et al., 1968). Superiorní oblast jamky kyčelního kloubu je zároveň více asférická než oblast posteroinferiorní. Tvar acetabula lze označit jako rotační elipsoid (Gu, 2008). Mapování vzdálenosti mezi jamkou kyčelního kloubu a stehenní kostí ve studii od Akiyama (2015) ukázalo, že vzdálenost mezi jamkou kyčelního kloubu a stehenní kostí měla tendenci se snižovat směrem k anteriornímu a posterosuperiornímu okraji (a zvyšovat se směrem k posteroinferiornímu nebo anterosuperiornímu okraji), tedy v místech, kde se nejčastěji objevují labrální trhliny a chondrální léze (Schmid, 2003). Von Eisenhart-Rothe (1999) ukázal, že v poloze vzpřímeného stoje začíná kontakt mezi hlavicí stehenní kosti a jamkou kyčelního kloubu na periférii *facies lunata*. Udává také, že hlavní oblasti kontaktu mezi dvěma uvedenými kostmi jsou na anteriorním a posteriorním okraji a na stříšce acetabula. V rámci subchondrální hustoty kostí studie zjistila maximální hustotu na okraji acetabula a klesající hustotu směrem k *fossa acetabuli* (von Eisenhart-Rothe, 1999). V acetabulu i u stehenní kosti má trabekulární kost, nacházející se pod kortikální skořepinou, podpůrnou funkci, neboť umožňuje deformaci bez strukturálního poškození (Radin, 1986).

2.2 Chrupavka

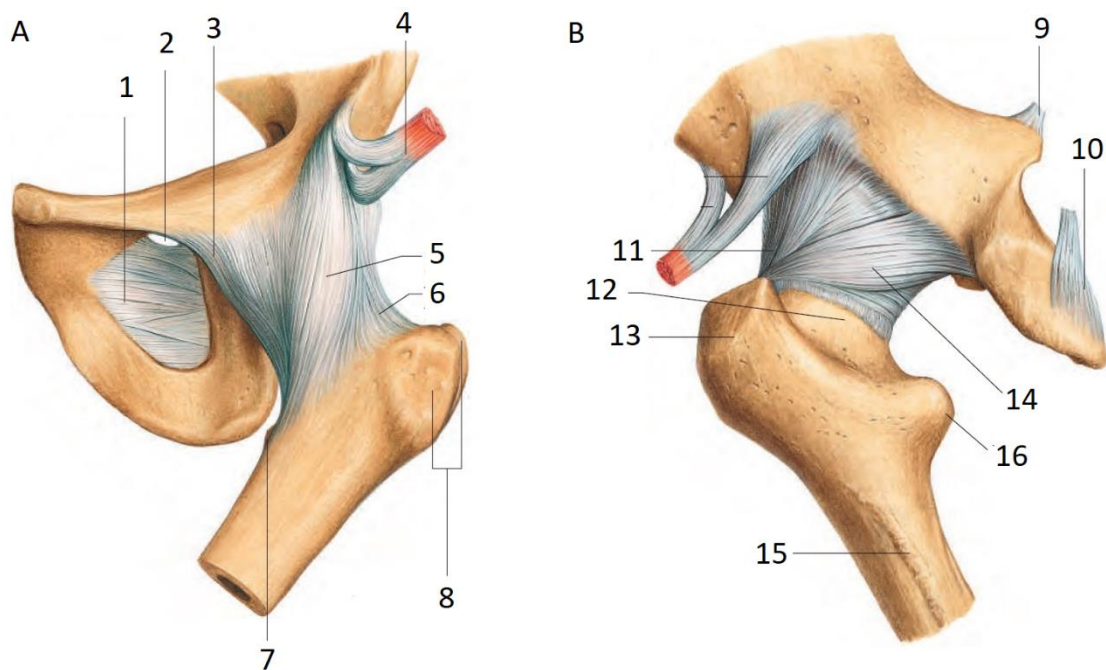
Kloubní pouzdro (*capsula articularis*) se nachází při okraji acetabula, a upíná se ventrálně na *linea intertrochanterica* a dorsálně na *collum femoris* (Dylevský et al., 1995). Vnější vrstva vaziva je označována jako *stratum fibrosum*, vnitřní vrstva pak jako *stratum synoviale*. *Stratum synoviale* vystýlá větší část kloubní dutiny, zásobuje ji kloubním mazem a kloubní chrupavku vyživuje (Čihák, 2011; Standring, 2016). Na kloubní chrupavce se nachází submikroskopické otvory (o velikosti cca 6 nm), kterými je do chrupavky vtlačována a vytlačována synoviální tekutina. V biomechanice chrupavky je její chování při deformaci určováno stupněm nasycenosti synoviální tekutinou (Dylevský, 2009).

Acetabulární kloubní povrch *facies lunata* je pokryt kloubní chrupavkou, která je nejsilnější v horní části jamky, kde její tloušťka dosahuje až 3 mm. Ve spodní části jamky, kam nezasahuje hlavice, chrupavka chybí. Tloušťka chrupavky je tedy maximální anterosuperiorně v acetabulu a anterolaterálně na hlavici stehenní kosti, což jsou dvě oblasti, které odpovídají hlavním nosným oblastem kloubu (Standring, 2016; Aiello a Dean, 1990). Potvrzením může být studie od Hesper et al (2018), zabývající se kvalitou chrupavky v rámci acetabula, která určila vyšší hodnoty v tloušťce chrupavky v anteriorních až superiorně-anteriorních oblastech kloubu; či studie od Akiyama et al. (2010), dokládající, že acetabulární chrupavka má tendenci být nejsilnější v superolaterální oblasti. Naopak nejmenší (0–0,5 mm) tloušťka kloubní chrupavky se dle této studie objevuje na posteroinferiorní části *facies lunata*. Chrupavka zároveň bývá silnější na hlavici stehenní kosti, spíše než na acetabulu (Greenwald a O'Connor, 1971). S rostoucím věkem jedince se snižuje výška chrupavky a klesá také její pružnost (Dylevský, 2009).

2.3 Vazivo

Kyčelní kloub je zpevněn čtyřmi kloubními vazy (obr. 4), z nichž nejmohutnější je *ligamentum iliofemorale*. Začátek *ligamentum iliofemorale* se nachází pod *spina iliaca anterior inferior*, vaz se upíná poblíž obou trochanterů. Obě jeho ramena jsou široká až 1,5 cm a silná 0,5–1,0 cm. Tento vaz odolává tahu až několika set kilogramů a umožňuje funkci většiny vazů kyčelního kloubu. Ukončuje extenzi kyčelního kloubu a zabraňuje záklonu trupu (Aiello, 1990; Dylevský, 1995; Standring, 2016). Také kratší *ligamentum ischiofemorale* pomáhá zesílit kyčelní kloub. Tento vaz omezuje addukci a vnitřní rotaci v kloubech. Probíhá po dorsální straně pouzdra podél *ligamentum iliofemorale* a dohromady spolu tvoří kruhovitý vaz *zona orbicularis*, obtáčeující a podchycující krček

stehenní kosti (Čihák, 2011; Standring, 2016). *Ligamentum pubofemorale* vede od horního ramene *os pubis* na přední a spodní stranu kloubního pouzdra. Připojuje se k dalším vazům. Jeho funkcí je omezení abdukce a zevní rotace v kloubu. *Ligamentum capitis femoris* je štíhlý vaz uvnitř kloubu, který vede od *ligamentum transversum acetabuli* a od *pulvinar acetabuli* do *fovea capitis femoris* (Čihák, 2011; Dylevský, 1995).

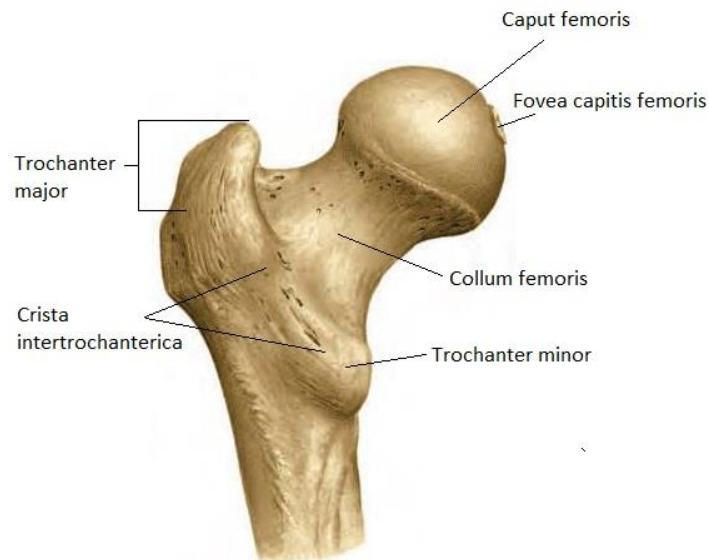


Obrázek 4. Vazivo kyčelního kloubu. A, pohled zepředu – 1 *membrana obturatoria*, 2 *canalis obturatorius*, 3 *ligamentum pubofemorale*, 4 sestupná část *ligamentum pubofemorale*, 5 vzestupná část *ligamentum pubofemorale*, 7 *trochanter minor*, 8 *trochanter major*; B, pohled zezadu – 9, *ligamentum sacrospinale*, 10 *ligamentum sacrotuberale*, 11 *ligamentum iliofemorale*, 12, *collum femoris*, 13 *trochanter major*, 14, *ligamentum ischiofemorale*, 15, *tuberositas glutea*, 16 *trochanter minor* (upraveno podle Standring, 2016)

2.4 Femur

Stehenní kost (*femur*) je nejdelší a nejmohutnější kost v lidském těle. V sagitální rovině je *femur* mírně prohnut vpřed (Standring, 2016). Proximální konec stehenní kosti (obr. 5) tvoří hlavice stehenní kosti (*caput femoris*), která odpovídá povrchu koule o průměru 4,9 cm u mužů a 4,3 cm u žen. Tvar hlavice je často kraniokaudálně oploštělý a nabývá tvaru rotačního elipsoidu (Menschik, 1997). Tři čtvrtiny povrchu hlavice stehenní kosti tvoří konvexní část kloubního spojení. Hlavici kryje ze dvou třetin chrupavka, která dosahuje tloušťky 2–4 mm ve střední části, 1–2 mm při svém okraji. V zadním dolním kvadrantu hlavice se nalézají trojboká jamka (*fovea capitis*), do které se upíná *ligamentum capitis femoris*. Hlavice se připojuje k tělu stehenní kosti pomocí

oploštělého krčku (*collum femoris*), který je uložen uvnitř pouzdra kyčelního kloubu. Laterálním směrem na něj navazuje velký chocholík (*trochanter major*), mediálně a dozadu vybíhá malý chocholík (*trochanter minor*). Vpředu oba trochantery spojuje drsná čára (*linea intertrochanterica*), na kterou se upíná kloubní pouzdro, vzadu probíhá kostní hrana (*crista intertrochanterica*), na kterou se upínají svaly (Čihák 2011; Dylevský et al. 1995).



Obrázek 5. Proximální konec stehenní kosti (upraveno dle Standring, 2016).

2.5 Dynamika pohybu a síly působící na kyčelní kloub

Kyčelní kloub umožňuje pohyblivost dolní končetiny vůči pánvi, je důležitým nosným a balančním kloubem a významným činitelem pro zachování stability vzpřímeného trupu, zvláště ve fázi kroku (Bonneau et al., 2014). Pohyb kyčelního kloubu je určen tvarem zúčastněných kostí, průběhem a velikostí zesilujících vazů kloubního pouzdra, chrupavčítým lemem *labrum glenoidale* a ovlivňuje ho také pánevní komplex a oblast bederní páteře. Hlavice stehenní kosti je v oblasti acetabula zpevnována jak prostřednictvím kloubního pouzdra a atmosférického tlaku, tak tahem svalů kyčelního kloubu (např. *musculus iliopsoas* přitahující hlavici stehenní kosti proti acetabulu při chůzi). Také rozvoj dalších svalů je pro biomechaniku kyčelního kloubu neméně důležitý.

Během lokomoce je tělesná váha kladena na jednu dolní končetinu a poté přenesena na druhou, tudíž stoj na jedné noze představuje významnou část lidského cyklu chůze (Inman et al., 1981). Při chůzi je kyčelní kloub zatížen cca čtyřnásobkem hmotnosti jedince, při běhu a skocích se tyto hodnoty dostávají až na desetinásobek hmotnosti

člověka. Jelikož horní část těla (od boků nahoru) zaujímá cca dvě třetiny tělesné hmotnosti, tak každá hlavice stehenní kosti obvykle nese přibližně jednu třetinu celkové tělesné hmotnosti. Mechanické zatížení je navíc důležitým faktorem ovlivňujícím vývoj chrupavky během života (Daniel et al., 2003). Absorpci mechanické síly, která na acetabulum působí, pomáhá tlumit *pulvinar acetabuli* (Standring, 2016), kontaktní napětí je sníženo a rovnoměrněji rozloženo díky specifickému tvaru kloubní chrupavky. Částí kloubního povrchu, která nenesení hmotnost těla, je tzv. *fossa acetabuli*. Její vliv na rozložení kontaktního napětí lze chápat jako souhru vlivu dvou parametrů: směru výsledné síly zátěže a geometrie kloubní chrupavky. Přítomnost této jamky může díky snížení kontaktního stresu přispět k prevenci poškození chrupavky (Daniel et al., 2003). S přenosem tělesné váhy souvisí také odlišný tvar rohů *facies lunata*. Anteriorní roh je spíše tuhý a méně pohyblivý, a zdá se, že souvisí s přenosem většího intra-artikulárního stresu než posteriorní roh, který je méně tuhý a je pohyblivější (Govsa et al., 2005).

3 Faktory ovlivňující morfologii acetabula

Kapitola se zabývá faktory, které působí v průběhu života na morfologii kyčelního kloubu, zejména na morfologii acetabula. Morfologické znaky na pánevní kosti jsou utvářeny nejen díky faktorům na ni působících, ale také v závislosti na funkcích pánevní kosti. *Os coxae* plní podpůrnou a ochrannou funkci pro orgány uložené v břišní dutině, hraje významnou úlohu v bipedním pohybu, její tvar je důležitý pro funkci reprodukce a díky tomu také vykazuje značný pohlavní dimorfismus (White et al., 2012). U žen je její konečná podoba výsledkem kompromisu mezi reprodukcí a lokomocí, které jsou v některých směrech v konfliktu (Leong, 2006).

3.1 Věk

Během růstu a vývoje jedince se jamka kyčelního kloubu zvětšuje až do fáze dosažení její finální velikosti. V dospělosti pak s rostoucím věkem dochází ke snižování asféricity acetabula, které nabývá pravidelnějšího a kulovějšího tvaru (Greenwald a O'Connor, 1971). Povrchy kostí v kyčelním kloubu jsou si tak s rostoucím věkem lépe přizpůsobeny svým tvarem (Bullough, 1968).

Fyziologické opotřebení povrchu chrupavky kyčelního kloubu je v dětství kompenzováno jejím opětovným nárůstem. V dospělosti, kdy chrupavka již neroste, pak množství chondrocytů ubývá, a opotřebení povrchu je kompenzováno zmnožením amorfní mezibuněčné hmoty. Úbytek chondroitin sulfátu a kyseliny hyaluronové vede u starších osob ke ztrátě viskozity mezibuněčné hmoty chrupavky a ke snížení schopnosti chrupavky vázat vodu. Chrupavka se celkově snižuje, a obnažují se vazivová vlákna povrchových vrstev, která jsou tím vystavena přímému mechanickému zatížení pohybujících se kloubních ploch. Obnažováním vazivových vláken jsou ohroženy zejména okrajové zóny chrupavek, které jsou tenčí (Dylevský et al., 2009). V těchto oblastech, tedy zejména podél okraje *facies lunata*, se změny s postupujícím věkem projevují i na kostře (Rougé-Maillart et al., 2004). Na kostních úponech *ligamentum transversum acetabuli* se můžou ve vazivové chrupavce s věkem vytvořit tzv. entezofyty, tedy abnormální kostní výrůstky v místě úponu šlachy nebo vazy (Milz, 2001).

Kyčelní kosti mladších dospělých obvykle vykazují hladký okraj acetabula bez přítomnosti osteofytů a pórovitosti, rohy, vnější okraj *fossa acetabuli* a *facies lunata* jsou také hladké bez přítomnosti osteofytů (San-Millán et al., 2017b). S přibývajícím věkem se v důsledku postupného ukládání kosti začíná na okraji tvořit hřeben, který může

nabývat značné velikosti a pórovitosti. Ve *fossa acetabuli* se tvoří mikroporozita, následovaná výskytem makroporozity, která může nabývat značné velikosti.

U starších jedinců může *fossa acetabuli* vykazovat destrukci a novou tvorbu kosti. Na vnějším okraji *fossa acetabuli* se vyvíjí osteofyty, tvořící hřeben, který může být rozsáhlý a může výrazně zmenšovat *fossa acetabuli* (obr. 6). Se zvyšujícím se věkem a narůstáním osteofytů má vnější okraj *fossa acetabuli* tendenci ztrácet morfologii jetelového listu se 3 laloky, zakulacovat se a zvyšovat svou tvarovou variabilitu (San-Millán et al., 2017b).



Obrázek 6. U mladších jedinců (žena, 32 let; obr. vlevo) nejsou přítomny osteofyty vyrůstající z *fossa acetabuli*. U nejstarších jedinců (žena, 78 let; obr. vpravo) dochází v extrémních případech k růstu osteofytů (≥ 5 mm) kolem celého okraje jamky acetabula. Upraveno podle San-Millán et al. (2017b).

S přibývajícím věkem se může podél *facies lunata* vytvářet žlábek, který je nejprve mělký a postupně se prohlubuje. V oblasti rohů *facies lunata* se tvoří osteofyty, které se s postupujícím věkem zvětšují (obr. 7).



Obrázek 7. Aktivita v oblasti rohu, pozorovaná na vrcholu posteriorního rohu *facies lunata*. S věkem roh ztrácí svůj zaoblený tvar (vlevo), postupně se stává ostřejším a vyvíjí se z něj spikula (uprostřed, označena šipkou). V poslední fázi se objevuje extrémně velký osteofyt (>5 mm), ve větším měřítku na posteriorním rohu (vpravo, označen šipkou). Upraveno podle San-Millán et al. (2017b).

Často jsou tyto věkově závislé senescenční změny zobrazovány jako relevantnější pro odhad věku, než změny degenerativního charakteru (např. osteoartróza), protože degenerativní procesy jsou komplikovány intraindividuálními změnami a interindividuálními rozdíly – dědičnými i environmentálními, např. hustotou kostí, mechanickým zatížením, výživou či hormonálními vlivy (Aykroyd 1999; Stewart, 1979; Winburn, 2017). S rostoucím věkem jedince tedy dochází v oblasti acetabula jak k věkově závislým změnám (opotřebením chrupavky a nárůst osteofytů), tak k případnému vzniku degenerativních chorob kloubů a entezopatií (Rogers a Waldron, 1995). Alves-Cardoso a Assis (2018) ve své studii zjistily, že osteofyty v oblasti acetabula (a také v oblasti *cavitas glenoidalis*) vykazují silnější korelace s věkem než osteofyty na jiných částech kostry. Navíc určité změny, jako je např. samotná tvorba osteofytů, koreluje s věkem silněji, spíše než změny kloubního povrchu (Weiss a Jurmain, 2007).

Za vyjádření dlouhodobého stresu v kloubu lze považovat také distribuci subchondrální hustoty kosti. Podle Müller-Gerbla (1993) se maximální subchondrální mineralizace u mladých jedinců nachází jak ve ventrální, tak v dorzální části acetabulární stříšky. U starších jedinců se však nejhustší oblasti vyskytují nejčastěji v zenitu acetabula. S postupujícím věkem dochází ke snížení inkongruence acetabula a zvýšenému výskytu degenerativních změn.

San-Millán et. al (2017a) pomocí geometricko-morfometrické analýzy tvaru acetabulárních změn, souvisejících s věkem odhalila, že narůstání kostní tkáně podél okrajů *facies lunata* (tj. acetabulární okraj, rohy a vnější okraj *fossa acetabuli*) je spojeno s rostoucím věkem jak u žen, tak u mužů. Na acetabulu bylo identifikováno celkem sedm znaků, které úzce koreluje s věkem. Řadí se mezi ně vzhled acetabulárního žlábků, vzhled okraje jamky kyčelního kloubu, porozita okraje jamky kyčelního kloubu, aktivita rohu *facies lunata*, aktivita na vnějším okraji *fossa acetabuli*, aktivita ve *fossa acetabuli* a porozita (textura a hustota kostní hmoty) ve *fossa acetabuli*. Tyto znaky lze rozdělit do několika rozdílných stádií podle jejich morfologie. Projevy stárnutí mají na kostech u obou pohlaví stejně postupující trend, avšak rychlost stárnutí je mezi oběma pohlavími různá – acetabulum u mužů stárne rychleji a konzistentním tempem, zatímco acetabulum u žen stárne před příchodem menopauzy pomaleji San-Millán et al. (2017a). Fyziologické změny se tedy s přibývajícím věkem objevují dříve u mužů než u žen (Mays, 2012), muži mají také vyšší predispozici k formování osteofytů než ženy (Resnick a Niwayama, 1983; Schmitt et al., 2007), s čímž mohou být spojeny časnější změny na vnějším okraji acetabula, posteriorním rohu a vnějším okraji *fossa acetabuli*. U dalších znaků (vzhled okraje jamky kyčelního kloubu, porozita okraje jamky kyčelního kloubu, aktivita ve

aktivita ve *fossa acetabuli* a porozita ve *fossa acetabuli*) uvádí San-Millán et al. (2017a) rychlejší tempo stárnutí u žen, nacházejících se ve čtvrté dekádě života.

3.2 Pohlaví

Vliv pohlavního dimorfismu na kostře je pozorovatelný díky proporční variabilitě určitých znaků mezi oběma pohlavími (Plavcan, 2011). Na kostře lze pozorovat především rozdíly ve velikosti, tvaru, či rozdíly v denzitě kosti. Pohlavní dimorfismus jamky kyčelního kloubu je ovlivněn především velikostí těla, neboť muži bývají průměrně vyšší a těžší než ženy. U mužů je orientováno laterálně, kdežto ženy mají acetabulum orientované více anterolaterálně (Wang et al., 2004; Komar a Buikstra, 2008).

Pohlavní dimorfismus v oblasti jamky kyčelního kloubu se začíná utvářet již v dětství, kdy se ve věku kolem osmi let zvyrazňuje rozdíl v šířce oblasti mezi acetabulem a kostí sedací (Leong, 2006). Většina rozdílů v oblasti acetabula se však zvyrazňuje především v období dospívání vlivem hormonální aktivity, kdy pánev prochází růstovou remodelací (White et al., 2012). Na mužské pánvi dochází během puberty k většímu růstu a prohloubení v oblasti acetabula z důvodu zvýšené hmotnosti horní části těla (Buikstra a Ubelaker, 1994; LaVelle, 1995). Byly také popsány rozdíly v produkci kosti mezi muži a ženami, přičemž muži mají větší tendenci k tvorbě osteofytů a ženy mají větší tendenci k ubývání kostní hmoty (Schneider et al., 2002). Několik autorů přesto neuvádí žádné rozdíly u obou pohlaví při odhadu věku podle acetabula (Calce, 2012; Rougé-Maillart et al., 2007; Stull a James, 2010) nebo naznačují společný model věkových změn tvaru acetabula u obou pohlaví, zejména v oblastech s produkcí osteofytů (San-Millán et al., 2017a; 2017b). Tempo změn se však u mužů a žen liší (Mays 2012; San-Millán et al., 2017a; 2017b), přičemž ženy obvykle stárnou pomaleji, což může souviset s hormonálními vlivy či jejich menší velikostí těla (Campanacho, 2016).

V dospělosti tedy dosahuje jak mužská pánev, tak samotné acetabulum, větší hmotnosti a robusticity, než pánev a acetabulum u žen (White et al., 2012, Leong, 2006, Rajasekhar, 2017). Také hloubka acetabula je výrazně větší u mužů než u žen (Yugesh a Kumar, 2016). Je třeba poznamenat, že i když se mužské kosti průměrně vyznačují větší velikostí, u vysokých a robustnějších žen se mohou tyto znaky projevat také. Maximální průměr acetabula tak může být užitečným diskriminátorem pohlaví (Benazzi, 2008; Murphy, 2000; Nagesh et al., 2007), při jehož aplikaci by měl být brán zřetel na populačně specifické rozdíly (viz podkapitola Mezipopulační rozdíly). Metrická analýza velikosti acetabula poskytuje relativně úspěšnou a snadno replikovatelnou metodu

odhadu pohlaví (Macaluso, 2011). Přidané údaje o ploše a obvodu *facies lunata* však mohou poskytnout účinnější metodu hodnocení pohlaví, než jakou nabízejí pouze tradiční lineární měření. Metoda může být užitečná v případech, kdy nejsou k dispozici kompletní kosterní pozůstatky jedince.

Posteriorní hrana vnějšího okraje acetabula vytváří u obou pohlaví téměř vždy tvar jednoduchého půlkruhu (Maruyama et al., 2001). Oproti tomu anteriorní hrana může mít tvar zakřivený, hranatý, rovný nebo nepravidelný (Govsa et al., 2005; Maruyama et al., 2001; Parmar et al., 2013). Tato variabilita ve tvaru okraje acetabula u žen a mužů zřejmě souvisí s velikostí úhlu antevertze, který acetabulum svírá s frontální rovinou. Ve studii Maruyama et al. (2001) se při porovnání různých typů vnějších okrajů *facies lunata* lišil úhel antevertze v průměru o $6,2^\circ$, a byl významně větší u žen, než u mužů.

3.3 *Aktivita*

Výsledky některých studií (Calce et al., 2018; Tak et al., 2005; Wallace et al., 2017) dokládají přínos mírné fyzické aktivity pro zdraví kloubů, a zdravotní újmu plynoucí z fyzické nečinnosti. Bylo prokázáno, že mechanické zatěžování zvyšuje tvorbu chrupavky přinejmenším během procesu růstu a vývoje jedince (Wearing et al., 2006). Naproti tomu nedostatečné zatěžování může vést k degradaci chrupavky (Wollheim a Lohmander, 2007). Pokud totiž není chrupavka dlouhodobě zatěžována, dochází k poruše látkové výměny, zejména hlubších vrstev chrupavky, a rozpadu chondrocytů. Pro látkovou výměnu a regeneraci kloubních chrupavek je proto optimální střídavé, intermitentní zatěžování (Dylevský a Ježek, 2020). Abnormální zátěž chrupavky nebo také běžná zátěž abnormálně vytvořené chrupavky vede k zániku chondrocytů a degeneraci chrupavky, čímž přispívá ke vzniku osteoartrózy (Couchman, 2009; Videman et al., 1990). Oblasti acetabula s nejvyšší velikostí kompresního subchondrálního napětí jsou místa, kde je kloubní chrupavka nejsilnější (Carter, 1987). Protože kost vydrží více tlakové síly než tahové, tak tyto oblasti s vysokým tlakovým stresem vykazují méně degenerativních změn než oblasti vystavené vysokému tahovému napětí, které se nacházejí ve středních a periferních oblastech acetabulární stříšky a hlavice stehenní kosti změn a vyznačují se tvorbou osteofytů.

Každodenní bipední lokomoce tedy zřejmě nezpůsobuje předčasné stárnutí v oblasti acetabula, neboť morfologické znaky v oblasti acetabula se zdají být odolné vůči běžnému mírnému mechanickému zatížení. Cvičení a pohyb navíc snižují zánět a pomáhají dopravovat tekutiny a živiny do kloubů a odstraňovat z nich odpadní látky.

Bylo zjištěno, že některé pohybové aktivity mohou změnit celkový tvar acetabula. Analýza acetabula u jezdců na koni (Berthon, 2018; Erickson, 2000) zjistila zvýšená vertikální oploštění acetabula (obr. 8) ve srovnání s jedinci, nepraktikujícími jízdu na koni. Vertikální oploštění acetabula je důsledkem tlaku vyvíjeného hlavici stehenní kosti na acetabulum, vznikajícího v pozici při jízdě na koni (Berthon, 2018).



Obrázek 8. Acetabulum s kruhovým tvarem a horizontální ovalizací u nejezdců (vlevo, index ovalizace = 0,971) a acetabulum jezdce, vykazující silnou vertikální ovalizaci (vpravo, index ovalizace= 1,082). Upraveno podle Berthon (2018).

V jiné studii (Mays, 2012) byl zkoumán vliv povolání na morfologii acetabula u 50 mužských jedinců ze sbírky Spitalfields, jejichž profese byla známa. Jednotlivci byli rozděleni mezi manuální (n = 33) a nemanuální pracovníky (n = 17). Studie udává, že nemanuální pracovníci měli ve srovnání s manuálními pracovníky významně vyšší bodové skóre za věk, poukazující na vyšší acetabulární degeneraci u jedinců s méně fyzicky náročnými povoláními. Také Miranker (2015) analyzovala 203 jedinců obou pohlaví, pocházejících ze sbírky Williama Basse, za účelem zjištění vlivu povolání na senescenci acetabula. Jednotlivce se známým povoláním rozdělila na manuální a nemanuální pracovníky a dospěla k podobnému závěru jako Mays (2012), tedy, že dochází k nadhodnocení věku u nemanuálních pracovníků.

Pouze určitá povolání s vysokou intenzitou pohybu, zejména ta, která zahrnují časté ohýbání a zvedání těla, predisponují jednotlivce k osteoartróze dolních končetin (Allen et al., 2010). Statisticky významné asociace pro pracovní zvedání a pravidelné zvedání 25 kg nebo 50 kg zátěže byly popsány pro kyčelní osteoartrózu (Yoshimura et al., 2000). Naproti tomu u subjektů, které během svého prvního zaměstnání strávily více než 2 hodiny každý den sezením, byla významně menší pravděpodobnost, že budou mít osteoartrózu kyčle. Mezi profesní skupiny, které jsou vystaveny zvýšenému riziku

osteoartrózy kyčelního kloubu, patří horníci, zemědělci, stavební dělníci, hasiči, skladníci, poštovní doručovatelé a uklízeči (Allen et al., 2010). Avšak nadměrné mechanické napětí může ovlivnit degenerativní změnu pouze v kombinaci s lokálními mechanickými faktory (např. zranění) nebo atypickým anatomickým tvarem (např. valgózní a varózní postavení) a/nebo v kombinaci s celkovou náchylností jedince k osteoartróze (Hunter a Eckstein, 2009).

Pozitivní korelace mezi namáhavými povoláními a osteoartrózou dolních končetin je navíc silnější v oblasti kolenního kloubu spíše než v kloubu kyčelním. Změny v oblasti acetabula se tedy zdají být odolnější vůči vlivům fyzické aktivity, což podporuje použití acetabula pro odhad věku.

3.4 Obezita, strava a prostředí

Acetabulum je zatěžováno každý den, neboť se podílí na přenášení tělesné hmotnosti z horní části těla na dolní končetiny. Obezita, či nadbytek tukové tkáně, by proto mohla ovlivňovat změny v oblasti acetabula (Wescott, 2015).

Obezita může být hlavním rizikovým faktorem vzniku osteoartrózy (Browning a Kram, 2007; Couchman, 2009; Felson a Zhang, 1998). Síly, působící při chůzi a běhu na kyčelní kloub, jsou násobkem tělesné hmotnosti jedince, přičemž velikost zatížení se liší v závislosti na hmotnosti jedince a rychlosti pohybu (Bergmann et al., 1993). Protože se velikost sil, působících na kyčelní kloub, mění se zvyšující se tělesnou hmotností, nadbytek tukové tkáně vede k větší síle působící na kyčelní kloub (Lieberman et al., 2001; Ruff et al., 1991). Rozměry kloubních povrchů jsou navíc konzervativního charakteru a velikost kloubů se u konkrétního jedince nemění. Nepřiměřená zátěž tak přispívá k rozpadu chrupavky a onemocnění osteoartrózou (Felson a Zhang, 1998; Wearing et al., 2006). Tímto způsobem může obezita ovlivňovat biomechaniku kyčle a přispět k osteoartróze kyčelního kloubu.

