

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Antropologie a genetika člověka



Bc. Rebeka Vejnarová

**Tvar a velikost *facies auricularis* kyčelní kosti člověka: pohlavní dimorfismus a
evoluční aspekty**

**Shape and size of the auricular surface of human coxal bone: sexual dimorphism and
evolutionary aspects**

Diplomová práce

Vedoucí práce: **Doc. RNDr. Jaroslav Brůžek, CSc.**

Konzultant: **Doc. RNDr. Jana Velemínská, Ph.D.**

Praha, 2015

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 31. 7. 2015

Rebeka Vejnarová

Poděkování

V prvé řadě velmi děkuji svému školiteli doc. Jaroslavu Brůžkovi za jeho odborné rady, vstřícný přístup a podporu nejen při zpracovávání této práce, ale také během celého mého studia oboru antropologie. Dále patří velký dík Mgr. Jánů Dupejovi za jeho nekonečnou trpělivost a ochotu při zpracovávání dat pro tuto práci. V neposlední řadě děkuji doc. Janě Velemínské, že mi poskytla cenné rady při společných konzultacích. Nakonec děkuji také své rodině, která mi pomáhala při všem, co doprovázelo tvorbu a sepsání této práce.

Obsah

Abstrakt.....	6
Seznam zkratek	8
1. Úvod.....	9
2. Evoluce sakroiliakálního kloubu	12
2. 1. Srovnání člověka s žijícími hominoidy.....	12
2. 2. Doklady evoluce SIJ u australopitecínů.....	15
2. 3. Doklady evoluce SIJ v rodu Homo	16
2. 4. Porodní adaptace a vznik pohlavního dimorfismu SIJ.....	18
2. 5. Důsledky pohlavního dimorfismu při přenosu tlaku přes SIJ.....	21
2. 6. Shrnutí.....	22
3. Pohlavní dimorfismus <i>facies auricularis</i>	23
3. 1. Tradiční morfometrické metody	25
3. 1. 1. Novotný, 1981	25
3. 1. 2. Valojerdy a Hogg, 1989	27
3. 1. 3. Ali a MacLaughlin 1991	27
3. 1. 4. Brůžek et al. 1996.....	29
3. 1. 5. Novak 2010 a Novak et al. 2012	30
3. 1. 6. Wescott 2015	32
3. 1. 7. Shrnutí tradičně morfometrických metod.....	33
3. 2. Geometricko-morfometrické metody.....	38
3. 2. 1. Anastasiou a Chamberlain, 2013	38
3. 3. Metody výpočtu obsahu aurikulární plochy.....	41
4. Cíle práce	43
5. Materiál.....	44
5. 1. Kosterní sbírky Spitalfields a Coimbra	44
5. 2. Odličky fosilií	45
6. Metody	48
6. 1. Pořízení a zpracování fotografií	48
6. 1. 1. Pořízení fotografií.....	48
6. 1. 2. Morfometrické zpracování fotografií	48
6. 1. 3. Intraobservační chyba vkládání semilandmarků	52
6. 2. Obdélníková metoda	52
6. 2. 1. Intraobservační chyba měření rozměrů <i>facies auricularis</i>	53
6. 3. Analýza velikosti <i>facies auricularis</i>	53
6. 5. Statistické hodnocení dat.....	54
7. Výsledky	57
7. 1. Testování předpokladů	57
7. 2. Pohlavní dimorfismus <i>facies auricularis</i>	57
7. 2. 1. Intraobservační chyba vkládání semilandmarků	57
7. 2. 2. Tvarový pohlavní dimorfismus	58
7. 2. 3. Velikostní pohlavní dimorfismus	61
7. 2. 4. Predikce pohlaví podle <i>facies auricularis</i>	64
7. 3. Výpočet obsahu <i>facies auricularis</i>	65
7. 3. 1. Intraobservační chyba měření rozměrů <i>facies auricularis</i>	65
7. 3. 2. Výsledky obdélníkové a mnohoúhelníkové metody	65
7. 4. Evoluční změny <i>facies auricularis</i>	68

7. 4. 1. Vztahy k odhadu tělesné velikosti	68
7. 4. 2. Velikost <i>facies auricularis</i> vzhledem k tělesné velikosti	69
8. Diskuze	72
8. 1. Pohlavní dimorfismus <i>facies auricularis</i>	72
8. 2. Výpočet obsahu <i>facies auricularis</i>	74
8. 3. Evoluční změny <i>facies auricularis</i>	75
9. Závěr	79
Bibliografie	80
Příloha 1 – Výsledky PCA	88
Příloha 2 – Výsledky dvouvýběrových testů	89
Příloha 3 – Výsledky testování vlivu více proměnných	90
Příloha 4 – Popisné statistiky a výsledky měření	91
Příloha 5 – Zadání diplomové práce	94

Abstrakt

Sakroiliakální kloub spojuje pánevní pletenec, a odolává tak tlaku hmotnosti trupu. Sousední struktury vztahující se k pánevnímu kanálu zároveň podléhají selekčnímu tlaku porodních adaptací. Cílem práce bylo ověřit pohlavní dimorfismus tvaru a velikosti *facies auricularis* u moderního člověka. Východiskem byla dosud jediná geometricko-morfometrická studie této plochy (Anastasiou and Chamberlain, 2013). Zároveň jsme analyzovali evoluční změny velikosti této plochy v souvislosti s nárůstem hmotnosti u homininů. Východiskem pro tuto část bylo ověření obdélníkové metody výpočtu obsahu aurikulární plochy, která zjednodušuje její tvar a je používána právě u fosilního materiálu (Reed and Churchill, 2013).

Použili jsme odlitky aurikulární plochy pánevní kosti 97 moderních lidí z osteologických kolekcí Spitalfields a Coimbra, o známém pohlaví a věku, a 8 odlitků fosilních homininů. Aurikulární plocha byla vyfotografována a analyzována metodami geometrické morfometrie za využití sliding semilandmarks. Z takto vyznačené oblasti byla zároveň vypočítána přesná velikost plochy. Úspěšnost klasifikace pohlaví byla testována technikou support vector machine s crossvalidacemi.

Pohlavní dimorfismus tvaru a velikosti aurikulární plochy byl potvrzen. U žen je tvar aurikulární plochy širší než u mužů, ale hlavní mezipohlavní rozdíly spočívají v její velikosti. Predikce podle tvaru dosáhla pouze 64,6% úspěšnosti, podle formy 82,3 %. Aurikulární plocha tak nevykazuje velké tvarové rozdíly, které by odpovídaly porodním adaptacím.

Obdélníková metoda výpočtu obsahu aurikulární plochy v průměru podhodnocuje skutečnou hodnotu pouze o necelá 2 %, avšak při analýze jednotlivých případů může být chyba mnohem větší. Naše studie potvrzuje, že zejména gracilní australopitéci měli relativně málo rozvinutou *facies auricularis* vzhledem ke své tělesné velikosti oproti modernímu člověku. Ovšem na stejné úrovni se nachází rovněž i *H. ergaster*. Naproti tomu neandertálcí a nález člověka z Kabwe (E 719) se blížili více k průměrným hodnotám moderního člověka.

Klíčová slova

Sakroiliakální kloub, *facies auricularis*, pohlavní dimorfismus, evoluce, tělesná velikost, obdélníková metoda

Abstract

Sacroiliac joint connects pelvic girdle and resists the pressure of the trunk. Surrounding structures are also subjects to selective pressure of birth adaptations. The aim of this study was to verify the shape and size sexual dimorphism of the auricular surface of modern human. The basis of this work was the only published geometric-morphometric study of this structure (Anastasiou and Chamberlain, 2013). We also analyzed evolutionary changes in the size of the auricular surface related to the increase in the body weight in hominins. The basis of this part of the thesis is to verify a rectangular method of computation of the auricular area, which simplifies its shape and was applied to the fossil material (Reed and Churchill, 2013).

We used casts of the auricular surface from human hip bone of 97 modern people from osteological collections of Spitalfields and Coimbra, which have documentation about sex and age, and 8 casts of fossil hominins. Auricular surface was photographed and analyzed by methods of geometric morphometrics (sliding semilandmarks). From the marked area the precise surface size was computed. The success rate of sex classification was tested by a technique of support vector machine with crossvalidations.

The shape and size sexual dimorphism of the auricular surface was confirmed. In women, the shape of the auricular surface is wider than in men but the main intersexual differences are in the size. Sex prediction according to shape achieved a success rate only 64,6%; according to form it was 82,3%. Auricular surface does not show great shape differences which would reflect birth adaptations.

On average, the rectangular method underestimates the real values only by less than 2%. However in the analysis of single cases the error can be much larger. Our study confirms that mainly gracile australopithecines had relatively small auricular surface compared to the body weight but *H. ergaster* is still on the same level. In contrast, neandertals and human from Kabwe (E 719) are much nearer to average values of anatomically modern human.

Klíčová slova

Sacroiliac joint, auricular surface, sexual dimorphism, evolution, body size, rectangular method

Seznam zkratek

AA ... Auricular area

AD ... Acetabular diameter

AMH ... Anatomically modern human

CS ... Centroid size

DFA ... Discriminant function analysis

f. a. ... facies auricularis

GPA ... Generalized Procrustes Analysis

IB ... Iliac breadth

(M)ANCOVA ... (Multivariate) analysis of covariance

(M)ANOVA ... (Multivariate) analysis of variance

SD ... Sexual dimorphism

SIJ ... Sacroiliac joint

SVM ... Support vector machine

VEAC ... Vertical acetabular diameter

1. Úvod

Sakroiliakální kloub (SIJ = sacroiliac joint) je tuhé spojení mezi křížovou a kyčelní kostí, jehož kloubní plochy svým tvarem připomínají ušní boltec, od čehož se odvozuje latinský název *facies auricularis*. Na kosti křížové se *facies auricularis* rozkládá podél prvních 2-3 sakrálních segmentů a celkový reliéf je mírně konkávní. *Facies auricularis ossis ilii* se nachází v posteriorní části kosti kyčelní s reliéfem mírně vypuklým. Skládá se ze dvou kraniálně a kaudálně směřujících ramen, která spolu svírají úhel s vrcholem orientovaným ventrálně (Čihák, 2001; Vleeming et al., 2012). Kaudální rameno je delší (Waldrop et al., 1993). Díky SIJ a pubické symfýze není pánevní kruh pouze rigidním útvarem, který by tak byl náchylnější k poškození, ale může pružně reagovat a přenášet tlak vedený z horní části těla přes kost křížovou na dolní končetiny a opačně (Calvillo et al., 2000; Vleeming et al., 2012).

Přenos zátěže a absorpce šoku je tak hlavní funkcí sakroiliakálního skloubení, které je jinak z hlediska mobility velmi omezené. Ovšem právě pohyb malého rozsahu (v řádu několika mm nebo stupňů) je pro správnou funkci přenosu tlaku důležitý (Baria, 2010). Pohyb v SIJ je omezen především silným vazivovým aparátem, který spojuje křížovou a kyčelní kost anteriorně a posteriorně od kloubu, kde se vazy upínají na přední plochy nebo dorzální drsnatiny obou kostí (Steinke et al., 2010). Omezením pohybu je tak kloub chráněn před smykem či skluzem, který by mohl nastat vlivem velkého zatížení. Tomu napomáhají také okolní svaly (Pel et al., 2008), jakož i samotná anatomie kostěného pánevního kruhu, do kterého je kost křížová anteroposteriorně a kraniokaudálně zaklíněna, takže je SIJ odolnější vůči vertikální a anteriorní kompresi. Mírná nerovnost a členitost povrchu SIJ zase zvyšují koeficient tření v kloubu, čímž podporují jeho stabilitu (Vleeming et al., 2012). V konečném důsledku tento aparát jako celek přispívá ke stabilizaci pánve se zachováním určitého stupně pružnosti. Kvůli hlubokému uložení SIJ v těle je však studium mobility obtížné a rozsah pohybu je tak stále diskutován (Vleeming et al., 2012; Cibulka, 2013) stejně jako histologická stavba kloubu. Většina studií se však již shoduje, že dutina se synoviální tekutinou v SIJ existuje, i když ne v plném rozsahu chrupavčitého povrchu, nýbrž jen v jeho anteroinferiorní části (např. Puhakka et al., 2004; Malghem and Berg, 2007). Z hlediska mobility je to důležité zjištění, protože se tak vskutku jedná o pohyblivé spojení dvou kostí označované jako „kloub“ neboli „diarthroza“. Kvůli značně omezenému pohybu se však SIJ označuje jako amfiarthroza.

Jak jsme se již zmínili, funkčním významem SIJ je přenos váhy horní části těla na dolní končetiny. V souvislosti s tělesnou velikostí pozitivně koreluje velikosti kloubních ploch, které se uplatňují při přenosu tlaku (Pal, 1989). To je jednou z příčin pohlavního dimorfismu v rámci lidského druhu, ale také mezidruhových rozdílů. Během evoluce došlo u homininů k nárůstu hmotnosti, a to zejména mezi australopitéky a prvními zástupci rodu *Homo* (McHenry and Coffing, 2000). Změny ve velikosti *facies auricularis* (Reed and Churchill, 2013) dosud nebyly detailně publikovány, ale udává se, že kloubní plochy dolních končetin australopitéků jsou vzhledem k tělesné velikosti menší než u moderního člověka (McHenry, 1975; Jungers, 1988a) a plocha SIJ zřejmě není výjimkou (Reed and Churchill, 2013). Dokonce je možné, že obě ramena aurikulární plochy následovala odlišný vývoj, což by způsobilo nejen velikostní ale i tvarovou změnu *facies auricularis* (Reed and Churchill, 2013). K výpočtu velikosti aurikulární plochy však autoři použili značně zjednodušující metody, která zkresluje skutečné hodnoty (Krmek et al., 2006). Zda je míra zkreslení u každé kosti stejná, však dosud nebylo přesněji testováno. U tak tvarově variabilní struktury jakou právě *facies auricularis* je, se však zdá být velmi pravděpodobné, že zkreslení nebude konstantní v rámci anatomicky moderního člověka, natož pak mezi různými druhy homininů, které vykazují odlišnou anatomickou stavbu kostěné pánve, odrážející rozdíly v přizpůsobení k bipední lokomoci a porodu. Proto se v této práci chceme věnovat evolučním aspektům tvaru a velikosti *facies auricularis* a to především ve vztahu k velikosti těla v evoluci homininů.

Facies auricularis ossis ilii je součástí nejvíce sexuálně dimorfní části kostry člověka, kterou je pánev. Ta byla u muže a ženy během evoluce vystavena různým selekčním tlakům. Mužská pánev je přizpůsobena bipední lokomoci, kdežto na pánev ženy působila během encefalizace ještě navíc selekce ve prospěch porodu dítěte s velkou hlavičkou (Rosenberg and Trevathan, 2002). Tyto selekční tlaky začaly působit ještě před vznikem anatomicky moderního člověka, a tak je sexuální dimorfismus pánevní kosti univerzální pro všechny lidské populace (Lovejoy, 2005). Rozměry ženské a mužské pánve odpovídají jednak rozdílům ve velikosti těla, pánevní rozměry související s porodem jsou však relativně a často i absolutně větší u žen (Kurki, 2011), čímž vzniká tvarový rozdíl mezi mužskou a ženskou pánevní kostí. Mezi morfologické adaptace ženské pánevní kosti umožňující zvětšení porodního kanálu patří i dozadu protažené ilium a dorzálněji uložená aurikulární plocha (Betti, 2014).

Sexuálně dimorfní charakter samotné *facies auricularis* je také znám, neexistuje však mnoho prací, které se jím zabývají. Většina těchto studií hodnotí sexuální dimorfismus ať již přímo *facies auricularis* nebo přílehlých znaků metodami tradiční morfometrie, tzn. vizuálně či metricky (Novotný, 1981; Valojerdy and Hogg, 1989; Ali and MacLaughlin, 1991; Brůžek et al., 1996; Novak et al., 2012; Wescott, 2015). Morfologické vizuální hodnocení s sebou však může nést velkou míru subjektivity (Nakhaeizadeh et al., 2014). To samé platí v případě aurikulární plochy i pro zpracování pomocí tradičních metrických metod, u kterých je ještě potřeba pracovat s velkým množstvím měření pro dostatečné zachycení tvaru (Slice, 2007). Hodnocení znaků jednoho morfofunkčního pánevního segmentu má také negativní dopad na spolehlivost metody určení pohlaví, protože tyto znaky spolu těsně korelují, jsou ovlivněny velikostí a spolehlivost metody je tak populačně specifická (Brůžek and Murail, 2006). Tvar *facies auricularis* je navíc velmi variabilní, a tak je způsob vizuálního i metrického hodnocení často nejednoznačný. To je zřejmě důvod, proč se hodnocení *facies auricularis* nestalo součástí běžně používaných, vysoce spolehlivých metod využívajících postupů tradiční morfometrie (Ferembach et al., 1979; Brůžek, 2002; Murail et al., 2005).

Kosterní a fosilní nálezy jsou ovšem často značně ovlivněny tafonomickými změnami a nemusí tak být možné použít celou pánevní kost k pohlavní diagnóze. Proto je důležité mít k dispozici i metody, které můžeme použít na kostní fragmenty. Řešení výše uvedených překážek nabízí geometrická morfometrie (GM), která se v posledních letech zařadila mezi značně využívané metody v antropologii a pro studium pohlavního dimorfismu je silně doporučována (Gonzalez et al., 2009). Díky zpracování dat pomocí GM můžeme hodnotit tvar studované struktury nezávisle na velikosti a statistické testy nám zajišťují objektivitu. Existuje mnoho publikací, které pomocí GM hodnotí pohlavní dimorfismus různých znaků na pánevní kosti (Pretorius et al., 2006; Gonzalez et al., 2009; Velemínská et al., 2013).

Co se týče *facies auricularis*, dosud byla publikována pouze jedna studie analyzující pohlavní dimorfismu metodami GM (Anastasiou and Chamberlain, 2013). Velikost i tvar v této studii vykazují signifikantní vliv pohlaví, ovšem tvarové rozdíly jsou méně výrazné. Diskriminační analýza podle formy v této studii dosahuje úspěšné hodnoty až 94,5 %, pokud jsou do analýzy zahrnuty kloubní plochy na kyčelní a křížové kosti současně, přičemž kyčelní kost vykazuje samostatně vyšší přesnost. Kvůli dobrým výsledkům tak autoři vyzývají k ověření metody na jiných kosterních souborech a další studium pohlavního dimorfismu SIJ pokládají za slibné (Anastasiou and Chamberlain, 2013).

2. Evoluce sakroiliakálního kloubu

Evoluce každé struktury by měla být chápána z hlediska své funkce, zároveň však i v souvislosti s vývojem okolních struktur, které se navzájem ovlivňují. Evoluční studie by tak měly být realizovány na různých strukturních úrovních – od celého organismu po jednotlivé funkční znaky (Churchill, 1998). Proto se v této kapitole zaměříme na funkci, kterou SIJ plní v těle pod vlivem různých faktorů, které se odrážejí na formě této kloubní plochy, a začleníme evoluční vývoj SIJ do širšího anatomického kontextu, abychom zjistili, které další nepřímé faktory mohly mít na strukturu SIJ vliv.

Abychom si udělali představu, jaké adaptace se musely v této pánevní oblasti vytvořit během evoluční cesty vedoucí k anatomicky modernímu člověku (AMH = anatomically modern human), porovnáme v první podkapitole skelet člověka s jeho nejbližšími žijícími příbuznými, kterými jsou lidoopi (rody *Pan*, *Gorilla*, *Pongo*, *Hylobates*). Šimpanze samozřejmě nemůžeme chápat jako obraz našeho posledního společného předka, protože sám prošel vlastním evolučním vývojem. Srovnáním si však můžeme uvědomit, na co je lidské tělo adaptované. V následujících částech této kapitoly se pak seznámíme s fosilními doklady souvisejícími s evolucí SIJ v linii homininů, se vznikem pohlavního dimorfismu a jeho možnými důsledky na funkci v tomto skloubení.

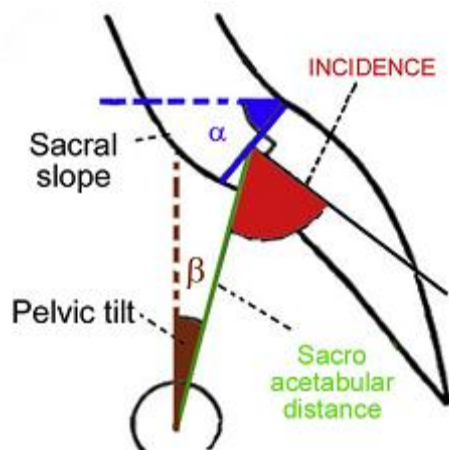
2. 1. Srovnání člověka s žijícími hominoidy

Přestože se společný předek všech žijících hominoidů mohl pohybovat ve větvích ortográdně nebo dokonce pomocí arboreální bipedie s oporou horních končetin (Thorpe et al., 2014), současný člověk je jediným žijícím savcem s habituální terestrickou bipední lokomocí (Rosenberg and Trevathan, 2002). Ostatní hominoidé jsou také schopni bipedního postoje nebo i krátkodobé chůze po zadních končetinách, ale převažují u nich jiné typy lokomoce, při kterých zapojují všechny čtyři končetiny. Afričtí šimpanzi a gorily se řadí mezi terestrické kvadrupedy se společným kotníkochoďectvím, asijské orangutani (*Pongo*) a gibboni jsou arboreální s typem lokomoce označovaným jako semibrachiace, respektive brachiace (Ankel-Simons and Friderun, 2006). Právě způsob pohybu značně ovlivňuje celkovou tělesnou stavbu kostry, jejíž jednotlivé části odpovídají místním požadavkům daného typu lokomoce.

Vzpřímený postoj se od kvadrupedního postoje zásadně liší v poloze trupu, který je v prvním případě ve vertikální pozici. To zvyšuje zatížení dolních končetin a pánve, které

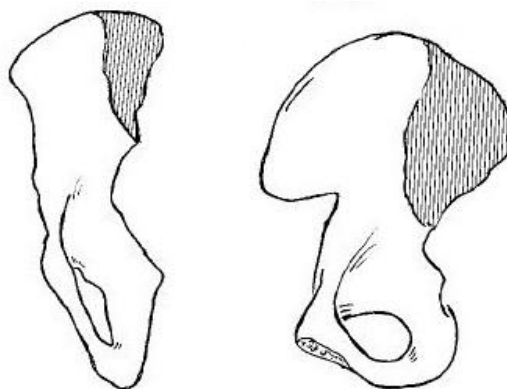
nesou hmotnost hlavy, trupu a horních končetin. Větším problémem je i působení gravitace a udržení rovnováhy (Tardieu et al., 2013). Velikost kloubních ploch také souvisí s rozsahem pohybu v daném kloubu (Ruff, 1988). Jelikož však SIJ není určen k velké mobilitě a pohyby v něm probíhající jsou malého rozsahu, rozdíly ve stavbě této oblasti budou odpovídat spíše rozdílům v tělesné velikosti a tlaku, který je na toto skloubení vyvíjen.

Ilium je u větších lidoopů protáhlého tvaru, jehož lopata leží dorzálně v koronální rovině a zasahuje tak až do lumbálního úseku páteře, kde se kloubně pojí i s lumbálními obratli. Lumbální část páteře je tak značně zkrácená a pánev zasahuje až těsně k hrudníku, proto se tělo těchto lidoopů označuje jako „unibody“ poskytující zpevnění a nižší riziko poranění při arboreální lokomoci (Lovejoy, 2005; Hogervorst et al., 2009). Délka křížové kosti je u lidoopů variabilní, jelikož lumbální obratle kloubně připojené ke kyčelní kosti mohou, ale nemusí být přirostlé ke křížovým obratlům. Obecně je však u nich křížová kost v porovnání s člověkem dlouhá a úzká (Aiello and Dean, 1990). U bipedního člověka je ilium výrazně kratší a jeho šířka dokonce přesahuje délku kyčelní kosti, což je u ostatních hominoidů naopak (McHenry, 1975). Lopata je zakřivená, zahnutá anteriorně a leží tak spíše v sagitální rovině. Zkrácení kyčelní kosti umožňuje prodloužení lumbálního úseku páteře, díky němuž vzniká lumbální lordóza, která je pro bipední postoj velmi důležitá, protože pomáhá nést hmotnost vzpřímeného trupu a udržet rovnováhu při vzpřímeném postoji za minimální svalové aktivity (Tardieu et al., 2013). Lumbální lordóza silně pozitivně koreluje se sklonem křížové kosti, která u lidoopů směřuje přímo podél lopat kyčelních kostí, kdežto u člověka je sklopena do více horizontální pozice. Této polohy dosahuje křížová kost postupně s nástupem bipední lokomoce během ontogeneze, jelikož zvýšený tlak trupu způsobuje sklopení křížové kosti a relativně kaudální posun vůči kyčelním kostem (Tardieu et al., 2013). Úhel sakrální incidence neboli inklinace (mezi acetabulem, středem báze kosti křížové a osou kolmou na plochu báze (viz Obr. 1) má tak u člověka velikost v průměru 54° (Been et al., 2013; Tardieu et al., 2013), kdežto u ostatních hominoidů 27° (Been et al., 2013). Sacrum se navíc dostává za acetabulum při zkrácení vzdálenosti mezi ním a SIJ. Při vzpřímeném postoji tak linie gravitace trupu prochází za kyčelním kloubem, čímž je zajištěna sagitální rovnováha (Tardieu et al., 2013). Vysoká plasticita sakroiliakální oblasti v souvislosti se vzpřímením trupu je patrná na příkladu makaka trénovaného od dětství k bipedii. Úhel sakrální incidence u něho dosáhl dvakrát vyšší hodnoty (50°) než je u tohoto druhu běžné (Tardieu et al., 2013).



Obr. 1: Znáornění úhlu sakrální incidence (inklinace) (Tardieu et al., 2013)

Při kvadrupední lokomoci se hmotnost trupu rozkládá na čtyři končetiny, při bipedii se však tento počet redukuje na dvě. Při stejné hmotnosti jsou tak dolní končetiny člověka vystaveny dvakrát většímu zatížení než zadní končetiny kvadrupedních lidoopů. Při srovnání velikosti kloubních ploch končetin relativně ke hmotnosti mezi žijícími hominoidy mužského pohlaví leží klouby horní končetiny člověka v oblasti variability ostatních lidoopů. Nosné kloubní plochy dolních končetin a lumbo-sakrální spojení člověka jsou však relativně větší než u lidoopů a neleží vůbec v rámci jejich variability (Jungers, 1988a). Pokud nebereme v úvahu vliv odlišných tělesných proporcí, SI kloub člověka by měl být v porovnání s ostatními hominoidy zhruba dvakrát větší při stejné tělesné hmotnosti (Obr. 2) (Aiello and Dean, 1990; Ankel-Simons and Friderun, 2006).



Obr. 2 : Srovnání velikosti sakrální oblasti (aurikulární a retroaurikulární plochy) kyčelní kosti u gorily (vlevo) a člověka (vpravo). Upraveno na stejnou délku pánevní kosti (Ankel-Simons and Friderun, 2006).

Vyšší zatížení však nepůsobí jen na zvětšení kloubních ploch, ale je nutné posílit také vazy. Tlakem trupu a břišních orgánů vznikají nebo se zvýrazňují trny podél acetabulárního a sakrálního okraje pánevní kosti, na které se upínají některé vazy, jež zpevňují pánevní dno, posilují kyčelní kloub nebo zabraňují přílišné rotaci křížové kosti. Tyto hrany jsou u lidoopů hladké (Aiello and Dean, 1990). Mezi důležité stabilizační vazy patří také vazy SI skloubení, které se připojují na příslušné kosti přímo před a za tímto kloubem a omezují rotaci křížové kosti kolem transverzální osy. Dorzální vazy (*ligamentum sacroiliacum posterius et interosseum*) jsou u člověka silnější než přední vazy (Vleeming et al., 2012). Jsou napnuty mezi kostními drsnatinami v postaurikulární oblasti, která je u člověka mnohem vyvinutější, což odráží mohutnost úponů těchto vazů (Aiello and Dean, 1990). Souvislost nárůstu celé sakrální oblasti se vzpřímením trupu je patrný i během ontogenetického vývoje. Nejrychlejšího růstu je totiž dosaženo během prvních dvou let, kdy se dítě začíná stavět a chodit. V prvních čtyřech letech se aurikulární plocha zvětší 3,3x a postaurikulární oblast 4,3x. Ke konci dospívání se nárůst v celé oblasti opět zvyšuje zřejmě v souvislosti s nárůstem celkové tělesné hmotnosti. Celkově vykazuje postaurikulární část vyšší rychlost růstu než aurikulární plocha, což podtrhuje význam vazů při přenosu tlaku (Yusof et al., 2013). SIJ je u primátů konstruován spíše ke stabilitě a absorpci šoku než k mobilitě (Ankel-Simons and Friderun, 2006). Jak vidíme, u člověka to platí ještě ve vyšší míře.

2. 2. Doklady evoluce SIJ u australopitecínů

Studium evolučních změn na kostře je omezeno dostupným fosilním materiálem. U australopitecínů je pánevní materiál dobře zachovaný a v několika případech dokonce skoro kompletní. Nejvíce jsou zkoumány pozůstatky dvou jedinců označované jako AL 288-1 a Sts 14 pocházejících od druhů *Australopithecus afarensis* a *A. africanus*. Dále se jedná také o pozůstatky *A. sediba* a robustních forem australopitecínů.

Pánev australopitéků má již formu blízkou modernímu člověku (Hogervorst et al., 2009). Na pánvi i jiných místech kostry nacházíme přízpůsobení k bipedii (Lovejoy, 1988), ale i další znaky vlastní této skupině homininů. Gracilní i robustní formy australopitecínů přitom sdílí velmi podobnou stavbu pánve (McHenry, 1975). Ilium je kraniokaudálně krátké, ale zároveň je velmi široké a ploché (Aiello and Dean, 1990; McHenry, 1994). Poměr šířky a délky kyčelní kosti dokonce přesahuje průměrnou hodnotu u člověka (McHenry, 1975). Zkrácení kyčelní lopaty přibližuje SIJ k acetabulu (McHenry, 1975) a

umožňuje vznik lumbální lordózy, na kterou navazuje sklopená křížová kost, ale inklinace křížové kosti je signifikantně nižší než průměr u moderního člověka, i když se nachází v rámci jeho variability (Been et al., 2013; Tardieu et al., 2013). Vzhledem k šířce a celkové velikosti kyčelní lopaty je uváděna nápadně malá velikost acetabula a aurikulární plochy (McHenry, 1975) a uvádí se, že aurikulární plocha je vzhledem k tělesné velikosti menší než u AMH (Reed and Churchill, 2013). Vliv odlišných tělesných proporcí můžeme zanedbat, protože odhad podílu hmotnosti horní části těla australopitecínů na celkové tělesné hmotnosti (72 %) se skoro neliší od hodnoty AMH (70 %) (Zihlman, 1984 cit. podle Aiello and Dean, 1990). Během evoluce aurikulární plochy by tedy docházelo k pozitivní alometrii. Uvádí se však, že se obě ramena nemusela zvětšovat stejnoměrně, protože kaudální rameno vykazuje silnější pozitivní závislost než kraniální rameno (Reed and Churchill, 2013). Velikost aurikulární plochy koresponduje i s relativně menšími kloubními plochami spojení kostí dolních končetin, které se tak nacházejí přesně mezi moderním člověkem a lidoopy (Jungers, 1988a). Retroaurikulární oblast je rozsáhlejší než u lidoopů, což značí důležitější roli SI vazů (McHenry, 1994), ale iliakální a sakrální drsnatiny jsou málo vyvinuté (Aiello and Dean, 1990).

