

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Antropologie a genetika člověka



Bc. Lenka Nehasilová

Pohlavní dimorfismus tvaru *incisura ischiadica major* pánevní kosti člověka
Shape sexual dimorphism of the greater sciatic notch on human hip bone

Diplomová práce

Vedoucí závěrečné práce/Školitel:
Doc. RNDr. Jaroslav Brůžek, CSc., Ph.D.

Praha, 2011

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, 3.5.2011

Děkuji vedoucímu práce Doc. RNDr. Jaroslavu Brůžkovi, CSc., Ph.D. za poskytnutí konzultací a odborné literatury, dále děkuji RNDr. Janě Velemínské, Ph.D. za konzultace a rady ohledně geometrické morfometrie. Dále také Evě Kočišové za přínosné postřehy ke statistickým analýzám. Také bych ráda poděkovala RNDr. Václavu Krajíčkovi za jeho čas a ochotu.

Studie byla podpořena výzkumným záměrem MSM 0021620843.

Obsah

1	Abstrakt.....	5
2	Abstract.....	6
3	Úvod.....	7
4	Cíl práce.....	9
5	Teoretická část.....	10
5.1	Pánev, pánevní kost.....	10
5.2	Pohlavní dimorfismus a pohlavní rozdíly pánevní kosti.....	13
5.2.1	Pohlavní dimorfismus.....	13
5.2.2	Znaky pohlavního dimorfismu pánevní kosti.....	14
5.3	Metody určování pohlaví s využitím pánevní kosti.....	17
5.3.1	Aspektivní metody.....	18
5.3.2	Metrické metody.....	22
5.3.3	Geometricko – morfometrické metody.....	24
6	Materiál.....	26
6.1	Soubor 1 – hlavní soubor.....	26
6.2	Soubor 2 – kontrolní soubor.....	26
7	Metody.....	27
7.1	Morfometrické metody.....	27
7.1.1	Tradiční morfometrie vs. geometrická morfometrie.....	27
7.1.2	Význačné body - landmarky.....	28
7.1.3	Semilandmarky.....	28
7.2	Použité přístroje a softwary.....	28
7.2.1	MicroScribe®G2.....	29
7.2.2	Rhinoceros®3.0.....	29
7.2.3	Morphome3cs.....	29
7.2.4	Morphologika ² 2.5.....	30
7.2.5	PAST (PAleontological STatistics).....	30
7.3	Metody digitalizace křivky <i>incisura ischiadica major</i>	30
7.3.1	Digitalizace křivky pomocí kontaktního scanneru MicroScribe®G2.....	31
7.3.2	Digitalizace křivky pomocí programu Morphome3cs.....	32

7.4	Využité metody geometrické morfometrie a mnohorozměrné statistiky	33
7.4.1	Procrustovská transformace.....	33
7.4.2	Analýza hlavních komponent (Principal component analysis)	34
7.4.3	Metoda ohebných pásků (Thin-plate spline)	35
7.4.4	Diskriminační analýza (Discriminant function analysis)	35
8	Výsledky	37
8.1	Manuální snímání křivky.....	37
8.1.1	Zpracování křivky s využitím 12ti semilandmarků	37
8.1.2	Zpracování křivky s využitím 16ti semilandmarků	47
8.1.3	Zpracování křivky s využitím 37mi semilandmarků	56
8.2	Automatické snímání křivky.....	65
8.2.1	Zpracování křivky s využitím 12ti semilandmarků	65
8.2.2	Zpracování křivky s využitím 16ti semilandmarků	74
8.3	Souhrnné výsledky	83
8.3.1	Výsledky analýzy srovnávacího souboru (UNAM).....	84
8.3.2	Ověření platnosti modelu na smíšeném souboru různých populací.....	91
9	Diskuze	94
10	Závěr	99
11	Seznam použité literatury.....	101
12	Internetové zdroje	106
13	Software	107
14	Seznam obrázků.....	108
15	Seznam tabulek.....	110
16	Seznam grafů.....	112

1 Abstrakt

Práce je zaměřena na kvantifikaci pohlavního dimorfismu profilu *incisura ischiadica major* s využitím 2D geometrické morfometrie. Křivka byla digitalizována pomocí dvou odlišných metod – manuálně kontaktním digitizérem MicroScribe®G2 a digitálně pomocí softwaru Morphome3cs. Výsledky obou metod byly navzájem porovnány pro zhodnocení výhod a nevýhod každé z nich.

Analýzovali jsme soubor 114 fotografií velkého sedacího zářezu dospělých jedinců známého pohlaví. Soubor pocházel ze sbírky Maxwellova muzea Univerzity v Novém Mexiku v Albuquerque a zahrnoval 57 mužských a 57 ženských pánevních kostí. Pro ověření metody jsme dále využili druhý soubor fotografií velkého sedacího zářezu obsahující 112 dospělých jedinců známého pohlaví, který pochází z forenzní laboratoře Lékařské fakulty Národní autonomní univerzity v Mexico City (UNAM). Tento soubor zahrnoval 56 mužských a 56 ženských pánevních kostí.

K hodnocení byla využita procrustovská analýza, analýza hlavních komponent, metoda tenkých ohebných plátek a diskriminační analýza. Díky vizualizaci jsme dokázali detailněji popsat morfologické rozdíly ve tvaru *incisura ischiadica major* mužů a žen a diskriminační analýza potvrdila ve všech případech rozdílnost obou skupin. Klasifikace dosahuje v závislosti na použité metodě a počtu semilandmarků úspěšnost v rozmezí 92,11 – 98,25%.

Klíčová slova:

Pánevní kost – *incisura ischiadica major* – pohlavní dimorfismus – klasifikace pohlaví - geometrická morfometrie – analýza hlavních komponent

2 Abstract

The aim of this work is sexual dimorphism quantification of greater sciatic notch profile using 2D geometric morphometrics methods. The curvature was digitized by two different methods – manually with contact digitizer MicroScribe® G2 and automatically with software Morphome3cs. Results from each method were compared and advantages and disadvantages of both methods were discussed.

Target sample of 114 adult specimens of known sex was analyzed. This collection comes from Maxwell Museum of Anthropology, The University of New Mexico, Albuquerque and contains 57 male and 57 female hip bones. For the method verification the test sample contains 112 adult specimens of known sex was used. This collection comes from Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). This collection contains 56 male and 56 female hip bones.

The Procrustes analysis, principal components analysis, thin plate spline and discriminant function analysis were used for analysis. We could make a detail description of morphologic differences in greater sciatic notch shape of men and women because of shape visualisation and difference of both group was confirmed by discriminant function analysis. Sex assessment achieves accuracy 92,11% - 98,25% in dependence on used methods and number of semilandmarks.

Key words:

Hip bone – greater sciatic notch – sexual dimorphism – sex assessment - geometric morphometrics – principal component analysis

3 Úvod

Identifikace jedince je v případě nálezů kosterních pozůstatků hlavním cílem forenzních antropologů a bioarcheologů. Nedílnou součástí identifikace je určení pohlaví, které se dá zjistit pomocí genetické analýzy či na základě hodnocení znaků pohlavního dimorfismu kosterního materiálu. Genetická analýza je poměrně nákladná a časově náročná a v některých případech by identifikace jedinců trvala velmi dlouho (v případě rozsáhlého pohřebiště či masových hrobů). Rychlejší, stejně spolehlivou a ne tak finančně náročnou metodou je klasifikace pohlaví na základě znaků pohlavního dimorfismu na lidském skeletu.

Důležitým faktorem při identifikaci kosterního materiálu je jeho zachovalost. Ve většině případů se skelet nedochová kompletní a jednotlivé kosti jsou fragmentované, což zjevně stěžuje identifikaci jedince. I přesto můžeme využít reliabilní metody, které dosahují vysoké úspěšnosti klasifikace pohlaví (Albanese et al. 2008; Brůžek 2002; Cardoso, Saunders 2008; Letterman 1941; Phenice 1969; Singh, Potturi 1978).

Hodnocení sexuálně dimorfních znaků na lidské kostře můžeme provádět pomocí několika různých přístupů. Jedná se o aspektivní hodnocení jednotlivých morfologických znaků (Anderson 1990; Brůžek 2002; Iscan, Derrick 1984; Kimmerle et al. 2008; Phenice 1969; Ubelaker, Volk 2002), metrické metody (Albanese et al. 2008; Ari 2005; Hager 1996; Letterman 1941; Singh, Potturi 1978; Weaver 1980) či geometricko-morfometrické metody (Bytheway, Ross 2010; Gonzalez et al. 2009; Pretorius et al. 2006; Wilson et al. 2008), případně kombinace těchto přístupů. Metoda geometrické morfometrie řeší problém špatné zachovalosti kosterního materiálu, protože se může aplikovat jen na určitou část skeletu a umožňuje kvantifikovat tvar znaku bez závislosti na velikosti objektu (Richtsmeier et al. 2002). Další výhodou je zpětné zobrazení pomocí souřadnic měřených landmarků a semilandmarků, což také umožňuje vizualizaci tvarových změn.

Mezi část skeletu, kde jsou znaky pohlavního dimorfismu velmi výrazné, patří především pánevní kost a pánev jako celek (Brues 1958), protože se na ní nacházejí morfologické rozdíly spojené s reprodukcí (Sharma 2002). Další částí skeletu, vhodnou ke klasifikaci pohlaví, je lebka, na které se taktéž nacházejí výrazné dimorfní rozdíly. Použití pánevní kosti však při klasifikaci pohlaví dosahuje největší úspěšnosti i spolehlivosti (Brůžek, Murail 2006). V souvislosti s anatomíí pánevní kosti je zřejmé, že ne u všech nálezů kosterních pozůstatků se pánevní kost dochová kompletní. *Incisura ischiadica*

major (velký sedací zářez) je částí pánevní kosti, která se vyznačuje velmi dobrou zachovalostí i v případech, že je kost v jiných oblastech poškozena nebo úplně chybí a současně vysokým stupněm pohlavního dimorfismu (Brues 1958). Při aplikování geometrické morfometrie na hodnocení křivky velkého sedacího zářezu můžeme dosáhnout přesných a spolehlivých výsledků v klasifikaci pohlaví u dospělých jedinců (Bytheway, Ross 2010; Gonzalez et al. 2009). Geometrická morfometrie může být využita také u hodnocení juvenilních kostí (Holcomb, Konigsberg 1995; Wilson et al. 2008), ačkoli vlivem absence znaků pohlavního dimorfismu, které se utvářejí až během puberty, nedosahují výsledky tak vysoké úspěšnosti, jako u dospělých jedinců.

4 Cíl práce

Hlavním cílem diplomové práce byla kvantifikace pohlavního dimorfismu tvaru *incisura ischiadica major* lidské pánevní kosti s využitím 2D geometrické morfometrie.

Dále jsme si zvolili několik dílčích cílů:

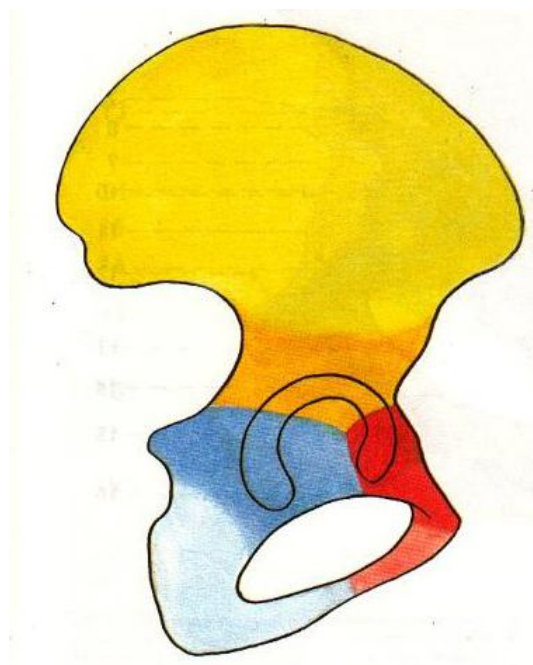
- Optimalizace počtu použitých semilandmarků k dosažení co největší úspěšnosti klasifikace pohlaví. Zajímalo nás, zda při zvyšování počtu semilandmarků získáme vyšší procento úspěšnosti klasifikace pohlaví, nebo zda můžeme dosáhnout hranice, kdy již zvyšování počtu semilandmarků nemá efekt vzhledem k množství zkoumaných dat.
- Zhodnocení úspěšnosti dvou použitých metod (manuální a automatické) digitalizace křivky *incisura ischiadica major* a následné porovnání výhod a nevýhod těchto metod.
- Ověření platnosti získaného modelu klasifikace pohlaví na jiném výběrovém vzorku odlišné populace.

5 Teoretická část

5.1 Pánev, pánevní kost

Pro další postup práce je vhodné uvést základní přehled anatomie pánevní kosti a kostěné pánve. Pokud není uvedeno jinak, náš text se opírá o učebnicové údaje čerpané z následujících publikací (zpracováno podle Čihák 2001; Dylevský, Druga, Mrázková 2000; Marieb, Hoehn 2007).

Pánevní kost je součástí pletence dolní končetiny a skládá se ze tří složek, které jsou během ontogenetického vývoje samostatné a srůstají do jednotného celku přibližně mezi 14. a 17. rokem. Věk srůstu je výrazně ovlivněn pohlavím jedince – u dívek nastává srůst dříve než u chlapců. Tyto tři části pánevní kosti tvoří *os ilium* (kost kyčelní), *os ischii* (kost sedací) a *os pubis* (kost stydká). Kost kyčelní tvoří proximální část *os coxae*, *os ischii* a *os pubis* utvářejí distální část (Obr. 1). V kloubní jamce (*acetabulum*), která se nachází na rozhraní proximální a distální části, se všechny tři kosti stýkají. V období růstu jsou spojeny chrupavkou (*cartilago ypsiloformis*) ve tvaru Y.



Obr. 1. Rozdělení pánevní kosti na *os ilium*, *os ischii* a *os pubis* (Čihák 2001).

Žlutě – *os ilium*

Modře – *os ischii*

Červeně – *os pubis*

Os ilium tvoří největší část pánevní kosti. *Corpus ossis ilii* (tělo) se proximálně rozšiřuje na *ala ossis ilii* (lopata kosti kyčelní), která je plochá a její horní část se nazývá *crista iliaca* (hřeben). Podél hřebene se vyskytují tři zdrsňelé linie pro úpony svalů stěny břišní (*labium externum*, *linea intermedia* a *labium internum*). Na kosti kyčelní se nachází výrazné morfologické útvary - *spina iliaca anterior superior* (přední horní trn kyčelní) a *spina iliaca posterior superior* (zadní horní trn kyčelní). Oba tyto trny jsou hmatné, a proto mají využití v antropometrii. Dalšími útvary jsou *spina iliaca anterior inferior* (přední dolní trn kyčelní) a *spina iliaca posterior inferior* (zadní dolní trn kyčelní), které již hmatné nejsou. Vnitřní plocha kyčelní kosti (*facies sacropelvica*) je vyhloubena a nazývá se *fossa iliaca*. Na ní se dorzálně nachází kloubní plocha pro sakroiliakální kloub (*facies auricularis*). Za kloubní plochou se vyskytuje drsnatina pro úpon zesilujících vazů kyčelního kloubu (*tuberositas iliaca*). *Fossa iliaca* je kaudálně zakončena obloukovitou hranou, která se nazývá *linea arcuata*. Na zevní ploše *os ilium* (*facies glutea*) se nacházejí tři obloukovité linie pro začátky hýžd'ových svalů (*linea glutea anterior*, *linea glutea posterior* a *linea glutea inferior*). *Os ilium* vpředu přechází kaudálně v *os pubis* nízkým hrbolem, který se nazývá *eminentia iliopubica* a kaudálně vzadu v *os ischii* nápadným zářezem zvaným *incisura ischiadica major* (Obr. 2). *Incisura ischiadica major* je důležitou částí pánevní kosti, která nese výrazné znaky pohlavního dimorfismu a končí až na *spina ischiadica*, což je trn kosti sedací.

Os ischii se skládá ze dvou složek – tělo (*corpus ossis ischii*), které se nachází u *acetabula* a částečně se podílí na jeho utváření a rameno (*ramus ossis ischii*) pokračující dolů a dopředu. Na *ramus ossis ischii* se nachází sedací hrbol (*tuber ischiadicum*), který je v místě spojení těla a ramene vyvýšen. Dalším výrazným úvarem na sedací kosti je trn sedací (*spina ischiadica*), který se nachází mezi velkým sedacím zářezem (*incisura ischiadica major*) a malým sedacím zářezem (*incisura ischiadica minor*). *Os ischii* se podílí na tvaru *foramen obturatum*.

Os pubis ohraničuje *foramen obturatum* ventrálně i distálně a tvoří nejútlejší část pánevní kosti. Skládá se ze tří složek – *corpus ossis pubis* (tělo), *ramus superior ossis pubis* a *ramus inferior ossis pubis* (ramena). Tělo *os pubis* utváří společně s ostatními složkami pánevní kosti *acetabulum*. Z těla vybíhá *ramus superior ossis pubis*, který jde ventrálně k symfýze. Odtamtud přechází do druhého ramene (*ramus inferior ossis pubis*). Na tomto přechodu se nachází *facies symphysialis*, což je plocha pro sponu stydkých kostí (*symphysis pubica*), která je tvořena chrupavkou. *Ramus inferior* má na dolním obvodu

nápadný drsnatý hřeben (*crista phalica*). Dalším útvarem na *os pubis* je hřeben stydké kosti (*pecten ossis pubis*), který se nachází na kraniální straně a je nahoře zakončen hrbolkem zvaným *tuberculum pubicum*.



Obr. 2. V červeném rámečku je vyznačena oblast *incisura ischiadica major* (foto J.Valdez).

Dvě pánevní kosti společně s kostí křížovou tvoří pánev. Kost křížová je s pánevními kostmi spojena sakroiliakálním kloubem, vepředu se kosti stydké spojují díky *symphysis pubica* (Dylevský, Druga, Mrázková 2000). Pánev je silný útvar, kde se nachází těžiště celého těla a zároveň chrání část vnitřních orgánů (Gentry Steele, Bramblett 1988).

5.2 Pohlavní dimorfismus a pohlavní rozdíly pánevní kosti

5.2.1 Pohlavní dimorfismus

Pohlavní dimorfismus nebo také pohlavní dvojtvárnost se vyskytuje v přírodě u velké většiny živočichů. Tento pojem vystihuje rozdíly mezi samcem a samicí stejného biologického druhu a to jak ve velikosti, tak například i ve zbarvení, v celkovém tvaru a uspořádání těla.

Mezi skupinu savců se sexuálně dimorfními znaky patří i člověk. Je obecně známo, že muži jsou více robustní než ženy, mají vyšší postavu, jsou rychlejší, mají různé rozložení tuku v těle, vytváří se u nich více svalové hmoty než u žen a díky tomu mají také větší sílu. Sexuální dimorfismus je podmíněn jak hormonálně a geneticky, tak i environmentálně. Částečně se na něm podílejí i různé socioekonomické vlivy (Fruyer, Wolpoff 1984). Z hlediska identifikace jedince při kosterním nálezů jsou důležité ty pohlavní rozdíly, které jsou patrné na lidském skeletu – morfologické útvary a rozměry na pánvi, lebce a dalších kostech.

Znaky pohlavního dimorfismu vyskytující se nejen na kostře jsou nejvíce rozvinuty u dospělých jedinců, protože největší změny vedoucí k pohlavně dimorfním znakům nastávají v pubertě. Vlivem hormonálních změn dochází k časově rozdílnému dospívání dívek a chlapců, vývoji sekundárních pohlavních znaků, k proměně postavy a nárůstu tělesné výšky. Vlivem remodelace kostní tkáně se mění stavba skeletu a prohlubují se pohlavní rozdíly především ve stavbě lebky a pánevní kosti (Brues 1958). Existuje však několik studií (Cardoso, Saunders 2008; Schutkowski 1993; Vlcek et al. 2008; Wilson et al. 2008), které se zabývají sexuálně dimorfními znaky na skeletu a určováním pohlaví již v dětském či fetálním věku.

Při hodnocení kosterního materiálu musíme brát v úvahu populační specifitu jednotlivých pohlavně dimorfních znaků na lidské kostře (Fruyer, Wolpoff 1984). Pohlavně dimorfní znaky mohou být u rozdílných populací více či méně výrazné a proto můžeme používat ke klasifikaci pohlaví jen ty metody, které byly vyvinuty pro odpovídající populaci. Při hodnocení kosterního materiálu různých populací pak může docházet k nesprávným závěrům jako v případě studie Götherströma et al. (1997), kdy

nesprávně hodnotili neolitickou populaci metodou původně navrženou pro populaci současnou.

5.2.2 Znaky pohlavního dimorfismu pánevní kosti

V souladu s cíli této práce jsme se zaměřili na pohlavní dimorfismus pánve a pánevní kosti samotné. Rozdíly mezi mužskou a ženskou pávní jsou patrné jak ve tvarových znacích, tak je lze kvantifikovat pomocí indexů (rozměry a jejich vztahy). Obecně platí, že transversální pánevní rozměry jsou relativně větší u žen a to jak zevní, tak i vnitřní (Pachner 1937).

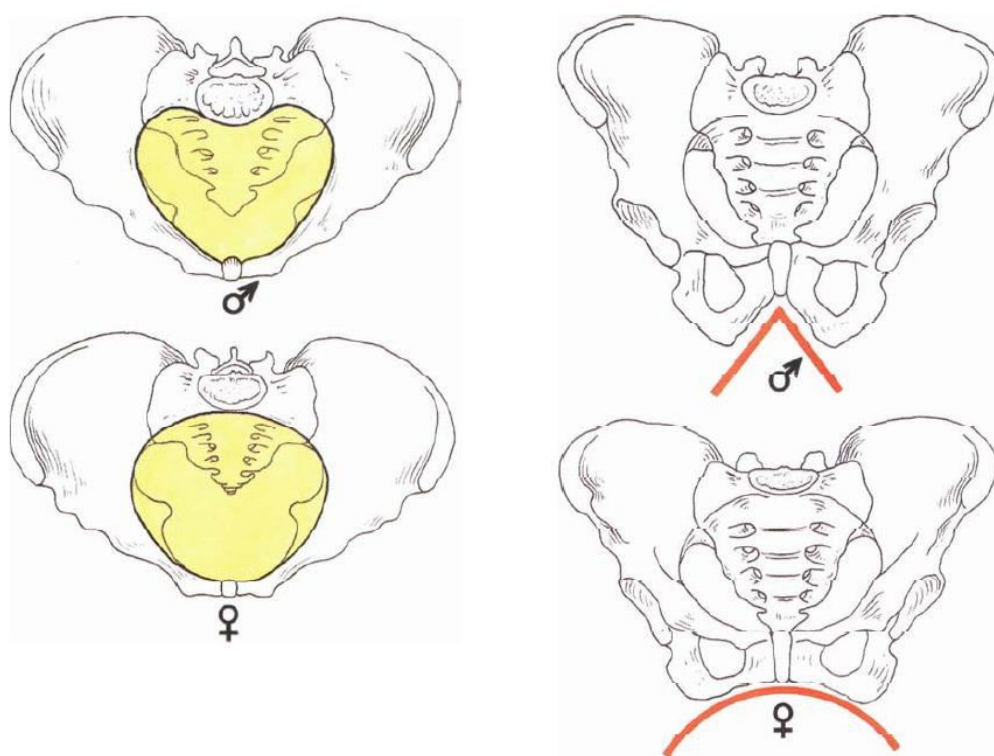
Tvar pánve anatomicky moderního člověka souvisí se stojem vzpřímeným a s rozvojem kapacity mozku. Oba faktory ovlivnily polohu a rozměry pánve u obou pohlaví, u žen však v souvislosti s reprodukcí přispěli k poněkud odlišné stavbě. Vzhledem k rozvoji kapacity mozkovny se začaly zvětšovat hlavičky novorozenců, což se odrazilo na morfologických změnách ženské pánve (Sharma 2002). Bylo nutné, aby se ženská pánev přizpůsobila pro těhotenství a snadnější porod (Brues 1958) a současně se adaptovala pro bipední lokomoci, což dokazují níže popsané znaky. Vzhledem k tomu, že bipední lokomoce a reprodukce jsou přítomny u všech populací, jsou metody klasifikace pohlaví založené na těchto znacích populačně nespecifické (Brůžek, Murail 2006). Populační rozdíly na pánevní kosti se nacházejí jen v drobnějších tvarových variacích.

Tabulka (Tab.1) stručně shrnuje základní rozdíly v morfologii pánevní kosti a celé pánve u mužů a žen (zdroj Čihák 2001).

Na obrázku (Obr. 3) jsou vyznačené rozdíly horního okraje malé pánve mužů a žen. Jak je zmíněno v tabulce, u mužů *promontorium* více vyčnívá, a proto je u nich vchod do malé pánve srdčitého tvaru, zatímco u žen je horní okraj malé pánve příčně oválný. Na stejném obrázku (Obr. 3) je také zvýrazněn *arcus pubicus* u ženy a *angulus pubicus* u muže. Tento rozdíl je způsoben sbíháním ramen stydkých kostí v různém úhlu. Příčně oválný okraj malé pánve a *arcus pubicus* je u žen úzce spjat s reprodukcí.

Tab. 1. Morfologické rozdíly na pánevní kosti a pánvi mužů a žen (zdroj Čihák 2001)

morfologický znak	muži	ženy
horní okraj malé pánve	srdčitý tvar	příčně oválný tvar
<i>promontorium</i>	více vyčnívá	méně vyčnívá
<i>symphysis pubica</i>	vyšší	nižší
<i>arcus pubicus</i>	není	tupý úhel se širokým obloukovitým spojením
<i>angulus pubicus</i>	ostrý úhel	není
rameno <i>os pubis</i>	náhlá změna zakřivení v místě <i>crista phallica</i>	štíhlé, plynule zakřivené
<i>incisura ischiadica major</i>	hlubší, nepravidelný tvar, sevřená, tvar písmene J	mělký, pravidelný tvar, široce otevřená, tvar písmene V
vzdálenost ze středu <i>fossa acetabuli</i> k hornímu okraji <i>facies symphysialis</i> a k dolnímu okraji <i>tuber ischiadicum</i>	obě vzdálenosti jsou téměř stejné	vzdálenost k <i>facies symphysialis</i> výrazně větší než vzdálenost k <i>tuber ischiadicum</i>

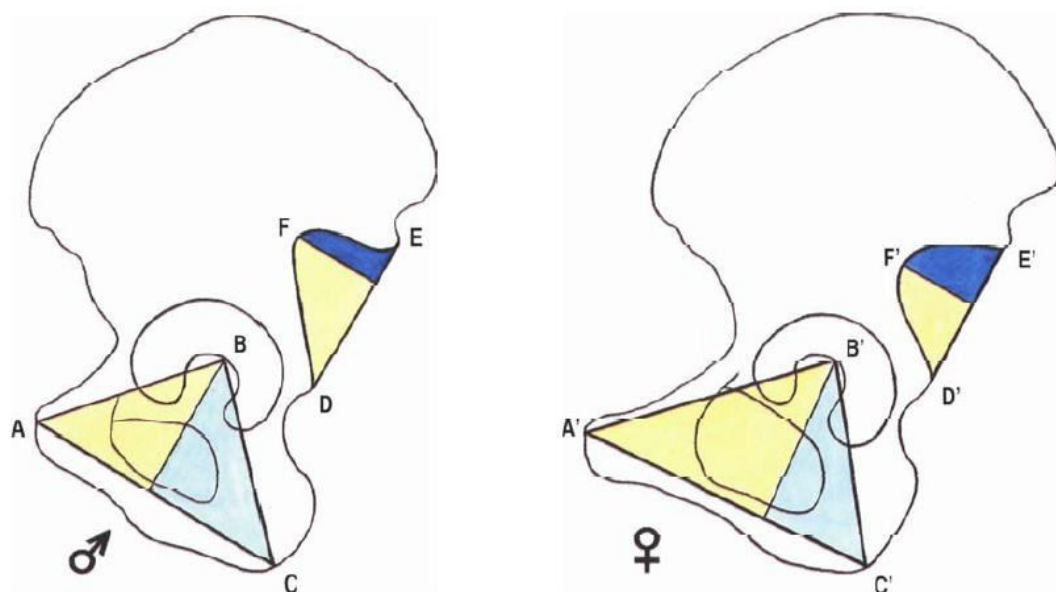


Obr. 3. Pohlavní rozdíly mužské a ženské pánve – vchod do malé pánve; *angulus pubicus* a *arcus pubicus*. (Čihák 2001).

Pohlavní dimorfismus se projevuje zejména na dvou oblastech pánve – sakroiliakální a ischiopubická oblast. Na sakroiliakální oblasti se nachází *facies auricularis* a přilehlé struktury. Dále pak také již zmiňovaný velký sedací zářez (*incisura ischiadica major*). Pohlavní dimorfismus této oblasti se zvětšuje s věkem (Brůžek, Murail 2006), ale je patrný již u juvenilních kostí (Wilson et al. 2008). Ischiopubická oblast se začíná remodelovat až v pubertě vlivem hormonů a pohlavní dimorfismus do té doby není příliš výrazný (Brůžek, Murail 2006). U těchto dvou částí může dojít k jisté kompenzaci, kdy vyšší stupeň dimorfismu na jedné části je kompenzován nižším stupněm na části druhé (Dobisíková 1999).

Jak bylo již několikrát zmíněno, *incisura ischiadica major* je velmi důležitou částí pánevní kosti. Velký sedací zářez je u žen mělký, nejhlubší bod zářezu se nachází přibližně ve středu, ramena se stýkají v tupém úhlu a jsou přibližně stejně dlouhá. To způsobuje pravidelný tvar a otevřenost celého zářezu (Obr. 4). U mužů je naopak tvar nepravidelný, ramena jsou různě dlouhá, stýkají se v poměrně ostrém úhlu a nejhlubší bod zářezu se nachází blíže *spina iliaca posterior inferior*. Velký sedací zářez u mužů je uzavřenější a má tvar písmene „J“ (Obr. 4).

Na stejném obrázku (Obr. 4) je vidět také rozdílnost ve vzdálenostech ze středu *fossa acetabuli* k hornímu okraji *facies symphysialis* a k dolnímu okraji *tuber ischiadicum*.



Obr. 4. Pohlavní rozdíly pánevní kosti – tvar *incisura ischiadica major* a rozdílné rozměry v oblasti os ischii a horního ramene os pubis (Čihák 2001).

5.3 Metody určování pohlaví s využitím pánevní kosti

Kosterní materiál můžeme hodnotit několika různými způsoby. Každý způsob má své výhody i úskalí, se kterými musíme počítat. Než však představíme jednotlivé metody, musíme si vymezit pojmy, se kterými při klasifikaci pohlaví budeme pracovat:

Tvar (shape) - Tvar můžeme definovat jako soubor geometrických vlastností objektu, které jsou neměnné vzhledem k měřítku, umístění a orientaci v prostoru (Bookstein 1991; Slice 2005; Zelditch et al. 2004). Tvar je velmi důležitý, protože díky němu můžeme sledovat morfologické změny mezi jednotlivými objekty i mezi dvěma skupinami. Problémem při posuzování tvaru je však rotace a orientace v prostoru. Tento problém můžeme vyřešit pomocí superimpozičních metod jako jsou Booksteinova analýza nebo Procrustovská analýza (Slice 2005).

Velikost (size) - Přesná definice velikosti v podstatě neexistuje. Většina definicí velikosti je specifická vzhledem k použití určité analýzy (Richtsmeier et al. 2002). Obecněji velikost definuje The Oxford English Dictionary (1971) jako rozsah, objem či dimenzi nějaké věci.

Forma (form) – Forma se dá vysvětlit jako kombinace velikosti a tvaru.

Úspěšnost (accuracy) – Úspěšnost metody udává procento správně zařazených jedinců v souboru hodnocených konkrétní metodou (Brůžek, Murail 2006; Komar, Buikstra 2008).

Spolehlivost (reliability) – Na kolik je znak či metoda spolehlivá, určují výsledky jejich opakovaného testování na různých populacích (Brůžek, Murail 2006; Komar, Buikstra 2008).

Pánevní kost je nejdůležitější částí lidského skeletu při klasifikaci pohlaví (Brůžek 2002; Brůžek, Murail 2006; Cox, Mays 2000; Dobisíková 1999; Scheuer 2002), protože se na ní nachází velké množství znaků vykazujících vysoký stupeň pohlavního dimorfismu. Můžeme ji hodnotit pomocí aspektivních (Brůžek 2002; Dobisíková 1999; Ferembach, Schwidetzky, Stloukal 1980; Phenice 1969; Walker 2005) a metrických metod (Brůžek, Murail 2006; Takahashi 2006). Můžeme také využít geometrickou morfometrii (Gonzalez

et al. 2009; Steyn et al. 2004; Wilson et al. 2008) pomocí níž lze zhodnotit jen určitou část pánevní kosti za pomoci využití libovolného počtu landmarků a semilandmarků.

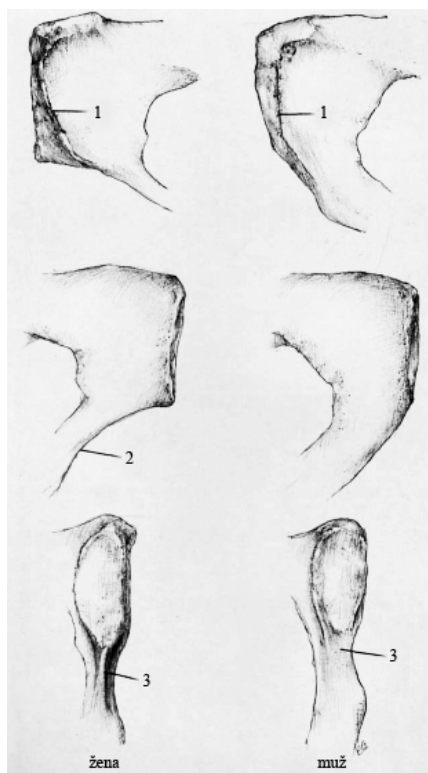
5.3.1 Aspektivní metody

Aspektivní, nebo také vizuální metody spočívají v tom, že je pánevní kost vizuálně hodnocena pozorovatelem, který na základě získaných poznatků, jak uvádí zvolená metoda, zařadí zkoumaného jedince mezi muže či ženy. Hodnotí se přítomnost, resp. nepřítomnost pohlavně dimorfních morfologických znaků.

Metoda navržená Phenicem (1969)

Metoda využívá hodnocení přítomnosti tří morfologických znaků na os pubis – ventrální oblouk (ventral arc), subpubická konkavita (subpubic concavity) a mediální hřebínek (medial aspect of ischio-pubic ramus) na *os pubis* (Obr. 5). Tyto morfologické znaky se nacházejí u žen, zatímco u mužů se předpokládá jejich absence. Klasifikace pohlaví dospělých jedinců smíšených populací (Afroameričanů a Američanů evropského původu) podle této metody dosáhla úspěšnosti 96% (Phenice 1969). Studie, zaměřené na testování této metody v různých souborech, dosáhly vysoké (Kelley 1978) i nižší (Lovell 1989; MacLaughlin, Bruce 1990) úspěšnosti. Zatímco u Lovellové byla úspěšnost sice nižší (okolo 86%), výsledky potvrdily, že se jedná o jednoduchou metodu, kterou zvládne i méně zkušený pozorovatel (Phenice 1969; Lovell 1989). MacLaughlin a Bruce dosáhli pomocí této metody úspěšnosti jen 59% a dospěli k závěru, že právě zkušenosti výzkumníka jsou ovlivňujícím faktorem k dosažení vysoké úspěšnosti metody (MacLaughlin, Bruce 1990).

Metoda byla také testována na stejném kosterním materiálu, se kterým pracoval Phenice (Ubelaker, Volk 2002). Úspěšnost však ani v tomto případě nedosahovala zmiňovaných 96%, ale jen 88,4%. Výsledek studie sice potvrdil, že metoda je užitečná i když výzkumník nemá mnoho zkušeností, přesto je však zjevné, že čím víc zkušeností a informací o pánevní kosti badatel má, tím dosahuje větší úspěšnosti v klasifikaci pohlaví (Ubelaker, Volk 2002).



Obr. 5. Hodnocené znaky na os pubis – ukázka výskytu znaku u ženy a absence znaku u muže (Phenice 1969).