Merritt (2017) však ve své studii shledala, že acetabulum je u obézních jedinců považováno za jeden z nejméně obezitou ovlivněných ukazatelů věku. Ani podle Novaise et al. (2018) neprokázaly acetabulární změny žádné souvislosti s BMI ani metabolickými hodnotami, což vypovídá o rezistenci acetabula vůči vlivům obezity a aktivity, a podporuje jeho použití při odhadu věku. Vyšší percentil BMI je podle Novaise et al. (2018) spojen pouze se změnami na proximální části stehenní kosti, ne však se změnou v morfologii acetabula.

BMI popisuje vztah mezi individuální výškou a tělesnou hmotností. Neměří však procentuální podíl tělesného tuku jedince, nerozlišuje tukovou tkáň od svalů, kostí a orgánů, ani nebere v úvahu obvod pasu (Wellens, 1996). Sportovně založený jedinec s větším množstvím svalové hmoty tedy může mít vysoké BMI, ale nízký procentuální podíl tělesného tuku. Další jedinec může mít stejné BMI, ale vyšší procento tělesného tuku. Poměry tělesného tuku se mohou lišit také u jedinců z různých populací (Wang, 1994) a pohlaví (Smalley, 1990). BMI tak nemusí být dostatečně spolehlivý ukazatel, který by byl schopný identifikovat vysoké množství tukové tkáně, korelující s morbiditou a mortalitou u obézních jedinců (Wellens, 1996), obzvláště u neevropských populací, u nichž vztahy mezi BMI a množstvím tukové tkáně nebyly dostatečně prozkoumány. Na druhou stranu nejsou úspěšnější metody měření tukové tkáně při vyhodnocování kosterního materiálu použitelné. Výpočet BMI tak zůstává aplikovatelnou a jednoduchou metodou, jejíž spodní a horní hranice pravděpodobně zachycují extrémy tukové tkáně (tj. podváha u BMI <18,5; obezita u BMI > 30).

Mechanismy, kterými obezita přispívá k osteoartróze, nejsou pouze biomechanického charakteru. Obézní jedinci často trpí také oběhovými problémy, které mohou vést k degradaci chrupavky (Huang et al., 2019). Obezita je tedy komplexní syndrom, zánětlivé onemocnění nízkého stupně, které může vést k metabolickým změnám (Iannone a Lapadula, 2010). U obézních jedinců se vyskytuje osteoartróza nejen u kloubů nesoucích váhu, ale také u kloubů na horní končetině, což ukazuje na systémový účinek obezity (Felson a Zhang, 1998). Některé typy tukové tkáně mohou dokonce působit jako endokrinní orgán a uvolňovat do krevního oběhu cytokiny, proteiny buněčné signalizace, které spouštějí degeneraci chrupavky a remodelaci kostí (Iannone a Lapadula, 2010). Také leptin, protein produkováný tukovými buňkami a v některých případech vylučovaný přímo do kloubního pouzdra, byl ve vysokých hladinách nalezen v tkáních pacientů s osteoartrózou (Lajeunesse et al., 2004). Leptin indukuje expresi růstových faktorů, které mohou podporovat kloubní poškození (Presle et al., 2007). Osteoartróza tedy může být nejen biomechanické onemocnění, ale také metabolické.

Protože osteoartróza v oblasti kyčelního kloubu byla častěji pozorována u mužů, jejichž dlouhodobá povolání zahrnovala nejen zvedání těžkých předmětů a dlouhodobé stání, ale také chov zvířat, byl v souvislosti s povoláním farmářů navržen i infekční původ osteoartrózy (Croft et al., 1992; Lievense et al., 2001; Thelin a Holmberg, 2007). Různé druhy infekcí a snížená imunita tak mohou mít na zdraví kloubů také svůj vliv.

Také u jedinců s poruchami gastrointestinálního traktu jsou často pozorovány kostní změny, např. u jedinců s idiopatickými střevními záněty (IBD – inflammatory bowel disease) je zvýšené riziko osteopenie, osteoporózy a zlomenin kostí následkem malabsorpce vápníku, snížené hladině vitamínu D a K v krvi nebo úbytku kostní hmoty po léčbě glukokortikoidy (Ghishan a Kiela, 2011). Systémový zánět je navíc spojen se zvýšenou produkcí cytokinů, které jsou klíčovými přispěvateli ke ztrátě kostí (Ciucci et al., 2014).

Dále mohou imunitní buňky, které jsou aktivovány mikroby ve střevech, migrovat do kosti a přímo regulovat remodelaci kosti pomocí faktoru indukujícího tvorbu osteoklastů (RANKL) a dalších aktivních molekul v rámci kostní hmoty (Pacifci, 2015). Ukázalo se také, že zvýšené hladiny aktivovaných vrozených imunitních buněk zvyšují expresi signální molekuly TNF α v kostní dřeni. TNF α stimuluje kmenové buňky v kostní dřeni k diferenciaci na osteoklasty. To vede k nerovnováze procesů resorpce a tvorby kosti, což má za následek vyšší úroveň úbytku kosti a nižší hustotu kosti (Kobayashi et al., 2000, Kudo et al., 2002)

Porušení rovnováhy střevního mikrobiomu jedince může významně změnit absorpci živin, potřebných pro zdraví kloubů. Bylo prokázáno, že střevní dysbióza zvyšuje počet kalorií absorbovaných z potravy (Jukes, 1953). Dále může také vést k zánětu střevního epitelu, kde jsou umístěny transportéry živin, které umožňují vstřebávání vitamínů a minerálů. To paradoxně vede k současné nadváze i podvýživě jedince (Via, 2012). Kromě ovlivnění absorpce a metabolismu živin syntetizuje mikrobiom ve střevě také některé z vitamínů. Patří mezi ně thiamin (B1), niacin (B3), kyselina pantothenová (B5), pyridoxal-5-fosfát (B6), biotin (B7), foláty (B9) a vitamin K2 (Kau et al., 2011; Yatsunencko et al., 2012).

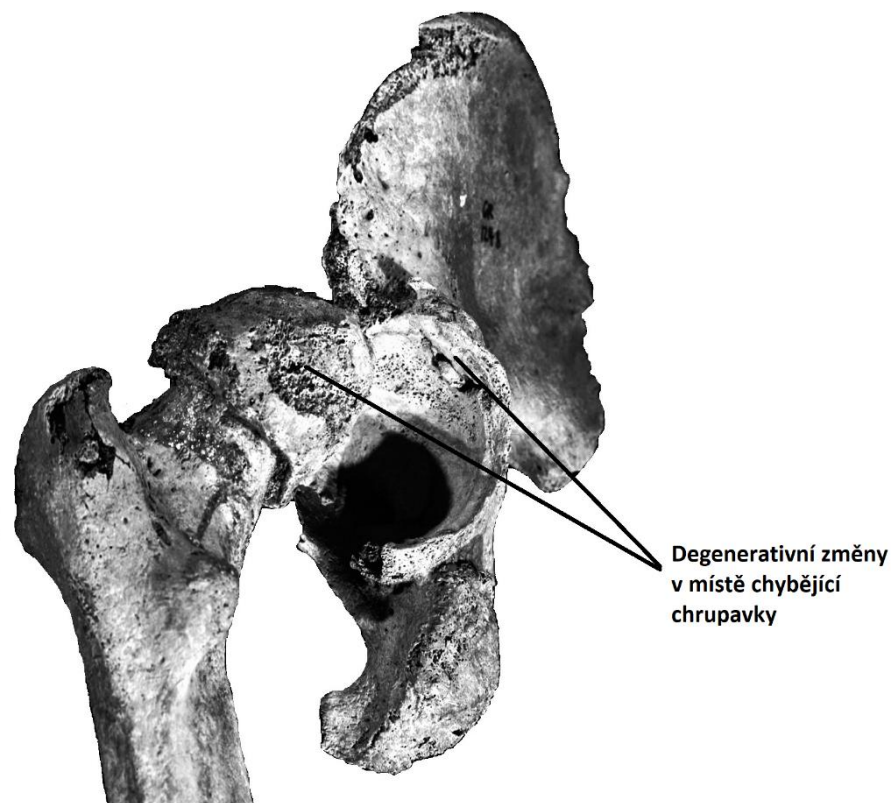
3.5 Patologie a genetické faktory

Mezi patologie, postihující oblast kyčelního kloubu v rané fázi vývoje, patří různé vývojové abnormality a variace v morfologii kyčle. Ty mohou být způsobeny dědičnou a vývojovou dysplazií, např. mnohočetné epifýzové dysplazie, u nichž abnormální osifikace kostí kyčelního kloubu vede k nepravidelnému povrchu kloubu a časnému nástupu osteoartrózy (Bálint a Szebenyi, 2000; Iglíč et al., 1993); dále metabolickými poruchami, např. alkaptonurií, u které vede genetická mutace v důsledku nedostatku enzymatické aktivity ke kalcifikaci šlach a destrukci kyčelního a kolenního kloubu (Bálint a Szebenyi, 2000) a Perthesovou chorobou, u níž anomálie cévního vývoje vedou

k deformitám hlavice stehenní kosti a acetabula (Lee a Ebersson, 2006); femoroacetabulárním impingementem, přispívajícím ke změnám v mechanice kyčelního kloubu a poškození chrupavky a kostí (Kim et al., 2006); nebo acetabulární retroverzí, ve které je prostor mezi hlavicí stehenní kosti a acetabulem abnormálně úzký (Kim et al., 2006).

Některé z acetabulárních znaků v oblasti okraje a rohů *facies lunata* (vzhled acetabulárního žlábků, vzhled okraje jamky kyčelního kloubu, aktivita rohu) se ukázaly rezistentní vůči vlivům prodělaných traumatických poranění kyčle, zatímco znaky v oblasti *fossa acetabuli* (aktivita na vnějším okraji *fossa acetabuli*, aktivita ve *fossa acetabuli* a porozita ve *fossa acetabuli*) prokázaly statisticky významné posttraumatické změny. Posttraumatické změny, které vykazují tyto znaky, argumentují proti použití těchto problematických znaků v rámci odhadování věku (Winburn, 2017).

Dalšími patologiemi, nacházejícími se v oblasti kyčelního kloubu, jsou různá degenerativní onemocnění, která nejsou normální součástí stárnutí lidského skeletu. Takovým patologickým stavem je např. již zmíněná osteoartróza (obr. 9), která je často viditelná na kosterních pozůstatcích prostřednictvím osteofytů, eburnace a ankylózy.



Obrázek 9. Osteoartróza levého kyčelního kloubu (upraveno dle Buikstra, 2019).

Osteoartróza je nejběžnější forma patologie kloubů pozorovaná v lidských populacích, a to jak v minulosti (Weiss a Jurmain, 2007), tak v současnosti (Mandl, 2007). Riziko osteoartrózy se zvyšuje s rostoucím věkem a starší jedinci tak trpí tímto onemocněním častěji než mladší jedinci (Hunter, 2009; Loeser, 2010). Korelace mezi rostoucím věkem a zvyšujícím se rizikem osteoartrózy je však vnímána jen jako slabá, a to kvůli mnoha dalším faktorům ovlivňujícím vývoj osteoartrózy (Listi, 2012), mezi něž patří např. intenzivní fyzická aktivita (Larsen, 1997; Jacobsen, 2005), obezita (Mandl, 2007) nebo vliv pohlaví (Oliveria et al., 1995). Variace v osteoartróze lze tedy vysvětlit stupněm mechanického zatížení a způsobem pohybu, věkem, výškou, tělesnou hmotností, dědičností, anatomickou variabilitou, různými vrozenými a vývojovými vadami či posttraumatickými abnormalitami. Dle Calce (2018) může být dlouhodobá opakovaná fyzická aktivita v dětství ochranou před rozvojem osteoartrózy v pozdějším věku. Přiměřená zátěž je tak prospěšná pro zdraví kostí a chrupavky, avšak abnormální zátěž je pro zachování dobrého stavu kloubů spíše nevhodná.

Výskyt osteoartrózy u jedinců mladších 50 let může naznačovat genetickou predispozici k nemoci (Bálint a Szebenyi, 2000). Dědičné poruchy, mezi které se řadí různé osteochondrodysplasie (např. achondroplasia a Sticklerův syndrom), mohou způsobit geneticky determinované poruchy kloubní chrupavky, což vede k biomechanickým abnormalitám a časně osteoartróze (Bálint a Szebenyi, 2000). Dědičné metabolické poruchy mohou také způsobit sekundární osteoartrózu (Bálint a Szebenyi, 2000). Ukázalo se však, že rozdělování příspěvku dědičnosti k osteoartróze je náročné, protože genetické polymorfismy ovlivňují osteoartrózu komplexně (Couchman, 2009).

3.6 Lokomoce

S pohyblivostí kloubů souvisí také hloubka acetabula. Obecně platí, že čím hlubší je acetabulum, tím omezenější je pohyb kyčelního kloubu. Ve srovnání mezi lidmi, lidoopi a opicemi, nejhlubší acetabulum mají pavíáni a nejmělkčí acetabulum orangutani (Ruff, 1988). Malá hloubka acetabula u orangutanů umožňuje větší pohyblivost kyčelního kloubu.

Podle Jungers (1988) se acetabulum během evoluce člověka, od australopitéků až po anatomicky moderní lidi, postupně zvětšuje. Větší velikost kyčelního kloubu může zároveň působit jako prevence degenerace kloubů (Jungers, 1988) a snižovat zatížení tak, aby se minimalizovalo poškození kloubní chrupavky a subchondrální kosti (Radin, 1982;

Swartz, 1989). Godfrey et al. (1991) následně připsal tuto pozitivní alometrii k funkčním, spíše než k velikostním podobnostem mezi zvířaty přijímajících podobné vzorce pohybu.

Aiello a Dean (1990) udává, že velikosti kloubních povrchů a průřezů dlouhých kostí jsou úměrné velikosti síly, kterou přenášejí. Rozdíl ve velikosti kloubního povrchu závisí také na pohybových vzorcích. Jungers (1988) ukázal, že lidé mají větší poměr povrchu kloubů dolních končetin k velikosti těla než primáti. Další alometrické údaje naznačují, že malí bipední hominidé mají neobvykle malé klouby dolních končetin ve srovnání s většími bipedními hominidy (Aiello a Dean, 1990). Relativně malé klouby dolních končetin u australopitéka Lucy by však mohly být jen odrazem malé velikosti těla této fosilie a nikoli velkých rozdílů v pohybovém vzorci (Ruff, 1988).

3.7 *Mezipopulační rozdíly*

Spolehlivá analýza pohlavních rozdílů by měla brát v úvahu nejen fyziologické, ale také ekologické a evoluční důsledky. Metrické standardy z určité doby a místa, které jsou platné pro jednu populaci, není často možné aplikovat na populaci další, vzdálenou jak místem, tak v čase (Buikstra a Ubelaker, 1994).

Pohlavní dimorfismus jamky kyčelního kloubu se liší mezi populacemi, zejména díky rozdílné průměrné velikosti těla v různých populacích (Cabo et al., 2012). Také rozdíly v morfologii acetabulárního okraje mohou být odlišné mezi různými populacemi. Tvar anteriorního vnějšího okraje acetabula bývá obvykle klasifikován jako nepravidelný, zakřivený, rovný nebo hranatý (Maruyama et al., 2001). Ve studii, provedené Parmarem (2013) u indické populace, nebyl však hranatý tvar pozorován. Také hloubka acetabula se liší mezi různými populacemi. Indurjeeth et al. (2019) zjistili u africké populace KwaZulu-Natal větší průměr a hloubku acetabula, než mají jiné populace. Šířka *incisura acetabuli* byla v této studii významně větší u mužů než u žen. Oproti tomu Yugesha a Kumar (2016) zjistili větší šířku *incisura acetabuli* u žen než u mužů u jihoindické populace.

Výsledky řady studií ukazují, že metody odhadu věku nejsou kvůli variabilitě stárnutí mezi jednotlivci a populacemi vždy stejně úspěšné. Za variabilitu mezi populacemi a uvnitř jednotlivých populací mohou pravděpodobně genetické a environmentální faktory, mezi něž patří zejména strava, obezita, endokrinní a hormonální (ne)rovnováha, povolání a fyzická aktivita, těhotenství a porod, chronická onemocnění, užívání alkoholu a drog či socioekonomický a kulturní status (Rissech et al., 2004; Rissech et al., 2012).

4 Odhad věku dožití a pohlaví v bioarcheologii

Odhad věku je nedílnou součástí biologického profilu jedince. Metody odhadu věku dožití jsou založeny na korelaci mezi biologickým a chronologickým věkem, přičemž míra korelace se liší v různých obdobích života člověka.

Odhad věku lze provést na základě vývoje a růstu kostry u nedospělých jedinců nebo na základě věkově závislých změn kostry dospělých jedinců. U nedospělých jedinců je odhad věku založen na identifikaci odlišných stádií znaků v rámci růstu a zrání jedince, neboť tyto procesy mají podobný a předvídatelný průběh napříč různými populacemi. Jakmile je kostra plně maturována, je určení věku obtížnější, neboť na každého jednotlivce působí různé vnitřní i vnější faktory prostředí a v organismu jedince nastávají degenerativní změny v důsledku opotřebení těla, spojené s procesy resorpce a remodelace kosti. Tyto procesy mohou být však u každého jednotlivce variabilní a vytvořené změny mohou být obtížně interpretovatelné. Dále, jak už bylo řečeno, je pravděpodobné, že se tyto změny budou lišit v jejich načasování a způsobu projevu mezi různými populacemi. Při odhadu věku u dospělého jedince je obtížné odhadnout jak střední věk, během něhož jsou procesy rozdílné kvůli probíhajícím hormonálním a metabolickým změnám, tak starší věk, zahrnující vyšší míru patologických stavů.

Úspěšný odhad věku při úmrtí je nezbytný pro analýzu kosterních pozůstatků. Proto je nezbytné stávající metody hodnocení kosterního věku neustále zlepšovat. Díky svému dobrému dochování slouží pánevní kost jako dostupný ukazatel věku. Dle studií (Miranker, 2015; San-Millán et al., 2017b; Winburn, 2008) nemá však většina metod odhadu věku dle znaků na pánevní kosti, jakými jsou *facies auricularis* (Lovejoy et. al., 1985; Buckberry a Chamberlain, 2002) a pubická symfýza (Suchey-Brooks, 1990) vysokou spolehlivost při odhadu věku u starších jedinců. Protože jsou metody odhadu věku dožití založeny na korelaci mezi biologickým a chronologickým věkem, je možné z kosterních pozůstatků odhadovat pouze věk biologický. Míra korelace se liší v různých obdobích života člověka, a proto mají chybné odhady věku tendenci narůstat se zvyšujícím se věkem zkoumaných jedinců (Latham, 2018). Současné metody mají také tendenci nadhodnocovat věk u mladých dospělých jedinců a podhodnocovat věk u starších jedinců. Pozorovaný nízký výskyt starších dospělých jedinců v archeologických populacích je také s velkou pravděpodobností způsoben spíše špatnou schopností věk úspěšně odhadnout než skutečným odrazem toho, jak v konkrétní populaci demografická struktura vypadá (Konigsberg, 2002). Je tedy zapotřebí dalších výzkumů odhadu věku u dospělých jedinců, zdokonalit metody stávající a pokusit se najít nové

způsoby úspěšnějšího odhadu věku jedinců. Někteří autoři (Schmitt et al., 2002; Calce, 2012) se přiklání k tomu, že kvůli populačním a individuálním rozdílům v senescenci člověka je odhad věku úspěšný a spolehlivý při použití tří širokých věkových intervalů: mladí dospělí (do 40 let); středně staří dospělí (více než 40 let); a starší dospělí (nad 65 let), pro které neexistuje spolehlivá metoda umožňující úspěšný odhad věku než „65 let a více“.

4.1 Význam acetabula pro odhad věku dožití a pohlaví

V posledních desetiletích se antropologové (Rougé-Maillart et al., 2004; 2007; 2009; Rissech et al., 2006a; 2006b; 2007; Stull a James, 2010; Calce a Rogers, 2011; Mays, 2012; 2014; Miranker, 2016; Winburn, 2008; 2017; 2018; San-Millán et al., 2017a; 2017b; 2019; Muñoz-Silva et al., 2020; Belghith et al. 2021) zabývají potenciálem acetabula pro odhad věku. Oblast acetabula se ukazuje jako relativně spolehlivý ukazatel věku u dospělých, a to i u starších dospělých jedinců (Rissech et al. 2006a, 2006b; San-Millán, 2017a; 2019, Winburn, 2018). Na acetabulu se s postupujícím věkem mění především vzhled, tvar a pórovitost okraje acetabula, aktivita v oblasti rohů, pórovitost *facies lunata*, vzhled *fossa acetabuli*, aktivita na vnějším okraji i uvnitř *fossa acetabuli*, a pórovitost *fossa acetabuli* (Rissech et al., 2006a; San-Millán, 2017b).

Rissech et al. (2006b) vyvinula metodu odhadu věku podle acetabula, a otestovala ji na čtyřech sbírkách (sbírky Lisabon a Coimbra v Portugalsku, sbírka University Autònoma Barcelona ve Španělsku a sbírka St. Bride v Londýně) s použitím Bayesovské statistiky. Metoda dosáhla míry úspěšnosti mezi 83 % a 100 %, přičemž nejnižší míra úspěšnosti byla u kosterní sbírky geograficky nejvzdálenější od referenčního souboru. Zároveň byla potvrzena poměrně významná korelace znaků s věkem, s malou inter-observační a intra-observační chybou. Úspěšnost odhadu věku při použití této metody byla stanovena na 89 % při použití desetiletých intervalů a na 67 % při použití pětiletých intervalů. Oproti jiným metodám odhadu věku se jeví tato metoda jako spolehlivá napříč všemi věkovými kategoriemi a funguje dobře i u jedinců starších 40 let. Také při aplikaci metody dalšími autory (Winburn, 2017; Miranker, 2016) na jiných populacích vykazovala metoda dobré výsledky, nicméně odhady byly méně úspěšné, což může být způsobeno populační variabilitou u věkově závislých morfologických změn acetabula. Např. jedinci z Pyrenejského poloostrova vykazují podobný model stárnutí, a to tendenci k produkci kosti na acetabulárním okraji a *fossa acetabuli* (Rissech et al., 2007), zatímco většina zkoumaných jedinců z Anglie tuto tendenci k tvorbě kostí nevykazuje (Mays,

2014). Úspěšnost odhadu věku se tedy může snížit, když se metody odhadu věku vyvinuté u jedné populace použijí na jiné populaci.

Rougé-Maillart et al. (2004; 2007; 2009) při vývoji metody odhadu věku podle pánevní kosti použila kombinace znaků, a to čtyř znaků na *facies auricularis* a tří znaků v oblasti acetabula (okraj acetabula, *fossa acetabuli* a aktivita v oblasti rohů *facies lunata*). Samotná kritéria použitá ke skórování acetabula korelovala s věkem poměrně dobře, při kombinaci skóre acetabula a *facies auricularis*, se výsledky ještě dále zpřesnily. Metoda Rissech (2006) byla otestována na kanadské sbírce Grant Collection (Calce a Rogers, 2011). Byla navržena úprava popisů některých znaků a také snížení celkového počtu popisovaných znaků. Celkově bylo na základě této metody více než 80 % odhadů do 12 let od známého věku hodnocených jedinců. Stejně jako Rissech et al. (2006b), tak i Calce a Rogers (2011) potvrdili, že geografická vzdálenost referenční populace ovlivňuje úspěšnost metody. Metoda má tendenci podhodnocovat věk a je doporučeno její testování na dalších geograficky odlišných populacích (Calce a Rogers, 2011). Ve zjednodušené verzi této metody byly popsány pouze tři znaky na acetabulu, které v předchozí studii poskytovaly nejlepší výsledky (vzhled okraje acetabula, vývoj osteofytů a růst kosti v oblasti rohu *facies lunata*), a byly shledány dobré výsledky při použití tří širokých věkových intervalů – mladí dospělí 17–39 let, střední dospělí 40–64 let, starší dospělí 65+ (Calce, 2012). Tato upravená metoda byla testována na sbírce W. Basse v Novém Mexiku (Calce, 2012), a vykázala 81% spolehlivost odhadu, snížení rizika inter – a intraobservační chyby, a ukázala se jako rychlá metoda pro odhad věku. Test metody Calce (2012), který provedl Mays (2014) na anglické populaci, ukázal nižší spolehlivost odhadu (pouze 45 %), kterou Mays přisuzoval rozdílu mezi kanadskou a britskou populací.

Degenerativní změny na acetabulu byly za účelem odhadu věku posouzeny také u jihoafrických mužů (Botha et al., 2016), a to pomocí původní metody Rissech (2007). Byla testována spolehlivost této metody s cílem poskytnout doporučení pro použití acetabula při odhadu věku u jihoafrické populace. Jihoafrická populace se zdá být méně náchylná k rozvoji osteoporózy než evropské populace, a reaguje při procesu senescence odlišně (Botha et al., 2016). Zdá se, že jedinci ze zkoumané jihoafrické populace vykazují s postupujícím věkem menší pórovitost kostí ve srovnání s evropskými populacemi. Nejspolehlivější odhady věku poskytl znak č.1 (acetabulární žlábek) a č.4 (aktivita v oblasti rohu). U ostatních znaků se zdá být nutné přizpůsobit jejich morfologické charakteristiky v odpovídajících fázích senescence acetabula, pozorovaných u konkrétní populace.

Některé výzkumy naznačují nízkou korelaci znaků, nacházejících se na *fossa acetabuli*, s věkem (Calce a Rogers, 2011; Calce, 2012; Mays, 2012). Autoři shledali v metodě Rissech et al. (2006) jako problémové převážně znaky související s *fossa acetabuli* kvůli jejich obtížnosti je hodnotit. Z tohoto důvodu byly znaky, související s *fossa acetabuli*, v původní metodě Rissech et al. (2006) revidovány, a byla rozšířena použitelnost tohoto nového přístupu na obě pohlaví (San-Millán et al., 2017b). Výsledkem je revidovaná metoda, ve které jsou první čtyři znaky (1 - žlábek, 2 – tvar okraje acetabula, 3 – porozita okraje acetabula a 4 – aktivita v oblasti rohu) stejné jako v původní metodě (Rissech et al., 2006), a znaky 5 až 7 (5 – aktivita na vnějším okraji *fossa acetabuli*, 6 – aktivita ve *fossa acetabuli*, 7 – porozita ve *fossa acetabuli*) jsou modifikovány (San-Millán et al., 2017b). Projevy stárnutí vykazují na kostech u obou pohlaví stejně postupující trend, avšak rychlost stárnutí je mezi oběma pohlavími různá (San-Millán et al., 2017a). Změny mezi pohlavími jsou výrazné zejména u jedinců středního věku, kdy ženy prochází menopauzou. Fyziologické změny v oblasti acetabula se však s přibývajícím věkem objevují dříve u mužů než u žen (Mays, 2012), muži mají také vyšší predispozici k formování osteofytů než ženy (Resnick a Niwayama, 1983; Rogers et al., 1997; Schmitt et al., 2007), s čímž mohou být spojeny časnější změny na okraji acetabula (znak č. 2), na vrcholu jamky (znak č. 4) a vnějším okraji *fossa acetabuli* (znak č. 5). Naopak u porozity okraje acetabula (znak č. 3), u aktivity ve *fossa acetabuli* (znak č. 6) a u porozity ve *fossa acetabuli* (znak č. 7) bylo zaznamenáno rychlejší tempo stárnutí u žen, nacházejících se ve čtvrté dekádě života.

Pro kvantifikaci vlivu věku a pohlaví na tvar acetabula byla využita také 2D geometrická morfometrie (San-Millán et al., 2017a), která se používá pro přesné stanovení a popis morfologických změn tvaru, jež nemusí klasická měření zaznamenat. Samotný tvar pak popisuje geometrické vlastnosti objektu, které jsou neměnné vůči poloze, velikosti a orientaci. Tento 2D geometricko-morfometrický přístup pomohl odhalit, že u jedinců obou pohlaví dochází s rostoucím věkem ke změnám, které souvisí s narůstáním kostní tkáně podél okrajů *facies lunata*, tj. na acetabulárním lemu, na obou rozích a vnějším okraji *fossa acetabuli* (San-Millán et al., 2017a). Podobný model stárnutí acetabula u obou pohlaví tedy naznačuje, že stejné znaky lze použít u mužů i žen. Muži navíc stárnou rychleji a konzistentním tempem, zatímco ženy stárnou po 50. roku života s příchodem menopauzy pomaleji (San-Millán et al., 2017a). Pokud tedy budou jednotlivá pohlaví posuzována odděleně, je možné pozorovat korelaci mezi znaky na acetabulu a senescencí, a potvrdit tak roli acetabula jako hodnotného ukazatele odhadu věku pro mladší, středně staré i starší jedince.

Aby mohla být metoda odhadu věku dle acetabula spolehlivým ukazatelem kosterního věku, je zapotřebí metodu testovat na více referenčních populacích, neboť se mohou objevit rozdíly v senescenci acetabula mezi geograficky odlišnými populacemi. V současnosti stále převažuje aplikace metod makroskopických bez nutnosti speciálních znalostí či kvůli jejich rychlejšímu použití (Gocha et al. 2015). Makroskopické metody nemusí být schopny odhalit změny drobnější, ale obecně se projevující u jedinců určitého věku a pohlaví, pocházejících z různých populací. Takové změny mohou být zachyceny s použitím digitálních technik, například prostřednictvím geometrické morfometrie. Technika může přispět také k vyšší spolehlivosti díky popsání jednoznačných popisů věkově závislých změn a dostatečným vizuálním reprezentacím jednotlivých stádií. Také samotná geometrická morfometrie se neustále vyvíjí a stále častěji je ve studiích využívána 3D geometrická morfometrie.

4.2 Geometricko-morfometrické metody

Morfometrické metody stále procházejí vývojem a od původní kvantifikace vzdáleností a úhlů přecházejí k měření komplexních prostorových konfigurací 3D (semi)landmarků (Mitteroecker a Gunz, 2009). V antropologii se tyto moderní metodické pokroky označují pod pojmem „virtuální antropologie“ (Weston, 1997; Weber, 1998; Recheis et al., 1999). 3D modely umožňují kvalitativní morfologické hodnocení bez zásahu do kostí či jiných vzácných objektů. Navíc je lze snadno sdílet (online). K získání 3D povrchových modelů je nejčastěji používána metoda povrchového skenování, fotogrammetrie či počítačová tomografie (CT), poskytující informace také o vnitřních strukturách objektu.

V posledních desetiletích vyšlo velké množství studií, využívajících virtuální morfologické metody, které změnily dosavadní chápání morfologických změn v rámci vývoje a evoluce člověka (Recheis et al., 1999; Zollikofer a Ponce de León, 2005; Weber a Bookstein, 2017). Na rozdíl od tradičních morfometrických přístupů zachovávají geometricko-morfometrické metody původní informaci o tvaru objektu. Tvar zkoumaného objektu je zaznamenán prostřednictvím souřadnic landmarků (význačných bodů) a posuvných semilandmarků (Bookstein, 1991, Gunz a Mitteroecker, 2013). Pomocí získaných souřadnic je možné určit veškeré vzdálenosti a úhly. Landmarky jsou biologicky homologní u všech jedinců ve zkoumaném souboru. Semilandmarky lze popsat jako uměle umístěné body, nacházející se na nějaké křivce nebo povrchu. Protože jejich pozice není určena anatomicky, jsou vhodné pro studium struktur, na které není možné umístit klasické landmarky (např. studium kloubních ploch).