Výše zmíněné adaptace vypovídají, že přizpůsobení k bipední lokomoci nemuselo být tak dokonalé (Jungers, 1988a), neboť kromě bipedie mohl u australopitecínů existovat i jiný typ lokomoce, přičemž by pánev nepodpírala trup stejným způsobem jako u moderního člověka (Aiello and Dean, 1990). Celková tělesná stavba australopitecínů by nebyla efektivní při terestrické kvadrupedii, ale mimo bipední lokomoce se mohli australopitecíni pohybovat také arboreálně (Lovejoy, 1988). Arboreální způsoby lokomoce přitom zahrnují všechny čtyři končetiny, a tak je možné, že nosné kloubní plochy u australopitecínů nebyly tolik zatíženy, protože hmotnost byla částečně odlehčena horními končetinami.

2. 3. Doklady evoluce SIJ v rodu Homo

Počátek rodu Homo je spojen s nejistotou, koho považovat za prvního zástupce tohoto rodu, protože taxony *H. habilis* nebo *H. rudolfensis* mají v některých ohledech blíže k australopitékům než k AMH. Nejranějším zástupcem rodu Homo by se tak stal *H. ergaster*, který se objevuje před 1,9 mil. let (Wood and Collard, 1999). Tuto otázku však řešit nemusíme, protože k prvním dvěma zmíněným druhům nemáme spolehlivě přiřazené pánevní nálezy (McHenry and Coffing, 2000).

Homo ergaster je tak prokazatelně prvním homininem s výlučně bipední lokomocí. Oproti australopitékům došlo ke zvětšení tělesné velikosti přibližně na hodnotu 68 kg (McHenry, 1994). Úhel sakrální inklinace se pohybuje kolem průměru AMH (Tardieu et al., 2013). Dorzální iliakální tuberosita je velká a zdrsňelá pro uchycení rozsáhlých dorzálních vazů, což implikuje stejný způsob přenosu hmotnosti trupu jako u habituálních bipedů (Day, 1971). Aurikulární plocha se oproti australopitékům zřejmě zvětšila (Reed and Churchill, 2013), přesto je však popisována jako malá (Day, 1971; Simpson et al., 2008). Je možné, že se však obě ramena nezvětšila stejnoměrně. Autoři studie totiž uvádějí, že kaudální rameno u *H. erectus* vykazuje větší zvětšení než rameno kraniální, přičemž velikost kraniálního ramene není signifikantně odlišná od australopitéků ani od moderního člověka. Na rozdíl od toho velikost kaudálního ramene je bliž modernímu člověku (Reed and Churchill, 2013). Autoři navrhují následující vysvětlení. SIJ působící jako tlumící systém (force damping system) při přenosu hmotnosti trupu na dolní končetiny by mohl být účinnější, protože menší kraniální rameno by umožňovalo větší rozsah tlumících pohybů (Reed and Churchill, 2013). Výpočet obsahu plochy však v této studii obsahuje velké zjednodušení (viz kap. 3. 1. 3.), a tak tento trend může být pouze zdánlivý. Navíc by se dalo také předpokládat, že s narůstající hmotností se bude SIJ adaptovat k větší stabilitě než mobilitě, jak autoři navrhují. Na druhou stranu, pokud by mírné zvýšení mobility bylo doprovázeno posílením vazivového aparátu, který udržuje SIJ stabilní, pak by taková hypotéza mohla připadat v úvahu.

Další změny v aurikulární oblasti můžeme očekávat u neandertálců, jejichž linie se přibližně před 600 až 400 tisíci lety oddělila od linie vedoucí k AMH a vyvíjela se v chladnějším prostředí Evropy (Hublin, 2009). Postkraniální skelet neandertálců se v porovnání s moderním člověkem vyznačuje především robustnější tělesnou stavbou, kratšími distálními segmenty končetin (Churchill, 1998), velkými klouby dolních končetin (kolenní a hlezenní) a v průměru o 8 kg vyšší tělesnou hmotností (Hora and Sládek, 2014). I přes vzpřímenou chůzi a hmotnost srovnatelnou s moderním člověkem je však úhel sakrální inklinace mnohem nižší a je dokonce nižší než u australopitéků (Tardieu et al., 2013). V posteriorní oblasti pánve nejsou popisovány zásadní rozdíly oproti AMH, až na relativně více vepředu zasazenou křížovou kost (Rak and Arensburg, 1987).

Biomechanické nároky související se způsobem bipedie a zvětšováním hmotnosti vyvíjely specifický tlak na pánevní oblast každého homininního druhu. Úhel sakrální inklinace se v evoluci postupně zvyšoval až k modernímu člověku (viz Tab. 1). Odlišný

vývoj však následoval v neandertálské linii, což zřejmě reflektuje rozdíly ve vzpřímeném postoji, které ovlivnily přenos hmotnosti přes křížovou kost (Tardieu et al., 2013). Další anatomické změny pánve, které nastaly v pleistocénu v rámci rodu Homo, jsou také odpovědí na nárůst objemu mozku (Hogervorst et al., 2009). S tím související přizpůsobení k porodu tak zároveň ovlivňuje pohlavní dimorfismus pánve.

Tab. 1: Průměrné hodnoty úhlu sakrální incidence (inklinace) (Been et al., 2013)

	Úhel sakrální incidence (°)
Lidoopi	27
Australopitéci (AL 288-1, Sts 14)	43,5
Neandertálci (Kebara 2)	34
AMH	54

2. 4. Porodní adaptace a vznik pohlavního dimorfismu SIJ

Primáti obecně vykazují vysoký encefalizační kvocient (poměr mozkové kapacity vůči tělesné velikosti). Nejvyšší hodnoty dosahuje moderní člověk. To však způsobuje problémy při porodu, protože objemná hlavička novorozence dokonce přesahuje některé rozměry kanálu pánve přizpůsobené k bipední lokomoci (Rosenberg and Trevathan, 2002). U všech žijících primátů až na člověka je anteroposteriorní průměr pánve jejím nejdelším rozměrem ve všech třech pánevních rovinách a zejména lidoopi s větší tělesnou velikostí mají při porodu rezervy (Rosenberg and Trevathan, 2002). Díky dlouhým kyčelním kostem navíc křížová kost tolik dorzálně neohraničuje pánevní otvor jako je tomu u člověka (Lovejoy, 2005). Kvůli této kolizi mezi bipedií a porodem došlo ke vzniku speciálního rotačního mechanismu porodu (Rosenberg and Trevathan, 2002) a k vytvoření výrazného tvarového pohlavního dimorfismu pánve za účelem zvětšit vnitřní rozměry pánve u žen (Kurki, 2011).

Pánev moderního člověka tak vykazuje dva druhy pohlavního dimorfismu (MacLaughlin, 1987 cit. podle Ali and MacLaughlin, 1991): 1. pohlavní dimorfismus související s tělesnou velikostí, kdy muži vykazují vyšší hodnoty než ženy (Betti, 2014), 2. pohlavní dimorfismus související s pánevní kapacitou, která je relativně a často i absolutně větší u žen (Kurki, 2011).

První složku můžeme označit jako velikostní pohlavní dimorfismus, jelikož se v závislosti na odlišné tělesné velikosti mezi pohlavími jednoho druhu projevuje rozdílnou velikostí především nosných kosterních struktur. S tímto typem se v živočišné říši

setkáváme běžně a v různé míře, a tak se vyskytoval i u evolučních předků člověka. U australopitecínů byl mezipohlavní velikostní rozdíl velmi výrazný. Odhadovaná hmotnost se v rámci každého druhu pohybuje mezi 30-70 kg (Jungers, 1988b), takže pohlavní dimorfismus tělesné velikosti byl srovnatelný s velikostním dimorfismem dnešních šimpanzů, goril a orangutanů (Jungers, 1988b; Harmon, 2006). U *H. erectus* došlo ke zvětšení tělesné velikosti zejména u žen, což vedlo ke snížení mezipohlavního rozdílu tělesné velikosti (McHenry and Coffing, 2000). Rozdíly v tělesné velikosti však mohou vyvolávat i tvarové změny, pokud přinášejí nějakou výhodu. Pokud např. zvýhodňují biomechaniku přenosu větší zátěže přes SIJ, jak navrhuje Reed a Churchill (2013).

Druhý typ pohlavního dimorfismu se projevuje rozdílným tvarem pánve, aby bylo dosaženo větších vnitřních rozměrů u žen (Kurki, 2011). Tato rozdílnost existuje nejen u člověka, ale i u jiných primátů, především s menší tělesnou velikostí, u kterých se obvod hlavičky novorozence blíží velikosti porodního kanálu (Rosenberg and Trevathan, 2002). Kdy se poprvé objevil v evoluci homininů stejný mechanismus porodu jako u moderního člověka, není dosud jasné. A to především z důvodu nedostatku materiálu. Ke studiu porodních adaptací na pávni totiž potřebujeme kosti pánve ženského pohlaví. Pohlavní diagnóza však u fosilních nálezů není často jednoznačná kvůli fragmentární povaze fosílií jako je tomu např. u fragmentu pánevní kosti OH 28, který obsahuje směsici mužských a ženských znaků. Mezi ženské znaky se mimo jiné uvažuje i vizuálně zhodnocený tvar *facies auricularis*, která je u tohoto jedince dobře zachovalá. Jedinci OH 28 se tak celkově přisuzuje ženské pohlaví (Day, 1971). Tento závěr však nestojí na moc pevném základě také proto, že pohlavní dimorfismus aurikulární plochy není stále spolehlivě prostudován.

Australopiteci mají pánevní kanál nejdelší transversálně, což je mezi primáty neobvyklé. Hlavička novorozence přitom odpovídala asi velikosti hlavičky novorozeného šimpanze, takže při porodu procházela kanálem transversálně bez nutnosti její rotace. Jedná se o porodní mechanismus, který není známý u žádného žijícího primáta (Rosenberg and Trevathan, 2002). Tvarový mezipohlavní rozdíl přitom zřejmě nebyl větší než u dnešních lidoopů (Harmon, 2006).

U *H. ergaster* došlo sice ke zvětšení mozkové kapacity, ale také ke zvětšení tělesné velikosti, takže encefalizační kvocient se zvýšil jen mírně (McHenry, 1994). Uvádí se, že zvětšení těla u žen (McHenry and Coffing, 2000) mohlo dostačovat pro porod větší hlavičky (Simpson et al., 2008). Ovšem narůstající evidence přináší nové poznatky o tom, že variabilita v tělesné velikosti byla větší, než se předpokládalo (Simpson et al., 2008).

Pro umožnění porodu tak již bylo potřeba pánevní otvor upravit, a to především v anteroposteriorním směru. Dochází k protažení a změně směru stydkých kostí více dopředu a k zúžení pánve transversálně. V iliakální části se prohlubuje velký sedací zářez a pánevní otvor získává kulatý tvar. (McHenry, 1994). Zejména na pánvi z naleziště Gona, která je přisuzována ženě malého vzrůstu, jsou výrazné ženské pohlavní znaky typické pro moderního člověka (Simpson et al., 2008).

K dalšímu zvětšení mozku došlo při vzniku AMH a nezávisle u neandertálců, přičemž encefalizace zřejmě v každé linii proběhla odlišně, o čemž svědčí okcipitální hrbol u neandertálců (Hublin, 2009). Při této události však již nedošlo k dalšímu zvětšení těla, takže encefalizační kvocient značně narostl (McHenry and Coffing, 2000), což si vyžádalo větší tvarové změny na ženské pánvi. U neandertálců se setkáváme s mírně odlišným tvarem pánve než u moderního člověka. Typickým znakem je extrémní délka horního ramene stydké kosti, která však výrazně neovlivňuje velikost pánevního vchodu v porovnání s moderním člověkem. Tento znak je tedy spíše přisuzován biomechanickým nárokům na specifický typ vzpřímeného postoje a lokomoce, které pramení z externí rotace pánevních kostí (Rak and Arensburg, 1987).

K typickým porodním adaptacím u AMH patří nižší a mírně dozadu protažené ilium a laterálně od obvodu směřující anatomické hrboly a trny stejně jako dorzálnější umístění aurikulární plochy (Betti, 2014). Známým pohlavně dimorfním znakem je také tvar *incisura ischiadica major* a to především sklon jejího kraniálního ramene (Gonzalez et al., 2009), podél kterého probíhá kaudální rameno *facies auricularis*. Tvar této plochy by mohl být ovlivněn i uváděnou víc horizontální polohou křížové kosti u žen (Caldwell and Moley, 1932 cit. podle Novotný, 1981), ovšem sexuální dimorfismus inklinace křížové kosti nebo sklonu její báze není v současné době potvrzen (Tardieu et al., 2013).

Pohlavní dimorfismus *facies auricularis* tak může být viděn ze dvou pohledů. Jednak v souvislosti s pohlavním dimorfismem tělesné velikosti, za druhé v souvislosti s porodními adaptacemi, které působením na okolní struktury optimalizovaly velikost a tvar pánevního otvoru. Jak velkou roli však hrají porodní adaptace při utváření formy aurikulární plochy mezi homininy, není zcela jasné, protože u nich musíme uvažovat i vliv odlišné lokomoce. Jelikož fosilního materiálu není dost a naše hypotézy nemohou být experimentálně testovány, je těžké zjistit, zda se kromě vlivu tělesné velikosti na *facies auricularis* uplatňují víc porodní adaptace nebo biomechanické nároky odlišného typu lokomoce.

2. 5. Důsledky pohlavního dimorfismu při přenosu tlaku přes SIJ

Pohlavní rozdílnost *facies auricularis* vyplývá ze vzájemného vztahu kosti kyčelní ke kosti křížové a ze vztahu těchto částí pánve k pánvi a kostře osově jako celku (Novotný, 1981). Místní morfologie je tak u moderního člověka výsledkem biomechanických nároků při bipední lokomoci a porodních adaptací. Při přenosu hmotnosti trupu dochází podél páteře k hromadění zátěže, která je předávána křížové kosti přes spojení s tělem a kloubními výběžky posledního bederního obratle L5. Z těchto míst pak tlak vedou směrové trámce houbovitě kosti laterálně k aurikulárním plochám, čímž dochází k rozdělení tlaku a předání přes SI klouby pánevním kostem, které ho vedou ke kyčelnímu kloubu (Pal, 1989). Tlak přijatý křížovou kostí a tlak odevzdaný kyčelním kostem je stejný, jelikož součet obsahu ploch, které tento tlak přijímají, značně koreluje s obsahem ploch *facies auricularis*. Drobný rozdíl však existuje, protože součet aurikulárních ploch je v průměru o 12 % větší, což je vysvětlováno tím, že přenos zátěže na kost křížovou není uskutečněn jen přes kosterní spojení, ale také pomocí lumbosakrálního vazů (Pal, 1989). Z toho vyplývá, že SIJ je v lidském těle vystaven opravdu značné zátěži, jejímuž vlivu musí odolávat.

Různé strukturní adaptace křížové kosti mají vliv na biomechaniku přenosu tlaku, přičemž optimalizace morfologie pro tyto účely proběhla u ženy a muže odlišně. V porovnání s mužskou křížovou kostí je *os sacrum* u ženy menší a má více trojúhelníkovitý tvar s výrazněji zmenšenými posledními segmenty. U muže má tato kost větší velikost, protáhlejší a zakřivenější tvar a spodní segmenty zůstávají širší (Mahato, 2011; Vleeming et al., 2012). Aurikulární plocha u ženy má rozsah obvykle přes první dva sakrální segmenty (S1, S2), kdežto u muže dosahuje až do poloviny S3 (Novotný, 1981; Mahato, 2011). Křížová kost ženského typu tak přenáší zátěž především přes první dva segmenty a přenos má spíše horizontální směr. Muž s obecně větší tělesnou velikostí má i větší rozsah aurikulární plochy a k přenosu zátěže tak dochází i přes spodnější část křížové kosti. Tyto morfologické rozdíly reflektují odlišnou biomechaniku přenosu zátěže, která je způsobena především rozdílnou tělesnou velikostí mužského a ženského těla (Mahato, 2011). Ženská křížová kost je však ještě omezena selekčním tlakem ve prospěch porodu.

Individuálně se však stává, že morfologie není dostatečně uzpůsobena funkčním podmínkám. U křížové kosti se často setkáváme s lumbosakrálními přechodnými obratli či přídatnými spojeními, které pravděpodobně optimalizují přenos zátěže přes SIJ a jejich frekvence se podle pohlaví liší. U žen se nejčastěji setkáváme s lumbosakrálními

přídavnými kloubními plochami (mezi křídly kosti křížové a příčnými výběžky L5), díky kterým je celkově zvětšen kloubní povrch mezi L5 a S1. Přenos tlaku od báze křížové kosti na SIJ tak nabývá víc vertikálního, šikmo dolů orientovaného směru, který je optimálnější než horizontální směr, který zvyšuje riziko smyku v SIJ. U mužů naopak nejčastěji dochází k sakralizaci posledního lumbálního obratle, což zřejmě vede zase k optimalizaci směru přenosu zátěže (Mahato, 2011).

Značné zatížení SIJ u bipedních živočichů však vyvolává i řadu problémů, mezi něž patří řada bolestivých onemocnění, která ve svém důsledku mohou způsobovat fibrózní ankylózu (Ikeno et al., 2006) až po úplnou osifikaci SIJ. U mužů se kostěná ankylóza vyskytuje až třikrát častěji než u žen, a to pravděpodobně vlivem větší tělesné hmotnosti nebo hormonálním působením u žen, které způsobuje např. i rozvolnění SI vazů při porodu. V drtivé většině případů se u mužů jedná o tzv. extraartikulární ankylózu, při které dochází k přemostění SIJ pomocí kostěného výrůstku od kosti kyčelní ke kosti křížové. U žen byla v té samé studii zjištěna pouze intraartikulární ankylóza, která kontinuálně spojuje obě kosti (Dar and Hershkovitz, 2006).

2. 6. Shrnutí

Srovnáním skeletu člověka s lidoopy jsme si ukázali, jak silně ovlivňuje způsob lokomoce stavbu aurikulární oblasti. Nároky určitého typu lokomoce souvisí především s přenosem hmotnosti trupu přes SIJ, a tak tato oblast u bipedně se pohybujícího člověka musí odolávat značnému tlaku. Při studiu evoluce SIJ však musíme kromě tělesné velikosti a lokomoce brát v úvahu i porodní adaptace. Ty souvisí s encefalizací, kterou pozorujeme v menší míře u *H. ergaster*, intenzivně pak u moderního člověka.

Se snížením pohlavního dimorfismu tělesné velikosti jedna složka dimorfismu pánve klesá, na druhou stranu se však zvýrazňuje druhý typ pohlavního dimorfismu související právě s porodními adaptacemi.

Jak vidíme v předchozí kapitole, selekční nároky na bipedii a porod u žen vyústily v mírně odlišný způsob přenosu tlaku přes SIJ, což je potvrzováno korelací výskytu různých lumbosakrálních variant s pohlavím. Při bipední lokomoci hraje roli velikost těla, se kterou se zvyšuje tlak působící na SIJ. U mužů jsou tak v tomto ohledu nároky na SIJ značnější.

3. Pohlavní dimorfismus *facies auricularis*

V této kapitole provedeme nejprve stručný popis pohlavně dimorfních znaků aurikulární plochy a několika těsně přiléhajících struktur, které se nacházejí v sakropelvicke oblasti kyčelní kosti a často doprovázejí hodnocení pohlaví podle *facies auricularis* v později uvedených metodách. V podkapitole 3. 1. a 3. 2. se pak budeme podrobněji věnovat jednotlivým metodám určení pohlaví z aurikulární plochy a přiléhající oblasti. Rozebereme dostupné parametry metod jako přesnost, spolehlivost a reproduktibilita a porovnáme různé přístupy hodnocení pohlavního dimorfismu znaků *facies auricularis ossis ilii*. První skupinou metod jsou metody tradičně morfometrické. To znamená, že k odhadu pohlaví využívají vizuální (aspektivní) či metrické (vzdálenosti, úhly) hodnocení. Dále se podíváme na hodnocení pomocí nástrojů geometrické morfometrie. Nakonec porovnáme různé přístupy k výpočtu velikosti kloubní plochy.

Struktury nacházející se v sakroiliakálním segmentu pánevní kosti mají velmi vysokou úspěšnost při hodnocení pohlaví, která dokonce převyšuje úspěšnost odhadu pohlaví z ischiopubického segmentu (91 % versus 86 %) (Brůžek, 2002). Pro účely odhadu pohlaví byly však z tohoto segmentu upřednostňovány spíše znaky nacházející se v preaurikulární oblasti (jako např. *sulcus preauricularis* či *incisura ischiadica major*). Znaky v postaurikulární oblasti, stejně jako *facies auricularis* samotná, jsou často opomíjeny, protože pohlavní rozdíly jsou nevýrazné a variabilní a zatím jsou postižitelné spíše jako jakési trendy na velkých souborech kostí (Novotný, 1981). Způsoby hodnocení některých struktur se navíc studii od studie liší a práce se nezabývají rozdíly ve způsobu hodnocení (Ali and MacLaughlin, 1991; Brůžek et al., 1996; Novak, 2010).

Sakropelvicke oblast kyčelní kosti můžeme rozdělit na dvě části: přední *facies auricularis* a zadní *tuberositas iliaca* (Brůžek et al., 1996). Mezi znaky nacházející se v této oblasti, u kterých byl studován pohlavní dimorfismus, patří: úhel, konstriktce kaudálního ramene, velikost, výška a elevace *facies auricularis*, dále *sulcus postauricularis*, *tuberositas iliaca*, *linea arcuata* a přídatná sakroiliakální kloubní plocha. Reference ke každému znaku jsou uvedeny u následujícího popisu.

Úhel *facies auricularis*. Tvrdí se, že dorzální a vodorovnější poloha kosti křížové u žen oproti její poloze u mužů se projevuje i v odlišném zakřivení *facies auricularis* (Novotný, 1981), jejíž kaudální rameno navíc směřuje podél horního ramene *incisura ischiadica major*, které spolehlivě vykazuje u mužů a žen odlišný sklon (Gonzalez et al., 2009;

Velemínská et al., 2013), zatímco rozdíly ve sklonu křížové kosti se nepotvrzují (Tardieu et al., 2013). Tím vším může být ovlivněn tvar aurikulární plochy, který bývá charakterizován pomocí úhlu svíraného kraniálním a kaudálním ramenem. Tradičně se uvádí, že ženská forma nabývá tvaru C s tupým úhlem. Muži mají tvar L nebo J s úhlem více ostrým (Genovés, 1959; Novotný, 1981; Brůžek et al., 1996; Vleeming et al., 2012). Ovšem existuje několik různých metod konstrukce tohoto úhlu (Valojerdy and Hogg, 1989; Ali and MacLaughlin, 1991; Brůžek et al., 1996).

Konstrikce kaudálního ramene. Zářez nebo konstrikce by se měla nacházet mezi předními dvěma třetinami a zadní třetinou kaudálního ramene na jeho horní hranici. Tento znak byl poprvé popsán u žen Sanů z Jižní Afriky (Orford, 1934 cit. podle Novotný, 1981) a mělo by se jednat o výlučně ženský znak avšak s neznámou etiologií. U vyšších primátů jsou tyto části aurikulární plochy odděleny úplně, a tak se uvádí rudimentární charakter tohoto znaku u žen (Genovés, 1959).

Velikost *facies auricularis*. Velikosti kloubních ploch, které nesou váhu těla, jsou obecně větší u mužů než u žen (Novotný, 1981; Ali and MacLaughlin, 1991). Souvisí to s tělesnou velikostí a větší zátěží vyvíjenou na kloubní spojení. Velikost může být vyjádřena spočítáním obsahu kloubní plochy (metody budou probrány v samostatné podkapitole 3. 1. 3.) nebo rozsahem aurikulární plochy křížové kosti. U mužů se aurikulární plochy nejčastěji rozkládá přes první tři sakrální segmenty (S1-S3), u žen dosahuje spíše pouze k dolní hranici S2. Obě formy znaku však nejsou neobvyklé ani u druhého pohlaví, než pro které jsou typické, a tak je chyba hodnocení pohlaví podle této struktury dost vysoká (Novotný, 1981; Novak, 2010).

Výška *facies auricularis*. Výška *facies auricularis* je měřena jako délka kaudálního ramene (Ali and MacLaughlin, 1991; Novak, 2010), které je delší než kraniální rameno. Pohlavní dimorfismus tohoto znaku zase souvisí především s velikostí těla a zátěží.

Elevace *facies auricularis*. Elevace aurikulární plochy nad okolní povrch patří mezi ženské znaky (Brůžek et al., 1996; Novak, 2010). Uvádí se, že se jedná o adaptaci k porodu vznikající v prepubertě, díky které se rozšíří pánevní kanál (Iskan and Derrick, 1984; Wescott, 2015).

***Tuberositas iliaca*.** Dorzálně od aurikulární plochy se na tento útvar upínají dorzální vazy SIJ. Vazy omezují pohyb v tomto kloubu. Drsnatiny na kyčelní a křížové kosti by tak měly mohutnější s větším tlakem, který vede od horní části těla na dolní končetiny (Iskan and Derrick, 1984).

Sulcus postauricularis. Přítomnost tohoto zářezu se vyskytuje u žen mezi *facies auricularis* a *tuberositas iliaca*. Morfologie tohoto znaku připomíná otisk či vlys prstu a jeho vznik zřejmě těsně souvisí s elevací aurikulární plochy (Brůžek et al., 1996; Wescott, 2015).

Linea arcuata. Tato obloukovitá hrana od sebe odděluje velkou a malou pánev (Čihák, 2001) a dorzálně se stýká s úhlem aurikulární plochy. U žen se toto setkání popisuje jako nezřetelné, zaoblené či zdvojené, u mužů jako zaostřené (Novotný, 1981).

Přídavná artikulační ploška SIJ. Za zmínku stojí také přídavná artikulační ploška (accessory sacroiliac joint = ASIJ), která patří mezi anatomické variety. Jedná se o kloub pokrytý chrupavkou se synoviální membránou. Může se nacházet dorzálně od SIJ na úrovni 1. až 2. sakrálního otvoru na vnitřní straně *spina iliaca posterior superior* (Bakland and Hansen, 1984; Bayram and Gürsoy, 2007). Frekvence výskytu se ve studiích značně liší, a proto jsou testovány korelace s různými příčinami, jelikož mechanismus vzniku je nejasný. Pohlavně dimorfní charakter výskytu tohoto znaku se nepotvrzuje (Valojerdy and Hogg, 1990; Novak, 2010). Pravděpodobnější je souvislost s věkem či vytvoření této struktury z důvodu obezity a vyšší zátěže na křížokýčelní oblast, ale ani to není s jistotou potvrzeno (Fortin and Ballard, 2009).

3. 1. Tradiční morfometrické metody

3. 1. 1. Novotný, 1981

Disertační práce Vladimíra Novotného se věnuje výzkumu sexuálně dimorfních znaků *facies auricularis* a možnému uplatnění těchto znaků při určování pohlaví podle kosterních pozůstatků (Novotný, 1981). Nejprve hodnotí frekvence, s jakými se alternativní formy znaku vyskytují u každého pohlaví (viz Tab. 2). Následně provádí analýzu úspěšnosti správného hodnocení pohlaví podle odvozených pravidel u každého znaku. Ze zkoumaných znaků se zaměříme na úhel ramen, zaškrcení dolního ramene a výraznost setkání *linea arcuata* s aurikulární plochou.

Uvažuje-li kritéria pro odhad pohlaví podle úhlu ramen stejná jako Brůžek et al. 1996 (viz Tab. 4) se třemi kategoriemi, dochází ke správnému určení u 32 % studovaného souboru. Neidentifikovatelných jedinců je 55 %, špatně určených 13 %. Pokud pravidla změníme a za mužskou formu znaku považujeme i úhel rovný 90°, počet správně určených se zdvojnásobuje (74 %). Dále autor uvádí, že počet špatně zařazených jedinců je 15 %. Co se však stalo se zbylými 11 % souboru? Při tomto způsobu hodnocení jsou popsány pouze

dvě kategorie (muži a ženy), třetí kategorie neidentifikovatelných jedinců není vůbec definována. Počet špatně zařazených jedinců tedy oproti prvnímu způsobu hodnocení vzrůstá na 26 %.

Tab. 2: Výskyt alternativních forem znaků pro mužské a ženské pohlaví (Novotný, 1981).

	Muži	Ženy
Úhel ramen < 90° (M=62, F=31)	22,5 % (14)	9,7 % (3)
= 90°	62,9 % (39)	38,7 % (12)
> 90°	14,5 % (9)	51,6 % (16)
Zaškrčení kaudálního ramene (přítomné) (M=62, F=31)	8 %	34,5 %
Linea arcuata – zaoblená (M=110, F=118)	34,5 %	81,4 %
zaostřená	65,5 %	18,6 %

M, F udávají velikost zkoumaného souboru mužů a žen u jednotlivých znaků. Procentuální údaje se vztahují k celku mužů a k celku žen.

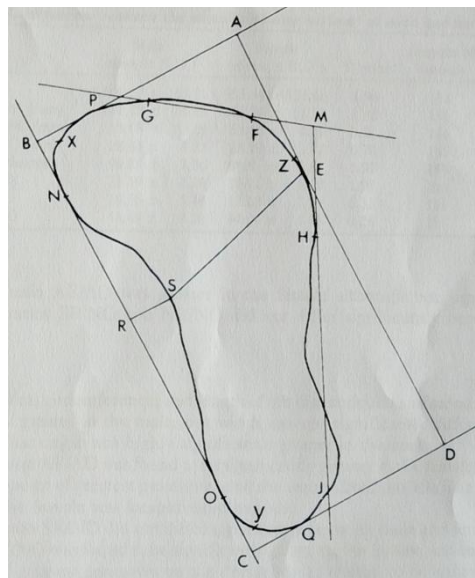
Při hodnocení zaškrčení kaudálního ramene se pravděpodobnost správného určení pohlaví na tomto souboru rovná 73 %. Vidíme, že tento znak nevykazuje dostatečně vysokou korelaci s ženským pohlavím, ale u mužů se vyskytuje zřídka (viz Tab. 2). Frekvence výskytu jsou ve shodě s výsledky studie Genovés 1959, který rovněž studoval kosti evropského původu. Je tak možné, že výskyt konstrikce kaudálního ramene souvisí s populačním původem a u žen z kmene Sanů se vyskytuje ve vysoké frekvenci, protože je adaptací na biomechanickou zátěž při aktivitě často vykonávané těmito ženami (Novotný, 1981).