1 – ventrální oblouk

2 – subpubická konkavita

3 – mediální hřebínek

Metoda Evropských doporučení (Ferembach, Schwidetzky, Stloukal 1980)

Metoda je založena na hodnocení stupně rozvoje 11 morfologických znaků (x). Jedná se o *sulcus preauricularis*, *incisura ischiadica major*, *arc composé*, *foramen obturatum*, tělo sedací kosti, *crista iliaca* a *fossa iliaca* na pánevní kosti a dále *angulus pubis*, *pelvis major*, *pelvis minor* na celé pánvi a také hodnocení pánevní kosti jako celku. Hodnocení se provádí na škále od -2 až po +2 (Tab. 2). Morfologické znaky však nemají stejnou váhu. Váha znaku (W) se pohybuje v rozmezí 0 – 3 a značí míru významnosti konkrétního morfologického znaku (Tab. 3). Index sexuality (M) získáme podle následujícího vzorce: $M = \frac{\sum W_x}{\sum W}$. V této rovnici $\sum W_x$ označuje součet součinů stupně rozvoje a váhy znaku a $\sum W$ značí součet všech hodnocených znaků. Jestliže je hodnota získaného indexu sexuality kladná, hodnotíme jedince jako muže, v opačném případě záporné hodnoty indexu určují ženy.

Tab.2. Stupeň rozvoje znaku a jeho hodnocení (podle Acsádi, Nemeskéri 1970)

Stupeň rozvoje znaku (x)	Hodnocení
+ 2	hypermaskulinní
+ 1	maskulinní
0	indiferentní
- 1	femininní
-2	hyperfemininní

Tab. 3. – Přehled spolehlivosti a váhy znaku (podle Dobisíková 1999)

Spolehlivost	% nálezů	% výskytu u opačného pohlaví		Váha znaku
velmi spolehlivý	> 60	< 10		3
spolehlivý	> 50	< 15		2
málo spolehlivý	> 50	< 20		1
nespolehlivý	< 50	> 20		0

Původní model hodnocení celého skeletu představili Acsádi a Nemeskéri ve své práci (1970). Na Evropském antropologickém workshopu (Workshop of European anthropologists) v roce 1980 byl tento model prezentován a ustanoven jako součást metody podle Evropského doporučení (Ferembach, Schwidetzky, Stloukal 1980).

Z modelu Acsádiho a Nemeskériho vycházel také Walker (2005). Upravil původní škálu vytvořenou pro Evropskou populaci, protože indiferentní tvar (0) nebyl optimální pro oddělení mužů a žen jiných populací. K vytvoření tvarové a velikostní škály od 1 (ženy) do 5 (muži) využil standardů, které Buikstra a Ubelaker publikovali v roce 1994 (Walker 2005). Hodnotil tvar a velikost *incisura ischiadica major* podle vytvořeného schématu u 296 pánevních kostí dospělých jedinců známého pohlaví, pocházejících z Evropy, Ameriky a Afriky. Došel k závěru, že hodnota 2 představuje intermediální tvar *incisura ischiadica major* u mužů a žen, ačkoli u původního hodnocení stupně rozvoje Acsádiho a Nemeskériho tento tvar odpovídal hodnotě -1 (femininní). Do této kategorie bylo zařazeno více mužů (66%) než žen (34%), což vysvětloval věkem a populační příslušností zkoumaných jedinců (Walker 2005).

Zařazení znaku do správného stupně je však problematické pro méně zkušené pozorovatele. Rozdíly mezi jednotlivými stupni mohou být hodnoceny subjektivně a pozorovatel může často váhat, který stupeň zvolit (Brůžek 2002, Walker 2005).

Metoda podle Brůžka (2002)

Tato metoda hodnotí 5 morfologických znaků na pánevní kosti – preaurikulární krajina, *incisura ischiadica major*, *arc composé*, *margo inferior ossis coxae* a proporce délek *os pubis* a *os ischii*. Brůžek (2002) vycházel z třístupňového hodnocení podle Novotného (1981), které se týkalo původně tří znaků na pánevní kosti – preaurikulární krajina, *incisura ischiadica major* a dolní oblast kosti kyčelní.

Každý morfologický znak má určitá kritéria, která se hodnotí samostatně třemi stupni sexualizace (f - femininní, i - indiferentní, m - maskulinní). Podle převažujícího stupně hodnotíme sexuální formu celého morfologického znaku na škále F, 0, M. Takto ohodnocená pánevní kost je zařazena k příslušnému pohlaví podle počtu převažujících sexuálních forem (Brůžek 2002). Pokud převažuje forma 0, nelze pohlaví jedince klasifikovat. Při testování této metody na 402 jedincích (Francie, Portugalsko) bylo dosaženo úspěšnosti 95%.

Metoda vyřešila problém méně zkušených pozorovatelů při zařazování znaků podle Ascádiho a Nemeskériho (1970) stupnice. Listi a Bassett ve své studii testovali kompletní soubor pomocí metody podle Brůžka (2002) a metody podle Rogerse a Saunderse (1994) a následně otestovali také náhodně vybraný vzorek z celého souboru. U Brůžkovy metody dospěli u kompletního souboru k úspěšnosti 90 – 92%, u náhodně vybraného vzorku pak 89%. Ženy byly s pomocí této metody nesprávně klasifikovány častěji, než muži (Listi, Bassett 2006).

Brůžkova metoda byla také aplikována Debonem a Mafartem (2006) na archeologický soubor 963 pánevních kostí dospělých jedinců (Francie) neznámého pohlaví. Kostí byly z archeologického nálezu datovány od 4. do 16. století a některé z nich byly fragmentované. Nejlépe zachována byla posteriorní část pánevní kosti, kde se nachází *incisura ischiadica major*. Dokázali, že i fragmentovaná pánevní kost může být vhodná ke klasifikaci pohlaví s úspěšností 70 – 75%. V případě, že se zachová více jak 3 z pěti hodnocených znaků, úspěšnost metody se zvyšuje (Debono, Mafart 2006).

5.3.2 Metrické metody

Metrické metody využívají ke klasifikaci pohlaví standardizované osteologické rozměry a indexy, které jsou přesně definovány. Proto se může měření provádět opakovaně a nepodléhá subjektivnímu hodnocení výzkumníka. Měření se provádí antropometrickými nástroji (posuvné měřítko, pelvimetr, antropologická deska). Tabulka (Tab. 4) shrnuje definice rozměrů měřených na pánevní kosti.

Letterman (1941) ve své práci měřil rozměry *incisura ischiadica major* u 426 pánevních kostí dospělých jedinců amerického a afroamerického původu. U těchto kostí měřil největší hloubku a největší šířku *incisura ischiadica major* a délku horního úseku *incisura ischiadica major*. Dospěl k závěru, že průměrná největší šířka *incisura ischiadica major* je větší u žen než u mužů a průměrná maximální hloubka je naopak u mužů větší než u žen a to u obou populací. Zjistil také, že zkoumané rozměry jsou u amerických jedinců ve všech směrech větší, než u afroamerických jedinců.

Maximální šířku, maximální hloubku a délku horního úseku *incisura ischiadica major* využili ve své studii také Singh a Potturi (1978), přidali však k těmto rozměrům také dva indexy (Index I – hloubka x 100/šířka; Index II – délka horního úseku x 100/šířka), celkový úhel a posteriorní úhel. Z výsledků vyplynulo, že maximální délka a maximální šířka a z nich vypočítaný Index I nebyly při klasifikaci pohlaví příliš signifikantní. Oproti tomu hodnoty posteriorního úhlu a Indexu II dosahovaly nejvyšší úspěšnosti (95 – 97%).

Stejně rozměry používal také Ari (2005) při klasifikaci 26 pánevních kostí dospělých jedinců z 13. století. Na získané hodnoty použil statistický t-test. Své výsledky porovnával s dalšími studiemi a došel k podobnému závěru, že Index I není při klasifikaci pohlaví signifikantní (Ari 2005).

Při hodnocení rozměrů a indexů se nejprve počítal průměr (mean) a směrodatná odchylka (SD). Dalším statistickou metodou je diskriminační analýza (viz podkapitola 7.4.4). Hodnoty vypočítané z rozměrů a indexů jsou u každého pohlaví v jiném rozmezí. Hranici mezi pohlavími určuje tzv. dělicí bod (Dobisíková 1999). Podle dělicího bodu zjistíme, do které skupiny daný jedinec patří. Problém však přináší zóna překrývání, díky níž jsou někteří jedinci nesprávně zařazeni.

Tab. 4. Přehled rozměrů na pánevní kosti a jejich definice

Rozměr	Definice rozměru
DCOX (M 1 – Bräuer 1988)	Maximální výška pánevní kosti; přímočará vzdálenost od vrcholu sedacího hrbolu (<i>tuber ischiadicum</i>) k nejvzdálenějšímu bodu hřebene kyčelní kosti
SCOX (M 12 - Bräuer 1988)	Přímá vzdálenost mezi nejventrálnějším bodem (<i>crista iliaca anterior superior</i>) a nejdorzálnějším bodem (<i>crista iliaca posterior superior</i>) křídla kyčelní kosti
VEAC (M 22 - Bräuer 1988)	Přímochará vzdálenost mezi nejvzdálenějšími body kyčelní jamky měřená v ose sedací kosti
HOAC (M 22 - Bräuer 1988)	Přímochará vzdálenost mezi nejvzdálenějšími body kyčelní jamky měřená v prodloužení délky stydké kosti
PUM (M 14 - Bräuer 1988)	Preacetabulární délka stydké kosti; přímočará vzdálenost od středu horního okraje <i>facies symphysialis</i> k nejbližšímu okraji boku acetabula v úrovni <i>facies lunata</i>
ISM (Thieme, Schull 1957)	Přímá vzdálenost od nejhlubšího bodu <i>tuber ischiadicum</i> v dlouhé ose sedací kosti k nejvzdálenějšímu bodu okraje acetabula
SPU (Gaillard 1960)	Vzdálenost od nejvíce vyčnívajícího bodu na pubické části okraje acetabula k hornímu vnitřnímu okraji <i>foramen obturatum</i> ve směru kolmém na <i>linea terminalis</i>
SIS (M 14 (1) - Bräuer 1988)	Vzdálenost měřená od okraje acetabula k bodu na dolním rameni <i>incisura ischiadica major</i> , který leží uprostřed mezi jejím vrcholem (nejhlubším místem) a <i>spina ischiadica</i>
IIMT (M 15 (1) - Bräuer 1988)	Přímochará vzdálenost měřená kolmo od <i>spina iliaca posterior inferior</i> k dolnímu rameni <i>incisura ischiadica major</i>
SA (Gaillard 1960)	Nejkratší vzdálenost mezi vrcholem <i>spina iliaca anterior inferior</i> a nejbližším bodem okraje <i>facies auricularis</i> (A); bod A - průsečík <i>linea arcuata</i> s okrajem <i>facies auricularis</i>
SS (Gaillard 1960)	Nejkratší vzdálenost mezi vrcholem <i>spina iliaca anterior inferior</i> a nejhlubším bodem <i>incisura ischiadica major</i>
PUBM (Schulter-Ellis et al. 1983)	Přímochará vzdálenost od vrcholu <i>tuberculum pubicum</i> k nejbližšímu bodu okraje acetabula v úrovni <i>facies lunata</i>
ISMM (Schulter-Ellis et al. 1983)	Přímá vzdálenost od nejventrálnějšího bodu okraje <i>tuber ischiadicum</i> sedací kosti k nejvzdálenějšímu bodu horního okraje acetabula
AB (Novotný 1975)	Přímochará vzdálenost od <i>tuberculum musculi piriformis</i> (v případě absence od <i>spina iliaca posterior inferior</i>) k bazi <i>spina ischiadica</i>
AP (Brůžek et al. 1994)	Vzdálenost od hrbolku v preaurikulární oblasti, (není-li vytvořen, tak od <i>spina iliaca posterior inferior</i>) k bodu P; P - nejhlubší bod obrysu křivky <i>incisura ischiadica major</i>
BP (Brůžek et al. 1994)	Vzdálenost od baze <i>spina ischiadica</i> k bodu P; P - nejhlubší bod obrysu křivky <i>incisura ischiadica major</i>
AC (Novotný 1975 - modif.)	Hodnoty rozměru jsou vypočítány rovnicí: $AC = (AB^2 + AP^2 - BP^2) / 2AB$

Novotný (1986) ve své práci využil diskriminační rovnice, do kterých dosadil naměřené hodnoty rozměrů pánevní kosti a *incisura ischiadica major*. Hodnota, kterou vypočítal pomocí těchto diskriminačních rovnic, byla porovnána s dělicím bodem a podle toho pak stanovil pohlaví. Úspěšnost klasifikace pohlaví podle dvou diskriminačních rovnic se pohybovala v rozmezí od 99,1 – 100% (Novotný 1986).

Patriquin et al. (2005) využili 9 rozměrů – 5 rozměrů bylo standardizovaných, 3 rozměry byly nově zvolené (délka *os pubis*, šířka *os pubis* a délka *os ischii*). Využili k hodnocení pomocí Wilk's lambda testu. Zjistili, že využití jednotlivých částí nedosahuje takové úspěšnosti, jako kompletní rozměry pánevní kosti. Úspěšnost při využití rozměrů *incisura ischiadica major* byla v rozmezí 73 – 77%. (Patriquin et al. 2005).

5.3.3 Geometricko – morfometrické metody

Metody geometrické morfometrie využívají k hodnocení tvarových rozdílů pánevní kosti muže a ženy souřadnice tzv. význačných bodů, landmarků a semilandmarků (viz podkapitola 7.1.2; 7.1.3). Souřadnice se zaznamenávají jak ve 2D (např. z fotografií) či ve 3D (přímo na konkrétní kosti nebo její části) rozměru. K následnému hodnocení využívají metody geometrické morfometrie analýzu mnohorozměrných dat a pro grafické zobrazení a porovnání tvaru zkoumaných kostí lze využít velké množství dostupného softwaru.

Otázkou zůstává, kolik landmarků (semilandmarků) je potřeba, aby byl tvar zkoumaného objektu dostatečně zachycen a následné hodnocení dosáhlo potřebné úspěšnosti. Při využití malého počtu landmarků (Vlak et al. 2005) nedosahuje metoda tak vysoké úspěšnosti, protože při příliš malém počtu nelze zmapovat drobné tvarové rozdíly křivky, obzvláště u juvenilních kostí.

Pretorius et al. (2006) využili metody geometrické morfometrie a analyzovali fotografie orbity, *incisura ischiadica major* a *ramus mandibulae* černochů z Jižní Afriky. K analýze velkého sedacího zářezu zvolili 5 landmarků, které přesně definovali. Využití *incisura ischiadica major* dosáhlo největší úspěšnosti (87,1% žen a 93,1% mužů bylo správně klasifikováno) ze všech tří zvolených oblastí skeletu (Pretorius et al. 2006).

Gonzalez et al. (2007) hodnotili křivku obrysu *incisura ischiadica major* pomocí dvou základních landmarků umístěných na bazi *spina ischiadica* a na *tuberculum piriformis*. Následně rozdělili křivku na 14 semilandmarků. Dále hodnotili ischiopubickou oblast, kde si také zvolili 2 landmarky a následně 19 semilandmarků. Z výsledků této

studie vyplynulo, že využití geometrické morfometrie na vybrané segmenty pánevní kosti objektivně hodnotí pohlavní dimorfismus bez závislosti na předchozích zkušenostech výzkumníka. S využitím metod mnohorozměrné statistiky a vizualizace lze sledovat nejen rozdíly mezi muži a ženami, ale také tvarové rozdíly uvnitř každé z obou skupin (Gonzalez et al. 2007).

Wilson et al. (2008) analyzovali pomocí geometrické morfometrie *os ilium* nedospělých jedinců. Hodnotili mimo jiné i tvar křivky *incisura ischiadica major* s využitím 50ti landmarků podél celého profilu zářezu. Průměrná úspěšnost klasifikace pomocí tohoto znaku vyšla na 91,7% (Wilson et al. 2005).

Další studie (Bytheway, Ross 2010; Gonzalez et al. 2009; Steyn et al. 2004) dokazují, že analýza tvaru *incisura ischiadica major* za pomoci geometrické morfometrie dosahuje vysoké úspěšnosti nezávisle na zkoumané populaci. Zároveň umožňuje kvantifikovat tvarové změny nejen mezi několika populacemi, ale i uvnitř jedné populace.

6 Materiál

Použitý materiál představuje dva soubory fotografií pánevních kostí identifikovaných dospělých jedinců. Soubor 1 (Maxwellova sbírka) byl použit na hlavní analýzy, soubor 2 jsme použili k ověření stability metody.

6.1 Soubor 1 – hlavní soubor

Soubor 1 obsahuje 114 fotografií pánevních kostí dospělých jedinců známého pohlaví z Maxwellova muzea Univerzity v Novém Mexiku v Albuquerque. Zahrnuje 57 ženských a 57 mužských pánevních kostí. Věk u ženských pánevních kostí se pohybuje v rozmezí od 22 do 101 let, přičemž průměrný věk je 69,97 let. U mužských pánevních kostí se věkové rozmezí pohybuje od 30 do 87 let, průměrný věk je 56,77. Stáří kosterního materiálu se datuje do roku 1974. Jedná se o pánevní kosti tehdejší mexické populace (Komar, Grivas 2008).

Fotografie byly pořízeny fotoaparátem NIKON COOLPIX 5000 ze vzdálenosti 80-100 cm. Pánevní kosti byly dorzální stranou umístěny na černý podklad, ventrální strana s facies auricularis byla obrácena k fotoaparátu a bylo přidáno měřítko. Fotografie zhotovili Jana a Petr Velemínští.

6.2 Soubor 2 – kontrolní soubor

Soubor 2 se skládá ze 112 fotografií pánevních kostí dospělých jedinců známého pohlaví. Kosterní materiál byl poskytnut forenzní laboratoři Lékařské fakulty Národní autonomní univerzity v Mexico City. Fotografie obsahují 56 ženských a 56 mužských pánevních kostí. Kosterní materiál pochází ze současné mexické populace. Chronologický věk u těchto jedinců nebyl přesně znám. Vycházeli jsme tedy pouze z údajů uvedených v poskytnuté dokumentaci, kde byl věk odhadnut.

Při fotografování byl použit fotoaparát NIKON 40X. Pánevní kosti byly fotografovány ze vzdálenosti 100 cm s měřítkem. Byly umístěny na černý podklad dorzální stranou, ventrální strana byla obrácena k fotoaparátu. Fotografie pořídil Jorge Valdez.

7 Metody

7.1 Morfometrické metody

Pojem morfometrie pochází z řečtiny (*morphe* – tvar, *metron* – měřit) a zahrnuje studium tvarových změn a rozmanitosti objektů. Pomocí morfometrie lze kvantifikací převést tvar na taková data, která se dají nadále statisticky zpracovávat (Richtsmeier et al. 2002). V současnosti se morfometrické metody dělí na tradiční a geometrickou morfometrii.

7.1.1 Tradiční morfometrie vs. geometrická morfometrie

Tradiční morfometrie využívá jako vstupní data většinou vzdálenosti mezi body, vzdálenosti mezi extrémy, měření úhlů, vzdálenost mezi minimálním a maximálním průměrem a další. Nejčastějšími nástroji k získání potřebných rozměrů jsou posuvná měřítka či měřicí okulár (Zima et al. 2004). Data se následně zpracovávají pomocí statistických analýz. Problémem v tradiční morfometrii je, že původní prostorové uspořádání landmarků nemůže být znovu rekonstruováno. Stejně tak není možné pro statistické analýzy použít jen souřadnice landmarků bez jejich vztahu k ostatním hodnotám (Mitteroecker, Gunz 2009).

Geometrická morfometrie má oproti té tradiční velkou výhodu a tou je skutečnost, že lineární souřadnice jsou nahrazeny souřadnicemi význačných bodů. Díky tomu můžeme výsledky kromě statistického zpracování také vizualizovat (Zelditch et al. 2004), což nám umožňuje sledovat tvarové změny a detailně je popsat. Geometrická morfometrie využívá superimpoziční metody, kterých je hned několik. Nejvíce využívaná je procrustovská transformace, dále také analýza euklidovské vzdálenosti a Fourierova analýza (Mitteroecker, Gunz 2009). Superimpoziční metody jsou založeny na různých principech, všechny však vedou k odstranění velikostních rozdílů a tak můžeme pomocí geometrické morfometrie zkoumat tvar bez závislosti na velikosti daných objektů.

7.1.2 Význačné body - landmarky

Význačné body neboli landmarky jsou kolekcí 2D nebo 3D koordinát biologicky definovatelných bodů (Adams, Rohlf, Slice 2004). Body musí být přesně lokalizované, dají se definovat podle vývojových, funkčních, strukturálních či evolučních znaků a nachází se u každého jedince stejného nebo příbuzného druhu (Richtsmeier et al. 2002). Landmark tedy není jen umístění nějakého bodu na jednom jedinci. Toto umístění je totožné se stejným landmarkem na jiném jedinci (Mitteroecker, Gunz 2009).

Jednotlivé landmarky jsou již z dřívější doby definované (např. v kranioometri). V případě, že chceme použít novou definici či úplně nový landmark, musí být tento význačný bod přesně definován tak, abychom jej mohli opakovaně nalézt na různých jedincích (Zelditch et al. 2004).

Používání landmarků je velmi oblíbené a to hlavně proto, že landmarky díky svým definicím jsou univerzální, poskytují geometrické informace o relativní poloze bodů a v současnosti bylo vyvinuto velké množství metod k jejich zpracování a analýze (Richtsmeier et al. 2002).

7.1.3 Semilandmarky

Semilandmarky jsou v podstatě význačné body (landmarky) na křivce nebo povrchu, které se nedají přesně definovat a mohou být stanoveny pomocí softwaru. Díky semilandmarkům dostaneme souřadnice bodů, které nám doplňují informace o tvaru zkoumaného objektu (Mitteroecker, Gunz 2009).

7.2 Použité přístroje a softwary

V této podkapitole se věnujeme krátkému a stručnému přehledu použitých přístrojů a softwaru k digitalizaci křivky a následnému zpracování dat.

7.2.1 MicroScribe®G2

MicroScribe®G2 je kontaktní digitalizační scanner, který má využití v mnoha odvětvích, jako je grafický design, animace apod. Umožňuje zachytit fyzické parametry trojrozměrného objektu a vytvořit tak 3D digitální model daného objektu.

Přístroj MicroScribe®G2 má jedno pohyblivé rameno, které je zakončeno hrotem s digitálním snímačem. Vzhledem ke kloubovému propojení jednotlivých částí ramene je při práci velmi flexibilní. Důležité je, aby před každým měřením byl přístroj v základní poloze. V opačném případě dochází ke zkreslení výsledků. Přístroj se také před snímáním nového objektu musí nakalibrovat pomocí tří námi předem stanovených kalibračních bodů, které se zadávají vždy ve stejném pořadí. (<http://www.emicroscribe.com/products/microscribe-g2.htm>).

V antropologii se využívá hlavně na digitalizaci landmarků pro statistické zpracování a vytváření 3D modelů. MicroScribe Utility software zaznamenává souřadnice jednotlivých landmarků a následně je převádí do MS Excel.

7.2.2 Rhinoceros®3.0

Rhinoceros® software je grafický program sloužící převážně pro modelování prostorových objektů a má hojné využití v architektuře a designu. Program zpracovává veškeré formáty vektorové grafiky a má velký výběr funkcí (<http://www.rhino3d.com/>).

V kombinaci s MicroScribe®G2 slouží k zachycení křivky obrysu zkoumaného objektu, která se pak následně dá v programu upravit (ořezat, rozdělit na libovolný počet bodů apod.) a souřadnice křivky nebo vyznačených landmarků se převedou do textového souboru pro další statistické zpracování.

7.2.3 Morphome3cs

Program Morphome3cs byl vyvinut na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy ve spolupráci s katedrou antropologie Přírodovědecké fakulty UK pro potřeby

analýzy antropologických dat pomocí geometrické morfometrie. V současné době se stále pracuje na rozšíření jeho funkcí (Pelikán et al. 2010). Z naší strany byl využit pro potřeby digitalizace křivek *incisura ischiadica major*.

7.2.4 Morphologika² 2.5

Morphologika² 2.5 je program pro analýzu tvaru a velikosti zkoumaného objektu (objektů), který je podrobně popsán pomocí určitého počtu landmarků. Program umožňuje 2D a 3D analýzu tvaru a tvarových změn s využitím Procrustovské transformace, analýzy hlavních komponent (PCA), lineární regrese a metody tenkých ohebných pásků (TPS). Má také možnost přímé vizualizace tvaru objektů a pomocí referenčního jedince můžeme zobrazit i proměnlivost tvaru u celé zkoumané skupiny (O'Higgins, Jones, 2006).

7.2.5 PAST (PAleontological STatistics)

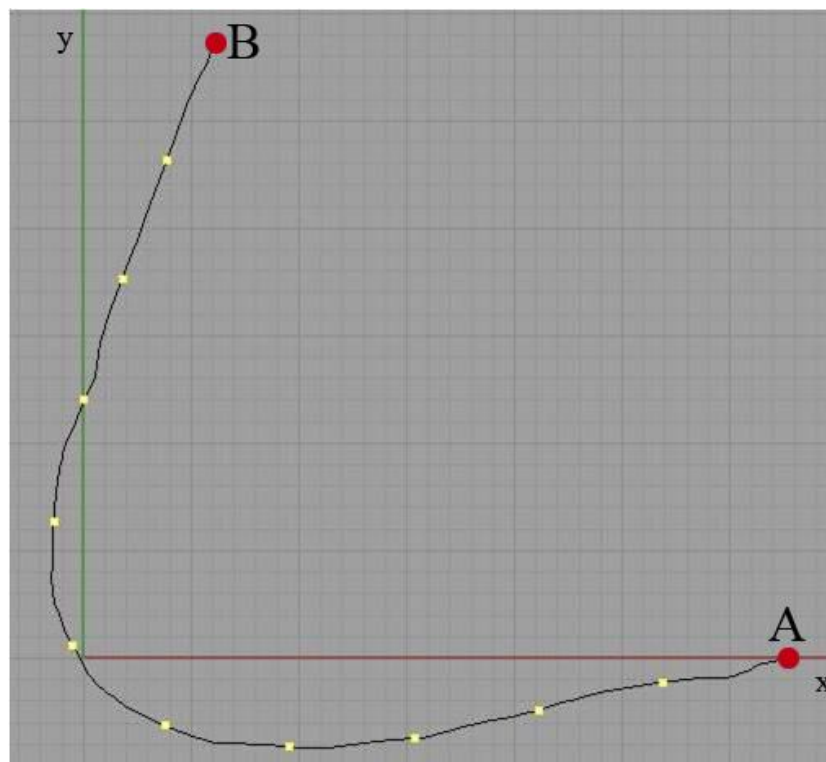
PAST je statistický program vyvinutý pro zpracování statistických dat z oboru paleontologie a dalších příbuzných odvětví. Zpracovává soubory z MS Excel se souřadnicemi landmarků. Obsahuje velké množství statistických analýz jako je ANOVA, Kruskal-Wallis test, permutační test, Hotellingův dvouvýběrový test a další. Data, která lze v PASTu hodnotit mohou být jak ve 2D, tak v 3D. Lze na nich aplikovat Booksteinovu či Procrustovskou transformaci, provést mimo jiné analýzu PCA či diskriminační analýzu (Hammer, Harper 1999).

7.3 Metody digitalizace křivky *incisura ischiadica major*

Pro digitalizaci křivky *incisura ischiadica major* jsme využili dvou odlišných metod, abychom porovnali jejich úspěšnost a zhodnotili další výhody a nevýhody. Tyto dvě metody jsme aplikovali na oba dva soubory. První metodou byla digitalizace křivky pomocí kontaktního scanneru MicroScribe®G2, druhou metodou byla digitalizace křivky s využitím programu Morphome3cs. Přístroj i software byly popsány výše.

7.3.1 Digitalizace křivky pomocí kontaktního scanneru MicroScribe®G2

Digitalizace spočívala v manuální detekci křivky *incisura ischiadica major* z vytištěné fotografie. Obrys křivky se během snímání převedl do grafického programu Rhinoceros®3.0. Ruční digitalizace probíhala v předem připraveném pracovním prostředí v dobře osvětlené místnosti, fotografie i MicroScribe byly stabilně upevněny, aby nedocházelo k posunům. Přístroj byl před digitalizací každé další křivky kalibrován pomocí tří orientačních bodů, které se zadávaly vždy ve stejném pořadí. Před každou kalibrací i digitalizací byl přístroj v základní poloze.



Obr. 6. Digitalizace křivky v programu Rhinoceros.

Červeně – bod A – *tuberculum piriformis* (není-li přítomen tak *spina iliaca posterior inferior*)

bod B – baze *spina ischiadica*

Žlutě – semilandmarky o stejné vzájemné vzdálenosti.

Po kalibraci bylo nutné vyznačit dva hlavní landmarky A a B (Obr. 6). Landmark A se nacházel na vrcholu *tuberculum piriformis*. V případě jeho absence byla výchozím landmarkem A *spina iliaca posterior inferior*. Landmark B byl vyznačen na bazi *spina*

ischiadica. Po označení těchto bodů následovala samotná digitalizace křivky, přičemž křivka protínala oba landmarky a dosahovala až za hranici jimi určenou.

Dalším krokem byla úprava takto sejmutých křivek v programu Rhinoceros®3.0.

Pomocí programu byly přesahující konce křivek odstraněny v místě protnutí s vyznačenými landmarky. Křivka byla následně rozdělena na semilandmarky o stejné vzájemné vzdálenosti. U prvního souboru (Maxwellova kolekce) byla křivka rozdělena na 12, 16 a 37 bodů. Počáteční a koncový bod ležel v místě landmarku A a B (Obr. 6).

Druhý, kontrolní soubor (z UNAM) byl zpracován později a vzhledem k výsledkům analýzy prvního souboru byla rozdělena křivka jen na 16 bodů. Počáteční a koncový bod opět ležel v místě landmarku A a B. Souřadnice jednotlivých bodů na křivce byly transportovány do textového editoru.

Přístroj MicroScribe®G2 zaznamenává získané souřadnice zkoumaného objektu ve 3D, čili v souřadnicích x , y , z . Křivka *incisura ischiadica major* však byla pouze dvojrozměrná a tak souřadnice z byla ve všech měřeních nulová. Vzhledem k tomuto faktu jsme se rozhodli souřadnici z odstranit, aby nedocházelo ke zbytečnému datovému zatížení. Nadále jsme tedy pracovali jen se souřadnicemi x a y .

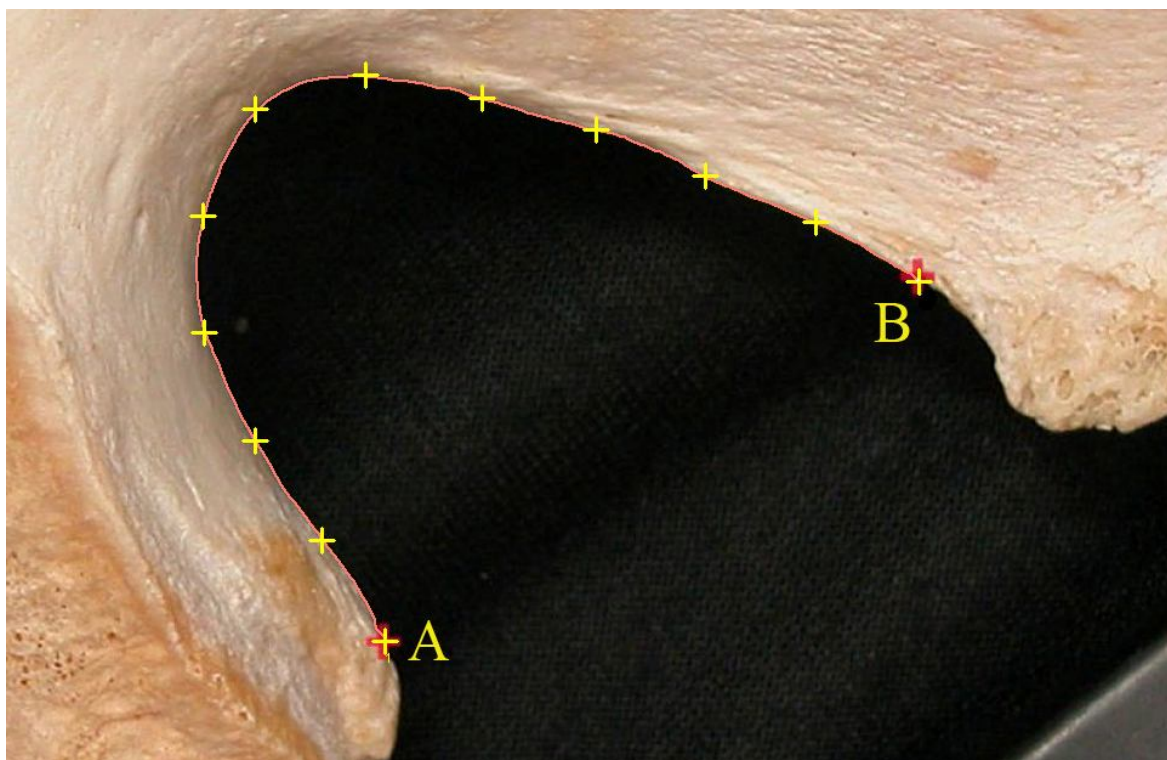
Takto upravená 2D data jsme následně zpracovali tak, aby se dala analyzovat výše zmíněným softwarem.

7.3.2 Digitalizace křivky pomocí programu Morphome3cs

Do programu byly nahrány fotky postupně z obou souborů. Pomocí editoru landmarků byly zadány dva hlavní landmarky A a B. Stejně jako u první metody, bod A se nacházel na vrcholu *tuberculum piriformis*, pokud nebyl vytvořen, na *spina iliaca posterior inferior*. Na bazi *spina ischiadica* byl následně vyznačen bod B.

Na základě takto zvolených landmarků byla automaticky detekována křivka mezi těmito dvěma body, kterou bylo možno rozdělit na 12 a 16 semilandmarků o stejné vzájemné vzdálenosti, přičemž počáteční a koncový semilandmark se nacházel v bodě A a B (Obr. 7).

Souřadnice jednotlivých bodů byly opět převedeny do textového editoru a nadále byly zpracovány pro statistickou analýzu.



Obr. 7. Automatická detekce křivky a její rozdělení v programu Morphome3cs.

A – počáteční landmark (tuberculum piriformis)

B – baze spina ischiadica

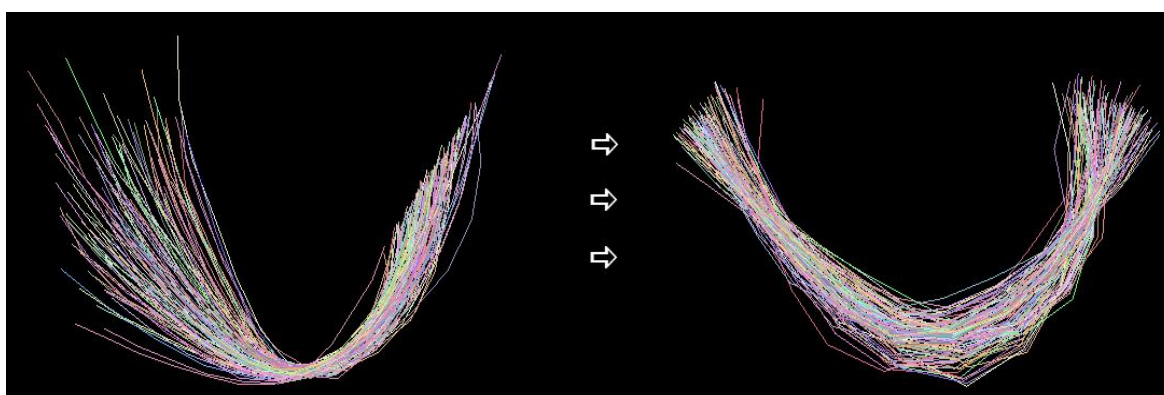
Žluté křížky – semilandmarky o stejné vzájemné vzdálenosti

7.4 Využité metody geometrické morfometrie a mnohorozměrné statistiky

7.4.1 Procrustovská transformace

Procrustovská transformace je jednou ze superimpozičních metod. Tyto metody slouží k odstranění rotace, velikosti a posunutí zkoumaných objektů. Procrustovská transformace (metoda nejmenších čtverců) minimalizuje rozdíly mezi landmarky jednotlivých zkoumaných objektů a zakládá se na třech hlavních krocích – posunutí (translation), rotace (rotation) a izometrická změna velikosti (scalling) (Zelditch et al 2004).

- Posunutí (translation) – dochází k posunutí všech zkoumaných objektů tak, aby měli společný střed (centroid). Střed se nachází v průsečíku os a má souřadnice [0,0] pro 2D objekty a souřadnice [0,0,0] pro 3D objekty.
- Rotace (rotation) – automaticky se zvolí jeden z objektů jako referenční a ostatní objekty se natočí tak, aby se co nejvíc minimalizovaly rozdíly ve vzdálenosti mezi konfiguracemi (tzv. procrustovská vzdálenost) odpovídajících landmarků.
- Izometrická změna velikosti – škálování (scaling) – po izometrické změně velikosti mají všechny objekty stejnou standardizovanou velikost, centroidová velikosti se rovná jedné (Zelditch et al. 2004; Zima et al. 2004).



Obr. 8. Projekce 2D všech 114 křivek *incisura ischiadica major* dospělých jedinců před a po procrustovské transformaci.