5 Cíle a hypotézy

Tato práce si klade za cíl kvantifikovat věkové a pohlavní rozdíly, vyskytující se v oblasti *facies lunata*, jejíž tvar pak přímo ovlivňuje také tvar *fossa acetabuli*. Změny tvaru *facies lunata*, které jsou spojené se zvyšujícím se věkem, se vyskytují především na okraji acetabula, a to v oblasti *fossa acetabuli*, rohů a *facies lunata* (Rougé-Maillart et al., 2004). V rámci geometricko-morfometrického přístupu může být porovnáno acetabulum různých jedinců prostřednictvím (semi)landmarků, vyznačených podél okraje *facies lunata*. Při studiu tvarových změn acetabula je v této práci využit transverzální přístup.

Práce chce zároveň navázat na studii San-Millán et al. (2017a), která byla provedena ve 2D, a ověřit tvarové a velikostní rozdíly kloubní jamky kyčelní kosti pomocí 3D geometricko-morfometrické analýzy s využitím tzv. sliding semilandmarků. Výhody 3D oproti 2D geometrické morfometrii spočívají v lepším zachycení biologicky významných struktur, zvýšené přesnosti jejich zachycení a sníženého zkreslení.

Na základě těchto cílů byly definovány následující hypotézy:

1. Tvar *facies lunata* se významně mění s věkem.
2. Změny ve tvaru *facies lunata* jsou patrné i u starších dospělých.
3. Pohlavní dimorfismus formy *facies lunata* je výraznější než pohlavní dimorfismus tvaru, přičemž pohlavní dimorfismus tvaru se s věkem snižuje.
4. Rychlost senescence je u obou pohlaví rozdílná.

6 Materiál

V práci jsou analyzovány 3D skeny pánevních kostí od celkem 240 jedinců s dobře dochovaným acetabulem, pokrývajících celé rozpětí dospělého věku (od 20 do 90 let). Pro analýzu byla vybrána levá pánevní kost bez patologie a/nebo deformace, která by mohla ovlivnit analýzu. V případě chybějící nebo patologické levé pánevní kosti byla analyzována pravá pánevní kost.

Jedinci byli vybráni ze čtyř moderních dokumentovaných kosterních sbírek, které pocházejí ze tří různých geografických oblastí Evropy:

(1) *The Heraklion collection* z řecké Kréty. Je uložena na oddělení forenzní patologie řeckého ministerstva spravedlnosti a lidských práv v Heraklionu. Tato sbírka zahrnuje kosterní materiál přibližně 200 jedinců, kteří žili v 19. a 20. století (Kranioti et al., 2008; Kranioti a Michalodimitrakis, 2009). V této práci bylo použito 19 levých pánevních kostí z této sbírky.

(2) *The Coimbra Identified Skeletal Collection (CISC)* z Portugalska (Cunha and Wasterlain, 2007). Je umístěna na univerzitě v Coimbre v Portugalsku a čítá 505 jedinců, kteří žili v 19. a 20. století. Kolekce je sestavená profesorem Tamagnini. V této práci bylo zahrnuto 106 jedinců z této sbírky.

(3) *The 21st Century Identified Skeletal Collection (CEI/XXI)* z Portugalska. Jedná se o stále rostoucí moderní sbírku, která je rovněž uložena na univerzitě v Coimbre. Čítá více než 300 jedinců (Ferreira et al., 2020), kteří žili převážně ve 20. a 21. století. Tato práce zahrnuje 39 jedinců z této sbírky.

(4) *The Simon Identified Skeletal Collection* ze Švýcarska (Perreard Lopreno, 2007; Abegg a Desideri, 2018). Kosterní materiál je umístěn v Laboratoři prehistorické archeologie a antropologie na univerzitě v Ženevě ve Švýcarsku. Sbírká čítá 495 jedinců, kteří žili v 19. a 20. století. V této práci bylo z této sbírky použito 76 levých pánevních kostí.

Sbírký byly vybrány tak, aby poskytly reprezentativní vzorek z různých oblastí Evropy (viz příloha 1). Všechny pocházejí z moderních hřbitovů a obsahují demografické informace jako záznamy o narození a úmrtí jedinců (Kotěrová, 2020).

Jedinci obou pohlaví jsou rozděleni do třech širokých věkových intervalů (20–39, 40–65, 65+), které jsou zároveň nejčastěji užívanými intervaly (např. Schmitt et al., 2002; Calce, 2012; San-Millán, 2017a; 2017b). Jedinci byli do skupin rozděleni co nejrovnoměrněji, pro nedostatek jedinců z některých podsouborů však nemají jednotlivé skupiny stejnou četnost (tab. 1).

Tabulka 1. Počet žen a mužů ve třech věkových kategoriích, pocházejících ze čtyř kosterních sbírek.

	Coimbra CISC		Coimbra CEI/XXI		Heraklion Collection		Simon Collection		Celkem
	Ženy	Muži	Ženy	Muži	Ženy	Muži	Ženy	Muži	
Věkové kategorie									
20-39	23	22	1	6	1	1	15	11	80
40-64	23	19	4	5	3	5	19	21	99
65-90	8	9	8	15	10	0	5	6	61
Celkový součet	54	50	13	26	14	6	39	38	240

Příloha 2 uvádí podrobné informace týkající se věku, pohlaví a původu kosterního materiálu, analyzovaného v této studii.

7 Metody

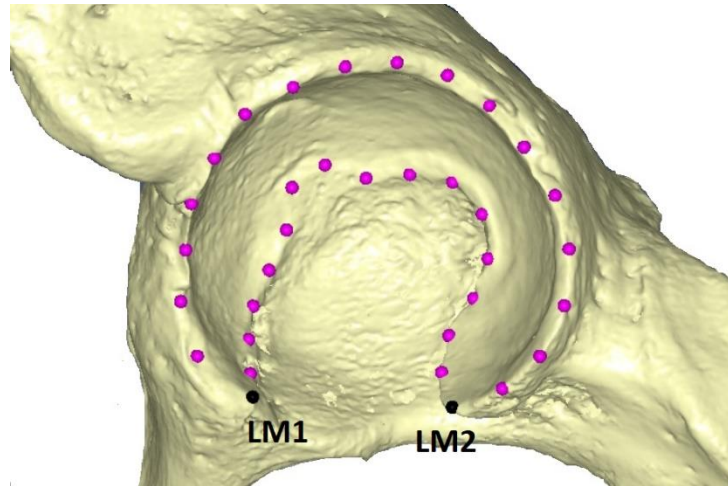
7.1 Získání dat a digitalizace landmarků

Pro tuto práci byly použity 3D modely digitalizované prostřednictvím povrchového skeneru HP 3D Structured Light Scanner PRO S2, který je založený na vyzařování strukturovaného světla a disponuje rozlišením 0,06 mm. Přísluší k němu také software HP 3D Scan Software Pro v5, ve kterém byly pořízené snímky upravovány a spojovány.

Nejprve byly vybrány vhodné 3D modely pánevních kostí bez patologií. Pokud se na 3D modelu nacházely skenerem nezachycené oblasti menšího rozsahu, byly tyto otvory zaplněny v programu HP 3D Scan Software. V případě chybějících nebo patologických levých pánevních kostí byly vybrány pravé pánevní kosti, které byly následně v programu Meshlab (<https://www.meshlab.net>) zrcadlově obráceny na levé. Všechny 3D modely byly v programu Meshlab decimovány na 1 milión trojúhelníků (faces).

Na těchto decimovaných modelech proběhla v programu Viewbox (<http://www.dhal.com/viewbox.htm>) tvorba templátu a digitalizace landmarků a křivkových semilandmarků na modelech s aplikací přístupu San-Millán, et al. (2017a). Studie San-Millán et al. byla původně provedena ve dvourozměrném prostoru, tato diplomová práce pak metodu aplikuje v prostoru trojrozměrném.

Všech 240 modelů pánevních kostí bylo digitalizováno umístěním 2 klasických landmarků typu II (Bookstein, 1991), a to na vrcholy anteriorního a posteriorního rohu *facies lunata* (obr. 10, LM1 a LM2). Dále bylo umístěno 32 sliding semilandmarků ve stejných vzdálenostech na vyznačené vnitřní a vnější křivce, ohraničující *facies lunata* (obr. 10). Semilandmarky změnilly svoji pozici díky procesu sklouznutí po křivce na základě minimalizace deformační energie (bending energy), a zaujaly pozice, které jsou geometricky homologické mezi všemi studovanými objekty (Gunz a Mitteroecker, 2013).



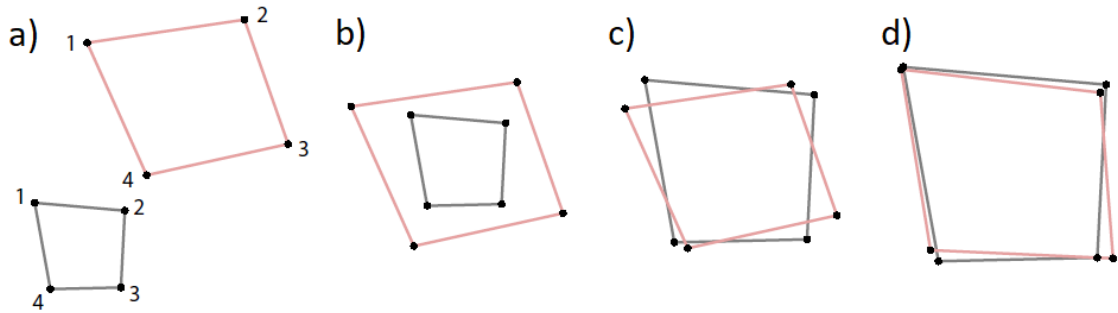
Obrázek 10. Laterální pohled na levé acetabulum s 34 digitalizovanými landmarky, černě: klasické landmarky, růžově: semilandmarky.

7.2 Zpracování dat

Po digitalizaci byly z programu Viewbox vyexportovány 3D souřadnice landmarků všech jedinců. Data byla následně zpracována v dalších geometricko-morfometrických programech: R (Schlager, 2017; Adams et al., 2021), Morphome3cs (www.morphome3cs.com), PAST (Hammer, 2001), MorphoJ (Klingenberg, 2011) a Evan-Toolbox (<http://evan-society.org>).

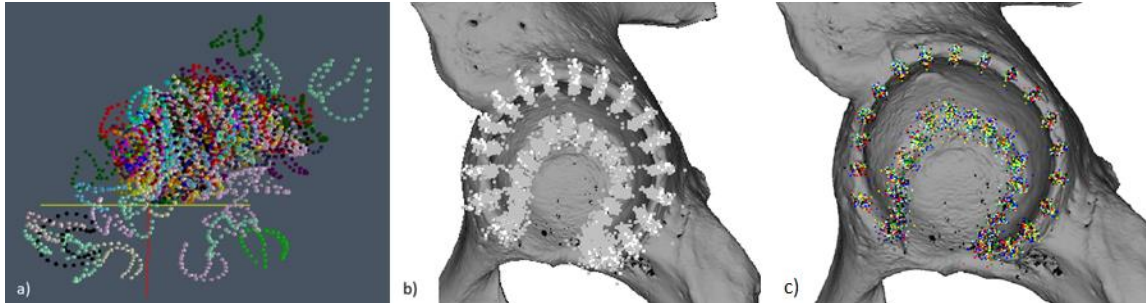
7.3 Analytické metody

Prvním krokem geometricko-morfometrické analýzy byla prokrustovská superpozice (Mitteroecker a Gunz, 2009; Zelditch et al., 2012). Geometrická morfometrie umožňuje statistickou analýzu velikosti a tvaru samostatně, neboť rozkládá objekt na velikost a tvar (Zelditch et al., 2012). Podle Kendalla (1977) je tvar vnímán jako geometrická informace, která je neměnná při změně měřítka, pozice nebo při rotaci objektu. Forma objektu je neměnná pouze ke změně pozice a rotaci. Proto obsahuje informace o velikosti i tvaru. Například úhly a poměry mezi dvěma délkovými měřeními jsou tvarové proměnné, protože nejsou ovlivněny změnami polohy, orientace a měřítka. Míra jedné délky je naopak proměnnou formy, protože je ovlivněna změnami měřítka. Velikost a tvar se často kvantifikují samostatně a statistická analýza se může zaměřit buď pouze na tvar, nebo zahrnout oba aspekty formy, tj. tvar i velikost (Mitteroecker, 2020).



Obrázek 11. Kroky prokrustovské analýzy, znázorněné na 2 konfiguracích se 4 landmarky: a) původní objekty s landmarky, b) translace do společného počátku, c) změna velikosti na jednotku centroid size a d) rotace (podle Mitteroecker a Gunz, 2009).

Během prokrustovské analýzy tvaru acetabula (obr. 11, 12c) byly nejprve všechny objekty posunuty do počátku souřadnicového systému tak, že byly odečteny souřadnice středu objektu (centroid) od souřadnic každého bodu objektu. Konfigurace bodů objektu tak vyjádřila odchylku od středu objektu. V další fázi byly objekty převedeny na jednotnou velikost, vyjádřenou pomocí tzv. centroid size, a to beze změny tvaru. Při následném testování formy (obr. 12b), tedy tvaru i velikosti zároveň, byl tento krok vynechán a byla zachována odlišná velikost objektů. Následně proběhla rotace objektů.



Obrázek 12. a) Celkem 240 digitalizovaných acetabul ve svých přirozených polohách. b + c) Všechny landmarkové konfigurace b) formy a c) tvaru po zarovnání prokrustovskou analýzou.

Protože má každý landmark tři souřadnice (x , y , z), proměnných je v souboru celkem 102 ($34 \times 3 = 102$). 240 acetabul (obr. 12a) lze tedy považovat za 240 bodů v 102 rozměrném datovém prostoru. Tyto proměnné nelze studovat jednu po druhé, ani jeden landmark nemá sám o sobě biologickou významnost. Proto je v práci interpretována lineární kombinace těchto proměnných, které představují část rozptylu mezi jednotlivci.

Po prokrustovské superpozici všech 240-ti landmarkových konfigurací byla provedena **analýza hlavních komponent** (PCA, Principal Component Analysis) 102 tvarových souřadnic. Analýza hlavních komponent se uplatňuje před testováním

jednotlivých hypotéz, neboť zjednodušuje variabilitu mezi objekty v souboru (Bookstein, 2018). Během PCA byly určeny hlavní komponenty (PC, principal components) neboli směry variability, které jsou lineárními kombinacemi původních proměnných (souřadnic bodů). K dalším analýzám byly vybrány pouze nejvýznamnější hlavní komponenty, které vysvětlují většinu variability a byla tak redukována nepotřebná data. Prostřednictvím statistických testů bylo následně možné otestovat, jestli je daná komponenta ovlivněna určitou proměnnou (Holland, 2008). Protože původní proměnné zachycují tvar zkoumané struktury, lineární kombinace těchto souřadnic může být zobrazena jako společný posun landmarků (např. posun od průměrného tvaru jedinců). Díky tomu bylo možné vizualizovat výsledky s více proměnnými, např. hlavní komponentu jako skutečnou deformaci tvaru (Rodionova, 2021). Pro srovnání průměrů různých věkových skupin mužů a žen byla použita **analýza rozptylu (ANOVA)**, konkrétně **dvoufaktorová ANOVA**, analyzující také interakci mezi faktory (jsou u ní uvedeny p-hodnoty jednotlivých faktorů i jejich kombinace). Tato analýza umožňuje v případě výskytu signifikantní hodnoty kombinace hodnot obou faktorů odhalit jiný směr, než který vyplývá z analýzy každého faktoru samostatně (Sokal a Rohlf, 1995). V této práci byla sledována centroid size jako závislá proměnná, a bylo testováno, zda ve všech skupinách, daných pohlavím a věkem, nabývá stejné střední hodnoty. Další analýzou v této práci byla **Procrustes ANOVA**, která porovnála průměry skupin, a pomohla tak identifikovat tvarové rozdíly mezi různými skupinami. Tato analýza byla provedena na souřadnicích tvaru i formy acetabula. Byla zkoumána závislost tvaru acetabula na velikosti, pohlaví a věku a také závislost formy (tvaru + velikosti) acetabula na pohlaví a věku. **Permutační MANOVA (PERMANOVA)** je neparametrickou formou mnohorozměrné analýzy rozptylu a umožňuje rozklad tvarové variability mezi studované proměnné. Permutační MANOVA v této práci byla provedena na PCA všech jedinců dohromady, konkrétně na šesti nejvýznamnějších hlavních komponentách. K analýze byl také proveden post-hoc test s aplikací Bonferroniho korekce, zkoumající přítomnost rozdílů ve tvaru a formě acetabula mezi muži a ženami v různých věkových skupinách. K následné klasifikaci jedinců do skupin byla použita **kanonická variační analýza (CVA)**. Jejím vstupem byly souřadnice bodu v prostoru, výstupem pak vzdálenost od rozhodovací roviny, podle které byly data zařazeny do některé ze skupin (Mitteroecker a Bookstein, 2011). CVA neurčuje euklidovskou vzdálenost mezi datovými body, ale vícerozměrnou statistickou vzdálenost mezi skupinami, tzv. Mahalanobisovu vzdálenost (Campbell a Atchley, 1981; Mitteroecker a Bookstein, 2011). Pomocí první kanonické proměnné (CV1) je označena největší diskriminace mezi centroidy skupin ve zkoumaném souboru. CV2 pak označuje druhou největší diskriminaci mezi centroidy skupin. Kanonických proměnných je o jednu

méně než počet zkoumaných skupin (Zelditch et al., 2004). Algoritmy rozřazování jedinců do skupin jsou testovány pomocí leave-one-out (LOO) křížové validace. Je potřeba zmínit, že rozdělení u diskriminační analýzy nebývá nikdy přesné, a téměř vždy se vyskytnou chybně zařazení jedinci.

7.4 *Intraobservační chyba při digitalizaci landmarků*

Všechny landmarky v konfiguraci by měly mít podobnou přesnost umístění, přičemž tato skutečnost by měla být posouzena před vlastními analýzami (Corner et al., 1992; von Cramon-Taubadel et al., 2007). Aby bylo možné posoudit absolutní chybu, se kterou byly jednotlivé landmarky opakovaně digitalizovány jedním hodnotitelem, byla pro oba klasické landmarky (LM1 a LM2) vypočítána vzdálenost mezi jejich umístěním při první a druhé digitalizaci podle následujícího vzorce, kde x, y, z jsou jednotlivé souřadnice daného landmarku:

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Chyba měření byla u klasických landmarků vyhodnocena pomocí programu Excel.

Při dokonalé shodě by se vypočítaná vzdálenost rovnala nule. Výsledky ukazují, že landmarky byly jedním hodnotitelem zaznamenány s průměrnou chybou 1,1 mm pro první landmark a 0,9 mm pro druhý landmark. Oba landmarky tak byly lokalizovány s podobnou přesností a nízkou chybou.

K otestování intraobservační chyby semilandmarků a celkového tvaru byla použita Procrustes ANOVA, která se používá pro kvantifikaci množství tvarové variability příslušející určitému faktoru (Klingenberg, 2015). Test byl proveden na souřadnicích deseti opakovaně digitalizovaných jedinců po zarovnání pomocí GPA. Z tabulky 2 vyplývá, že reziduální variabilita vyjádřená průměrným čtvercem, kterou lze přisoudit chybě měření, je velmi malá oproti intraindividuální variabilitě. Chyba představuje 5,4 % celkové variability.

Tabulka 2. Procrustes ANOVA pro tvar na bázi pozic všech landmarků i semilandmarků. Významné rozdíly vyznačeny tučně. Hladina významnosti: p < 0,05.

Efekt	Suma čtverců	Průměrný čtverec ^a	Počet stupňů volnosti	F-poměr	p-hodnota
Jedinec	0,136	1	855	18,48	< 0.001
Chyba ^b	0,0081	0	950		

^a Průměrný čtverec byl vynásoben hodnotou 1000.

^b Chyba v důsledku chyby měření, zahrnuje symetrické i asymetrické komponenty.

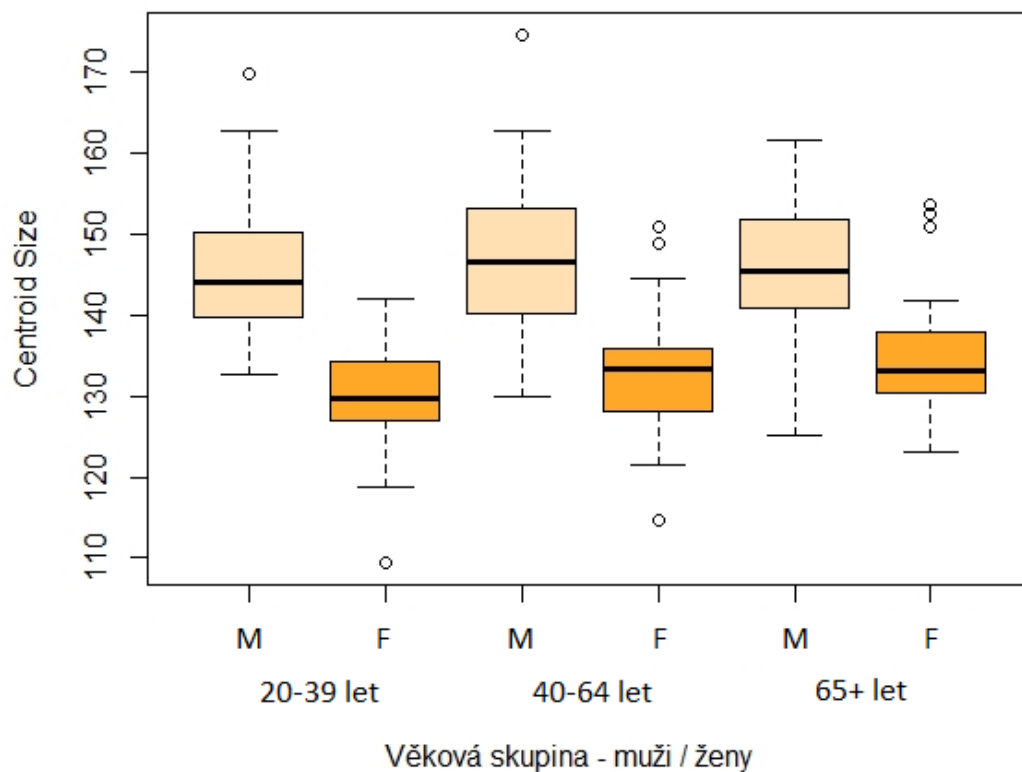
8 Výsledky

V práci je nejdříve analyzován vliv pohlaví a věku na velikost acetabula. Následně je analyzován vliv pohlaví a věku na tvar a formu acetabula.

8.1 Vliv pohlaví a věku na velikost a tvar acetabula

Pro tento cíl jsou prezentovány výsledky ANOVA ve třech různých věkových skupinách. Pro detailnější analýzu vlivu věku na velikost acetabula byla použita dvoufaktorová ANOVA, při které kombinace obou faktorů vytváří celkem šest skupin: dvě pohlaví (muži, ženy) a tři věkové skupiny (20–39 let, 40–64 let, 65+ let), přičemž každý jedinec náleží do jedné věkové skupiny a k jednomu pohlaví.

V geometrické morfometrii je jako míra velikosti používána bezrozměrná veličina, tzv. centroid size (CS). Průměrná velikost acetabula je u mužů (průměrná CS = 146,41) větší než u žen (průměrná CS = 132,36) ve všech věkových kategoriích (obr. 13).



Obrázek 13. Centroid size, představující velikost acetabula u obou pohlaví (M = muži, F = ženy) a třech věkových skupin (20–39 let, 40–64 let, 65+ let).

Výstup této dvoufaktorové ANOVA (tab. 3) zobrazuje celkovou sumu čtverců (SS), celkový průměrný čtverec (MSS) a jejich složky, které lze připsat rozdílům

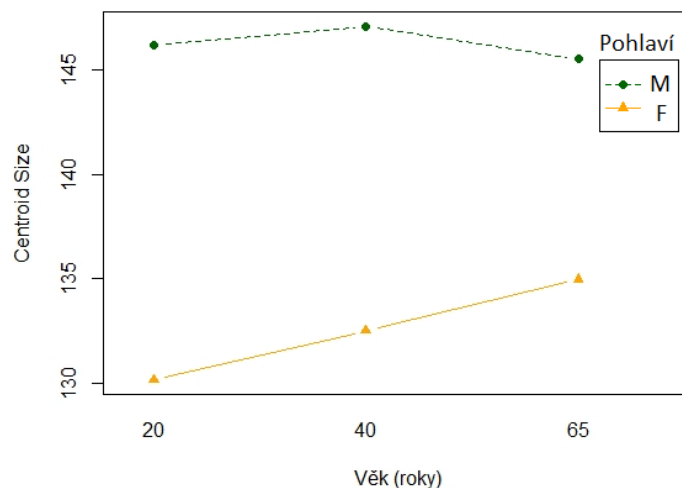
v pohlaví (první řádek), rozdílům ve věku (druhý řádek), interakci mezi pohlavím a věkem (třetí řádek) a chybě, která představuje součet čtverců ve skupinách, tj. zbytkovou variabilitu, kterou nelze přičíst ani věku, ani pohlaví (čtvrtý řádek). Hodnota F-poměru pro faktor pohlaví je dána poměrem odpovídajících MSS mezi skupinami pohlaví k MSS v rámci věkové skupiny ($11846 / 62 = 191,28$). U takto vysoké hodnoty F-poměru je extrémně nepravděpodobné, že by se vyskytovala v případě, kdy by průměry mezi oběma pohlavími byly stejné. Odhadovaná p-hodnota je velmi nízká a rozdíl ve velikosti mezi pohlavími je proto signifikantní. Oproti tomu věk nemá na velikost signifikantní vliv ($p = 0,24$). Test ukazuje také absenci interakce mezi pohlavím a věkem ($p = 0,11$).

Tabulka 3. Dvoufaktorová ANOVA vlivu pohlaví a věku na centroid size.

	Počet stupňů volnosti	Suma čtverců	Průměrný čtverec	F-poměr	p-hodnota ^a
Pohlaví	1	11846	11846	191,28	< 2e-16 ***
Věk	2	181	90	1,46	0,24
Pohlaví: Věk	2	273	136	2,20	0,11
Chyba	234	14491	62		

^a Významnost výsledků na hladině $\alpha = 0,05$ je označena jednou hvězdičkou (*), na hladině $\alpha = 0,01$ dvěma hvězdičkami (***) a na hladině 0,001 třemi hvězdičkami (***)

Interakční graf (obr. 14) zobrazuje průměry pro každou kombinaci věku a pohlaví. Oproti testu ukazujícím absenci interakce (tab. 3), graf navíc prezentuje, že linie nejsou zcela rovnoběžné a nejstarší skupiny se ve velikosti odlišují nejméně.



Obrázek 14. Vizualizace absence interakčního efektu mezi věkovými skupinami a pohlavím ve vztahu k velikosti acetabula, dané centroid size (CS). Průměry pro dané věkové skupiny jsou spojeny pro každé pohlaví odděleně.

Porovnání průměrné velikosti acetabula v jednotlivých věkových skupinách bylo provedeno pomocí Tukey HSD testu. Hodnoty ve sloupci „rozdíl“ představují průměrný rozdíl mezi dvěma porovnávanými skupinami. Průměry dvou skupin se pravděpodobně liší, pokud interval mezi dolní 95% hranicí a horní 95% hranicí nezahrnuje nulu a/nebo pokud je p-hodnota menší než 0,05 (tab. 4).

Tabulka 4. Výsledky Tukey HSD testu pro porovnání velikosti acetabula mezi skupinami.

pohlaví(věk): pohlaví(věk)	rozdíl	dolní 95%	horní 95%	p-hodnota ^a
F(20–39): M(20–39)	-16,04	-21,10	-10,98	0 ***
M(40–64): M(20–39)	0,89	-3,89	5,69	0,99
M(65+): M(20–39)	-0,68	-6,14	4,77	0,99
F(40–64): F(20–39)	2,34	-2,47	7,16	0,72
F(65+): F(20–39)	4,79	-0,61	10,20	0,11
F(40–64): M(40–64)	-14,60	-19,14	-10,05	0 ***
M(65+): M(40–64)	-1,58	-6,80	3,63	0,95
F(65+): F(40–64)	2,45	-2,73	7,64	0,75
F(65+): M(65+)	-10,55	-16,35	-4,76	0,0000053 ***

^a Významnost výsledků na hladině $\alpha = 0,05$ je označena jednou hvězdičkou (*), na hladině $\alpha = 0,01$ dvěma hvězdičkami (**), a na hladině 0,001 třemi hvězdičkami (***)

Výsledky ukazují, že velikost acetabula daná centroid size, se liší signifikantně mezi oběma pohlavími, mezi věkovými skupinami mužů a žen je velikost podobná.

8.2 Vliv pohlaví, velikosti a věku na tvar acetabula

Souřadnice zarovnané pomocí GPA byly analyzovány pomocí PCA, která vytvořila novou sadu proměnných. Následně bylo analyzováno prvních šest hlavních komponent, které jednotlivě pojímají min. 5% variability a dohromady vysvětlují 63,13% celkové variability souboru (tab. 7).

Tabulka 7. Celková PCA tvaru acetabula. PCA osy jsou seřazeny sestupně podle zachycené variability.

	Vysvětlující podíl	Kumulativní vysvětlující podíl
1	18,53	18,53
2	13,67	32,19
3	11,52	43,72
4	7,09	50,81
5	6,71	57,52
6	5,61	63,13

Tyto hlavní komponenty byly následně více popsány. Distribuce mužů a žen ve tvarovém prostoru ve všech věkových skupinách je zobrazena na bodovém grafu (obr. 15) prostřednictvím PC1 a PC2. PC1 představuje 18,52 % a PC2 13,67 % celkové variability. Společně tyto 2 lineární kombinace 102 proměnných (PC1 a PC2) vysvětlují 32,19 % variability. I když se jedinci různých věkových skupin v grafu (obr. 15) částečně překrývají, nemusí to znamenat, že mají dané skupiny stejný tvar acetabula, jelikož na grafu jsou zobrazeny jenom 2 ze 102 hlavních komponent. Věkové skupiny se mohou lišit i v další, i když již méně významné komponentě. Aby bylo možné tuto skutečnost prozkoumat, byly v následujících grafech zobrazeny také PC3–PC6 (obr. 16–17). Tyto komponenty mají na výsledný tvar menší vliv než komponenty předchozí. PC3 představuje 11,52 % a PC4 7,09 % celkové variability tvaru. Společně vysvětlují cca 18,61 % variability tvaru. První 4 hlavní komponenty pak vysvětlují celkem 50,80 % variability. U analýzy tvaru byly vyhodnocena také pátá a šestá hlavní komponenta (obr. 17). PC5 představuje 6,71 % a PC6 5,61 % celkové variability. Společně PC5 a PC6 vysvětlují již jen 12,32 % celkové variability tvaru.

V následujícím popisu změn tvaru acetabula je sledován posun průměrů skupin, které jsou znázorněny elipsami, lokalizujícími s 95% pravděpodobností centroidy skupin. Na obrázku 15 lze v grafu vysledovat nárůst variability tvaru acetabula s věkem u obou pohlaví (největší elipsy v nejstarší věkové skupině) a celkově určitý trend změny tvaru acetabula s rostoucím věkem. Nejmladší ženy se od nejmladších mužů liší podél PC1 i PC2. U nejmladších žen je acetabulum méně hluboké a otevřenější než u mužů, a s výraznějším superiorním lalokem. Středně staré ženy a muži se odlišují jen mírně v PC1, což se projevuje u středně starých mužů zmenšením *facies lunata*, menší hloubkou acetabula a větší *fossa acetabuli*. Nejstarší věková skupina mužů má oproti nejstarším ženám větší hloubku acetabula a celkově uzavřenější acetabulum.

U PC1 a PC2 (obr. 15) lze při porovnání rozmístění elips pro průměry skupin mužů a žen pozorovat, že se tvar acetabula u obou pohlaví odlišuje především u nejmladších jedinců, u nichž byly nejvýznamnější rozdíly zjištěny také pomocí analýzy PERMANOVA. Velikost elips naznačuje zvyšující se variabilitu tvaru acetabula s věkem u obou pohlaví.