Typy zakončení *linea arcuata* celkem výrazně korelují s ženským a mužským pohlavím, ale oba typy se vyskytují poměrně často i u druhého pohlaví. Ke správnému přiřazení pohlaví došlo v 74 % případů.

3. 1. 2. Valojerdy a Hogg, 1989

Za zmínku stojí také tato práce, která se pokouší uchopit pohlavní dimorfismus *facies auricularis* pouze metrickým zpracováním. Není citována v žádných pozdějších studiích, i když se zdá, jakoby právě z ní vycházela dosud jediná geometricko-morfometrická studie (Anastasiou and Chamberlain, 2013). Většina geometrických landmarků má totiž shodné pozice jako v tomto článku (srovnání Obr. 3 a 8).

Statisticky signifikantní mezipohlavní rozdíl byl zjištěn u obsahu, obvodu a délky plochy (vzdálenost bodů AD na obr. 3). Dále také u úhlu svíraného body PMJ. Všechny tyto čtyři proměnné vycházely signifikantně vyšší u mužů než u žen. Naopak u žen jsou signifikantně větší hodnoty poměrů AE/AD a NR/NO. To by znamenalo, že u žen je bod největší konvexity (respektive konkavity) na ventrální straně (respektive na dorzální straně) umístěn relativně níže (kaudálněji) než u mužů.



Obr. 3: Metrické zpracování *facies auricularis* podle Valojerdy a Hogg (1989)

3. 1. 3. Ali a MacLaughlin 1991

V této studii je sexuální dimorfismus *facies auricularis* hodnocen pomocí tradičních metrických metod. Je charakterizován bod A na průsečíku obrysu *facies auricularis* a *linea iliopectinea (arcuata)*, od kterého se měří následující vzdálenosti: AB = maximální délka kraniálního ramene, AC = maximální délka kaudálního ramene, AD = minimální šířka aurikulární plochy (Obr. 7). Dále je z následujících rozměrů spočítán poměr vzdáleností AB/AC a úhel ramen BAC. Pomocí obtažení obrysu na papír je také vypočten obsah

aurikulární plochy (SA). Všechny uvedené rozměry jsou následně standardizovány vydělením maximálním průměrem femorální hlavice (MFHD), který odráží tělesnou velikost. Analyzovány jsou jak standardizované tak i nestandardizované výsledky. Vybrané hodnoty u mužů a žen jsou v Tab. 3.

Mezi nestandardizovanými výsledky vykazují signifikantní rozdíl mezi mužskými a ženskými hodnotami následující veličiny: AC, AD, SA a MFHD. Následnou standardizací se signifikantní rozdíl těchto veličin ztrácí, což je zřejmě způsobeno tím, že rozdíl je právě různou tělesnou velikostí způsoben. Standardizované veličiny, u kterých je mezipohlavní rozdíl signifikantní, naopak nejsou významně rozdílné před standardizací (AB, AB/AC, BAC), což je logické, protože jsou vztaženy k tělesné velikosti, která je sama významně pohlavně dimorfní. Znamená to tedy, že tyto veličiny jsou relativně větší u žen v porovnání s muži, pokud jsou vztaženy k tělesné velikosti.

Tab. 3: Průměrné výsledky měření vybraných nestandardizovaných významně (AC, SA, MFHD) i nevýznamně (AB, úhel BAC) rozdílných znaků.

	Muži	Ženy
AB (mm)	37,5 ± 4,3	36 ± 4,5
AC (mm)*	51 ± 5,5	47,1 ± 6,4
Úhel BAC (°)	70 ± 9,3	67,2 ± 10,1
SA (mm²)*	1368 ± 229	1171 ± 181
MFHD (mm)*	47,3 ± 3,1	41,2 ± 2,6

* Signifikantní rozdíl na hladině $p < 0,001$.

Podle dělicích hodnot jsou následně vypočteny pravděpodobnosti správného určení pohlaví jen u těch proměnných, které dosahují hladiny významnosti $p < 0,001$ (ze statisticky významných proměnných tak vypadává šířka AD). Nejvyšší úspěšnosti dosahuje průměr femorální hlavice (88 %). Je tak bezvýznamné používat k pohlavní diagnóze standardizované veličiny, které pouze diskriminační schopnost MFHD snižují. Zbývající proměnné jako délka kaudálního ramene AC a obsah plochy SA dosahují úspěšnosti 66 %, respektive 71 %.

Je zajímavé, že úhel BAC je v průměru ostrý u mužů i žen, u kterých se očekává úhel tupý. Průměrná hodnota u žen je dokonce menší než průměr u mužů. Sice neznáme přesné rozložení hodnot, ale výsledky, které máme k dispozici, rozhodně neodpovídají obecným předpokladům (Genovés, 1959; Novotný, 1981; Brůžek et al., 1996; Vleeming et al., 2012).

Většina studovaných proměnných (AC, AD, SA) pozitivně koreluje s tělesnou velikostí. Máme tu však i druhý typ proměnných (AB, BAC), které nevykazují pohlavní rozdíl, vzhledem k menší tělesné velikosti u žen jsou tak relativně větší než u mužů. S podobnými výsledky jsme se již setkali v evoluční studii (Reed and Churchill, 2013) v souvislosti s nárůstem hmotnosti mezi australopitéky a prvními zástupci rodu Homo. Plocha dlouhého ramene korelovala s velikostí pozitivně, kdežto plocha kraniálního ramene negativně. Stejně je tomu i zde až na to, že ramena jsou reprezentována svými délkami. Navrhovaná biomechanická výhoda kratšího kraniálního ramene u jedinců s vyšší hmotností (Reed and Churchill, 2013) by tak mohla existovat i v rámci anatomicky moderního člověka v podobě pohlavního dimorfismu negativně korelovaného s hmotností.

3. 1. 4. Brůžek et al. 1996

Tato metoda je založena na vizuálním hodnocení 3 sexuální dimorfních znaků posteriorního ilia: tvaru *facies auricularis*, přítomnosti *sulcus postauricularis* a elevaci aurikulární plochy. Každému znaku můžeme přiřadit 3 možné charaktery odpovídající ženské a mužské morfologii a střední, tedy neurčené formě (Tab. 4). Podle většinového výsledku pak určíme, zda se jedná o ženskou, mužskou či neidentifikovatelnou kost.

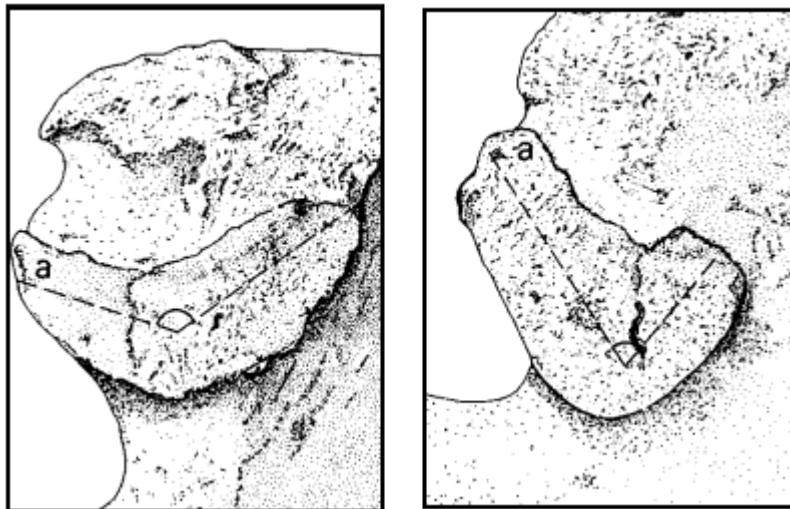
Tab. 4: Popis forem jednotlivých znaků (Brůžek et al., 1996).

	Tvar <i>f. a.</i>	<i>Sulcus postauricularis</i>	Elevace <i>facies auricularis</i>
Ženská	Ramena do tvaru C svírají úhel větší než 90°.	Přítomný a dobře zřetelný jako otisk prstu.	Přítomná jasná elevace.
Mužská	Ramena do tvaru J nebo V svírají úhel menší než 90°.	Nepřítomný.	<i>Facies auricularis</i> je na stejné úrovni jako <i>tuberositas iliaca</i> .
Neurčitá	Ramena svírají úhel 90°.	Morfologie mezi ženskou a mužskou formou.	Morfologie mezi ženskou a mužskou formou.

Metoda byla s dobrými výsledky vyzkoušena na odlitcích kosterních sbírek z Paříži a Spitalfields (přesnost 84 %, respektive 89 %). Testování spolehlivosti a reproduktibility na souboru z Coimbry však již tak dobře nedopadlo. Hodnocení bylo provedeno třemi pozorovateli při dvou nezávislých příležitostech. Pozorovatel s předchozími zkušenostmi s metodou dosahoval nejvyšší úspěšnosti určení pohlaví. Dva zbývající pozorovatelé metodu neznali a hodnotili pohlaví podle zadaných definic. Jejich úspěšnost správného

odhadu při prvním a druhém pokusu značně kolísala a nepřekročila 80 %. Celková úspěšnost metody byla ohodnocena na 52-83 % v závislosti na pozorovateli. Metoda tak není dostatečně reproduktibilní, což může být způsobeno špatně formulovanou definicí nebo špatným pochopením definic pozorovatelem. Tento fakt je podporován i vysokou intraobservační chybou, která se např. u hodnocení tvaru *facies auricularis* pohybuje mezi 7-14 %. V tomto ohledu nejlépe ze všech tří znaků dopadlo hodnocení přítomnosti *sulcus postauricularis*.

Autoři se pokusili na konci článku zpřesnit definice charakterů jednotlivých znaků pomocí obrazové dokumentace, která je jistě přínosem pro správné pochopení definic, ovšem s touto inovací již metoda nebyla dále testována. Důležitým dodatkem pro lepší pochopení je také to, že úhel při hodnocení tvaru *facies auricularis* je ten, který svírají osy ramen, a ne vnitřní nebo vnější úhel této plochy (viz Obr. 4).



Obr. 4: Znárodnění úhlu ramen u ženské a mužské *facies auricularis* (Brůžek et al., 1996).

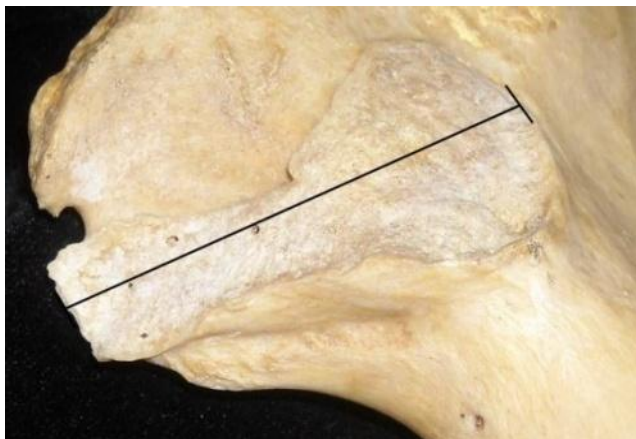
3. 1. 5. Novak 2010 a Novak et al. 2012

V diplomové práci Launa M. Novaka (Novak, 2010), jejíž vybrané výsledky byly publikovány (Novak et al., 2012), je hodnocen pohlavní dimorfismus 5 znaků křížové kosti a 5 znaků posteriorní části ilia na kosterním souboru americké populace evropského a afrického původu. Pro znaky kyčelní a křížové kosti zvlášť je následně provedena logistická regrese a zpětně je zjištěno, které znaky mají signifikantní vliv na určení pohlaví. Tyto vybrané znaky jsou zařazeny do nové finální logistické regrese. Výsledkem rovnice s parametry zjištěnými z logistické regrese je tak pravděpodobnostní zhodnocení

příslušnosti jedince k danému pohlaví podle toho, jak se výsledek blíží k nule (muž) nebo k jedné (žena).

Mezi znaky studované na kyčelní kosti patří přítomnost *sulcus preauricularis*, morfologické a metrické hodnocení velkého sedacího zářezu, reliéf (neboli elevace) aurikulární plochy a vertikální rozměr této plochy (neboli délka kaudálního ramene).

Elevace *facies auricularis* je hodnocena aspektivně zařazením do jedné ze tří kategorií. Mužská (0) a ženská (1) forma mají stejná kritéria jako u Brůzkovy metody (Brůžek et al., 1996). Třetí kategorie (2) je pro neidentifikovatelné jedince, kteří vykazují zvýšený reliéf ve střední čáře v anteroposteriorním směru plochy. Pro účely logistické regrese jsou kvalitativním kategoriím přiřazena čísla v závorkách. Délka kaudálního ramene je měřena od bodu uprostřed anterosuperiorní hranice k nejvíce posteriorně položenému bodu na hranici kaudálního ramene (Obr. 5). U mužů je tato vzdálenost v průměru 59 ± 5 mm, u žen 54 ± 4 mm.



Obr. 5: Vertikální rozměr *facies auricularis* (Novak, 2010).

Při hodnocení pohlaví podle těchto dvou samostatných znaků získáváme přesnost 79 % pro elevaci a 69 % pro délku kaudálního ramene. I přesto je do finální logistické regrese zařazena pouze délka kaudálního ramene spolu s hodnocením přítomnosti *sulcus preauricularis* a metrickým hodnocením velkého sedacího zářezu. Tato logistická regrese dosahuje přesnosti 95 %, zatímco podle vybraných znaků na křížové kosti je to pouze 79 %. Nebyla prokázána statisticky signifikantní asociace znaků s africkým nebo evropským původem.

3. 1. 6. Wescott 2015

Elevace aurikulární plochy a sulcus postauricularis jsou v této studii hodnoceny zařazením do mužské a ženské kategorie. U prvního znaku se ženská forma rovná kompletní elevaci celé plochy, mužská forma je bez vyvýšení nebo vykazuje pouze částečnou elevaci některých hran. Postaurikulární žlábek, pokud přítomný, je hodnocen jako ženská forma, absence jako forma mužská (Wescott, 2015).

Autor upozorňuje především na dvě pojetí přesnosti. Ta může být brána jednak na úrovni populačního souboru a představuje vlastně četnost neboli pravděpodobnost výskytu formy znaku u každého pohlaví. Následně máme přesnost na úrovni individuální, která je důležitá především ve forenzních případech a představuje pravděpodobnost, se kterou určíme správně pohlaví podle dané morfologie. Jedná se tak vlastně o posteriorní pravděpodobnost za předpokladu, že zastoupení mužů v populaci se rovná zastoupení žen. Obě pravděpodobnosti se mohou velmi významně lišit. Proto je důležité je rozlišovat a úspěšnost identifikace pohlaví hodnotit posteriorní pravděpodobnostmi pro každé pohlaví zvlášť.

Ačkoli ženy v této studii vykazují nižší výskyt kompletní elevace než ve studii předchozí (Novak et al., 2012), pravděpodobnost, že jedinec s kompletní elevací je žena, je skoro 100 %, protože u mužů se tato forma znaku vyskytuje velice vzácně. Naopak i přes to, že u 99,4 % mužů se vyskytuje žádná nebo jen částečná elevace, chyba při přiřazení mužského pohlaví podle této morfologie je vysoká (25 %), protože se tato forma znaku vyskytuje relativně často i u žen (Tab. 5).

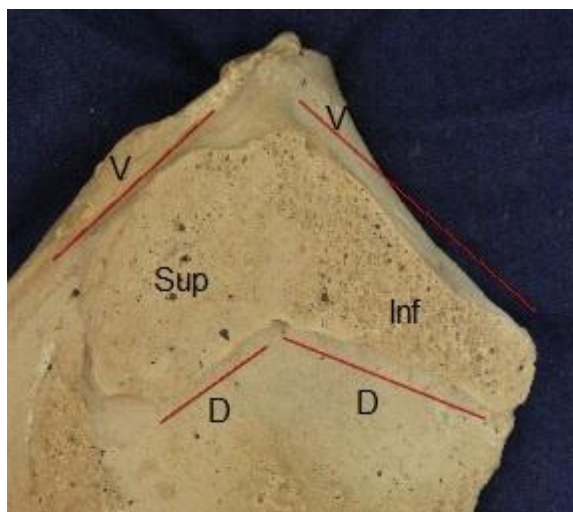
Přítomnost nebo absence postaurikulárního žlábků nedosáhly srovnatelné úspěšnosti jako přítomnost elevace u žen. Při hodnocení tohoto znaku byla navíc zjištěna vysoká interobservační chyba 16 % v porovnání s touto chybou u prvního hodnoceného znaku (2 %). Většina špatně zařazených případů byli mužští jedinci vykazující úzký a krátký postaurikulární žlábek.

Tab. 5: Výskyt elevace a *sulcus postauricularis* podle pohlaví v % (Wescott, 2015)

	Muži	Ženy
Elevace – přítomna	0,5	67
- chybí	99,5	33
<i>Sulcus postauricularis</i> – přítomen	27	85
- chybí	73	15

Pro rozlišení částečné nebo kompletní elevace byly rozlišeny čtyři okraje aurikulární plochy (Obr. 6). Ženy, které byly chybně zařazeny mezi muže, vykazují pouze částečnou elevaci, která je v 91 % případů způsobena nevyvýšeným ventrálním okrajem horního ramene. Zda tuto morfologii můžeme pokládat za výlučně ženský znak, se však nedozvídáme.

Elevace je v této studii hodnocena ještě jedním způsobem s třetí kategorií neidentifikovaných jedinců. Každému okraji je přiřazena číselná hodnota. Pokud okraj není vyvýšený nad okolní povrch, je mu přiřazeno číslo 1, při elevaci číslo 2. Po sečtení všech čtyř okrajů jsou výsledky čtyři a pět hodnoceny jako muž, šest jako neidentifikovaný jedinec a sedm a osm jako žena. Tímto způsobem sice u jednoho pohlaví došlo ke zvýšení přesnosti, u druhého však došlo k jeho snížení, a tak se celkově odhad pohlaví nezpřesnil.



Obr. 6: Vyznačení čtyř okrajů aurikulární plochy podle Wescotta (2015).
Sup = superiorní rameno, Inf = inferiorní rameno, V = ventrální strana, D = dorzální strana.

3. 1. 7. Shrnutí tradičně morfometrických metod

Vizuální či tradiční metrické hodnocení často bojuje s nedostatečnou přesností a vyšším počtem neidentifikovatelných nebo špatně zařazených jedinců. To je zapříčiněno vyšší mírou subjektivity při hodnocení těmito metodami, přičemž zkušenosti pozorovatele s daným hodnocením také mohou značně ovlivnit výsledky (Brůžek et al., 1996). Subjektivní pozorování má také dopad na interpretaci příčin pohlavního dimorfismu, které často nejsou u popisovaných pohlavně dimorfních znaků zcela objasněné. I přesto je však důležité disponovat vhodnými vizuálními metodami, protože jejich použití je velmi snadné a rychlé obzvláště u větších archeologických souborů, u kterých by bylo použití

geometrické morfometrie velmi časově náročné. Ta zatím slouží spíše k detailní analýze pohlavního dimorfismu než jako metoda aplikovatelná na archeologický soubor za účelem zjištění pohlaví.

Při popisu výše zmíněných studií jsme se setkali jednak s analýzami pohlavního dimorfismu určitých znaků a hodnocením úspěšnosti určit pohlaví podle každého znaku zvlášť, v některých pracích pak byly navrženy přímo metody na určení pohlaví podle posteriorní části ilia (Brůžek et al., 1996; Novak et al., 2012). Všechny studie až na jednu (Valojerdy and Hogg, 1989) pracovaly s forenzním nebo archeologickým materiálem o známém pohlaví, což je pro vytvoření nové metody nezbytné. Vytvořené metody většinou pracují s větším počtem hodnocených znaků, což umožňuje zvýšit přesnost odhadu v porovnání s přesností odhadu podle jednoho znaku. Pro vytvoření přesné metody je však nutné začít právě od studia jednotlivých znaků. Jak upozorňuje Wescott (2015), musíme správně rozlišovat dva typy pravděpodobnosti, pomocí kterých můžeme úspěšnost odhadu pohlaví hodnotit. První z nich popisuje výskyt jednotlivých forem znaku u obou pohlaví ve studovaném populačním souboru, který je obrazem populace. Jedná se tak vlastně o pravděpodobnost správného určení pohlaví podle dané morfologie v rámci studovaného souboru, ale ne v rámci populace. V té musíme brát v úvahu zaprvé zastoupení obou pohlaví v populaci, které tvoří apriorní pravděpodobnost správného určení pohlaví (50 %), a zadruhé výskyt typické formy pro jedno pohlaví i u pohlaví druhého. Jedná se tak o posteriorní pravděpodobnost nebo úspěšnost určení pohlaví. V Tab. 6 shrnujeme tuto úspěšnost podle jednotlivých znaků aurikulární plochy a tam, kde je to možné, uvádíme i dosaženou přesnost navrhované metody. V případě Novotného (1986) jsme přesnost dopočítali, protože uvádí pouze výskyt ve svém studovaném souboru. Účinnost odhadu pohlaví je samozřejmě nutné hodnotit z hlediska obou těchto pravděpodobností, protože je výhodné, aby se jednotlivé formy znaků vyskytovaly v populaci co nejčastěji a zároveň byl jejich výskyt vysoce pohlavně závislý.

Pro vytvoření metody odhadu pohlaví je tak nejprve nezbytné dobře prozkoumat možné formy, kterých znaky nabývají v lidské populaci, vybrat ty znaky, které se vyskytují často a jsou pohlavně závislé. Nakonec zbývá vymyslet vhodný typ hodnocení, který je však možným zdrojem dalších nepřesností.

Tab. 6: Přesnost určení pohlaví podle vizuálních a metrických znaků *facies auricularis* z vybraných studií.

	Tvar f. a. (úhel)	Konstrikce kaudálního ramena	Výška f. a.	Elevace f. a.	Sulcus postauricularis	Přesnost metody
Novotný, 1981	74 / 71,5 %*	69,8 %	-	-	-	-
Ali a MacLaughlin, 1991	66 %**	-	66 %	-	-	-
Brůžek et al., 1996	M: 7-60 % F: 11-78 %	-	-	M: 27-63 % F: 44-69 %	M: 39-73 % F: 67-89 %	52-83 %
Novak, 2010, 2012	-	-	69 %	79 %	-	95%
Wescott, 2015***	-	-	-	M: 75 % F: 99 %	M: 83 % F: 76 %	-

M, F = muž, žena. Prázdná okénka znamenají, že daný znak nebyl v práci studován. Křížek označuje práce, kde nebyla celková přesnost metody počítána.

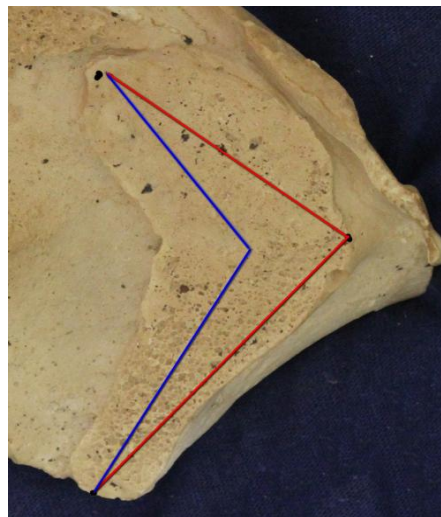
* Hodnoceno dvěma metodami s různými kritérii. Hodnoty odpovídají metodě se třemi, respektive dvěma kategoriemi (viz kapitola 3. 1. 1. 1.).

** Hodnota úhlu je standardizována vydělením hodnotou maximálního průměru femorální hlavice.

Úhel aurikulární plochy je ve většině studií hodnocen pomocí úhlu svíraného oběma rameny, kdy se nejedná o vnitřní ani vnější úhel aurikulární plochy, ale o úhel mezi osami ramen. Osy ramen jsou však konstruovány dvěma odlišnými způsoby (Ali and MacLaughlin, 1991; Brůžek et al., 1996). První způsob se zdá být vymezen velmi jasně pomocí vrcholu a dvou úseček. Hodnoty úhlů jsou u každé kosti přesně spočítány, ale mezipohlavní rozdíl nebyl dostatečně vysoký, aby došlo i na diskriminační funkci. Hodnoty žen a mužů se totiž značně překrývají a ženy v průměru vykazují dokonce ostřejší úhel než muži (67° vs. 70°) (Ali and MacLaughlin, 1991). V jiných publikacích však měření tohoto úhlu přineslo tyto výsledky: necelých 91° pro muže a 94° pro ženy (Genovés, 1959) či v průměru 93° bez ohledu na pohlaví u Waldrop et al. (1993). Zarážející je velký rozdíl mezi výsledky těchto studií, který musí být způsoben odlišným způsobem hodnocení. V práci Genovése (1959) se ovšem o metodě měření úhlu nepíše, autor navíc od hodnocení pohlavního dimorfismu tohoto znaku nakonec upustil právě kvůli nejasnému a zavádějícímu způsobu měření.

V metodě vypracované Brůžkem et al. (1996) je nastíněn druhý způsob určení tohoto úhlu. Není již hodnocen přesně metricky, ale vizuálním zařazením do tří kategorií. Definování konstrukce tohoto úhlu není moc specifikováno, ale z doprovodného obrázku (Obr. 4) je zřejmé, že se jedná o jiný postup než ten předchozí, protože vrchol není umístěn

na okraji aurikulární plochy. Problémem je však opět, jak objektivně zkonstruovat osy ramen. Pokud návod doplníme o část, že osa ramene by měla být přímka procházející vrcholem ramene a mající v každém svém bodě přibližně stejnou vzdálenost od obou delších okrajů ramene, mohlo by to k pochopení a lepšímu provedení pomoci. V průsečíku obou přímek si představíme vrchol úhlu a můžeme odvodit jeho velikost. Za pomoci tohoto drobného doplnění jsme provedli na jedné fotografii *facies auricularis* porovnání dvou uvedených metod (Ali and MacLaughlin, 1991; Brůžek et al., 1996) konstrukce aurikulárního úhlu (viz Obr. 7). Z příkladu je patrné, že první metoda podle Ali a MacLaughlina (1991) bude dávat výsledky se spíše menší velikostí úhlu. V případě aspektivního hodnocení podle stejných kritérií jako Brůžek et al. (1996) by tak byla nadhodnocena kategorie mužů. Ovšem pokud byla hodnocena přesná velikost úhlu, nebyl zjištěn významný pohlavní dimorfismus (Ali and MacLaughlin, 1991).



Obr. 7: Konstrukce aurikulárního úhlu. Červeně podle Ali a MacLaughlina (1991), modře podle Brůžka et al. (1996).

U Novotného (1981) není způsob konstrukce úhlu více popsán, nicméně z obrazové dokumentace vyplývá, že použil stejný způsob jako následně Brůžek et al. (1996). Zůstává otázkou, jak hodnotit pravý úhel, zda jako mužský znak či indiferentní. Novotný (1986) uvádí, že dosáhl dvakrát vyšší úspěšnosti, když přidal pravý úhel k mužské morfologii. Toto zpřesnění je však pouze zdánlivé, protože odpovídá pouze studovanému souboru. Po dopočítání posteriorních pravděpodobností totiž zjišťujeme, že ve skutečnosti při hodnocení třemi kategoriemi je celková přesnost 74 %. Po změně hodnocení na dvě kategorie zůstává přesnost určení ženského pohlaví stejná, snižuje se však přesnost určení

mužského pohlaví, což způsobuje zhoršení celkové přesnosti o necelá 3 %. Z metodologického hlediska je však otázka, zda je pravý úhel vůbec na této kloubní ploše vizuálně rozpoznatelný, protože se jedná o příliš úzce definovanou kategorii. Snadno se tak může stát, že pozorovatel subjektivně několik stupňů přidá nebo ubere pro zařazení do ženské nebo mužské kategorie.

V jedné studii je úhel aurikulární plochy hodnocen ještě pomocí vnějšího úhlu ramen (Valojerdy and Hogg, 1989). Průměrná hodnota tohoto úhlu vychází signifikantně větší u mužů, ovšem neznáme úspěšnost klasifikace pohlaví touto metodou.

Konstrikce kaudálního ramene je hodnocena pouze v jedné studii (Novotný, 1981). I přesto, že výskyt u žen není častý, přesnost určení ženského pohlaví při přítomnosti zaškrcení je docela vysoká (81,2 %). Mohlo by se tak jednat o poměrně spolehlivý indikátor ženského pohlaví. Zároveň se však pravděpodobně jedná o populačně specifický znak (Novotný, 1981).

Délka kaudálního ramene je hodnocena pomocí dvou různě definovaných vzdáleností u Ali a MacLaughlina (1991) a Novaka et al. (2012). Větší směrodatná odchylka u průměrných hodnot maximální vzdálenosti ramene od bodu A ukazuje na větší variabilitu tohoto znaku (Ali and MacLaughlin, 1991) oproti vzdálenosti charakterizované Novakem et al. (2012). Intervaly vymezené směrodatnou odchylkou pro každé pohlaví vykazují téměř dvakrát větší překryv hodnot u Ali a MacLaughlina (1991) než u Novaka et al. (2012). Pouze u Novaka (2010) známe intraobservační chybu měření tohoto rozměru, ze které odvozuje, že měřil tuto vzdálenost s 98,8% přesností.

Sulcus postauricularis je hodnocen třemi kategoriemi u Brůžka et al. (1996), ovšem prostřední kategorie neurčených jedinců není příliš definována. Wescott (2015) používá pouze dvě kategorie, ale mezi chybně zařazenými jedinci jsou převážně muži vykazující úzký a krátký žlábek. Hluboký a široký žlábek je skoro výlučně u žen. Po úpravě definic by tak mohlo být dosaženo alespoň dobré přesnosti určení ženského pohlaví podle tohoto znaku.