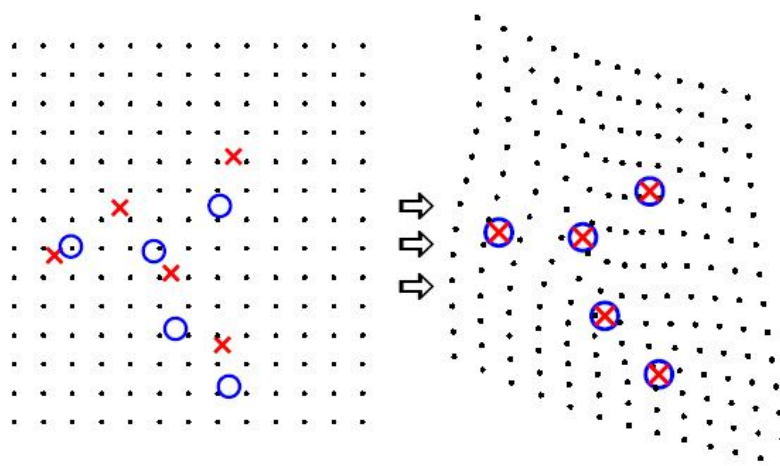
7.4.2 Analýza hlavních komponent (Principal component analysis)

Analýza hlavních komponent (PCA) patří do skupiny faktorových analýz. Jejím smyslem je snížení počtu původních proměnných na tzv. hlavní komponenty. Tyto hlavní komponenty jsou lineárními kombinacemi původních proměnných, jsou však nekorelované (Zima et al. 2004).

Každá hlavní komponenta je charakterizována mírou variability neboli rozptylem. Míra variability je kritériem pro řazení hlavních komponent – čím větší míra variability, tím větší důležitost hlavní komponenty. První hlavní komponenta má tedy vždy největší rozptyl, poslední hlavní komponenta má rozptyl nejmenší (Meloun). Analýza hlavních komponent může být také využívána jako diskriminační či shluková analýza v případě, že chceme sledovat vnitřní strukturu dat.

7.4.3 Metoda ohebných pásků (Thin-plate spline)

Metoda ohebných pásků (TPS) je známa od konce 80. let 20. století a využívá transformační síť karteziánských souřadnic k vizualizaci tvarových změn. Základem je přesná lokalizace význačných bodů (landmarků) z referenčního objektu, které jsou přeneseny do odpovídajících bodů na srovnávaném objektu. Výsledkem je deformace mřížky karteziánských souřadnic podle změn mezi referenčním a srovnávaným objektem (Zima et al. 2004).



Obr. 9. Ukázka deformace souřadnicové mřížky (upraveno podle Donato and Belongie, 2002); mřížka je deformována tak, aby se referenční a cílové skupiny jedinců nacházely na stejných místech.

Průkopníkem v posuzování tvaru a velikosti objektů byl již D'Arcy Wentworth Thompson, který v roce 1917 publikoval pojednání *On growth and form* (Marcus et al. 1993). V tomto pojednání se zabýval změnou tvaru a velikosti, přičemž využíval grafické znázornění změny pomocí deformované mřížky (předchůdce metody TPS), kdy tvar jednoho jedince promítnul do tvaru druhého jedince. Deformace mřížky pak ukazovala tvarové rozdíly.

7.4.4 Diskriminační analýza (Discriminant function analysis)

Diskriminační analýza se používá v případech, kdy potřebujeme oddělit dvě či více předem vymezených skupin. Zároveň však diskriminační analýza umožní zařadit do těchto

skupin i vzorky o neznámé příslušnosti. Oddělení (diskriminace) se provádí na základě odlišnosti s ohledem na průměr dané proměnné (Zima et al. 2004).

V našem případě jsme využili k diskriminaci obou skupin Hotellingův T^2 test. Tento statistický nástroj se používá pro analýzu mnohorozměrných dat a porovnává vždy dvě skupiny.

8 Výsledky

Za použití 2D metod geometrické morfometrie byl analyzován pohlavní dimorfismus tvaru *incisura ischiadica major*. Procrustovská transformace umožnila zkoumat tvar křivky bez závislosti na její velikosti, a následně analyzovat tvarové změny. Variabilita tvaru *incisura ischiadica major* byla detailně popsána na základě PCA. Program Morphologika umožnil grafické zobrazení tvarových změn v závislostech na jednotlivých hlavních komponentách.

Tvarová variabilita byla také hodnocena metodou TPS.

Pro diskriminaci tvaru mužské a ženské křivky *incisura ischiadica major* byla využita diskriminační analýza (DA), která informuje o síle diskriminace a procentuelním či reálném množství chybně zařazených jedinců opačného pohlaví.

Dalším cílem práce bylo porovnání dvou odlišných metod – manuálního snímání křivky a automatického snímání křivky. Křivka byla v obou případech rozdělena na různý počet semilandmarků a následně analyzována výše zmíněnými metodami.

Poslední část výsledků je věnována aplikaci diskriminační analýzy na smíšený vzorek, který se skládá ze souboru 1 (Maxwellova sbírka) a souboru 2 (UNAM).

8.1 Manuální snímání křivky

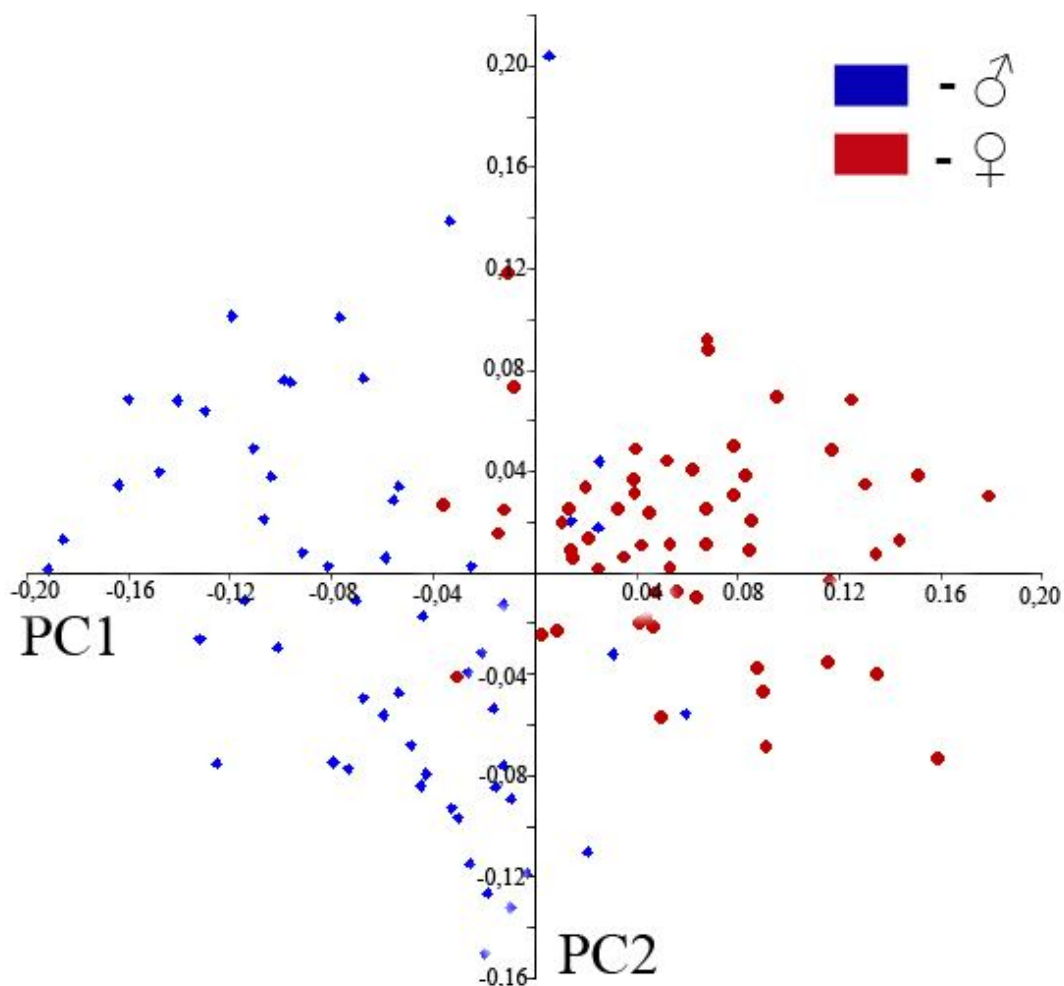
8.1.1 Zpracování křivky s využitím 12ti semilandmarků

Prvním krokem zpracování bylo provedení procrustovské transformace pro odstranění velikostních rozdílů a také rotace a posunutí mezi jednotlivými křivkami.

Dalším krokem bylo sledování variability průběhu křivky za využití PCA. Výsledky analýzy hlavních komponent ukázaly, že je křivka mimořádně silně popsána hlavně prvními dvěma komponentami, které dohromady tvoří 94,30%. První komponenta zodpovídá za popis variability z 60,69%, druhá komponenta z 33,61%. Vzali jsme v úvahu také třetí a čtvrtou komponentu, i když samotný jejich podíl není tak významný, a to z toho důvodu, že všechny čtyři komponenty dohromady popisují 98,27% variability. Další komponenty vysvětlují variabilitu tvaru pouze okrajově (Tab. 5).

Tab. 5. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (manuální snímání, 12 semilandmarků)

PC	variabilita %
1	60,69
2	33,61
3	2,77
4	1,20
5	0,55
6	0,30
7	0,23
8	0,19
9	0,11
10	0,09



Graf 1. Grafické znázornění variability tvaru incisura ischiadica major mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (manuální snímání, 12 semilandmarků)

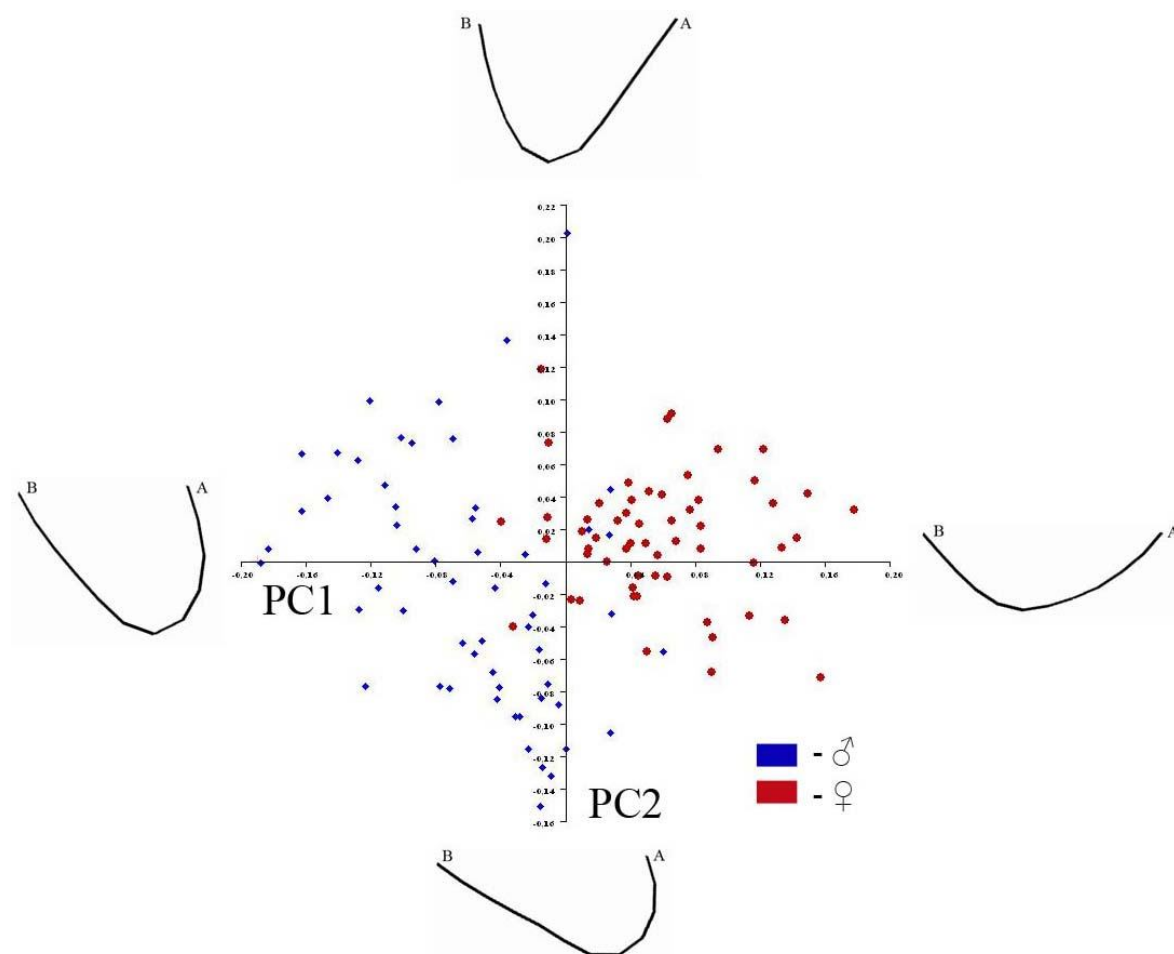
Grafické znázornění analýzy hlavních komponent nám umožnilo zmapovat tvarové změny v závislosti na jednotlivých komponentách (Graf 1). Analýza nám rozdělila jedince podle pohlaví na dvě skupiny poměrně viditelně oddělené. Pro přehlednost tvarových změn, které charakterizují jednotlivé komponenty, jsme graf 1 doplnili o extrémní tvary křivek (Graf 2).

První komponenta, která odpovídá ose x , popisuje zejména hloubku a otevřenost křivky *incisura ischiadica major*. Záporné hodnoty v grafu zobrazují ramena křivky více u sebe, *incisura* je hluboká a rameno vedoucí od *tuberculum piriformis* (landmark A) je kratší než rameno vedoucí od baze *spina ischiadica* (landmark B). Směrem ke kladným hodnotám jsme zaznamenali změny v otevřenosti křivky, ale také v posunu nejhlubšího bodu. Zatímco u záporných hodnot je nejhlubší bod zářezu blíže bodu A (*tuberculum piriformis*) a rameno od tohoto bodu je kratší, u kladných hodnot pozorujeme posun nejhlubšího bodu směrem k bazi *spina ischiadica*. Posun nejhlubšího bodu souvisí s asymetrií ramen, která je v kladných hodnotách na opačné straně než v záporných hodnotách. Tedy rameno od landmarku A se prodlužuje, zatímco rameno od landmarku B se zkracuje. S otevřeností ramen souvisí také celková hloubka křivky – od záporných hodnot ke kladným se křivka rozšiřuje a hloubka se zmenšuje. Jak je vidět na grafu (Graf 1), v závislosti na první hlavní komponentě se soubor rozdělil na dvě skupiny. V záporných hodnotách osy x se nacházejí převážně mužští jedinci, v kladných hodnotách osy x se nacházejí hlavně jedinci ženského pohlaví. Z toho jednoznačně vyplývá, že první hlavní komponenta vyjadřuje pohlavní dimorfismus tvaru křivky *incisura ischiadica major*.

Druhá hlavní komponenta odpovídá ose y a z velké části vysvětluje asymetrii ramen křivky a také umístění nejhlubšího bodu. Samotnou hloubku křivky nevyjadřuje tak silně, jako první hlavní komponenta, přesto jsou tam jisté změny patrné. Jedinci v záporných hodnotách mají výrazně asymetrická ramena. Rameno od landmarku A je podstatně kratší než rameno do landmarku B. Délka ramen také ovlivňuje umístění nejhlubšího bodu. Ten se u jedinců v záporných hodnotách nachází blíže landmarku A. Směrem ke kladným hodnotám se zmenšuje asymetrie ramen a umístění nejhlubšího bodu zářezu se posouvá více k druhé straně. V nejvyšších kladných hodnotách se tento bod nachází více u landmarku B a převládá opačná asymetrie ramen – rameno vedoucí od landmarku B je kratší než rameno vedoucí od landmarku A. Asymetrie však není tak výrazná, jako

v záporných hodnotách. Otevřenost křivky druhá komponenta nevyjadřuje. Na grafu (Graf 2) jsou znázorněny tvary křivek extrémních záporných a kladných hodnot os x a y .

Z grafu PCA je také patrné, že muži jsou v grafu distribuováni na větší ploše než ženy. Ty se nacházejí ve větším shluku a podél osy y nedosahují výrazných záporných hodnot. To znamená, že variabilita mezi muži je podstatně vyšší, než variabilita mezi ženami.



Graf 2. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 12 semilandmarků).

osa x – první hlavní komponenta

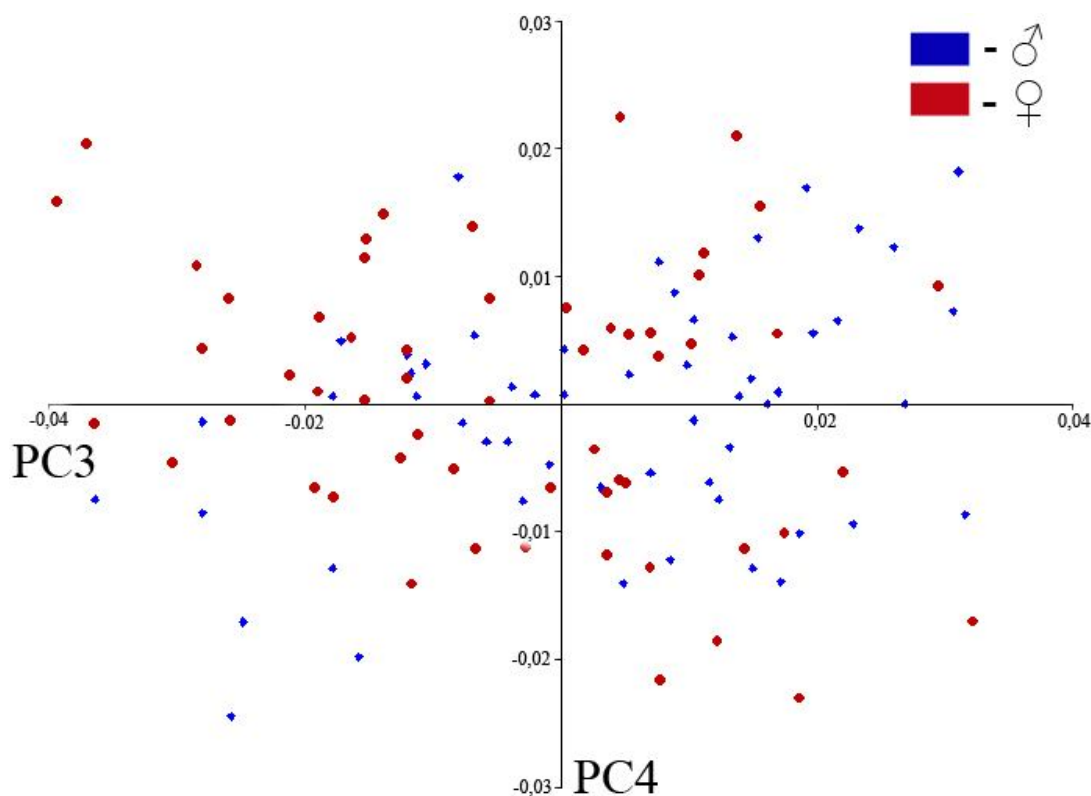
osa y – druhá hlavní komponenta

A – tuberculum piriformis (spina iliaca posterior inferior)

B – baze spina ischiadica

Variabilita křivky *incisura ischiadica major* v závislosti na třetí a čtvrté komponentě je graficky znázorněná v grafu (Graf 3). Obě komponenty popisují drobnější

tvárové rozdíly křivky (Graf 4). Je patrné, že třetí komponenta silně vystihuje zaoblenost křivky. V záporných hodnotách osy x pozorujeme výraznou špičatost úhlu v nejhlubším bodě křivky a ostré vymezení obou dvou ramen. Tvar křivky odpovídá písmenu „V“ a křivka je v horní části otevřená.

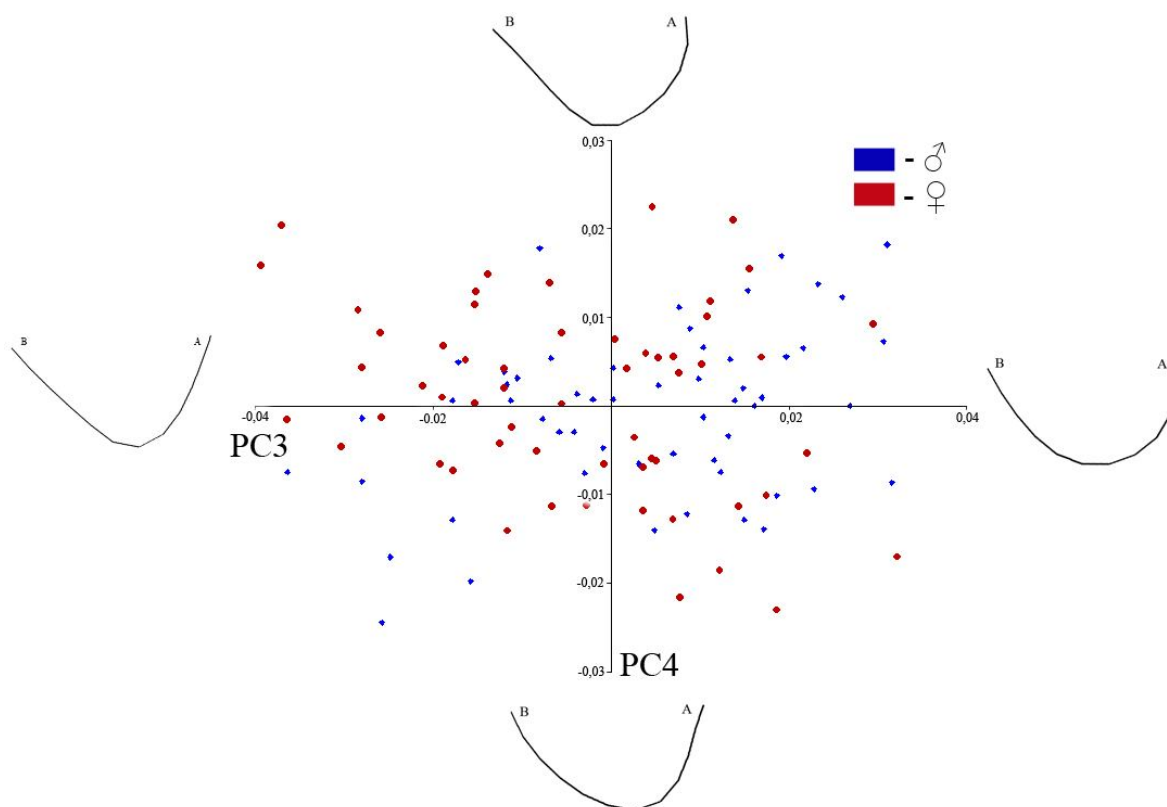


Graf 3. Grafické znázornění variability tvaru incisura ischiadica major mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (manuální snímání, 12 semilandmarků).

V kladných hodnotách osy x křivka přechází z jednoho ramene v druhé plynulým obloučkem a tvar odpovídá spíše písmenu „U“. Obě ramena v horní části křivky směřují více k sobě, což oproti tvaru v záporných hodnotách křivku spíše uzavírá.

Zajímavé je, že třetí komponenta téměř nevysvětluje umístění nejhlubšího bodu křivky. V záporných i kladných hodnotách se nejhlubší bod nachází v podobné pozici a to blíže bodu A (*tuberculum piriformis*). Asymetrie ramen touto komponentou tedy také není významně vyjádřena, rameno od bodu A zůstává v obou případech kratší, než rameno od bodu B (baze *spina ischiadica*), ačkoli v kladných hodnotách je rameno od bodu A silně zakulacené.

Čtvrtá komponenta popisuje především asymetrické zakřivení ramen křivky. V záporných hodnotách osy y je rameno od *tuberculum piriformis* kratší a nepřiliš zakřivené, rameno od baze *spina ischiadica* je zakulacené a delší. Nejhlubší bod křivky se nachází blíže k ramenu vedoucímu od bodu A. V kladných hodnotách osy y je tvar jakoby zrcadlově převrácen – rameno od bodu A je silně zakulacené a oproti záporným hodnotám se prodlužuje. Proměna probíhá i v ramenu vedoucím od bodu B. Rameno se více zarovná a tím se mírně zkracuje. Umístění nejhlubšího bodu křivky se posouvá mírně směrem k tomuto ramenu, ačkoli posun není tak výrazný.



Graf 4. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 12 semilandmarků).

osa x – první hlavní komponenta

osa y – druhá hlavní komponenta

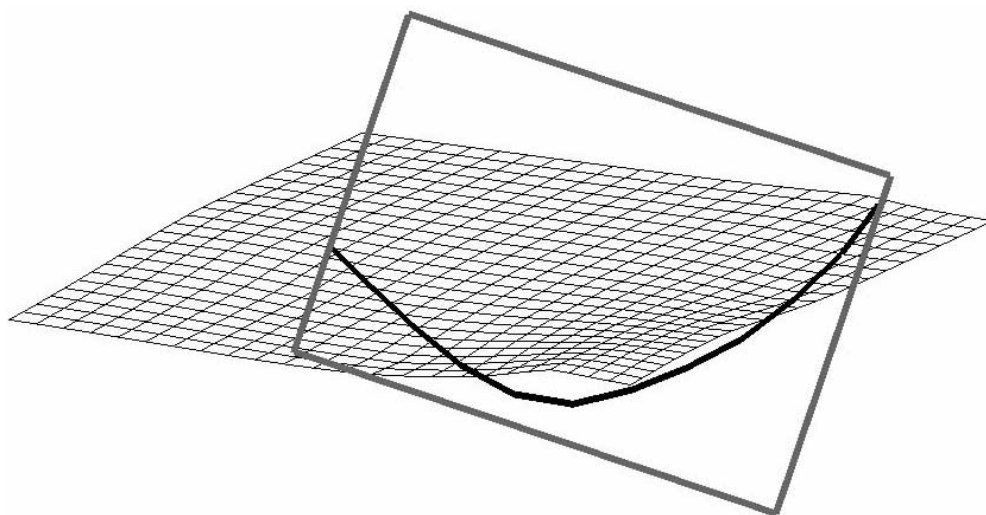
A – *tuberculum piriformis* (*spina iliaca posterior inferior*)

B – baze *spina ischiadica*

Jak můžeme vidět na grafickém vyjádření PCA (Graf 3), skupiny mužů a žen se v závislosti na třetí a čtvrté komponentě vzájemně prolínají a není tam viditelné rozdělení.

To znamená, že tyto komponenty nevyjadřují pohlavní dimorfismus, ale jen drobné tvarové změny.

Pro sledování tvarových změn jsme také použili metodu TPS. Nejprve jsme sledovali deformaci mřížky v závislosti na první hlavní komponentě (Obr. 10). Jako referenční tvar jsme zvolili extrémní bod křivky v záporných hodnotách osy x , která reprezentuje mužské jedince. Tento tvar byl následně promítnut do tvaru bodu křivky v extrémních kladných hodnotách osy x . Vzniklá deformace mřížky ukazuje tvarové změny především v oblasti nejhlubšího bodu křivky a zároveň je velmi dobře patrné horizontální roztažení celé mřížky a také její vertikální snížení. Tuto deformaci můžeme interpretovat jako změnu v otevřenosti křivky, menší hloubku a posun nejhlubšího bodu křivky u ženského jedince.



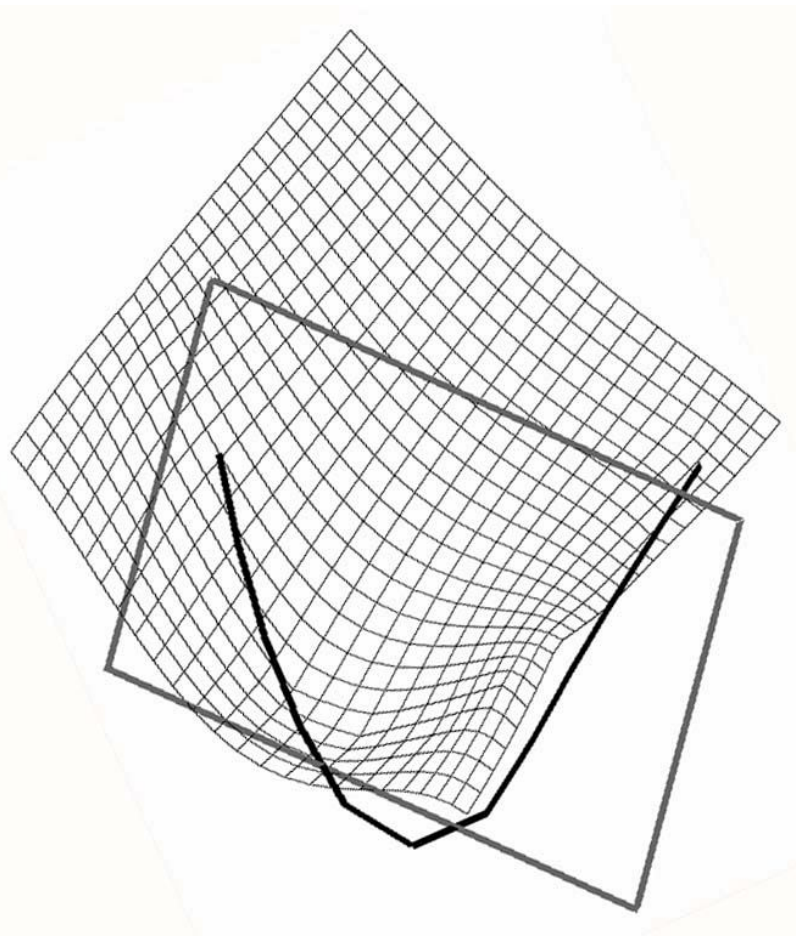
Obr. 10. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose x odpovídající první hlavní komponentě; extrémní záporná hodnota PC1 (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní kladné hodnoty PC1 (cílový tvar, černá křivka); (manuální snímání, 12 semilandmarků).

Metodou TPS jsme prověřili také tvarové změny v závislosti na druhé hlavní komponentě (Obr. 11). V tomto případě byla referenčním tvarem extrémní křivka nacházející se v záporných hodnotách osy y . Její tvar byl promítnut do extrémní křivky v kladných hodnotách osy y . Deformace mřížky se projevila jejím vertikálním protažením a naznačuje tvarové změny v oblasti nejhlubšího bodu křivky. Tato deformace se dá interpretovat jako tvarové změny v hloubce křivky a převážně v umístění nejhlubšího

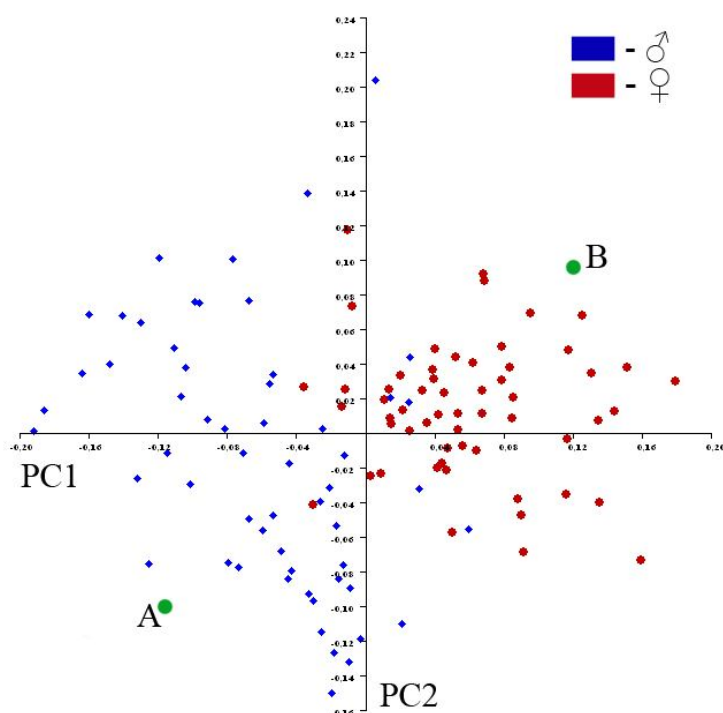
bodů na křivce. Dále také poukazuje na změnu asymetrie ramen křivky, která se mění směrem od záporných hodnot ke kladným hodnotám.

Metoda TPS v závislosti na prvních dvou hlavních komponentách nám potvrzuje změny tvaru patrné u analýzy PCA.

Jestliže však chceme zjistit tvarové rozdíly u mužských a ženských tvarů křivek v závislosti na obou komponentách, musíme zvolit referenční křivku tak, aby její tvar byl ovlivněn oběma komponentami. Vybrali jsme proto křivku, která se nachází v záporných hodnotách osy x a osy y , a její tvar odpovídá tvaru křivky mužského pohlaví. Tvar této křivky jsme promítli do tvaru křivky nacházející se v kladných hodnotách osy x a osy y , jejíž tvar odpovídá tvaru křivky ženského pohlaví. Spojnice mezi těmito dvěma tvary protíná bod 0 (Graf 5).



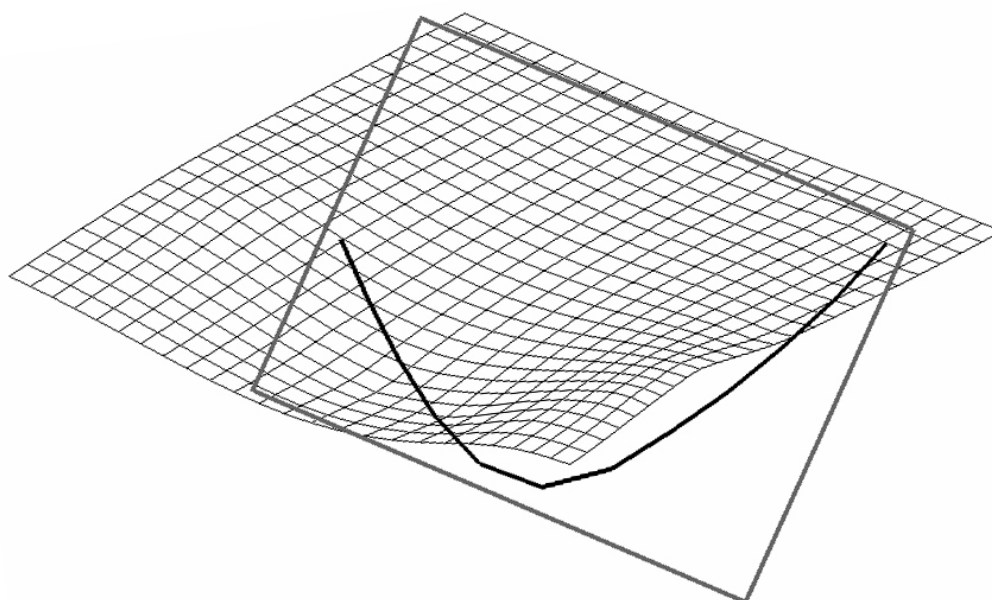
Obr. 11. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose y odpovídající druhé hlavní komponentě; extrémní záporná hodnota PC2 (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní kladné hodnoty PC2 (cílový tvar, černá křivka); (manuální snímání, 12 semilandmarků).



Graf 5. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (manuální snímání, 12 semilandmarků).

bod A – referenční bod (mužská křivka)

bod B – cílový bod (ženská křivka)



Obr. 12. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty; tvar v záporných hodnotách PC1 a PC2 (referenční tvar) je deformován společně s mřížkou do tvaru v kladných hodnotách PC1 a PC2 (cílový tvar, černá křivka); (manuální snímání, 12 semilandmarků).