Na obrázku 16 je patrné, že průměry elips pro stejné věkové skupiny mužů a žen odděluje zejména PC3, podle které je *facies lunata* u (nejmladších) žen spíše otevřenější, u mužů (a starších žen) je spíše uzavřenější. Muži mají oproti ženám menší

a zakulacenější *fossa acetabuli*, užší *incisura acetabuli*, méně výrazný superiorní lalok, a vyšší vnější okraj acetabula v oblasti obou rohů.

V grafu (obr. 17) lze pozorovat, že podél PC5 se průměry stejných věkových skupin mužů a žen oddělují, a muži obecně nabývají vyšších hodnot PC5, než ženy. S vyššími hodnotami PC5 u mužů souvisí orientace *fossa acetabuli* spíše anterosuperiornímu směrem, nižší hodnoty PC5 u žen se projevují jako protažení *fossa acetabuli* spíše posterosuperiorně. Vyšší hodnoty PC5 u mužů se projevují ve formě vyššího vnějšího posteriorního okraje a nižšího superiorního vnějšího okraje. Posteriorní roh *facies lunata* není u mužů tak výrazný, jako u žen, a *incisura acetabuli* je u mužů podle této komponenty o trochu otevřenější, než u žen. Acetabulum se podle této komponenty u žen obecně vyznačuje sníženým vnějším posteriorním okrajem a zvýšeným superiorním okrajem. Ženy mají výraznější posteriorní roh *facies lunata* a zúženou *incisura acetabuli*.

Distribuce žen ukázala, že tvar acetabula se postupně mění se zvyšujícím se věkem, přičemž nejlépe se odděluje nejmladší věková skupina, a to jak podél PC1, tak podél PC2. U žen se posun mezi prvními dvěma skupinami žen (20–39 let a 40–64 let) udává podél PC1 i PC2. S rostoucím věkem dochází k poklesu PC1, což se projevuje zvětšením *facies lunata*, nárůstem vnějšího okraje acetabula, prohlubováním acetabula, zmenšením *fossa acetabuli* a zmenšením superiorního laloku (obr. 15). Dále dochází ke zvýšení hodnoty PC2, kdy se zvětšuje *fossa acetabuli*, narůstá hloubka acetabula, narůstá kost v oblasti rohů *facies lunata* a mění se okraj acetabula. Posun mezi střední a starší skupinou žen (40–64 let a 65+ let) spočívá především v nárůstu variability podél PC1. Obě skupiny se mírně oddělují podél PC2, která se projevuje dalším zvětšením *fossa acetabuli*, nárůstem hloubky acetabula, nárůstem kosti v oblasti rohů *facies lunata* a změnou okraje acetabula u starší skupiny.

Změna tvaru acetabula mezi prvními dvěma věkovými skupinami žen (20–39 let a 40–64 let) se odehrává také podél PC3 i PC4. PC3 lehce odděluje mladší skupinu žen od starších skupin. S rostoucím věkem dochází u žen k nárůstu PC3, což se projevuje zmenšením *fossa acetabuli* a zúžením *incisura acetabuli*, zakulacením *fossa acetabuli* a zánikem superiorního laloku, a nárůstem vnějšího okraje acetabula v oblasti obou rohů. Se zvyšující se hodnotou PC4 u prvních dvou věkových skupin žen dochází k zakulacení tvaru *fossa acetabuli*, mírnému k nárůstu kosti v oblasti anteriorního rohu, k mírnému úbytku kosti v oblasti posteriorního rohu a postupnému zániku všech laloků. Mezi následujícími věkovými skupinami žen (40–64 let a 65+) se změna tvaru odehrává

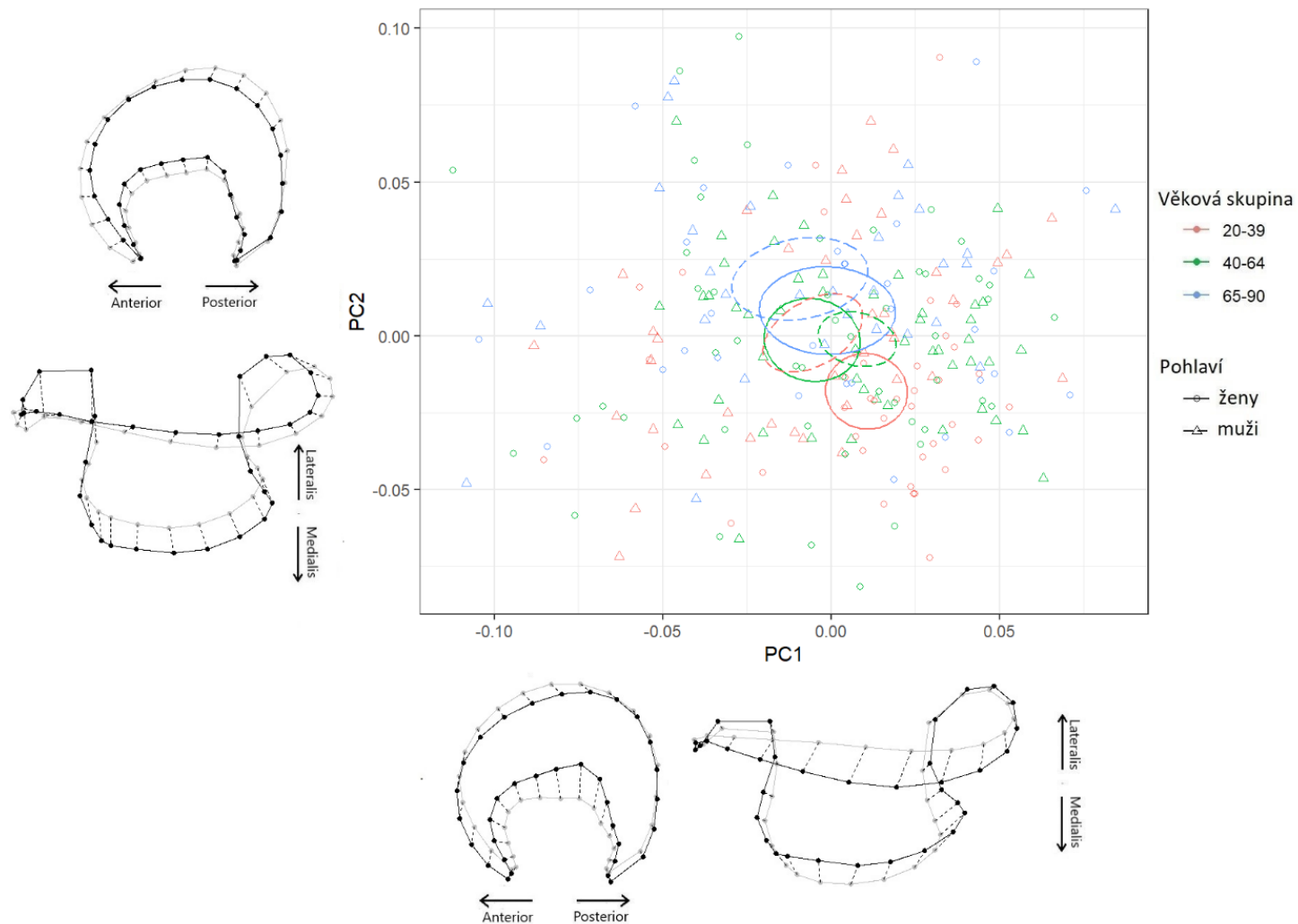
především podle PC4, kdy se nejstarší věkové skupiny mírně oddělují od ostatních a započaté změny dosahují postupně svého maxima. U starších skupin žen (40–64 let a 65+) dochází také ke zvětšení variability tvaru acetabula.

Také u mužů se tvar acetabula se zvyšujícím se věkem postupně mění, přičemž nejlépe se odděluje nejstarší věková skupina od obou mladších, a to zejména podél PC2. Zvyšující se hodnota PC2 souvisí u starší skupiny se zvětšením *fossa acetabuli*, nárůstem hloubky acetabula, nárůstem kosti v oblasti obou rohů a změnou okraje acetabula. Skupina středně starých mužů (40–64 let) se oproti nejmladším mužům (20–39 let) posunuje pouze mírně podél PC1 a dochází tak k mírnému zmenšení *facies lunata*, změně vnějšího okraje acetabula, snížení hloubky acetabula a zvětšení *fossa acetabuli*. Oproti středně starým věkovým skupinám žen je směr změn opačný.

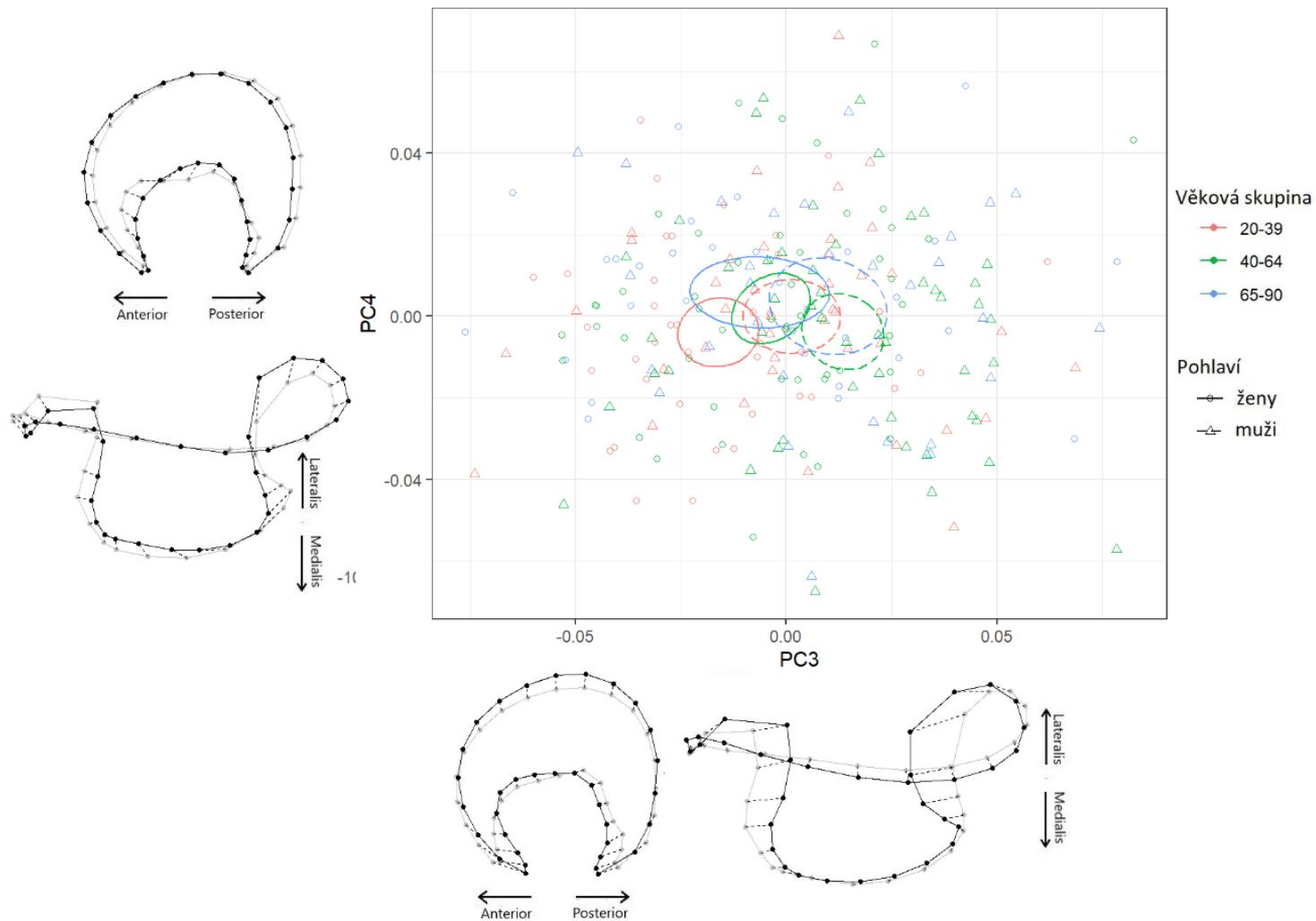
Stejně, jako tomu bylo u žen, tak i u prvních dvou věkových skupin mužů (20–39 let a 40–64 let) se PC3 zvyšuje. To se projevuje zmenšením *fossa acetabuli* a zúžením *incisura acetabuli*, zakulacením *fossa acetabuli* a zánikem superiorního laloku, a nárůstem vnějšího okraje acetabula v oblasti obou rohů. PC4 u prvních dvou věkových skupin mužů oproti ženám mírně klesá. Dochází tak k mírnému zakulacení tvaru *fossa acetabuli*, mírnému k nárůstu kosti v oblasti anteriorního rohu a k mírnému úbytku kosti v oblasti posteriorního rohu. Ve starších věkových kategoriích (40–64 let a 65+ let) se PC4 naopak zvyšuje a podobně jako u žen, dosahují zmíněné změny podle PC4 svého maxima. Také u starší věkové kategorie mužů dochází ke zvětšení variability tvaru acetabula.

Ač je v grafu poměrně velký překryv mezi skupinami (obr. 17), lze v něm pozorovat trend vývoje tvaru acetabula v rámci obou pohlaví – s rostoucím věkem má PC5 tendenci nabývat nižších hodnot. S vyššími hodnotami PC5 je u dvou mladších věkových skupin (20–39 let a 40–64 let) obou pohlaví *fossa acetabuli* formována spíše anterosuperiorním směrem, s nižšími hodnotami u starších věkových skupin je protažena spíše posterosuperiorně. Vyšší hodnoty PC5 u mladších věkových skupin žen a mužů se projevují ve formě vyššího vnějšího posterosuperiorního okraje a sníženého anterosuperiorního okraje acetabula, s nižšími hodnotami PC5 u nejstarších věkových skupin obou pohlaví je tomu naopak. S nižšími hodnotami PC5 dochází u nejstarších skupin také k nárůstu kosti v oblasti posteriorního rohu *facies lunata* a zúžení *incisura acetabuli*.

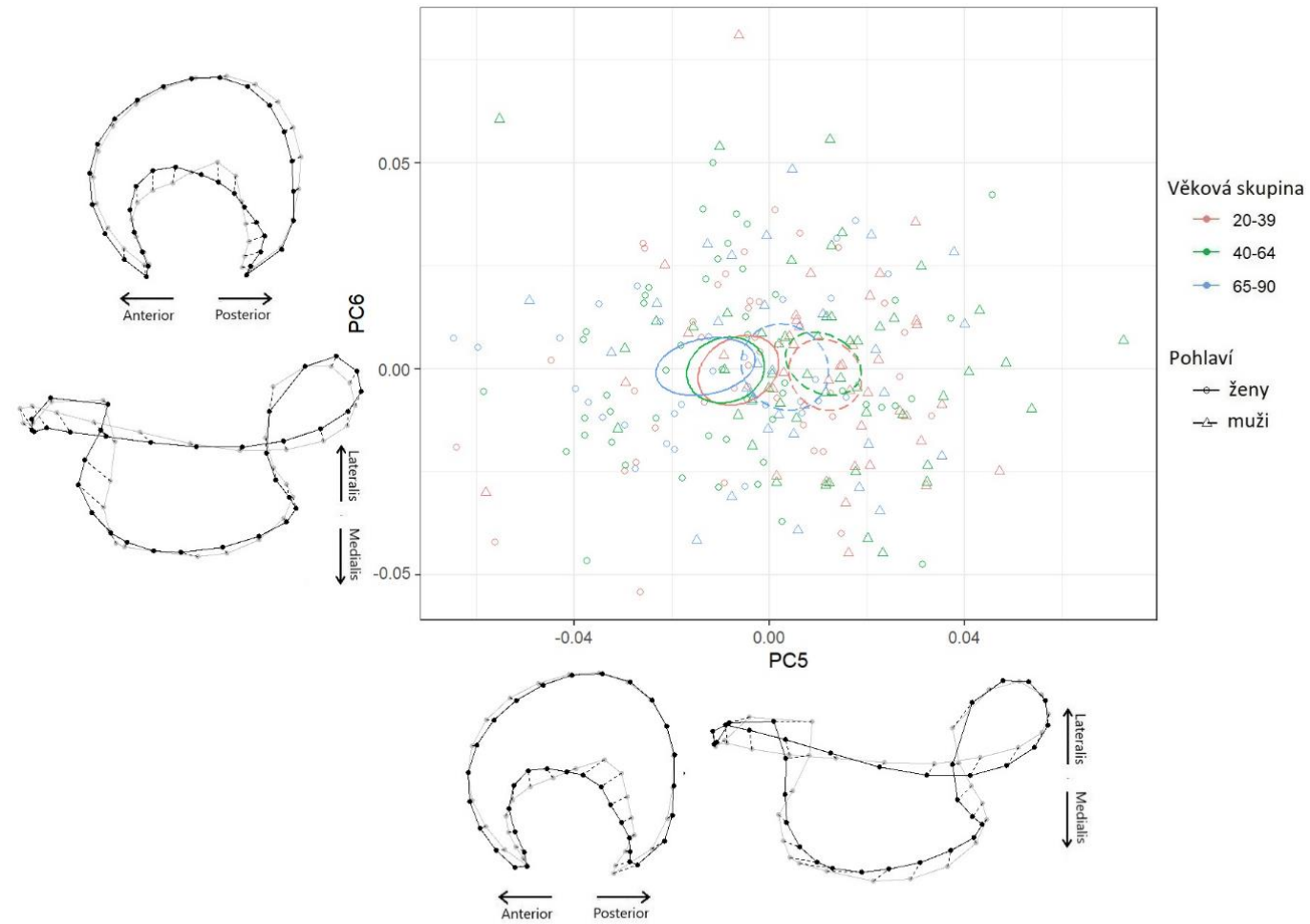
Shrnutí i detailní popis změn ve tvaru acetabula u obou pohlaví a třech věkových skupin jsou uvedeny v příloze 3 a 4.



Obrázek 15. Analýza PC1 a PC2 tvarových proměnných pro obě pohlaví ve třech věkových skupinách. Elipsy lokalizují s 95% pravděpodobností centroidy skupin. Tvarové změny podél komponent jsou znázorněny z laterálního a superiorního pohledu (šedá = minimální hodnota PC, černá = maximální hodnota PC).



Obrázek 16. Analýza PC3 a PC4 tvarových proměnných pro obě pohlaví ve třech věkových skupinách. Elipsy lokalizují s 95% pravděpodobností centroidy skupin. Tvarové změny podél komponent jsou znázorněny z laterálního a superiorního pohledu (šedá = minimální hodnota PC, černá = maximální hodnota PC).



Obrázek 17. Analýza PC5 a PC6 tvarových proměnných pro obě pohlaví ve třech věkových skupinách. Elipsy lokalizují s 95% pravděpodobností centroidy skupin. Tvarové změny podél komponent jsou znázorněny z laterálního a superiorního pohledu (šedá = minimální hodnota PC, černá = maximální hodnota PC).

Závislost tvaru acetabula na velikosti, pohlaví a věku byla otestována pomocí Procrustes ANOVA. Test ukázal významný vztah mezi tvarem acetabula a všemi testovanými proměnnými bez vlivu interakcí mezi vysvětlujícími proměnnými.

Tabulka 5. Závislost tvaru acetabula na velikosti, pohlaví a věku.

	Počet stupňů volnosti	Suma čtverců	Průměrný čtverec	F-poměr	p-hodnota ^a
Velikost	1	0,036	0,036	4,614	0,001 **
Pohlaví	1	0,025	0,025	3,209	0,002 **
Věk	2	0,039	0,019	2,458	0,001 **
Velikost: Pohlaví	1	0,005	0,005	0,641	0,820
Velikost: Věk	2	0,015	0,008	0,996	0,478
Pohlaví: Věk	2	0,019	0,010	1,244	0,183
Velikost: Pohlaví: Věk	2	0,015	0,008	1,006	0,421
Reziduály	238	1,810	0,008		
Celkem	239	1,968			

^a Významnost výsledků na hladině $\alpha = 0,05$ je označena jednou hvězdičkou (*), na hladině $\alpha = 0,01$ dvěma hvězdičkami (**), a na hladině 0,001 třemi hvězdičkami (***)

K ověření významu vlivu pohlaví a věku na tvar acetabula byla na data aplikována také permutační MANOVA, která byla provedena na PCA všech jedinců dohromady, a to na hlavních komponentách s významem vyšším než 5 % variability celkového tvaru.

K této analýze byl proveden post-hoc test s aplikací Bonferroniho korekce (tab. 6), který ukázal přítomnost významných rozdílů ve tvaru acetabula mezi nejmladšími muži a nejmladšími ženami (20–39 let), a mezi nejmladšími a středně starými ženami (20–39, 40–64 let).

Tabulka 6. Přehled p-hodnot z post-hoc testu, získané párovým srovnáváním tvaru acetabula u obou pohlaví různých věkových skupin pomocí euklidovských vzdáleností mezi skupinami.

	Ženy 20–39	Ženy 40–64	Ženy > 65	Muži 20–39	Muži 40–64
Ženy 20–39					
Ženy 40–64	0,036				
Ženy > 65	0,183	1,000			
Muži 20–39	0,004				
Muži 40–64		0,140		1,000	
Muži > 65			1,000	0,942	1,000

8.3 Vliv pohlaví a věku na formu acetabula

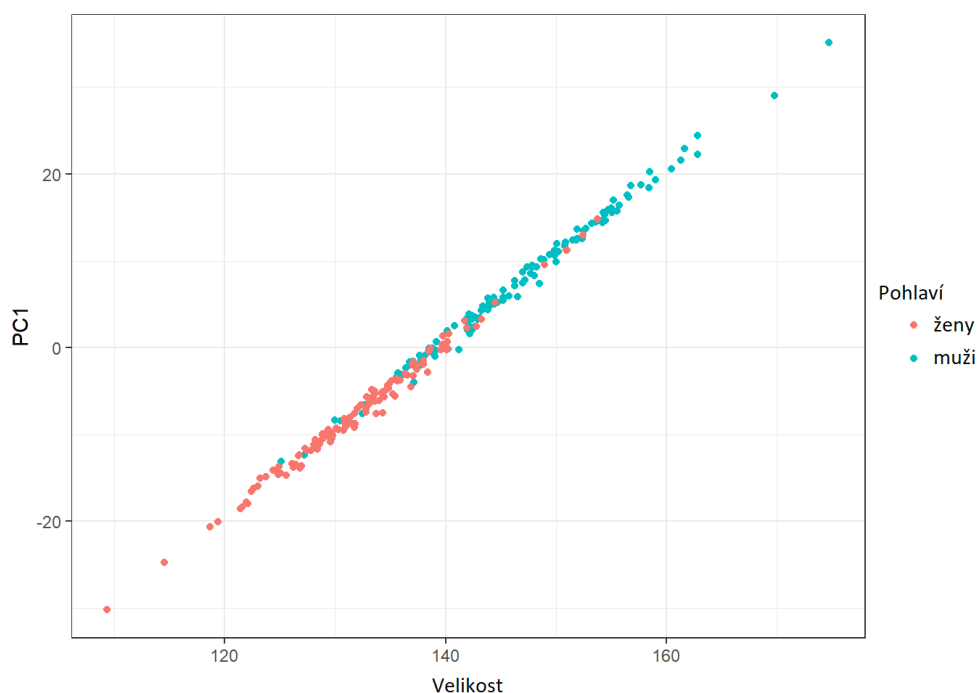
Pro interpretaci výsledků celkové PCA formy acetabula byly zvoleny první 4 osy, které mají vysvětlující podíl vyšší než 5 % (tab. 7).

Tabulka 7. Celková PCA formy acetabula. PCA osy jsou seřazeny sestupně podle zachycené variability (tzv. eigenvalue).

	Vysvětlující podíl	Kumulativní vysvětlující podíl
1	42,03	42,03
2	11,08	53,11
3	7,87	60,98
4	6,09	67,08
5	4,19	71,28
6	3,84	75,11

Také v následujícím popisu změn formy acetabula je sledován posun průměrů skupin, které jsou znázorněny elipsami, lokalizujícími s 95% pravděpodobností centroidy skupin. Distribuce mužských a ženských jedinců v prostoru ve všech věkových skupinách je zobrazena na bodovém grafu (obr. 19) prostřednictvím první a druhé hlavní komponenty. První PC představuje 42,03 % a druhá PC 11,08 % celkové variability. Společně PC1 a PC2 vysvětlují 53,11 % variability formy acetabula. Dále byly zobrazeny také PC3 a PC4 (obr. 20). Třetí hlavní komponenta představuje 7,87 % a čtvrtá hlavní komponenta 6,09 % celkové variability. PC3 a PC4 vysvětlují dohromady 13,96 % variability formy acetabula.

Na obrázku 19 je v grafu patrný celkový trend změny formy acetabula u obou pohlaví podél PC1 i PC2. Jedinci obou pohlaví se dobře oddělují zejména podél PC1, která vysvětluje největší podíl variability ve zkoumaném souboru. PC1 vyjadřuje především velikost (obr. 18), neboť forma acetabula u žen je průměrně menší než u mužů (obr. 13). Závislost PC1 na velikosti je stejná u obou pohlaví (obr. 19).



Obrázek 18. Závislost PC1 formy na velikosti, dané centroid size.

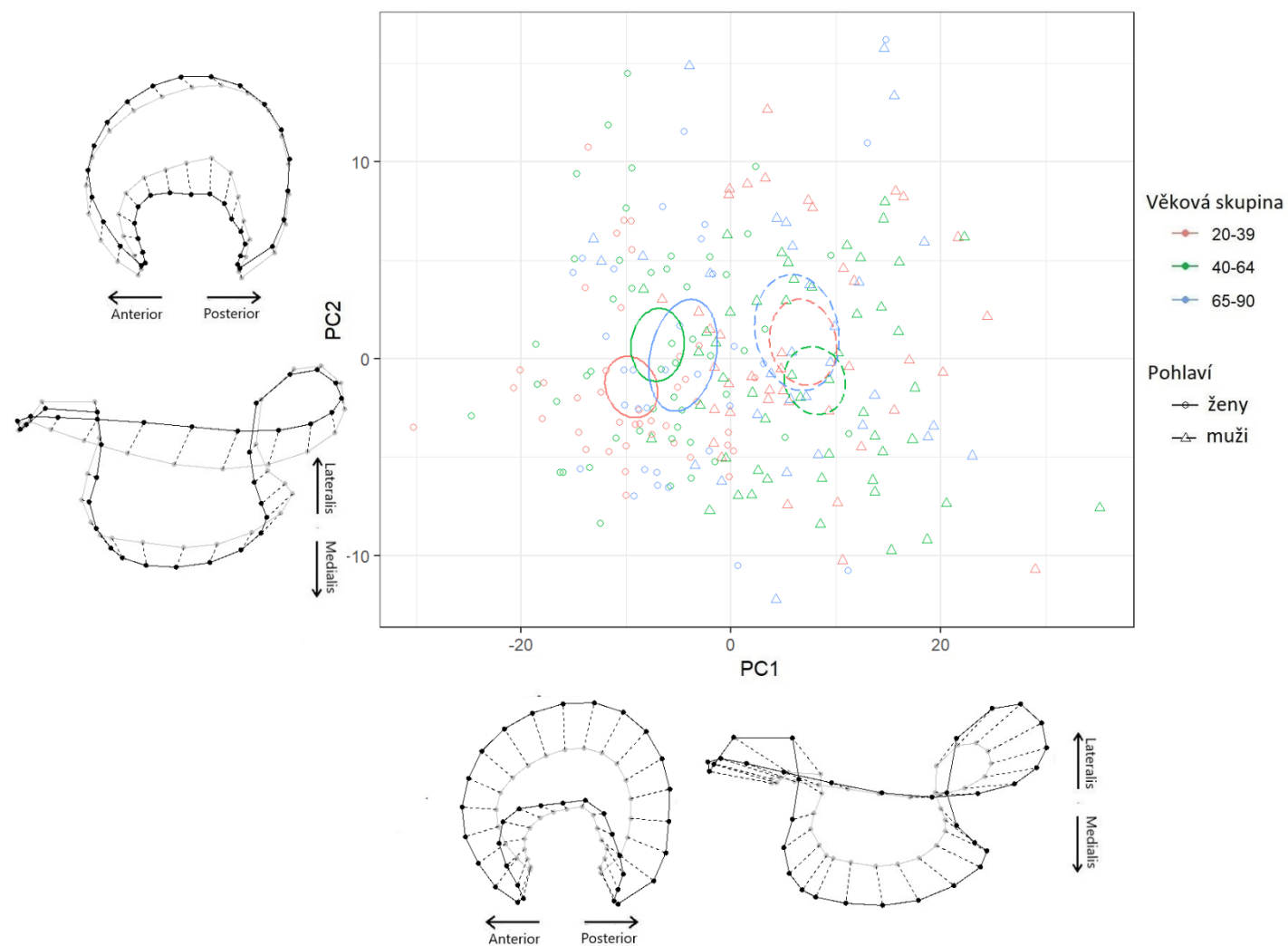
Nejmladší skupina žen se od nejmladší skupiny mužů liší především podél PC1, mírně i podél PC2 (obr. 19). U nejmladších žen je acetabulum celkově menší a nižší než u mužů, a s výraznějším superiorním lalokem. Skupiny středně starých žen a mužů se také odlišují ve velikosti acetabula (PC1), a mírně podél PC2, což se projevuje u středně starých mužů menší hloubkou acetabula a větší *fossa acetabuli* s výraznějším superiorním lalokem. Nejstarší věková skupina mužů má oproti nejstarším ženám větší velikost (PC1) a mírně hlubší acetabulum a menší *fossa acetabuli* (PC2). U PC3 lze při porovnání rozmístění elips pro průměry skupin mužů a žen pozorovat, že se forma acetabula u obou pohlaví odlišuje u dvou mladších skupin. Nejmladší ženy mají oproti nejmladším mužům nižší a otevřenější acetabulum, s výraznějším posterosuperiorním okrajem. Je zajímavé, že u středně starých věkových skupin je tomu naopak – středně staré ženy mají oproti středně starým mužům acetabulum mírně hlubší a uzavřenější, s méně výrazným posterosuperiorním okrajem. Podle PC4 se odlišují pouze mírně nejstarší skupiny. Nejstarší muži mají oproti nejstarším ženám výraznější rohy *facies lunata* a užší *incisura acetabuli*. U obou pohlaví dochází k nárůstu variability formy acetabula (zvětšující se elipsy ve starších věkových skupinách).