Elevace facies auricularis je posledním znakem, který byl hodnocen různými způsoby. Všechny tři studie (Brůžek et al., 1996; Novak et al., 2012; Wescott, 2015) rozlišují tři kategorie tohoto znaku, ovšem především kategorie neurčených jedinců je definována odlišně. U Brůžka et al. (1996) tato kategorie není moc specifikována. Novak et al. (2012) definují prostřední kategorii přítomností zvýšeného reliéfu ve střední čáře v anteroposteriorním směru, ovšem bez obrazové dokumentace je těžké si tuto morfologii

představit. Poslední studie (Wescott, 2015) pozoruje elevaci na každém ze čtyř okrajů aurikulární plochy zvlášť, a tak jsou všechny tři kategorie definovány odlišně od předešlých dvou studií. Tento rozbor přináší jasně definovanou kategorii neidentifikovaných jedinců, ale především může zlepšit i pochopení definic pro mužskou a ženskou morfologii, což pravděpodobně mohlo přispět k velmi vysoké přesnosti určení ženského pohlaví při přítomné elevaci. Pokud srovnáme výskyt definovaných forem tohoto znaku s předchozí studií (Tab. 7), vidíme, že pravděpodobnost správně zařazených jedinců je u Wescotta (2015) vyšší a špatně zařazených naopak výrazně nižší. Sledování každého okraje zvlášť by mohlo být pro pohlavní diagnózu slibné, protože u neúplné elevace má většina žen nevyvýšený ventrální okraj horního ramene (Wescott, 2015).

Tab. 7: Srovnání výskytu kompletní, částečné a nepřítomné elevace facies auricularis podle definic Novaka et al. (2012) a Wescotta (2015).

Forma elevace	Muži		Ženy	
	Novak et al., 2012	Wescott, 2015	Novak et al., 2012	Wescott, 2015
-ženská	16 %	1,7 %	74 %	79 %
-neurčená	7 %	11,2 %	2 %	6,7 %
-mužská	77 %	87 %	24 %	14,2 %

3. 2. Geometricko-morfometrické metody

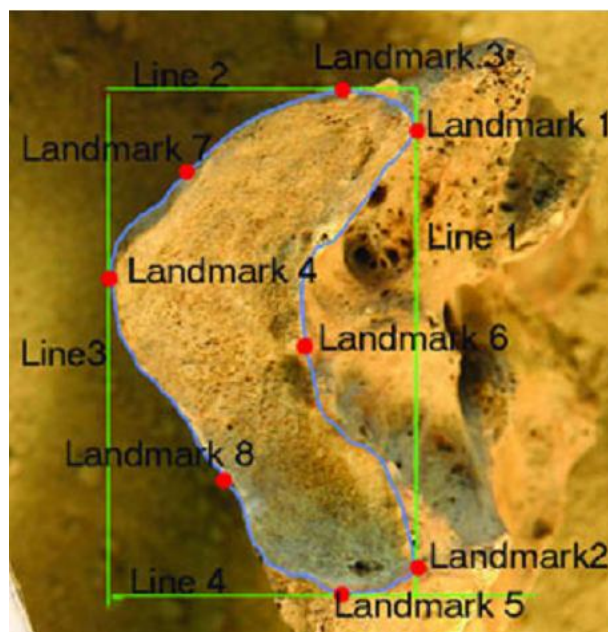
Geometrická morfometrie se odlišuje od tradičního hodnocení především zachováním původní informace o tvaru studovaného objektu, který je charakterizován pomocí souřadnic význačných bodů neboli landmarků. Souřadnice totiž postačují k tomu, abychom snadno zjistili všechny možné vzdálenosti a úhly a není tak nutné vše měřit. Důležitým krokem je tzv. superimpozice porovnávaných objektů, která zajistí odfiltrování vlivu odlišné pozice, orientace a velikosti, čímž získáme tzv. tvarové souřadnice. Díky tomu můžeme porovnávat objekty takovým způsobem, jakým to není pouhým okem možné. Pomocí počítačové techniky můžeme provádět řadu složitých statistických operací a výsledné rozdíly zpětně vizualizovat, což velmi napomáhá k interpretaci původu rozdílů mezi objekty (Slice, 2007).

3. 2. 1. Anastasiou a Chamberlain, 2013

Tito autoři analyzují pomocí GM pohlavní dimorfismus aurikulární plochy na digitálních fotografiích 64 kostí křížových a stejném počtu kostí kyčelních a diskutují

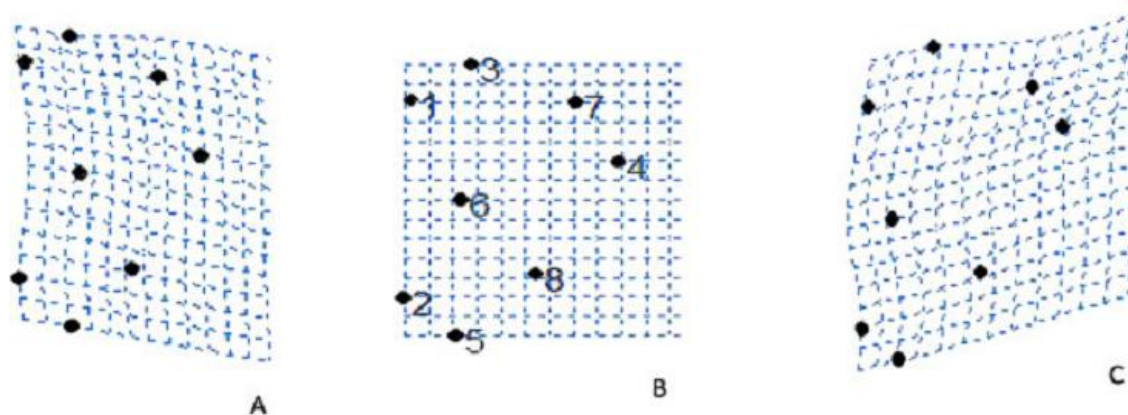
možné uplatnění ve forenzních a archeologických disciplínách (Anastasiou and Chamberlain, 2013). Autoři měli k dispozici archeologický materiál, ke kterému však chybí dokumentace o pohlaví a věku zemřelých osob. Tyto parametry byly odhadnuty pomocí tradičně používaných metod. Nejprve autoři kosti nafotili ve vhodné pozici, kterou definují tak, že anteroposteriorní a superoinferiorní osy plochy jsou v jedné horizontální rovině. Z popisu však není jasné, jak bylo této pozice dosaženo. Pomocí obyčejné vodováhy by totiž nebylo zajištění uvedené pozice dobře možné. Jednak proto, že aurikulární povrch bývá mírně zvlněný a to především podél delšího kaudálního ramene. Druhým důvodem je, že do oblasti spojení obou konců ramen často zasahuje *tuberositas iliaca* a postavení vodováhy na koncové části ramen by tak nebylo možné. Jakých nástrojů bylo k zajištění této polohy použito, autoři blíže nespecifikují.

Jelikož aurikulární plocha je značně variabilní, neobsahuje žádné anatomicky definované landmarky. V takovém případě lze použít geometrické landmarky nebo semilandmarky. Autoři se přiklonili k první možnosti a na fotografiích vyznačili 8 geometrických landmarků za pomoci tečen dotýkajících se v určitých bodech obrysu kloubní plochy (Obr. 8). Po vyhodnocení intra- a interobservační chyby soubor dat podstupuje prokrustovskou superimpozici. Tímto získáme proměnné, které již nepopisují formu objektu (tvar + velikost), ale pouze tvarovou složku. Velikost je ponechána v hodnotě centroid size jednotlivých objektů.



Obr. 8: Geometrické landmarky vyznačené na *facies auricularis* křížové kosti (Anastasiou and Chamberlain, 2013)

Pomocí různých statistických testů bylo zjištěno, že existuje signifikantní rozdíl mezi muži a ženami v jejich průměrném tvaru (Goodall's F test, $p \leq 0,0001$) a že pohlaví má i signifikantní vliv na velikost (ANOVA, $p < 0,05$). Signifikantní vliv věku na velikost plochy byl vyloučen. Po kontrole vlivu velikosti v testu MANCOVA však již tvar aurikulární plochy nevykazoval statisticky významné rozdíly mezi pohlavími. Test MANOVA použitý na prvních pět hlavních komponent zase ukázal, že na hladině významnosti $p < 0,01$ má pohlaví signifikantní vliv pouze na první komponentu (PC1). První komponenta zahrnuje tvarové rozdíly v celkové šířce plochy, která je u mužů užší než u žen (viz Obr. 9).



Obr. 9: Deformace průměrného tvaru aurikulární plochy kyčelní kosti (B) s očíslovanými landmarky do mužského tvaru s nižší hodnotou PC1 (A) a do ženského tvaru s vyšší hodnotou PC1 (C) (Anastasiou and Chamberlain, 2013).

Diskriminační analýza vykazuje opět lepší výsledky u aurikulární plochy kyčelní kosti než u křížové kosti, a tak se potvrzuje, že na kyčelní kosti se pohlavní dimorfismus projevuje více (Novak et al., 2012). Pokud byla hodnocena diskriminační schopnost samotné velikosti plochy kyčelní kosti, byla dosažena přesnost 86 %. Spolu s tvarem bylo dosaženo 87,5 %. Při hodnocení formy aurikulární plochy u kyčelní i křížové kosti dohromady bylo dosaženo 94,5% přesnosti.

Z této studie vyplývá, že pohlavně dimorfní je především velikost aurikulární plochy. Po zavedení tvarové složky do diskriminační analýzy se však skóre zvyšuje, a tak je patrné, že tvar má na rozlišení obou pohlaví také svůj podíl. Rozdíl tvaru mezi mužským a ženským pohlavím spočívá především v šířce plochy. Nedostatkem této studie je, že byla provedena na materiálu neznámého pohlaví, a tak může být do výsledků vnesena chyba, o

jejímž významu lze jen spekulovat. Tvar tu rozhodně nedosahuje tak velkého významu, jaký se mu přikládá při vizuálním hodnocení.

3. 3. Metody výpočtu obsahu aurikulární plochy

Existuje několik postupů dohledatelných v literatuře, jak změřit obsah aurikulární plochy (Ebraheim et al., 2003; Krmek et al., 2006; Kibii et al., 2011). Většinu používaných metod však musíme pokládat pouze za aproximativní, protože značně zanedbávají tvar nebo reliéf plochy. Vztah takto získaných výsledků k reálným hodnotám však dosud nebyl přesně hodnocen.

Nejjednodušším způsobem je rozdělení aurikulární plochy na dva navzájem kolmé obdélníky, které překrývají obě ramena (Kibii et al., 2011; Reed and Churchill, 2013). Rozměry stran obdélníků se změří přímo na kosti a následně se vypočítá obsah plochy. Délka inferiorního obdélníku je měřena od apexu *facies auricularis* k vrcholu *spina iliaca posteriori inferior*. Délka superiorního obdélníku je měřena od apexu k nejvyššímu bodu na anteriorní hranici plochy. Šířky obou obdélníků jsou dány průměrem minimální a maximální šířky každého z ramen (Reed and Churchill, 2013). Tato metoda však naprosto zanedbává tvar aurikulární plochy i její reliéf.

Krmek et al. (2006) porovnali tuto metodu s hodnotami, které získali pomocí obkreslení obrysu plochy na přitíštěný průsvitný papír. Nezanedbali tak ani tvar ani reliéf a obsah výsledného obrysu na papíře zjistili pomocí planimetru. Průměrná hodnota byla 13,46 cm² a rozložení hodnot vykazovalo dva vrcholy, které vysvětlují pohlavním dimorfismem, avšak pohlaví nebylo u studovaného souboru kostí známo (Krmek et al., 2006). Srovnáním s hodnotami získanými na stejném souboru kostí pomocí obdélníkové metody pak zjistili, že obdélníková metoda nadhodnocuje výsledek v průměru o 14 % (Krmek et al., 2006). Hluběji však rozdíl neanalyzují, takže není jasné, zda je efekt nadhodnocení konstantní u každé kosti a jaká je korelace mezi těmito hodnotami. Kvůli variabilnímu tvaru aurikulární plochy je však celkem pravděpodobné, že míra nadhodnocení se bude u každé kosti lišit a tím spíše, pokud jde o evoluční materiál od různých druhů homininů (Reed and Churchill, 2013).

Stejnou metodu jako Krmek et al. (2006) použil i Mahato (2010) na sakrální *facies auricularis*. Porovnáním pravostranných a levostranných aurikulárních ploch tří set kostí křížových zjistil, že obsah plochy nevykazuje významný stranový rozdíl.

Posledním způsobem známým z literatury je výpočet velikosti plochy vyznačené na fotografii pomocí planimetru nebo počítačové techniky (Ebraheim et al., 2003). Při použití této metody nedochází k zanedbání tvaru jako u obdélníkové metody, na druhou stranu však při hodnocení fotografie dochází k zanedbání reliéfu, což by výslednou hodnotu pravděpodobně mírně zmenšilo. Jelikož reliéf bývá pouze mírně zvlněný, lze předpokládat pouze nepatrné zkreslení.

4. Cíle práce

Z teoretického úvodu vyplynuly následující úkoly a hypotézy. Cílem této práce je kvantifikovat pohlavní dimorfismus *facies auricularis* u anatomicky moderního člověka a porovnat velikost plochy s některými fosilními nálezy, které nám dovolují diskutovat rámcově evoluci této struktury u homininů.

V první části práce chceme navázat na práci Anastasiou a Chamberlaina (2013) a ověřit tvarový a velikostní sexuální dimorfismus *facies auricularis* kyčelní kosti nástroji 2D geometrické morfometrie za využití sliding semilandmarks.

Na recentní populaci zároveň ověříme obdélníkovou metodu výpočtu obsahu aurikulární plochy tím, že porovnáme hodnoty získané touto metodou s hodnotami obsahu formy vyznačené na fotografiích. Zjistíme tak, jak silně tyto hodnoty navzájem korelují.

Dále se chceme přesvědčit, zda existuje souvislost mezi velikostí aurikulární plochy a nárůstem hmotnosti u homininů.

Na základě těchto cílů byly definovány následující hypotézy:

1. Pokud je tvarový dimorfismus u recentní populace méně výrazný, pak hlavní příčinou pohlavního dimorfismu *facies auricularis* je rozdílná tělesná velikost mužů a žen.
2. Pokud obdélníková metoda výpočtu obsahu aurikulární plochy nezkrsluje výsledky, pak při srovnání s reálnými hodnotami bude odchylka minimální.
3. Pokud byla velikost *facies auricularis* v evoluci ovlivňována pouze tělesnou velikostí, pak bude u fosilních homininů vykazovat stejnou závislost na tělesné velikosti jako u moderního člověka.

5. Materiál

V této práci používáme odlitky posteriorní části kyčelní kosti se zachycenou *facies auricularis*. Za prvé se jedná o odlitky anatomicky moderního člověka ze dvou kolekcí identifikovaných jedinců (Spitalfields, BMNH Londýn, Velká Británie, a Coimbra, Univerzita Coimbra, Portugalsko). Za druhé jde o odlitky fosilních homininů. Tyto odlitky pocházejí z osteotéky Antropologické laboratoře Univerzity v Bordeaux (A3P, UMR 5981 CNRS, PACEA, Université Bordeaux).

5. 1. Kosterní sbírky Spitalfields a Coimbra

Kosterní sbírky Spitalfields a Coimbra obsahují osteologický materiál jedinců pohřbených na tamních hřbitovech. Obě sbírky jsou podloženy sociodemografickými údaji o zemřelých lidech jako pohlaví, věk, parita, socioekonomický status a další, které jsou zjištěny z rakví a matrik. Tím je umožněno detailní antropologické zkoumání těchto populací a provádění nejrůznějších analýz. Materiál ze Spitalfields pochází z londýnského hřbitova z období od 18. do 19. století (Molleson and Cox, 1993). Kolekce z portugalské Coimby začala vznikat koncem 19. století a obsahuje jedince zemřelé v období 19. až 20. století (Rocha, 1995).

V této práci byly použity otisky sakropelvické části kyčelní kosti, které byly vyrobeny z lékařského silikonu. Tento materiál má krátkou vytvrzovací dobu, po které je otisk dostatečně tuhý pro věrné zachycení tvaru při odlévání pozitivu, ale zároveň je dostatečně elastický pro vyjmutí odlitku. Z těchto otisků byly školitelem zhotoveny pozitivní sádrové odlitky, které byly obarveny do odstínu hnědi odpovídající kostem. Celkový počet odlitků z obou kolekcí je 107, z nichž 20 je párových (tzn. od stejného jedince). Od různých jedinců tedy pochází 97 odlitků *facies auricularis* z pravé nebo levé kyčelní kosti. Párové odlitky byly použity pouze k otestování symetrie.

Pro vlastní analýzu pohlavního dimorfismu byly z těchto párů vybrány jen odlitky z levé strany. Soubor tak čítal 79 levostranných a 18 pravostranných odlitků *facies auricularis*. Pohlaví bylo známo u všech jedinců – 42 žen a 55 mužů. Bylo zaručeno školitelem, že se jedná jen o dospělé jedince, ovšem přesný věk byl znám u 82 z nich. Zastoupení podle pohlaví a věku je uvedeno v Tab. 8.

Tab. 8: Zastoupení souboru podle kolekce, pohlaví a věku.

Kolekce	Pohlaví	19-29 let	30-49 let	nad 50 let	Celkem
Coimbra	F	3	6	9	18
	M	3	11	17	31
	Všichni	6	17	26	49
Spitalfields	F	5	7	11	23
	M	0	2	8	10
	Všichni	5	9	19	33
Celkem		11	26	45	82

5. 2. Odlitky fosilií

V evoluční části diplomové práce byly zkoumány odlitky fosilních pánevních kostí 8 fosilních homininů: AL 288-1, Sts 14, SK 3155, KNM WT 15000, OH 28, E 719, Kebara 2, Neandertal 1 (informace o fosilních nálezech a bibliografie viz Tab. 9).

Nálezy AL 288-1 (*A. afarensis*) a Sts 14 (*A. africanus*) představují gracilní zástupce rodu *Australopithecus*. AL 288-1 z východní Afriky obsahuje téměř celou pánev (Johanson et al., 1982). Ta je ovšem poškozena a v posteriorní oblasti pánevní kosti se nachází mírná deformace. I přesto byly hlavní linie aurikulární plochy rekonstruovatelné (Johanson et al., 1982).

Sts 14 byl nejprve považován za dospělého jedince ženského pohlaví (Broom and Robinson, 1950). V současnosti je uváděno, že se může naopak jednat o adolescenta mužského pohlaví (Gommery and Thackeray, 2006). Určení pohlaví u australopitéků je velmi nejisté, protože se u nich nevyskytoval stejný pohlavní dimorfismus jako u moderního člověka (Hausler and Schmid, 1995), a tak nelze bez výhrad uplatňovat stejná kritéria. Za významný rozlišovací znak se považuje míra rozvoje *spina iliaca anterior inferior*, který je zvýrazněn při bipední lokomoci a měl by reflektovat rozdíly v robustnosti těla mezi pohlavími (Gommery and Thackeray, 2006). Pánevní kost Sts 14 je však velmi malá, srovnatelné velikosti jako AL 288-1, a odhadovaná hmotnost tohoto jedince je nízká. Někteří tuto malou velikost vysvětlují tím, že tento mužský jedinec byl ještě nedospělý (Gommery and Thackeray, 2006). Ovšem všechny tři části pánevní kosti jsou již srostlé, takže by již nemohlo dojít k výraznému zvětšení.

SK 3155 (*P. robustus*) pocházejí z jižní Afriky, avšak SK 3155 je považován za robustní formu australopitecíků, jehož robustnost se týká především kraniálního skeletu. Jedná se o nedospělého jedince, který neměl plně srostlou pánevní kost, což je dochováno v podobě fisur vedoucích od acetabula. Stav maturace odpovídá 12-16letému současnému

člověku (McHenry, 1975). Pánevní kost je srovnatelné velikosti jako předchozí dvě fosílie, ovšem není ještě plně srostlá, takže v dospělosti mohla dosáhnout větší velikosti. Aurikulární plocha je mimořádně dobře zachována.

Další fosílie tohoto evolučního souboru patří již do rodu *Homo*. Dva z nich (KNM WT 15000, OH 28) jsou představitelé druhu *H. ergaster*, který se nacházel pouze na území Afriky. U tohoto druhu došlo ke zvětšení mozkové kapacity, ale zároveň i ke zvětšení jeho tělesné velikosti. Svou postkraniální kostrou se již velmi podobá anatomicky modernímu člověku a jedná se zřejmě o prvního hominina s výlučně bipední lokomocí (McHenry, 1994). Pánevní kosti obou těchto jedinců si jsou velmi podobné (Brown et al., 1985).

KNM WT 15000 pochází ze západního břehu Rudolfova jezera v Keni. Jedná se o téměř kompletní kostru nedospělého jedince mužského pohlaví, jenž obsahuje obě pánevní kosti, které byly rekonstruovány (Walker and Leakey, 1993). Jednalo se o jedince s ještě zachovanými chrupavčitými spoji mezi kyčelní, stydkou a sedací kostí (Walker and Leakey, 1993), což znamená, že pravděpodobně ještě nedosáhl své finální tělesné velikosti. Aurikulární plocha je velmi otřelá a tudíž slabě rozpoznatelná. Existuje také nejistota nad věrností rekonstrukce SIJ (Tardieu et al., 2013).

Fragment levé pánevní kosti OH 28 byl nalezen spolu se střední částí femuru. Aurikulární plocha je dobře zřetelná, ale stydká kost chybí, což neumožňuje jasnou pohlavní diagnózu. Celkově je totiž pánevní kost robustní s velkým acetabulem, na druhou stranu však vykazuje široký velký sedací zářez a tupý úhel aurikulární plochy, podle čehož se přisuzuje OH 28 spíše ženské pohlaví (Day, 1971).

Nejasnou pozici má v evoluci nález pánevní kosti E 719 z bývalé Severní Rhodesie (dnešní Zambie). Na stejné lokalitě mu totiž předcházela objev, který je označován jako *H. rhodesiensis* nebo jako archaický *H. sapiens*. Tento druh byl definován podle lebky, ke které ovšem pánevní fragment E 719 nelze přímo přiřadit a tak byl diskutován jeho moderní původ (Pycraft et al., 1928; Stringer, 1986). Kvůli velké velikosti a robusticitě se však nedaří zařadit tuto pánevní kost do variability anatomicky moderního člověka a navíc vykazuje podobné znaky s *H. ergaster* (Stringer, 1986). Z toho důvodu je v některých současných studiích zařazen do naposledy zmíněného druhu (Ruff, 2010). Povrch *facies auricularis* je obroušený (Pycraft et al., 1928), ale obvod plochy více méně lze vysledovat, protože obrus subchondrální kosti jej zcela nesmazal.

Poslední dvě nejmladší fosílie patří mezi neandertálce (*H. neanderthalensis*), kteří tvořili postranní linii, jež se od linie vedoucí k anatomicky modernímu člověku oddělila

podle různých teorií asi před 600-400 tisíci lety (Hublin, 2009). Neandertal 1 (neboli Feldhoffer 1) je holotypem tohoto druhu a jedinec Kebara 2 obsahuje zatím nejkompletnější nález pánve (Rak and Arensburg, 1987). Oba tyto nálezy se podílely na rekonstrukci neandertálské pánve (Sawyer and Maley, 2005).

Studium archeologického kosterního materiálu je vždy omezeno jeho zachovalostí, která je u fosilního materiálu starého i několik milionů let ještě nepříznivější. Nálezy jsou nekompletní a během doby, po kterou jsou překryty půdou, navíc podstupují distorzi, takže neporušené nálezy jsou spíše vzácností. Poškozené a nekompletní nálezy jsou tak často rekonstruovány. Každá rekonstrukce je však založena na několika počátečních předpokladech (např. pohlaví, druhová afinita, tafonomie), které následně ovlivňují proces rekonstrukce a tím i její výsledek (Gunz et al., 2009). Proto je nutné brát v úvahu možnou nepřesnost vzniklou při tomto procesu a výsledky studia tohoto materiálu interpretovat opatrně.

Tab. 9: Přehled fosilních nálezů použitých v této práci

Název	Druh	Místo a rok nálezů	Stáří (mil. let)	Strana	Odhad pohlaví	Srůst pánevní kosti
AL 288-1	A. afarensis	Etiopie, 1974	3,2	L	F	Ano
Sts 14	A. africanus	JAR, 1947	2,5	P	?	Ano
SK 3155	P. robustus	JAR, 1970	1,6	P	F	Ne
WT 15000	H. ergaster	Keňa, 1984	1,6	P	M	Ne
OH 28	H. ergaster	Tanzanie, 1970	0,5	L	F	Ano
E 719	H. rhodesiensis	Zambie, 1921	0,25	P	?	Ano
Kebara 2	H. neanderthalensis	Izrael, 1983	0,055	P	M	Ano
Neandertal 1	H. neanderthalensis	Německo, 1856	0,04	L	M	Ano

P, L = pravá, levá; F, M = žena, muž; odhad věku v rocích.

Zdroje: AL 288-1 (Johanson et al., 1982; Walter, 1994), Sts 14 (Broom and Robinson, 1950; Schwarcz et al., 1994; Gommery and Thackeray, 2006), SK 3155 (McHenry, 1975; Curnoe et al., 2001), WT 15000 (Walker and Leakey, 1993), OH 28 (Day, 1971; Leakey, 1971; Hay, 1976; Stringer, 1986), E 719 (Pycraft et al., 1928; Stringer, 1986; Millard, 2008; Ruff, 2010), Kebara 2 (Rak and Arensburg, 1987; Millard, 2008; Tillier et al., 2008), Neandertal 1 (Schmitz et al., 2002).

6. Metody

6. 1. Pořízení a zpracování fotografií

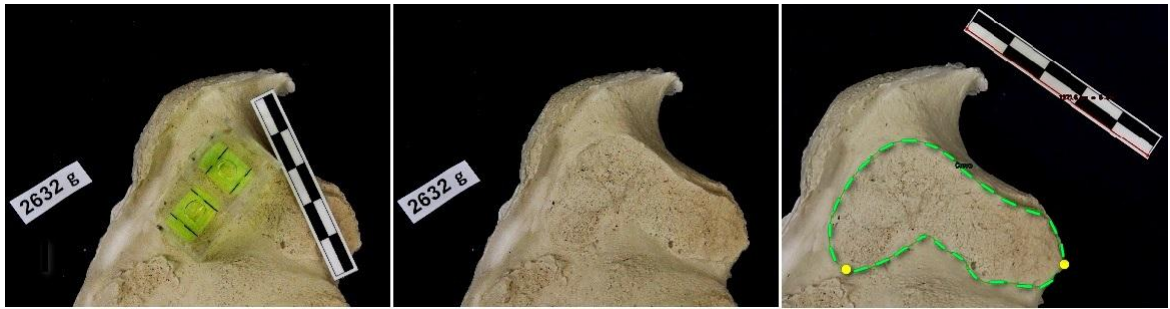
6. 1. 1. Pořízení fotografií

Fotografie odlitek *facies auricularis* byly pořízeny fotoaparátem značky Canon EOS 600D s objektivem 18-55 mm. Čas expozice byl nastaven na automatický, odchylka expozice -0,33 EV, clona 5,6 F, ISO automatické, ohnisková vzdálenost 55 mm. Fotoaparát byl uchycen na stativu s ohniskovou rovinou ve výšce 60 cm nad povrchem písku v nádobce, ve které ležel fotografovaný odlitek ve standardizované poloze. Té bylo dosaženo pomocí malé, 3 cm dlouhé a 1,5 cm široké vodováhy. Ta byla položena na kraniální rameno podél jeho osy od vrcholu ramene k apexu. Všechny odlitky tak byly snímány v poloze, kdy plocha jejich kraniálního ramene byla ve vodorovné rovině. Kraniální rameno bylo vybráno proto, že má většinou méně výrazný reliéf než rameno kaudální. Nejdříve byl pořízen snímek s vodováhou a 5cm měřítkem a po jejich odstranění snímek samotné aurikulární plochy. V programu Photoshop CS6 pak bylo měřítko přesunuto na druhou fotografii vedle vyfotografovaného odlitku, aby bylo možné zjistit obsah aurikulární plochy.

6. 1. 2. Morfometrické zpracování fotografií

Vyznačení obvodu plochy. Fotografie ve formátu jpg byly dále zpracovány v programu Morphome3cs (Dupej et al., 2015). Jelikož aurikulární plocha není dostatečně výrazná, bylo nutné její obvod vyznačit ručně pomocí křivky, jejíž tvar se může v určitých bodech měnit nastavením směru tečny v tomto bodě. Na křivku byly dále umístěny dva (geometrické) landmarky 2. typu (Bookstein, 1991) na vrcholy ramen (Obr. 9). Tyto dva význačné body sloužily pouze k nastavení správné orientace vzniklých křivek, protože objekty byly v dost všeobecných pozicích, co se týče směřování obou ramen plochy. Nebylo tedy nutné, aby byly landmarky umístěny přesně na stejné místo, protože jejich funkce byla pouze orientační a jejich souřadnice dále nebyly zařazeny v následných analýzách.

Jelikož soubor obsahoval odlitky pravé i levé pánevní kosti, některé křivky byly před umístěním sliding semilandmarks osově převráceny. Levostranných odlitek bylo více, a tak stranové převrácení podstoupily křivky od pravostranných odlitek.



Obr. 9: První dva snímky ilustrují pozici odlitku při fotografování. Na třetím snímku je patrný obrys plochy vyznačený v programu Morphome3cs.

Sliding semilandmarks. Tímto byly fotografie připraveny pro vložení tzv. křivkových sliding semilandmarks. Semilandmarky jsou uměle vložené body na křivce či povrchu, jejichž pozice není anatomicky definována a jsou tak vhodné pro studium struktur, které neobsahují klasické landmarky nebo jich obsahují málo pro dostatečné zachycení tvaru struktury. Semilandmarky se tak stávají ideálním nástrojem pro studium kloubních ploch (Harcourt-smith et al., 2008). Nejprve bylo 20 semilandmarků umístěno ve stejných vzdálenostech na vyznačenou křivku aurikulární plochy. Následně bylo umožněno semilandmarkům změnit svou pozici sklouznutím po křivce. Tento proces může vycházet ze dvou alternativních metod, které jsou založeny buď na minimalizaci deformační energie (bending energy) nebo minimalizaci procrustovské vzdálenosti. V této práci byla použita druhá metoda, při které semilandmarky mění svou pozici za minimalizace procrustovské vzdálenosti mezi souřadnicemi tvaru každého objektu a průměrného tvaru. Tímto semilandmarky zaujmou pozice, které jsou homologické mezi všemi studovanými objekty. Nejedná se však o biologicky homologické nýbrž o geometricky homologické pozice (Gunz and Mitteroecker, 2013).

Pomocí měřítka na fotografii bylo možné převést pixely tvořící vnitřek plochy ohraničený křivkou na plošnou míru, čímž jsme získali obsah aurikulární plochy.