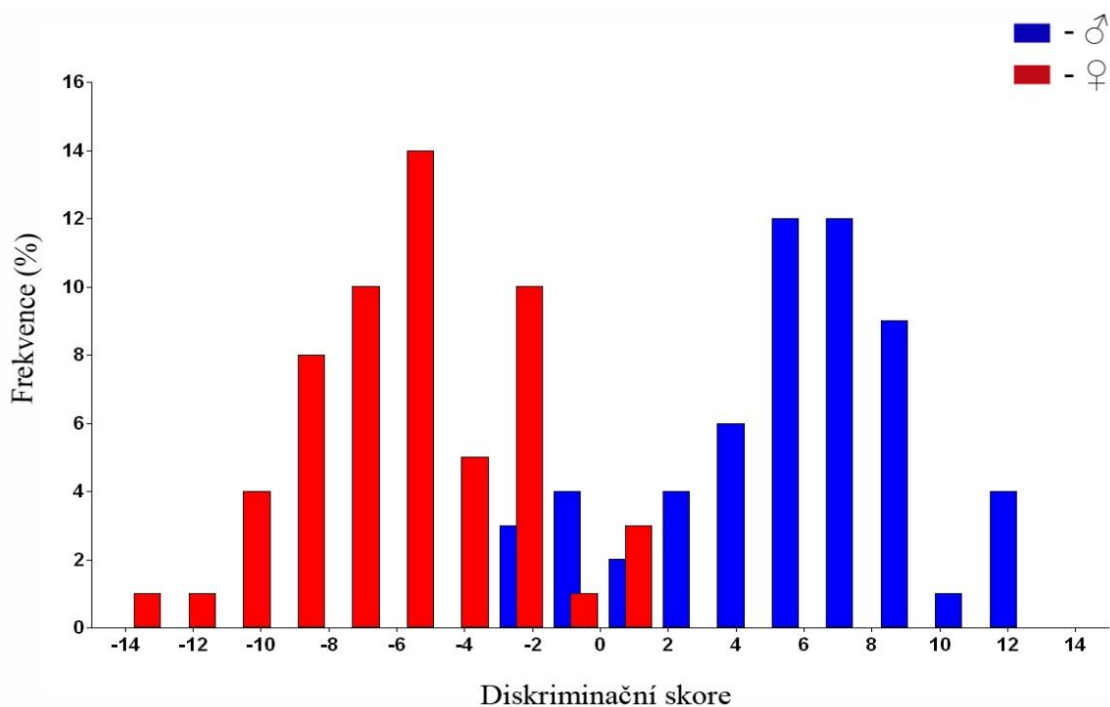
Mřížka je deformována (Obr. 12) převážně horizontálním směrem – zde je patrný vliv první hlavní komponenty, která vyjadřuje otevřenost křivky. Vertikální deformace mřížky není však tolik výrazná, jako byla u samotné první hlavní komponenty. Především v horní části mřížky je patrný vliv druhé hlavní komponenty. To můžeme interpretovat tak, že hloubka křivky bez závislosti na asymetrii ramen se příliš výrazně nemění. V oblasti dolního úhlu je deformace největší, což opět znamená výrazné změny v umístění nejhlubšího bodu křivky. Ten se přesouvá z pravé strany na levou a mění tak asymetrii obou ramen.

Pomocí Hotellingova douvýběrového testu jsme testovali, zda je signifikantní rozdíl mezi tvarem *incisura ischiadica major* mužů a žen. Na základě výsledku testu (T^2 : $p(\text{same}) = 1,08E-17$) je rozdílnost křivek významná a to na nejvyšší hladině významnosti. Diskriminační analýza nám oddělila obě zkoumané skupiny s 92,11% úspěšností, přičemž počet nesprávně klasifikovaných pánevních kostí z celkového počtu 114 je 9. Nepodařilo se nám touto metodou klasifikovat správně 3 ženské pánevní kosti a 6 mužských (Tab. 6).

Graf (Graf 6) diskriminační funkce znázorňuje rozdělení tvarů křivek na dvě skupiny podle pohlaví. Na první pohled je patrné rozdělení do dvou skupin. Z toho vyplývá, že pohlavní dimorfismus křivky *incisura ischiadica major* je oddělený a rozdíly mezi tvarem křivky mužů a tvarem křivky žen jsou podle výsledků Hotellingova testu signifikantní. Oblast, ve které se skupiny překrývají, obsahuje jedince, kteří byli nesprávně klasifikováni a koresponduje s tabulkou (Tab. 6).

Tab. 6. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (manuální snímání, 12 semilandmarků)

Semilandmarky	Úspěšnost klasifikace (%)	Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	Počet nesprávně klasifikovaných žen	Počet nesprávně klasifikovaných mužů
12	92,11	9	3	6



Graf 6. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (manuální snímání, 12 semilandmarků).

8.1.2 Zpracování křivky s využitím 16ti semilandmarků

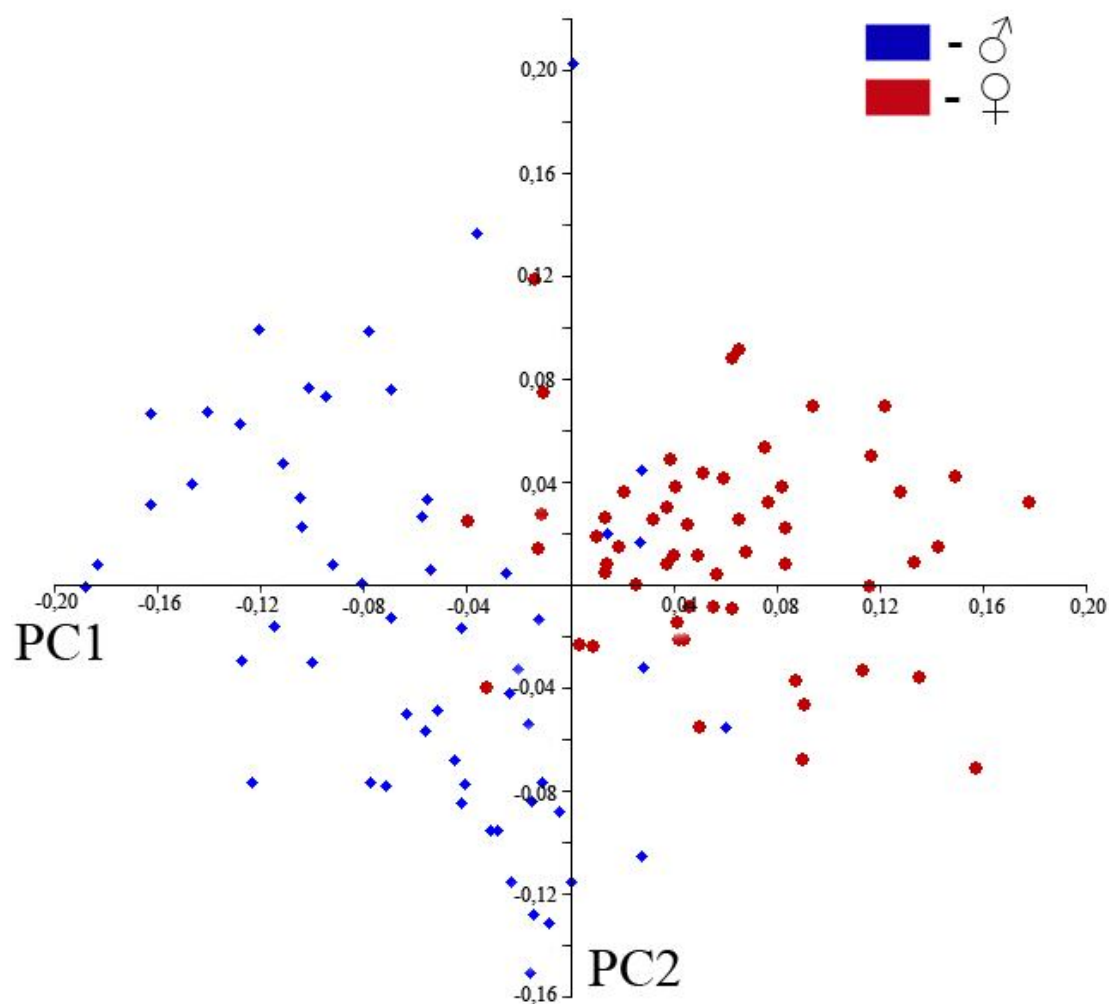
U dat s využitím 16ti semilandmarků jsme opět nejprve použili procrustovskou transformaci.

Dalším krokem byla PCA. Analýza hlavních komponent nám opět rozdělila jedince do dvou ne zcela oddělených skupin (Graf 7) a ukázala, že nejvíce se na vyjádření tvarových změn křivky podílí první a druhá hlavní komponenta. Tyto dvě komponenty společně popisují 94,37% variability. První hlavní komponenta vysvětluje variabilitu z 60,42%, druhá hlavní komponenta z 33,95% (Tab. 7). V rámci sledování tvarových změn jsme vzali v úvahu i třetí a čtvrtou hlavní komponentu. Dohromady vyjadřují všechny čtyři hlavní komponenty 98,22% variability. Další hlavní komponenty mají pouze marginální vliv na vyjádření variability, proto jsme se jimi už nadále nezabývali.

Při grafickém zobrazení PCA jsme se zaměřili na tvarové změny vyjádřené jednotlivými komponentami. Vzhledem k tomu, že první a druhá hlavní komponenta popisují variabilitu výrazným procentuelním podílem, sledovali jsme proměnu tvaru detailněji.

Tab.7. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (manuální snímání, 16 semilandmarků)

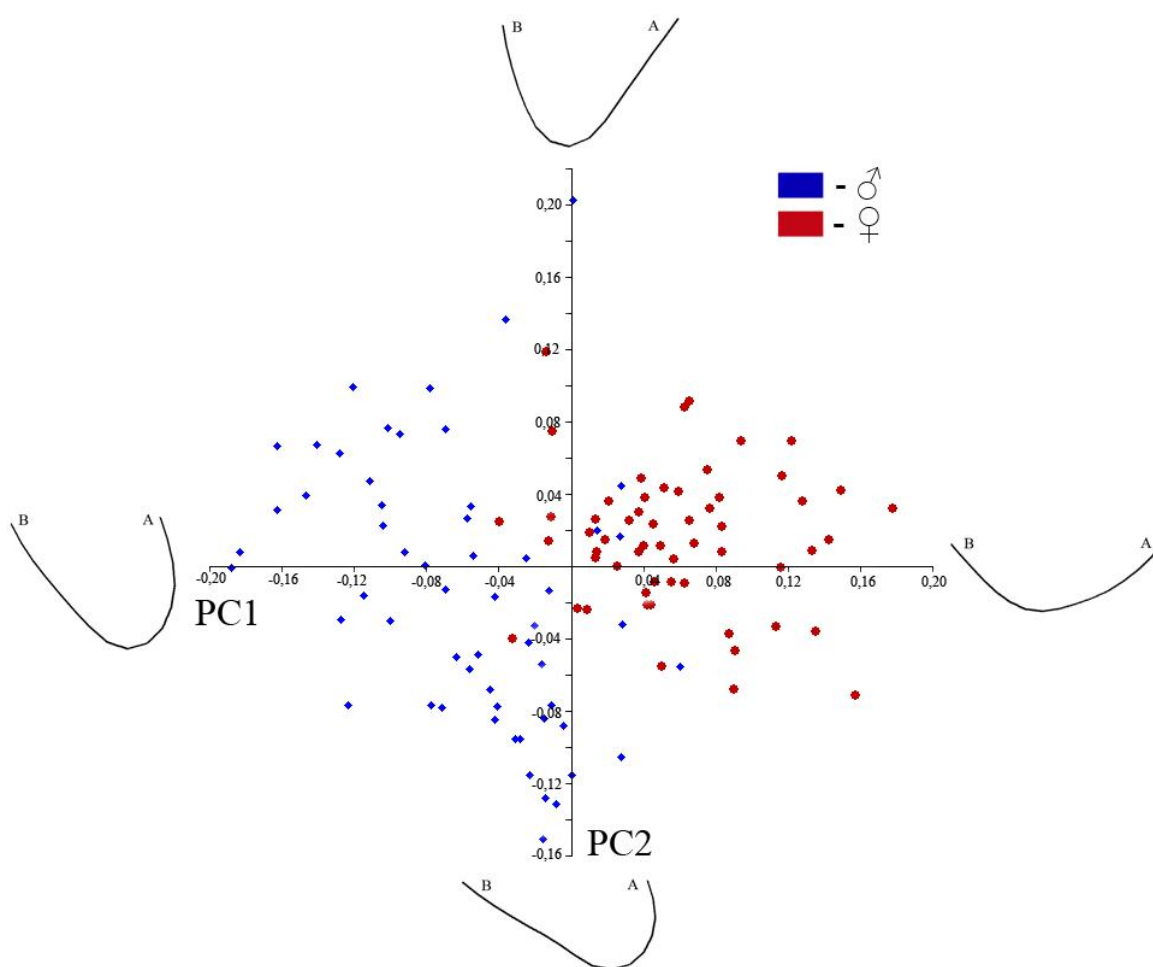
PC	variabilita %
1	60,42
2	33,95
3	2,71
4	1,14
5	0,54
6	0,26
7	0,22
8	0,19
9	0,12
10	0,10



Graf 7. Grafické znázornění variability tvaru incisura ischiadica major mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (manuální snímání, 16 semilandmarků).

Hned při prvním pohledu na graf (Graf 7) je patrné, že první hlavní komponenta velmi silně vyjadřuje pohlavní dimorfismus. Na ose x , která reprezentuje první hlavní komponentu, je výskyt mužských tvarů křivek převážně v záporných hodnotách. V kladných hodnotách této osy naopak vidíme větší množství křivek ženského pohlaví. Jak je vidět, první hlavní komponenta nám viditelně rozdělila obě skupiny, ačkoli se obě skupiny prolínají v oblasti středu grafu.

Distribuce mužů je poměrně široká. Muži se nacházejí po celé délce osy y . Oproti tomu ženy se nacházejí více pohromadě a nezasahují výrazně do extrémních záporných ani kladných hodnot. I zde tedy platí, že tvarová variabilita je větší u mužů než u žen.



Graf 8. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 16 semilandmarků).

osa x – první hlavní komponenta

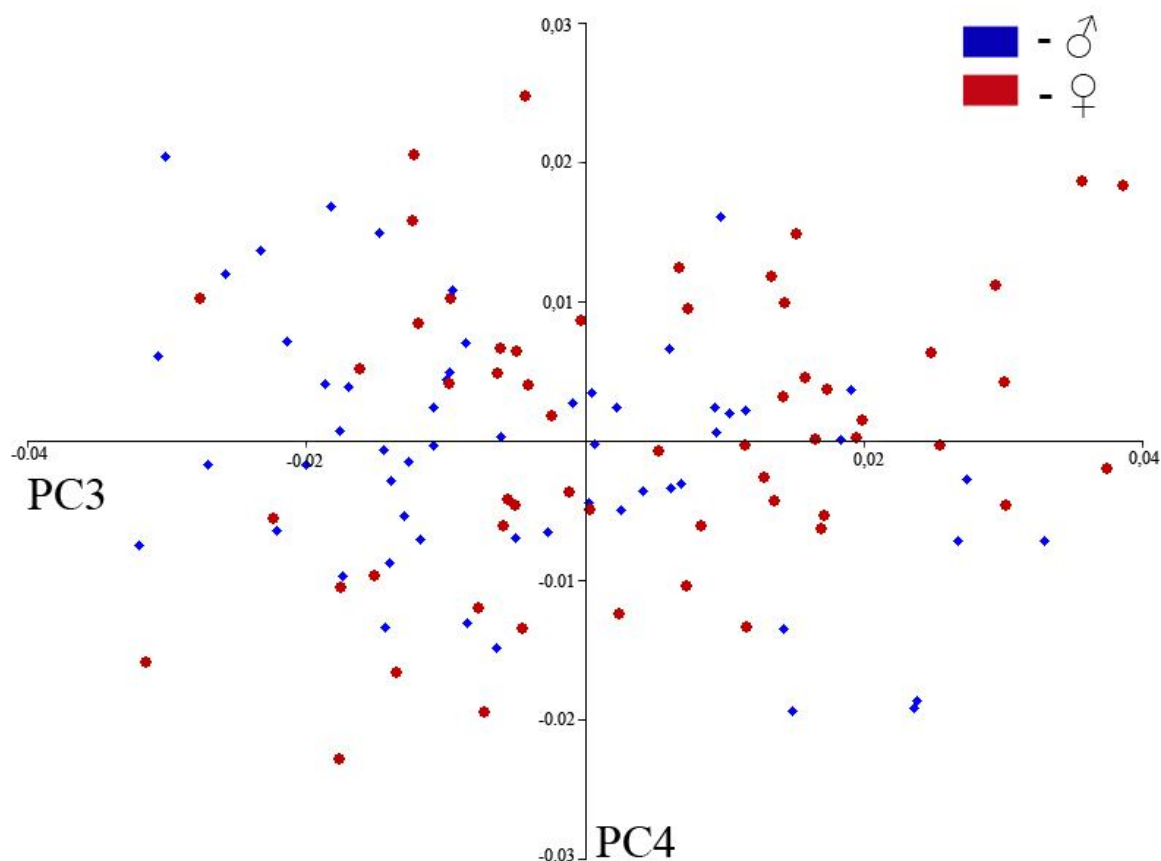
osa y – druhá hlavní komponenta

A – tuberculum piriformis (spina iliaca posterior inferior)

B – baze spina ischiadica

V záporných hodnotách osy x (Graf 8) je křivka hluboká a spíše uzavřená, nejhlubší bod je posunut směrem k rameni začínajícího u landmarku A, které je také kratší. Směrem ke kladným hodnotám dochází jak k posunu nejhlubšího bodu křivky více k bazi *spina ischiadica* (landmark B), tak k rozevírání ramen křivky, zmenšování samotné hloubky křivky a prodlužování ramene od *tuberculum piriformis*. Druhé rameno vedoucí od baze *spina ischiadica* se zkracuje.

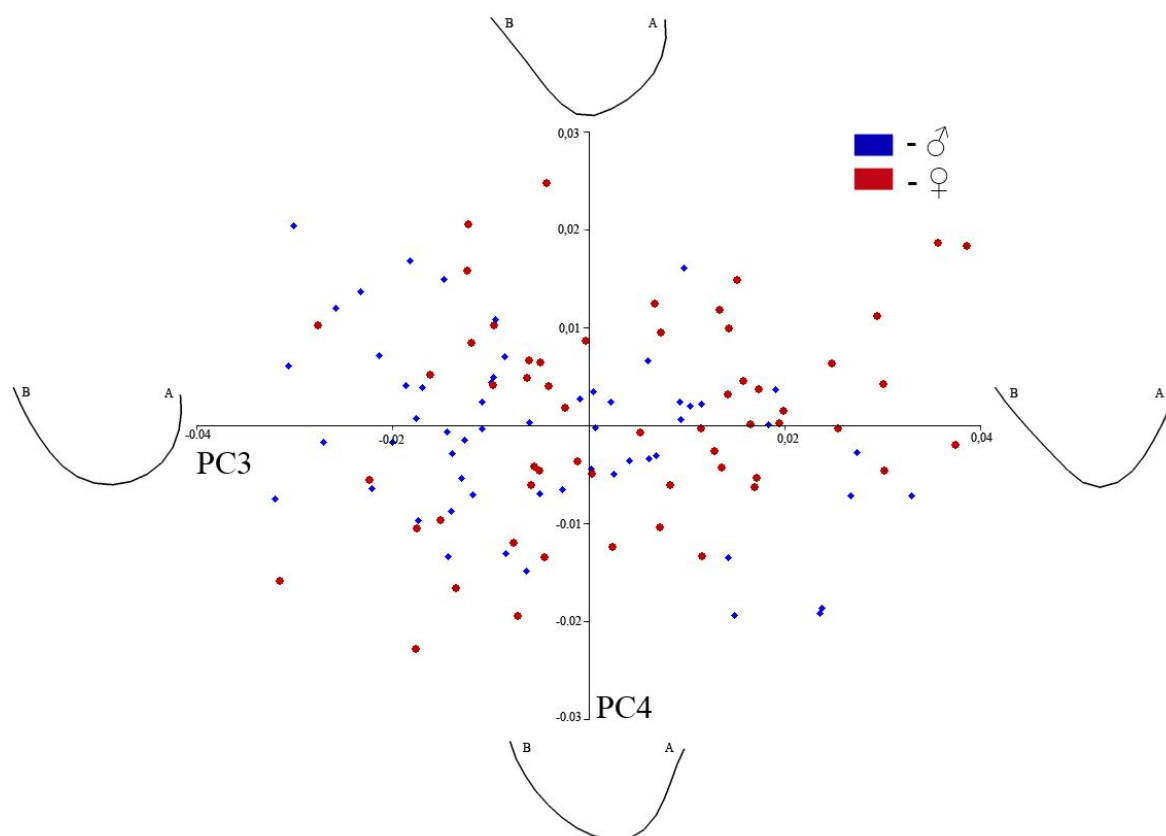
Třetí a čtvrtá komponenta nevyjadřují zásadním způsobem pohlavní dimorfismus, nicméně se podílí na vysvětlení menších tvarových změn, které dohromady s první a druhou komponentou popisují variabilitu křivek u mužů a žen. Jak je patrné na grafu (Graf 9), v případě třetí a čtvrté komponenty se obě skupiny prolínají.



Graf 9. Grafické znázornění variability tvaru *incisura ischiadica major* mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (manuální snímání, 16 semilandmarků).

V závislosti na třetí hlavní komponentě můžeme pozorovat tvarové změny převážně v zaoblení křivky (Graf 10). Zatímco v záporných hodnotách osy x se nám křivka jeví jako

souvislý oblouk, u kterého lze těžko odlišit obě ramena, směrem ke kladným hodnotám se křivka v dolní části zašpičatňuje, obě ramena se více napřimují a dají se od sebe viditelně odlišit. Jak v záporných, tak kladných hodnotách jsou však oba konce ramen křivky otevřené a tak je zjevné, že třetí hlavní komponenta otevřenost křivky nepopisuje.



Graf 10. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 16 semilandmarků).

osa x – první hlavní komponenta

osa y – druhá hlavní komponenta

A – tuberculum piriformis (spina iliaca posterior inferior)

B – baze spina ischiadica

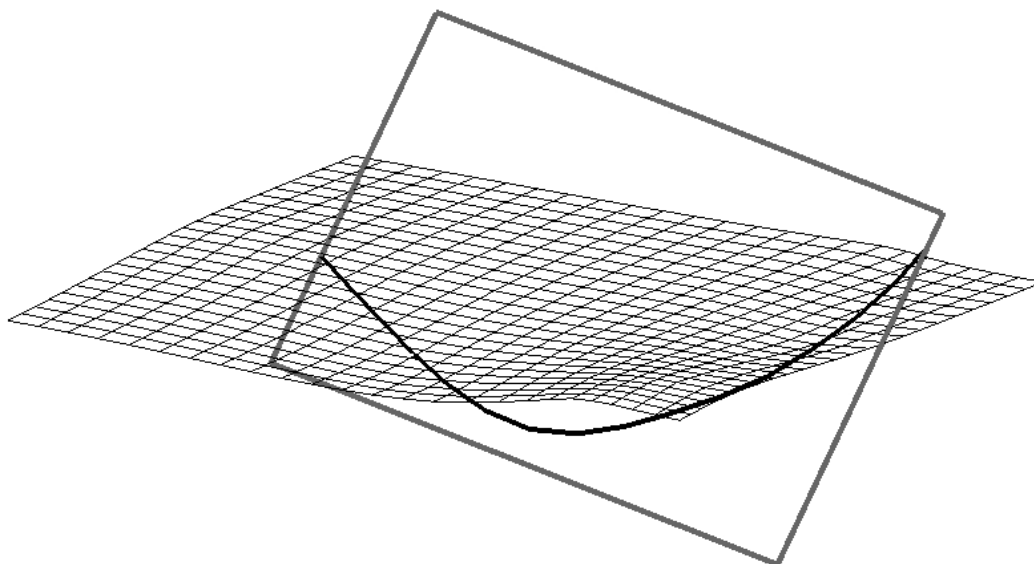
Čtvrtá hlavní komponenta vyjadřuje asymetrii ramen křivky (Graf 10). Podíváme-li se na tvar křivky v záporných hodnotách na ose y, uvidíme, že rameno vedoucí od tuberculum piriformis je kratší, napřimené a křivka je na této straně otevřená. Rameno od baze spina ischiadica se více zaobljuje a také se prodlužuje. Nejhlubší bod křivky se nachází blíže k tuberculum piriformis. Postupně směrem ke kladným hodnotám osy y se nejhlubší bod přesouvá mírně k bazi spina ischiadica a rameno od landmarku A se tak

prodlužuje a zároveň zaobluje. V horní části rameno křivku od landmarku A spíše uzavírá. Druhé rameno od landmarku B naopak prochází opačnou změnou – napřimuje se a posunem nejhlubšího bodu se také mírně zkracuje. Na horním konci křivku spíše otevírá.

I v případě 16ti semilandmarků jsme použili metodu TPS, abychom zjistili tvarové rozdíly mezi referenční křivkou a cílovou křivkou v závislosti na první a druhé hlavní komponentě. Pro první komponentu jsme zvolili referenční tvar křivky v extrémních záporných hodnotách osy x , který reprezentoval tvar odpovídající mužskému pohlaví. Cílovým tvarem byla extrémní křivka v kladných hodnotách osy x . Ta reprezentovala tvar křivky ženského pohlaví.

Jak je patrné na grafickém zobrazení výsledků TPS metody, mřížka se horizontálně protáhla a vertikálním směrem se zmenšila (Obr. 13). Tuto deformaci můžeme interpretovat jako změnu otevřenosti křivky (horizontální protažení) a zároveň zmenšení hloubky křivky (vertikální oploštění). Referenční křivka byla tedy více uzavřená a také více hluboká, než cílová křivka.

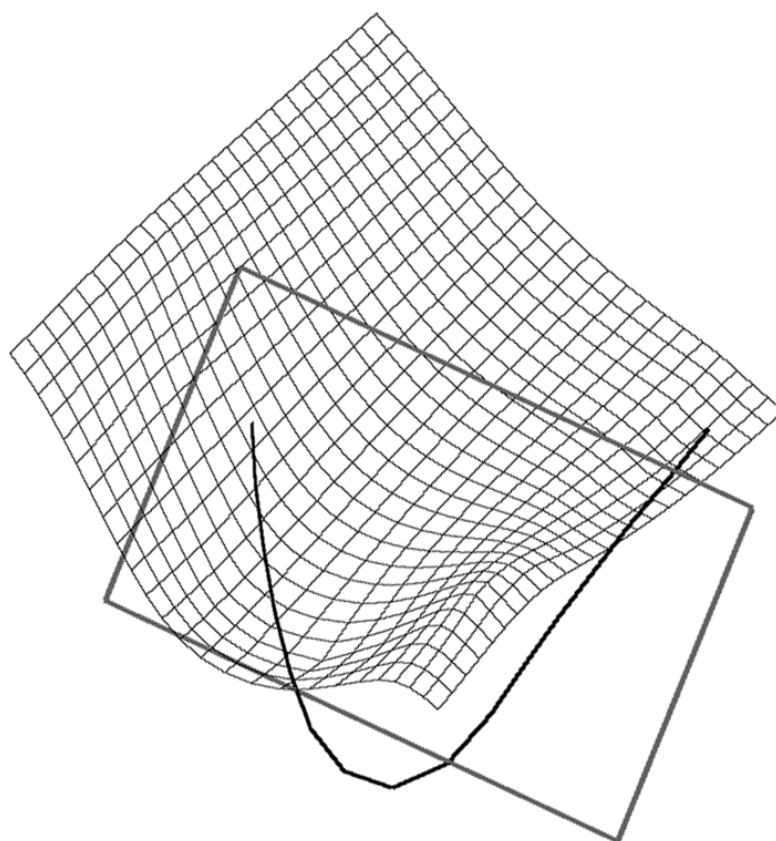
Drobnější deformace je také patrná v místě nejhlubšího bodu křivky. To souvisí jak se změnou hloubky křivky, tak s posunem nejhlubšího bodu. Ten se u cílového tvaru nachází blíže landmarku A, než u referenčního tvaru.



Obr. 13. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose x odpovídající první hlavní komponentě; extrémní záporná hodnota PC1 (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní kladné hodnoty PC1 (cílový tvar, černá křivka); (manuální snímání, 16 semilandmarků).

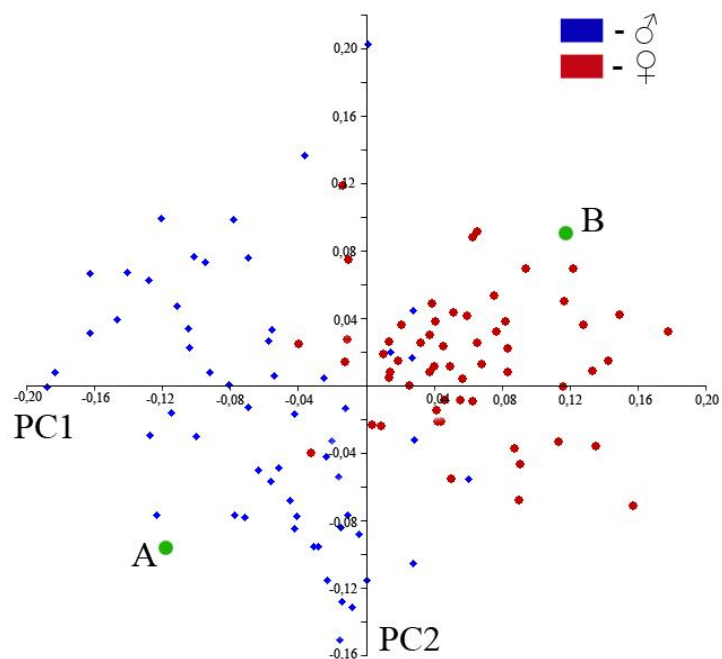
Tvarové změny znázorněné pomocí metody TPS jsme sledovali také v rámci druhé hlavní komponenty (Obr. 14). Referenčním tvarem byla v tomto případě extrémní záporná hodnota na ose y , cílovým tvarem byla extrémní kladná hodnota této osy.

Deformace mřížky se v tomto případě projevila celkovým vertikálním protažením. Výrazná deformace se také objevuje v celé spodní půlce mřížky, což můžeme interpretovat jako tvarové změny v umístění nejhlubšího bodu křivky a také změny v asymetrii a celkovém tvaru obou ramen.



Obr. 14. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose y odpovídající druhé hlavní komponentě; extrémní záporná hodnota PC2 (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní kladné hodnoty PC2 (cílový tvar, černá křivka); (manuální snímání, 16 semilandmarků).

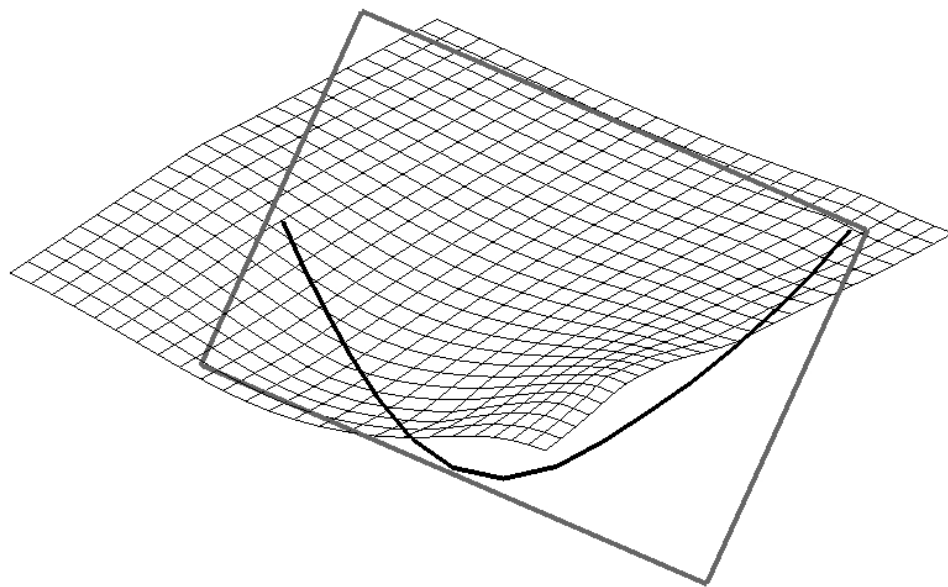
Výsledky této metody nám potvrdily tvarové změny zobrazené metodou PCA. Stejně jako v případě 12ti semilandmarků nám šlo také o zjištění tvarových rozdílů, které jsou vyjádřeny oběma hlavními komponentami. Opět jsme tedy vybrali oba tvary tak, aby se referenční křivka nacházela v záporných hodnotách osy x i y a cílová křivka byla vybrána z kladných hodnot obou těchto os (Graf 11).



Graf 11. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (manuální snímání, 16 semilandmarků).

bod A – referenční bod (mužská křivka)

bod B – cílový bod (ženská křivka)



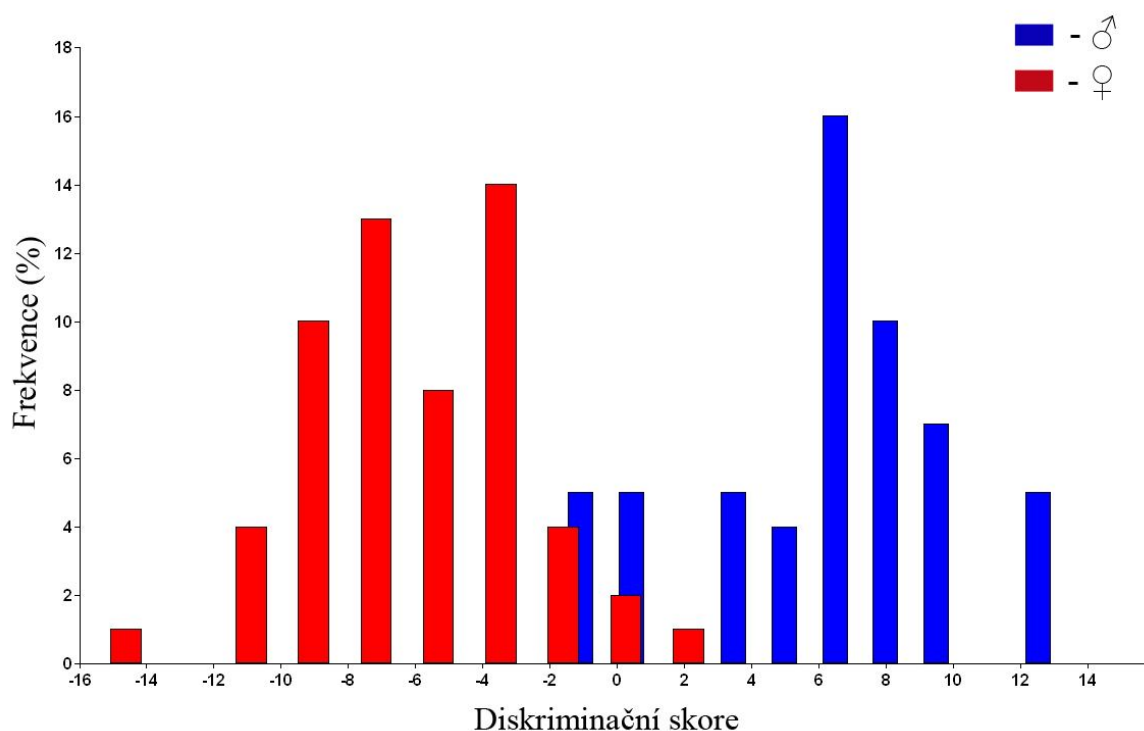
Obr. 15. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty; tvar v záporných hodnotách PC1 a PC2 (referenční tvar) je deformován společně s mřížkou do tvaru v kladných hodnotách PC1 a PC2 (cílový tvar, černá křivka); (manuální snímání, 16 semilandmarků).

Výsledná deformace mřížky (Obr. 15) vykazuje změny v horizontálním roztažení a vertikálním snížení. Opět také ve spodní části mřížky, hlavně v oblasti nejhlubšího bodu křivky. Tyto deformace můžeme interpretovat jako tvarové změny v otevřenosti a hloubce křivky, posun nejhlubšího bodu křivky a změnu asymetrie ramen.

V porovnání s výše uvedenými výsledky pro jednotlivé hlavní komponenty je zřejmé, že způsob deformace je ovlivněn oběma komponentami, protože vertikální snížení mřížky není tak výrazné, jako v případě posuzování samotné první hlavní komponenty. Deformaci ve spodní části mřížky zase výrazně ovlivňuje druhá hlavní komponenta.

Tab. 8. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (manuální snímání, 16 semilandmarků)

Semilandmarky	Úspěšnost klasifikace (%)	Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	Počet nesprávně klasifikovaných žen	Počet nesprávně klasifikovaných mužů
16	93,86	7	2	5



Graf 12. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (manuální snímání, 16 semilandmarků).

Pomocí Hotellingova dvouvýběrového testu jsme dokázali, že rozdílnost křivek je opět významná na nejvyšší hladině významnosti ($T^2: p(\text{same}) = 4,61E-14$). Diskriminační

analýza oddělila soubor na dvě skupiny podle pohlaví. Pohlaví bylo klasifikováno s úspěšností 94,74%. Jak je patrné v tabulce (Tab. 8), při použití 16ti semilandmarků se nám nepodařilo správně klasifikovat celkem 7 pánevních kostí – 5 mužských a 2 ženských.

Graf diskriminační analýzy (Graf 12) graficky znázorňuje mužské a ženské tvary křivek rozdělené do poměrně dobře oddělených skupin pomocí diskriminační funkce. Z grafu a rozdělení tvarů křivek vyplývá, že pohlavní rozdíly jsou signifikantní a v porovnání s výsledky diskriminační analýzy při využití 12ti semilandmarků se nám povedlo zvýšit procento úspěšnosti klasifikace. Je však také patrné, že obě skupiny nejsou úplně oddělené a to v oblasti kolem nuly. Tyto pánevní kosti byli zařazeni nesprávně, jak je shrnuto v tabulce výše.