Distribuce žen v grafu (obr. 19) ukázala, že forma acetabula se postupně mění se zvyšujícím se věkem, přičemž nejlépe se odděluje nejmladší věková skupina, a to jak podél PC1, tak podél PC2. Posun elips pro průměry prvních dvou věkových skupin (20–39 let a 40–64 let) je udáván především podél PC2, což se projevuje zmenšením *fossa*

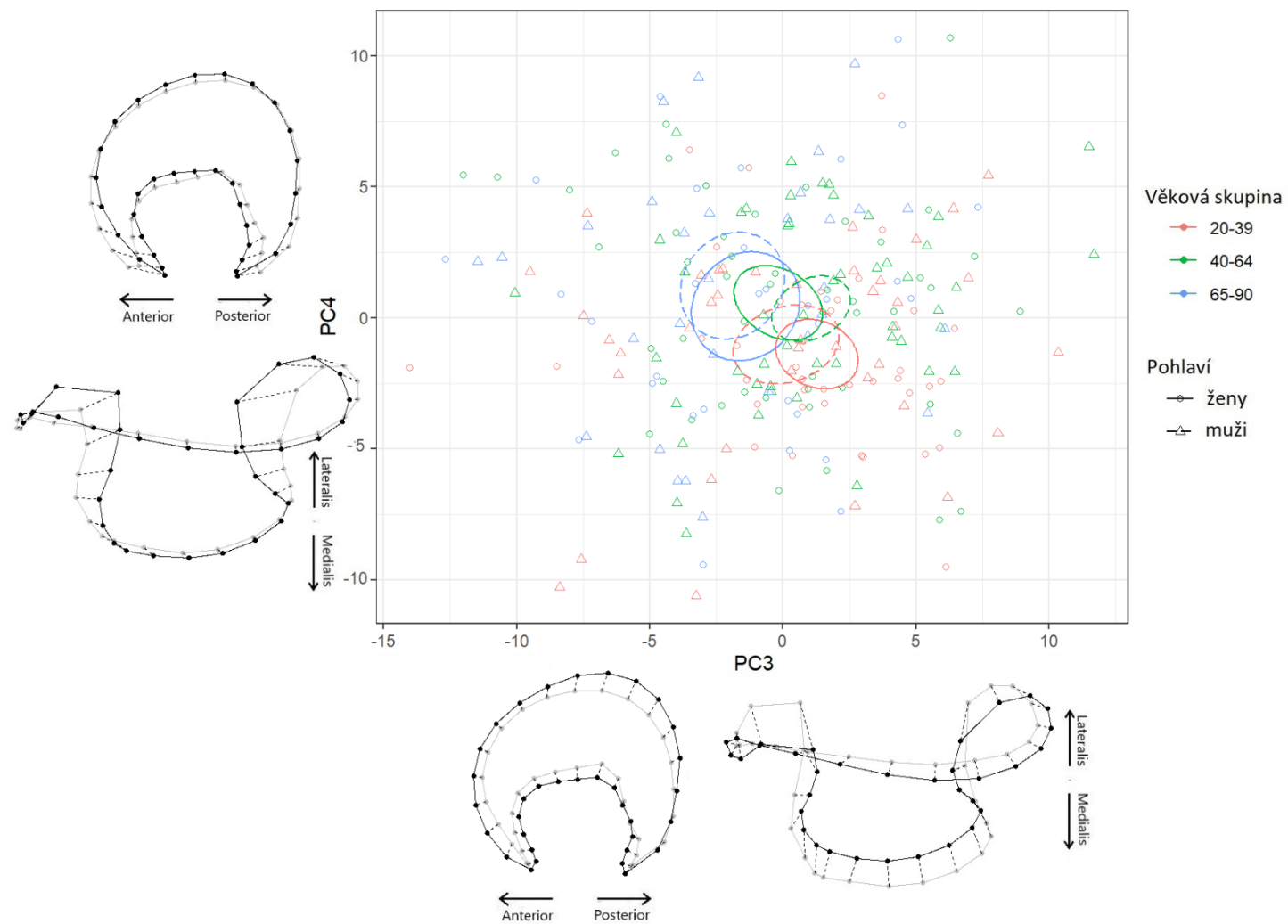
acetabuli, nárůstem hloubky acetabula a změnou okraje acetabula. Průměr nejstarší skupiny žen (nad 65 let) se posunuje převážně podél PC1 a průměrná forma acetabula této skupiny se tak přibližuje mužské formě acetabula. Vyšší hodnoty PC1 u nejstarších žen se projevují jako nárůst celkové velikosti acetabula, hlubší acetabulum a stejnoměrné zvětšení vnějšího okraje. *Fossa acetabuli* zároveň nabývá hranatějšího tvaru. Na grafu (obr. 20), znázorňujícím změnu formy acetabula podle PC3 a PC4, lze pozorovat, že mladší skupina žen dosahuje vyšších hodnot PC3, které souvisí s širším vnějším okrajem acetabula zejména posterosuperiorně a menší hloubkou acetabula. Oproti tomu ženy v nejstarší věkové skupině vykazují nižší hodnoty PC3, spojené se zmenšením vnějšího okraje acetabula, zvětšením *fossa acetabuli* a s prohloubením acetabula. Se zvýšením hodnot PC4 (obr. 20) u nejstarší a střední věkové skupiny žen souvisí zúžení *incisura acetabuli* a nárůst kosti v oblasti obou rohů. Nejmladší věková skupina vykazuje nižší hodnoty PC4, související se širší *incisura* a *fossa acetabuli*.

Na grafu (obr. 19) lze pozorovat, že u mužů se posun elips pro průměry věkových skupin odehrává především podél PC2. Mezi nejmladší a střední věkovou skupinou mužů (20–39 let a 40–64 let) se PC2 nejdříve mírně snižuje, což se projevuje zvětšením *fossa acetabuli*, snížením hloubky acetabula a změnou okraje acetabula, u starších věkových skupin (40–64 let a 65+ let) se naopak zvyšuje, což se projevuje zmenšením *fossa acetabuli*, nárůstem hloubky acetabula a změnou okraje acetabula. Nejstarší věková skupina se podobá nejmladší skupině mužů s tím rozdílem, že je o něco variabilnější ve formě acetabula než nejmladší věková skupina mužů. Na grafu (obr. 20), znázorňujícím změnu formy acetabula podle PC3 a PC4, lze pozorovat vyšší hodnoty PC3 u mladších skupin mužů, které souvisí s širším vnějším okrajem acetabula zejména posterosuperiorně a menší hloubkou acetabula. Oproti tomu nejstarší věková skupina mužů, stejně jako u žen, vykazuje nižší hodnoty PC3, spojené se zmenšením vnějšího okraje acetabula, zvětšením *fossa acetabuli* a s prohloubením acetabula. Se zvýšením hodnot PC4 (obr. 20) u nejstarší a střední věkové skupiny mužů souvisí zúžení *incisura acetabuli* a nárůst kosti v oblasti obou rohů. Nejmladší věková skupina vykazuje hodnoty PC4 nižší, spojené s širší *incisura* a *fossa acetabuli*.

Shrnutí změn ve formě acetabula u obou pohlaví a třech věkových skupin je uvedeno v tabulkách 12 a 13 na konci výsledků.



Obrázek 19. Analýza PC1 a PC2 formy acetabula, pro obě pohlaví ve třech věkových skupinách. Elipsy lokalizují s 95% pravděpodobností centroidy skupin. Tvarové změny podél komponent jsou znázorněny z laterálního a superiorního pohledu (šedá = minimální hodnota PC, černá = maximální hodnota PC).



Obrázek 20. Analýza PC3 a PC4 formy acetabula, pro obě pohlaví ve třech věkových skupinách. Elipsy lokalizují s 95% pravděpodobností centroidy skupin. Tvarové změny podél komponent jsou znázorněny z laterálního a superiorního pohledu (šedá = minimální hodnota PC, černá = maximální hodnota PC).

Závislost formy (tvaru a velikosti) acetabula na pohlaví a věku byla otestována pomocí Procrustes ANOVA. Výsledky (tab. 8) ukazují významný vztah mezi formou acetabula a faktory věku a pohlaví. Významná je také interakce věku a pohlaví. Rozdílný trend změny formy acetabula u mužů a žen s měnícím se věkem je detailněji zkoumán prostřednictvím dalších analýz.

Tabulka 8. Závislost formy acetabula na věku a pohlaví. Významné rozdíly vyznačeny tučně. Hladina významnosti: $p < 0,05$.

	Počet stupňů volnosti	Suma čtverců	Průměrný čtverec	F-poměr	p-hodnota ^a
Pohlaví	1	12676	12676,0	58,68	0,001 **
Věk	2	949	474,3	2,19	0,003 **
Pohlaví: Věk	2	759	379,7	1,76	0,039 *
Reziduály	234	50541	216,0		
Celkem	239	64925			

^aVýznamnost výsledků na hladině $\alpha = 0,05$ je označena jednou hvězdičkou (*), na hladině $\alpha = 0,01$ dvěma hvězdičkami (**), a na hladině 0,001 třemi hvězdičkami (***)

K ověření významu vlivu pohlaví a věku na formu acetabula byla na data aplikována permutační MANOVA, která byla provedena na PCA všech jedinců, a to na prvních šesti hlavních komponentách. K této analýze byl proveden post-hoc test s aplikací Bonferroniho korekce, který ukázal přítomnost významných rozdílů ve formě acetabula mezi muži a ženami ve stejných věkových skupinách (tab. 9). Vliv věku na formu je jednotný mezi muži a ženami.

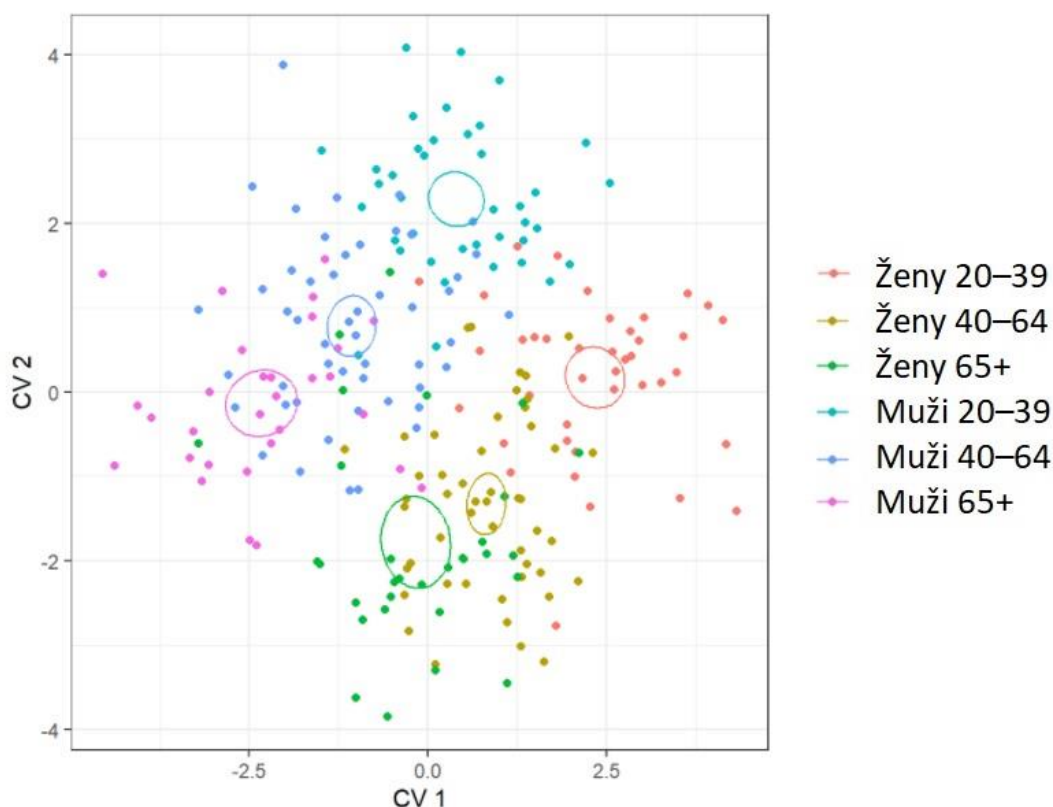
Tabulka 9. Přehled p-hodnot z post-hoc testu, získané párovým srovnáváním formy acetabula u obou pohlaví různých věkových skupin pomocí euklidovských vzdáleností mezi skupinami. Významné rozdíly: tučně. Hladina významnosti: $p > 0,05$.

	Ženy 20–39	Ženy 40–64	Ženy > 65	Muži 20–39	Muži 40–64
Ženy 20–39					
Ženy 40–64	0,547				
Ženy > 65	1,000	1,000			
Muži 20–39	0,001				
Muži 40–64		0,001		1,000	
Muži > 65			0,008	1,000	1,000

8.4 Kanonická variační analýza

8.4.1 Tvar acetabula

Kanonická variační analýza dále zkoumala tvarové rozdíly acetabula u obou pohlaví ve třech věkových skupinách. První kanonická proměnná (CV1) ukazuje největší rozdílnost ve tvaru acetabula, která se nachází ve zkoumaném souboru jedinců (obr. 21). CV1 představuje 35,40 % celkové variability zkoumaného souboru. Druhá kanonická proměnná (CV2) udává cca 29,72 % celkové variability. Obě osy přispívají k oddělení žen od mužů i k oddělení jednotlivých věkových skupin (obr. 21).



Obrázek 21. Kanonická variační analýza tvaru pro CV1 a CV2. Konfidenční elipsy lokalizují s 95% pravděpodobností centroidy skupin.

Úspěšnost klasifikace na původním souboru byla 87,92 %, s cross-validacemi pouze 32,92 %. Výsledky CVA na původním souboru mají vysokou úspěšnost díky tomu, že je model na tato data naučen.

Tabulka 10 prezentuje výsledky diskriminační analýzy. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u středně starých žen, u nichž bylo správně klasifikováno 22 žen ze 49, tedy 44,89 %. U středně starých mužů byl správně zařazen pouze 11 mužů z 50, tedy

22,00 %. U nejmladších žen bylo správně určeno 16 ze 40 žen, tedy 40,00 %, a u nejmladších mužů bylo správně zařazeno 15 jedinců ze 40 (37,50 %). Model dosáhl nejmenší úspěšnosti u nejstarší skupiny mužů, kdy bylo správně zařazeno pouze 5 mužů ze 30, tedy 16,67 %. V této skupině byl také nejnižší počet zkoumaných jedinců (tab. 1). Nejstarší ženy byly klasifikátorem zařazeny v lepším poměru, a to 10 z 31 (32,25 %).

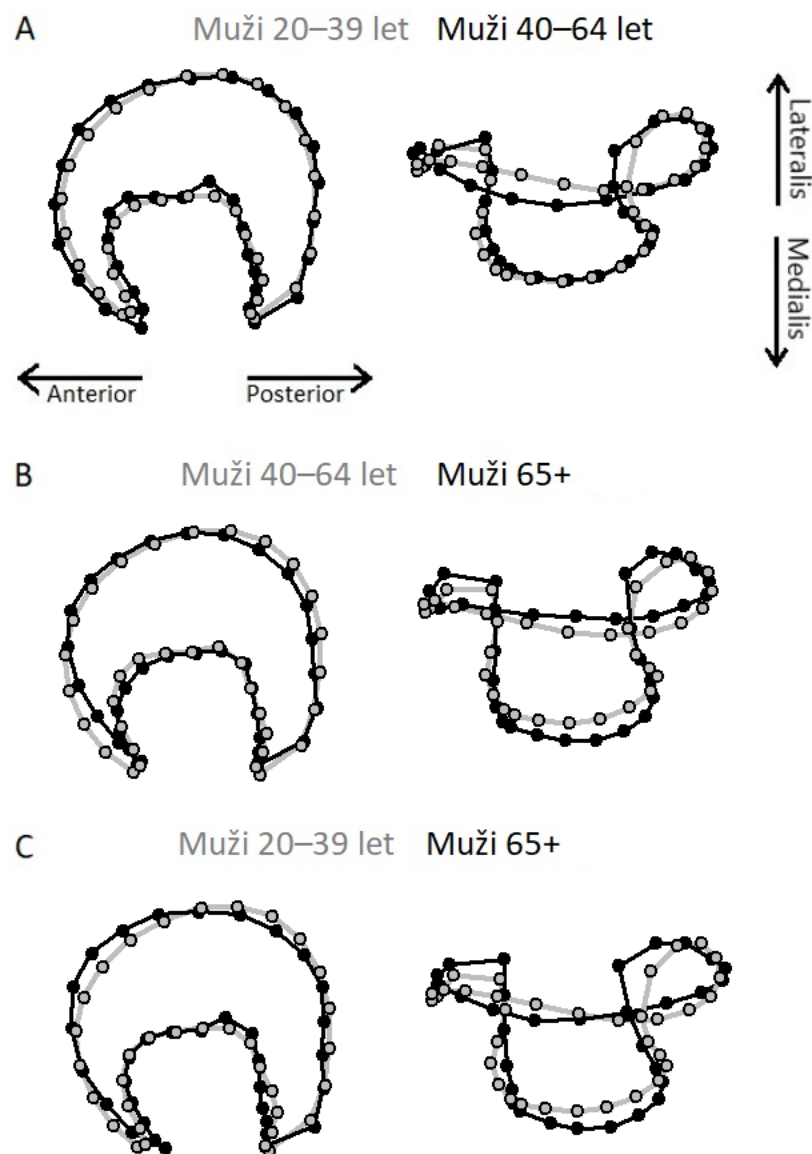
Tabulka 10. Kanonická variační analýza na původním souboru a s cross-validacemi (hodnoty uvedeny v závorkách) pro tři věkové skupiny obou pohlaví. Počty jedinců v kategoriích uvedeny v levém sloupci v závorce za každou věkovou kategorií. Výsledky analýzy s cross-validacemi s hodnotami vyššími než 16,67 % (včetně) vyznačeny tučně. Úspěšnost klasifikace uvedena ve spodní tabulce v %.

	Predikovaná skupina					
	Ženy 20–39	Ženy 40–64	Ženy 65+	Muži 20–39	Muži 40–64	Muži 65+
Počet						
Ženy 20–39 (40)	37 (16)	2 (7)	0 (4)	1 (6)	0 (2)	0 (5)
Ženy 40–64 (49)	1 (5)	44 (22)	1 (8)	1 (5)	2 (5)	0 (4)
Ženy 65+ (31)	1 (4)	3 (7)	24 (10)	1 (3)	1 (3)	1 (4)
Muži 20–39 (40)	1 (9)	0 (4)	0 (1)	36 (15)	2 (9)	1 (2)
Muži 40–64 (50)	0 (5)	0 (6)	1 (9)	2 (9)	45 (11)	2 (10)
Muži 65+ (30)	0 (1)	1 (3)	1 (6)	0 (4)	3 (11)	25 (5)
Procento						
Ženy 20–39 (40)	92,50 (40,00)	5,00 (17,50)	0,00 (10,00)	2,50 (15,00)	0,00 (5,00)	0,00 (12,50)
Ženy 40–64 (49)	2,04 (10,20)	89,79 (44,89)	2,04 (16,32)	2,04 (10,20)	4,08 (10,20)	0,00 (8,16)
Ženy 65+ (31)	3,22 (12,90)	9,67 (22,58)	77,41 (32,25)	3,22 (9,67)	3,22 (9,67)	3,22 (12,90)
Muži 20–39 (40)	2,50 (22,50)	0,00 (10,00)	0,00 (2,50)	90,00 (37,50)	5,00 (22,50)	2,50 (5,00)
Muži 40–64 (50)	0,00 (10,00)	0,00 (12,00)	2,00 (18,00)	4,00 (18,00)	90,00 (22,00)	4,00 (20,00)
Muži 65+ (30)	0,00 (3,33)	3,33 (10,00)	3,33 (20,00)	0,00 (13,33)	10,00 (36,67)	83,33 (16,67)

Nejnižší úspěšnost klasifikace s cross-validacemi byla u nejstarších mužů (16,67 %, tab. 10), kteří byli nejčastěji označeni jako středně staří muži (36,67 %) či jako nejstarší ženy (20 %). 22,50 % nejmladších mužů bylo chybně určeno jako nejmladší ženy a stejné procento (22,50 %) jich bylo určeno jako středně staří muži. 20,00 % středně starých mužů bylo nesprávně určeno jako nejstarší muži, 18,00 % jich bylo určeno jako nejmladší muži a 18,00 % jako nejstarší ženy. U žen dosahoval nejnižší úspěšný výsledek analýzy s cross-validacemi hodnoty 32,25 % (u skupiny nejstarších žen), hodnoty

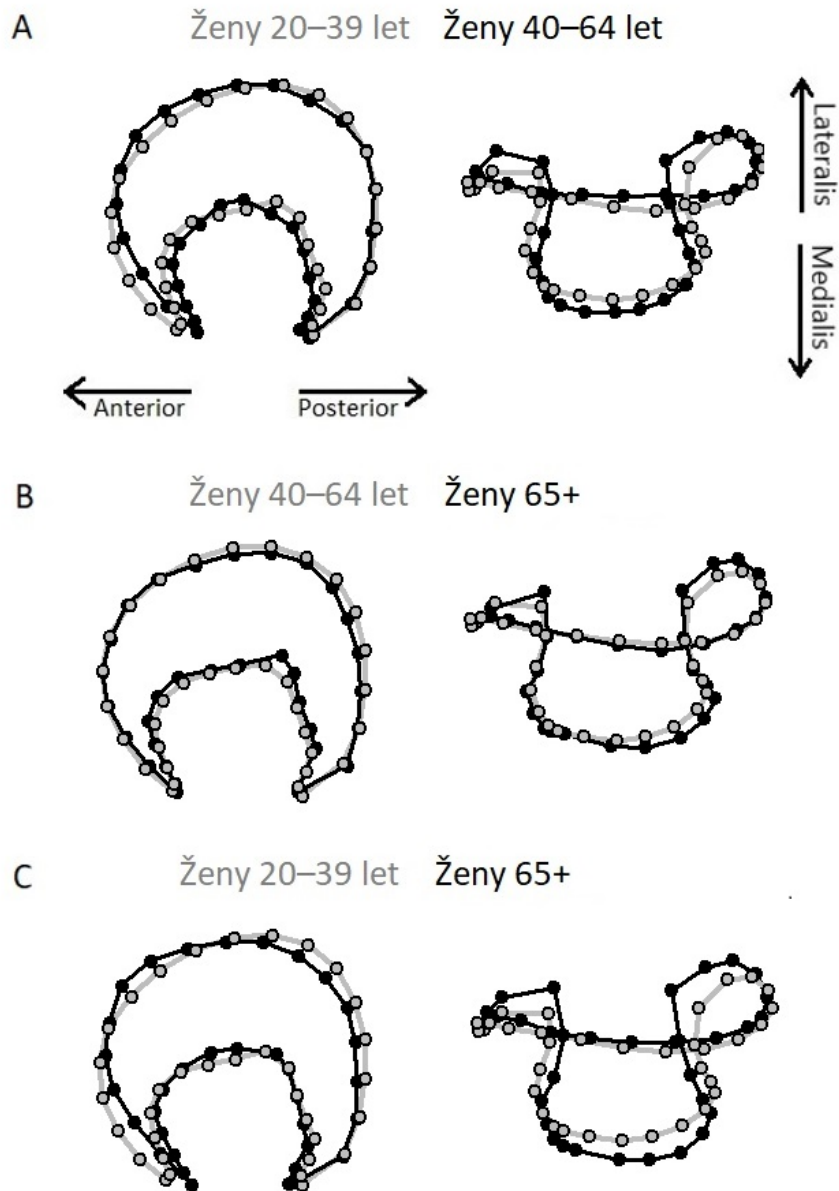
u zaměněných skupin byly nižší. Nejčastější byla záměna nejstarších žen za středně staré ženy (22,58 %) či nejmladších žen za středně staré ženy (17,50 %).

U mužů i u žen (pro každé pohlaví zvlášť) jsou rozdíly formy acetabula mezi třemi věkovými skupinami – mladí dospělí (20–39 let), středně staří dospělí (40–64 let) a nejstarší dospělí (65+ let), znázorněny také pomocí wireframe grafů (obr. 22–24), zobrazujících polohu, směr a velikost rozdílů mezi průměrnými tvary starší věkové skupiny ve vztahu k mladší věkové skupině.



Obrázek 22A-C. Párové rozdíly v průměrném tvaru acetabula mezi věkovými skupinami mužů. Levý sloupec: laterální pohled, pravý sloupec: superiorní pohled. Světle: mladší skupina, tmavě: starší skupina. Rozdíly zvýrazněny 4x.

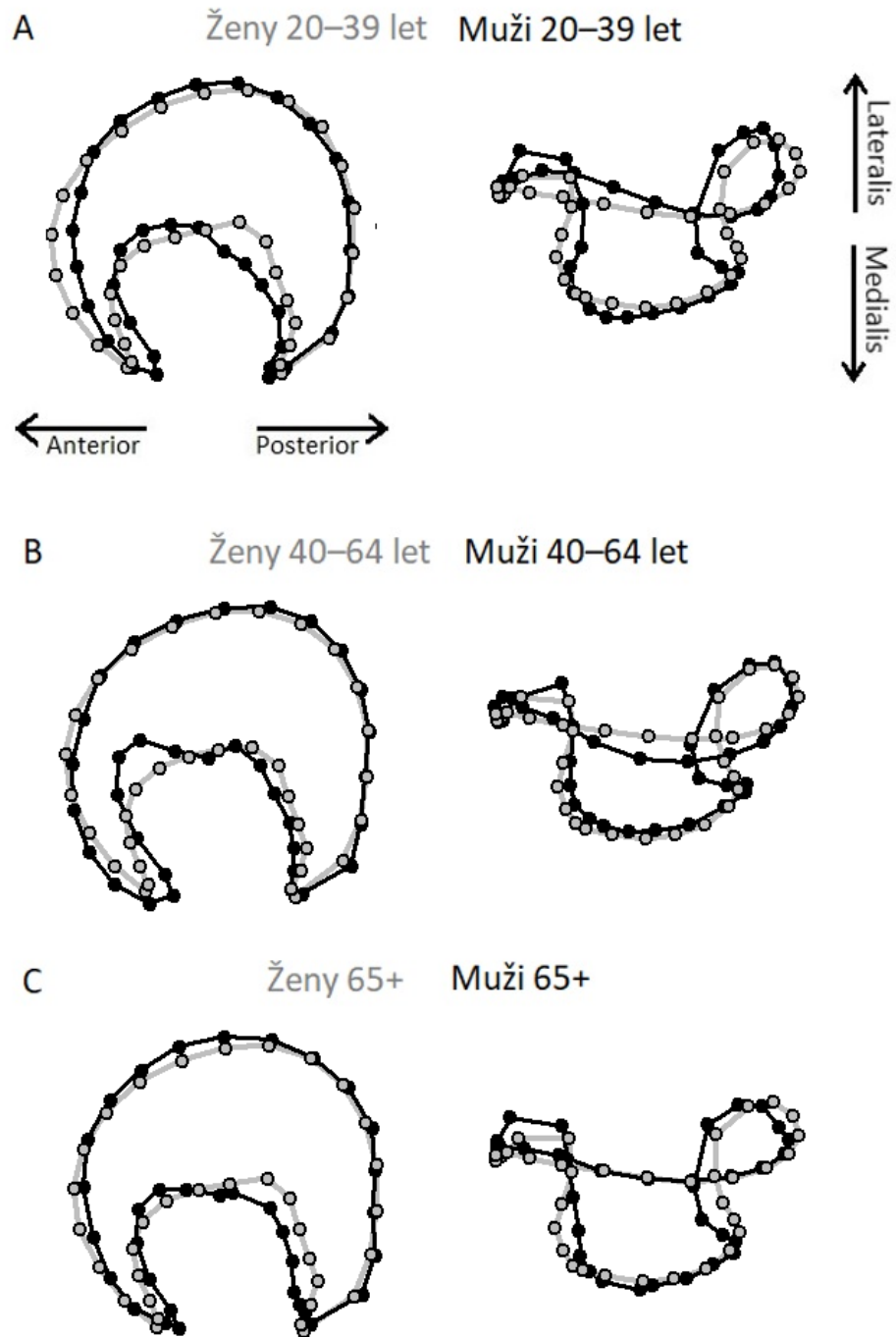
Z grafů lze pozorovat, že mezi nejmladší a střední věkovou skupinou (obr. 22A), a také střední a nejstarší věkovou skupinou (obr. 22B), dochází k nárůstu kosti v oblasti rohů *facies lunata* a změně tvaru okraje acetabula, u nejstarší skupiny (22B) pak k prohlubování acetabula.



Obrázek 23A-C. Párové rozdíly v průměrném tvaru acetabula mezi věkovými skupinami žen. Levý sloupec: laterální pohled, pravý sloupec: superiorní pohled. Světle: mladší skupina, tmavě: starší skupina. Rozdíly zvýrazněny 4x.

U nejmladší a střední věkové skupiny žen (obr. 23A) jsou tvarové rozdíly související s věkem charakterizovány narůstáním okraje acetabula, zmenšováním plochy *fossa acetabuli* a změně jejího tvaru, nárůstem kosti v oblasti rohů *facies lunata* (zejména

anteriorního rohu) a zúžením *incisura acetabuli*. Mezi střední a nejstarší věkovou skupinou (obr. 23B), dochází k mírné změně tvaru *fossa acetabuli* a nárůstu kosti v oblasti obou rohů.

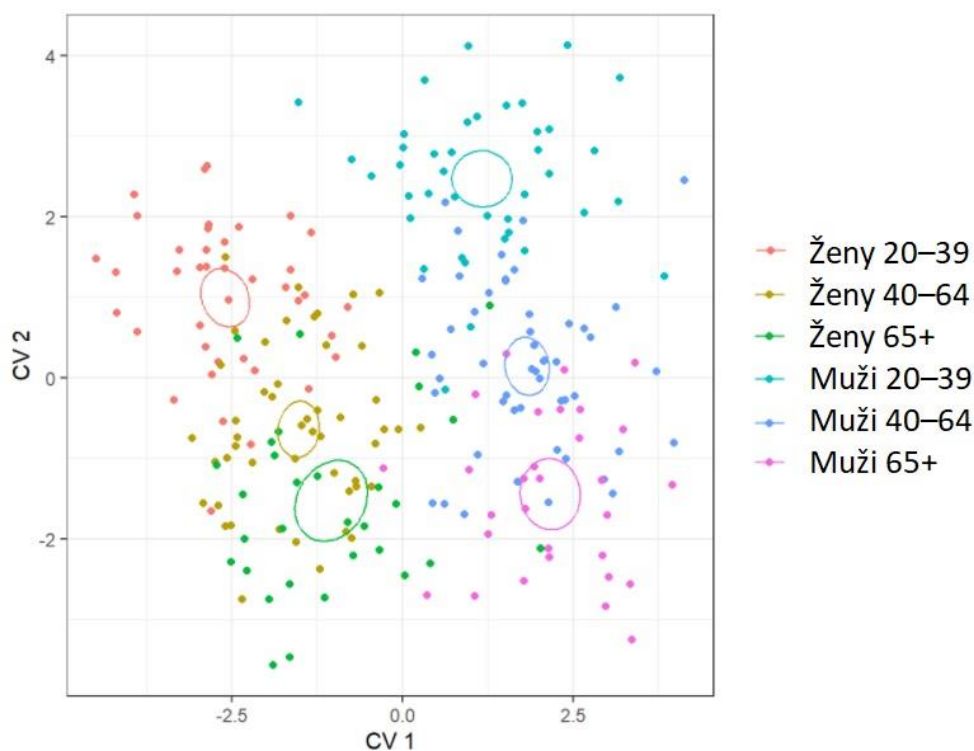


Obrázek 24. Párové rozdíly v průměrném tvaru acetabula mezi věkovými skupinami mužů a žen: A) 20–39 let B) 40–64 let, C) nad 65 let. Levý sloupec: laterální pohled, pravý sloupec: superiorní pohled. Světle: ženy, tmavě: muži. Bez zvýraznění rozdílu.

Pomocí wireframe grafů jsou tvarové rozdíly acetabula mezi třemi věkovými skupinami znázorněny i mezi oběma pohlavími (obr. 24). V nejmladší věkové skupině jsou rozdíly mezi muži a ženami nejvýznamnější. Muži mají na rozdíl od žen užší *incisura acetabuli*, odlišné zakřivení *fossa acetabuli* a celkově hlubší a uzavřenější acetabulum. Ve střední věkové skupině mají muži oproti ženám výraznější anteriorní lalok a anteriorní roh *facies lunata*. V nejstarších věkových skupinách tyto změny přetrvávají, nicméně nejsou již tak výrazné jako v případě středních věkových skupin. U nejstarších mužů dochází k většímu zmenšování superiorního laloku a výraznějšímu celkovému zmenšení jamky acetabula.

8.4.2 Forma acetabula

Kanonická variační analýza zkoumala také rozdíly ve formě acetabula u obou pohlaví ve třech věkových skupinách. I v této kovariační matici se nachází celkem 6 skupin, a 5 os, které jednotlivé skupiny oddělují (obr. 25). První kanonická proměnná (CV1) ukazuje největší rozdílnost ve formě acetabula, která se nachází ve zkoumaném souboru jedinců. CV1 představuje 44,07 % celkové variability zkoumaného souboru. Druhá kanonická proměnná (CV2) udává 26,98 % celkové variability. Obě osy přispívají k oddělení žen od mužů i k oddělení jednotlivých věkových skupin (obr. 25).