Procrustovská analýza. Další postup vedoucí k analýze tvaru je již stejný jako se souřadnicemi pevných bodů (landmarků). Souřadnice objektů podstupují obecnou procrustovskou analýzu (GPA = Generalized Procrustes Analysis). Jedná se o jednu z metod vstupní registrace, která od sebe odděluje složku velikosti a tvaru, které dohromady tvoří formu objektu. Během této analýzy je tak odstraněn vliv rozdílné pozice, velikosti a orientace lineárními operacemi, které nemění tvar objektu. Tyto operace lze rozdělit do tří po sobě jdoucích kroků (Zelditch et al., 2004):

1. Posun všech objektů do stejného místa souřadné soustavy je zajištěn odečtením souřadnic středu objektu od souřadnic každého bodu příslušného objektu. Střed objektu se označuje jako centroid a je vyjádřen průměrnou x-ovou a y-ovou souřadnicí každého objektu. Touto operací jsou všechny objekty přesunuty svým středem do počátku souřadné soustavy a konfigurace ostatních bodů objektu vlastně vyjadřují odchylku od svého středu.
2. Následně jsou všechny objekty převedeny na jednotnou velikost, která je vyjádřena pomocí tzv. centroid size (CS). Ta je vypočítána jako odmocnina ze součtu vzdáleností jednotlivých bodů od centroidu objektu umocněných na druhou. Jelikož centroid byl v prvním kroku přesunut do souřadnic [0,0], lze výpočet CS zapsat takto:

$$CS = \sqrt{\sum(x_i^2 + y_i^2)}$$

3. Posun objektu neovlivňuje velikost CS. Vydělíme-li souřadnice objektu jeho velikostí, zajistíme převod všech objektů na jednotnou CS bez změny tvaru. Rotace objektů probíhá za minimalizace součtu vzdáleností umocněných na druhou mezi homologickými landmarky dvou objektů (least squares method = metoda nejmenších čtverců). Pokud je soubor tvořen více jak dvěma objekty, je vybrán jeden konsensuální objekt, od něhož jsou spočítány všechny vzdálenosti s ostatními objekty. Celý proces je opakován v několika kolech. V prvním kole je jako konsensuální objekt brán první objekt souboru. Po rotaci je vypočten průměrný tvar všech objektů a celý proces se opakuje, dokud není průměrný tvar shodný s konsensuálním tvarem.

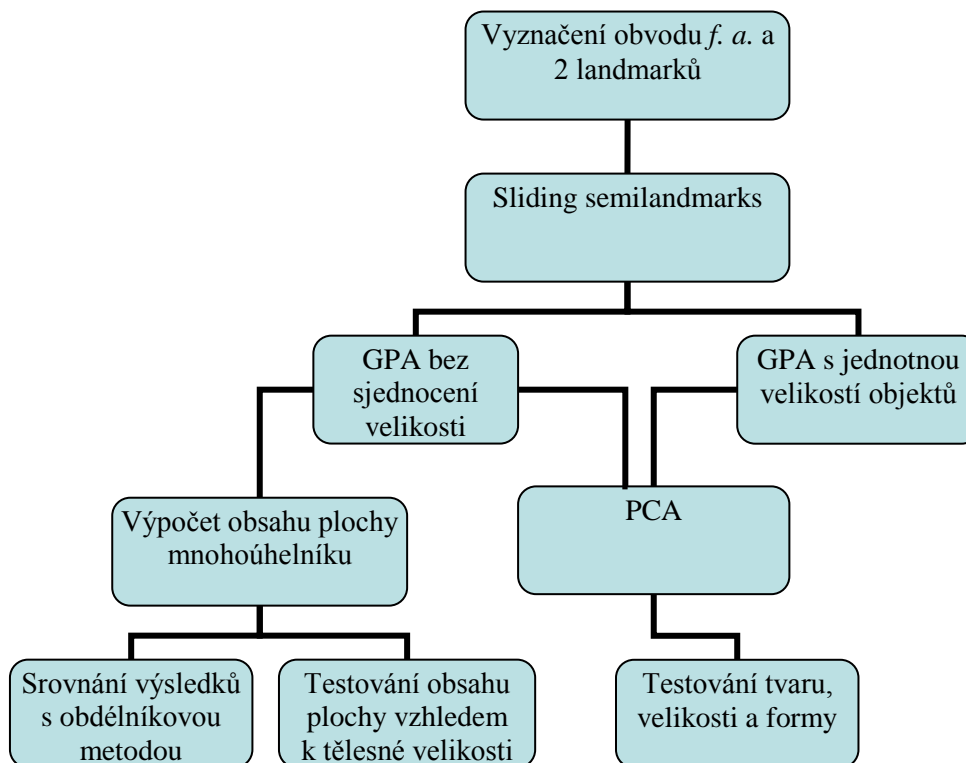
Pokud analýza zahrnuje všechny tyto kroky, jsou odfiltrovány nežádoucí vlivy rozdílné pozice, velikosti a orientace a následně je testován pouze tvar. Informace o velikosti může být zachována v podobě CS každého objektu a lze tak testovat alometrické změny tvaru. Při testování tvaru i velikosti zároveň (formy) je při GPA vynechán druhý krok a odlišná velikost objektů je tak zachována.

Analýza hlavních komponent. (podle Zelditch et al., 2004) Výsledné souřadnice (semi)landmarků nesou komplexní informaci o variabilitě studovaného souboru, kterou nelze přímo snadno interpretovat. Proto je výhodné souřadnice bodů dále podrobit analýze hlavních komponent (PCA = Principal Component Analysis), která patří mezi tzv.

ordinační metody. Tento typ metod zjednodušuje variabilitu mezi jedinci souboru, a proto se používá před testováním jednotlivých hypotéz.

Během PCA jsou vyhledány hlavní směry variability souboru, tzv. hlavní komponenty (PC), které jsou na sebe navzájem kolmé. PC jsou lineárními kombinacemi původních proměnných (souřadnic bodů), ale navzájem jsou nezávislé. Reflektují korelaci původních proměnných, což umožňuje následné zkoumání faktorů, které tuto shodu způsobují. Navíc k následnému testování lze vybrat pouze nejvýznamnější PC, které vysvětlují většinu variability, a zbavit se tak nežádoucího šumu. Předpokládá se, že pouze PC se vlivem větším než 5 % mají nějaký biologický význam.

Hlavní komponenty tvoří vlastně nový souřadný systém, podle kterého je každému objektu přiřazeno u každé komponenty zvláštní PCA skóre. Pozice objektů v původním souřadném systému se nijak nezměnila, pouze je na ni nahlíženo z odlišné perspektivy. Dále lze testovat, zda určitá komponenta odpovídá vlivu nějaké kategorické (např. pohlaví) nebo spojité (např. věk) proměnné užitím běžných statistických testů.



Obr. 10: Organigram postupu zpracování dat.

6. 1. 3. Intraobservační chyba vkládání semilandmarků

Existuje několik způsobů, jak ohodnotit chybu vkládání význačných bodů, ovšem některé z nich podávají mírně zkreslené výsledky, další jsou zase aplikovatelné pouze na landmarky 1. typu nebo kombinace s 2. a 3. typem (von Cramon-Taubadel et al., 2007). U datového souboru složeného pouze ze semilandmarků tak lze použít pouze metodu, která zahrnuje vstupní registraci všech semilandmarků pomocí GPA. Během GPA přitom dochází k rotaci objektů na základě metody nejmenších čtverců, kdy je minimalizován součet vzdáleností mezi homologickými landmarky. Při této operaci tak zároveň dochází ke zkreslení rozptylu jednotlivých (semi)landmarků, protože se uplatňuje tzv. Pinocchio efekt, kdy se větší rozptyl některých nepřesně lokalizovatelných bodů rozloží i na ostatní landmarky (von Cramon-Taubadel et al., 2007). Jelikož odchylku od průměrné pozice bodu nelze vyjádřit relativně, udává se její hodnota v mm.

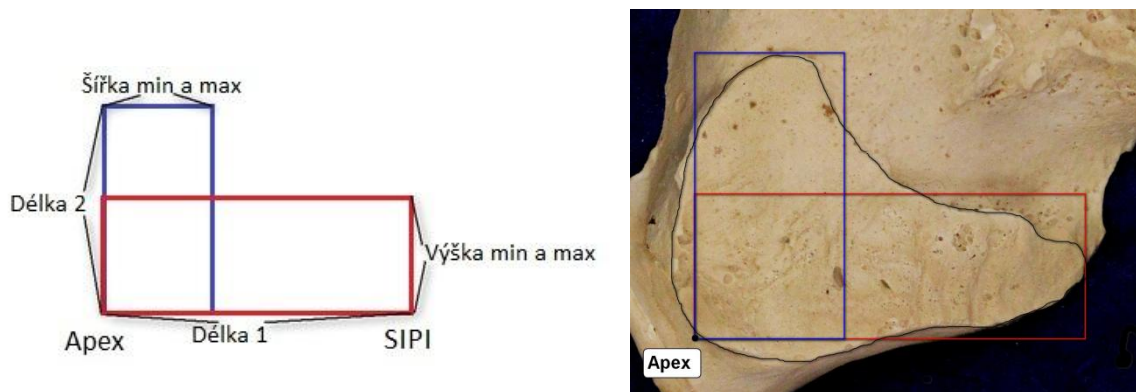
K vyhodnocení této intraobservační chyby byly vyfoceny 4 odlitky (s identifikačními čísly 2070g, 2098d, 2368d, 2464d) při třech nezávislých pokusech. To vyžadovalo pokaždé odlitek umístit do standardizované polohy pomocí vodováhy. Následně byly fotografie zpracovány stejným postupem jako v kapitole 6. 1. až do umístění semilandmarků a provedení GPA. Byla porovnána pozice homologických semilandmarků u stejných jedinců a odchylka byla vyjádřena průměrnou vzdáleností mezi homologickými landmarky u všech čtyř jedinců. Pro lepší představu byla průměrná odchylka vztažena k průměrné délce kraniálního a kaudálního ramene těchto čtyř jedinců.

6. 2. Obdélníková metoda

Pro ověření obdélníkové metody výpočtu obsahu aurikulární plochy byly změřeny následující rozměry na této ploše. Definice pocházejí z Reed a Churchill (2013).

1. Délka kaudálního ramene od apexu ke *spina iliaca posterior inferior* (d_1).
2. Délka kraniálního ramene od apexu k nejvzdálenějšímu bodu tohoto ramene (d_2).
3. Minimální a maximální výška kaudálního ramene (průměrná výška = v).
4. Minimální a maximální šířka kraniálního ramene (průměrná šířka = \bar{s}).

Na Obr. 11 je schematické znázornění těchto rozměrů. Rozměry jsou současně ilustrovány na náhodně vybrané aurikulární ploše, přičemž je patrné zjednodušení tvaru plochy.



Obr. 11: Rozměry *facies auricularis* použité v obdélníkové metodě (převzato a upraveno z Reed a Churchill, 2013).

Modře je vyznačeno kraniální rameno, červeně kaudální rameno. SIPI = *spina iliaca posterior inferior*.

Výše popsané rozměry byly změřeny pomocí digitálního posuvného měřítka s přesností na desetinu milimetru. Pro výpočet obsahu aurikulární plochy použijeme názvy proměnných, které jsou uvedeny u definic rozměrů (d_1 , d_2 , v , $š$). Průměrnou šířku a výšku získáme zprůměrováním hodnot maximální a minimální šířky, respektive výšky. Vzorec pro výpočet obsahu *facies auricularis* je následující:

$$S = d_1 v + d_2 š - š v$$

Výsledky získané touto metodou byly porovnány s hodnotami obsahu plochy ohraničené 20 semilandmarky pomocí softwaru Morphome3cs.

6. 2. 1. Intraobservační chyba měření rozměrů *facies auricularis*

K vyhodnocení intraobservační chyby měření rozměrů *facies auricularis* byly všechny rozměry na každém odlitku změřeny dvakrát. Dále byla vypočtena průměrná hodnota rozměru. Odečtením změřené hodnoty od průměru jsme získali průměrnou odchylku, která byla převedena na procentuální odchylku.

Výsledný obsah plochy byl vypočten zvlášť z hodnot naměřených při prvním a druhém pokusu a z průměrných hodnot. Dále byla vyhodnocena průměrná a procentuální odchylka stejným způsobem jako u jednotlivých rozměrů.

6. 3. Analýza velikosti *facies auricularis*

Abychom mohli studovat relativní velikost aurikulární plochy vzhledem k tělesné velikosti a následně porovnat hodnoty fosílií s AMH, musíme použít určitý indikátor tělesné velikosti. V této práci tělesnou velikost vyjadřujeme vertikálním průměrem

acetabula (VEAC = vertical acetabular diameter) a šířkou kyčelní kosti (IB = iliac breadth). Kyčelní kloub je velmi zatěžované kloubní spojení, a proto jsou jeho rozměry často používány k výpočtu odhadu hmotnosti tzv. mechanickou metodou. Klouby jsou přitom méně ovlivněny tělesnou aktivitou vykonanou během života a reflektují tak spíše rozdíly v tělesné velikosti (Ruff, 1988). Existuje několik takových rovnic, které jsou vypracovány na různých referenčních populacích, které se liší tělesnou velikostí jedinců (Ruff, 1991; McHenry, 1992; Grine et al., 1995). V rovnicích figuruje vertikální průměr femorální hlavice, který však velmi silně koreluje s analogickou šířkou acetabula ($r = 0,97$) (Ruff, 2010), a tak tělesnou velikost vyjadřujeme tímto rozměrem, protože máme tyto hodnoty k dispozici. Jelikož jsou tyto dva rozměry v lineárním vztahu, nebylo třeba přepočítávat acetabulární šířku na šířku femorální hlavice.

V některých evolučních studiích se však setkáváme i s rozměrem IB jako indikátorem tělesné velikosti, a to zejména při absenci rozměru VEAC u daných fosílií (Kibii et al., 2011; Reed and Churchill, 2013). V našem fosilním souboru jsou zachované oba rozměry u všech jedinců. Proto můžeme použít oba a zjistit, zda dávají oba postupy shodné výsledky.

U většiny fosílií byl alespoň jeden z rozměrů vyhledán v literatuře. Rozměry, které se nepodařilo dohledat, byly změřeny na odlitku fosílie. Měřeno bylo posuvným měřítkem s přesností na 0,5 mm. Vertikální šířka acetabula i iliakální šířka byly na recentním souboru již dříve změřeny školitelem přímo na pánevních kostech. VEAC byl zachován, a tudíž ho bylo možné změřit, u 93 jedinců (39 žen a 54 mužů), rozměr IB u 60 jedinců (38 žen a 22 mužů).

Intraobservační chyba měření rozměrů na odlitcích byla stanovena ze tří na sobě nezávislých měření.

Standardizace velikosti aurikulární plochy tělesnou velikostí byla provedena vydělením velikosti *facies auricularis*, získané výpočtem obsahu z mnohoúhelníku, rozměrem VEAC nebo IB (Kibii et al., 2011). Tím jsme získali hodnotu, která vyjadřuje relativní velikost aurikulární plochy vzhledem k tělesné velikosti. Takto získané hodnoty jsme následně mohli porovnávat.

6. 5. Statistické hodnocení dat

Testované proměnné. Statistické zpracování dat proběhlo v programech Microsoft Excel 2007, Morphome3cs, Statistica 12 a programu R 3.1.3. Tvar a forma jednotlivých

objektů byly reprezentovány skóre hlavních komponent z PCA analýzy. Statisticky byly testovány pouze hlavní komponenty s významným vlivem na variabilitu, jejichž počet se určuje z tzv. „scree plot“ grafu. Zařazeny jsou pouze PC z první strmé fáze grafu s největším významem. Následuje plochá fáze, ve které jsou obsaženy komponenty s minimálním příspěvkem, které se z dalších analýz vyřazují. Jelikož se počet zařazených odlišností do jednotlivých analýz lišil, protože u některých jedinců nebyly známy všechny parametry, lišil se mírně i počet PC. Počet testovaných PC i velikost souborů v jednotlivých analýzách jsou uvedeny v Příloze 1.

Dalšími proměnnými, které byly testovány, jsou centroid size, obsah aurikulární plochy získaný obdélníkovou metodou a výpočet obsahu mnohoúhelníku a průměr acetabula.

Dvouvýběrové a vícevýběrové testy. Při testování rozdílů mezi dvěma výběry bylo nejprve testováno normální rozdělení dat v obou výběrech zvlášť a podle výsledku byl následně vybrán vhodný statistický test. Normalita byla testována Shapiro-Wilk testem, jehož H_0 předpokládá normální rozdělení dat. Při potvrzení normality u obou výběrů byl použit Hotelling T-test, který porovnává průměrné hodnoty, popř. párový T-test při testování vlivu stranové příslušnosti. Pokud byla normalita vyvrácena, byla použita neparametrická forma Hotelling T-testu (Campbell and Curran, 2009) s 2000 permutacemi pro multivariační analýzu (více závisle proměnných). Při univariační analýze byl použit Studentův T-test.

Při testování více výběrů byl použit test (M)ANOVA (multivariate analysis of variance). Ke zjištění rozdílů mezi jednotlivými výběry byl použit post-hoc Tukey HSD test, který porovnává průměrné hodnoty všech možných dvojic výběrů.

Při testování vlivu jedné kategorické a jedné spojité proměnné byl použit test MANCOVA (multivariate analysis of covariate). Testuje se rozdíl průměrných hodnot závislé proměnné v daných výběrech za kontroly vlivu spojité proměnné, která vystupuje jako kovariát a může mít také vliv na testovanou proměnnou.

Nulová hypotéza H_0 dvouvýběrových i vícevýběrových testů je shoda mezi výběry (nepřítomnost rozdílů mezi výběry). Výsledky testů byly posuzovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Nulová hypotéza byla tedy zamítnuta při p-hodnotě $< 0,05$.

Lineární regrese. Závislost jedné kontinuální proměnné na druhé byla zjišťována pomocí lineární regrese. Míra závislosti byla vyjádřena Pearsonovým korelačním koeficientem, který nabývá hodnot v intervalu -1 až 1. Další charakteristikou je koeficient

determinace, který určuje, kolik variability se podařilo vysvětlit daným lineárním modelem.

Predikce pohlaví. Ke zjištění přesnosti klasifikace byla použita metoda Support Vector Machine (SVM) s radiálním jádrem (Cortes and Vapnik, 1995) a crossvalidacemi (leave-one-out), která testovala predikci pohlaví podle tvaru a formy. Parametry SVM byly nastaveny podle předvoleného nastavení v programu R¹. Algoritmus SVM odděluje soubory pomocí roviny za maximalizace vzdálenosti nejbližších objektů z obou souborů k této rovině. Použití radiálního jádra je vhodné na takové množiny, u kterých je jedna z nich vnořena do druhé. Nejprve dochází k deformaci prostoru, ve kterém se množiny nacházejí, takže je následně možné je od sebe oddělit lineárním oddělovačem.

¹ <http://cran.r-project.org/web/packages/e1071/e1071.pdf>

7. Výsledky

7. 1. Testování předpokladů

Nejprve byly testovány předpoklady nezávislosti tvaru a formy na stranové příslušnosti, věkové kategorii a populaci. Jak již bylo zmíněno, zkoumaný soubor recentního člověka se totiž skládal z odlišků *facies auricularis* z pravé i levé strany od jedinců různého věku ze dvou geograficky odlišných kosterních souborů Spitalfields a Coimbra. Výsledky těchto testování jsou uvedeny v Příloze 2 a 3.

Z analýzy rozdílů tvaru a formy mezi stranami, které byly testovány na dvaceti párových odliškách od deseti jedinců párovým T-testem s permutacemi, vyplývá, že mezi pravou a levou stranou nebyl prokázán výrazný rozdíl tvaru ani formy. Párovým T-testem byla testována také CS, která rovněž nevykazuje stranový rozdíl ve velikosti. Do následujících analýz tudíž mohly být zahrnuty všechny nepárové odlišky bez ohledu na stranovou příslušnost.

Nezávislost tvaru a formy na příslušnosti k populaci (či osteologické kolekci) byla ověřena permutačním testem. Nebyl odhalen statisticky významný rozdíl mezi populacemi ze Spitalfields a Coimbry. Stejně tak CS nevykazuje významný mezipopulační rozdíl, tudíž byly do analýzy vlivu pohlaví zahrnuty oba soubory.

Testování vlivu věku bylo provedeno testem MANCOVA u tvaru a formy, resp. testem ANCOVA u CS. Věk vystupoval jako spojitá proměnná. Bylo potvrzeno, že tvar ani forma nejsou signifikantně ovlivněny věkem. Při testování CS se však projevil slabě významný vliv věku u žen, u mužů nikoli. Vliv věku na CS byl ještě otestován testem ANOVA, ve kterém byl testován rozdíl mezi třemi věkovými kategoriemi (19-29, 30-49 a nad 50 let). Mezi takto zvolenými kategoriemi však nebyl odhalen žádný významný rozdíl, a to ani při testování rozdílů mezi dvojicemi kategorií. Vliv pohlaví na CS však byl následně testován s ohledem na výše uvedené výsledky za kontroly vlivu věku.

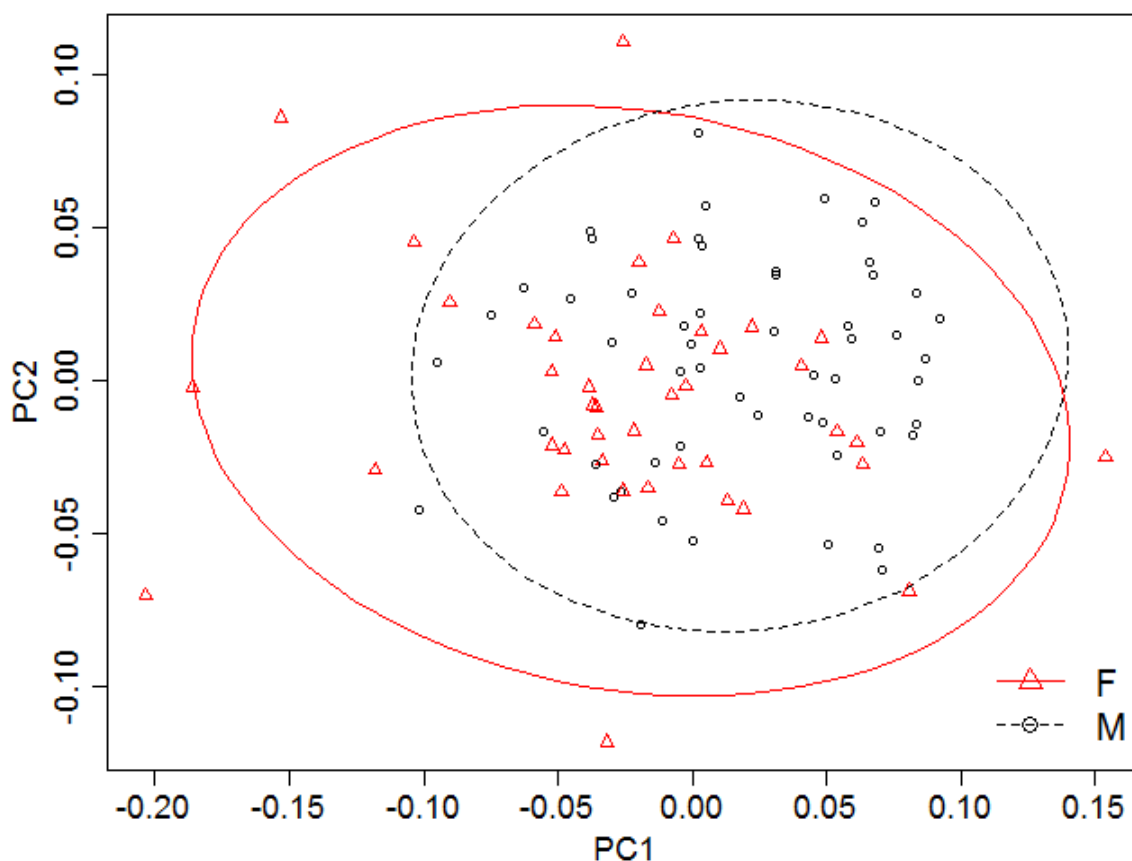
7. 2. Pohlavní dimorfismus *facies auricularis*

7. 2. 1. Intraobservační chyba vkládání semilandmarků

Průměrná vzdálenost mezi homologickými semilandmarky mezi opakovanými měřeními čtyř stejných objektů je 0,79 mm. To tvoří 2 % průměrné délky kraniálního ramene a 1,7 % délky kaudálního ramene.

7. 2. 2. Tvarový pohlavní dimorfismus

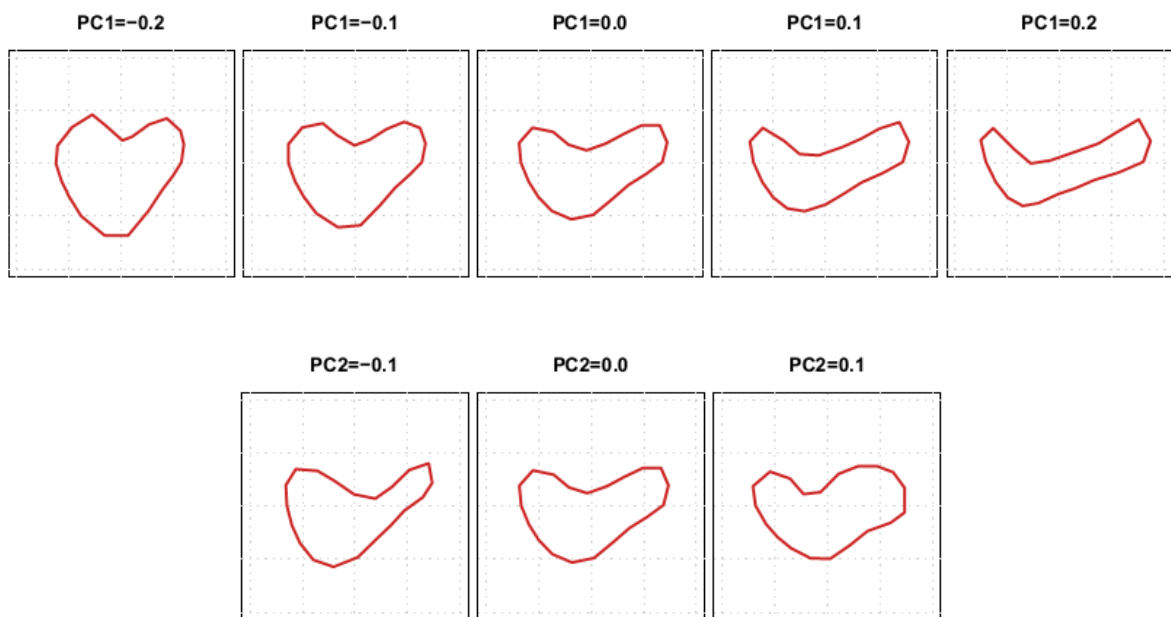
Nejprve byla provedena multivariační analýza vlivu pohlaví na prvních 5 PC, které dohromady pojímají 65 % tvarové variability a popisují tak významnou část variability souboru. Permutační Hotelling T-test odhalil signifikantní rozdíly ve tvaru mezi muži a ženami ($p = 0,0035$) (Příloha 2). Na grafu 1. a 2. hlavní komponenty (Obr. 12) je patrné, že se obě množiny značně překrývají, ale jejich středy se odlišují, a to především ve směru první komponenty. Skóre PC1 dosahují hodnot přibližně v intervalu od -0,2 do 0,15. Hodnoty mužů jsou posunuty ke kladným hodnotám, ženské hodnoty směřují mírně k záporným hodnotám. Muži zároveň tvoří kompaktnější shluk oproti ženám, u kterých je zřejmá větší tvarová variabilita.



Obr. 12: Graf hodnot PC1 a PC2 tvaru pro muže (M) a ženy (F).

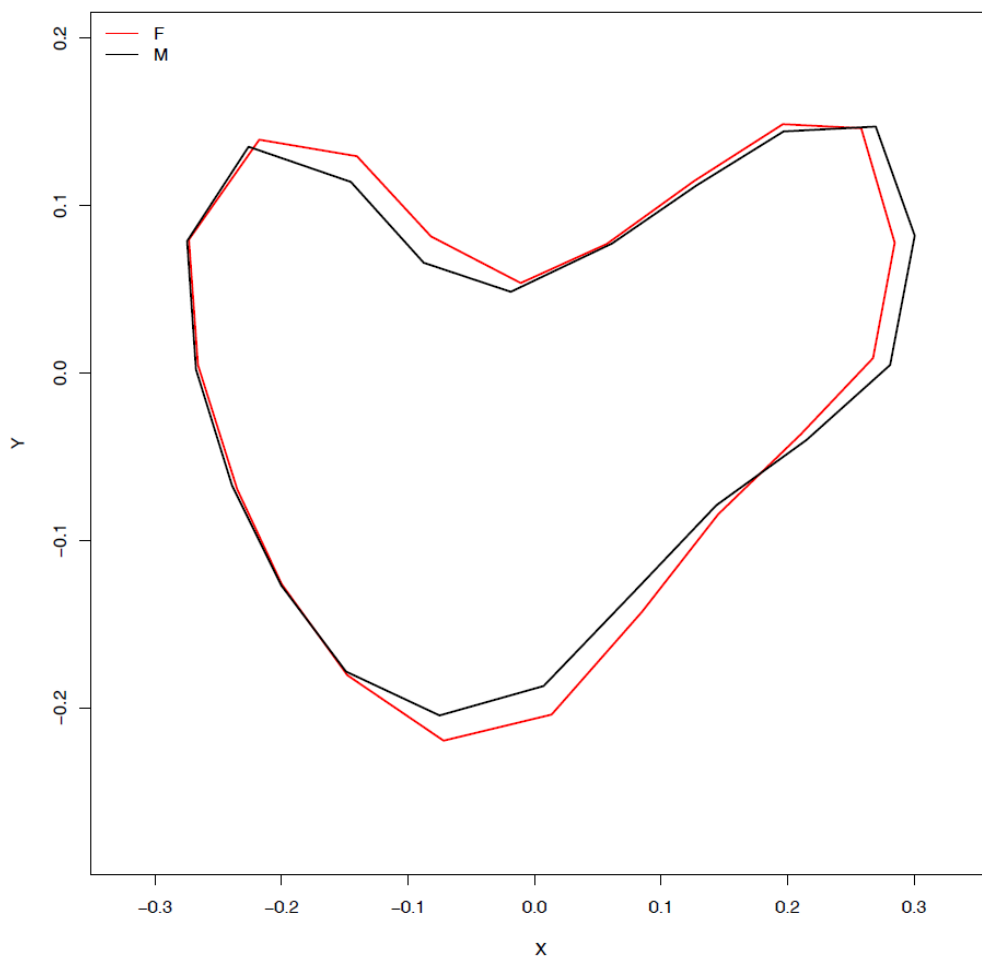
Morfologické změny, které jsou způsobeny jednotlivými komponentami, můžeme popsat následovně. První komponenta většinou popisuje komplexní změny velikosti objektu. S kladnými hodnotami PC1, ke kterým tíhnou mužští jedinci, se kaudální rameno

prodlužuje, kraniální rameno se zkracuje a obě ramena se zužují. Naopak se zápornými hodnotami PC1, které jsou častěji u žen, se kaudální rameno zkracuje, kraniální rameno se prodlužuje, obě ramena se rozšiřují a zároveň s tím se zvětšuje šířka v oblasti apexu aurikulární plochy. PC2 mění především šířku kaudálního ramene, PC3 mění polohu nejhlubšího bodu v dorzální konkavitě aurikulární plochy a s PC4 se mírně mění délka kraniálního ramene. PC2 až PC4 však již nevykazují pohlavní dimorfismus a popisují tak spíše interindividuální variabilitu.