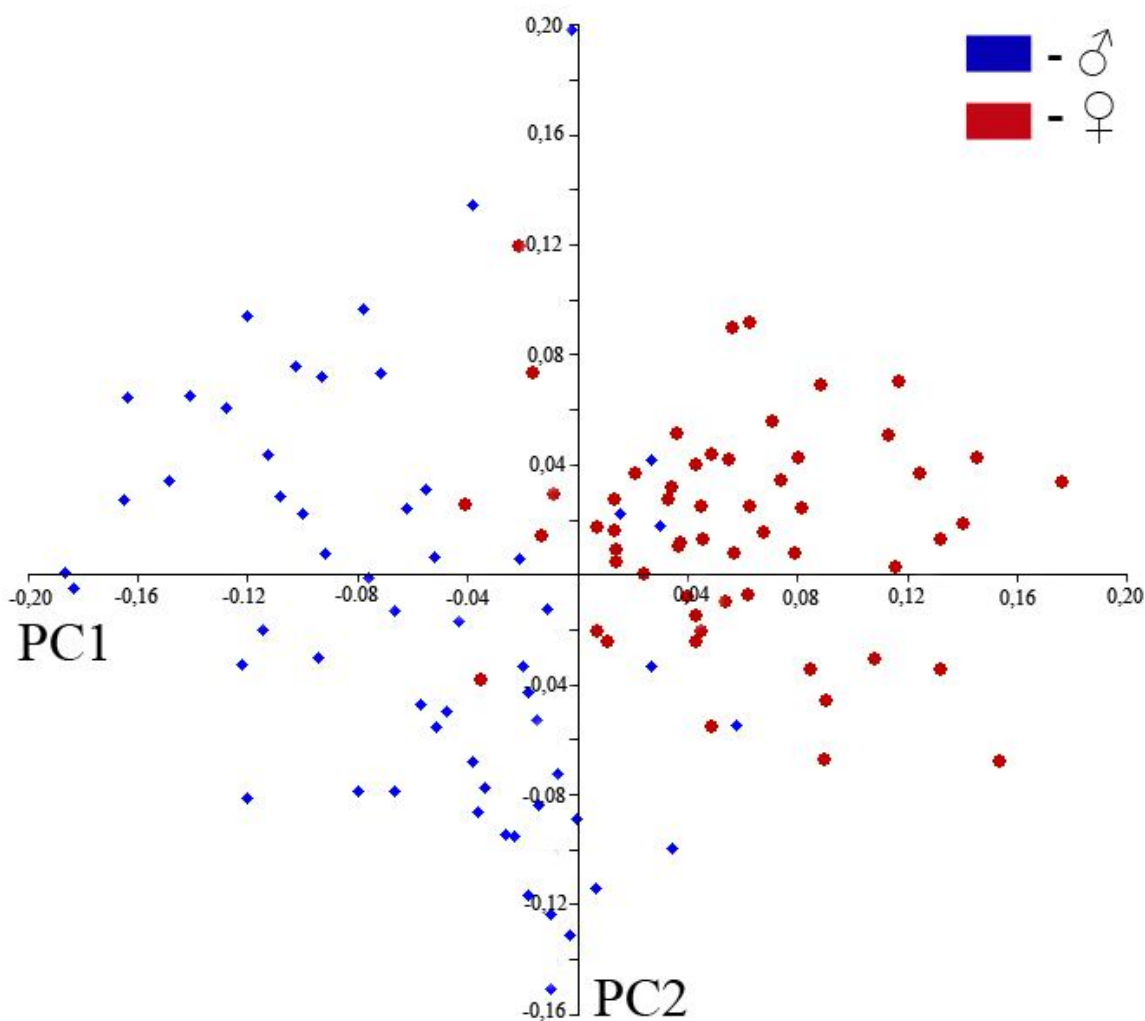
8.1.3 Zpracování křivky s využitím 37mi semilandmarků

Stejně jako u předchozích počtů semilandmarků, i při počtu 37 jsme nejprve provedli procrustovskou transformaci.

Následovala PCA. I v tomto případě se nám obě skupiny viditelně oddělily (Graf 13). Analýza PCA nám ukázala, že tvarové změny křivek jsou nejsilněji vyjádřeny opět první a druhou hlavní komponentou. První hlavní komponenta popisuje 59,97% tvarových změn, druhá hlavní komponenta popisuje 34,47% tvarových změn. Dohromady pak vyjadřují variabilitu křivky z 94,44% (Tab. 9). I v tomto případě jsme se rozhodli zahrnout do výsledků také třetí a čtvrtou hlavní komponentu, protože všechny čtyři hlavní komponenty dohromady popisují 98,21% variability.

Tab. 9. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (manuální snímání, 37 semilandmarků).

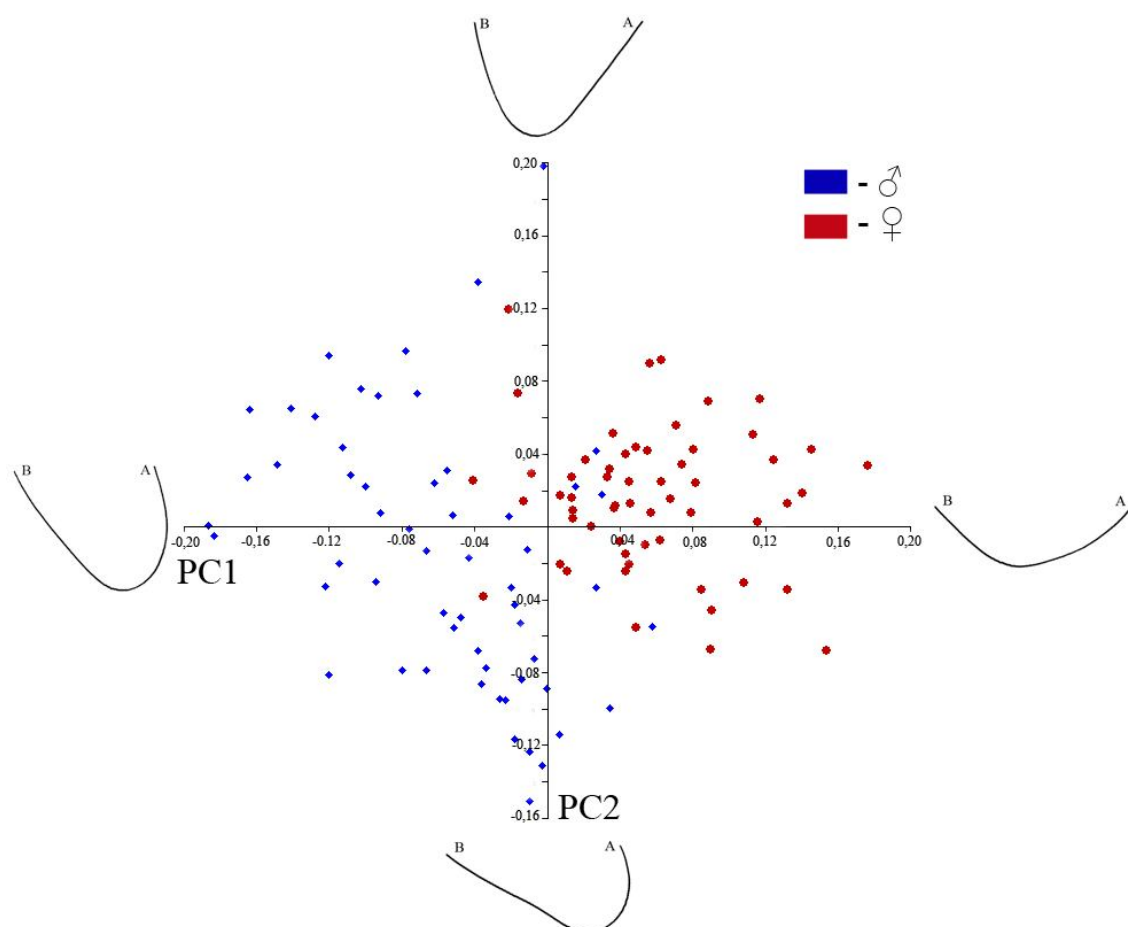
PC	variabilita %
1	59,97
2	34,47
3	2,67
4	1,10
5	0,51
6	0,25
7	0,22
8	0,18
9	0,11
10	0,09



Graf 13. Grafické znázornění variability tvaru incisura ischiadica major mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (manuální snímání, 37 semilandmarků).

Tvarové změny popsané první a druhou hlavní komponentou můžeme sledovat na grafu (Graf 14). První hlavní komponenta je zde opět důležitým faktorem. V závislosti na této komponentě se nám skupina rozdělila na muže a ženy, i když i zde se ve středové oblasti grafu obě skupiny prolínají. V záporných hodnotách osy x , kde se nachází převážně tvary odpovídající mužskému pohlaví, má křivka uzavřený tvar a je dost hluboká. Obě ramena jsou přibližně stejně dlouhá, ačkoli rameno vedoucí od landmarku A je mírně zaoblené, kdežto rameno vedoucí od landmarku B je více přímé. Nejhlubší bod křivky leží blíže landmarku A. Směrem ke kladným hodnotám osy x pozorujeme změny jak v otevřenosti, tak v hloubce křivky. Ramena se doširoka rozevírají, hloubka křivky se

zmenšuje a nejhlubší bod se přesouvá směrem k landmarku B. Rameno vedoucí od tohoto landmarku je kratší než rameno od landmarku A.



Graf 14. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 37 semilandmarků).

osa x – první hlavní komponenta

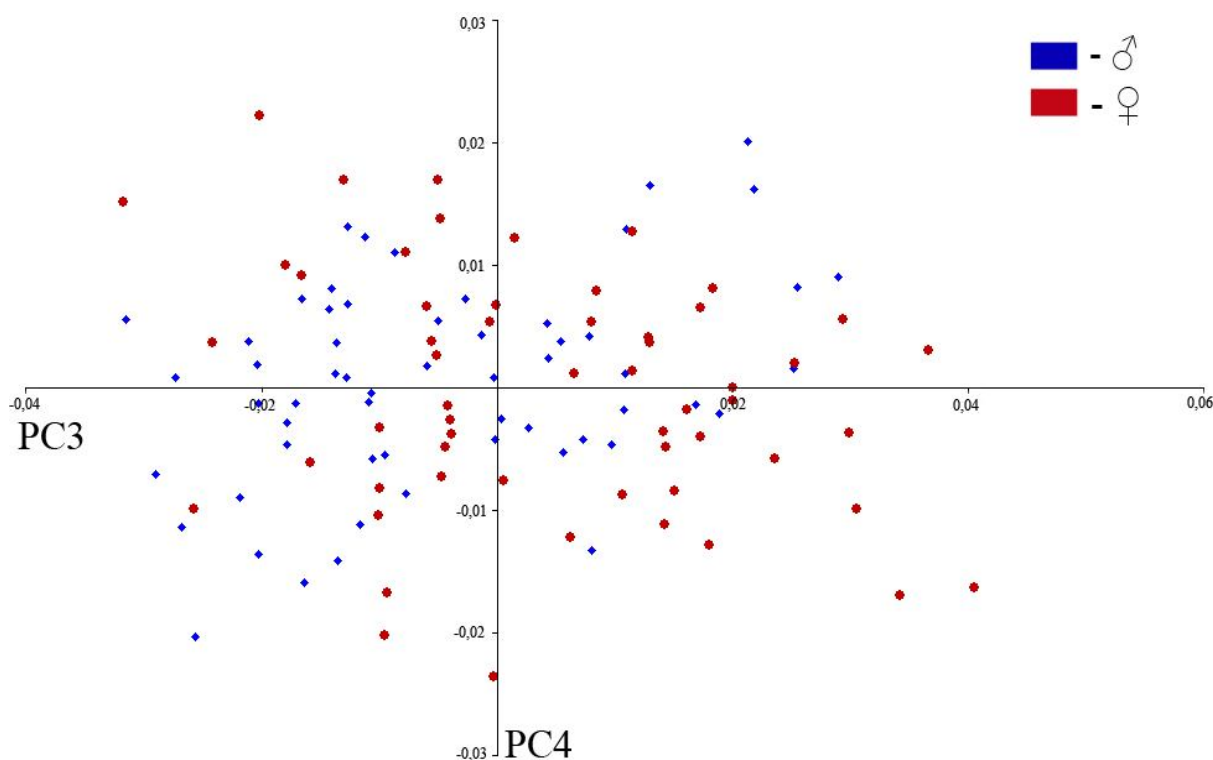
osa y – druhá hlavní komponenta

A – tuberculum piriformis (spina iliaca posterior inferior)

B – baze spina ischiadica

Druhá hlavní komponenta přímo nevyjadřuje pohlavní dimorfismus, popisuje však výrazné tvarové variace v rámci pohlaví (Graf 14). V záporných hodnotách osy y pozorujeme výraznou asymetrii ramen. Rameno od landmarku A je kratší než rameno od landmarku B a zároveň je také více zaoblené. Křivku na straně u *tuberculum piriformis* spíše uzavírá. Rameno od *baze spina ischiadica* je delší, přímé a otevírá křivku doširoka. Nejhlubší bod křivky se nachází více směrem k *tuberculum piriformis*. Když postupujeme

směrem ke kladným hodnotám na ose y , můžeme vidět změnu v asymetrii ramen. Nejhlubší bod křivky se posouvá mírně k bazi *spina ischiadica*, rameno od *tuberculum piriformis* se prodlužuje a zvětšuje se také hloubka celé křivky. Toto rameno se napřimuje a na své straně křivku otevírá. Rameno od landmarku A se mírně zaobljuje a zkracuje.



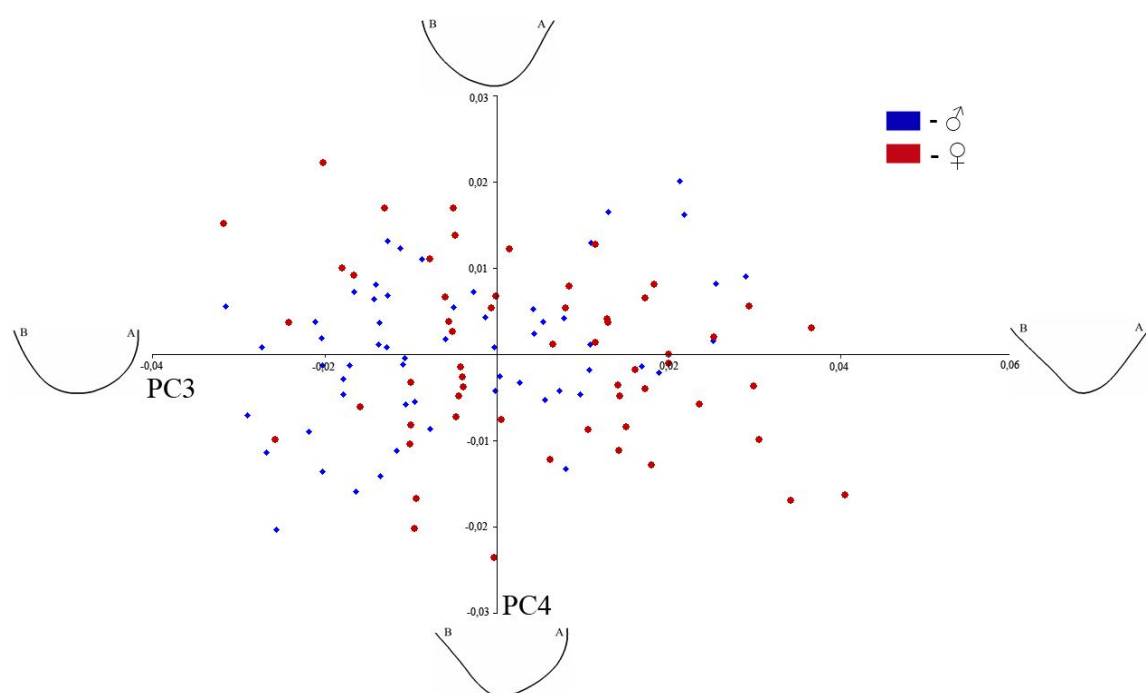
Graf 15. Grafické znázornění variability tvaru incisura ischiadica major mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (manuální snímání, 37 semilandmarků).

Při pozorování tvarových změn popsanych třetí a čtvrtou hlavní komponentou je zjevné, že opět minimálně vyjadřují pohlavní dimorfismus (Graf 15). Popisují však drobnější tvarové změny, které dohromady s první a druhou komponentou vysvětlují tvarovou variabilitu.

Třetí hlavní komponenta znázorněná osou x ukazuje tvarové rozdíly převážně ve špičatosti křivky (Graf 16). V záporných hodnotách této osy je křivka ve spodní části oblá a je problematické rozlišit, kde končí jedno rameno a kde začíná druhé. Křivka je široce rozevřená, obě ramena jsou zaoblená a tvar je podobný písmenu „U“. Směrem ke kladným hodnotám se ramena napřimují, křivka se ještě více rozevívá, spodní část křivky je výrazně

zašpičatělá a celkový tvar křivky odpovídá písmenu „V“. Umístění nejhlubšího bodu křivky se nemění, stejně jako se příliš nemění samotná hloubka křivky.

Čtvrtá hlavní komponenta odpovídající ose y vysvětluje hlavně asymetrii tvaru ramen a mírně i umístění nejhlubšího bodu křivky. V záporných hodnotách osy y je rameno od landmarku A zaoblené a o něco delší než rameno druhé, které je naopak přímé. Rameno od landmarku A je na konci stočeno směrem dovnitř křivky a na své straně tak křivku více uzavírá. Opačné rameno křivku zeširoka otevírá. Nejhlubší bod křivky se nachází více směrem k bazi *spina ischiadica*. V kladných hodnotách osy y se mění umístění nejhlubšího bodu křivky – přesouvá se od baze *spina ischiadica* více k *tuberculum piriformis*. Zároveň se rameno od landmarku A mírně zkracuje a napřimuje, což vede k rozevírání křivky v této oblasti. Druhé rameno se zaobljuje a prodlužuje. Hloubka samotné křivky zůstává po celou dobu neměnná.



Graf 16. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 37 semilandmarků).

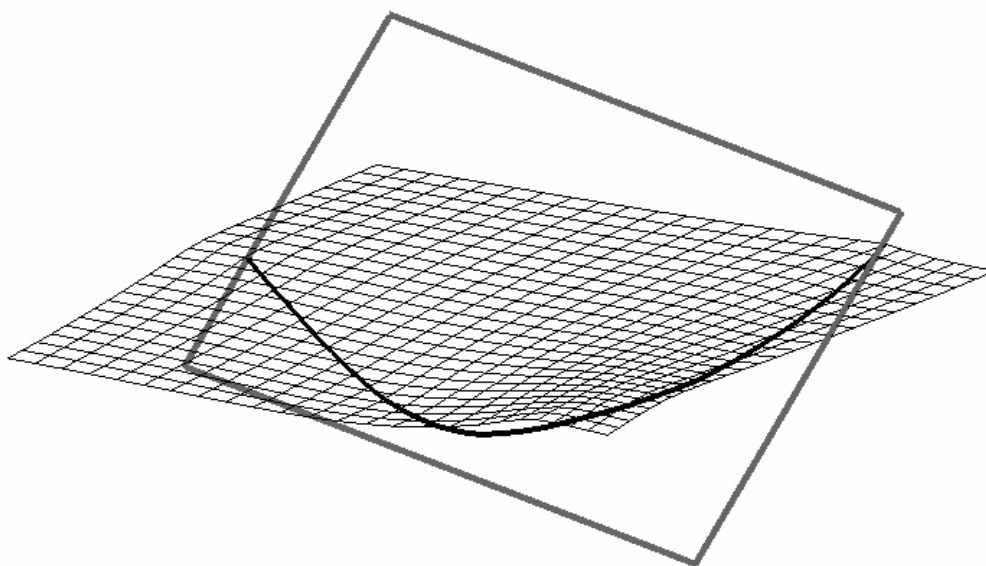
osa x – první hlavní komponenta

osa y – druhá hlavní komponenta

A – *tuberculum piriformis* (*spina iliaca posterior inferior*)

B – baze *spina ischiadica*

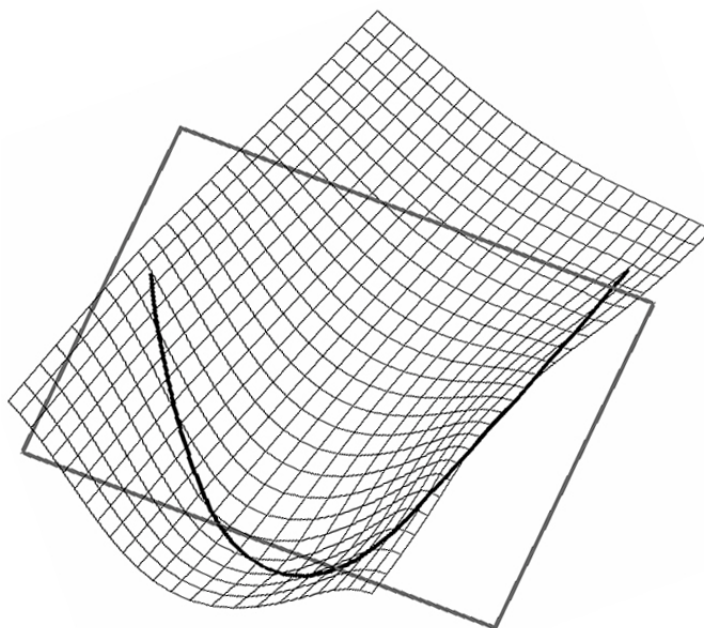
Metodou TPS jsme zjišťovali tvarové změny ovlivněné prvními dvěma hlavními komponentami. V případě první hlavní komponenty jsme, stejně jako u předchozích analýz, jako referenční tvar použili extrémní zápornou hodnotu osy x . Cílovým tvarem byla extrémní kladná hodnota osy x (Obr. 16). Referenční tvar v tomto případě spadá do skupiny mužů, cílový tvar patří mezi ženy.



Obr. 16. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose x odpovídající první hlavní komponentě; extrémní záporná hodnota PC1 (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní kladné hodnoty PC1 (cílový tvar, černá křivka); (manuální snímání, 37 semilandmarků).

Jak je patrné, mřížka se pod vlivem první hlavní komponenty deformovala vertikálně i horizontálně. Vertikální oploštění značí změnu hloubky křivky – křivka u cílového jedince je méně mělká, než křivka u referenčního jedince. Horizontální protažení ukazuje na změny v otevřenosti křivky. Mřížka je také deformována ve spodní části. Tato deformace je zapříčiněna změnou umístění nejhlubšího bodu křivky a také změněnou asymetrií obou ramen. Tato deformace nám tedy opět potvrzuje výše popsané tvarové změny zjištěné analýzou PCA.

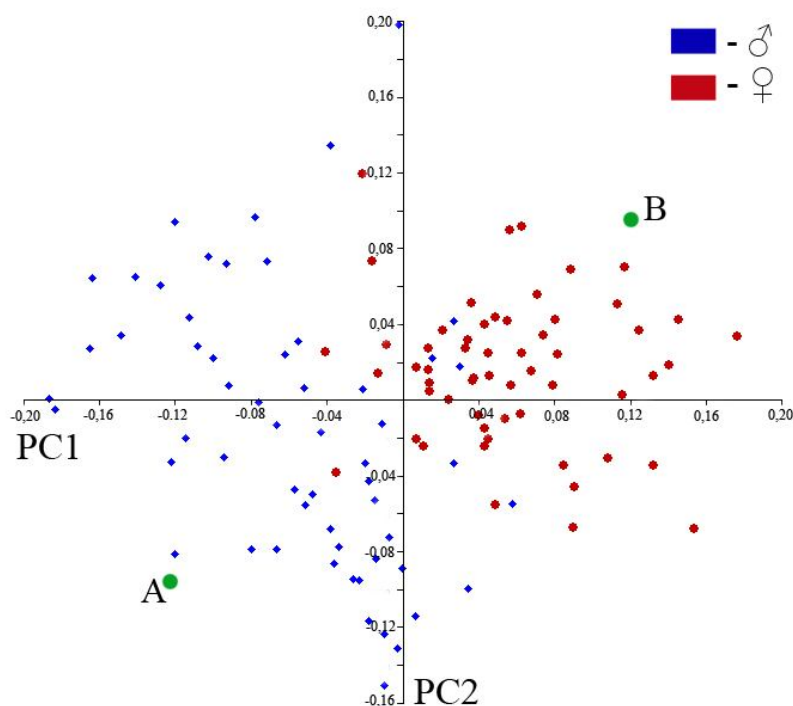
Analýza TPS pro druhou hlavní komponentu je znázorněna na obrázku (Obr. 17). Referenční tvar se nachází v záporných extrémních hodnotách osy y , cílový tvar jsme zvolili v extrémních kladných hodnotách této osy.



Obr. 17. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose y odpovídající druhé hlavní komponentě; extrémní záporná hodnota PC2 (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní kladné hodnoty PC2 (cílový tvar, černá křivka); (manuální snímání, 37 semilandmarků).

Deformace mřížky je v tomto případě patrná převážně v dolní polovině mřížky. Oproti první hlavní komponentě zde nedochází k vertikálnímu oploštění, což naznačuje, že se křivka v cílovém tvaru oproti referenčnímu tvaru prohlubuje. Můžeme však pozorovat deformaci po stranách mřížky. Tato deformace poukazuje na změnu asymetrie a tvaru ramen křivky referenčního a cílového jedince. Deformace ve spodní části opět potvrzuje posun nejhlubšího bodu křivky.

Metodou TPS jsme potvrdili tvarové změny vyjádřené první a druhou hlavní komponentou. Stejně jako u 12ti a 16ti semilandmarků jsme však chtěli detailněji popsat tvarové změny, na které vyjadřují obě hlavní komponenty dohromady, abychom se co nejvíce přiblížili skutečným tvarovým rozdílům mezi muži a ženami. Proto jsme opět zvolili jako referenční tvar křivku umístěnou v záporných hodnotách osy x i y . Tento tvar spadá do mužské skupiny. Cílový tvar představovala křivka ženského pohlaví nacházející se v kladných hodnotách osy x a y (Graf 17).

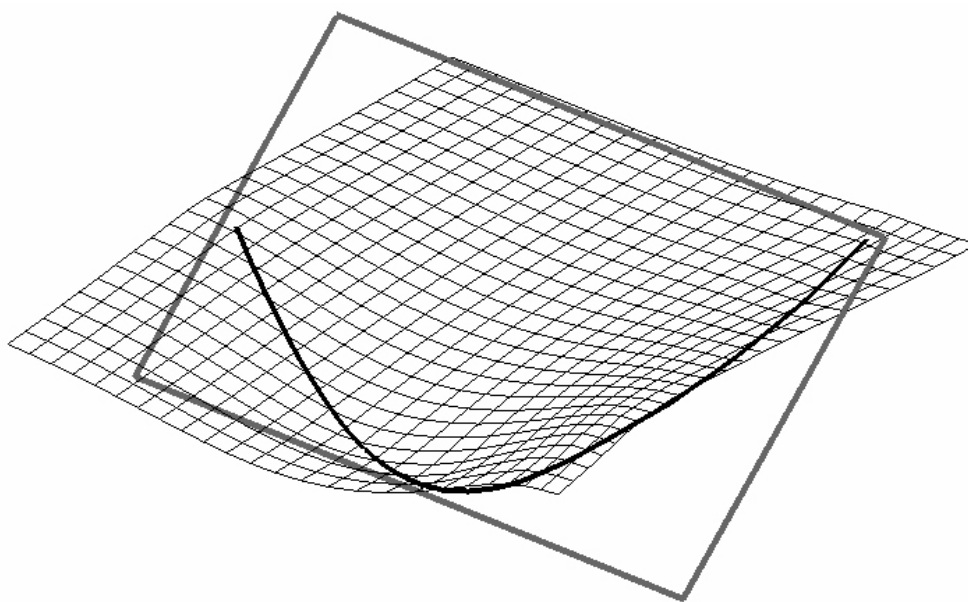


Graf 17. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (manuální snímání, 37 semilandmarků).

bod A – referenční bod (mužská křivka)

bod B – cílový bod (ženská křivka)

Výsledná deformace, která je patrná na obrázku (Obr. 18), poukazuje na tvarové změny jak v hloubce celé křivky, tak v její otevřenosti. Vertikální oploštění není tak výrazné, jako u první hlavní komponenty. Přesto se tam nachází a můžeme tedy říct, že mezi referenčním a cílovým tvarem dochází ke změnám v hloubce křivky. Výrazné je horizontální protažení. To znamená, že referenční tvar křivky byl více uzavřený než cílový tvar křivky. Deformace, která se nachází ve všech případech, je také i zde a to v dolní části mřížky. Je zjevné, že umístění nejhlubšího bodu křivky se v závislosti na obou komponentách mění a s ním i asymetrie a tvar obou ramen. Celkově tedy můžeme výsledky této metody shrnout tak, že kombinace prvních dvou hlavních komponent vyjadřuje změnu v otevřenosti a hloubce křivky a také v asymetrii ramen.



Obr. 18. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty; tvar v záporných hodnotách PC1 a PC2 (referenční tvar) je deformován společně s mřížkou do tvaru v kladných hodnotách PC1 a PC2 (cílový tvar, černá křivka); (manuální snímání, 37 semilandmarků).

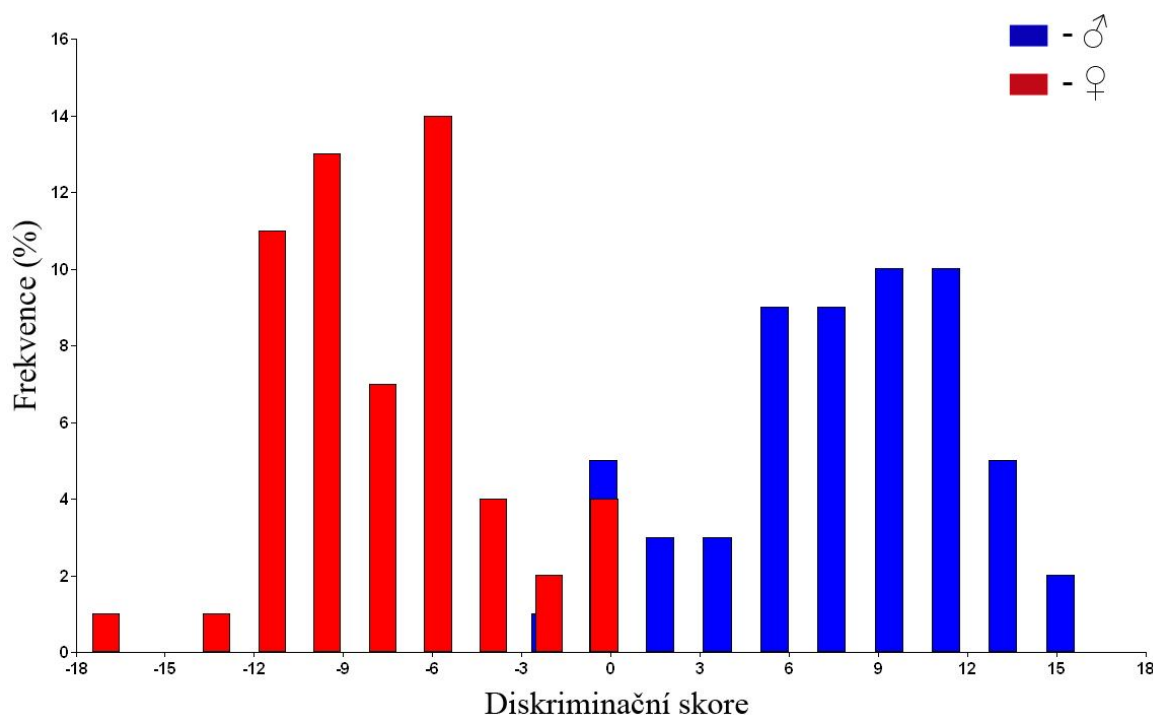
Diskriminační analýza, která byla prováděna stejně jako u předchozích dat pomocí Hotellingova dvouvýběrového testu, nám potvrdila signifikantní rozdílnost obou skupin a to na nejvyšší hladině významnosti (T^2 : $p(\text{same}) = 0,001017$). Diskriminační analýza rozdělila soubor na dvě skupiny podle pohlaví a to s úspěšností klasifikace na 96,49%.

Nesprávná klasifikace se v tomto případě projevila u 4 pánevních kostí z celkového počtu 114. Pomocí diskriminační funkce se nám nepodařilo správně klasifikovat 2 ženské a 2 mužské pánevní kosti (Tab. 10).

Graf diskriminační funkce (Graf 18) zobrazuje tvary křivek rozdělené do dvou poměrně oddělených skupin a koresponduje s tabulkou (Tab. 10). Je patrné, že v oblasti kolem nuly se stále nachází křivky, které byly nesprávně klasifikovány.

Tab. 10. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (manuální snímání, 37 semilandmarků)

Semilandmarky	Úspěšnost klasifikace (%)	Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	Počet nesprávně klasifikovaných žen	Počet nesprávně klasifikovaných mužů
37	96,49	4	2	2



Graf 18. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (manuální snímání, 37 semilandmarků).

Přestože v tomto případě byla úspěšnost klasifikace 96,49%, což činí 110 pánevních kostí z celkového počtu 114, rozhodli jsme se nadále tento počet semilandmarků již nevyužívat. V porovnání úspěšnosti klasifikace při využití 16ti a 37mi semilandmarků jsme dosáhli o 2,63% větší úspěšnosti v případě 37mi semilandmarků. Nárůst dat byl však více než dvojnásobný. Po zhodnocení datové zátěže jsme usoudili, že výsledné hodnoty nejsou tak markantní a počet 37mi smilandmarků jsme uznali pro klasifikaci pohlaví jako zbytečně velký. Tvarové rozdíly na křivce lze dostatečně popsat za pomoci menšího počtu, kdy i v takovém případě dosáhneme plnohodnotných výsledků.

8.2 Automatické snímání křivky

8.2.1 Zpracování křivky s využitím 12ti semilandmarků

U křivek, které jsme automaticky detekovali v programu Morphome3cs jsme nejprve také odstranili velikostní rozdíly, rotaci a posun pomocí procrustovské transformace. Dále jsme zachovali stejné pořadí analýz, jako u manuálního snímání křivky.

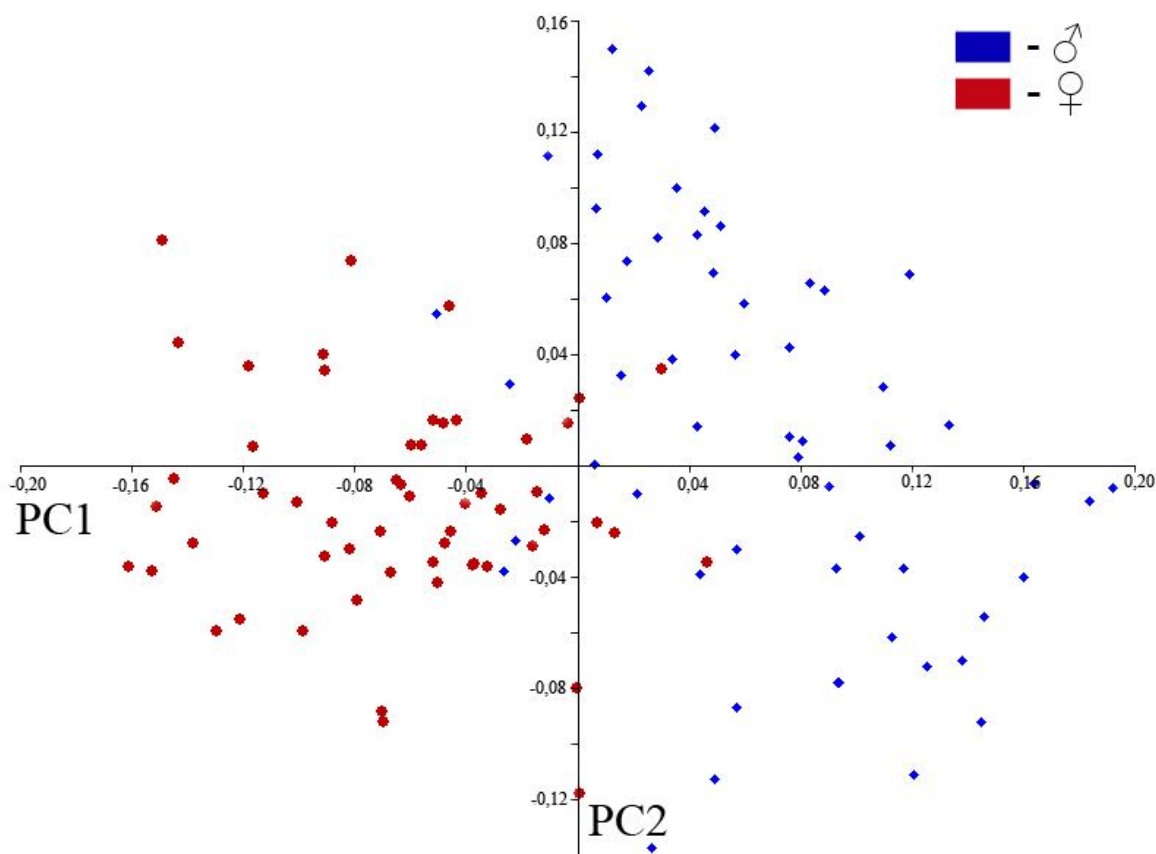
Analýza PCA nám rozdělila soubor na dvě skupiny. Z grafu (Graf 19) je jasné, že opět velmi výrazně variabilitu tvaru křivky popisuje převážně první a druhá hlavní komponenta. Obě hlavní komponenty vyjadřují dohromady variabilitu z 94,58%.