Obrázek 25. Kanonická variační analýza pro CV1 a CV2, znázorňující oddělení jednotlivých věkových skupin. Variabilita je znázorněna také pomocí konfidenčních elips, které lokalizují s 95% pravděpodobností centroidy skupin.

Úspěšnost klasifikace na původním souboru byla 89,17 %, s cross-validacemi 35,42 %. Výsledky CVA na původním souboru mají opět vysokou úspěšnost díky tomu, že je model na tato data naučen.

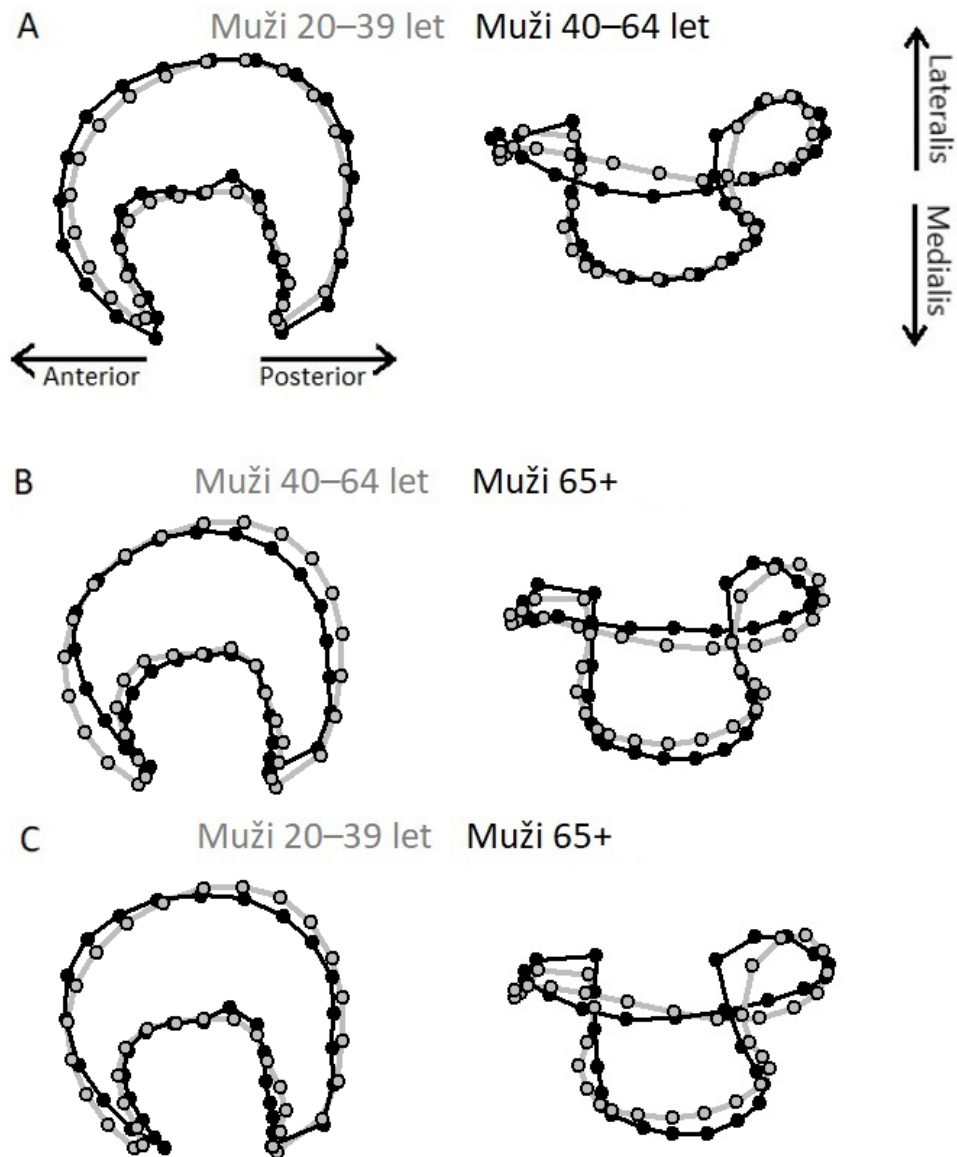
Model dosáhl vyšší úspěšnosti při klasifikaci pohlaví, především u žen (tab. 11). Zařazení jedinců do správných věkových skupin bylo méně úspěšnější. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u nejmladších žen, u nichž bylo správně zařazeno 24 žen ze 40, tedy 60,00 %. U nejmladších mužů bylo správně určeno 17 ze 40 (42,50 %). U středně starých jedinců bylo správně zařazeno 15 žen ze 49 (30,61 %) a 15 mužů z 50, tedy 30,00 % (tab. 11). Model dosáhl nejmenší úspěšnosti u nejstarší skupiny mužů, do které byli správně zařazeni pouze 4 muži ze 30, tedy 13,33 %. Avšak v této skupině byl také nejnižší počet zkoumaných jedinců (tab. 1). Nejstarší ženy, ač byl jejich počet podobný, byly klasifikátorem zařazeny v lepším poměru, a to 10 z 31 (32,25 %).

Tabulka 11. Kanonická variační analýza na původním souboru a s cross-validacemi (hodnoty uvedeny v závorkách) pro tři věkové skupiny obou pohlaví. Počty jedinců v kategoriích jsou uvedeny v levém sloupci v závorce za každou věkovou kategorií. Výsledky analýzy s cross-validacemi s hodnotami vyššími než 13,33 % (včetně) vyznačeny tučně. Úspěšnost klasifikace uvedena ve spodní tabulce v %.

	Predikovaná skupina					
	Ženy 20–39	Ženy 40–64	Ženy 65+	Muži 20–39	Muži 40–64	Muži 65+
Počet						
Ženy 20–39 (40)	38 (24)	2 (6)	0 (6)	0 (1)	0 (1)	0 (2)
Ženy 40–64 (49)	3 (11)	44 (15)	1 (11)	0 (4)	1 (2)	0 (6)
Ženy 65+ (31)	1 (6)	3 (6)	24 (10)	1 (3)	1 (3)	1 (3)
Muži 20–39 (40)	0 (6)	0 (5)	0 (1)	37 (17)	2 (9)	1 (2)
Muži 40–64 (50)	0 (2)	0 (4)	1 (5)	2 (11)	45 (15)	2 (13)
Muži 65+ (30)	0 (0)	1 (4)	2 (6)	0 (5)	1 (11)	26 (4)
Procento						
Ženy 20–39 (40)	95,00 (60,00)	5,00 (15,00)	0,00 (15,00)	0,00 (2,50)	0,00 (2,50)	0,00 (5,00)
Ženy 40–64 (49)	6,12 (22,44)	89,79 (30,61)	2,04 (22,44)	0,00 (8,16)	2,04 (4,08)	0,00 (12,24)
Ženy 65+ (31)	3,22 (19,35)	9,67 (19,35)	77,41 (32,25)	3,22 (9,67)	3,22 (9,67)	3,22 (9,67)
Muži 20–39 (40)	0,00 (15,00)	0,00 (12,50)	0,00 (2,50)	92,50 (42,50)	5,00 (22,50)	2,50 (5,00)
Muži 40–64 (50)	0,00 (4,00)	0,00 (8,00)	2,00 (10,00)	4,00 (22,00)	90,00 (30,00)	4,00 (26,00)
Muži 65+ (30)	0,00 (0,00)	3,33 (13,33)	6,66 (20,00)	0,00 (16,66)	3,33 (36,67)	89,66 (13,33)

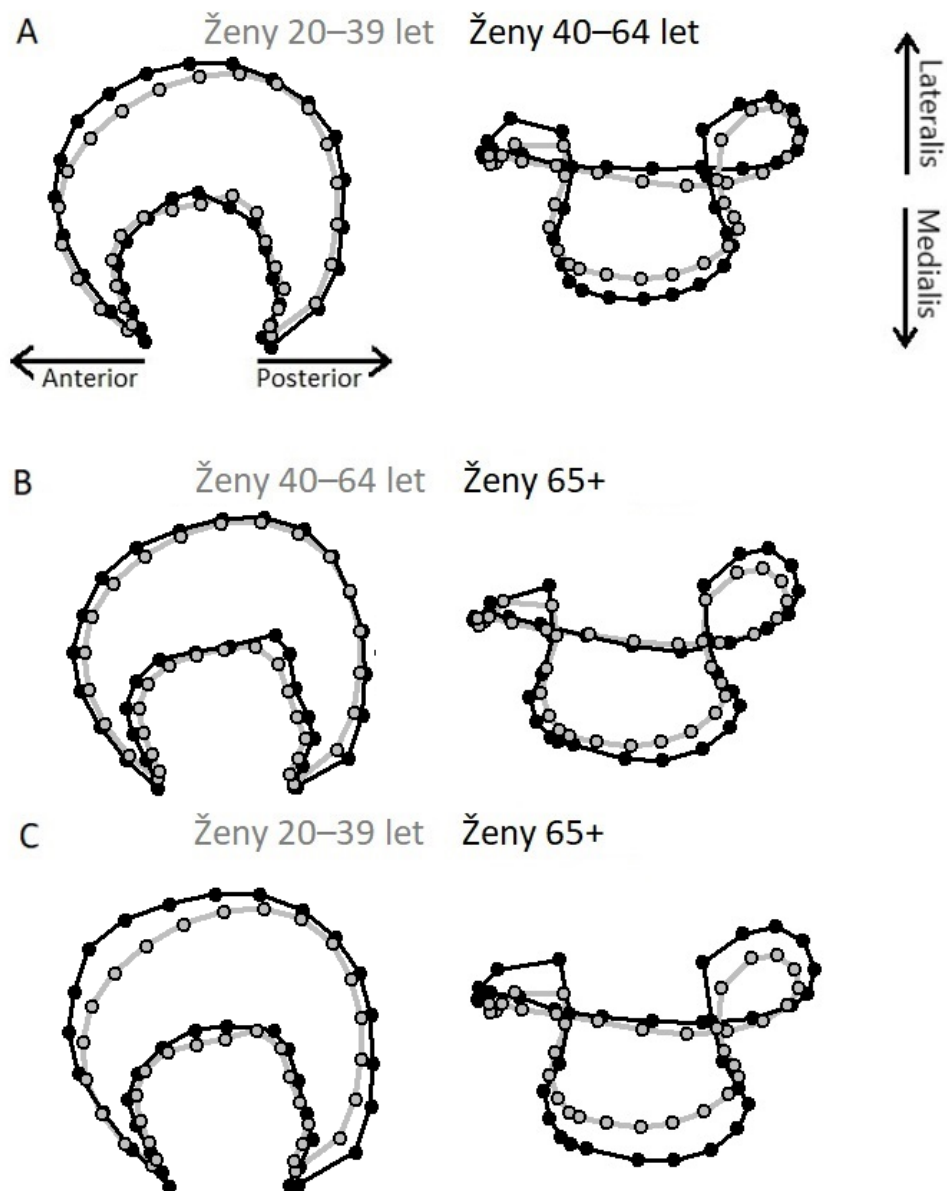
Nejnižší úspěšnost klasifikace s cross-validacemi byla u nejstarších mužů (13,33 %; tab. 11). Nejstarší muži byli nejčastěji označeni jako středně staří muži (36,67 %), jako nejstarší ženy (20,00 %), jako nejmladší muži (16,66 %) či jako středně staré ženy (13,33 %). 26,00 % středně starých mužů bylo nesprávně určeno jako nejstarší muži a 22,00 % jich bylo určeno jako nejmladší muži. Nejmladší muži byli nejčastěji zaměňováni za středně staré muže (22,50 %) či za nejmladší ženy (15 %). U žen dosahoval nejnižší úspěšný výsledek analýzy s cross-validacemi hodnoty 32,25 % (u skupiny nejstarších žen), hodnoty u zaměněných skupin byly nižší.

Rozdíly ve formě acetabula u mužů i u žen ve třech věkových skupinách – mladí dospělí (20–39 let), středně staří dospělí (40–64 let) a nejstarší dospělí (65+ let) jsou dále reprezentovány pomocí wireframe grafů (obr. 26–27), zobrazujících polohu, směr a velikost rozdílů v průměrné formě starší věkové skupiny ve vztahu k mladší věkové skupině.



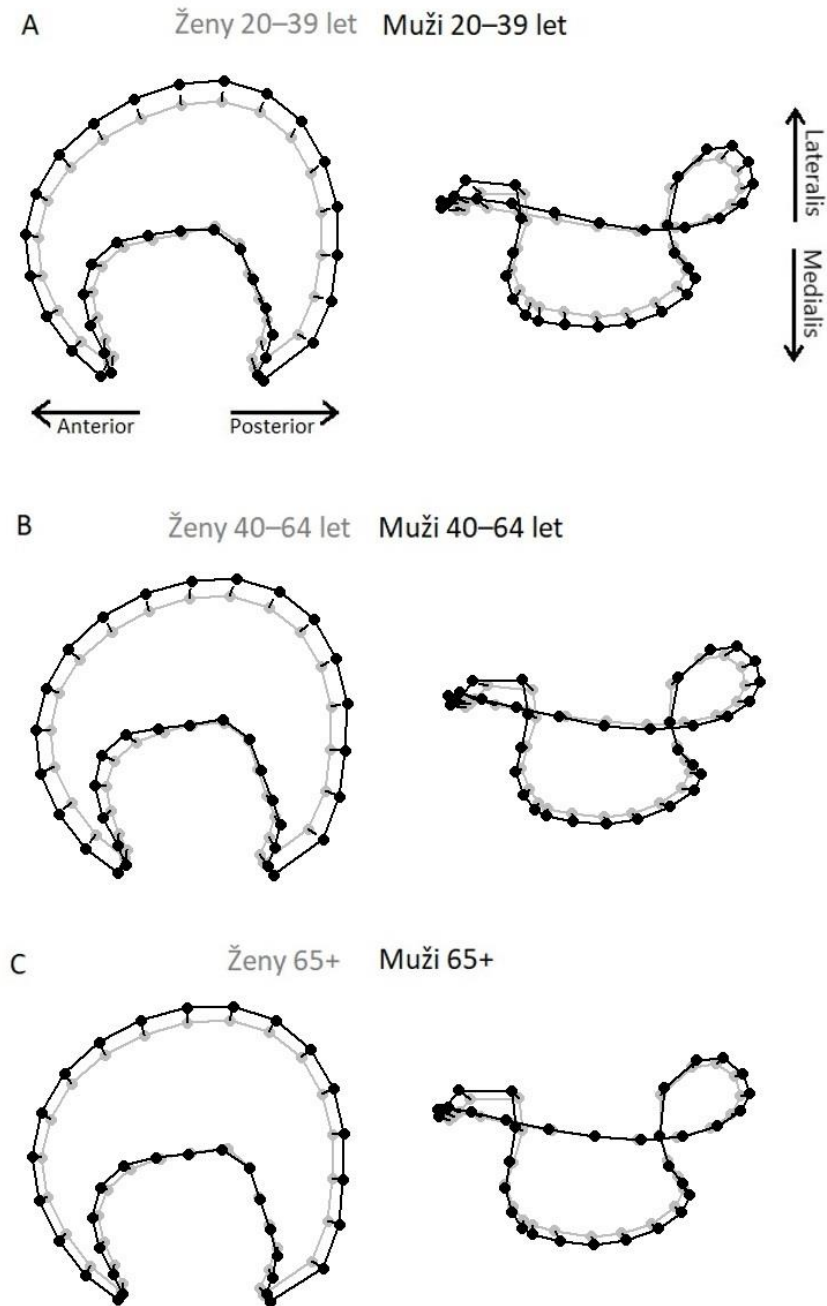
Obrázek 26A-C. Párové rozdíly v průměrném tvaru acetabula mezi věkovými skupinami mužů. Levý sloupec: laterální pohled, pravý sloupec: superiorní pohled. Světle: mladší skupina, tmavě: starší skupina. Rozdíly zvýrazněny 4x.

Z grafů lze pozorovat, že u všech věkových skupin mužů (obr. 26) dochází k nárůstu vnějšího okraje acetabula a rohů *facies lunata*, u nejstarší skupiny (26B) také k prohlubování acetabula.



Obrázek 27A-C. Párové rozdíly v průměrném tvaru acetabula mezi věkovými skupinami žen. Levý sloupec: laterální pohled, pravý sloupec: superiorní pohled. Světle: mladší skupina, tmavě: starší skupina. Rozdíly zvýrazněny 4x.

U všech věkových skupin žen (obr. 27) jsou rozdíly ve formě acetabula související s věkem u všech skupin charakterizovány nárůstem kosti v oblasti rohů *facies lunata*. Mezi dvěma mladšími skupinami (20–39 a 40–64 let) dochází také k nárůstu vnějšího okraje posterosuperiorně, k zužování *incisura acetabuli* a prohlubování acetabula. Mezi dvěma staršími skupinami (40–64 let, nad 65 let) je nárůst vnějšího okraje posterosuperiorně již menšího rozsahu.



Obrázek 28. Párové rozdíly v průměrném tvaru acetabula mezi věkovými skupinami mužů a žen: A) 20–39 let B) 40–64 let, C) nad 65 let. Levý sloupec: laterální pohled, pravý sloupec: superiorní pohled. Světle: ženy, tmavě: muži. Bez zvýraznění rozdílu.

Pomocí wireframe grafů jsou rozdíly ve formě acetabula mezi třemi věkovými skupinami znázorněny i mezi oběma pohlavími (obr. 28). Rozdíly ve formě acetabula u mužů a žen ve všech věkových skupinách spočívají především ve velikosti acetabula. Muži mají velikost acetabula průměrně větší, než ženy.

9 Diskuze

V této práci byly pomocí metod 3D geometrické morfometrie a souvisejících statistických analýz detailně prozkoumány tvar i forma acetabula u dospělých jedinců obou pohlaví, s ohledem na velikost acetabula, pohlaví a věk. Práce navázala na studii San-Millán et al. (2017a), v níž bylo acetabulum zkoumáno pomocí 2D geometrické morfometrie. Analýza ve 3D, aplikovaná v této práci, pomohla oproti předchozí studii zjistit také změny, týkající se hloubky acetabula.

Velikost acetabula

Výsledky podle očekávání ukázaly, že acetabulum u mužů bylo průměrně větší než acetabulum u žen, což je v souladu s předchozími studiemi (Leong, 2006; Rajasekhar, 2017; San-Millán et al., 2017a; Yugesh a Kumar, 2016). Velikost acetabula, daná centroid size, se liší signifikantně mezi oběma pohlavími, mezi různými věkovými skupinami se však velikost acetabula neliší.

Vliv velikosti na tvar byl významný u obou pohlaví a všech věkových skupin. Pohlaví ani věk neměly na vztah velikosti a tvaru významný vliv (absence interakce mezi faktory), což dokládá společný alometrický vzorec, který je nezávislý na těchto dvou faktorech. Dále se práce na rozdíl ve tvaru, související s velikostí, nezaměřovala. V rámci budoucích analýz by mohlo být přínosné zaměřit se na tvarové změny související s alometrií.

Vzhledem k obdobným výsledkům pro tvar i formu je diskuze zaměřena na hodnocení tvaru acetabula s uvedením případných odlišností u formy.

Pohlavní dimorfismus

Rozdíly mezi mužským a ženským acetabulem jsou lépe vyjádřeny prostřednictvím analýzy formy, což je dáno zejména tím, že forma zahrnuje také údaj o velikosti. Významný vliv na formu acetabula měl jak faktor pohlaví, tak interakce věku a pohlaví, což naznačuje, že s věkem se mění pohlavní dimorfismus formy. Muži bývají průměrně vyšší a těžší než ženy, a mužská pánev a acetabulum dosahují větší robusticity, než pánev a acetabulum u žen (San-Millán et al., 2017a). Analýza formy acetabula tak může být užitečným nástrojem při odhadu pohlaví (Benazzi, 2008). V této práci měli muži ve srovnání se ženami relativně větší plochu *facies lunata*, menší plochu *fossa acetabuli* a hlubší acetabulum. Nicméně soubor jedinců byl složen z více populačních

vzorků, a tato skutečnost mohla výsledky analýz ovlivnit. V rámci budoucích studií by bylo vhodné při analýze formy acetabula populační specificitu zohlednit.

U analýzy tvaru byly významné rozdíly mezi nejmladšími ženami a nejmladšími muži (20–39 let). U nejmladších žen bylo acetabulum mělké a otevřenější než u mužů, a s výraznějším superiorním lalokem. U mužů bylo acetabulum hlubší a uzavřenější. To může být dáno jak menší velikostí a hmotností těla u žen (Buikstra a Ubelaker, 1994; LaVelle, 1995), tak rozdílnou šířkou a tvarem pánve, spojeným s reprodukční funkcí (Brůžek, 2002; Brůžek a Murail, 2006; Scheuer, 2002). U žen se vyskytovala širší *incisura acetabuli*, oproti užší a uzavřenější *incisura acetabuli* u mužů. To dokládají také studie, provedené na části evropské i indické populace (San-Millán et al., 2017a; Yugesha a Kumar, 2016). Oproti tomu Indurjeeth et al. (2019) zjistil u jihoafrické populace větší šířku *incisura acetabuli* u mužů, než u žen. Velikost *incisura acetabuli* u obou pohlaví je tedy zřejmě populačně specifická. V této práci se nejužší *incisura acetabuli* vyskytovala u nejstarších mužů, zřejmě také kvůli většímu nárůstu kosti na rozích *facies lunata*, která může být vysvětlena celkově větší tendencí k tvorbě osteofytů u mužů (Resnick a Niwayama, 1983; Schmitt et al., 2007; Schneider et al., 2002). Muži mají vyšší predispozici nejen k tvorbě osteofytů ale také entezofytů, tedy abnormálních kostních výrůstků v místě úponu vazů (Nikita, 2017; Weiss, 2003, 2004; Weiss et al., 2012). Ty však nebyly v našem souboru přítomny.

Dále byl u žen tvar *fossa acetabuli* protažený spíše posterosuperiorně, u mužů pak spíše anterosuperiorně. Mezi oběma pohlavími se vyskytovaly také méně významné rozdíly ve tvaru vnějšího okraje acetabula. U mužů byl formován vyšší vnější posterosuperiorní okraj a nižší vnější anterosuperiorní okraj, u žen tomu bylo naopak. Tato variabilita ve tvaru okraje acetabula a rozdíly ve směru protažení *fossa acetabuli* mohou souviset s rozdílným tvarem pánve daného pohlaví, s rozdílným tvarem a orientací stehenní kosti v kyčelním kloubu a s rozdílnou velikostí úhlu antevertze acetabula, který svírá rovina proložená okrajem acetabula s frontální rovinou. Ve studii Maruyama et al. (2001) se při porovnání různě vysokých vnějších anteriorních okrajů *facies lunata* úhel antevertze lišil v průměru o 6,2° a byl významně větší u žen, než u mužů. U mužů je acetabulum orientováno laterálně, kdežto ženy mají acetabulum orientované více anterolaterálně (Wang et al., 2004), což zřejmě ovlivňuje i orientaci

samotné *fossa acetabuli* a tvar vnějšího okraje acetabula. Další studie v této oblasti by byly přínosem k lepšímu pochopení problematiky.

U kanonické variační analýzy tvaru i formy byla klasifikace správného pohlaví úspěšnější, než klasifikace věkové skupiny. A to i přesto, že u analýzy tvaru není v datech přítomna informace o velikosti acetabula. Zdá se tedy, že pohlaví má větší vliv na tvar (obsahující alometrickou komponentu) a formu acetabula, než věk. Klasifikátor přitom častěji určil správné pohlaví u žen. Úspěšnost klasifikace na základě tvaru acetabula byla u žen podobná jako u diskriminační analýzy formy. U mužů vykazovala diskriminační analýza tvaru úspěšnost menší, než u formy.

Variabilita související s věkem

Dle výsledků analýz vykazoval tvar acetabula se zvyšujícím se věkem určitý trend změn u obou pohlaví, v rámci věkových skupin byl však mezi skupinami poměrně velký překryv. U vnějšího okraje acetabula, rohů *facies lunata* a *fossa acetabuli* nejmladších dospělých se vyskytoval hladký okraj bez přítomnosti osteofytů, podobně jako ve studii San-Millán et al. (2017a; 2017b). S přibývajícím věkem se pak v důsledku postupného ukládání kosti tvoří u jedinců obou pohlaví hřeben podél okraje *facies lunata*. Tvarové změny v oblasti *incisura acetabuli* zřejmě souvisí jak s tvorbou osteofytů v oblasti rohů *facies lunata* (především na posteriorním rohu, méně na anteriorním rohu), tak s případnou tvorbou entezofytů v *ligamentum transversum acetabuli* (Govsa et al., 2005; Lazennec, 2004; Nikita, 2017; San-Millán et al., 2017a; Weiss, 2003, 2004; Weiss et al., 2012). Rozdílné množství přítomných osteofytů na obou rozích *facies lunata* může souviset s tím, že posteriorní část acetabula včetně posteriorního rohu jsou vystaveny nižšímu intraartikulárnímu tlaku (Govsa et al., 2005; Lazennec, 2004). S věkem dochází u obou pohlaví díky nárůstu osteofytů také ke zmenšení *fossa acetabuli*. V souladu s předchozími studiemi (Rissech, 2001; San-Millán, 2017a; 2017b) má vnější okraj *fossa acetabuli* tendenci ztrácet morfologii jetelového listu se třemi laloky (anteriorním, superiorním a posteriorním), které postupně zanikají, podél okraje *fossa acetabuli* narůstají osteofyty a dochází zakulacení jamky. Byly popsány případy (Noguchi et al., 1999), kdy mohou osteofyty obrůst celou jamku, nicméně takový případ nebyl v této práci pozorován. Nejlépe definovaný byl u všech jedinců superiorní lalok, nacházející se na kyčelní kosti. Ten může být u některých jedinců zvláště protáhlý. Morfologie laloků v různých věkových skupinách byla zatím jen málo prozkoumána (Govsa et al., 2005;

Rissech et al., 2006; San-Millán et al., 2017a; 2017b) a je zapotřebí dalších studií k jejich plnému pochopení.

S rostoucím věkem se postupně mění jak tvar, tak forma acetabula. Nejlépe se od ostatních skupin oddělovaly nejmladší skupiny, přičemž ženy byly klasifikovány obecně lépe než muži. U diskriminační analýzy formy i tvaru bylo dosaženo nejlepších výsledků právě při klasifikaci nejmladších žen (forma: 60,00 %, tvar: 40,00 %), po nich následovali nejmladší muži (forma: 42,50 %, tvar: 37,50 %). U diskriminační analýzy tvaru byly oproti analýze formy nejlépe klasifikovány středně staré ženy (tvar: 44,89 %, forma: 30,61 %). Klasifikace středně starých mužů měla úspěšnost menší (forma: 30,00 %, tvar: 22,00 %). U středně starých žen se zdá být vhodnější aplikace diskriminační analýzy tvaru, kdežto středně staří muži jsou, stejně jako většina ostatních skupin, lépe klasifikováni pomocí diskriminační analýzy formy, která umožňuje lépe oddělit pohlaví. S věkem dochází k nárůstu velikosti acetabula a také variability formy acetabula, u nejstarších jedinců tak může být těžší správně odhadnout věk, než u jedinců mladších. To ukázala také kanonická variační analýza tvaru i formy, kdy model dosáhl nejmenší úspěšnosti u nejstarší skupiny mužů (tvar: 16,67 %, forma: 13,33 %). V této skupině byl však také nejnižší počet zkoumaných jedinců. Při analýze CVA byla nejčastější záměna nejstarších mužů za středně staré muže (tvar i forma: 36,67 %). Oproti tomu záměna středně starých mužů za muže nejstarší byla méně častější (tvar: 20,00 %, forma: 26,00 %). Nejstarší ženy, ač byl jejich zkoumaný počet podobný jako u nejstarších mužů, byly klasifikátorem zařazeny v lepším poměru (tvar i forma: 32,25 %). Tato metoda odhadu věku podle acetabula tak zřejmě není nejvhodnější pro odhad věku jedinců starších 65 let, zvláště mužů.

Stejně jako ve studii San-Millán et al. (2017a), byla i v této práci pozorována relativní maskulinizace tvaru acetabula se zvyšujícím se věkem. U jedinců obou pohlaví existuje tendence narůstání kosti v oblasti rohů *facies lunata*, zužování *incisura acetabuli*, prohlubování acetabula a zmenšení *fossa acetabuli*. Maxima těchto změn pak dosahují nejstarší muži, oproti ostatním skupinám obou pohlaví. V menší míře byla v této práci u mužů pozorována také feminizace některých znaků s rostoucím věkem, a to tendence narůstání spíše posteriorního než anteriorního rohu *facies lunata*, změna zakřivení *fossa acetabuli* z anterosuperiorního na posterosuperiorní a změna tvaru vnějšího okraje acetabula. Maxima posteriorního zakřivení *fossa acetabuli* dosahují nejstarší ženy, oproti

ostatním skupinám obou pohlaví. S věkem také dochází u obou pohlaví k formování nižšího vnějšího posterosuperiorního okraje a vyššího vnějšího anterosuperiorního okraje, maxima těchto změn také dosahují nejstarší ženy, oproti ostatním skupinám obou pohlaví.

Analýza v této práci ukázala, že růst osteofytů souvisí s věkem i pohlavím, což podporuje výsledky předchozích studií (Rissech, 2006; San-Millán et al., 2017a; 2017b), Kromě toho se s věkem zvyšuje také variabilita v nárůstu osteofytů i tvaru acetabula, což je dáno zřejmě tím, že tvorba kosti je komplexní proces, který závisí nejen na pohlaví a věku, ale také na metabolických a endokrinních faktorech, výživě, genetických predispozicích, aktivitě, obezitě nebo zranění.

Na základě výsledků byly popsány změny tvaru mužského a ženského acetabula v závislosti na věku. U žen dochází mezi nejmladší a střední věkovou skupinou zejména ke zvětšení *facies lunata* a prohlubování acetabula, nejspíše především díky nárůstu osteofytů na vnějším okraji acetabula. Hloubku acetabula bylo možné zjistit na základě provedení analýzy ve 3D. Dochází také k nárůstu kosti v oblasti obou rohů *facies lunata* a k zúžení *incisura acetabuli*. S nárůstem osteofytů se postupně zmenšují laloky a zakulacuje se *fossa acetabuli*. S vyšším věkem u žen je *fossa acetabuli* protažena spíše posterosuperiorně, dochází k nárůstu posteriorního apexu. Mezi střední a nejstarší věkovou skupinou žen dochází ke zvýraznění již započatých změn a ke zvětšení variability ve tvaru acetabula. Nejstarší ženy dosahují maxima tohoto tvaru. Analýza formy acetabula u žen dále ukázala nárůst celkové velikosti acetabula, stejnoměrné zvětšení vnějšího okraje acetabula, a zvětšení hloubky acetabula se zvyšujícím se věkem. Popsaná tendence žen k ubývání kostní hmoty (Schneider et al., 2002) nebyla v této práci pozorována. Mezi nejmladšími a středně starými muži dochází k zakulacení *fossa acetabuli*, ve srovnání se stejně starými ženami ale také k opačným změnám v hloubce acetabula a ve velikosti. To je zajímavé zjištění, které však může být dáno nestejným počtem mužů a žen z jednotlivých sbírek a populační specificitou či malou velikostí zkoumaného souboru. Nárůst kosti v oblasti rohů *facies lunata* je srovnatelný jako u stejně starých žen. Mezi střední a nejstarší věkovou skupinou mužů dochází dle analýzy formy oproti ženám k velmi mírnému zmenšení celkové velikosti acetabula, což může být opět dáno nestejným počtem nejstarších mužů a žen z jednotlivých sbírek či sekulárním trendem.