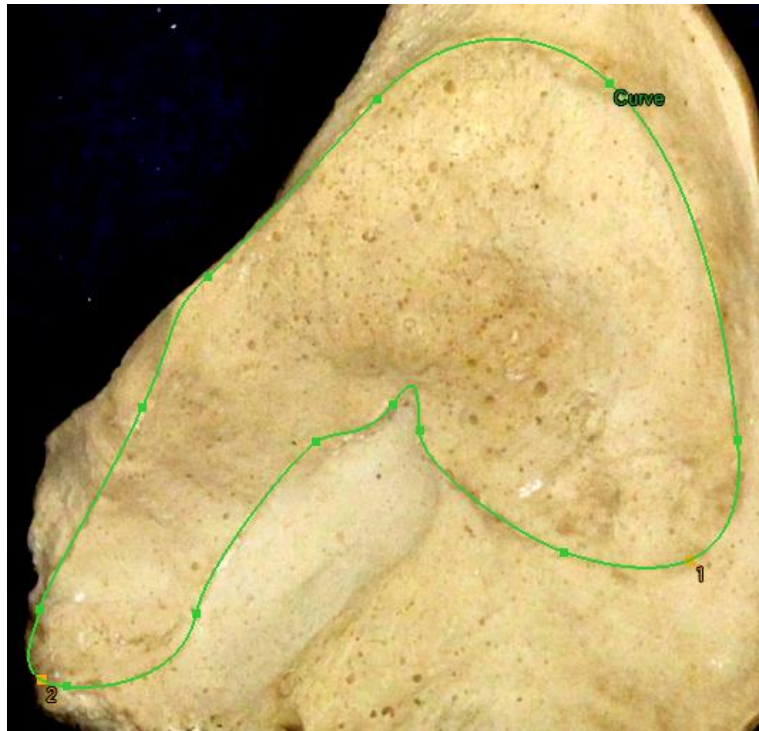
Obr. 13: Morfologické změny tvaru způsobené PC1 a PC2 od průměrného tvaru [0,0] ke kladným a záporným hodnotám.

Pohlavně dimorfní tvarové změny aurikulární plochy vyjadřuje především PC1 s hodnotami u žen spíše negativními a u mužů spíše pozitivními. Na Grafu 1 je však patrný velký překryv hodnot i v rámci PC1. Proto při porovnání průměrných tvarů muže a ženy pouhým okem není patrný velký rozdíl (Obr. 14), přesto je však statisticky významný. Průměrný ženský tvar je oproti průměrnému mužskému tvaru mírně širší v oblasti kraniálního ramene a úhlu aurikulární plochy. Kaudální rameno je pak u žen mírně kratší.



Obr. 14: Průměrný mužský (černě) a ženský (červeně) tvar *facies auricularis*.

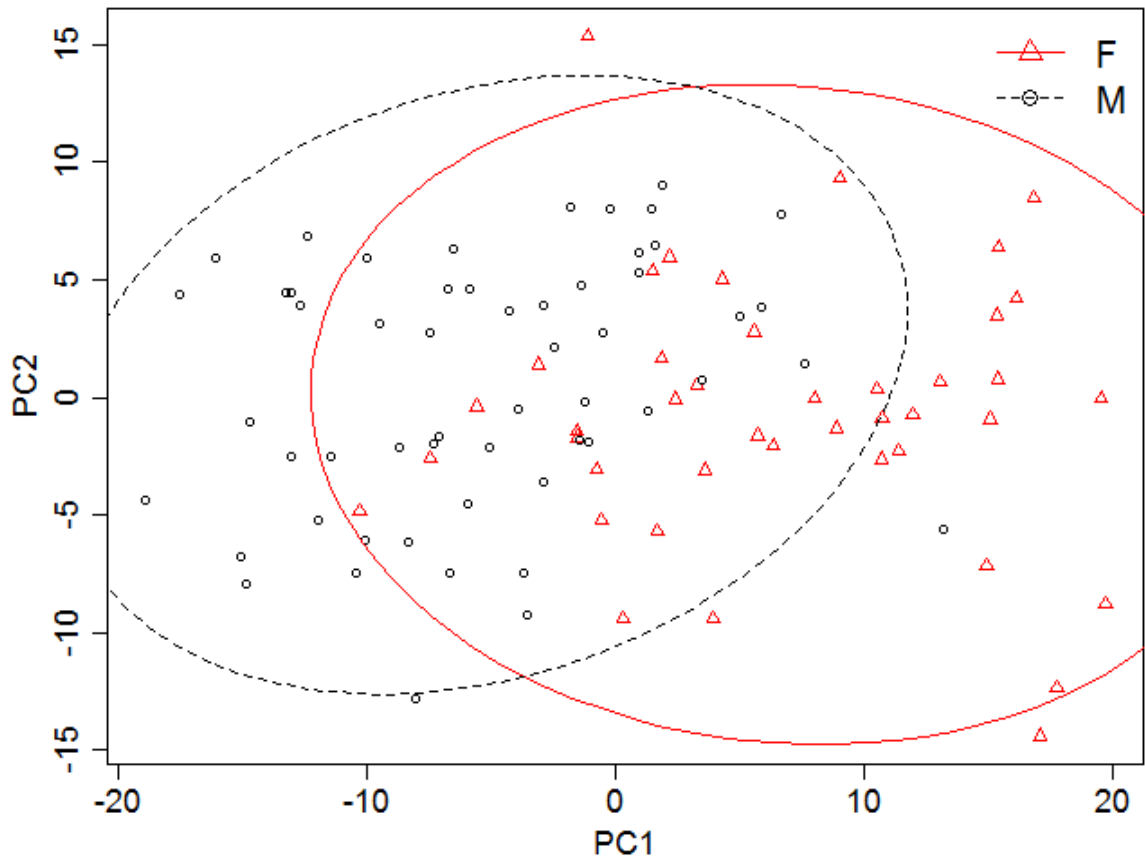
Odlehle hodnoty v Grafu 1 jsou především ženské *facies auricularis*, přitom se ve většině případů jedná o takové jedince, u kterých je šířka kraniálního a kaudálního ramene v nepoměru. Buď je šířka kaudálního ramene abnormálně větší než šířka kraniálního ramene nebo opačně, jako je tomu na Obr. 15.



Obr. 15: Abnormálně široké kraniální rameno oproti kaudálnímu ramenu (S2708d).

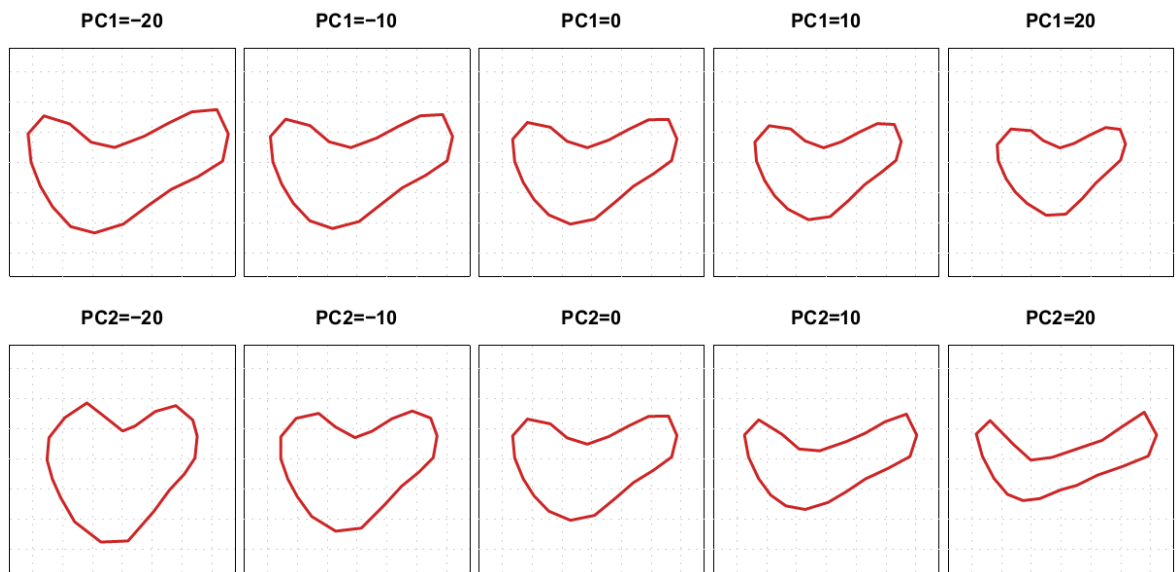
7. 2. 3. Velikostní pohlavní dimorfismus

Pokud není eliminována velikostní složka vyjádřená pomocí CS, můžeme ohodnotit pohlavní dimorfismus formy aurikulární plochy. Permutační Hotelling T-test provedený na prvních 3 PC, které pojímají 68 % variability, odhaluje statisticky velmi významné mezipohlavní rozdíly ($p = 2,0 \cdot 10^{-11}$) (Příloha 2). Z grafu na Obr. 16 je patrné, že muži a ženy jsou odděleni především podél 1. PC. Skóre PC1 obsahuje hodnoty z intervalu od -20 do 20. Ženy tentokrát podél této komponenty směřují ke kladným hodnotám, muži k hodnotám záporným (Obr. 16). Variabilita formy je u obou pohlaví přibližně stejná.

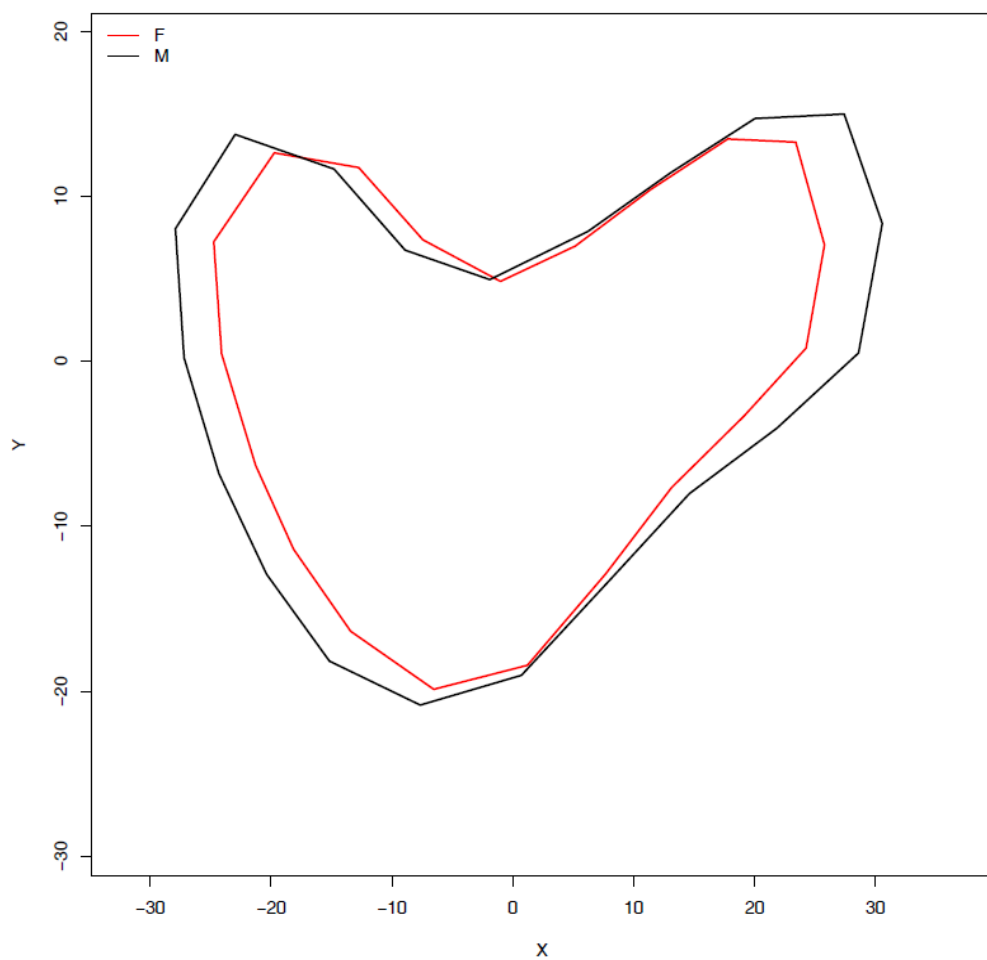


Obr. 16: Graf hodnot PC1 a PC2 formy pro muže (M) a ženy (F).

První komponenta ovlivňuje celkovou velikost objektu (Obr. 17). S kladnými hodnotami, které jsou typické pro ženy, se velikost plochy zmenšuje. Obě ramen se zkracují, ale zmenšení postihuje víc kaudální rameno. Se zápornými hodnotami PC1 se naopak kaudální rameno zvětšuje výrazněji než kraniální, což je typické pro muže. Morfologické změny podél PC2 formy se velmi podobají změnám, které způsobuje PC1 tvaru. To je způsobeno tím, že při analýze tvaru je eliminována velikostní složka, která má u formy největší podíl na variabilitě, a tak se projevuje v 1. PC formy, kdežto u tvaru chybí. Mužská *facies auricularis* je tak větší než u žen, u kterých zaujímá menší plochu. To odpovídá charakteru velikostního pohlavního dimorfismu. Zároveň však je u mužů kaudální rameno oproti kraniálnímu větší a delší než u žen.

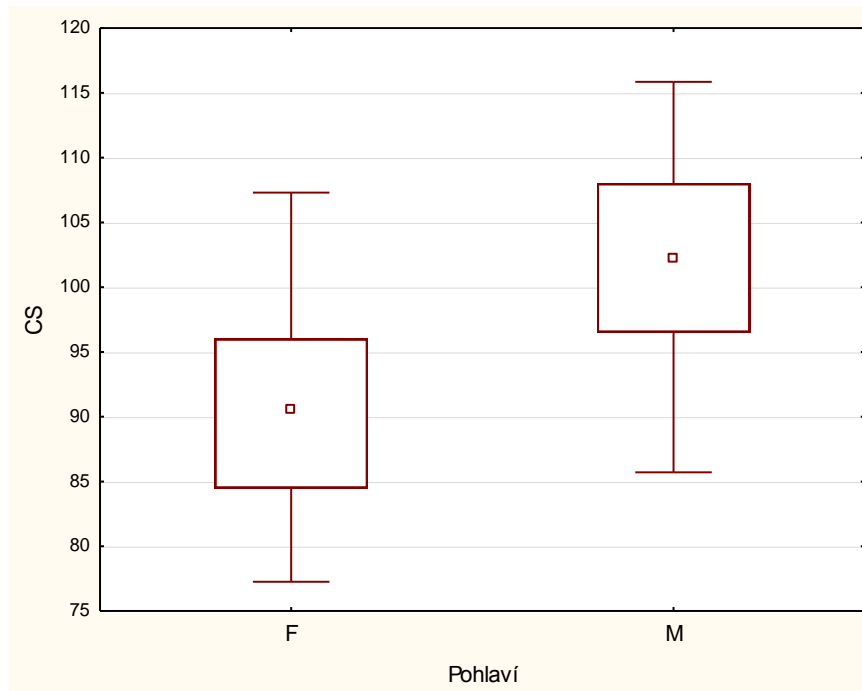


Obr. 17: Morfologické změny formy způsobené PC1 a PC2 od průměrné formy [0,0] ke kladným a záporným hodnotám.



Obr. 18: Průměrná mužská (černě) a ženská (červeně) forma *facies auricularis* s numerickou škálou v mm.

Pokud se zaměříme na samotnou velikost plochy, můžeme ji vyjádřit různými způsoby. V geometrické morfometrii je upřednostňováno vyjádření velikosti objektu pomocí centroid size, která je lineární veličinou. Kvůli významnému vlivu věku na CS byl vliv pohlaví na CS testován zároveň s věkem testem ANCOVA. Vliv pohlaví ($p = 0,012$) i věku na CS byl významný (Příloha 3). Průměrná hodnota CS pro muže je 101,8 a pro ženy 90,4 (Obr. 19; Příloha 4).



Obr. 19: Centroid size u žen a u mužů.

7. 2. 4. Predikce pohlaví podle *facies auricularis*

Úspěšnost klasifikace pohlaví byla zjišťována podle tvaru a formy pomocí algoritmu SVM s radiálním jádrem. Byla vyhodnocena posteriorní pravděpodobnost správné klasifikace a také pravděpodobnost při testu s crossvalidacemi. Nejprve byla klasifikační analýza provedena podle všech významných hlavních komponent tvaru a formy. Následně bylo vyzkoušeno, kolik PC dává nejlepší klasifikační výsledky. Úspěšnost testu s crossvalidacemi byla vždy nižší než posteriorní pravděpodobnost. Síla testu s crossvalidacemi je vyšší, a tak jsme hledali počet PC, při kterých je právě úspěšnost s crossvalidacemi nejvyšší. Podle tvaru je tato úspěšnost nejvyšší při zahrnutí pouze 1. PC (64,6 %). Podle formy dosahuje úspěšnost nejvyšší hodnoty při testování PC1-2 (82,3 %). V posteriorní pravděpodobnosti dosahovali muži vždy lepších výsledků než ženy. To

odpovídá tomu, že u žen je *facies auricularis* variabilnější, a to především ve tvarové složce. Muži dosáhli dokonce až 92,7% úspěšnosti podle PC1-2 formy (Tab. 10)

Tab. 10: Pravděpodobnost správné klasifikace pohlaví.

	Posteriorní úspěšnost	Posteriorní úspěšnost podle pohlaví		Úspěšnost s crossvalidacemi
		F	M	
Tvar PC1-5	80,2 %	69,1 %	89,1 %	58,3 %
Tvar PC1	67,7 %	61,9 %	72,7 %	64,6 %
Forma PC1-3	84,4 %	76,2 %	90,9 %	77,1 %
Forma PC1-2	85,4 %	76,2 %	92,7 %	82,3 %

7. 3. Výpočet obsahu *facies auricularis*

7. 3. 1. Intraobservační chyba měření rozměrů *facies auricularis*

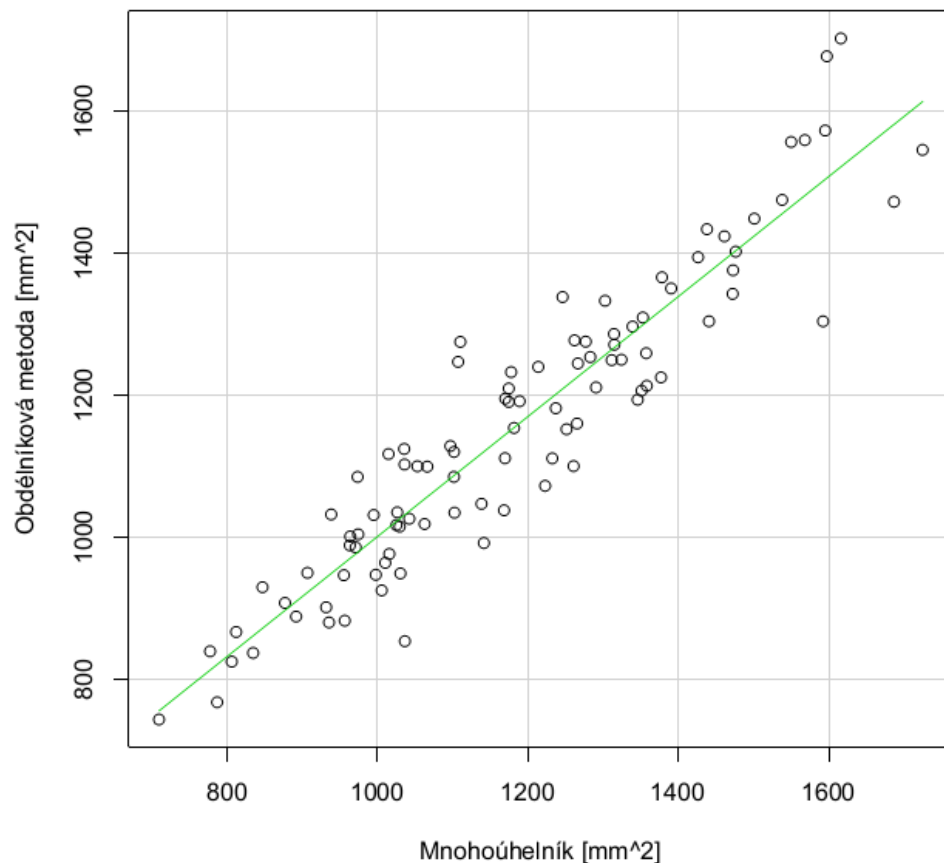
Odchylka měření jednotlivých rozměrů *facies auricularis* je uvedena v Příloze 4. Průměrné odchylky všech rozměrů použitých v obdélníkové metodě se pohybují řádově v desetinách milimetru a velikost těchto odchylek je velmi podobná nezávisle na velikosti měřeného rozměru. U delších rozměrů je tak relativní odchylka nižší, kdežto u kratších rozměrů je relativní odchylka větší. Čím menší je absolutní vzdálenost, tím větší bude procentuální odchylka.

Průměrná odchylka pro všechny rozměry použité v obdélníkové metodě je 0,3 mm, což činí 1,0 % z průměru všech rozměrů. Bylo tedy měřeno s 99% přesností. Průměrná relativní odchylka naměřených rozměrů je však často vyšší než relativní odchylka samotného obsahu plochy (0,9 %). To znamená, že při výpočtu obsahu z průměrných hodnot došlo k určitému vyrovnání rozdílů mezi původními rozměry.

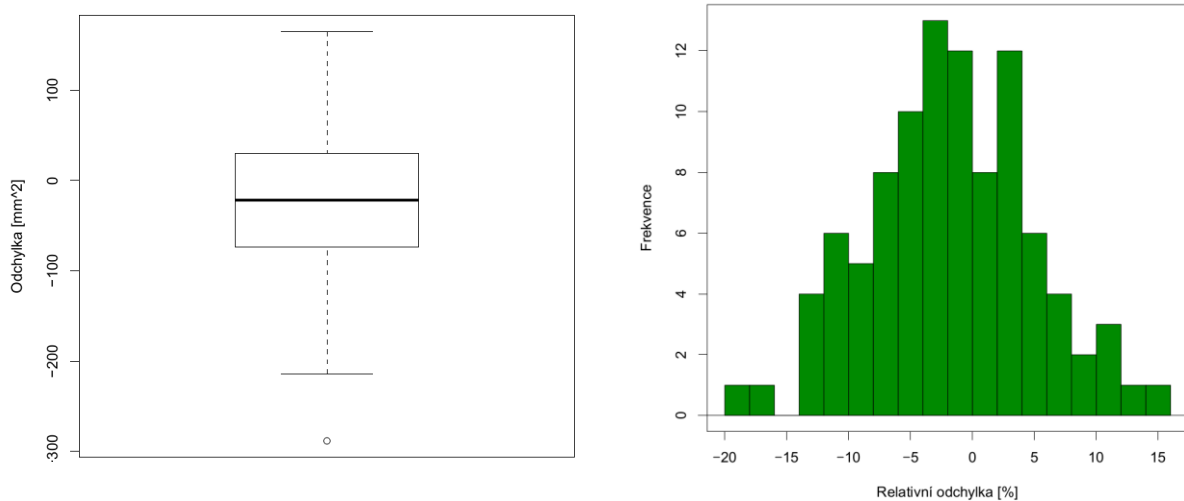
7. 3. 2. Výsledky obdélníkové a mnohoúhelníkové metody

Obsah aurikulární plochy byl počítán dvěma způsoby. První metodou bylo zjednodušení aurikulární plochy na dva obdélníky. Průměrná hodnota obsahu plochy získaná touto metodou je 1157,2 mm² se směrodatnou odchylkou 206,3 mm². Druhou metodou byl výpočet obsahu plochy ohraničené 20ti semilandmarky. Průměrná hodnota obsahu plochy vypočtené touto metodou je 1184,4 mm² se směrodatnou odchylkou 228,5 mm². Další statistiky jsou uvedeny v Příloze 4.

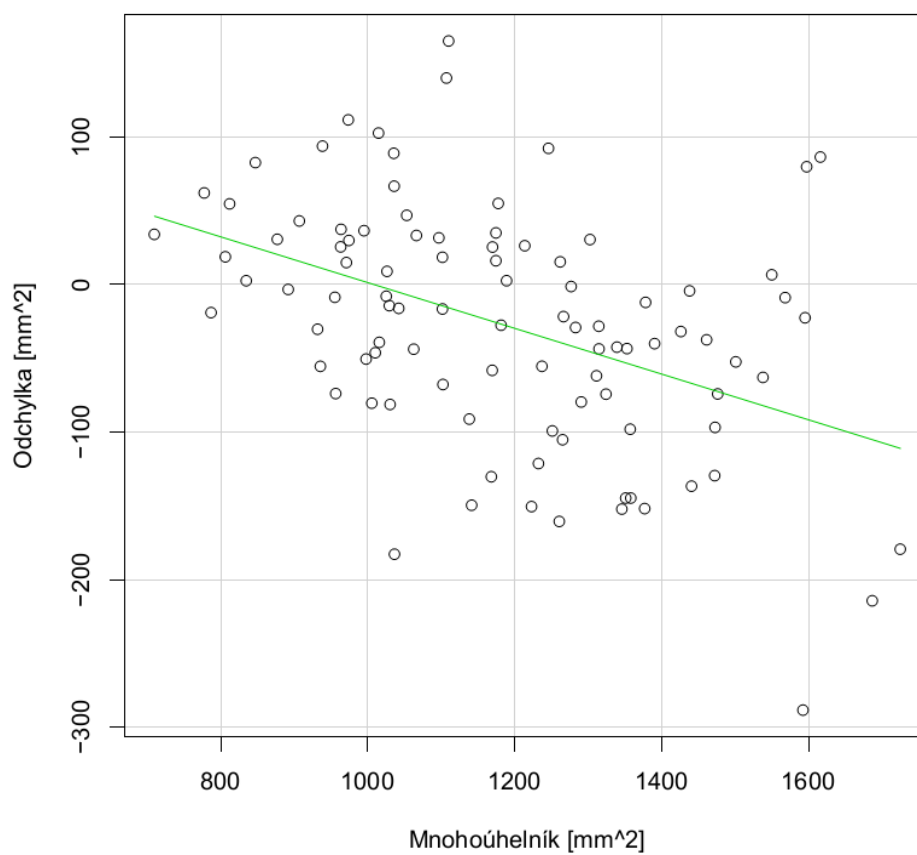
Pokud vyneseme hodnoty obsahu získané obdélníkovou metodou v závislosti na hodnotách obsahu mnohoúhelníku, zjistíme, že výsledky obou metod spolu samozřejmě velmi korelují (Obr. 20), o čemž svědčí i vysoký Pearsonův korelační koeficient 0,936. Ovšem koeficient determinace $r = 0,876$ již tak vysokou hodnotu nevykazuje, což je dáno rozptylem hodnot kolem regresní přímky. Pokud bereme výsledky obsahu mnohoúhelníku za hodnoty, které se více blíží skutečnému obsahu *facies auricularis*, pak obdélníková metoda v průměru podhodnocuje o $27,2 \text{ mm}^2$ (necelá 2 %). Odchylka od skutečné hodnoty obsahu plochy však vykazuje vysoký rozsah hodnot od $-288,3 \text{ mm}^2$ do $165,1 \text{ mm}^2$. Relativní odchylka od skutečné hodnoty je v průměru 1,8 % s rozsahem od -18 do 14,9 % (Příloha 4). Nejmenší odchylka dosáhla $-1,3 \text{ mm}^2$, což je -0,1 % hodnoty vypočtené z mnohoúhelníku.



Obr. 20: Závislost hodnot obsahu *facies auricularis* získaných obdélníkovou metodou na hodnotách obsahu mnohoúhelníku ($y = 0,8451x + 156,33$; $r = 0,876$).



Obr. 21 a) Odchylka v mm²; b) Relativní odchylka výsledků obdélníkové metody od skutečné hodnoty.



Obr. 22: Velikost odchylky v závislosti na velikosti aurikulární plochy ($-0,1549x + 156,33$; $r = 0,191$).

7. 4. Evoluční změny *facies auricularis*

7. 4. 1. Vztahy k odhadu tělesné velikosti

Jako indikátory tělesné velikosti byly použity pánevní rozměry VEAC (vertical acetabular diameter) a IB (iliac breadth). Na odlitcích fosilního materiálu byly nejprve změřeny všechny rozměry a byla vypočtena intraobservační chyba. Průměrné hodnoty rozměrů byly následně porovnány s některými publikovanými hodnotami v literatuře.

Průměrná odchylka měření těchto dvou pánevních rozměrů byla 0,3 mm, což tvoří 0,6 % z průměru. Při další analýze těchto dat byla dána přednost hodnotám publikovaným v literatuře (Ruff, 2010) u těch fosilií, u kterých byly tyto údaje nalezeny. Některé změřené hodnoty přímo z odlitku se od publikovaných hodnot totiž výrazně lišily (WT 15000, OH 28 v Tab. 11). Tato odchylka může být do značné míry způsobena kvalitou odlitku.

Tab. 11: Hodnoty vertikálního průměru acetabula (VEAC), iliakální šířky (IB) a odhad hmotnosti u studovaných fosilií.