První hlavní komponenta popisuje variabilitu tvaru z 62,98%, druhá hlavní komponenta pak popisuje variabilitu z 31,60%. Opět jsme vzali v úvahu i třetí a čtvrtou hlavní komponentu. Jak je vidět v tabulce (Tab. 11), jsou to právě tyto dvě komponenty, které jako jediné další vyjadřují variabilitu tvaru z více než 1%. Dohromady pak všechny čtyři hlavní komponenty vysvětlují tvarové změny z 98,31%.

Tab. 11. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (automatické snímání, 12 semilandmarků).

PC	variabilita %
1	62,98
2	31,60
3	2,65
4	1,08
5	0,55
6	0,31
7	0,26
8	0,15
9	0,11
10	0,08

Díky grafickému zobrazení tvarů křivek jsme se mohli detailněji zaměřit na tvarové rozdíly vyjádřené jednotlivými hlavními komponentami. Z grafu (Graf 19) je patrné, že pohlavní dimorfismus je vysvětlen téměř jen první hlavní komponentou, která odpovídá ose *x*. Podél této osy se nám soubor rozdělil na dvě skupiny. Zástupci ženského pohlaví se nacházejí převážně v záporných hodnotách, zástupci mužského pohlaví se nacházejí hlavně v kladných hodnotách. Zatímco jsou ženy více pohromadě a příliš nezasahují na ose *y* do záporných ani kladných extrémů, muži mají větší rozptyl, což opět vyjadřuje jejich větší tvarovou variabilitu.

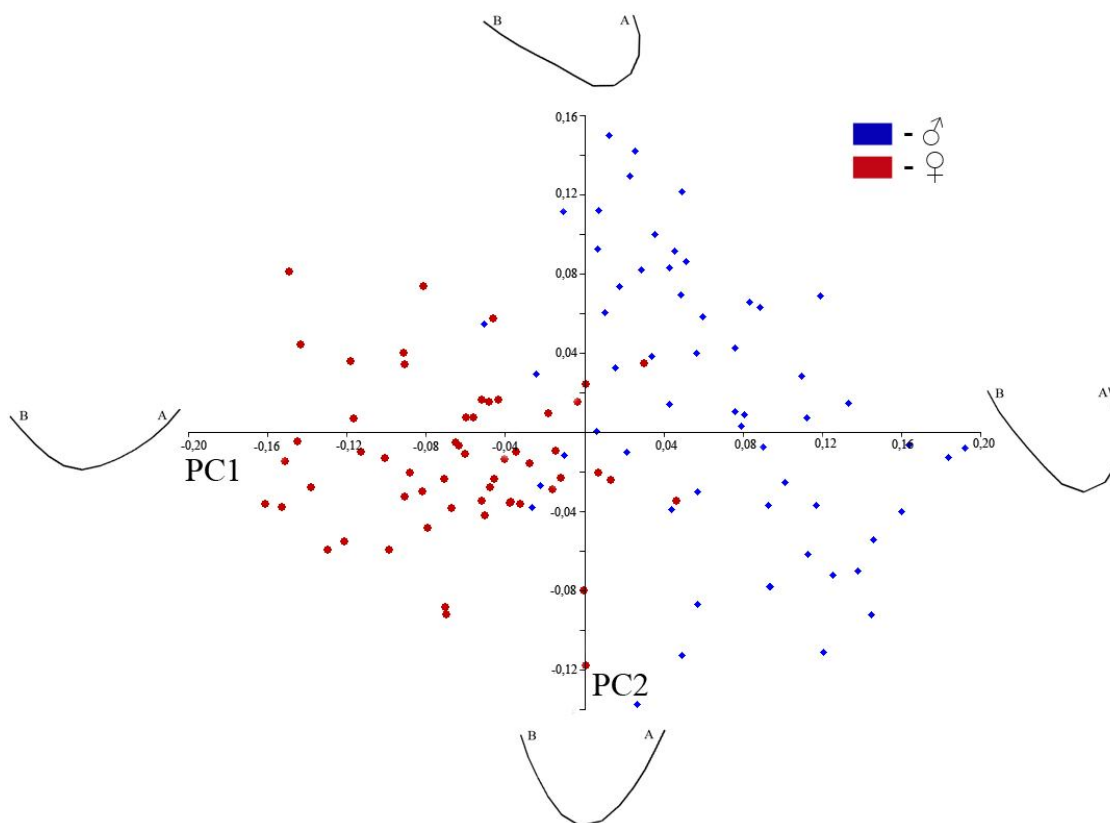


Graf 19. Grafické znázornění variability tvaru *incisura ischiadica major* mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (automatické snímání, 12 semilandmarků).

První hlavní komponenta popisuje variabilitu výrazným dílem. V záporných hodnotách osy x můžeme pozorovat křivku mělkou a otevřenou (Graf 20). Ramena jsou mírně asymetrická, rameno vedoucí od landmarku A je delší než rameno vedoucí od landmarku B a nejhlubší bod křivky se nachází blíže landmarku B. Směrem ke kladným hodnotám pozorujeme prohlubování křivky, přesouvání nejhlubšího bodu směrem k landmarku A a tím také dochází ke zkracování ramene vedoucího od tohoto landmarku. Křivka se výrazně uzavírá.

Druhá hlavní komponenta nevyjadřuje pohlavní dimorfismus, vysvětluje však asymetrii ramen křivky a umístění nejhlubšího bodu (Graf 20). V záporných hodnotách na ose y má křivka poměrně souměrný tvar. Ačkoli je rameno od landmarku A o něco delší než druhé rameno, obě ramena jsou stejně zaoblena a křivka je otevřená z obou stran. Nejhlubší bod křivky leží mírně směrem k bazi *spina ischiadica*, čímž způsobuje drobnou asymetrii délky ramen. Postupujeme-li směrem ke kladným hodnotám osy y , sledujeme

výrazný posun nejhlubšího bodu křivky na opačnou stranu (k *tuberculum piriformis*). Tento posun způsobuje zkrácení ramene od *tuberculum piriformis* a také snížení hloubky celé křivky. Opačné rameno se prodlužuje a napřimuje. Tvar křivky tím dostává výrazně asymetrický tvar.



Graf 20. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (automatické snímání, 12 semilandmarků).

osa x – první hlavní komponenta

osa y – druhá hlavní komponenta

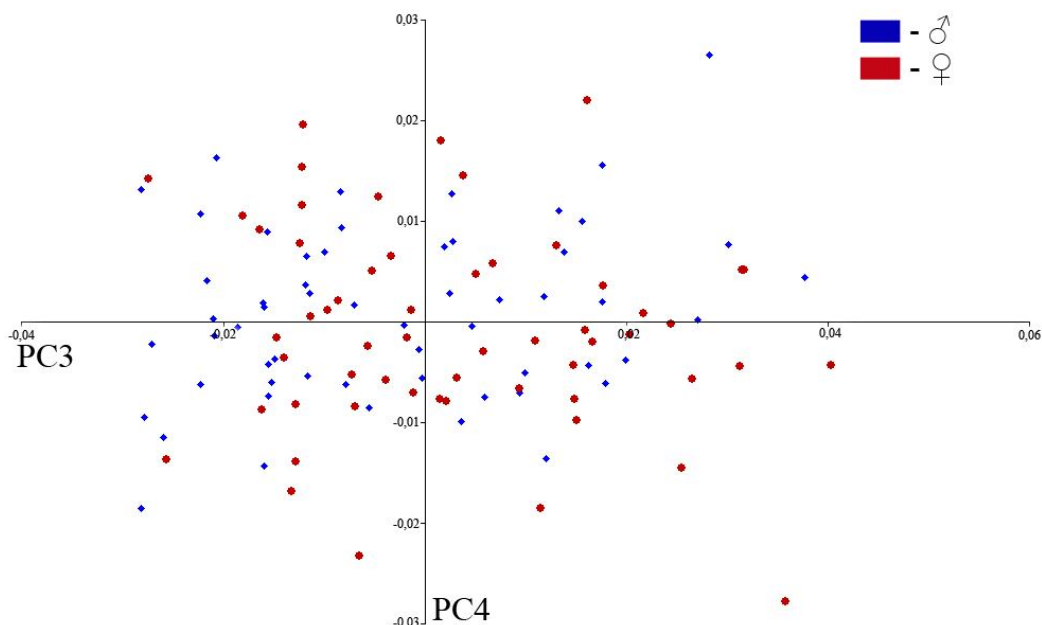
A – *tuberculum piriformis* (*spina iliaca posterior inferior*)

B – baze *spina ischiadica*

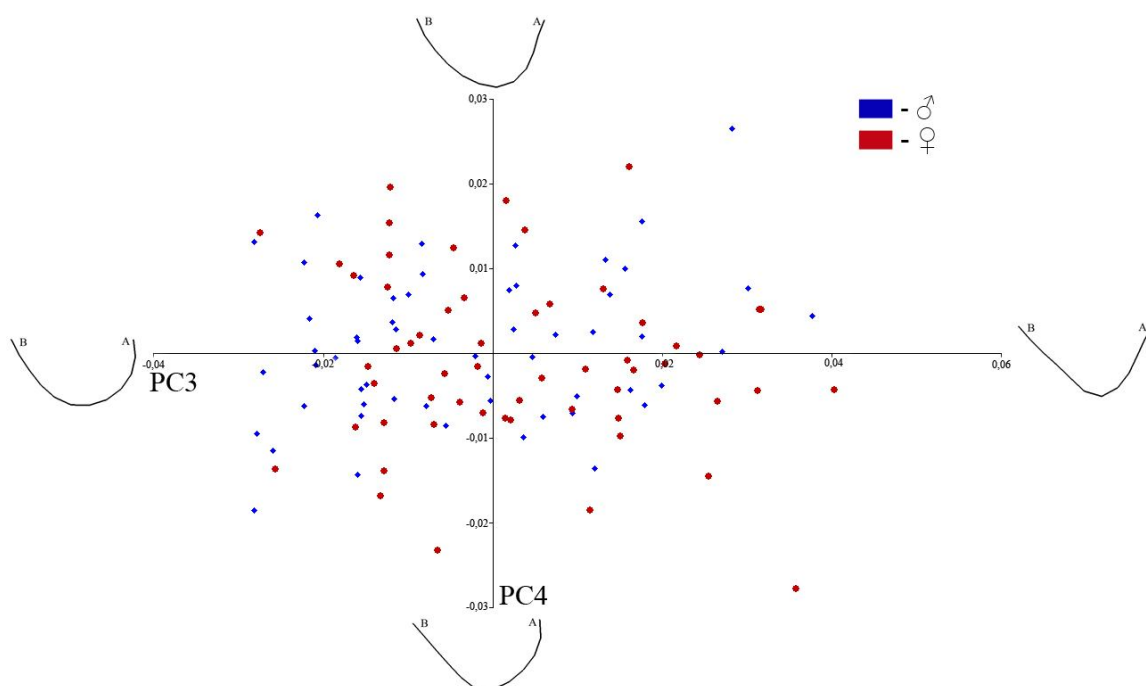
Při hodnocení vlivu třetí a čtvrté komponenty bylo zjevné, že samostatně nepopisuje pohlavní dimorfismus ani jedna z nich, ale obě dvě se podílejí na vyjádření menších tvarových variací, které se pak v kombinaci s prvními dvěma komponentami mohou na vyjádření pohlavního dimorfismu podílet. Soubor se na dvě skupiny nerozdělil, muži i ženy jsou v grafu distribuováni po celé jeho ploše (Graf 21).

Jestliže sledujeme tvarové změny vyjádřené třetí hlavní komponentou (Graf 22), která odpovídá ose x , více do detailu, je zřejmé, že tato hlavní komponenta vyjadřuje hlavně špičatost spodní části křivky. Zatímco v záporných hodnotách ve spodní části pravé rameno přechází v levé plynulým obloučkem a tvar křivky připomíná písmeno „U“, směrem ke kladným hodnotám se přechod mezi rameny stává zřetelnější a spodní část křivky je víc špičatá. Ramena křivky se z mírného zaoblení postupně napřimují a křivka dostává tvar písmene „V“. Umístění nejhlubšího bodu křivky se příliš nemění, křivka se mírně prohlubuje v závislosti na změně špičatosti její dolní části. Prohloubení však není příliš výrazné.

Čtvrtá hlavní komponenta je v grafu (Graf 22) znázorněna osou y . Tvarové změny sice popisuje ze všech čtyř hlavních komponent nejméně, můžeme však pozorovat, že v souvislosti s touto hlavní komponentou se mění asymetrie ramen. V záporných hodnotách osy y vidíme pravé rameno zaoblené, nejhlubší bod křivky se nachází více vpravo. Levé rameno je přímé. Postupným přechodem do kladných hodnot pozorujeme posun nejhlubšího bodu více vlevo a zároveň napřimování a zkracování pravého ramene. Levé rameno se v závislosti na posunu nejhlubšího bodu prodlužuje a zároveň se také zaobluje. Tvar křivky v záporných hodnotách vypadá, v porovnání s tvarem v kladných hodnotách, jako zrcadlově převrácený.



Graf 21. Grafické znázornění variability tvaru incisura ischiadica major mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (automatické snímání, 12 semilandmarků).



Graf 22. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (automatické snímání, 12 semilandmarků).

osa x – první hlavní komponenta

osa y – druhá hlavní komponenta

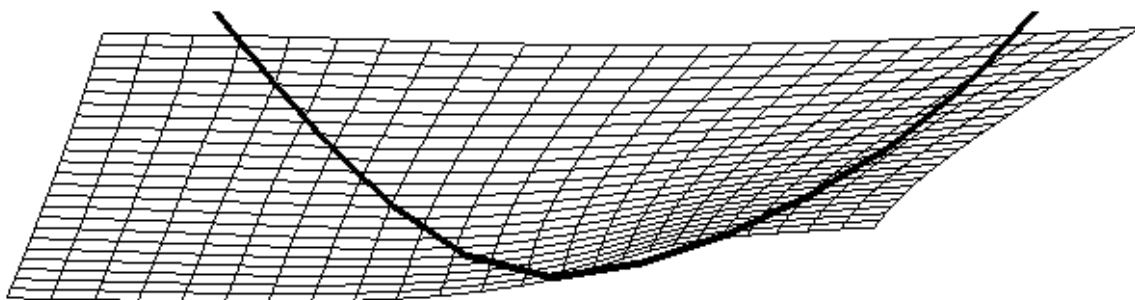
A – tuberculum piriformis (spina iliaca posterior inferior)

B – baze spina ischiadica

Metodou TPS jsme porovnávali tvarové změny v závislosti na první komponentě. Vzhledem k tomu, že při PCA analýze automaticky detekovaných křivek se ženy objevily v záporných hodnotách osy x a muži v kladných (tedy přesně naopak než při PCA analýze manuálně snímaných křivek), rozhodli jsme se pro lepší porovnání obou metod postupovat opět tak, že jsme extrémní hodnoty odpovídající mužskému tvaru křivky zvolili jako referenční tvar. Cílový tvar byla opět hodnota extrémního tvaru křivky ženského pohlaví. V tomto případě se však referenční tvar nacházel v kladných hodnotách osy x, zatímco cílový tvar byl v záporných hodnotách osy x.

Deformace se projevila velmi výrazně ve spodní části křivky a také v horizontálním protažení převážně na pravé straně mřížky (Obr. 19). Asymetrické protažení ukazuje na změnu v otevřenosti křivky výraznějším posunutím ramene začínajícího u *tuberculum piriformis*. Úhel, který obě ramena svírají, se zvětšuje a křivka se tak otevírá. Dále je patrné vertikální oploštění mřížky, což značí změnu v hloubce

křivky. Spodní část křivky v oblasti nejhlubšího bodu ukazuje na jeho posun a také na prohloubení křivky.

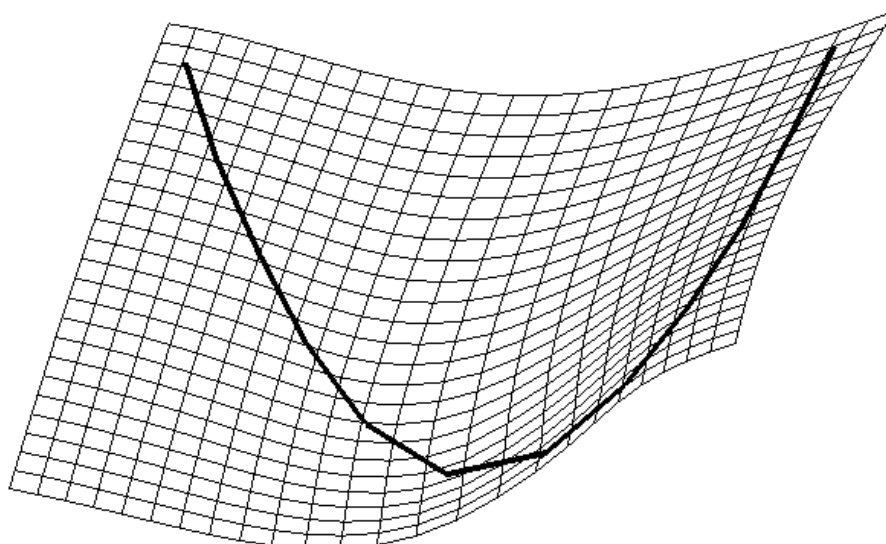


Obr. 19. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose x odpovídající první hlavní komponentě; extrémní kladná hodnota $PC1$ (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní záporné hodnoty $PC1$ (cílový tvar, černá křivka); (automatické snímání, 12 semilandmarků).

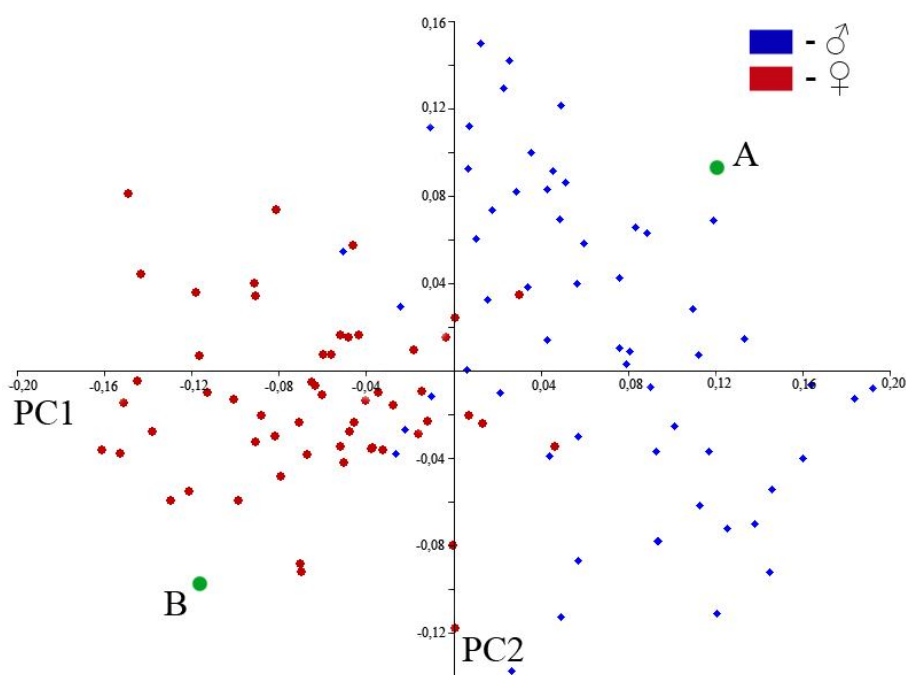
V případě analýzy tvaru v závislosti na druhé hlavní komponentě jsme postupovali opět jako v případě první hlavní komponenty. I zde jsme použili pro lepší srovnání jako referenční tvar křivku v kladných hodnotách osy y . Cílovým tvarem byl pak extrémní křivka v záporných hodnotách této osy.

Tvarové změny reprezentuje deformace mřížky (Obr. 20) převážně na pravé straně a v dolní části mřížky. Vertikálně se křivka příliš nemění, což značí, že se nemění ani hloubka. Deformace na pravé straně mřížky značí výraznou změnu v délce a tvaru ramene od landmarku A. Z deformace v dolní části mřížky můžeme usuzovat, že se také mění umístění nejhlubšího bodu a zároveň i velikost úhlu, který obě ramena svírají.

Abychom získali přehled o tvarových změnách podléhajících oběma hlavními komponentám, zvolili jsme jako referenční tvar křivku z mužské skupiny, nacházející se v kladných hodnotách osy x a y . Cílovým tvarem byla křivka ženského pohlaví, nacházející se v záporných hodnotách obou těchto os (Graf 23).



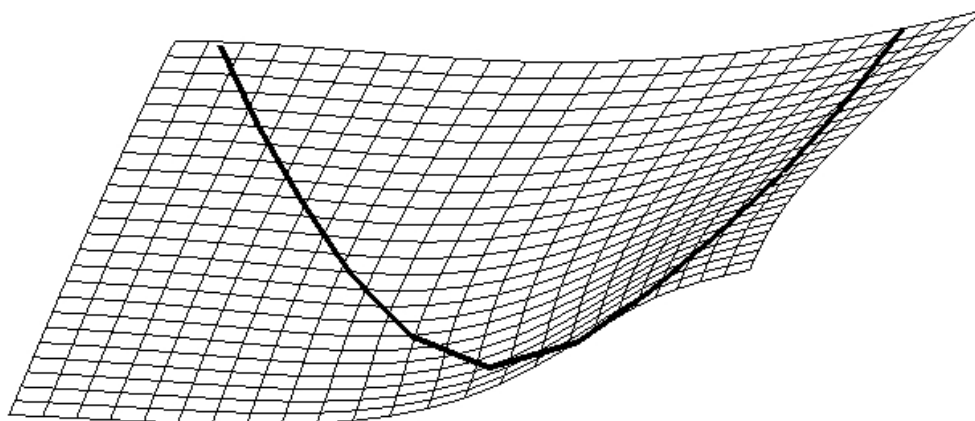
Obr. 20. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose y odpovídající druhé hlavní komponentě; extrémní kladná hodnota PC2 (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní záporné hodnoty PC2 (cílový tvar, černá křivka); (automatické snímání, 12 semilandmarků).



Graf 23. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (automatické snímání, 12 semilandmarků).

bod A – referenční bod (mužská křivka)

bod B – cílový bod (ženská křivka)



Obr. 21. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty; tvar v kladných hodnotách PC1 a PC2 (referenční tvar) je deformován společně s mřížkou do tvaru v záporných hodnotách PC1 a PC2 (cílový tvar, černá křivka); (automatické snímání, 12 semilandmarků).

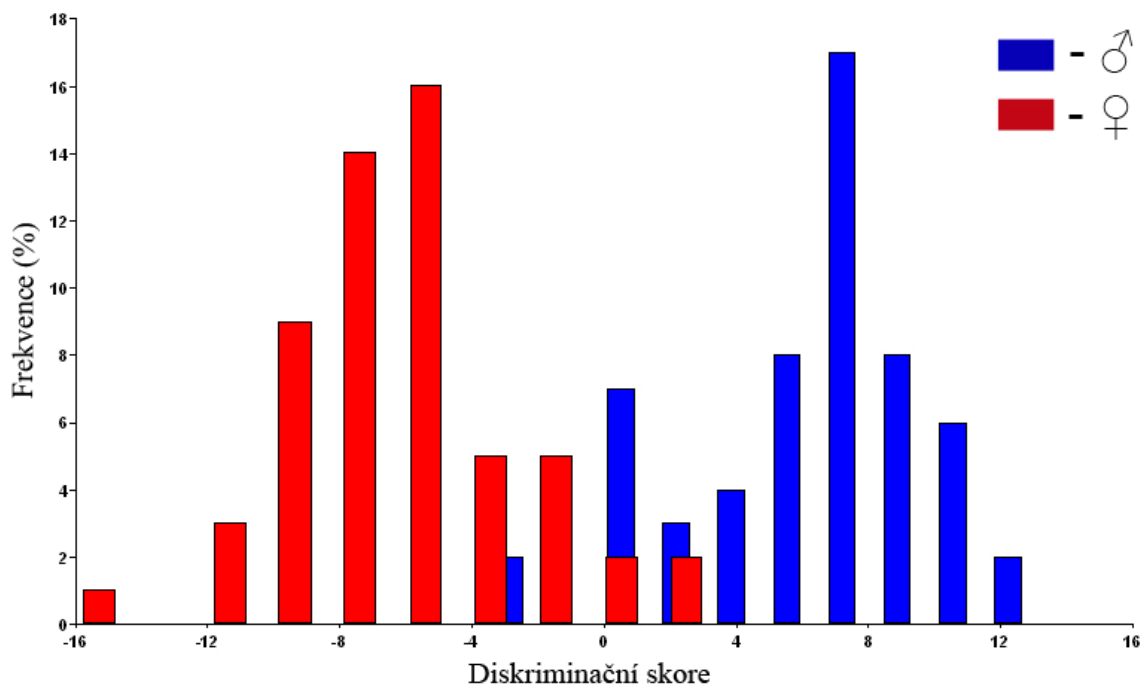
Tvarové změny ovlivněné oběma hlavními komponentami (Obr. 21) se projeví v deformaci převážně na pravé straně mřížky. Vidíme zde horizontální protažení mřížky, mírné vertikální snížení a v místě nejhlubšího bodu je deformace opravdu výrazná. Z toho můžeme usuzovat na změnu tvaru v asymetrii a délce ramen, v otevřenosti křivky a v posunu nejhlubšího bodu křivky a také v celkové hloubce křivky.

Hotellingův dvouvýběrový test potvrdil signifikantní tvarové rozdíly na nejvyšší hladině významnosti (T^2 : $p(\text{same}) = 6,083E-19$). Diskriminační analýza rozdělila tvary křivek do dvou skupin podle pohlaví a potvrdila rozdílnost těchto skupin s 95,61% úspěšností. Z celkového počtu 114 pánevních kostí se nám touto metodou nepodařilo úspěšně klasifikovat 5 pánevních kostí – 3 ženské a 2 mužské (Tab. 12).

Graf diskriminační analýzy (Graf 24) ukazuje rozdělení souboru do dvou skupin, které se částečně kryjí v oblasti kolem nuly. Grafické zobrazení koresponduje s údaji uvedenými v tabulce.

Tab. 12. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (automatické snímání, 12 semilandmarků)

Semilandmarky	Úspěšnost klasifikace (%)	Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	Počet nesprávně klasifikovaných žen	Počet nesprávně klasifikovaných mužů
12	95,61	5	3	2



Graf 18. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (automatické snímání, 12 semilandmarků).

8.2.2 Zpracování křivky s využitím 16ti semilandmarků

Po procrustovské transformaci jsme povedli analýzu hlavních komponent. PCA analýza nám rozdělila soubor na dvě skupiny, zvláště ženy a zvláště muže. Ve středové části grafu se i v tomto případě jistý počet křivek promísilo a skupiny tedy nebyly naprosto oddělené (Graf 25).

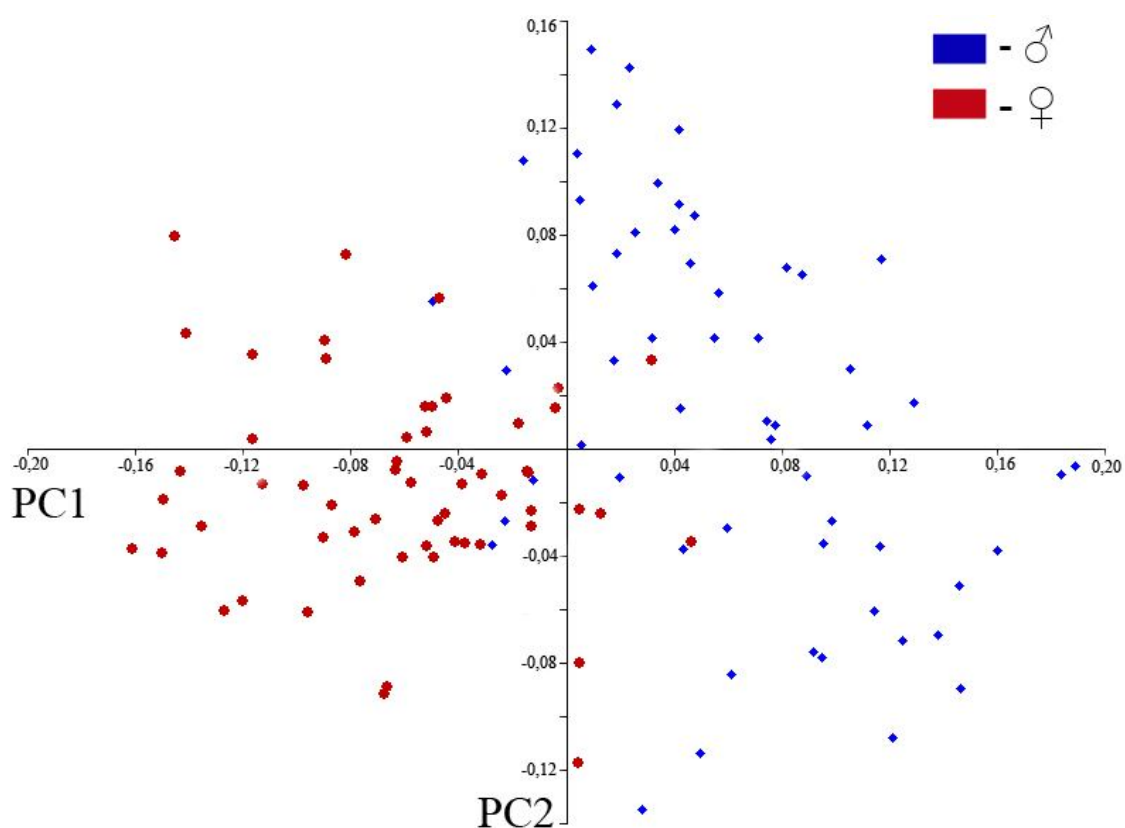
Na oddělení obou skupin podle pohlaví se podílí první hlavní komponenta, která je vyjádřena osou x . Popisuje variabilitu z 62,64%. Druhá hlavní komponenta na zobrazení v závislosti na pohlavním dimorfismu nemá vliv, popisuje však variabilitu z 31,94% a je vyjádřena osou y . Dohromady tyto dvě hlavní komponenty vyjadřují variabilitu z 94,58%. Opět jsme zahrnuli také třetí a čtvrtou hlavní komponentu a všechny čtyři hlavní komponenty vysvětlují tvar křivky z 98,27% (Tab. 13).

Z grafu (Graf 25) je patrné, že distribuce ženských křivek je poněkud odlišná od distribuce mužských křivek. Zatímco tvary křivek mužského pohlaví se v grafu nacházejí jak v extrémně kladných, tak v extrémně záporných hodnotách osy y a pokrývají tak celou plochu své části grafu, tvary křivek ženského pohlaví jsou ve větším shluku a nezasahují

příliš ani do extrémně kladných, ani do extrémně záporných hodnot osy y. Je tedy zjevné, že variabilita tvaru je u mužů podstatně větší, než u žen.

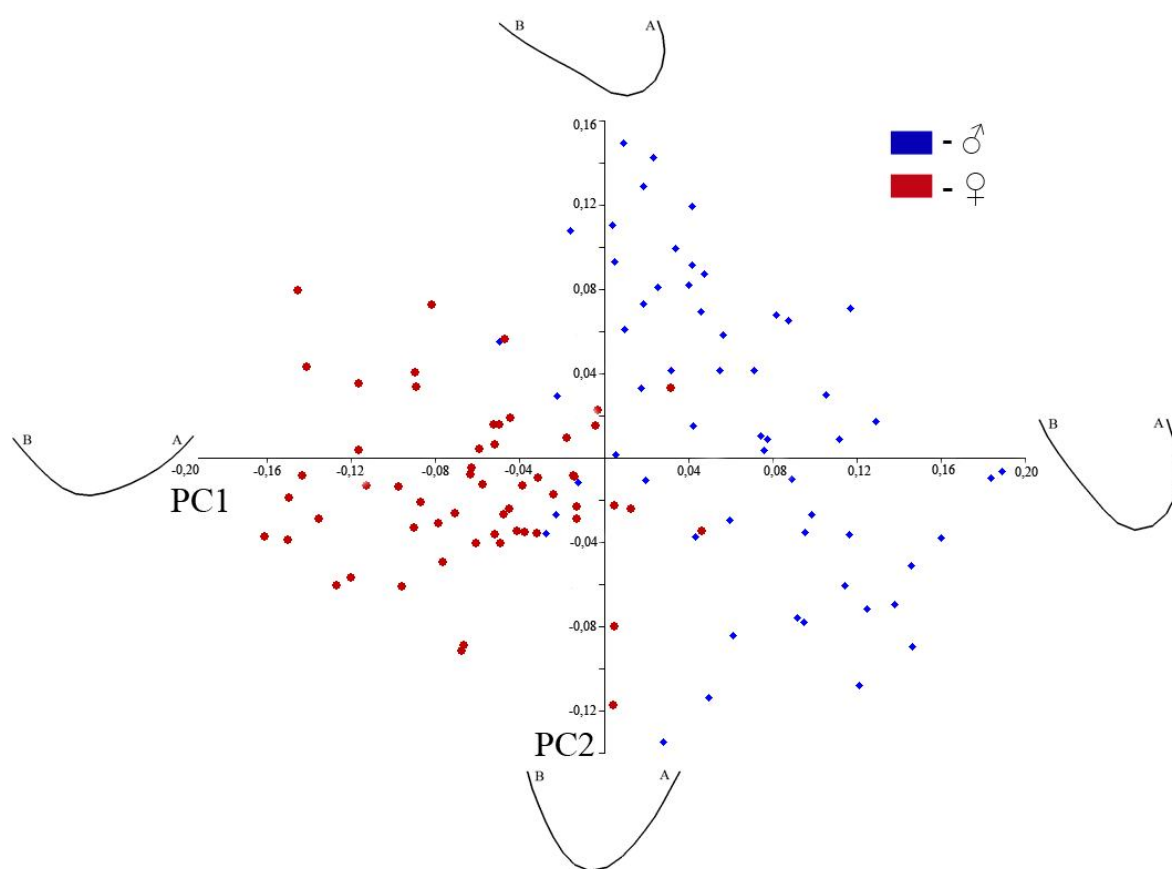
Tab. 13. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (automatické snímání, 16 semilandmarků)

PC	variabilita
	%
1	62,64
2	31,94
3	2,63
4	1,06
5	0,54
6	0,31
7	0,24
8	0,15
9	0,09
10	0,09



Graf 25. Grafické znázornění variability tvaru incisura ischiadica major mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (automatické snímání, 16 semilandmarků).

Díky grafickému zobrazení tvarových změn jsme se mohli zaměřit na variabilitu tvaru v závislosti na jednotlivých komponentách (Graf 26). V případě první hlavní komponenty vidíme v záporných hodnotách osy x křivku velmi mělkou, doširoka rozevřenou. Nejhlubší bod křivky se nachází více směrem k bazi *spina ischiadica*, což má za následek mírnou asymetrii ramen. Rameno od landmarku B je díky tomu kratší. Směrem ke kladným hodnotám dochází u tohoto ramene k výraznému prodloužení, s čímž souvisí i prohloubení křivky a posun nejhlubšího bodu směrem k *tuberculum piriformis*. Úhel, který obě ramena svírají, se zmenšuje a rameno od landmarku A se přibližuje k opačnému rameni. Křivka se tímto způsobem uzavírá.