10 Závěr

Věkově závislé změny a pohlavní dimorfismus acetabula dospělých jedinců byly analyzovány metodami 3D geometrické morfometrie prostřednictvím landmarků a semilandmarků rozmístěných podél okraje *facies lunata* v souboru koster identifikovaných jedinců. Byly zjištěny signifikantní rozdíly ve tvaru a velikosti acetabula. Tvar *facies lunata* se významně mění s věkem u obou pohlaví. Změny jsou spojeny především s nárůstem osteofytů podél celého okraje, zvláště na obou rozích *facies lunata*. Mění se také tvar *fossa acetabuli* a dochází k jejímu postupnému zakulacení. S rostoucím věkem jedinců se zvyšuje variabilita změn v nárůstu osteofytů i tvaru acetabula, neboť tvorba kosti je komplexní proces, který závisí nejen na pohlaví a věku, ale také na metabolických a endokrinních faktorech, výživě, genetických predispozicích, aktivitě, obezitě nebo zranění. Kvůli zvyšující se variabilitě tvaru acetabula s rostoucím věkem klesá úspěšnost odhadu věku podle acetabula, která je nejnižší u jedinců starších 65 let.

Muži vykazovali větší a hlubší acetabulum, protože mužská pánev a acetabulum dosahují průměrně větší robusticity, než pánev a acetabulum u žen. Z tohoto důvodu byl pohlavní dimorfismus formy *facies lunata* výraznější než pohlavní dimorfismus tvaru. Muži mají také tendenci k vyšší produkci kosti, tvorbě osteofytů a užší *incisura acetabuli*. Jejich acetabulum je spíše uzavřenější. Pohlavní dimorfismus tvaru byl nejvýraznější v nejmladších věkových skupinách, a spočíval především v rozdílné hloubce acetabula, jeho uzavřenosti a ve velikosti *fossa acetabuli*. S věkem se pohlavní dimorfismus mírně snižoval. U formy i tvaru byla klasifikace správného pohlaví úspěšnější, než klasifikace věkové skupiny. Klasifikátor zároveň lépe určil správné pohlaví u žen. Nejlepších výsledků bylo při klasifikaci s cross-validacemi podle formy dosaženo u nejmladších žen, a to 60,00 %. Nejmladší ženy (20–39 let) se zároveň tvarem nejvíce odlišovaly od ostatních skupin. Středně staré ženy (40–64 let) již byly ve tvaru podobnější stejně starým mužům. Rychlost nástupu změn tvaru acetabula s věkem se tak zdá být u žen ve srovnání s muži pomalejší.

V práci byl analyzován jak tvar, tak forma acetabula. Navzdory rozdílům ve tvaru acetabula mezi pohlavími bylo mezi skupinami značné překrývání, ztěžující identifikaci pohlaví neznámého jedince pouze na základě tvaru acetabula. Samotný tvar acetabula je tak pravděpodobně méně užitečný pro odhad pohlaví než forma acetabula. Na druhou

stranu, práce potvrdila zjištění San-Millán et al. (2017a), že věkově závislé změny tvaru acetabula s pohlavím souvisí a odhad věku podle acetabula může být úspěšnější, pokud je přihlédnuto také k pohlaví.

11 Přehled použité literatury

Abegg C, Desideri J. 2018. A probable case of multiple myeloma in a female individual from the Simon Identified Skeletal Collection (late 19th–early 20th century, Vaud, Switzerland). *Int J Paleopathol* 21:158–165.

Adams D, Collyer M, Kaliontzopoulou A, Baken E 2021. Geomorph: Software for geometric morphometric analyses. R package version 4.0.

Aiello L, Dean C. 1990. *An Introduction to Human Evolutionary Anatomy*, pp. 429±456. London: Academic Press.

Akiyama K, Sakai T, Koyanagi J, Murase T, Yoshikawa H, Sugamoto K. 2010. Three-dimensional distribution of articular cartilage thickness in the elderly cadaveric acetabulum: a new method using three-dimensional digitizer and CT. *Osteoarthritis Cartilage*. 2010 Jun;18(6):795-802.

Akiyama K, Sakai T, Koyanagi J, Yoshikawa H, Sugamoto K. 2015. Morphological analysis of the acetabular cartilage surface in elderly subjects. *Surg Radiol Anat*. Oct;37(8):963-8.

Allen K. D., Chen J. C., Callahan L. F., Golightly Y. M., Helmick C. G., Renner J. B., et al. 2010. Associations of occupational tasks with knee and hip osteoarthritis: The Johnston County Osteoarthritis Project. *The Journal of rheumatology*. 2010 Apr;37(4):842–50.

Alves-Cardoso F, Assis S. 2018. Can osteophytes be used as age at death estimators? Testing correlations in skeletonized human remains with known age-at-death. *Forensic Sci Int*; 288:59–66.

Anderson, M. 2001. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol*. 26, 32–46.

Arsuaga, J. L. 1990. *Antropología del hueso coxal: evolución, dimorfismo sexual y variabilidad*. PhD Dissertation, Universidad Complutense de Madrid.

Aykroyd, R.G., Lucy, D., Pollard, A.M., & Roberts, C.A. 1999. Nasty, brutish, but not necessarily short: A reconsideration of the statistical methods used to calculate age at death from adult human skeletal and dental age indicators. *American Antiquity*, 64, 55-70.

Bálint, G., Szebenyi, B. 2000. Hereditary disorders mimicking and/or causing premature osteoarthritis. *Baillière's Clinical Rheumatology*, 14, 219-250.

Belghith, M., Marchand, E., Ben Khelil, M. et al. 2021. Age estimation based on the acetabulum using global illumination rendering with computed tomography. *Int J Legal Med* 135, 1923–1934.

Benazzi, S., C. Maestri, S. Parisini, F. Vecchi a G. Gruppioni, 2008. Sex assessment from the acetabular rim by means of image analysis. *Forensic Science International*. 180(1), 58.e1 – 58.e3.

Bergmann, G., Graichen, F., & Rohlmann, A. 1993. Hip joint forces during walking and running—Measured in two patients. *Journal of Biomechanics*, 26, 969-990.

- Berthon, W., Tihanyi, B., Kis, L., Révész, L., Coqueugnot, H., Dutour, O., & Pálfi, G. 2018. Horse Riding and the Shape of the Acetabulum: Insights from the Bioarchaeological Analysis of Early Hungarian Mounted Archers (10th Century). *International Journal of Osteoarchaeology*.
- Bookstein F.L. 1991. *Morphometric tools for landmark data*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bookstein, F. L. 2018. *A course in morphometrics for biologists: Geometry and Statistics for Studies of Organismal Form*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Botha, D., Pretorius, S., Myburgh, J., Steyn, M., 2016. Age estimation from the acetabulum in South African black males. *Int. J. Legal Med.* 130, 809–817.
- Boucher B. J. 1957. Sex differences in the foetal pelvis. *American Journal of Physical Anthropology* 15, 581±600.
- Brooks, S., & Suchey, J.M. 1990. Skeletal age determination based on the os pubis: A comparison of the Ascádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Human Evolution*, 5, 227-238.
- Browning, R. C., Kram, R. 2007. Effects of obesity on the biomechanics of walking at different speeds. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 1632–1641.
- Brůžek J. 2002. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *Am J Phys Anthropol* 117:157–168.
- Brůžek J, Murail P. 2006. Methodology and reliability of sex determination from the skeleton. In: Schmitt A, Cunha E, and Pinheiro J, editors. *Forensic anthropology and medicine Complementary sciences from recovery to cause of death*. Totowa, New Jersey: Humana Press.
- Buckberry, J. L., & Chamberlain, A. T. 2002. Age estimation from the auricular surface of the ilium: A revised method. *American Journal of Physical Anthropology*, 119, 231-239.
- Buikstra J. E, Ubelaker D. H. 1994. *Standards for data collection from human skeletal remains*. Fayetteville, AK: Arkansas Archeological Survey Research Series (No. 44).
- Bullough P, Goodfellow J, Greenwald AS, O'Connor J. 1968. Incongruent surfaces in the human hip joint. *Nature* 217(5135): 1290
- Cabo L, Brewster C, and Azpiazu J. 2012. Sexual dimorphism: Interpreting sex markers. In: Dirkmaat D, editor. *A companion to forensic anthropology*. Chichester: Blackweel Publishing Ltd.
- Calce S. E, Kurki H. K, Weston D. A, Gould L. 2018. The relationship of age, activity, and body size on osteoarthritis in weight-bearing skeletal regions. *Int J Paleopathol*; 22:45–53.
- Calce S. E, Rogers T. L. 2011. Evaluation of age estimation technique: testing traits of the acetabulum to estimate age at death in adult males. *J Forensic Sci* 56:302–311.

- Calce S. E. 2012. A new method to estimate adult age-at-death using the acetabulum. *Am J Phys Anthropol* 148:11–23
- Campanacho, V. 2016. The influence of skeletal size on age-related criteria from the pelvic joints in Portuguese and North American samples. PhD thesis, University of Sheffield.
- Campbell, N. A. and Atchley, W. R. 1981. The geometry of canonical variate analysis. *Systematic Zoology*, 30(3):268–280.
- Cappella A, Cummaudo M, Arrigoni E, Gibelli DM, Porta D, Cattaneo C. 2015. The issue of age estimation in a modern skeletal population: are current aging methods satisfactory for the elderly? Proceedings of the 67th Annual Scientific Meeting of the American Academy of Forensic Sciences; 2015 Feb 16-21; Orlando, FL. Colorado Springs, CO: American Academy of Forensic Sciences.
- Carter, D. R. 1987. Mechanical loading history and skeletal biology. *Journal of Biomechanics*, 20(11-12), 1095–1109.
- Ciucci, T., Ibáñez, L., Boucoiran, A., Birgy-Barelli, E., Pène, J., Abou-Ezzi, G., Wakkach, A. 2014. Bone marrow Th17 TNF α cells induce osteoclast differentiation, and link bone destruction to IBD. *Gut*, 64(7), 1072–1081.
- Corner B. D, Lele S, Richtsmeier J. T. 1992. Measuring precision of three-dimensional landmark data. *Journal of Quantitative Anthropology*. 3: 347-359.
- Couchman J. 2009. Past, present and future insights into the understanding and treatment of osteoarthritis: molecular and mechanical approaches. *Int J Exp Pathol*;90: A30–84.
- Croft P., Cooper C., Wickham C., Coggon D. 1992. Osteoarthritis of the hip and occupational activity. *Scand J Work Environ Health*. Feb;18(1):59-63.
- Cunha E, Wasterlain S. 2007. The Coimbra identified osteological collections. In: Grupe G, Peters J, editors. *Skeletal Series in their Socioeconomic Context. Documenta Archaeobiologiae*. Vol. 5. Rahden: Verlag Marie Leidorf. p 23–33.
- Čihák, R. 2011. *Anatomie 1. 3., upr. a dopl. vyd.* Editor Miloš GRIM, editor Oldřich FEJFAR. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3817-8.
- Daniel M, Kralj-Iglič V, Iglič A, Sochor M. 2003. Hypothesis of the regulation of the cartilage activity by mechanical loading. *Med Hypotheses* 60, 936–937.
- Dylevský, I., Druga R., Mrázková, O. 2009. *Funkční anatomie člověka*. Praha: Grada. 664 s. ISBN 80-7169-681-1.
- Dylevský, I.; Ježek, P. *Základy kineziologie* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné na WWW: <http://vos.palestra.cz/skripta/kineziologie/uvod2.htm>
- Dylevský, I. 1995. *Základy anatomie a fyziologie člověka*. Ilustroval Ivan HELEKAL. Olomouc: Epava.

- Erickson, J. D., Lee, D. V., & Bertram, J. E. A. 2000. Fourier analysis of acetabular shape in Native American Arikara populations before and after acquisition of horses. *American Journal of Physical Anthropology*, 113(4), 473–480.
- Felson D. T., Zhang Y. 1998. An update on the epidemiology of knee and hip osteoarthritis with a view to prevention. *Arthritis Rheum*; 41:1343–55.
- Ferreira, M. T., Coelho, C., Makhoul, C., Navega, D., Gonçalves, D., Cunha, E., & Curate, F. 2020. New data about the 21st Century Identified Skeletal Collection (University of Coimbra, Portugal). *International Journal of Legal Medicine*. doi:10.1007/s00414-020-02399-6
- Ghishan, F. K., Kiela, P. R. 2011. Advances in the understanding of mineral and bone metabolism in inflammatory bowel diseases. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 300(2), G191–G201.
- Godfrey, L., Sutherland, M., Boy, D., Gomberg, N. 1991. Scaling of limb joint surface areas in anthropoid primates and other mammals. *Journal of Zoology*, 223, 603-625.
- Gocha, T.P., Ingvoldstad, M.E., Kolatorowicz, A., Cosgriff-Hernandez, M.T.J., Sciulli, P.W., 2015. Testing the applicability of six macroscopic skeletal aging techniques on a modern Southeast Asian sample. *Forensic Sci. Int.* 249, 318.e1–318.e7.
- Govsa, F., Ozer, M.A., Ozgur, Z., 2005. Morphologic features of the acetabulum. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 125, 453e461.
- Greenwald, A.S., & O'Connor, J.J. 1971. The transmission of load through the human hip joint. *Journal of Biomechanics*, 4, 507-528.
- Gunz P., Mitteroecker P. 2013. Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces. *HYSTRIX*, 24: 103-109.
- Gupta V., Choudhry R., Tuli A, Chodhry A. 2001. Unusual facets on the acetabulum in dry adult human coxal bones. *Surg Radiol Anat* 23:263–267.
- Haglund, W. D, Reay D. T, Swindler D. R. 1989. Canid scavenging/disarticulation sequence of human remains in the Pacific Northwest. *J Forensic Sci*; 34:587–606.
- Hammer Ø. 2015. PAST: Paleontological Statistics. Reference Manual. Natural History Museum, University of Oslo. Oslo, Norway.
- Hesper T, Schleich C, Buchwald A, et al. 2018. T2* Mapping of the Hip in Asymptomatic Volunteers with Normal Cartilage Morphology: An Analysis of Regional and Age-Dependent Distribution. *CARTILAGE*. 9(1):30-37.
- Holland, S. M. 2008. Principal components analysis (PCA). Department of Geology, University of Georgia, Athens, GA, 30602-2501.

- Huang, M. H., Chen, C. H., Chen, T. W., Weng, M. C., Wang, W. T., & Wang, Y. L. 2000. The effects of weight reduction on the rehabilitation of patients with knee osteoarthritis and obesity. *Arthritis Care and Research*, 13, 398-405.
- Hunter, D. J., Eckstein, F. 2009. Exercise and osteoarthritis. *Journal of Anatomy*, 214, 197-207.
- Iannone, F., Lapadula, G. 2010. Obesity and inflammation—Targets for OA therapy. *Current Drug Targets*, 11, 586-598.
- Iglič, A., Iglič, V. K., Antolič, V., Srakar, F., Stanič, U. 1993. Effect of the periacetabular osteotomy on the stress on the human hip joint articular surface. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 1, 207-211.
- Indurjeeth, K., Ishwarkumar, S., De-Gama, B., Ndlazi, Z., & Pillay, P. 2019. Morphometry and Morphology of the Acetabulum Within the Black African Population of South Africa. *International Journal of Morphology*, 37(3), 971–976.
- Inman VT, Ralston HJ, Todd F. 1981. *Human walking*. Williams & Wilkins, Baltimore
- Jacobsen, S., Sonne-Holm, S. 2005. Increased body mass index is a predisposition for treatment by total hip replacement. *International Orthopaedics*, 29(4), 229–234.
- Jukes T. H, Williams W. L. 1953. Nutritional effects of antibiotics. *Pharmacol Rev.* 5(4):381-420.
- Jungers, W. L. 1988. Relative joint size and hominoid locomotor adaptations with implications for the evolution of hominid bipedalism. *Journal of Human Evolution* 17: 247-265.
- Kapandji, I. A. 1987. *The physiology of the joints. Volume 2: Lower Limb*, 5th edn. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Kau, A. L., Ahern, P. P., Griffin, N. W., Goodman, A. L., & Gordon, J. I. 2011. Human nutrition, the gut microbiome and the immune system. *Nature*, 474(7351), 327–336.
- Kendall D. G. 1977. The diffusion of shape. *Adv. Appl. Probab.*, 9: 428-430.
- Kim, W. Y., Hutchinson, C. E., Andrew, J. G., Allen, P. D. 2006. The relationship between acetabular retroversion and osteoarthritis of the hip. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 88, 727-729.
- Klingenberg C. P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Mol. Ecol. Resour.*, 11: 353-357.
- Klingenberg, C. P. 2016. Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. *Dev Genes Evol* 226, 113–137.
- Kobayashi K, Takahashi N, Jimi E, et al. 2000. Tumor necrosis factor alpha stimulates osteoclast differentiation by a mechanism independent of the ODF/RANKL-RANK interaction. *J Exp Med.*;191(2):275-286. doi:10.1084/jem.191.2.275

- Köhnlein, W. Ganz, R., Impellizzeri, F. M., Leunig, M. 2009. Acetabular morphology: implications for joint-preserving surgery, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 467:682–691.
- Komar D. A, Buikstra J. E. 2008. *Forensic Anthropology: contemporary theory and practice*. New York: Oxford University Press, Inc
- Konigsberg L. W, Frankenberg S.R. 2002. Deconstructing death in paleodemography. *Am J Phys Anthropol.* 2002 Apr;117(4):297-309. doi: 10.1002/ajpa.1003
- Kotěřová, A. 2020. Age-at-death estimation of the adult skeleton: New approaches to the evaluation of senescence indicators. Praha. Dizertační práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra antropologie a genetiky člověka. Vedoucí práce Brůžek, Jaroslav.
- Kranioti E. F, İşcan M. Y, Michalodimitrakis M. 2008. Craniometric analysis of the modern Cretan population. *Forensic Sci Int* 180: 110.e111–110.e115.
- Kranioti EF, Michalodimitrakis M. 2009. Sexual dimorphism of the humerus in contemporary Cretans – A population-specific study and a review of the literature. *J Forensic Sci* 54:996–1000.
- Kudo O., Fujikawa Y., Itonaga I., Sabokbar A., Torisu T., Athanasou N. A. 2002. Proinflammatory cytokine (TNF α /IL-1 α) induction of human osteoclast formation. *J Pathol*;198(2):220-227. doi:10.1002/path.1190
- Lajeunesse, D., Delelandre, A., Fernandes, J. C. 2004. Subchondral osteoblasts from osteoarthritic patients show abnormal expression and production of leptin: Possible role in cartilage degradation. *Journal of Bone and Mineral Research*, 19, S149.
- Larsen C. S. 1997. *Bioarchaeology: interpreting behavior from the human skeleton*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Latham, Krista E., et al. 2018. *New Perspectives in Forensic Human Skeletal Identification*. Academic Press, an Imprint of Elsevier.
- LaVelle, M. 1995. Natural selection and developmental sexual variation in the human pelvis. *American Journal of Physical Anthropology*, 98, 59–72.
- Lazennec J. Y., Laudet C. G., Guerin-Surville H, Roy-Camille R, Saillant G. (1997) Dynamic anatomy of the acetabulum: an experimental approach and surgical implications. *Surg Radiol Anat* 19:23–30.
- Lee, Mark C., & Ebersson, C.P. 2006. Growth and development of the child's hip. *Orthopedic Clinics of North America*, 37, 119-132.
- Leong, A. 2006. Sexual dimorphism of the pelvic architecture: A struggling response to destructive and parsimonious forces by natural & mate selection. *McGill Journal of Medicine*. 9(1), 61–66. ISSN 1201-026X.

- Lieberman, D. E., Devlin, M. J., Pearson, O. M. 2001. Articular area response to mechanical loading: effects of exercise, age, and skeletal location. *American Journal of Physical Anthropology* 116 (4):266–277.
- Lieverse, A., Bierma-Zeinstra, S., Verhagen, A., Verhaar, J., & Koes, B. 2001. Influence of work on the development of osteoarthritis of the hip: A systematic review. *Journal of Rheumatology*, 28, 2520-2528.
- Listi G. A, Manhein M. H. 2012. The use of vertebral osteoarthritis and osteophytosis in age estimation. *J Forensic Sci* 2012; 57:1537–40
- Loeser, R. F. 2010. Age-related changes in the musculoskeletal system and the development of osteoarthritis. *Clin. Geriatr. Med.* 26 (3), 371–386.
- Lovejoy, C. O., Meindl, R. S., Pryzbeck, T. F., & Mensforth, R. P. 1985. Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: A new method for the determination of adult skeletal age at death. *American Journal of Physical Anthropology*, 68, 15-28.
- Macaluso, P. J. 2011. Sex discrimination from the acetabulum in a twentieth-century skeletal sample from France using digital photogrammetry. *HOMO*, Volume 62, Issue 1, 2011, Pages 44-55,
- Mandl L. A. 2007. Epidemiology of osteoarthritis. In: Sharma L, Berenbaum F, editors. *Osteoarthritis: a companion to rheumatology*. Philadelphia, PA: Mosby, Inc. (Elsevier).
- Maruyama M., Feinberg J. R., Capello W. N., D'Antonio J. A. 2001. The Frank Stinchfield Award: Morphologic features of the acetabulum and femur: anteversion angle and implant positioning. *Clin Orthop Relat Res.* Dec;(393):52-65.
- Maxwell, S. E., Delaney, H. D., Kelley, K. 2004. *Designing Experiments and Analyzing Data: A Model Comparison Perspective*, Volume 1. Psychology Press.
- Mays, S., 2012. An investigation of age-related changes at the acetabulum in 18th-19th century AD adult skeletons from Christ Church Spitafields, London. *Am. J. Phys. Anthropol.* 149, 485e492
- Mays, S., 2014. A test of a recently devised method of estimating skeletal age at death using features of the adult acetabulum. *J. Forensic Sci.* 59, 184e187.
- Menschik F. 1997. The hip joint as a conchoids shape. *J Biomech*;30(9):971–3.
- Merritt C. E. 2017. Inaccuracy and bias in adult skeletal age estimation: assessing the reliability of eight methods on individuals of varying body sizes. *Forensic Sci Int*;275(315): e1–11
- Milner G. R, Boldsen J. L 2012. Transition analysis: a validation study with known-age modern American skeletons. *Am J Phys Anthropol* 148:98–110
- Milz, S., Valassis, G., Buttner, A., Maier, M., Putz, R., Ralphs, J. R., Benjamin, M. 2001. Fibrocartilage in the transverse ligament of the human acetabulum. *Journal of Anatomy*, 198(2), 223–228.

- Miranker M. 2016. A comparison of different age estimation methods of the adult pelvis. *J Forensic Sci*; 61:1173–9.
- Miranker, M. 2015. A test of the performance of three age indicators of the adult human pelvis and the influence of occupation on morphology. Master's dissertation, New York University.
- Mitteroecker, P. 2020. Morphometrics in evolutionary developmental biology. In Nunja de la Rosa, L. and Muller, G. B., editors, *Evolutionary Developmental Biology*. Springer, Cham.
- Mitteroecker, P. and Gunz, P. 2009. Advances in geometric morphometrics. *Evolutionary Biology*, 36:235-247.
- Mitteroecker, P., Bookstein, F. 2011. Linear Discrimination, Ordination, and the Visualization of Selection Gradients in Modern Morphometrics. *Evolutionary Biology*, 38(1), 100–114. doi:10.1007/s11692-011-9109-8.
- Müller-Gerbl M, Putz R, Kenn R, Kierse R. 1993. People in different age groups show different hip joint morphology. *Clin Biomech* 8:66–72
- Muñoz-Silva, V., Sanabria-Medina, C., Rissech, C. 2020. Application and analysis of the Rissech acetabular adult aging method in a Colombian sample. *Int J Legal Med* 134, 2261–2273.
- Murphy, A. M. C, 2000. The acetabulum: Sex assessment of prehistoric New Zealand Polynesian innominates. *Forensic Science International*. 108(1), 39–43. ISSN 0379-0738.
- Nagesh, K. R., Kanchan, T., Bastia B. K. 2007. Sexual dimorphism of acetabulum–pubis index in South-Indian population. *Legal Medicine*. 9(6), 305–308. ISSN 1344-6223.
- Nikita, E. 2017. *Osteoarchaeology. A guide to the macroscopic study of human skeletal remains*. London, UK: Academic Press.
- Nishii, T. et al. 2007. Disorders of Acetabular Labrum and Articular Cartilage in Hip Dysplasia: Evaluation Using Isotropic High-Resolution CT Arthrography with Sequential Radial Reformation. *OsteoArthritis and Cartilage*, roč. 13, s. 251–257.
- Noguchi, Y., Miura, H., Takasugi, S., Iwamoto, Y. 1999. Cartilage and labrum degeneration in the dysplastic hip generally originates in the anterosuperior weight-bearing area: an arthroscopic observation, *J. Arthrosc. Relat. Surg.* 15: 496–506.
- Novais, E. N., Shefelbine, S. J., Kienle, K.-P., Miller, P. E., Bowen, G., Kim, Y.-J., & Bixby, S. D. 2018. Body Mass Index Affects Proximal Femoral but Not Acetabular Morphology in Adolescents Without Hip Pathology. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 100(1), 66–74.
- Oliveria, S. A., Felson, D. T., Reed, J. I., Cirillo, P. A., Walker, A. M., 1995. Incidence of symptomatic hand, hip, and knee osteoarthritis among patients in a health maintenance organization. *Arthritis Rheumatol.* 38 (8), 1134–1141.

- Pacifici, R. 2015. T cells, osteoblasts, and osteocytes: interacting lineages key for the bone anabolic and catabolic activities of parathyroid hormone. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1364(1), 11–24.
- Parmar, G., Ruparelia, S., Patel, S. V., Patel, S. M. Jethva, N. 2013. Morphology and morphometry of acetabulum. *Int. J. Biol. Med. Res.*, 4(1):2924-6.
- Perreard Lopreno G. 2007. Adaptation structurelle des os du membre supérieur et de la clavicule à l'activité. Dissertation, University of Geneva.
- Plavcan J. M. 2011. Understanding dimorphism as a function of changes in male and female traits. *Evol Anthropol* 20:143–155.
- Presle, N., Pottie, P., Mainard, D., Netter, P., Terlain, B. 2007. Adipokines in osteoarthritis. In L. Sharma & F. Berenbaum (Eds.), *Osteoarthritis: A companion to rheumatology* (pp. 85-103). Philadelphia, PA: Mosby, Inc. (Elsevier).
- Radin, E.L. 1982. Mechanical factors in the causation of osteoarthritis. In M. Schattenkirchner (Ed.), *Rheumatology* (vol. 7) (pp. 46-52). Basel, Switzerland: Karger.
- Radin, E.L., Rose, R.M. 1986. Role of subchondral bone in the initiation and progression of cartilage damage. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 213, 34-40.
- Rajasekhar, S.; Vasudha, T. K. & Aravindhana, K. 2017. Sex Determination by biometry of anterior features of human hip bones in South Indian population. *J. Clin. Diagn. Res.*, 11(6):AC13-AC16.
- Recheis W., Weber G. W., Schäfer K. et al. 1999. Virtual reality and anthropology. *Eur. J. Radiol.*, 31: 88-96.
- Resnick D, Niwayama G. 1983. Entheses and enthesopathy. Anatomical, pathological, and radiological correlation. *Radiology* 146:1–9.
- Rissech, C., Sañudo, J.R., Malgosa, A. 2001. The acetabular point: a morphological and ontogenetic study, *J. Anat.* 198, 743–748
- Rissech C, Estabrook G. F, Cunha E., Malgosa A. 2007. Estimation of age-at-death for adult males using the acetabulum, applied to four western European populations. *J Forensic Sci* 52:774–778
- Rissech C, Estabrook GF, Cunha E, and Malgosa A. 2006a. Using the acetabulum to estimate age at death of adult males. *J Forensic Sci* 51(2):214–229.
- Rissech C, Estabrook GF, Cunha E, and Malgosa A. 2006b. Estimation of age-at death for adult males using the acetabulum, applied to four Western European populations. *J Forensic Sci* 52(4):774–778.
- Rodionova, O., Kucheryavskiy, S., & Pomerantsev, A. 2021. Efficient tools for principal component analysis of complex data—a tutorial. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 213, 104304.

- Rogers J, Shepstone L, Dieppe P. 1997. Bone formers: osteophyte and enthesophyte formation are positively associated. *Ann Rheum Dis* 56:85–90. Rogers J, Waldron T.
- Rogers J, Waldron T. 1995. *A Field Guide to Joint Diseases in Archaeology*. New York: Wiley.
- Rouge'-Maillart C, Jousset N, Vielle B, Gaudin A, Telmon N. 2007. Contribution of the study of the acetabulum for the estimation of adult subjects. *Forensic Sci Int* 171:103–110.
- Rouge'-Maillart C, Telmon N, Rissech C, Malagosa A, Rouge' D. 2004. The determination of male adult age at death by central and posterior coxal analysis—a preliminary study. *J Forensic Sci* 49:208–214.
- Rouge'-Maillart C, Vielle B, Jousset N, Chappard D, Telmon N, Cunha E. 2009. Development of a method to estimate skeletal age at death in adults using the acetabulum and the auricular surface on a Portuguese population. *Forensic Sci Int* 188:91–95.
- Ruff, C.B., Scott, W.W., Liu, A.Y.C. 1991. Articular and diaphyseal remodeling of the proximal femur with changes in body mass in adults. *American Journal of Physical Anthropology* 86 (3):397-413.
- Ruff, R. 1988. Hindlimb articular surface allometry in Homioidea and Macaca, with comparisons to diaphyseal scaling. *Journal of Human Evolution*. 17: 687-714.
- San Millán, M., Kaliontzopoulou, A., Rissech, C., Turbón, D. 2015. A geometric morphometric analysis of acetabular shape of the primate hip joint in relation to locomotor behaviour. *Journal of Human Evolution*, 83, 15–27.
- San-Millán, M., Rissech, C., Turbón, D. 2017a. Shape variability of the adult human acetabulum and acetabular fossa related to sex and age by geometric morphometrics. Implications for adult age estimation. *Forensic Science International*, 272, 50–63.
- San-Millán, M., Rissech, C., Turbón, D. 2017b. New approach to age estimation of male and female adult skeletons based on the morphological characteristics of the acetabulum. *International Journal of Legal Medicine*, 131(2), 501–525.
- Sariali, E., Veysi, V., & Stewart, T. 2008. Biomechanics of the human hip – Consequences for total hip replacement. *Current Orthopaedics*, 22, 371-375.
- Scheuer L. 2002. Application of osteology to forensic medicine. *Clin Anat* 15:297–312.
- Schlager, S. 2017. “Morpho and Rvcg – Shape Analysis in R.” In Zheng G, Li S, Szekely G (eds.), *_Statistical Shape and Deformation Analysis_*, 217-256. Academic Press. ISBN 9780128104934.
- Schmid, M. R, Nötzli, H. P, Zanetti, M, Wyss, T. F, Hodler, J. 2003. Cartilage lesions in the hip: diagnostic effectiveness of MR arthrography. *Radiology* 226:382–386
- Schmitt, A., Murail, P., Cunha, E, Rougé, D. 2002. Variability of the pattern of aging on the human skeleton: Evidence from bone indicators and implication on age at death estimation. *J Forensic Sci* 47:1203–1209.