	IB ¹ [mm]	VEAC ¹ [mm]	VEAC ² [mm]	Odhad hmotnosti ² [kg]		Rozmezí hmotnosti pro daný druh ² [kg]
AL 288-1	47,7	36,8	37,0	30	24	30-80
Sts 14	43,5	39,3	39,0	34	29	33-68
SK 3155	51,2	39,7	38,7	40	28	37-88
WT 15000	65,5	58,8	54,0 (60,4)	-	58 (78)	-
OH 28	69,5	60,3	57,0	-	72	-
E 719	62,5	60,8	59,0	-	76	-
Kebara 2	63,7 (63,0) ³	59,3	59,4 ³	75,6 ⁴	-	-
Neand. 1	69,7	62,3	-	78,9 ⁴	-	-
AMH	68,8 ± 5,6	54,0 ± 4,3	-	63,7 ⁵	-	-

¹ U fosilních nálezů změřeno na odlitku. ² Hodnoty pro fosilie z literatury (Jungers, 1988b; Ruff, 2010). ³ Hodnoty z Tillier et al., 2008. V závorkách u WT 15000 jsou odhady dospělých hodnot. ⁴ Hodnoty z Froehle and Churchill, 2009. ⁵ Průměrná hmotnost pro recentní soubor AMH vypočtená jako průměr 3 metod z průměru femorální hlavice (Ruff, 1991; McHenry, 1992; Grine et al., 1995). Průměr femorální hlavice vypočten převod z průměru acetabula (Ruff, 2010).

U recentního souboru byly rozměry změřeny přímo na kostech. Průměrná hodnota vertikálního průměru acetabula je 54,0 mm a iliakální šířky 68,8 mm (Příloha 4). Z porovnání těchto hodnot s hodnotami pro fosilní jedince je patrné, že v iliakální šířce i v průměru acetabula mají všichni australopitéci nižší hodnoty než průměr pro moderního člověka (AMH) a spadají pod dolní okraj jeho variability. Fosilní zástupci rodu *Homo* mají iliakální šířku blízkou průměru AMH. Jedinci E 719 a Kebara 2 se nacházejí od průměru nejdále, a to přibližně jednu směrodatnou odchylku pod průměrem. Naopak ve vertikálním

rozměru acetabula se všichni fosilní zástupci rodu *Homo* nacházejí nad průměrem AMH (pokud bereme u WT 15000 odhadnutou hodnotu v dospělosti), a to přibližně o jednu směrodatnou odchylku nad průměrem.

7. 4. 2. Velikost *facies auricularis* vzhledem k tělesné velikosti

Při analýze velikosti *facies auricularis* byly použity hodnoty výpočtu obsahu plochy mnohoúhelníku. Podle absolutní velikosti aurikulární plochy se studovaný fosilní soubor dělí do dvou skupin. V první jsou jedinci, jejichž *facies auricularis* nezapadá svou velikostí do variability moderního člověka. Tam můžeme zařadit australopitecíny a *H. ergaster*. V druhé skupině jsou pak jedinci, kteří se nacházejí v oblasti variability AMH a nacházejí se dokonce v písmu jedné směrodatné odchylky od průměru AMH (Kabwe E 719, Neandertal 1 a Kebara 2). Průměr AMH se v tomto případě mírně liší od předchozí kapitoly, protože pro následné srovnání s tělesnou velikostí byl srovnávaný soubor moderního člověka omezen na jedince se zachovanými rozměry VEAC a IB. Mezi fosíliemi nacházejícími se mimo oblast variability ještě vyčnívají gracilní australopitecíni (AL 288-1, Sts 14), kteří mají absolutně nejmenší aurikulární plochy (menší než 400 mm²), jejichž velikost je 3-3,5x menší než průměr AMH. Parantrop (SK 3155) se nachází blíže jedincům *H. ergaster* (OH 28, WT 15000). Dohromady tvoří skupinu, která se nachází těsně pod dolním okrajem variability AMH a jejich aurikulární plochy jsou přibližně 1,5-2x menší než průměr AMH (Tab. 12).

Hodnoty obsahu aurikulární plochy byly následně standardizovány tělesnou velikostí reprezentovanou jednak vertikálním průměrem acetabula a iliakální šířkou. Mezi tělesnou velikostí a obsahem aurikulární plochy u AMH je jasná pozitivní korelace (Graf 8 a 9). S průměrem acetabula, který je užíván k výpočtu hmotnosti, je však korelace o něco vyšší ($\rho = 0,61$) než s iliakální šířkou ($\rho = 0,56$). Velikost aurikulární plochy vykazuje v obou případech značnou variabilitu a lineárně regresní model vysvětluje pouze 30-40 % této variability. Model užívající rozměr VEAC vysvětluje mírně vyšší podíl této variability (37 %).

Při standardizaci velikosti aurikulární plochy průměrem acetabula spadají všechny fosílie pod průměr anatomicky moderního člověka (Obr. 23). Z australopitecínů to jsou především AL 288-1 a Sts 14, kteří se nacházejí pod dolním okrajem variability AMH a mají relativně nejmenší aurikulární plochu. Naopak SK 3155 se nachází mnohem blíž průměru AMH a oba zástupci druhu *H. ergaster* mají relativně menší velikost *facies*

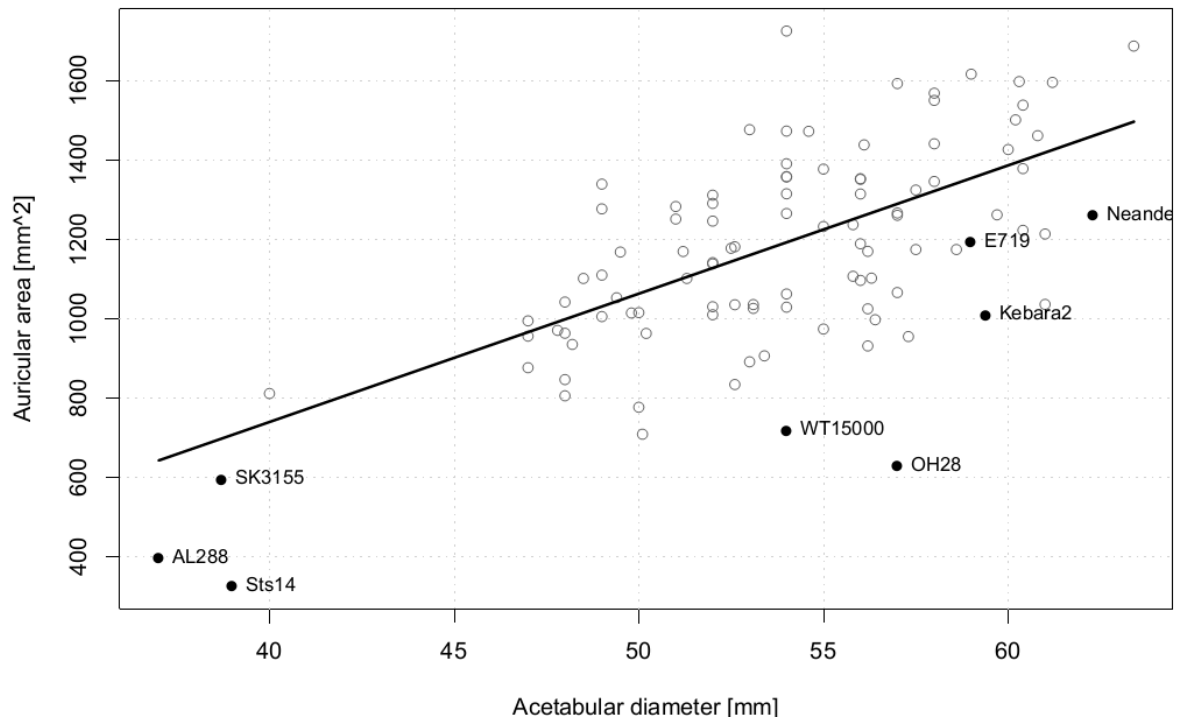
auricularis než tento jedinec. *H. ergaster* se tak nachází stále mimo pásmo variability AMH, ve kterém se nachází neandertálci, fosílie z Kabwe a parantrop. Jediné fosílie, které se však nacházejí v pásmu jedné směrodatné odchylky od průměru AMH jsou Neandertal 1 a Kabwe E 719. Kebara 2 má o něco menší aurikulární plochu a nachází se pod tímto intervalem spíše na okraji pásma variability AMH.

Pokud velikost aurikulární plochy standardizujeme pomocí rozměru IB, většina fosílií opět spadá pod průměr AMH až na Kabwe a Neandertal 1 (Obr. 24). Australopitéci a *H. ergaster* se opět nacházejí mimo variabilitu moderního člověka, SK 3155 se nachází ne jejím okraji. Kebara 2 je tentokrát velmi těsně pod průměrem. V rámci jedné směrodatné odchylky se tak tentokrát nacházejí oba neandertálci a fosílie z Kabwe, která má v tomto modelu relativně největší aurikulární plochu (Tab 12).

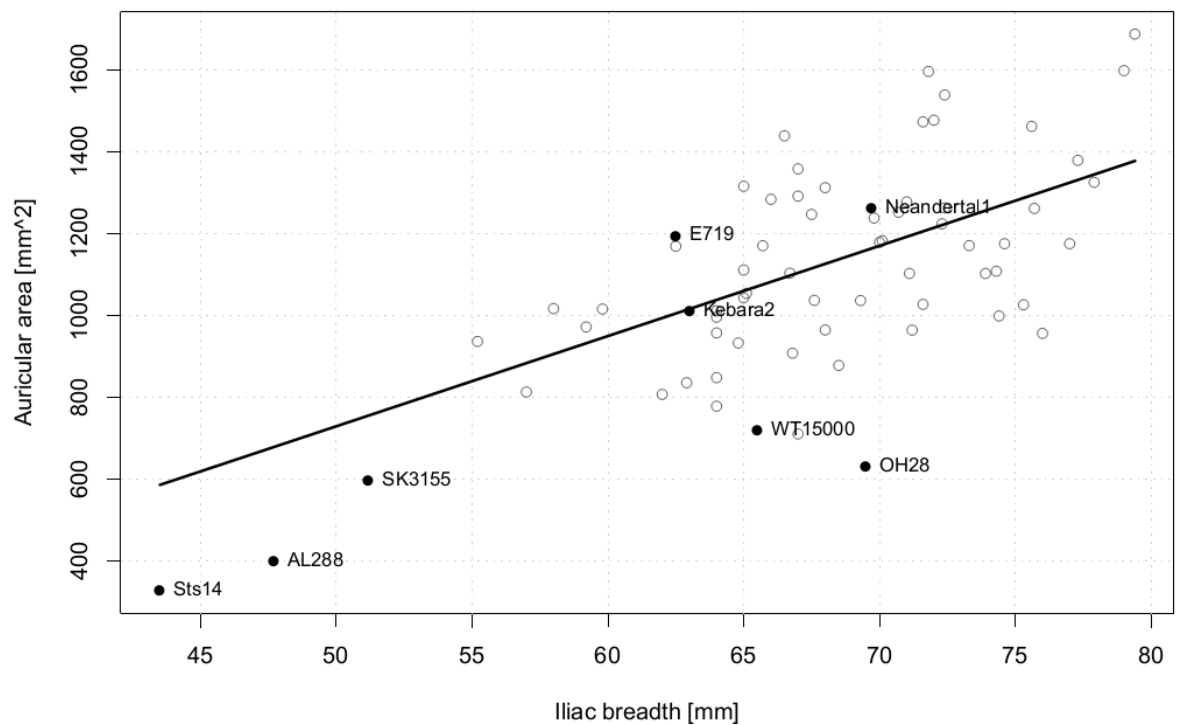
Tab. 12: Velikost aurikulární plochy a indexy velikosti standardizované parametrem tělesné velikosti.

	Obsah <i>f. a.</i> [mm ²]	AA/AD [mm]	AA/IB [mm]
AL 288-1	397,8	10,8	8,3
Sts 14	325,5	8,3	7,5
SK 3155	595,2	15,4	11,6
WT 15000	718,2	13,3	11,0
OH 28	628,5	11,0	9,0
E 719	1193,5	20,2	19,1
Kebara 2	1009,0	17,0	16,0
Neand. 1	1260,5	20,2	18,1
AMH	1192,3 ± 226,7	22,0 ± 3,4	16,6 ± 2,7

Oba způsoby standardizace ukazují, že australopitéci a *H. ergaster* mají ke své tělesné velikosti relativně malou aurikulární plochu oproti modernímu člověku. Shodují se i v odlišné pozici SK 3155 mezi australopitecíny, který se na rozdíl od nich nachází velmi blízko průměrné velikosti aurikulární plochy u AMH. Oba modely se výrazněji liší v pozici neandertálců a Kabwe E 719. V prvním případě má Kebara 2 značně menší aurikulární plochu než AMH, ale Kabwe a Neandertal 1 již ne tak výrazně. V druhém modelu mají Kebara 2 a Neandertal 1 relativně stejně velkou plochu jako AMH, ale Kabwe ji má výrazně větší.



Obr. 23: Velikost aurikulární plochy v závislosti na průměru acetabula (regresní přímka prokládá hodnoty moderního člověka – prázdná kolečka; $y = 32,312x - 551,92$; $r = 0,371$).



Obr. 24: Velikost aurikulární plochy v závislosti na iliakální šířce (regresní přímka prokládá hodnoty moderního člověka – prázdná kolečka; $y = 22,057x - 374,32$; $r = 0,311$).

8. Diskuze

8. 1. Pohlavní dimorfismus *facies auricularis*

Při hodnocení pohlavního dimorfismu aurikulární plochy jsme navázali na jedinou dosud publikovanou studii (Anastasiou and Chamberlain, 2013), která analyzuje SD této plochy metodami geometrické morfometrie. Autoři této studie k tomu použili 8 matematicky dosazených landmarků, jelikož v této oblasti pánevní kosti se nenacházejí žádné anatomické landmarky (Anastasiou and Chamberlain, 2013). V naší práci byl pohlavní dimorfismus této plochy analyzován za využití 20 sliding semilandmarks, čímž jsme docílili přesnějšího zachycení tvaru.

Nejprve byly otestovány předpoklady, že tvar ani velikost plochy nejsou závislé na nějakém dalším faktoru. Po testování nezávislosti tvaru, formy a CS na stranové příslušnosti, populaci a věku tak byl nakonec vliv pohlaví na tvar a formu testován bez vlivu dalšího faktoru. U CS byl na hranici významnosti prokázán signifikantní vliv věku u žen. Tento statisticky významný vliv však nemusí mít biologickou příčinu. Není totiž biologicky vysvětlitelné, že by se v dospělosti nějak výrazně s věkem měnila velikost aurikulární plochy. I když jsou podle *facies auricularis* vypracovány metody pro odhad věku, jsou založeny na posuzování povrchu této plochy (porozita, zvrásnění). Jediná změna přisuzovaná věku, která by mohla mít vliv i na velikost plochy, je zaoblování apexu, které má nastávat po 35. roce a může měnit konturu plochy v této oblasti (Lovejoy et al., 1985; Buckberry and Chamberlain, 2002). Tato změna by však mohla mít vliv i na tvar, u kterého se však vliv věku nepotvrdil vůbec. I přesto byl raději testován vliv pohlaví a věku zároveň na velikost CS.

Signifikantní vliv pohlaví na tvar i velikost *facies auricularis* byl potvrzen. V souladu s předchozí studií (Anastasiou and Chamberlain, 2013) je aurikulární plocha u žen mírně širší především v oblasti apexu. To by však nemělo být zaměňováno s větší velikostí ženské aurikulární plochy, protože tvar je pouze složka formy po převedení na jednotnou velikost. Rozšíření v oblasti apexu by mohlo vysvětlovat často vizuálně popisovaný větší úhel ramen u žen (Genovés, 1959; Novotný, 1981; Brůžek et al., 1996; Vleeming et al., 2012). Ovšem při porovnání průměrného mužského a ženského tvaru jsme zjistili, že rozdíly, ačkoliv statisticky významné, jsou na pohled tak drobné, že je nelze dobře použít pro pouhou vizuální analýzu. Na rozdíl od výše zmiňované studie (Anastasiou and Chamberlain, 2013) jsme samostatně hodnotili také formu plochy, jejíž vizualizace

odhaluje významné rozdíly mezi mužskou a ženskou aurikulární plochou, které by měly být patrné i při přímém vizuálním hodnocení kosti. Mezipohlavní rozdíly formy jsou patrné především v rámci variability vyjádřené 1. PC. Muži mají kaudální rameno v poměru ke kraniálnímu rameni větší a delší než ženy. To je v souladu se studií (Valojerdy and Hogg, 1989), kde u mužů se bod největší konvexity nacházel kraniálněji (výše) vzhledem k celkové délce aurikulární plochy. Zároveň je tento fakt podporován myšlenkou, že s větší tělesnou velikostí se zvětšuje především kaudální rameno, zatímco kraniální rameno zůstává menší pro zajištění optimálního rozsahu kompenzačních nutačných pohybů (Reed and Churchill, 2013). To je podporováno i dalšími studiemi, ve kterých byl metricky zjištěn pohlavní dimorfismus délky kaudálního ramene (Ali and MacLaughlin, 1991; Novak, 2010), který však mizí po standardizaci tělesnou velikostí (Ali and MacLaughlin, 1991).

Pokud se týče dalšího popisovaného morfologického znaku konstriktce kaudálního ramene (Genovés, 1959), tento znak nebyl při vizualizaci vůbec zaznamenán. Neznamená to, že se tento znak nemohl u některého jedince ze studovaného souboru vyskytnout, nejednalo se však o častý znak, a tak se při vizualizaci průměrného ženského tvaru neprojevil.

Úspěšnost predikce pohlaví dosáhla lepšího výsledku než v případě vizuálního hodnocení úhlu ramen (Brůžek et al., 1996). Podle úspěšnosti klasifikace pohlaví můžeme tvrdit, že velikostní pohlavní dimorfismus aurikulární plochy byl výraznější než tvarový SD. Posteriorní pravděpodobnost správné klasifikace podle formy byla nejvyšší (85,4 %) a byla téměř identická s úspěšností 87,5 % dosažené ve zmiňované studii (Anastasiou and Chamberlain, 2013). V této studii byla pro predikci pohlaví použita analýza pomocí diskriminační funkce (DFA), která je slabším nástrojem oproti námi použité metodě SVM. Rozdíl je především v tom, že DFA odděluje množiny lineárně, kdežto metoda SVM s radiálním jádrem je vhodná i pro množiny, které jsou částečně vnořené jedna do druhé, což je častý případ u biologických dat (Velemínská et al., 2013). I přes použití této metody a detailnějšího definování obrysu aurikulární plochy 20 semilandmarky bylo dosaženo mírně nižší úspěšnosti predikce pohlaví. Úspěšnost predikce s crossvalidacemi byla vždy mírně nižší a v tomto případě dosahovala nejvyšší hodnoty 82,3 % na základě analýzy její formy. Pokaždé bylo špatně klasifikováno více žen než mužů, což odráží větší variabilitu *facies auricularis* u žen.

Větší variabilita u žen může být na pánvi překvapující, protože se udává, že kvůli dvěma protichůdně směřujícím selekčním tlakům ovlivňujícím morfologii pánve je u žen variabilita pánevních znaků nižší než u mužů (Tague, 1989). To se však týká především vizuálně hodnocených znaků, u kterých je tvarový pohlavní dimorfismus, způsobený porodními adaptacemi, mnohem výraznější. Na *facies auricularis* je však tvarový SD oproti jiným znakům na pánevní kosti (Velemínská et al., 2013) relativně malý.

Ačkoli se zjišťuje, že posteriorní oblast pánve vykazuje silnější přizpůsobení k porodu než anteriorní část, SI skloubení je tvarově méně dimorfní. Porodní adaptace slouží k rozšíření pánevního kanálu, ovšem klouby tvoří omezení (Brown, 2015), jelikož mají důležitou funkci při lokomoci. Kyčelní klouby tvoří laterální omezení pro rozšíření anteriorní oblasti pánve, sakroiliakální skloubení tvoří dorzální omezení posteriorní oblasti. Posteriorní oblast pánve je zřejmě plastičtější vůči adaptacím k porodu (Brown, 2015), o čemž svědčí i to, že aurikulární plocha se na pánevní kosti nachází u žen víc posteriorně než u mužů (Betti, 2014). Díky elevaci *facies auricularis* se u žen zároveň také rozšiřuje pánevní kanál (Iskan and Derrick, 1984; Brůžek et al., 1996; Wescott, 2015). Z hlediska porodních adaptací tak mohlo dojít především ke změně pozice SI kloubu (Betti, 2014) a k elevaci kloubních ploch (Wescott, 2015), ale tvar samotné aurikulární plochy se zřejmě v důsledku těchto změn výrazně nezměnil. Výrazný rozdíl ve formě ženské a mužské *facies auricularis* je však spíše spojen s velikostí a biomechanickými nároky. U mužů s větší tělesnou velikostí jsou vyšší nároky na stavbu aurikulární plochy, které se mohou projevit právě zvětšením kaudálního ramene oproti ramenu kraniálnímu, jak je pojednáváno také v jiných studiích (Valojerdy and Hogg, 1989; Reed and Churchill, 2013).

8. 2. Výpočet obsahu *facies auricularis*

Obdélníková metoda byla použita v některých evolučních studiích ke zjištění velikosti aurikulární plochy (Kibii et al., 2011; Reed and Churchill, 2013). V těchto studiích však není uvedeno, jak úspěšně dokáže tato metoda podávat přesné výsledky. Dosud bylo pouze publikováno, že obdélníková metoda v průměru nadhodnocuje reálnou hodnotu o 14 % (Krmek et al., 2006), ale nebylo jasné, do jaké míry je trend konstantní a jak velká může být odchylka.

Při ověřování věrohodnosti obdélníkové metody při výpočtu obsahu aurikulární plochy byl posuzován obsah plochy ohraničené 20 semilandmarky coby odpovídající skutečným hodnotám. Byl tak zanedbán povrch, který je u aurikulární plochy občas mírně zvlněný.

Pro účely zjištění velikosti *facies auricularis* u fosilií však plně dostačuje výpočet obsahu dvojrozměrné plochy, jelikož její povrch je na fosilním materiálu často odřený a je zřetelný pouze její tvar. Výpočet povrchu plochy by tak nebyl vypovídající.

V naší studii tato metoda v průměru podhodnocovala reálné hodnoty pouze o necelá 2 %. To se značně lišilo od srovnávané studie, která uvádí, že metoda naopak nadhodnocuje v průměru o 14 % (Krmek et al., 2006), což byla hodnota maximální relativní odchylky v této práci. To mohlo být způsobeno tím, že Krmek et al. (2006) získali referenční hodnoty obsahu plochy obkreslením *facies auricularis* na papír, přičemž papír přitiskli k povrchu, takže brali v úvahu i reliéf kloubní plochy. Je však otázkou, do jaké míry je tato metoda přesná. Pokud nám navíc vyšlo, že obdélníková metoda spíše podhodnocuje reálné výsledky, pak při srovnání s velikostí povrchu i s reliéfem by podhodnocení mělo být ještě výraznější.

Značný rozdíl v průměrném zkreslení mezi naší a srovnávanou studií (Krmek et al., 2006) mohl být dán také odlišným složením testovaného souboru. Takový rozdíl by naznačoval, že obdélníková metoda může dávat výsledky, které jsou nepředvídatelně zkreslené. Trend zkreslení není samozřejmě konstantní, ale v 50 % případů kolísá v úzkém intervalu od -6 % do 2,7 % reálné hodnoty. Korelační koeficient a koeficient determinace dosahují vysokých hodnot, že se v průměru nejedná o špatnou metodu výpočtu obsahu aurikulární plochy. Tato metoda může být vhodná při porovnávání skupin, avšak při analýze jednotlivých případů může nastat větší zkreslení výsledků.

Další analýzou závislosti velikosti odchylky na velikosti aurikulární plochy jsme zjistili, že metoda mírně nadhodnocovala velikost menších aurikulárních ploch, zatímco u větších ploch tato metoda mohla jejich velikost až značně podhodnotit. Tím se snížila míra variability, jak můžeme vidět i na užším intervalu mezi minimem a maximem oproti reálným hodnotám. Menší aurikulární plochy byly zároveň přesněji ohodnoceny. Větší zkreslení u větších *facies auricularis* mohlo vznikat z toho důvodu, že podél okrajů větších ramen může docházet k větším výkyvům tvaru obrysu, které se při zprůměrování minimální a maximální šířky ramene neprojeví.

8. 3. Evoluční změny *facies auricularis*

Oproti očekávání bylo pomocí přesnější metody výpočtu obsahu aurikulární plochy dosaženo podobných výsledků jako za použití obdélníkové metody (Kibii et al., 2011; Reed and Churchill, 2013). Jak jsme zjistili, obdélníková metoda totiž v průměru tolik

nezkresluje skutečnou hodnotu a malé plochy, jako jsou např. aurikulární plochy australopitecínů, může spíše mírně nadhodnotit. Potvrdili jsme tak, že alespoň gracilní australopitéci mají aurikulární plochu vzhledem ke své tělesné velikosti skutečně menší než moderní člověk, což implikuje odlišný přenos tlaku přes SIJ. Tento rozdíl může být způsoben částečně arboreální lokomocí (Lovejoy, 1988; Aiello and Dean, 1990), při které nedochází k tak velké zátěži těchto kloubů. Co se týče robustního parantropa SK 3155, velikost jeho aurikulární plochy je relativně větší než u zkoumaných gracilních australopitéků, i když se uvádí, že postkranialním skeletem se od gracilních australopitéků moc nelišil (McHenry, 1975). Tento rozdíl mohl být způsoben odlišným způsobem v přenosu hmotnosti, avšak hodnocený jedinec byl juvenilní a měl ještě stále zachovanou ypsiloidní chrupavku. Je možné, že v dospělosti by relativní velikost aurikulární plochy byla jiná.

H. ergaster vykazuje absolutně větší aurikulární plochu než australopitéci, ale menší než člověk. Tělesná velikost byla již srovnatelná s AMH (McHenry, 1994), i když variabilita byla zřejmě stále velká (Will and Stock, 2015). Tělesná velikost WT 15000 a OH 28 již byla opravdu srovnatelná s AMH, jak o tom svědčí velikost femorální hlavičky, ale neúměrné zvětšení aurikulární plochy zapříčinilo její relativně malou velikost srovnatelnou s australopitéky. Naše výsledky se mírně odlišovaly od srovnávané studie (Reed and Churchill, 2013), ve které se velikost *facies auricularis* oproti australopitékům relativně zvětšila a nacházela se tak mezi australopitéky a moderním člověkem. V tomto případě mohlo dojít k nadhodnocení velikosti plochy způsobené právě použitím obdélníkové metody a mylnému závěru, že výrazné zvětšování aurikulární plochy začalo s ranými zástupci rodu *Homo*. Musíme brát v úvahu, že WT 15000 je juvenilní jedinec se zchovalou ypsiloidní chrupavkou stejně jako SK 3155. Oba tyto jedinci vykazují relativně větší *facies auricularis* než ostatní studovaní australopitecíni, respektive OH 28, kteří již dosáhli dospělosti. Tím více se nyní nabízí myšlenka, že v dospělosti by mohla být relativní velikost aurikulární plochy u obou těchto jedinců menší. U moderního člověka je během růstu kyčelní kosti patrný pubertální spurt, který je odpovědí na zvětšení tělesné velikosti v tomto období. Při porovnání růstu jednotlivých oblastí se však zjistilo, že aurikulární plocha se během ontogeneze zvětšuje nejpomaleji a poměr vůči celkové ploše ilia se tak snižuje (Yusof et al., 2013). Pokud lze tyto poznatky aplikovat i na dva zmíněné jedince, relativní velikost aurikulární plochy by u nich byla v dospělosti spíše menší. WT 15000 se i nyní nachází pod dolním okrajem variability AMH. Není vyloučené, že by se i

SK 3155 v dospělosti mohl přiblížit hodnotám typickým pro ostatní studované australopitecíny.

Postaurikulární oblast se v ontogenezi člověka zvětšuje více než aurikulární oblast, z čehož se dá usuzovat, že vazivový aparát nabývá se zvětšující se tělesnou hmotností důležité funkce (Yusof et al., 2013). Pokud jsou naše výsledky správné a *H. ergaster* vykazoval relativně malou aurikulární plochu oproti AMH, posun ke stabilizaci pánve kvůli rostoucímu tlaku větší hmotnosti můžeme spatřovat právě v rozšíření postaurikulární oblasti úponu SI vazů a zvýraznění jejího reliéfu (Day, 1971). To by znamenalo, že vyrovnávání stability narušené zvětšující se hmotností bylo nejprve zajištěno zmožutněním vazivového aparátu a až později zvětšením samotné aurikulární plochy.

Recentnější zástupci rodu *Homo* (Kabwe E 719, Kebara 2, Neandertal 1) se nacházeli blíž k průměru AMH než gracilní australopitéci a *H. ergaster*. Absolutní velikost aurikulární plochy se na rozdíl od *H. ergaster* nacházela v rámci variability AMH. Standardizace pomocí rozměru VEAC a IB však přinesla rozdílné výsledky. To nás přivádí k otázce, jaký rozměr je pro vyjádření tělesné velikosti vhodnější neboli, který z nich lépe koreluje s tělesnou hmotností. Průměr femorální hlavice se velmi rozšířeně používá k odhadu hmotnosti (Ruff, 2010), kdežto u iliakální šířky není korelace otestována. Srovnávaný soubor moderního člověka s měřitelným rozměrem VEAC navíc tvořilo o 33 jedinců více. Pokud bychom se tedy přiklonili ke standardizaci podle průměru acetabula jako k věrohodnějšímu způsobu, neandertálců a Kabwe by měli také relativně menší aurikulární plochu než AMH, ovšem nacházeli by se v rámci jeho variability či alespoň na jeho spodním okraji jako Kebara 2. Jelikož tělo neandertálců mělo robustnější stavbu než u AMH (Hora and Sládek, 2014), očekávali jsme spíše opačný výsledek. Vyšší tělesná hmotnost se však projevuje na velikosti acetabula, které je větší než u srovnávaného souboru AMH. Výsledky tak naznačují, že i u neandertálců mohl existovat odlišný přenos hmotnosti přes pánevní kost a sakroiliakální skloubení, což může zapříčinit rozdíl ve způsobu vzpřímení trupu (Tardieu et al., 2013).

V evoluci předcházelo vzpřímení trupu encefalizaci, a tak jsou adaptace k bipedii na pánvi výraznější než adaptace k porodu (Abitbol, 1987). V první části této práce jsme navíc zjistili, že pohlavní dimorfismus *facies auricularis* odpovídá především biomechanickým nárokům velikosti těla a ne příliš porodním adaptacím. Všichni námi studovaní fosilní jedinci již byli plně bipední, a tak je zajímavé, že fosilní zástupci rodu *Homo* vykazovali stále spíše menší aurikulární plochu. Zkoumaný soubor byl však omezen

špatnou dostupností fosilního materiálu, a tak by bylo třeba ověřit zjištěné poznatky na dalším dostupném materiálu za použití co nejpřesnějších metod. Analýza dalšího materiálu by byla vhodná nejen pro zpřesnění výsledků díky rozšíření souboru. Např. u australopitecínů nalézáme široké spektrum tělesné velikosti (Jungers, 1988b), a tak by bylo vhodné zařadit i jedince z opačného konce variability a zjistit, zda mají aurikulární plochu relativně stejně velkou jako jedinci v této analýze (AL 288-1 a Sts 14), jejichž tělesná velikost se nachází na dolním okraji této škály.