Graf 26. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (automatické snímání, 16 semilandmarků).

osa x – první hlavní komponenta

osa y – druhá hlavní komponenta

A – *tuberculum piriformis* (*spina iliaca posterior inferior*)

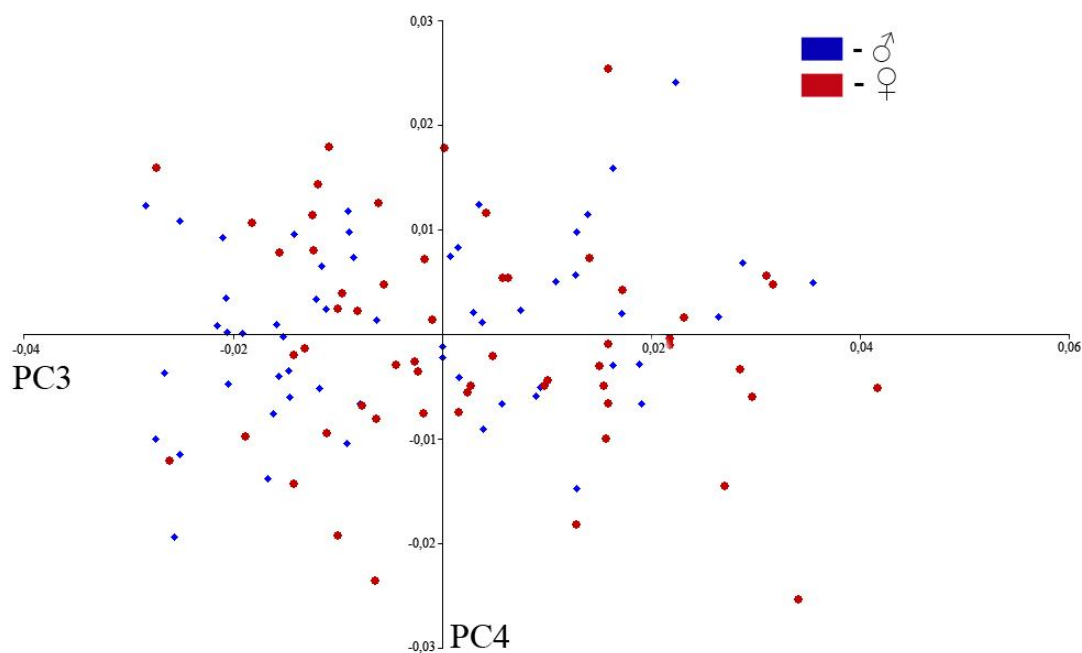
B – baze *spina ischiadica*

Sledujeme-li změny tvaru v závislosti na druhé komponentě (Graf 26), vidíme, že v záporných hodnotách osy *y* je křivka otevřená, rameno od landmarku A je delší než opačné rameno a nejhlubší bod křivky se nachází blíže bazi *spina ischiadica*. Když pomineme asymetrii délky ramen, můžeme říct, že obě ramena křivky jsou stejně zaoblená a tvarově se výrazně neliší. Nejvýraznější změnou směrem ke kladným hodnotám je posun nejhlubšího bodu křivky. Ten se směrem od baze *spina ischiadica* posouvá výrazně směrem k *tuberculum piriformis*, zkracuje tak rameno od landmarku A a zmenšuje hloubku křivky. Ramena jsou nejen různě dlouhá, ale také tvarově velice rozdílná. Zatímco rameno od landmarku A je krátké a stáčí se směrem dovnitř křivky, rameno od landmarku B se spolu s prodloužením napřímilo a na své straně otevírá křivku doširoka.

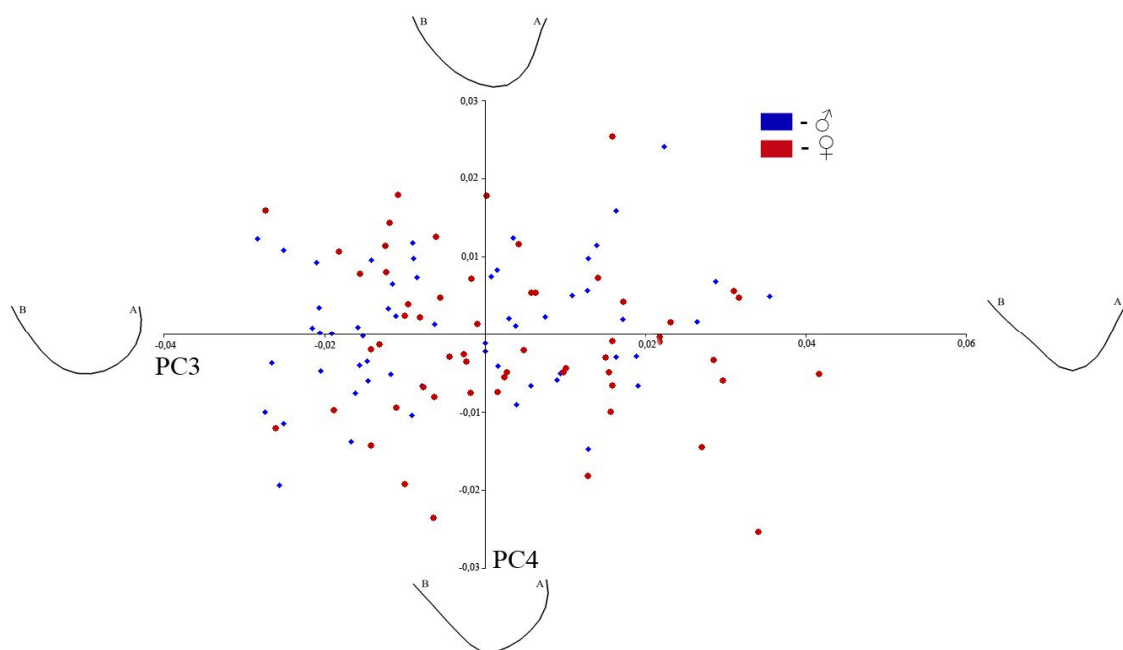
Třetí ani čtvrtá hlavní komponenta nepopisují pohlavní dimorfismus. Jak je vidět na grafu (Graf 27), muži a ženy se nerozdělili na dvě skupiny. Obě komponenty však vyjadřují drobnější tvarové detaily, které mají v kombinaci s tvarovými změnami vyjádřenými první hlavní komponentou vliv na celkové zařazení jedince podle pohlaví.

Tvar křivky v záporných hodnotách osy *x* (Graf 28), která představuje třetí hlavní komponentu, se dá opět charakterizovat jako tvar písmene „U“. Křivka je otevřená, obě ramena jsou oblá a přechod mezi nimi není příliš zřetelný, protože spodní část křivky je také zaoblená. Směrem ke kladným hodnotám této osy se spojení obou ramen stává výraznější, křivka se mírně prohlubuje a ramena se napřímují. V kladných hodnotách tvar křivky připomíná spíš tvar písmene „V“ – ramena jsou téměř rovná, široce otevřená a spodní část křivky je výrazně špičatá.

Čtvrtá hlavní komponenta popisuje hlavně asymetrii ramen křivky (Graf 28). Při přechodu ze záporných do kladných hodnot se tvar křivky zrcadlově obrací. Zatímco tedy v záporných hodnotách se nejhlubší bod křivky nachází blíž bazi *spina ischiadica*, rameno od landmarku B je rovné a rameno od landmarku A je zaoblené směrem dovnitř, postupně směrem ke kladným hodnotám se nejhlubší bod křivky posouvá směrem k *tuberculum piriformis*, rameno na této straně se trochu zkracuje a napřímuje. Rameno od landmarku B oproti tomu nabývá délky a zároveň se zaobljuje směrem dovnitř křivky. Hloubka křivky se však po celou dobu nemění.



Graf 27. Grafické znázornění variability tvaru incisura ischiadica major mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (automatické snímání, 16 semilandmarků).



Graf 22. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (automatické snímání, 16 semilandmarků).

osa x – první hlavní komponenta

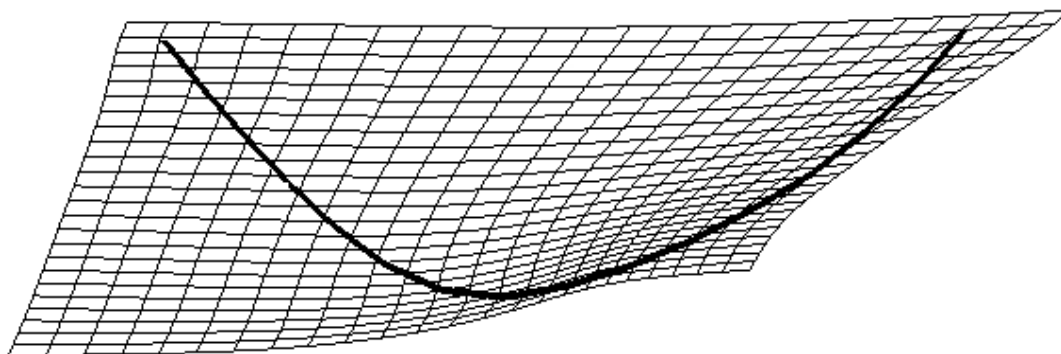
osa y – druhá hlavní komponenta

A – tuberculum piriformis (spina iliaca posterior inferior)

B – baze spina ischiadica

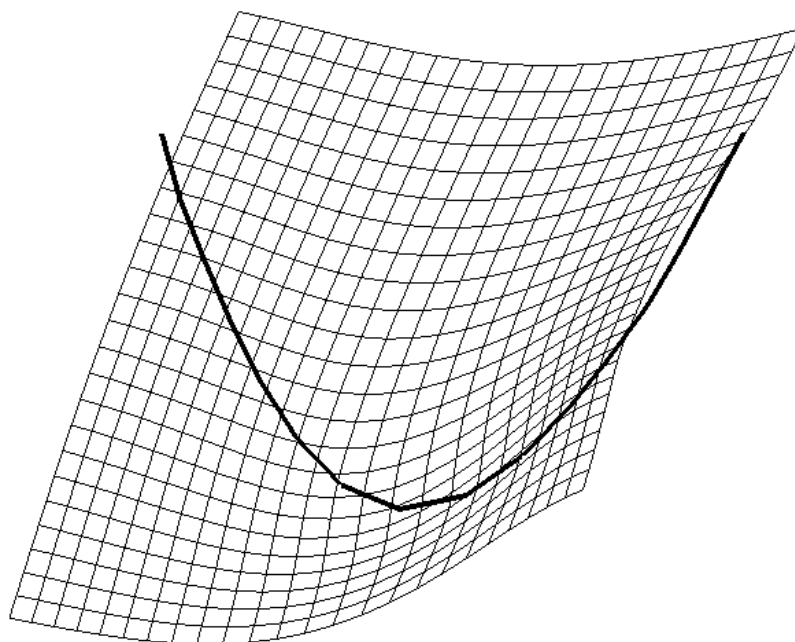
Metodou TPS jsme analyzovali tvarové změny jen pro první a druhou komponentu. V obou případech jsme postupovali stejně, jako při analýze 12ti semilandmarků. Jako referenční tvar jsme použili extrémní křivku kladných hodnot. Tím byla v případě první hlavní komponenty křivka charakterizující mužský tvar křivky. Cílový tvar jsme zvolili v extrémních záporných hodnotách (v případě první hlavní komponenty se jednalo o tvar křivky charakterizující ženské pohlaví).

Deformace, která vznikla porovnáním tvarů závislých na první hlavní komponentě, vypovídá o rozdílech ve tvaru křivky *incisura ischiadica major* mužů a žen (Obr. 22). Tato změna tvaru se projevila horizontálním protažením mřížky převážně na pravé straně, což značí změnu v otevřenosti křivky posunutím pravého ramene a zvětšením úhlu, který obě ramena svírají. Dále je zde patrná deformace v oblasti nejhlubšího bodu křivky. Tu můžeme vyložit jako změnu umístění nejhlubšího bodu a také změnu velikosti úhlu, který obě ramena svírají, což souvisí také s otevřeností křivky, jak bylo zmíněno výše. Nesmíme opomenout vertikální snížení mřížky, značící změnu v celkové hloubce křivky.



Obr. 22. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose x odpovídající první hlavní komponentě; extrémní kladná hodnota $PC1$ (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní záporné hodnoty $PC1$ (cílový tvar, černá křivka); (automatické snímání, 16 semilandmarků).

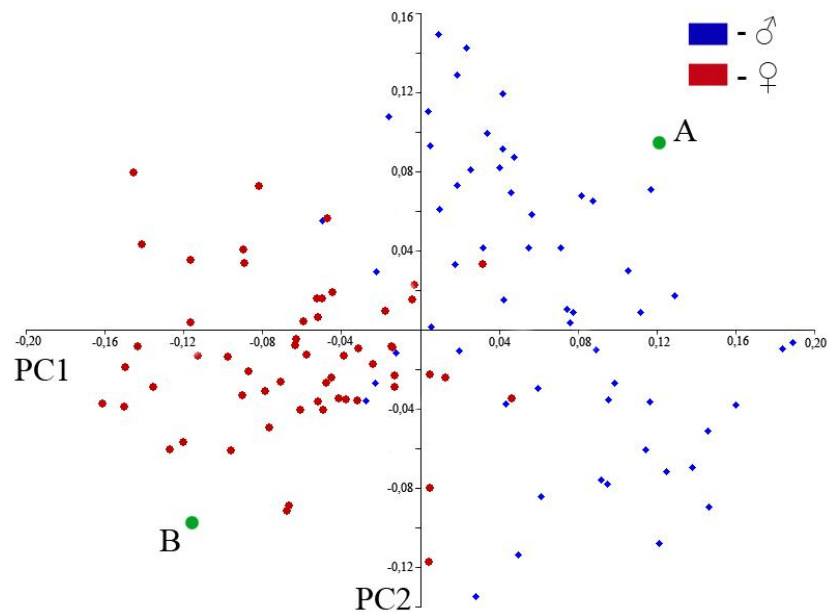
Deformace mřížky podle tvarů v závislosti na druhé hlavní komponentě (Obr. 23) se projevuje hlavně protažením pravé části mřížky a to jak horizontálně, tak i vertikálně. To znamená, že rameno od landmarku A mění výrazně svou délku, tvar i směr. Oblast kolem nejhlubšího bodu je také deformována a z toho můžeme usuzovat na změnu umístění tohoto bodu a také změnu úhlu, který svírají obě ramena. Všechny tyto deformace poukazují na změnu v hloubce a otevřenosti křivky a také na asymetrii ramen.



Obr. 23. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose y odpovídající druhé hlavní komponentě; extrémní kladná hodnota PC2 (referenční tvar) je deformována společně s mřížkou do extrémní záporné hodnoty PC2 (cílový tvar, černá křivka); (automatické snímání, 16 semilandmarků).

Abychom i v tomto případě mohli porovnat tvarové změny vyjádřené deformací mřížky, na kterou mají vliv obě hlavní komponenty (Graf 29), vybrali jsme referenční tvar (bod A) v kladných hodnotách osy x a y . Cílový tvar (bod B) se nachází v záporných hodnotách obou os.

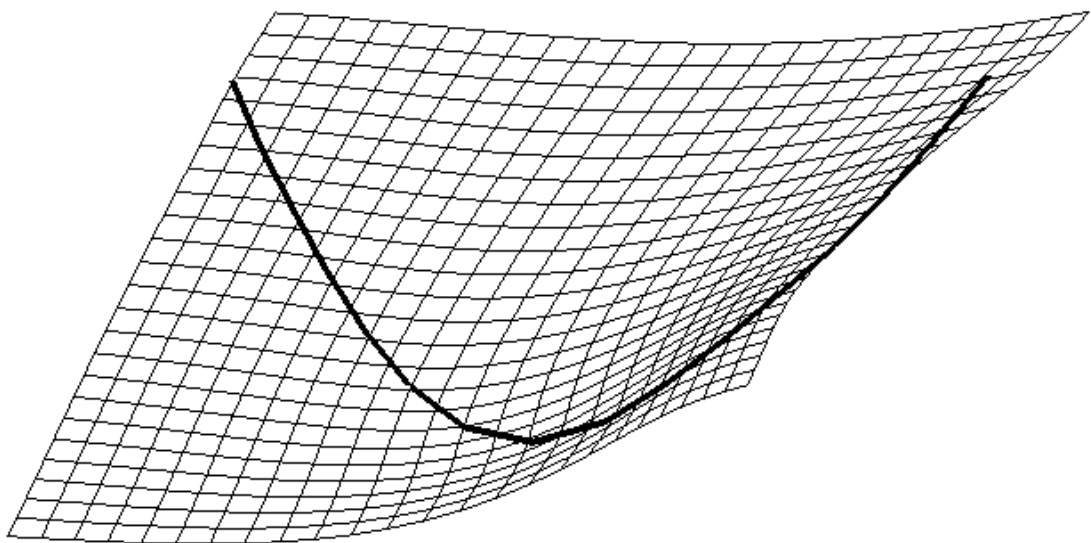
Deformace se opět projevila výrazněji na pravé straně mřížky (Obr. 24). Mřížka je na této straně horizontálně i vertikálně protažená, protože zde dochází ke změně ve velikosti a asymetrii ramen a také v otevřenosti křivky díky posunu a ramene od landmarku A. Vzhledem k deformaci v dolní části mřížky, můžeme předpokládat změnu v posunu nejhlubšího bodu jak horizontálním, tak vertikálním směrem a také změnu ve velikosti úhlu, který ramena svírají. Celkově tedy můžeme shrnout tvarovou změnu mezi muži a ženami jako rozdíly v otevřenosti a hloubce křivky, délce a asymetrii ramen, změnu velikosti úhlu, který obě ramena svírají a umístění nejhlubšího bodu křivky.



Graf 29. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (automatické snímání, 16 semilandmarků).

bod A – referenční bod (mužská křivka)

bod B – cílový bod (ženská křivka)



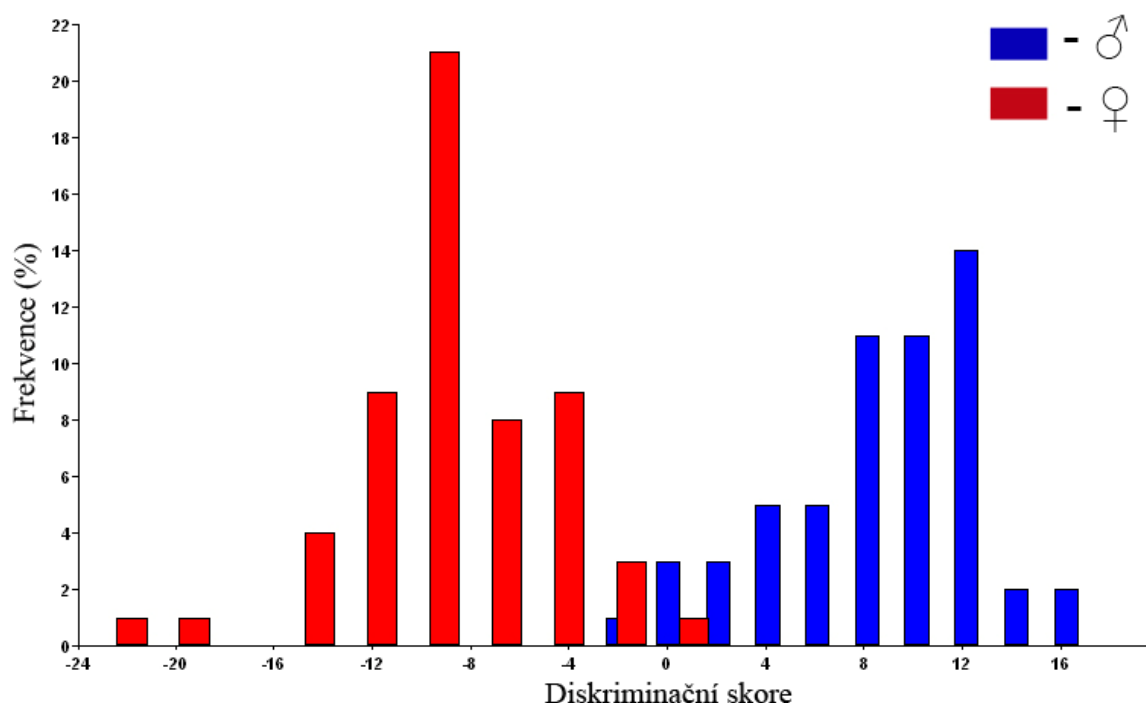
Obr. 24. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty; tvar v kladných hodnotách PC1 a PC2 (referenční tvar) je deformován společně s mřížkou do tvaru v záporných hodnotách PC1 a PC2 (cílový tvar, černá křivka); (automatické snímání, 16 semilandmarků).

Tab. 14. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (automatické snímání, 16 semilandmarků)

Semilandmarky	Úspěšnost klasifikace (%)	Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	Počet nesprávně klasifikovaných žen	Počet nesprávně klasifikovaných mužů
16	98,25	2	1	1

Diskriminační analýza nám rozdělila soubor na dvě skupiny podle pohlaví. Rozdíl mezi oběma skupinami byl na základě Hotellingova testu velmi signifikantní a to na nejvyšší hladině významnosti (T^2 : $p(\text{same}) = 2,636\text{E-}19$). Úspěšnost klasifikace byla v tomto případě 98,25%. Z celkového počtu 114 pánevních kostí se touto metodou nepodařilo správně klasifikovat jen 2 pánevní kosti – jednu mužskou a jednu ženskou (Tab. 14).

Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (Graf 30) zobrazuje soubor rozdělený na dvě skupiny podle pohlaví. Skupiny jsou od sebe téměř oddělené, jen v oblasti kolem nuly dochází k menšímu prolínání. Jedná se o pánevní kosti, které tímto testem nebyly správně zařazeny do své skupiny.



Graf 30. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (automatické snímání, 16 semilandmarků).

8.3 Souhrnné výsledky

Dílčím cílem této práce bylo zhodnocení efektivnosti obou použitých metod z hlediska úspěšnosti klasifikace pohlaví daného souboru. V tabulce (Tab. 15) jsou shrnuté údaje, které jsme získaly diskriminační analýzou dat z manuálního snímání křivky. Jak můžeme vidět, procento úspěšnosti klasifikace pohlaví je ve všech případech větší než 90%. Jak je však patrné, rozdíl v úspěšnosti klasifikace při využití 12ti a 16ti semilandmarků je 1,75%. Zatímco při použití 12ti semilandmarků bylo nesprávně klasifikováno celých 9 pánevních kostí, použitím 16ti semilandmarků se nám podařilo toto číslo snížit na 7. Při využití 37mi semilandmarků jsme dosáhli dalšího snížení a to na 4 nesprávně klasifikované pánevní kosti. Procentuelní rozdíl mezi úspěšností s 16ti a 37mi semilandmarky je 2,63%. Ve všech případech neúspěšné klasifikace se jednalo vždy o stejné pánevní kosti, jejichž počet se se zvyšováním počtu semilandmarků snižoval.

Výsledky diskriminační analýzy pro automatické snímání křivky s využitím všech počtů semilandmarků je také shrnuto v tabulce (Tab. 16). Zde vidíme, že už při využití 12ti semilandmarků jsme dosáhli úspěšnosti víc než 95%. Nepodařilo se nám správně klasifikovat 5 pánevních kostí. Při použití 16ti semilandmarků jsme toto číslo snížili na 2 pánevní kosti. Rozdíl v úspěšnosti klasifikace s využitím 12ti a 16ti semilandmarků je 2,64%. I v tomto případě se jednalo o nesprávnou klasifikaci stejných pánevních kostí a to nejen v rámci 12ti a 16ti semilandmarků, ale také v porovnání výsledky manuálního snímání křivky.

Tab. 15. Shrnutí úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy při využití různého počtu semilandmarků u manuálního snímání křivky

Semilandmarky	Úspěšnost klasifikace(%)	Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	Počet nesprávně klasifikovaných žen	Počet nesprávně klasifikovaných mužů
12	92,11	9	3	6
16	93,86	7	2	5
37	96,49	4	2	2

Tab. 16. Shrnutí úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy při využití různého počtu semilandmarků u automatického snímání křivky

Semilandmarky	Úspěšnost klasifikace(%)	Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	Počet nesprávně klasifikovaných žen	Počet nesprávně klasifikovaných mužů
12	95,61	5	3	2
16	98,25	2	1	1

Shrnutí výsledků obou metod (Tab. 17) ukazuje, že automatickým snímáním křivky dosahujeme vyššího procenta úspěšnosti klasifikace, než při manuálním snímání. Vezmeme-li v úvahu procentuelní úspěšnost v kombinaci s množstvím dat, při automatickém snímání bychom mohli zhodnotit 12 semilandmarků jako dostatečný počet pro úspěšnou klasifikaci. Oproti tomu při manuálním snímání křivky nám jako optimální počet vychází 16 semilandmarků.

Tab. 17. Shrnutí úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy při využití různého počtu semilandmarků u manuálního a automatického snímání křivky

Metoda	Počet semi-landmarků	Úspěšnost klasifikace (%)	Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	Počet nesprávně klasifikovaných žen	Počet nesprávně klasifikovaných mužů
MicroScribe®G2 (manuální snímání)	12	92,11	9	3	6
	16	93,86	7	2	5
	37	96,49	4	2	2
Morphome3cs (automatické snímání)	12	95,61	5	3	2
	16	98,25	2	1	1

8.3.1 Výsledky analýzy srovnávacího souboru (UNAM)

Pro ověření funkčnosti a stability použité metody detekce křivky byla analýza PCA a diskriminační analýza aplikována také na kontrolní soubor (UNAM), obsahující pánevní kosti jedinců mexické populace.

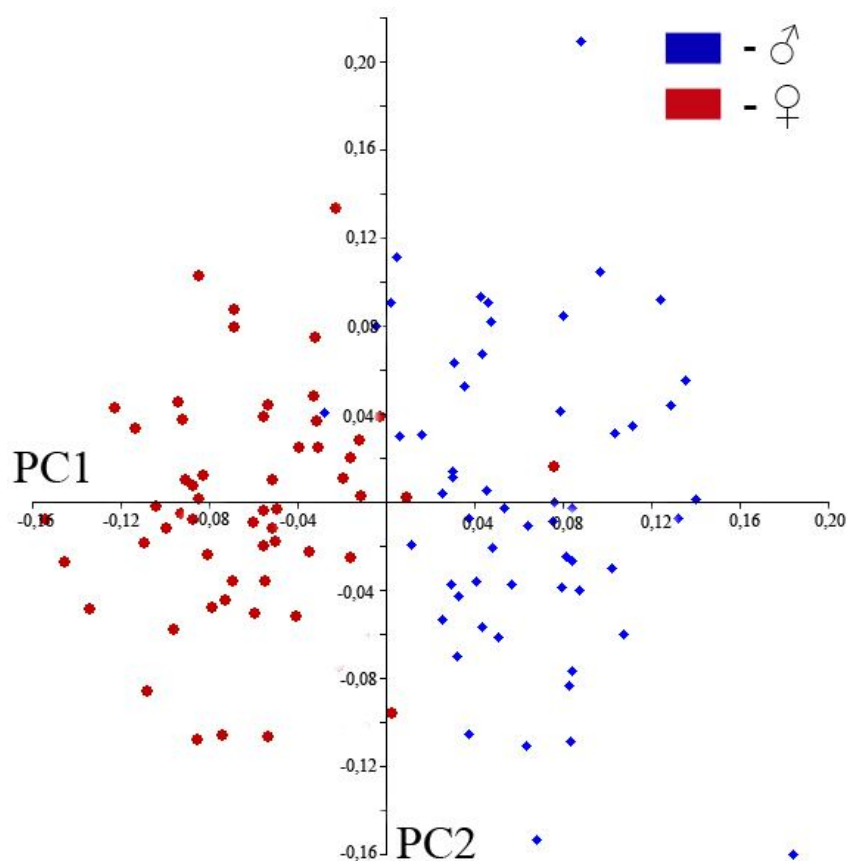
Pro ověření byla použita data s využitím 16ti semilandmarků na křivce, která byla detekována automaticky. Rozhodli jsme se tak proto, že tento počet ze všech možných variant dosahoval největší procentuelní úspěšnosti klasifikace pohlaví.

Nejprve byla tato data analyzována stejným způsobem, jako předchozí soubor (Maxwell). Byla provedena procrustovská transformace pro odstranění velikostních rozdílů, rotace a posunutí. Následovala analýza PCA, abychom zjistili, jestli se soubor také rozdělí do dvou skupin v závislosti na první hlavní komponentě. Metoda TPS byla vynechána. Dále byla využita diskriminační analýza pro zjištění procenta úspěšnosti klasifikace pohlaví.

PCA analýza i v tomto případě dokázala, že pohlavní dimorfismus je vyjádřen první hlavní komponentou. Graf PCA (Graf 31) znázorňuje rozdělení souboru do dvou skupin. V záporných hodnotách se nacházejí téměř výhradně křivky ženského pohlaví a v kladných hodnotách křivky mužského pohlaví. První hlavní komponenta popisuje variabilitu souboru z 56,80%. Druhá hlavní komponenta popisuje variabilitu z 37,42%. Dohromady tedy tyto dvě komponenty tvoří 94,22% vyjádření celkové variability souboru. Když zahrneme třetí a čtvrtou hlavní komponentu, všechny čtyři dohromady popisují 97,97% variability (Tab. 18).

Tab. 18. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami u srovnávacího souboru (automatické snímání, 16 semilandmarků)

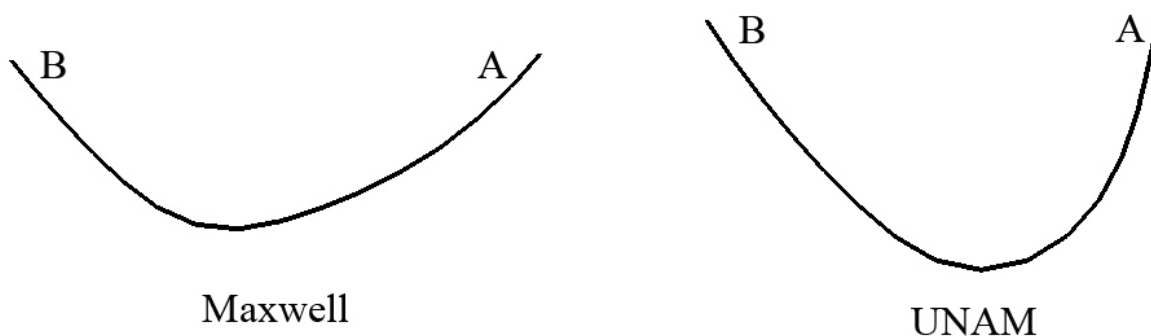
PC	variabilita
	%
1	56,80
2	37,42
3	2,56
4	1,19
5	0,77
6	0,39
7	0,21
8	0,18
9	0,10
10	0,07



Graf 31. Grafické znázornění variability tvaru *incisura ischiadica major* mužských a ženských pánevních kostí srovnávacího souboru, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (automatické snímání, 16 semilandmarků).

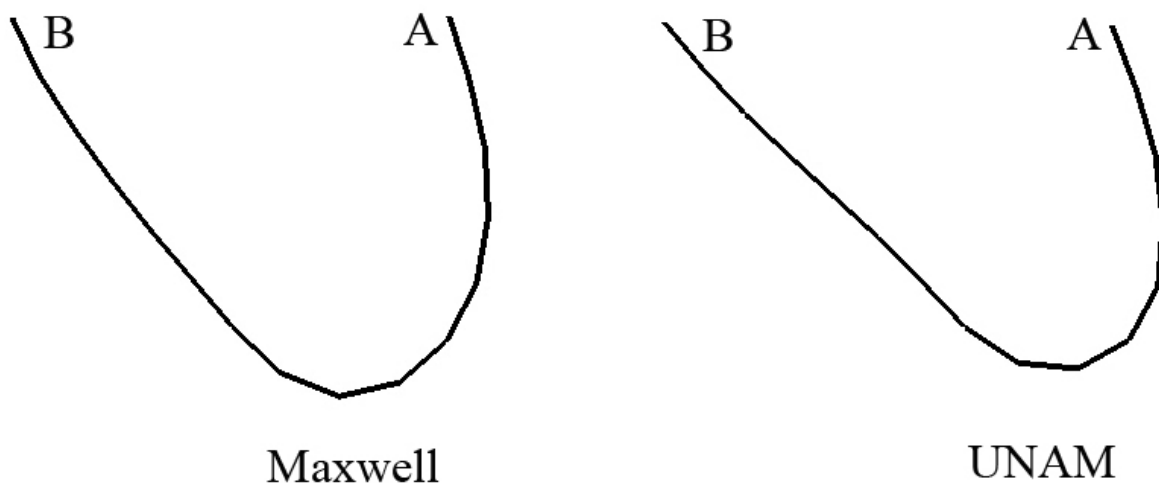
Z grafu je patrné, že distribuce ženských a mužských křivek v rámci grafu je u obou skupin poměrně široká, což značí vysokou variabilitu v rámci obou skupin. Tvary křivek byly taktéž vizualizovány. Křivky extrémních kladných a záporných hodnot na ose x a y grafu PCA souboru z Maxwellovy sbírky byly porovnány s křivkami extrémních kladných a záporných hodnot os x a y grafu PCA souboru z UNAM. Byly vybrány tvary křivek velkého sedacího zářezu pánevních kostí z Maxwellovy sbírky získané automatickou detekcí s využitím 16ti semilandmarků, aby byla zachována stejná metoda a stejný počet semilandmarků.

Křivky v záporných hodnotách osy x , které charakterizují tvar ženské *incisura ischiadica major* vykazují značné rozdíly (Obr. 25) v hloubce celé křivky a také v její otevřenosti. Zatímco křivka z Maxwellovy sbírky je široce rozevřená, nízká a nejhlubší bod je blíže landmarku B, křivka ze souboru z UNAM je oproti tomu více sevřená, hlubší a nejhlubší bod křivky se nachází více u landmarku A.



Obr. 25. Porovnání tvarů křivek záporných hodnot první hlavní komponenty obou souborů.

Křivky v kladných hodnotách osy x charakterizující tvar mužské *incisura ischiadica major* jsme také porovnali (Obr. 26). V tomto případě není rozdíl mezi oběma soubory tak výrazný jako u křivek v záporných hodnotách této osy. Výrazný rozdíl je v umístění nejhlubšího bodu křivky a také v asymetrii ramen. U obou křivek je nejhlubší bod křivky umístěn blíže k landmarku A, u souboru s UNAM je však ještě větší posunutí, což zkracuje rameno vedoucí od landmarku A. Tvar ramene od landmarku B je také rozdílný – u souboru z Maxwellovy sbírky je rameno mírně zaoblené směrem dovnitř, zatímco u druhé křivky je rameno napříměné, v jedné části mírně konvexní.

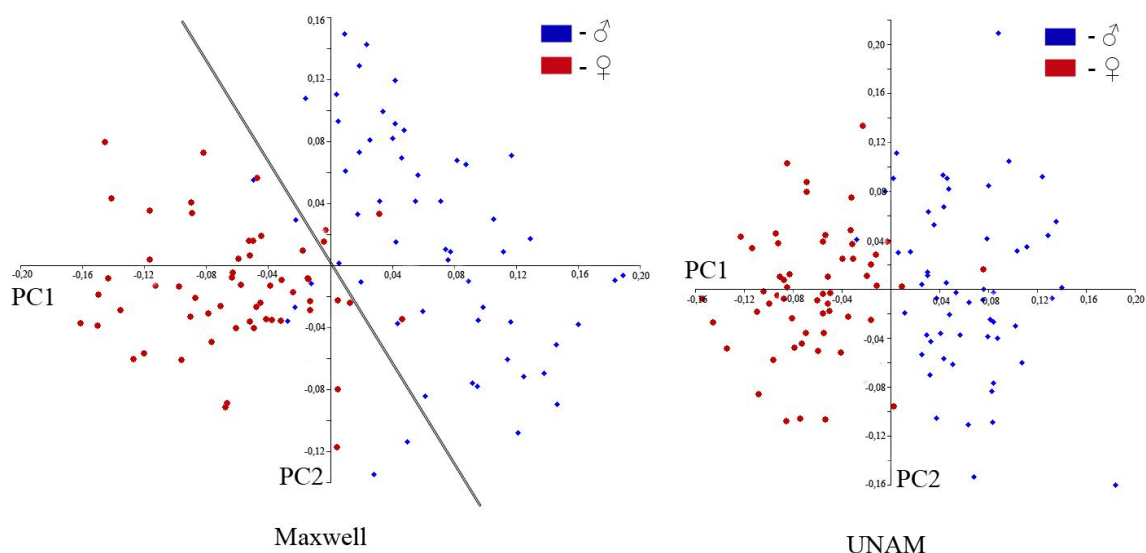


Obr. 26. Porovnání tvarů křivek kladných hodnot první hlavní komponenty obou souborů.

První hlavní komponenta vyjadřuje pohlavní dimorfismus a je tedy zjevné, že i u tohoto souboru si tvary křivek ženských a mužských velkých sedacích zářezů odpovídají. Tvary křivek nacházející se v extrémních kladných hodnotách osy x , která vyjadřuje první hlavní komponentu, odpovídají mužskému tvaru křivky *incisura ischiadica major*. Oba

soubory se v tomto případě liší jen mírnými tvarovými rozdíly. Oproti tomu tvary křivek v záporných hodnotách této osy se liší podstatně výrazněji. Ačkoli oba tvary odpovídají obecným charakteristikám pro ženský tvar křivky *incisura ischiadica major*, tvarové rozdíly jsou patrné na první pohled. Vysvětlení tohoto tvarového rozdílu můžeme nalézt v porovnání obou grafů PCA.