- Schmitt, A., Wapler, U., Couallier, V, Cunha, E. 2007. Are bone losers distinguishable from bone formers in a skeletal series? Implications for adult age at death assessment methods. *Homo* 58:53–66
- Schmitt, A. 2004. Age-at-death assessment using the os pubis and the auricular surface of the ilium: A test on an identified Asian sample. *Int J Osteoarchaeol* 14:1–6.
- Schneider, D. L., Barrett-Connor, E., Morton, D.J., Weisman, M. 2002. Bone mineral density and clinical hand osteoarthritis in elderly men and women: the Rancho study, *J. Rheumatol.* 29:1467–1472.
- Slice, D. E. (2007). Geometric Morphometrics. *Annual Review of Anthropology.* 36:261-81.
- Smalley K. J., Knerr A. N., Kendrick Z. V., Colliver J. A., Owen O. E. 1990. Reassessment of body mass indices. *Am J Clin Nutr*; 52:405–8.
- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J. (1995). *Biometry: The Principles and Practices of Statistics in Biological Research.* Freeman, New York, 3rd edition. Robert R. Sokal and F. James Rohlf. Includes bibliographical references (p. 850-863) and indexes.
- Standring, S. 2016. *Gray's Anatomy: the Anatomical Basis of Clinical Practice.* Elsevier Limited.
- Stewart, T. D. 1979. *Essentials of forensic anthropology, especially as developed in the United States.* Springfield, Ill: Thomas.
- Stull K. A., James D. M. 2010. Determination of age at death using the acetabulum of the os coxa. In: Latham KE, Finnegan M, editors. *Age estimation of the human skeleton.* Springfield, IL: Charles C. Thomas. p 134–146
- Swartz, S. 1989. The functional morphology of weight bearing: Limb joint surface area allometry in anthropoid primates. *Journal of Zoology*, 218, 441-460.
- Tak E, Staats P, Van Hespren A, Hopman-Rock M. 2005. The effects of an exercise program for older adults with osteoarthritis of the hip. *J Rheumatol*; 32:1106–13.
- Thelin, A., Holmberg, S. 2007. Hip osteoarthritis in a rural male population: A prospective population-based register study. *American Journal of Industrial Medicine*, 50, 604-607.
- Turner, J. R. and Thayer, J. F. 2001. *Introduction to analysis of variance: design, analysis, and interpretation.* Sage Publications, Thousand Oaks, Calif.
- Via, M. 2012. The Malnutrition of Obesity: Micronutrient Deficiencies That Promote Diabetes. *ISRN Endocrinology*, 2012, 1–8.
- Videman, T., Nurmine, M., Troup, J. D. 1990. Volvo Award in clinical sciences. Lumbar spinal pathology in cadaveric material in relation to history of back pain, occupation, and physical loading. *Spine*, 15, 728-740.

- Von Cramon-Taubadel N, Frazier BC, Lahr MM. 2007. The Problem of Assessing Landmark Error in Geometric Morphometrics: Theory, Methods, and Modification. *American journal of physical anthropology* 134:24–35.
- von Eisenhart R, Adam C, Steinlechner M, Müller-Gerbl M, Eckstein F. 1999. Quantitative determination of joint incongruity and pressure distribution during simulated gait and cartilage thickness in the human acetabular joint. *J Orthop Res.* 17:532e539.
- Waldron, T. 1987. The relative survival of the human skeleton: implications for palaeopathology. *Death, decay and reconstruction: approaches to archaeology and forensic science*, 55-64.
- Wallace I. J., Worthington S., Felson D. T., Jurmain R. D., Wren K. T., Maijanen H., et al. 2017. Knee osteoarthritis has doubled in prevalence since the mid-20th century. *Proc Natl Acad Sci USA*; 114:9332–6.
- Wang, J., Thornton J. C., Russell M., Burastero S., Heymsfield S., Pierson R. N. 1994. Asians have lower body mass index (BMI) but higher percent body fat than do whites: comparisons of anthropometric measurements. *Am J Clin Nutr*; 60:23–8.
- Wang, S. C., Brede, C., Lange, D., Poster, C. S., Lange, A. W., Kohoyda-Inglis, C., Sochor, M. R., Ipaktchi, K., Rowe, S. A., Patel, S., & Garton, H. J. 2004. Gender differences in hip anatomy: possible implications for injury tolerance in frontal collisions. *Annual proceedings. Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 48, 287–301.
- Wearing, S.C., Hennig, E.M., Byrne, N.M., Steele, J.R., & Hills, A.P. 2006. Musculoskeletal disorders associated with obesity: A biomechanical perspective. *Obesity Reviews*, 7, 239-250.
- Weber, G.W., Bookstein, F.L. 2017. *Virtual anthropology: a guide to a new interdisciplinary field*. Springer.
- Weber, G.W., Recheis, W., Scholze, T. and Seidler, H., 1998. Virtual anthropology (VA): methodological aspects of linear and volume measurements--first results. *Collegium antropologicum*, 22(2), pp.575-584.
- Weiss, E. 2003. Understanding muscle markers: Aggregation and construct validity. *American Journal of Physical Anthropology*, 121, 230-240.
- Weiss, E. 2004. Understanding muscle markers: Lower limbs. *American Journal of Physical Anthropology*, 125, 232-238.
- Weiss, E., Corona, L., & Schultz, B. 2012. Sex differences in musculoskeletal stress markers: Problems with activity pattern reconstructions. *International Journal of Osteoarchaeology*, 22, 70-80.
- Weiss E, Jurmain R. 2007. Osteoarthritis revisited: a contemporary review of aetiology. *Int J Osteoarchaeol*; 17:437–50.
- Wellens R. I., Roche A. F., Khamis H. J., Jackson A. S., Pollock M. L., Siervogel R. M. 1996. Relationships between the body mass index and body composition. *Obes Res*; 4:35–44.

- Wescott D. J., Drew J. L. 2015. Effect of obesity on the reliability of age-at-death indicators of the pelvis. *Am J Phys Anthropol*; 156:595–605.
- Weston, K., 1997. The virtual anthropologist. *Anthropological locations: Boundaries and grounds of a field science*, pp.163-84.
- White, T. D., Folkens P. A. 2005. *The Human Bone Manual*. Elsevier Academic.
- White, Tim D., et al. 2012. *Human Osteology*. Academic Press.
- Winburn, A.P. 2008. A comparison of pelvic age-estimation methods on two modern Iberian populations: bioarchaeological and forensic implications. Master's dissertation, New York University
- Winburn, A. P. 2017. Skeletal age estimation in modern European-American adults: the effects of activity, obesity, and osteoarthritis on age-related changes in the acetabulum [dissertation]. Gainesville, FL: University of Florida.
- Winburn, A. P. 2018. Validation of the Acetabulum As a Skeletal Indicator of Age at Death in Modern European-Americans. *Journal of Forensic Sciences*.
- Wollheim, F. A., Lohmander, L. S. 2007. Pathology and animal models of osteoarthritis. In L. Sharma & F. Berenbaum (Eds.), *Osteoarthritis: A companion to rheumatology* (pp. 104-112). Philadelphia, PA: Mosby, Inc. (Elsevier).
- Yatsunenko T, Rey F. E, Manary M. J, et al. 2012. Human gut microbiome viewed across age and geography. *Nature*; 486(7402):222-227. Published 2012 May 9.
- Yoshimura N., Sasaki S., Iwasaki K., Danjoh S., Kinoshita H., Yasuda T., et al. 2000. Occupational lifting is associated with hip osteoarthritis: A Japanese case-control study. *The Journal of rheumatology*. 2000 Feb;27(2):434–40.
- Yugesh, K., Kumar, S. S. 2016. Morphometric analysis of acetabulum and its clinical correlation in south Indian population. *Int. J. Appl. Res.*, 2(6):1011-4.
- Zelditch M.L., Swiderski D.L., Sheets H.D. et al. 2012. *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer* (2nd edition). Elsevier Academic Press, San Diego.
- Zollikofer C. & Ponce de Leon M. 2005. *Virtual Reconstruction: a primer in computer-assisted paleontology and biomedicine*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

12 Seznam příloh

Tabulka 1. Přehled zkoumaných kosterních sbírek.

Tabulka 2. Přehled kosterního materiálu, užitého v DP.

Tabulka 3. Shrnutí změn ve formě a tvaru acetabula u obou pohlaví a třech věkových skupin.

Tabulka 4 Podrobnější popis změn ve formě a tvaru acetabula mezi věkovými skupinami obou pohlaví (MLA: 20–39 let, STŘ: 40–64 let, STA: nad 65 let)

Tabulka 1. Přehled zkoumaných kosterních sbírek.

Země původu	Sbírka	Reference	Ženy	Muži	Celkem
Portugalsko	21.století	Ferreira et al. 2014, 2020; Cunha a Wasterlain, 2007	13	26	39
Portugalsko	19-20.století		54	50	104
Švýcarsko	Simon Identified Skeletal Collection	Perreard Lopreno, 2007; Abegg a Desideri, 2018	39	38	77
Řecko	Heraklion Collection	Kranioti et al., 2008; Kranioti and Michalodimitrakis, 2009	14	6	20
Celkem:			120	120	240

Tabulka 2. Přehled kosterního materiálu, užitého v DP.

ID	Pohlaví	Věk	Země původu	Sbírka
1	muž	49	Portugalsko	Coimbra CISC
2	muž	21	Portugalsko	Coimbra CISC
3	muž	25	Portugalsko	Coimbra CISC
4	muž	21	Portugalsko	Coimbra CISC
5	muž	27	Portugalsko	Coimbra CISC
6	muž	20	Portugalsko	Coimbra CISC
7	muž	25	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
8	muž	25	Švýcarsko	Simon Collection
9	muž	23	Švýcarsko	Simon Collection
10	muž	20	Portugalsko	Coimbra CISC
11	muž	29	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
12	muž	29	Portugalsko	Coimbra CISC
13	muž	27	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
14	muž	27	Portugalsko	Coimbra CISC
15	muž	23	Portugalsko	Coimbra CISC
16	muž	27	Portugalsko	Coimbra CISC
17	muž	28	Portugalsko	Coimbra CISC
18	muž	26	Portugalsko	Coimbra CISC
19	muž	26	Portugalsko	Coimbra CISC
20	muž	20	Portugalsko	Coimbra CISC
21	muž	28	Portugalsko	Coimbra CISC
22	muž	33	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
23	muž	39	Portugalsko	Coimbra CISC
24	muž	34	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
25	muž	38	Portugalsko	Coimbra CISC
26	muž	38	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
27	muž	37	Portugalsko	Coimbra CISC
28	muž	37	Portugalsko	Coimbra CISC
29	muž	30	Portugalsko	Coimbra CISC

30	muž	38	Řecko	Heraklion Collection
31	muž	32	Portugalsko	Coimbra CISC
32	muž	32	Portugalsko	Coimbra CISC
33	muž	37	Švýcarsko	Simon Collection
34	muž	35	Švýcarsko	Simon Collection
35	muž	34	Švýcarsko	Simon Collection
36	muž	38	Švýcarsko	Simon Collection
37	muž	34	Švýcarsko	Simon Collection
38	muž	33	Švýcarsko	Simon Collection
39	muž	31	Švýcarsko	Simon Collection
40	muž	35	Švýcarsko	Simon Collection
41	muž	39	Švýcarsko	Simon Collection
42	muž	49	Portugalsko	Coimbra CISC
43	muž	44	Švýcarsko	Simon Collection
44	muž	46	Švýcarsko	Simon Collection
45	muž	46	Švýcarsko	Simon Collection
46	muž	45	Švýcarsko	Simon Collection
47	muž	41	Švýcarsko	Simon Collection
48	muž	46	Švýcarsko	Simon Collection
49	muž	42	Portugalsko	Coimbra CISC
50	muž	45	Portugalsko	Coimbra CISC
51	muž	44	Portugalsko	Coimbra CISC
52	muž	49	Portugalsko	Coimbra CISC
53	muž	43	Portugalsko	Coimbra CISC
54	muž	43	Švýcarsko	Simon Collection
55	muž	42	Švýcarsko	Simon Collection
56	muž	43	Švýcarsko	Simon Collection
57	muž	41	Portugalsko	Coimbra CISC
58	muž	44	Portugalsko	Coimbra CISC
59	muž	42	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
60	muž	43	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
61	muž	54	Portugalsko	Coimbra CISC
62	muž	57	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
63	muž	53	Portugalsko	Coimbra CISC
64	muž	51	Portugalsko	Coimbra CISC
65	muž	50	Portugalsko	Coimbra CISC
66	muž	50	Portugalsko	Coimbra CISC
67	muž	57	Portugalsko	Coimbra CISC
68	muž	54	Portugalsko	Coimbra CISC
69	muž	52	Švýcarsko	Simon Collection
70	muž	55	Švýcarsko	Simon Collection
71	muž	51	Švýcarsko	Simon Collection
72	muž	50	Švýcarsko	Simon Collection
73	muž	58	Švýcarsko	Simon Collection
74	muž	57	Švýcarsko	Simon Collection
75	muž	59	Švýcarsko	Simon Collection
76	muž	59	Švýcarsko	Simon Collection
77	muž	58	Švýcarsko	Simon Collection

78	muž	59	Švýcarsko	Simon Collection
79	muž	52	Švýcarsko	Simon Collection
80	muž	56	Řecko	Heraklion Collection
81	muž	60	Portugalsko	Coimbra CISC
82	muž	67	Portugalsko	Coimbra CISC
83	muž	68	Portugalsko	Coimbra CISC
84	muž	67	Portugalsko	Coimbra CISC
85	muž	60	Portugalsko	Coimbra CISC
86	muž	65	Portugalsko	Coimbra CISC
87	muž	60	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
88	muž	64	Portugalsko	Coimbra CISC
89	muž	60	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
90	muž	66	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
91	muž	69	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
92	muž	65	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
93	muž	66	Švýcarsko	Simon Collection
94	muž	60	Řecko	Heraklion Collection
95	muž	61	Řecko	Heraklion Collection
96	muž	63	Řecko	Heraklion Collection
97	muž	60	Řecko	Heraklion Collection
98	muž	69	Švýcarsko	Simon Collection
99	muž	66	Švýcarsko	Simon Collection
100	muž	62	Švýcarsko	Simon Collection
101	muž	74	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
102	muž	72	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
103	muž	84	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
104	muž	70	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
105	muž	81	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
106	muž	71	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
107	muž	89	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
108	muž	74	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
109	muž	72	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
110	muž	81	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
111	muž	89	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
112	muž	75	Portugalsko	Coimbra CISC
113	muž	83	Portugalsko	Coimbra CISC
114	muž	73	Švýcarsko	Simon Collection
115	muž	76	Švýcarsko	Simon Collection
116	muž	73	Švýcarsko	Simon Collection
117	muž	88	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
118	muž	87	Portugalsko	Coimbra CISC
119	muž	85	Portugalsko	Coimbra CISC
120	muž	75	Portugalsko	Coimbra CISC
121	žena	25	Portugalsko	Coimbra CISC
122	žena	21	Portugalsko	Coimbra CISC
123	žena	20	Portugalsko	Coimbra CISC
124	žena	29	Švýcarsko	Simon Collection
125	žena	29	Švýcarsko	Simon Collection

126	žena	26	Portugalsko	Coimbra CISC
127	žena	28	Švýcarsko	Simon Collection
128	žena	26	Švýcarsko	Simon Collection
129	žena	26	Portugalsko	Coimbra CISC
130	žena	25	Portugalsko	Coimbra CISC
131	žena	26	Portugalsko	Coimbra CISC
132	žena	26	Portugalsko	Coimbra CISC
133	žena	29	Portugalsko	Coimbra CISC
134	žena	24	Portugalsko	Coimbra CISC
135	žena	24	Portugalsko	Coimbra CISC
136	žena	21	Portugalsko	Coimbra CISC
137	žena	25	Portugalsko	Coimbra CISC
138	žena	29	Řecko	Heraklion Collection
139	žena	20	Švýcarsko	Simon Collection
140	žena	26	Švýcarsko	Simon Collection
141	žena	30	Portugalsko	Coimbra CISC
142	žena	35	Portugalsko	Coimbra CISC
143	žena	39	Portugalsko	Coimbra CISC
144	žena	38	Portugalsko	Coimbra CISC
145	žena	38	Portugalsko	Coimbra CISC
146	žena	38	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
147	žena	38	Portugalsko	Coimbra CISC
148	Žena	32	Portugalsko	Coimbra CISC
149	Žena	30	Portugalsko	Coimbra CISC
150	Žena	39	Portugalsko	Coimbra CISC
151	Žena	38	Portugalsko	Coimbra CISC
152	Žena	38	Švýcarsko	Simon Collection
153	Žena	35	Švýcarsko	Simon Collection
154	Žena	31	Švýcarsko	Simon Collection
155	Žena	34	Švýcarsko	Simon Collection
156	Žena	34	Švýcarsko	Simon Collection
157	Žena	37	Švýcarsko	Simon Collection
158	Žena	33	Švýcarsko	Simon Collection
159	Žena	32	Švýcarsko	Simon Collection
160	Žena	36	Švýcarsko	Simon Collection
161	Žena	40	Portugalsko	Coimbra CISC
162	Žena	45	Portugalsko	Coimbra CISC
163	Žena	43	Portugalsko	Coimbra CISC
164	Žena	48	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
165	Žena	46	Portugalsko	Coimbra CISC
166	Žena	40	Portugalsko	Coimbra CISC
167	Žena	47	Portugalsko	Coimbra CISC
168	Žena	47	Portugalsko	Coimbra CISC
169	Žena	47	Portugalsko	Coimbra CISC
170	Žena	40	Portugalsko	Coimbra CISC
171	Žena	47	Švýcarsko	Simon Collection
172	Žena	41	Švýcarsko	Simon Collection
173	Žena	40	Švýcarsko	Simon Collection

174	Žena	44	Švýcarsko	Simon Collection
175	žena	48	Švýcarsko	Simon Collection
176	žena	46	Švýcarsko	Simon Collection
177	žena	46	Švýcarsko	Simon Collection
178	žena	49	Švýcarsko	Simon Collection
179	žena	47	Švýcarsko	Simon Collection
180	žena	43	Švýcarsko	Simon Collection
181	žena	52	Portugalsko	Coimbra CISC
182	žena	55	Portugalsko	Coimbra CISC
183	žena	55	Portugalsko	Coimbra CISC
184	žena	50	Portugalsko	Coimbra CISC
185	žena	50	Portugalsko	Coimbra CISC
186	žena	58	Portugalsko	Coimbra CISC
187	žena	57	Portugalsko	Coimbra CISC
188	žena	51	Portugalsko	Coimbra CISC
189	žena	58	Portugalsko	Coimbra CISC
190	žena	54	Švýcarsko	Simon Collection
191	žena	54	Švýcarsko	Simon Collection
192	žena	59	Švýcarsko	Simon Collection
193	žena	53	Švýcarsko	Simon Collection
194	žena	50	Švýcarsko	Simon Collection
195	žena	59	Švýcarsko	Simon Collection
196	žena	57	Švýcarsko	Simon Collection
197	žena	50	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
198	žena	58	Řecko	Heraklion Collection
199	žena	58	Řecko	Heraklion Collection
200	žena	52	Portugalsko	Coimbra CISC
201	žena	68	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
202	žena	60	Portugalsko	Coimbra CISC
203	žena	62	Portugalsko	Coimbra CISC
204	žena	61	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
205	žena	67	Řecko	Heraklion Collection
206	žena	65	Portugalsko	Coimbra CISC
207	žena	62	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
208	žena	62	Portugalsko	Coimbra CISC
209	žena	60	Portugalsko	Coimbra CISC
210	žena	65	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
211	žena	65	Portugalsko	Coimbra CISC
212	žena	68	Švýcarsko	Simon Collection
213	žena	69	Švýcarsko	Simon Collection
214	žena	68	Švýcarsko	Simon Collection
215	žena	64	Švýcarsko	Simon Collection
216	žena	61	Švýcarsko	Simon Collection
217	žena	63	Řecko	Heraklion Collection
218	žena	66	Řecko	Heraklion Collection
219	Žena	67	Řecko	Heraklion Collection
220	Žena	67	Řecko	Heraklion Collection
221	Žena	87	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI

222	Žena	73	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
223	Žena	84	Portugalsko	Coimbra CISC
224	Žena	77	Portugalsko	Coimbra CISC
225	Žena	83	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
226	Žena	74	Portugalsko	Coimbra CISC
227	Žena	74	Portugalsko	Coimbra CISC
228	Žena	89	Portugalsko	Coimbra CISC
229	Žena	74	Portugalsko	Coimbra CISC
230	Žena	83	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
231	Žena	89	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
232	Žena	90	Řecko	Heraklion Collection
233	Žena	82	Portugalsko	Coimbra CEI/XXI
234	Žena	77	Švýcarsko	Simon Collection
235	Žena	75	Švýcarsko	Simon Collection
236	Žena	71	Řecko	Heraklion Collection
237	Žena	90	Řecko	Heraklion Collection
238	Žena	86	Řecko	Heraklion Collection
239	Žena	79	Řecko	Heraklion Collection
240	Žena	87	Řecko	Heraklion Collection

Tabulka 3. Shrnutí změn ve formě a tvaru acetabula u obou pohlaví a třech věkových skupin.

	Forma	Tvar
Vliv věku, pohlaví a velikosti	Významný vliv věku a pohlaví, významné interakce věku a pohlaví. Významné rozdíly ve formě acetabula mezi muži a ženami ve stejných věkových skupinách. Vliv věku na formu je jednotný mezi muži a ženami, obě pohlaví sdílejí podobný model stárnutí.	Vliv velikosti, pohlaví a věku na tvar je velmi významný. Interakce mezi jednotlivými faktory nejsou signifikantní. Vliv pohlaví a věku na tvar je jednotný mezi muži a ženami, obě pohlaví sdílejí podobný model stárnutí.
PCA 1x2 – věk	PC1 a PC2: Forma acetabula se postupně mění se zvyšujícím se věkem. Dochází k narůstání variability formy acetabula, největší variabilita v nejstarších věkových skupinách.	PC1 a PC2: Nejlépe ze všech věkových skupin se oddělují nejmladší ženy (zejména podle PC2). PC1: Prohloubení acetabula, zmenšení <i>fossa acetabuli</i> a narůstání vnějšího okraje anterosuperiorně s rostoucím věkem. Narůstání variability tvaru acetabula - největší variabilita je ve nejstarších věkových skupinách. PC2: Prohlubování acetabula, narůstání kosti v oblasti rohů a na vnějším okraji acetabula s rostoucím věkem.
PCA 3x4 – věk	PC3: U mladších skupin obou pohlaví širší vnější okraj acetabula zejména posterosuperiorně a nižší hloubka acetabula. Se zvyšujícím se věkem napříč všemi věkovými skupinami dochází k nárůstu kosti v oblasti rohů, zejména na posteriorním rohu, a k prohlubování acetabula. PC4: Nejmladší věkové skupiny mají širší <i>incisura acetabuli</i> , se zvyšujícím se věkem dochází k nárůstu kosti v oblasti obou rohů, k zužování <i>incisura acetabuli</i> a s tím spojeným zmenšením <i>fossa acetabuli</i> .	PC3: Nárůst kosti v oblasti rohů, zmenšení <i>incisura acetabuli</i> a nárůst vnějšího okraje superiorně mezi prvními dvěma věkovými skupinami. U nejstarších jedinců vysoká variabilita ve tvaru. PC4: Poměrně velký překryv mezi skupinami, mírné oddělení nejstarších věkových skupin od ostatních, s čímž souvisí zánik anteriorního laloku, zaoblení <i>fossa acetabuli</i> a narůstání kosti v oblasti anteriorního rohu.
PCA 5x6 – věk	PC5 a PC6 nebyly u formy zkoumány.	PC5: S rostoucím věkem dochází u obou pohlaví k nárůstu posteriorního rohu, změně zakřivení <i>fossa acetabuli</i> posterosuperiorně a změně okraje acetabula. Maxima tohoto tvaru dosahují nejstarší ženy. PC6: Beze změny.
PCA 1x2 – pohlaví	PC1: Muži mají ve srovnání se ženami relativně větší plochu <i>facies lunata</i> , hlubší acetabulum a výraznější anteriorní lalok. PC2: Určitý trend změny formy acetabula, přičemž nejstarší věkové skupiny obou pohlaví jsou si ve formě nejvíce podobné.	PC1: Nejmladší ženy a středně staří muži sdílí méně hluboké acetabulum a větší <i>fossa acetabuli</i> . Středně staré ženy a nejmladší muži vykazují větší hloubku acetabula a menší <i>fossa acetabuli</i> . PC2: Ženy v nejmladší věkové skupině mají oproti nejmladším mužům mělčí acetabulum, které je otevřenější zejména v oblasti anteriorního rohu a v oblasti posterosuperiorního vnějšího okraje.
PCA 3x4 – pohlaví	PC3 a PC4 nevyjadřují vliv pohlaví, ale spíše zachycují věkové změny.	PC3 a PC4: V rámci pohlaví se skupiny částečně překrývají, průměry mužů a žen ze stejných věkových skupin odděluje zejména PC3, která ukazuje, že muži mají užší a uzavřenější <i>incisura acetabuli</i> než ženy.
PCA 5x6 – pohlaví	PC5 a PC6 nebyly u formy zkoumány.	PC5: U žen je tvar <i>fossa acetabuli</i> protažen spíše posterosuperiorně, u mužů spíše anterosuperiorně. Ženy mají výraznější posteriorní roh než muži. Posteriorní roh u mužů není tak výrazný, jako u žen. Vnější okraj acetabula má u mužů a u žen mírně odlišný tvar. PC6: Beze změn.

Tabulka 4 Podrobnější popis změn ve formě a tvaru acetabula mezi věkovými skupinami obou pohlaví (MLA: 20–39 let, STR: 40–64 let, STA: nad 65 let)

	Forma	Tvar
PCA 1x2 – ženy MLA x STR	PC1: Zvětšení velikosti acetabula, PC2: Zmenšení <i>fossa acetabuli</i> a zejména superiorního laloku, nárůst hloubky acetabula a změna jeho okraje	PC1: Zvětšení <i>facies lunata</i> , narůstání vnějšího okraje acetabula, prohloubení acetabula a zmenšení superiorního laloku s rostoucím věkem. PC2: Narůstání hloubky acetabula, nárůstu kosti v oblasti obou rohů a ke změně sklonu anteriorního rohu.
PCA 3x4 – ženy MLA x STR	PC3: U mladší skupiny je vnější okraj acetabula širší zejména posterosuperiorně, menší <i>fossa acetabuli</i> a nižší hloubka acetabula. Se zvyšujícím se věkem dochází k nárůstu kosti v oblasti rohů, zejména na posteriorním rohu a k prohlubování acetabula. PC4: Nejmladší věková skupina se vyznačuje širší <i>incisura acetabuli</i> . Se zvyšujícím se věkem dochází k nárůstu kosti v oblasti obou rohů, k zužování <i>incisura acetabuli</i> a s tím spojeným zmenšení <i>fossa acetabuli</i> .	PC3: Zúžení <i>incisura acetabuli</i> a s tím spojené zmenšení <i>fossa acetabuli</i> , zakulacení <i>fossa acetabuli</i> a zánik superiorního a posteriorního laloku, nárůst vnějšího okraje acetabula v oblasti obou rohů. PC4: Mírné zakulacení tvaru <i>fossa acetabuli</i> a zmenšení všech laloků, mírný nárůst kosti v oblasti anteriorního rohu a mírný úbytek kosti v oblasti posteriorního rohu.
PCA 5x6 – ženy MLA x STR	PC5 a PC6 nebyly u formy zkoumány.	PC5: Minimální změny. PC6: Beze změny.
PCA 1x2 – ženy STR x STA	PC1: U nejstarších žen narůstá celková velikost acetabula (<i>facies lunata</i> , <i>fossa acetabuli</i> anteriorně), zvětšuje se hloubka acetabula vnější okraj. PC2: Zvětšení variability v hloubce acetabula a velikosti <i>fossa acetabuli</i>	PC1: Především nárůst variability ve tvaru acetabula u nejstarších žen. PC2: Nárůst hloubky acetabula, nárůst kosti v oblasti obou rohů a změna sklonu anteriorního rohu.
PCA 3x4 – ženy STR x STA	PC3: Nejstarší ženy mají zakulacenější vnější okraj acetabula (vytrácí se protažení <i>facies lunata</i> posterosuperiorně) a hlubší acetabulum. PC4: Mírně narůstá variabilita v zužování <i>incisura acetabuli</i> .	PC3: Zvětšení variability ve tvaru u nejstarších žen. PC4: Mírné zakulacení tvaru <i>fossa acetabuli</i> , mírný nárůst kosti v oblasti anteriorního rohu a úbytek kosti v oblasti posteriorního rohu, postupný zánik všech laloků - započaté změny dosahují postupně svého maxima.
PCA 5x6 – ženy STR x STA	PC5 a PC6 nebyly u formy zkoumány.	PC5: <i>Fossa acetabuli</i> s vyšším věkem protažena spíše posterosuperiorně, výraznější posteriorní roh. Nejstarší ženy dosahují maxima tohoto tvaru. Mírně se mění i vnější okraj acetabula. PC6: Beze změny.

PCA 1x2 – muži MLA x STŘ	PC1: Mírně se zmenšuje velikost acetabula, PC2: Zmenšuje se <i>fossa acetabuli</i> a zejména superiorní lalok, narůstá hloubka acetabula a mění se jeho okraj	PC1: U středně starých mužů mírné zvětšení <i>fossa acetabuli</i> a zmenšení hloubky acetabula. PC2: Nedochází k výraznějším změnám.
PCA 3x4 – muži MLA x STŘ	PC3: U nejmladších mužů je širší vnější okraj acetabula zejména posterosuperiorně, menší <i>fossa acetabuli</i> a nižší hloubka acetabula. Se zvyšujícím se věkem dochází k nárůstu kosti v oblasti rohů a k prohlubování acetabula. PC4: Nejmladší muži se vyznačují širší <i>incisura acetabuli</i> . Se zvyšujícím se věkem dochází k nárůstu kosti v oblasti obou rohů, k zužování <i>incisura acetabuli</i> a s tím spojeném zmenšení <i>fossa acetabuli</i> .	PC3: Zúžení <i>incisura acetabuli</i> a s tím spojené zmenšení <i>fossa acetabuli</i> , zakulacení <i>fossa acetabuli</i> a zánik superiorního a posteriorního laloku, nárůst vnějšího okraje acetabula v oblasti obou rohů. PC4: U mladších mužů může být výraznější zejména anteriorní lalok, u středně starých mužů mírný úbytek kosti v oblasti posteriorního rohu, mírné zakulacení tvaru <i>fossa acetabuli</i> a zmenšení všech laloků.
PCA 5x6 – muži MLA x STŘ	PC5 a PC6 nebyly u formy zkoumány.	PC5: Beze změny. PC6: Beze změny.
PCA 1x2 – muži STŘ x STA	PC1: U nejstarších mužů se mírně zmenšuje se celková velikost acetabula, PC2: Mírně se zvětšuje variabilita v hloubce acetabula a ve velikosti <i>fossa acetabuli</i>	PC1: Zvětšení <i>facies lunata</i> , nárůst vnějšího okraje acetabula, prohlubování acetabula, zmenšení superiorního laloku a nárůstu variability tvaru acetabula u nejstarších mužů. PC2: Nárůst hloubky acetabula, nárůst kosti v oblasti obou rohů a změna sklonu anteriorního rohu.
PCA 3x4 – muži STŘ x STA	PC3: Nejstarší muži mají zakulacenější vnější okraj acetabula (vytrácí se protažení <i>facies lunata</i> posterosuperiorně) a hlubší acetabulum. PC4: Mírně narůstá variabilita v dalším zužování <i>incisura acetabuli</i> .	PC3: Zvětšení variability ve tvaru u nejstarších mužů. PC4: Další zakulacení tvaru <i>fossa acetabuli</i> , nárůst kosti v oblasti anteriorního rohu, úbytek kosti v oblasti posteriorního rohu a postupný zánik všech laloků - započaté změny dosahují postupně svého maxima.
PCA 5x6 – muži STŘ x STA	PC5 a PC6 nebyly u formy zkoumány.	PC5: Protažení <i>fossa acetabuli</i> posterosuperiorně a zvýraznění posteriorního rohu se zvyšujícím se věkem. Mírně se mění i tvar vnějšího okraje acetabula. PC6: Beze změny.