9. Závěr

Pohlavní dimorfismus *facies auricularis* byl analyzován metodami geometrické morfometrie za využití sliding semilandmarks na odlitcích *facies auricularis* kyčelní kosti v recentním souboru koster identifikovaných jedinců. Byly zjištěny signifikantní rozdíly ve tvaru a velikosti. Ženy vykazovaly mírně širší aurikulární plochu především v oblasti apexu. Správná klasifikace pohlaví však závisela především na velikosti než na tvarové složce. Podle samotného tvaru bylo dosaženo pouze 64,6% úspěšnosti správného odhadu pohlaví. Nejlepších výsledků oddělení obou pohlaví bylo při klasifikaci s crossvalidacemi dosaženo podle formy, a to 82,3 %. V porovnání s jinými znaky na pánvi však úspěšnost klasifikace podle *facies auricularis* není příliš vysoká. Pohlavní dimorfismus aurikulární plochy tak spočívá především ve velikosti, která je způsobena odlišnou tělesnou velikostí mezi muži a ženami. Tvarové rozdíly, které by vznikly v souvislosti s porodními adaptacemi, nejsou příliš výrazné, a pro vizuální hodnocení tak nejsou vhodné.

Dále byla ověřována přesnost obdélníkové metody výpočtu obsahu aurikulární plochy, která je používána v evolučních studiích. Ačkoli metoda zjednodušuje tvar plochy, v průměru podhodnocovala skutečné hodnoty pouze o necelá 2 %. Zkreslení však není konstantní a pásmo odchylky je docela široké. To způsobuje, že míra zkreslení jednotlivých hodnot je nepředvídatelná. Z toho důvodu je lepší upřednostnit metody, které tvar nezanedbávají, a dávají tak přesnější výsledky alespoň ve studiích jednotlivých případů jako jsou fosilie.

Z pohledu evoluce homininů bylo potvrzeno, že studovaní australopitecíni vykazují relativně menší aurikulární plochu vzhledem k tělesné velikosti než anatomicky moderní člověk. Jeden studovaný jedinec druhu *P. robustus* se však nachází blíže anatomicky modernímu člověku než ostatní. Může to být způsobeno tím, že se jednalo o nedospělého jedince. Novým poznatkem by mohlo být, že *H. ergaster* vykazoval relativně stejně malou velikost plochy jako australopitecí, což nasvědčuje tomu, že k jejímu výraznému zvětšení nemuselo u raných zástupců rodu *Homo* ještě dojít. Recentnější homininé (nález z Kabwe a neandertálci) se již blíží k průměru AMH. Naše výsledky ukazují, že způsob přenosu hmotnosti přes SIJ typický pro moderního člověka se nenacházel u všech fosilních homininů. Rozdíly jsou patrné mezi jednotlivými skupinami evolučně si blízkých jedinců a patrně odrážejí různé způsoby lokomoce nebo rozdíly ve vzpřímeném postoji.

Bibliografie

- Abitbol MM. 1987. Obstetrics and posture in pelvic anatomy. *Journal of Human Evolution* 16:243–255.
- Aiello L, Dean C. 1990. *An introduction to human evolutionary anatomy*. San Diego: Academic Press.
- Ali RS, MacLaughlin SM. 1991. Sex Identification from the Auricular Surface of the Adult Human Ilium. *International Journal of Osteoarchaeology* 1:57–61.
- Anastasiou E, Chamberlain A. 2013. The Sexual Dimorphism of the Sacro-Iliac Joint: An Investigation Using Geometric Morphometric Techniques. *Journal of forensic sciences* 58:126–134.
- Ankel-Simons, Friderun. 2006. *Primate Anatomy: An Introduction*. Burlington: Academic Press.
- Bakland O, Hansen JH. 1984. The “axial sacroiliac joint.” *Anatomia Clinica* 6:29–36.
- Baria D. 2010 (thesis). *Sacroiliac joint biomechanics and effects of fusion*.
- Bayram M, Gürsoy S. 2007. Anatomical Variations with Joint Space Measurements on CT. 53:209–217.
- Been E, Pessah H, Peleg S, Kramer P a. 2013. Sacral Orientation in Hominin Evolution. *Advances in Anthropology* 3:133–141.
- Betti L. 2014. Sexual dimorphism in the size and shape of the os coxae and the effects of microevolutionary processes. *American journal of physical anthropology* 153:167–77.
- Bookstein F. 1991. *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. První vydání. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Broom R, Robinson JT. 1950. Notes on the pelves of the fossil ape-men. *American journal of physical anthropology* 8:489–494.
- Brown F, Harris J, Leakey R, Walker A. 1985. Early *Homo erectus* skeleton from west Lake Turkana, Kenya. *Nature* 316:788–792.
- Brown KM. 2015. Selective pressures in the human bony pelvis: Decoupling sexual dimorphism in the anterior and posterior spaces. *American Journal of Physical Anthropology* (in press).
- Brůžek J, Castex D, Majó T. 1996. Évaluation des caractères morphologiques de la face sacro-pelvienne de l'os coxal. Proposition d'une nouvelle méthode de diagnose sexuelle. *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris* 8:491–502.

- Brůžek J, Murail P. 2006. Methodology and Reliability of Sex Determination From the Skeleton. In: Schmitt A, Cunha E, Pinheiro J, editors. Forensic anthropology and medicine: complementary sciences from recovery to cause of death. Totowa: Humana Press Incorporated. p 225–242.
- Brůžek J. 2002. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *American journal of physical anthropology* 117:157–68.
- Buckberry J, Chamberlain A. 2002. Age Estimation from the Auricular Surface of the Ilium: A Revised Method. 119:231–239.
- Caldwell W, Moloy H. 1932. Sexual variations in the pelvis. *Science* 76:37–40.
- Calvillo O, Skaribas I, Turnipseed J. 2000. Anatomy and pathophysiology of the sacroiliac joint. *Current review of pain* 4:356–361.
- Campbell GP, Curran JM. 2009. The interpretation of elemental composition measurements from forensic glass evidence III. *Science and Justice* 49:2–7.
- Cibulka MT. 2013. Anatomy of the sacroiliac joints. *Journal of anatomy* 222:390.
- Cortes C, Vapnik V. 1995. Support vector networks. *Mach Learn* 20:273–297.
- 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.
- Curnoe D, Grün R, Taylor L, Thackeray F. 2001. Direct ESR dating of a Pliocene hominin from Swartkrans. *Journal of Human Evolution* 40:379–391.
- Čihák R. 2001. Anatomie 1. Druhé vydání. Praha, Grada.
- Dar G, Hershkovitz I. 2006. Sacroiliac joint bridging: simple and reliable criteria for sexing the skeleton. *Journal of forensic sciences* 51:480–3.
- Day MH. 1971. Postcranial remains of *Homo erectus* from Bed IV, Olduvai Gorge, Tanzania. *Nature* 232:383–387.
- Dupej J, Krajíček V, Pelikán J. 2015. Morphome3cs II. <http://cgg.mff.cuni.cz/Morpho/>.
- Ebraheim NA, Madsen TD, Xu R, Mehalik J, Yeasting RA. 2003. Dynamic changes in the contact area of the sacroiliac joint. *Orthopedics* 26:711–719.
- Fortin JD, Ballard KE. 2009. The frequency of accessory sacroiliac joints. *Clinical anatomy (New York, NY)* 22:876–7.
- Froehle AW, Churchill SE. 2009. Energetic competition between Neandertals and anatomically modern humans. *PaleoAnthropology* 96–116.

- Genovés S. 1959. L'estimation des différences sexuelles dans l'os coxal : différences métriques et différences morphologiques. *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris* X:3–95.
- Gommery D, Thackeray JF. 2006. Sts 14, a male subadult partial skeleton of *Australopithecus africanus*? *South African Journal of Science* 102:91–92.
- Gonzalez PN, Bernal V, Perez SI. 2009. Geometric morphometric approach to sex estimation of human pelvis. *Forensic Science International* 189:68–74.
- Grine FE, Jungers WL, Tobias P V., Pearson OM. 1995. Fossil *Homo* femur from Berg Aukas, northern Namibia. *American journal of physical anthropology* 97:151–185.
- Gunz P, Mitteroecker P, Neubauer S, Weber GW, Bookstein FL. 2009. Principles for the virtual reconstruction of hominin crania. *Journal of Human Evolution* 57:48–62.
- Gunz P, Mitteroecker P. 2013. Semilandmarks: A method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix* 24:103–109.
- Harcourt-smith WEH, Tallman M, Frost SR, Wiley DF, Rohlf FJ, Delson E. 2008. Analysis of Selected Hominoid Joint Surfaces Using Laser Scanning and Geometric Morphometrics : A Preliminary Report. In: Sargis EJ, Dagosto M, editors. *Mammalian Evolutionary Morphology: A Tribute to Frederick S. Szalay*. Dordrecht, Netherlands: Springer Science & Business Media. p 373–383.
- Harmon E. 2006. Size and shape variation in *Australopithecus afarensis* proximal femora. *Journal of human evolution* 51:217–227.
- Hausler M, Schmid P. 1995. Comparison of the Pelves of Sts-14 and Al-288-1 - Implications for Birth and Sexual Dimorphism in Australopithecines. *Journal of Human Evolution* 29:363–383.
- Hay RL. 1976. *Geology of the Olduvai Gorge: A Study of Sedimentation in a Semiarid Basin*. Berkeley: University of California Press.
- Hogervorst T, Bouma HW, de Vos J. 2009. Evolution of the hip and pelvis Evolution of the hip and pelvis. *Acta orthopaedica* 80.
- Hora M, Sládek V. 2014. Efektivita chůze a běhu v evoluci člověka. *Živa* 4:156–158.
- Hublin JJ. 2009. The origin of Neandertals. *PNAS* 106:16022–16027.
- Churchill SE. 1998. Cold adaptation, heterochrony, and neandertals. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews* 7:46–60.
- Ikeno H, Matsumura H, Murakami G, Sato TJ, Ohta M. 2006. Which morphology of dry bone articular surfaces suggests so-called fibrous ankylosis in the elderly human sacroiliac joint? *Anatomical science international / Japanese Association of Anatomists* 81:39–46.

- Iskan MY, Derrick K. 1984. Determination of sex from the sacroiliac joint: a visual assessment technique. *Florida Scientist* 47:94–98.
- Johanson DC, Lovejoy CO, Kimbel WH, White TD, Ward SC, Bush ME, Latimer BM, Coppens Y. 1982. Morphology of the Pliocene Partial Hominid Skeleton (A.L. 288-1) from the Hadar Formation, Ethiopia. *American journal of physical anthropology* 57:403–451.
- Jungers WL. 1988a. Relative joint size and hominoid locomotor adaptations with implications for the evolution of hominid bipedalism. *Journal of Human Evolution* 17:247–265.
- Jungers WL. 1988b. New estimates of body size in australopithecines. In: Grine FE, editor. *Evolutionary History of the “Robust” Australopithecines*. New Brunswick: Transaction Publishers. p 115–125.
- Kibii JM, Churchill SE, Schmid P, Carlson KJ, Reed ND, de Ruiter DJ, Berger LR. 2011. A partial pelvis of *Australopithecus sediba*. *Science* 333:1407–1411.
- Krmek N, Jo-Osvatić A, Nikolić T, Krmek V, Salamon A. 2006. Anthropological measurement of the sacroiliac joint. *Collegium antropologicum* 30:811–4.
- Kurki HK. 2011. Pelvic dimorphism in relation to body size and body size dimorphism in humans. *Journal of human evolution* 61:631–43.
- Leakey MD. 1971. Discovery of postcranial remains of *Homo erectus* and associated artefacts in Bed IV at Olduvai Gorge, Tanzania. *Nature* 232:380–383.
- Lovejoy CO, Meindl RS, Pryzbeck TR, Mensforth RP. 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.
- Lovejoy CO. 1988. Evolution of human walking. *Scientific American*:118–125.
- Lovejoy CO. 2005. The natural history of human gait and posture. Part 1. Spine and pelvis. *Gait & posture* 21:95–112.
- MacLaughlin S. 1987 (thesis). An evaluation of current techniques for age and sex determination from adult human skeletal remains.
- Mahato NK. 2011. Relationship of sacral articular surfaces and gender with occurrence of lumbosacral transitional vertebrae. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 11:961–5.
- Malghem J, Berg B Vande. 2007. Principes d'interpretation de l'imagerie des articulations sacro-iliaques. *JBR-BTR* 90:358–367.

- McHenry H. 1992. Body size and proportions in early hominids. *American Journal of Physical Anthropology* 87:407–431.
- McHenry HM, Coffing K. 2000. Australopithecus to Homo: transformations in body and mind. *Annual Review of Anthropology* 29:125–146.
- McHenry HM. 1975. A new pelvic fragment from Swartkrans and the relationship between the robust and gracile australopithecines. *American journal of physical anthropology* 43:245–262.
- McHenry HM. 1994. Tempo and mode in human evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91:6780–6786.
- Millard AR. 2008. A critique of the chronometric evidence for hominid fossils: I. Africa and the Near East 500-50 ka. *Journal of human evolution* 54:848–874.
- Molleson T, Cox M. 1993. *The Spitalfields Project, Volume 2: The Anthropology*. York: Council for British Archeology.
- Nakhaeizadeh S, Dror IE, Morgan RM. 2014. Cognitive bias in forensic anthropology: Visual assessment of skeletal remains is susceptible to confirmation bias. *Science and Justice* 54:208–214.
- Novak L, Schultz JJ, McIntyre M. 2012. Determining sex of the posterior ilium from the Robert J. Terry and William M. Bass collections. *Journal of forensic sciences* 57:1155–60.
- Novak LM. 2010. Sexual Dimorphism of the Posterior Pelvis of the Robert J. Terry Anatomical Collection and William M. Bass Donated Skeletal Collection.
- Novotný V. 1981. Pohlavní rozdíly a identifikace pohlaví pánevní kosti.
- Orford M. 1934. The pelvis of the Bush race. *South African Journal of Science* 31:586–610.
- Pal GP. 1989. Weight transmission through the sacrum in man. *Journal of anatomy* 162:9–17.
- Pel JJM, Spoor CW, Pool-Goudzwaard a L, Hoek van Dijke G a, Snijders CJ. 2008. Biomechanical analysis of reducing sacroiliac joint shear load by optimization of pelvic muscle and ligament forces. *Annals of biomedical engineering* 36:415–424.
- Pretorius E, Steyn M, Scholtz Y. 2006. Investigation into the usability of geometric morphometric analysis in assessment of sexual dimorphism. *American Journal of Physical Anthropology* 129:64–70.
- Puhakka KB, Melsen F, Jurik a G, Boel LW, Vesterby A, Egund N. 2004. MR imaging of the normal sacroiliac joint with correlation to histology. *Skeletal radiology* 33:15–28.

- Pycraft PW, Smith GE, Yearsley M, Carter JT, Smith RA, Hopwood AT, Bate D, Swinton WE, Bather FA. 1928. Rhodesian man and associated remains. London: British Museum.
- Rak Y, Arensburg B. 1987. Kebara 2 Neanderthal pelvis: first look at a complete inlet. *American journal of physical anthropology* 73:227–231.
- Reed ND, Churchill SE. 2013. Shape change in the sacroiliac joint at the emergence of Homo. In: *Paleoanthropology Society Meeting abstracts*. Honolulu.
- Rocha MA. 1995. Les collections ostéologiques humaines identifiées du Musée Anthropologique de l'Université de Coimbra. *Antropologia portuguesa* 13:7–38.
- Rosenberg K, Trevathan W. 2002. Birth, obstetrics and human evolution. *BJOG : an international journal of obstetrics and gynaecology* 109:1199–1206.
- Ruff C. 1988. Hindlimb articular surface allometry in hominoidea and Macaca, with comparisons to diaphyseal scaling. *Journal of Human Evolution* 17:687–714.
- Ruff C. 1991. Climate and body shape in hominid evolution. *Journal of Human Evolution* 21:81–105.
- Ruff C. 2010. Body size and body shape in early hominins - implications of the Gona Pelvis. *Journal of Human Evolution* 58:166–178.
- Sawyer GJ, Maley B. 2005. Neanderthal reconstructed. *Anatomical Record - Part B New Anatomist* 283:23–31.
- Schmitz RW, Serre D, Bonani G, Feine S, Hillgruber F, Krainitzki H, Pääbo S, Smith FH. 2002. The Neandertal type site revisited: interdisciplinary investigations of skeletal remains from the Neander Valley, Germany. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99:13342–13347.
- Schwarcz HP, Grün R, Tobias P V. 1994. ESR dating studies of the australopithecine site of Sterkfontein, South Africa. *Journal of Human Evolution* 26:175–181.
- Simpson SW, Quade J, Levin NE, Butler R, Dupont-Nivet G, Everett M, Semaw S. 2008. A female Homo erectus pelvis from Gona, Ethiopia. *Science (New York, NY)* 322:1089–1092.
- Slice DE. 2007. Geometric Morphometrics. *Annual Review of Anthropology* 36:261–281.
- Steinke H, Hammer N, Slowik V, Stadler J, Josten C, Böhme J, Spänel-Borowski K. 2010. Novel insights into the sacroiliac joint ligaments. *Spine* 35:257–263.
- Stringer CB. 1986. An Archaic Character in the Broken Hill Innominate E. 719. *American journal of physical anthropology* 71:115–120.

- Tague RG. 1989. Variation in pelvic size between males and females. *American journal of physical anthropology* 80:59–71.
- Tardieu C, Bonneau N, Hecquet J, Boulay C, Marty C, Legaye J, Duval-Beaupère G. 2013. How is sagittal balance acquired during bipedal gait acquisition? Comparison of neonatal and adult pelvis in three dimensions. Evolutionary implications. *Journal of human evolution* 65:209–22.
- Thorpe SKS, Clymont JM, Crompton RH. 2014. The origins of human bipedalism. *Antiquity* 88:906–914.
- Tillier A-M, Arensburg B, Bruzek J. 2008. Identité biologique des artisans moustériens de Kebara (Mont Carmel, Israël). Réflexions sur le concept de néanderthalien au Levant méditerranéen. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 20:33–58.
- Valoerdy M, Hogg D. 1989. Sex differences in the morphology of the auricular surfaces of the human sacroiliac joint. *Clinical Anatomy* 2:63–67.
- Valoerdy MR, Hogg DA. 1990. Anatomical note: The occurrence of accessory sacroiliac joints in man. *Clinical Anatomy* 3:257–260.
- Velemínská J, Krajíček V, Dupej J, Gómez-Valdés J a., Velemínský P, Šefčáková A, Pelikán J, Sánchez-Mejorada G, Brůžek J. 2013. Technical Note: Geometric morphometrics and sexual dimorphism of the greater sciatic notch in adults from two skeletal collections: The accuracy and reliability of sex classification. *American Journal of Physical Anthropology* 152:558–565.
- Vleeming a, Schuenke MD, Masi a T, Carreiro JE, Danneels L, Willard FH. 2012. The sacroiliac joint: an overview of its anatomy, function and potential clinical implications. *Journal of anatomy* 221:537–567.
- Waldrop JT, Ebraheim NA, Yeasting RA, Jackson WT. 1993. The Location of the Sacroiliac Joint on the Outer Table of the Posterior Ilium. *Journal of Orthopaedic Trauma* 7:510–513.
- Walker A, Leakey R eds. 1993. *The Nariokotome Homo erectus skeleton*. Cambridge: Harvard University Press.
- Walter R. 1994. Age of Lucy and the First Family: single-crystal $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Denen Dora and lower Kada Hadar members of the Hadar Formation, Ethiopia. *Geology* 22:6–10.
- Wescott DJ. 2015. Sexual Dimorphism in Auricular Surface Projection and Postauricular Sulcus Morphology. *Journal of Forensic Sciences* 60:679–685.
- Will M, Stock JT. 2015. Spatial and temporal variation of body size among early Homo. *Journal of Human Evolution* 82:15–33.

- Wood B, Collard M. 1999. The human genus. *Science* (New York, NY) 284:65–71.
- Yusof N a., Soames RW, Cunningham C a., Black SM. 2013. Growth of the Human Ilium: The Anomalous Sacroiliac Junction. *Anatomical Record* 296:1688–1694.
- Zelditch M, Swiderski D, Sheets H, Fink W. 2004. *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. New York: Elsevier Academic Press.
- Zihlman A. 1984. Body build and tissue composition in *Pan paniscus* and *Pan troglodytes*, with comparisons to other hominoids. In: Susman RS, editor. *The pygmy chimpanzee*. Springer US. p 179–200.

Příloha 1 – Výsledky PCA

Uvedeno je vždy prvních deset PC s vyjádřeným procentuálním vlivem na variabilitu souboru. Tučně je vyznačeno, které komponenty byly dále statisticky testovány.

Testování vlivu stranové příslušnosti (N = 20)

Tvar		Forma	
1	40,5	1	33,4
2	14,0	2	27,1
3	8,6	3	9,5
4	7,4	4	5,9
5	6,3	5	5,3
6	5,3	6	4,2
7	4,3	7	3,0
8	3,2	8	2,9
9	2,1	9	2,1
10	1,9	10	1,4

Testování vlivu věku (N = 82)

Tvar		Forma	
1	31,9	1	46,2
2	11,5	2	16,4
3	9,7	3	6,7
4	7,2	4	5,3
5	5,6	5	3,9
6	4,7	6	3,1
7	3,7	7	2,5
8	3,2	8	2,0
9	2,5	9	1,9
10	2,3	10	1,4

Testování vlivu kolekce a pohlaví (N = 97)

Tvar		Forma	
1	30,6	1	45,8
2	11,5	2	15,6
3	9,4	3	6,7
4	7,7	4	5,2
5	5,7	5	4,1
6	4,5	6	3,2
7	3,6	7	2,4
8	3,2	8	2,0
9	2,6	9	1,8
10	2,4	10	1,5

Příloha 2 – Výsledky dvouvýběrových testů

Uvedeny jsou vždy výsledky Shapiro-Wilk testu normality, u kterého jsou uvedeny dvě hodnoty, tj. pro oba testované výběry zvlášť. Výsledky testu normality jsou tedy v tomto pořadí: pravá, levá strana; Coimbra, Spitalfields pro kolekci; ženy, muži pro pohlaví. Podle výsledků testu normality byl následně vybrán vhodný statistický test. Pokud alespoň v jednom výběru byla normalita vyvrácena, pak byl použit neparametrický test.

Testování vlivu stranové příslušnosti na tvar, formu a CS (N = 20)

Závisle proměnná	Shapiro-Wilk test	Párový permutační Hotelling T-test	Párový T-test
Tvar PC1-2	$p = 0,063$ $p = 0,001$	$T^2 = 3,0052,$ $p = 0,061$	-
Forma PC1-3	$p = 0,330$ $p = 0,004$	$T^2 = 2,0805,$ $p = 0,135$	-
CS	$p = 0,948$ $p = 0,843$	-	$t = 0,0037,$ $p = 0,997$

Testování vlivu kolekce na tvar, formu a CS (N = 97)

Závisle proměnná	Shapiro-Wilk test	Permutační Hotelling T-test	Parametrický Hotelling T-test	Studentův T-test
Tvar PC1-5	$p = 0,001$ $p = 0,000002$	$T^2 = 0,76972,$ $p = 0,573$	-	-
Forma PC1-3	$p = 0,824$ $p = 0,086$	-	$T^2 = 1,3685,$ $p = 0,257$	-
CS	$p = 0,251$ $p = 0,557$	-	-	$t = 1,4077,$ $p = 0,163$

Testování vlivu pohlaví na tvar a formu (N = 97)

Závisle proměnná	Shapiro-Wilk test	Permutační Hotelling T-test	Parametrický Hotelling T-test
Tvar PC1-5	$p = 0,00001$ $p = 0,0005$	$T^2 = 3,6463,$ $p = 0,0035$	-
Forma PC1-3	$p = 0,080$ $p = 0,262$	-	$T^2 = 23,541,$ $p = 2,0 \cdot 10^{-11}$

Příloha 3 – Výsledky testování vlivu více proměnných

Uvedeny jsou výsledky testování vlivu věku jednak jako spojité proměnné, přičemž byl použit test (M)ANCOVA. U testování vlivu věku jako kategorické proměnné (u CS) byl použit test ANOVA a Tukey HSD test pro otestování rozdílů mezi dvojicemi kategorií.

Testování vlivu věku na tvar a formu (N = 82)

Závisle proměnná	MANCOVA
Tvar PC1-5	F = 0,240, p = 0,942
	F = 1,201, p = 0,329
Forma PC1-3	F = 1,577, p = 0,211
	F = 1,747, p = 0,174

Testování vlivu věku na CS (N = 82)

Závisle proměnná	ANCOVA	ANOVA
CS	t = 4,317, p = 0,044	F = 2,252 p = 0,119
	t = 1,763, p = 0,192	F = 0,891 p = 0,419

Párové rozdíly mezi věkovými kategoriemi

Pohlaví	Porovnávané kategorie	Průměrný rozdíl	Spodní kvartil	Horní kvartil	p-hodnota
F	2-1	1,477	-6,432	9,386	0,892
	3-1	5,589	-1,774	12,952	0,167
	3-2	4,111	-2,159	10,382	0,258
M	2-1	-0,655	-11,896	10,586	0,989
	3-1	2,526	-8,198	13,249	0,835
	3-2	3,181	-2,820	9,182	0,408

Testování vlivu pohlaví a věku na CS (N = 82; ANCOVA)

Závisle proměnná	Vliv pohlaví	Vliv věku	Interakce s pohlavím
CS	t = 2,570 p = 0,012	t = 2,084 p = 0,041	t = -0,362 p = 0,718

Příloha 4 – Popisné statistiky a výsledky měření

Popisné statistiky centroid size rozlišené podle pohlaví (N = 97).

	N	Průměr	Směr. odch.	Minimum	Maximum
F	42	90,4	7,5	77,3	107,3
M	55	101,8	7,1	85,7	115,9
Všichni	97	96,9	9,2	77,3	115,9

Průměrné hodnoty měřených rozměrů *facies auricularis* v obdélníkové metodě s odchylkami měření mezi hodnotami prvního a druhého měření (N = 97).

	Délka horního ramene	Délka dolního ramene	Minimální výška	Maximální výška	Minimální šířka	Maximální šířka	Průměr	Obsah plochy
Průměr (mm)	47,9	36,3	15,0	19,9	14,2	19,2	25,4	1157,2 mm ²
Prům. odch. (mm)	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	10,3
Rel. Och. (%)	0,7	0,8	1,2	1,2	2,1	1,1	1,0	0,9

Popisné statistiky obsahu aurikulární plochy vypočítané obdélníkovou a mnohoúhelníkovou metodou a odchylky obdélníkové metody vypočtené jako rozdíl výsledků obdélníkové a mnohoúhelníkové metody (N = 97).

Proměnná	Průměr [mm ²]	Směr. odch. [mm ²]	Minimum [mm ²]	Maximum [mm ²]
Obdélníková metoda	1157,2	206,3	743,5	1702,6
Mnohoúhelník	1184,4	228,5	709,4	1724,9
Rozdíl obou metod	-27,2	80,9	-288,3	165,1
Relativní odchylka	-1,8	6,6	-18,1	14,9

Popisné statistiky rozměru VEAC (N = 93) a IB (N = 60) u recentního souboru.

Rozměr	Průměr [mm]	Směr. odch. [mm]	Minimum [mm]	Dolní kvartil [mm]	Horní kvartil [mm]	Maximum [mm]
VEAC	54,0	4,3	40,0	51,0	57,0	63,4
IB	68,8	5,6	55,2	65,0	72,4	79,4

Relativní velikost *facies auricularis* vyjádřena poměrem AA/AD (N = 93) a AA/IB (N = 60) u recentního souboru.

	Průměr	Směr. odch.	Minimum	Dolní kvartil	Horní kvartil	Maximum	Průměrný obsah <i>f.a.</i> [mm ²]
AA/AD [mm]	22,0	3,4	14,2	19,7	24,8	31,9	1192,3 ± 226,7
AA/IB [mm]	16,6	2,7	10,6	14,8	18,1	22,2	1142,0 ± 220,6

Příloha 5 – Zadání diplomové práce

Tvar a velikost *facies auricularis* kyčelní kosti člověka: evoluční aspekty a pohlavní dimorfismus.

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Jaroslav Brůžek, CSc. (Katedra antropologie a genetiky člověka, PřF UK Praha, yaro@seznam.cz)

Konzultant: RNDr. Jana Velemínská, Ph.D. (Katedra antropologie a genetiky člověka, PřF UK Praha, velemins@natur.cuni.cz)

Pohlavní dimorfismus *facies auricularis* je znám a je rovněž i využíván jako morfologický znak, který může přispět k odhadu pohlaví. Historický přehled jeho využití uvádí doktorská dizertace V. Novotného (Novotný, 1981). Hodnocení této anatomické struktury využívají i některé vizuální metody odhadu pohlaví (např. Ali a McLaughlin, 1991, Brůžek et al., 1993). Význam aspektivního hodnocení *facies auricularis* byl důležitý především z hlediska odhadu pohlaví kostních fragmentů kostí. Význam této anatomické struktury podtrhují i některé evoluční studie (Reed and Churchill, (2013), jelikož dramatické zvětšení kloubní plochy nastává u homininů v souvislosti s nárůstem jejich tělesné hmotnosti s konfliktem mezi stabilitou a mobilitou kloubu. Problematické je proto rovněž užití *facies auricularis* jako diagnostického znaku odhadu pohlaví fosilií v lidské linii.

Současný rozvoj geometrické morfometrie umožňuje odstranit subjektivitu vizuálního hodnocení *facies auricularis* pro potřeby identifikace a odhadu pohlaví (Anastasiou a Chamberlain, 2012). Dosaženou vysokou přesností oddělení pohlaví pomocí 2D geometrické morfometrie považují autoři za perspektivní a slibnou a vybízejí k studiu pohlavního dimorfismu sakro-iliakálního skloubení.

Cílem DP je proto ověřit pohlavní dimorfismus *facies auricularis* a možnosti jejího využití pro odhad pohlaví nástroji geometrické morfometrie ve dvou souborech fotografií pánevních kostí známého pohlaví, které budou dodány školitelem (soubor 1: Maxwell Museum of Anthropology, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, USA, soubor 2: Departamento de Anatomía, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Mexico), případně další. Iniciativa při analýze fosilních pánevních kostí je vítána za předpokladu získání relevantní obrazové dokumentace.

Omezením studie je využití 3D technik geometrické morfometrie z důvodů obtížné segmentace sakroiliakální plochy v CT obraze.