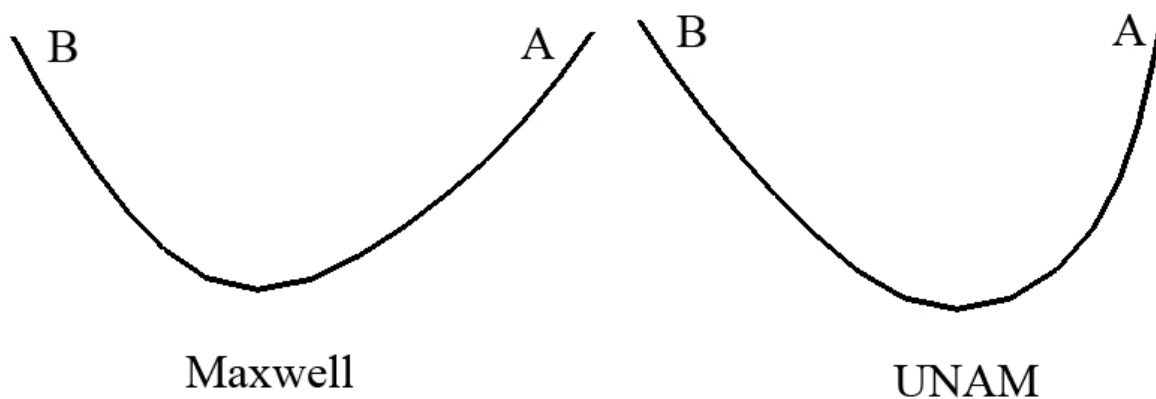
Zatímco u Maxwelllova souboru je distribuce ženských křivek podstatně menší než u mužských křivek, u souboru z UNAM je distribuce obou skupin poměrně vyrovnaná (Obr. 27). Soubor z UNAM má tedy větší tvarovou variabilitu v rámci ženského pohlaví. Důležitým faktem také je, že u Maxwelllova souboru je z grafu patrné, že křivky jsou distribuovány v grafu podle pohlaví v závislosti jak na první hlavní komponentě, tak mírně i na druhé hlavní komponentě. Dělicí přímka mezi oběma skupinami není totožná s osou PC2 (osa y), ale nachází se mírně natočená (Obr. 27). U souboru z UNAM je dělicí přímka totožná s osou PC2 (osa y). Tento fakt musíme vzít při porovnávání v úvahu, protože zatímco u souboru z UNAM hyperfemininní tvar odpovídá extrémní záporné hodnotě osy x , u souboru z Maxwelllovy sbírky to tak není. Abychom tedy mohli porovnat hyperfemininní a hypermaskulinní tvary křivek obou souborů, musíme u Maxwelllova souboru upravit umístění srovnávací křivky. Srovnávací křivky se nacházejí na kolmici k dělicí přímce.



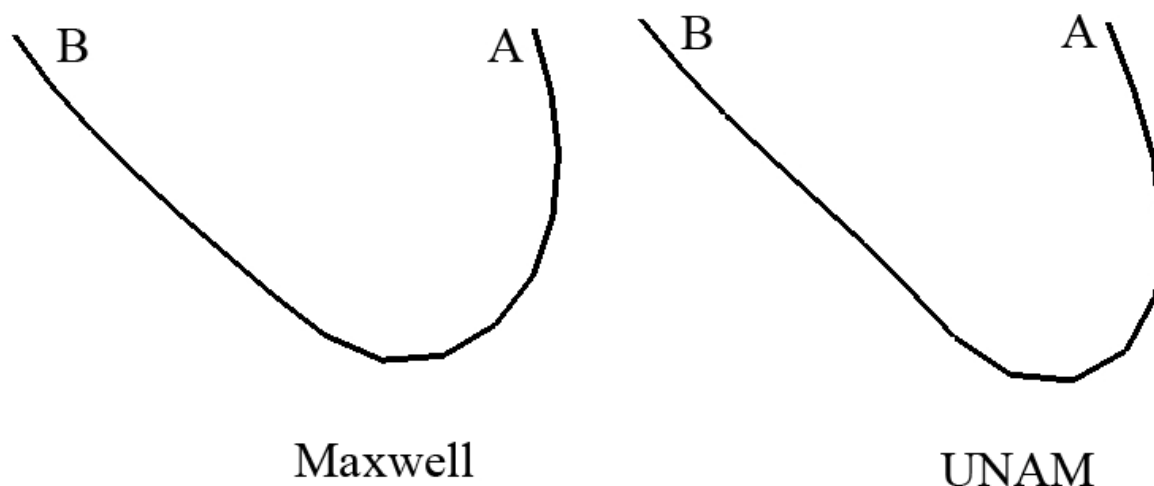
Obr. 27. Porovnání grafů PCA souboru z Maxwelllovy sbírky a souboru z UNAM; u Maxwelllova souboru je zobrazeno umístění dělicí přímky, která odděluje obě pohlaví; u souboru z UNAM je dělicí přímka totožná s osou y .

Takto získaný hyperfemininní tvar křivky hlavního souboru jsme opět porovnali s hyperfemininním tvarem souboru srovnávacího (Obr. 28). Jak je vidět, tvarový rozdíl už není tak velký – hloubka i otevřenost obou křivek je přibližně stejná, i když křivka z UNAM je o něco málo hlubší, než křivka z Maxwelllova souboru. Výrazný rozdíl je v umístění nejhlubšího bodu křivky. Zatímco u Maxwelllova souboru se nejhlubší bod nachází blíže landmarku B a tím také dochází ke zkrácení ramene vedoucího do tohoto landmarku, u souboru z UNAM se nachází nejhlubší bod blíže landmarku A a rameno od tohoto landmarku je kratší.

Původní hypermaskulinní tvar křivky hlavního a srovnávacího souboru nevykazoval takové tvarové rozdíly, jako hyperfemininní, přesto jsme nově získaný hypermaskulinní tvar z Maxwellovy sbírky také porovnali s původním hypermaskulinním tvarem souboru z UNAM (Obr. 29). Oba tvary jsou si podobné, i když křivka z Maxwellovy sbírky má rameno od landmarku A více zaoblené a není tolik hluboká. Zaoblení ramene způsobuje širší vnitřní prostor. Nejhlubší bod křivky se nachází blíže u landmarku A. Křivka z UNAM je v porovnání s první křivkou štíhlejší a protáhlejší ve směru nejhlubšího bodu křivky. Ten se také nachází blíže landmarku A. Rameno od landmarku B je rovné a dlouhé, tvarově odpovídá ramenu od landmarku B u křivky z Maxwelllova souboru.



Obr. 28. Porovnání hyperfemininních tvarů křivek první hlavní komponenty obou souborů.



Obr. 29. Porovnání hypermaskulinních tvarů křivek první hlavní komponenty obou souborů.

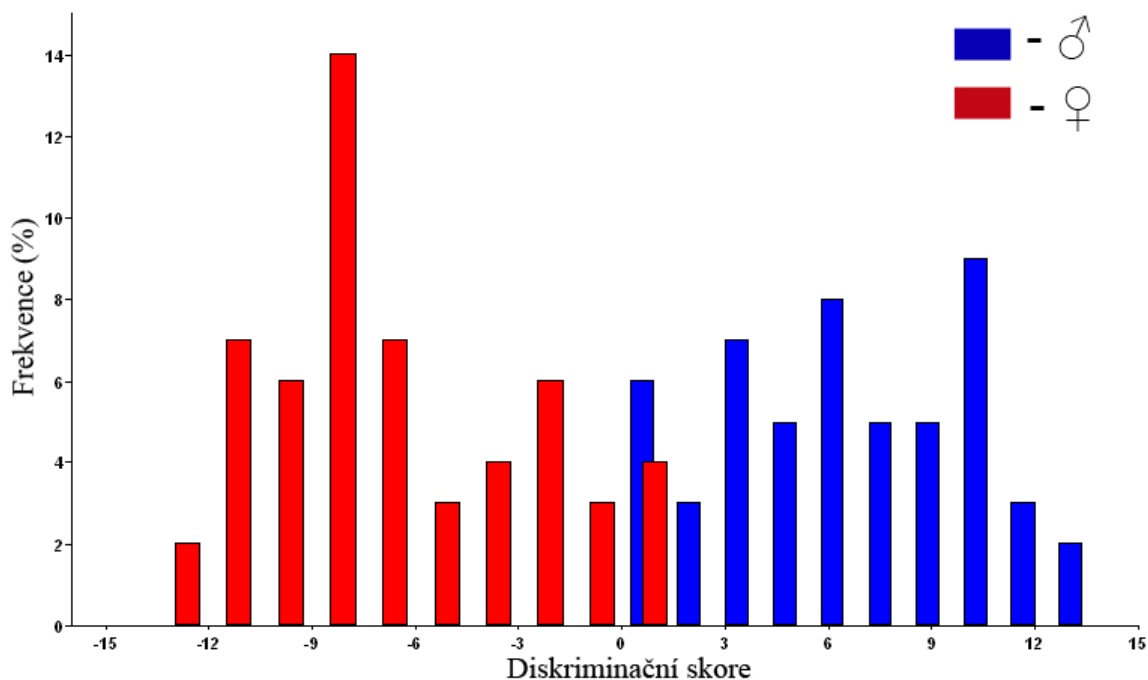
Hyperfemininní a hypermaskulinní tvary křivek si jsou u obou souborů podobné. Viditelné tvarové rozdíly i rozdíly v distribuci křivek v PCA grafu jsou pravděpodobně způsobené tím, že se jedná o dvě rozdílné populace.

Diskriminační analýza souboru z UNAM rozdělila křivky na dvě skupiny podle pohlaví s 97,26% úspěšností (Tab. 19). Hotellingův test dokázal, že skupiny jsou signifikantně rozdílné na nejvyšší hladině významnosti (T^2 : $p(\text{same}) = 9,224\text{E-}15$). Z celkového počtu 112 pánevních kostí se nepodařilo touto metodou klasifikovat 3 pánevní kosti – všechny ženského pohlaví.

Graf diskriminační analýzy (Graf 32) zobrazuje soubor rozdělený na dvě skupiny. V oblasti kolem nuly se obě skupiny prolínají.

Tab. 19. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy srovnávacího souboru (automatické snímání, 16 semilandmarků)

Semilandmarky	Úspěšnost klasifikace (%)	Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	Počet nesprávně klasifikovaných žen	Počet nesprávně klasifikovaných mužů
16	97,25	3	3	0



Graf 32. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy srovnávacího souboru (automatické snímání, 16 semilandmarků).

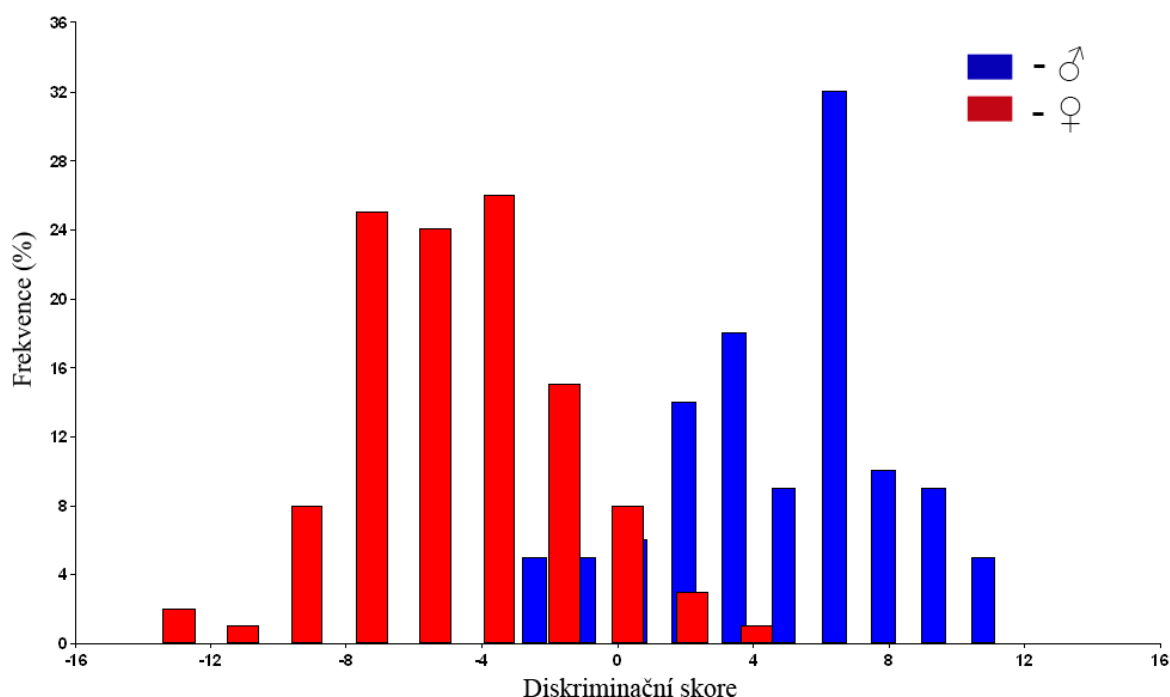
8.3.2 Ověření platnosti modelu na smíšeném souboru různých populací

Abychom zjistili, zda dosáhneme podobných výsledků i u souborů se smíšenými populacemi, rozhodli jsme se spojit soubor z Maxwellovy sbírky se souborem z UNAM. Výsledný soubor obsahoval celkem 226 jedinců, 113 mužů a 113 žen. Na tuto skupinu jsme opět aplikovali procrustovskou transformaci a diskriminační analýzu, abychom zjistili, jak velkou úspěšnost klasifikace pohlaví můžeme u takto smíšeného vzorku získat.

Diskriminační analýza rozdělila smíšený soubor na dvě skupiny a úspěšně klasifikovala pohlaví jedinců z 92,92%. Z 226 jedinců se nepodařilo správně zařadit 16 jedinců – 10 mužů a 6 žen (Tab. 20). Zajímavé je, že z původního Maxwellova souboru bylo nesprávně klasifikováno více mužských pánevních kostí než ženských (7 mužských, 1 ženská pánevní kost), zatímco z UNAM souboru to bylo naopak (3 mužské, 5 ženských pánevních kostí). Dohromady však bylo u každého souboru nesprávně zařazeno 8 pánevních kostí. Mezi nesprávně klasifikovanými pánevními kostmi se nacházely také ty, které byly nesprávně klasifikovány při diskriminační analýze jednotlivých souborů samostatně.

Tab. 20. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví smíšeného souboru (Maxwellova sbírka a sbírka z UNAM); porovnání správné klasifikace všech 226 jedinců a jednotlivých souborů

Klasifikace pohlaví	Maxwell	UNAM	celkem
Počet nesprávně klasifikovaných jedinců	8	8	16
Počet nesprávně klasifikovaných žen	1	5	6
Počet nesprávně klasifikovaných mužů	7	3	10
Úspěšnost klasifikace (%)			92,92



Graf 33. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy smíšeného souboru (automatické snímání, 16 semilandmarků).

Graf diskriminační funkce (Graf 33) rozlišuje dvě ne zcela oddělené skupiny, prolínající se v oblasti kolem nuly. Tento graf koresponduje s tabulkou (Tab. 20) a zobrazuje rozdělení souboru Maxwellovy sbírky a sbírky z UNAM, které jsou brány jako jeden celek, a nejsou více rozlišeny. Tento graf tedy odpovídá sloupci „celkem“ ve výše zmíněné tabulce.

Počet nesprávně klasifikovaných pánevních kostí obou souborů odpovídá analýzám každého souboru zvlášť. Zatímco u diskriminační analýzy samostatného souboru z Maxwellovy sbírky se nepodařilo správně klasifikovat větší množství mužů než žen, u

souboru z UNAM je to obráceně. U smíšeného souboru je celkový počet nesprávně klasifikovaných mužských pánevních kostí větší, než počet nesprávně klasifikovaných žen, tabulka (Tab. 20) ukazuje, že vnitřní rozdělení nesprávně klasifikace smíšeného souboru potvrzuje výsledky diskriminační analýzy každého souboru zvlášť. Tento fakt můžeme vysvětlit rozdílnou tvarovou variabilitou v rámci pohlaví u obou zkoumaných souborů. Rozdílnou intersexuální variabilitou v rámci obou souborů můžeme také vysvětlit snížené procento diskriminace u smíšeného souboru oproti oběma souborům zvlášť.

9 Diskuze

Diplomová práce se zabývá kvantifikací pohlavního dimorfismu tvaru *incisura ischiadica major* pánevní kosti člověka, k čemuž byla využita 2D geometrická morfometrie. Digitalizace křivky byla provedena dvěma odlišnými metodami – manuálním snímáním a automatickým snímáním. Porovnání výhod a nevýhod (časová náročnost, nutnost instruktáže atd.) a srovnání výsledků analýz dat získaných oběma metodami jsou jedním z cílů diplomové práce.

Dalším z cílů byla optimalizace počtu použitých semilandmarků. Byly porovnávány výsledky diskriminační analýzy při využití 12ti, 16ti a 37mi semilandmarků v závislosti na množství použitých dat.

Tvarové rozdíly křivky *incisura ischiadica major* v rámci dvou odlišných populací byly sledovány pomocí dvou souborů – hlavního souboru (Maxwellova sbírka) a srovnávacího souboru (sbírka z UNAM). Na základě porovnání těchto dvou souborů byla sledována variabilita v rámci pohlaví těchto populací.

Smíšený soubor, který obsahoval oba výše zmíněné soubory (Maxwell, UNAM) byl využit k ověření platnosti použitého modelu a zjištění, zda i u souboru smíšené populace lze dosáhnout vysoké úspěšnosti klasifikace pohlaví.

Kvantifikace pohlavního dimorfismu tvaru *incisura ischiadica major*

Na základě výsledků diskriminačních analýz jsme došli k závěru, že *incisura ischiadica major* je významnou částí lidské pánevní kosti, díky níž můžeme úspěšně klasifikovat pohlaví. Tento závěr potvrzují i studie, které se zabývaly klasifikací pohlaví s využitím tvaru *incisura ischiadica major* (Brůžek 2002; Davivongs 1963; Gonzalez et al. 2009; Pretorius et al. 2006; Singh, Potturi 1978). Ačkoli jsme dosáhli vysoké úspěšnosti klasifikace pohlaví při využití tvaru *incisura ischiadica major* (92,11 – 98,25%), nezjišťovali jsme, zda by procento úspěšnosti bylo vyšší, pokud bychom kromě tvaru *incisura ischiadica major* hodnotili také další pohlavně dimorfnní znaky pánevní kosti.

Díky digitalizaci tvaru profilu *incisura ischiadica major* jsme mohli hodnotit tvarové změny mezi muži a ženami. Analýza PCA a její grafické zobrazení ukázalo, že první a druhá hlavní komponenta popisují variabilitu tvaru velice výrazně oproti zbylým hlavním komponentám. Na vyjádření pohlavního dimorfismu se však nejvýrazněji podílí první hlavní komponenta.

Při vizualizaci tvarových změn v programu Morphologika se ukázalo, že u každého z použitého počtu semilandmarků i metod digitalizace můžeme dojít téměř ke stejným závěrům. Mužská křivka je ve všech případech více uzavřená a hlubší, zatímco ženská křivka je otevřená a mělčí. Tyto výsledky korespondují se staršími studiemi, které křivku hodnotili pomocí různých přístupů (Brůžek 2002; Brůžek, Murail 2006; Gonzalez et al. 2009; Letterman 1941; Singh, Potturi 1978; Straus 1927; Takahashi 2006; Walker 2005). Mužská křivka je také oproti ženské výrazně asymetrická – ramena nebývají stejně dlouhá, protože nejhlubší bod zářezu se nachází více k landmarku A (*tuberculum piriformis*) a ani tvar ramen nebývá stejný. Ženská křivka má ramena více symetrická a to jak v délce, tak i v zakřivení.

První hlavní komponenta popisuje tvarové změny vyjadřující pohlavní dimorfismus, zatímco druhá hlavní komponenta vyjadřuje spíše variabilitu v rámci samotných pohlaví. Graf PCA ukázal, že distribuce ženských křivek *incisura ischiadica major* z Maxwellovy sbírky je v grafu výrazně menší než distribuce mužských křivek, což dokazuje menší vnitřní variabilitu v rámci pohlaví. Různé studie (Gonzalez et al. 2009; Pretorius et al. 2006; Steyn et al. 2004) však dospěli k opačnému závěru – k analýze využili metodu relativních deformací (relative warp analysis; RWA), což je obdoba PCA analýzy. Z grafů RWA ve všech případech vyplynulo, že ženy měly větší distribuci než muži. Tento rozdíl může být způsoben zkoumáním rozdílných populací, což dokazuje i fakt, že distribuce tvarů křivek srovnávacího souboru (UNAM) je u mužů i u žen přibližně stejná.

Diskriminační analýza rozdělila vždy jak hlavní, tak kontrolní soubor na dvě skupiny velmi signifikantně na nejvyšší hladině významnosti. Téměř ve všech případech u hlavního souboru (Maxwellova sbírka) dochází k většímu počtu nesprávné klasifikace u mužů, resp. se počet nesprávně klasifikovaných mužů a žen rovná. V žádné z provedených diskriminačních analýz nedochází k většímu počtu nesprávné klasifikace u žen než u mužů. Oproti tomu v případě srovnávacího souboru se nepodařilo správně klasifikovat 3 pánevní kosti a všechny byly ženského pohlaví.

Průměrný věk nesprávně klasifikovaných mužů souboru z Maxwellovy sbírky je 50,75 let. Průměrný věk u nesprávně klasifikovaných žen je 76 let. Věk hraje při klasifikaci pohlaví významnou roli (Brůžek, Murail 2006; Rissech et al. 2003; Walker 2005), protože znaky pohlavního dimorfismu se nejvíce vyvíjejí až v období puberty (Brůžek, Murail 2006) a naopak ve vyšším věku dochází u mužů k feminizaci a u žen

k maskulinizaci pohlavních znaků (Acsádi, Nemeskéri 1970). V našem případě nelze s jistotou říci, zda měl ve zkoumaném souboru věk vliv na nesprávnou klasifikaci. Jelikož nebyl námi zkoumaný soubor dostatečně velký a v mladším dospělém věku neobsahoval dostatek pánevních kostí, nemůžeme z výsledků vyvodit žádné obecně platné závěry. V rámci naší studie však vliv věku na klasifikaci pohlaví prokázán nebyl.

Optimalizace počtu semilandmarků

Pro kvantifikaci pohlavního dimorfismu a klasifikaci pohlaví jsme využili různý počet semilandmarků – 12, 16 a 37 pro manuální digitalizaci, 12 a 16 pro automatickou digitalizaci.

Diskriminační analýza souboru pánevních kostí z Maxwellovy sbírky s využitím 12ti semilandmarků z manuálního snímání vyšla nejméně úspěšně. V tomto případě se nepodařilo správně určit celkem 9 pánevních kostí – 6 mužských a 3 ženské. Při porovnání s ostatními výsledky bylo zjištěno, že v případě nesprávné klasifikace se objevují vždy stejné pánevní kosti a to bez rozdílu v obou použitých metodách digitalizace. Mění se jen jejich počet vzhledem k úspěšnosti jednotlivých analýz. Zvýšením počtu použitých semilandmarků tedy jednoznačně snížíme počet nesprávně klasifikovaných pánevních kostí.

Podle procentuelní úspěšnosti v kombinaci s datovým zatížením jsme zhodnotili využití 16ti semilandmarků jako neoptimálnější počet. U obou použitých metod jsme dosáhli úspěšnosti klasifikace 93,86 – 98,25%. Stejný počet ve svých studiích využili také Gonzalez et al. (2007; 2009), kdy dosáhli úspěšnosti klasifikace pohlaví více než 90%.

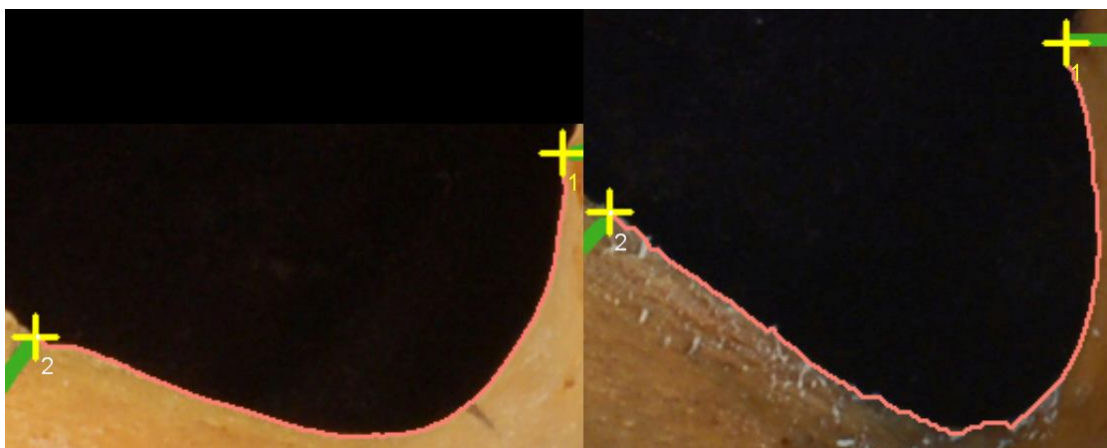
Komparace manuální a automatické digitalizace křivky *incisura ischiadica major*

V diplomové práci byly využity dva přístupy digitalizace křivky – manuální a automatická digitalizace. V rámci obou přístupů bylo dosaženo vysokého procenta úspěšnosti v závislosti na využitém počtu semilandmarků – nejnižší zjištěná úspěšnost klasifikace pohlaví přesahuje 92%. Na základě těchto výsledků můžeme zhodnotit, že oba přístupy jsou v běžné praxi využitelné. Každý z těchto přístupů má však své pro a proti, které je nutné zohlednit.

Manuální snímání křivky vyžaduje speciální vybavení v podobě digitizéru (v našem případě MicroScribe® G2). Vzhledem k nutnosti kalibrace digitizéru před každým

snímáním křivky, je tato metoda časově náročnější. Po krátké instruktáži digitalizaci zvládne i méně zkušený pozorovatel. Je však nutné pracovat ve vhodném prostředí – je potřeba dostatečné světlo a pracovní prostor, fotografie i digitizér musí být připevněny k pracovní desce tak, aby nedocházelo během snímání k posunu a tím pádem i ke zkreslení výsledných hodnot. Velkou nevýhodou je fakt, že rameno digitizéru je poměrně těžké a při digitalizaci velkého počtu fotografií jsou přestávky mezi zpracováním nutností. Netrénovaný výzkumník má častěji sklony k únavě zápěstí a unavená ruka se mu třese, čímž opět dochází ke zkreslení původní křivky. Naopak jako výhodu manuální digitalizace shledáváme fakt, že lze takto digitalizovat téměř všechny fotografie včetně těch, které jsou příliš tmavé. Lidské oko dokáže spolehlivě rozpoznat na tmavší fotografii jak obrys *incisura ischiadica major*, tak i různé patologické či morfologické anomálie. Subjektivní přístup k digitalizaci zahrne i drobnější tvarové rozdíly, které software vyhodnotí jako chybu či je vůbec nezachytí.

Automatické snímání křivky (v našem případě pomocí programu Morphome3cs) má jednoznačnou výhodu a tou je rychlost. Zpracování netrvá příliš dlouho a zvládne ho bez problému i začátečník (a to jak v antropologii, tak v práci s PC). Instruktáž je rychlá a jednoduchá a samotná digitalizace obnáší jen znalost dvou počátečních landmarků. Díky tomu se dá v poměrně krátké době zpracovat i větší množství fotografií. Nevýhodou automatické digitalizace je fakt, že fotografie musí být dostatečně ostrá a světlá, aby byl výrazný rozdíl mezi kostí a pozadím. V případech, kdy byla fotografie tmavší v důsledku tmavého zabarvení pánevní kosti, nebyl software schopen rozpoznat hranici mezi pánevní kostí a pozadím. V takových případech docházelo k velkému zkreslení, křivka nebyla plynulá (Obr. 30) a souřadnice semilandmarků tím pádem neodpovídaly skutečnosti.



Obr. 30. Správná a chybná detekce křivky v programu Morphome3cs.

Jestliže ale vezmeme v úvahu výsledky analýz dat získaných oběma přístupy, musíme zhodnotit, že při automatické digitalizaci křivky je procentuelní úspěšnost ve všech případech vyšší, než při využití manuálního snímání (Tab. 17; str. 83). Při využití manuální digitalizace jsme dosáhli úspěšnosti klasifikace pohlaví v rozmezí od 92,11 – 96,49%. S pomocí automatické digitalizace jsme dosáhli úspěšnosti klasifikace pohlaví v rozmezí od 95,61 – 98,25%.

10 Závěr

Diplomová práce si kladla za cíl kvantifikovat pohlavní dimorfismus tvaru *incisura ischiadica major*, zhodnotit výhody a nevýhody využitých metod digitalizace, optimalizovat počet využitých semilandmarků a také ověřit platnost použitého modelu na nezávislé populaci. Pomocí analýz mnohorozměrné statistiky a zobrazovacích metod jsme analyzovaly dva soubory. Hlavní soubor obsahoval 114 fotografií pánevních kostí dospělých jedinců známého pohlaví z Maxwellova muzea Univerzity v Novém Mexiku v Albuquerque. Soubor obsahoval 57 fotografií ženských a 57 fotografií mužských pánevních kostí. V druhém (kontrolním) souboru bylo analyzováno 112 fotografií pánevních kostí dospělých jedinců známého pohlaví – 56 ženských a 56 mužských. Fotografovaný soubor pocházel z forenzní laboratoře Lékařské fakulty Národní autonomní univerzity v Mexico City. Křivky byly digitalizovány za pomoci manuálního a automatického snímání.

1. Analýza PCA a vizualizace tvarů křivek potvrdily rozdílnost mužských a ženských křivek *incisura ischiadica major* pánevních kostí obou souborů v souladu s předchozími studiemi. Srovnání hyperfemininních a hypermaskulinních tvarů obou souborů dokázalo, že jsou si tvary obou souborů velmi podobné. Drobné tvarové rozdíly jsou způsobeny rozdílnými populacemi, ze kterých zkoumané soubory pocházejí.
2. Z výsledků diskriminační analýzy a z porovnání výhod a nevýhod je zřejmé, že automatická detekce křivky je výhodnější jak časově, tak vzhledem k úspěšnosti klasifikace. Přesto však vzhledem k vysoké úspěšnosti klasifikace je v praxi využitelná i metoda manuálního snímání.
3. Jako optimální počet semilandmarků jsme z použitých 12ti, 16ti a 37mi semilandmarků zvolili na základě výsledků a množství použitých dat 16 semilandmarků. V případě kombinace 16ti semilandmarků a automatické detekce křivky bylo dosaženo úspěšnosti 98,25%. Nesprávně klasifikovány byly v tomto případě jen 2 pánevní kosti (1 mužská, 1 ženská).

4. Ověření platnosti modelu bylo provedeno na základě sloučení hlavního a kontrolního souboru. Úspěšnost klasifikace pohlaví za využití 16ti semilandmarků na automaticky detekované křivce dosáhla 92,92%, což je méně, než úspěšnost klasifikace diskriminační analýzou každého souboru samostatně. Ve skupině nesprávně klasifikovaných pánevních kostí byly zařazeny také ty, které byly nesprávně klasifikovány u samostatných analýz obou souborů. Z celkového počtu 226 pánevních kostí bylo nesprávně klasifikováno 16 pánevních kostí. Na základě těchto výsledků byl použitý model shledán platným pro rozdílné populace.

11 Seznam použité literatury

ACSÁDI Gy, NEMESKÉRI J, 1970: *History of human life span and mortality*. Budapest: Akadémiai Kiadó.

ADAMS DC, ROHLF FJ, SLICE DE, 2004: Geometric morphometrics: ten years of progress following the „revolution“. *Italian Journal of Zoology*. 71: 5-16.

ALBANESE J, et al., 2008: A metric method for sex determination using the proximal femur and fragmentary hip bone. *Journal of Forensic Science*. 53(6): 1283-1288.

ANDERSON BE, 1990: Ventral arc of the os pubis: Anatomical and developmental considerations. *American Journal of Physical Anthropology*. 83: 449-458.

ARI I, 2005: Morphometry of the greater sciatic notch on remains of male Byzantine skeletons from Nicea. *European Journal of Anatomy*. 9(3): 161-165.

BOOKSTEIN FL, 1991: *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge: Cambridge University Press. 437 p. ISBN 0-521-58598-8.

BRÄUER G, 1988: Osteometrie. In KNUSSMAN R et al. (eds.): *Antropologie. Handbuch der vergleichenden biologie des menschen. Begründet von Rudolph Martin*. Stuttgart, New York: G. Fisher Verlag, pp 160-231.

BRUES AM, 1958: Identification of skeletal remains. *The Journal of Criminal Law, Criminology and Police Science*. 45(5): 551-563.

BRŮŽEK J, 2002: A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *American Journal of Physical Anthropology*. 117: 157-168.

BRŮŽEK J, MURAIL P, 2006: Methodology and reliability of sex determination from the skeleton. In SCHMITT A, CUNHA E, PINHEIRO J, (eds.): *Forensic anthropology and medicine: Complementary sciences from recovery to cause of death*. Totowa, N.J.: Humana Press, pp 225-242.

BRŮŽEK J, MURAIL P, HOUËT F, CLEUVENOT F, 1992: Inter- and intra-observer error in pelvic measurements and its implication for the method of sex determination. *Antropologie*. 32(3): 215-223.

BYTHEWAY JA, ROSS AH, 2010: A geometric morphometric approach to sex determination of the human adult os coxa. *Journal of Forensic Science*. 55(4): 859-864.

CARDOSO HFV, SAUNDERS SR, 2008: Two arch criteria of the ilium for sex determination of immature skeletal remains: A test of their accuracy and an assessment of intra- and inter-observer error. *Forensic Science International*. 178: 24-29.

COX M, MAYS S, 2000: Sex determination in skeletal remains. In COX M, MAYS S (eds.): *Human Osteology: In Archeology and Forensic Science*. Cambridge: Cambridge University Press, pp 117-130.

ČIHÁK R, 2001: *Anatomie I*. Praha: Grada Publishing. 516 s. ISBN 80-7169-870-5.

DAVIVONGS V, 1963: The pelvic girdle of the Australian aborigine: Sex differences and sex determination. *American Journal of Physical Anthropology*. 21(4): 443-455.

DEBONO L, MAFART B, 2006: Sex determination from fragmented hip bones using the Bruzek method: Experience in a historic necropolis in Provence (France). *Anthropologie*. 44(2): 167-172.

DOBISÍKOVÁ M, 1999: Určování pohlaví. In STLOUKAL M et al, 1999: *Antropologie: Příručka pro studium kostry*. Praha: Národní muzeum. 510 s. ISBN 80-7036-101-8.

DYLEVSKÝ I, DRUGA R, MRÁZKOVÁ O, 2000: *Funkční anatomie*. Praha: Grada Publishing. ISBN 80-7169-681-1.

FEREMBACH D, SCHWIDETZKY I, STLOUKAL M, 1980: Recommendations for age and sex diagnoses of skeleton. *Journal of Human Evolution*. 9: 517-549.

FRAYER DW, WOLPOFF MH, 1984: Sexual dimorphism. *Annual Review of Anthropology*. 14: 429-473.

GAILLARD J, 1960: Détermination sexuelle d'un os coxal fragmentaire. *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris*. 1: 255-268.

GENTRY STEELE D, BRAMBLETT CA, 1988: *The anatomy and biology of the human skeleton*. Texas: A&M University Press. 291 p. ISBN 0-89096-300-2.

GONZALEZ PN, BERNAL V, PEREZ I, BARRIENTOS G, 2007: Analysis of dimorphic structures of the human pelvis: its implications for sex estimation in samples without reference collection. *Journal of Archeological Science*. 34: 1720-1730.

GONZALEZ PN, BERNAL V, PEREZ I, 2009: Geometric morphometric approach to sex estimation of human pelvis. *Forensic Science International*. 189: 68-74.

GÖTHERSTRÖM A, LIDÉN K, AHLSTRÖM T, KÄLLERSJÖ M, BROWN T A., 1997: Osteology, DNA and sex identification: Morphological and molecular sex identifications of five neolithic individuals from Ajvide, Gotland. *International Journal of Osteoarcheology*. 7: 71-81.

HAGER L, 1996: Sex differences in the sciatic notch of great apes and modern human. *American Journal of Physical Anthropology*. 99: 287-300.

HOLCOMB SMC, KONIGBERG LW, 1995: Statistical study of sexual dimorphism in the human fetal sciatic notch. *American Journal of Physical Anthropology*. 97: 113-125.

ISCAN MY, DERRICK K, 1984: Determination of sex from the sacroiliac joint: A visual assessment technique. *Florida Science*. 47: 94-98.

KELLEY MA, 1978: Phenice's visual sexing technique for the os pubis: A critique. *American Journal of Physical Anthropology*. 48(1): 121-122.

KIMMERLE EH, et al. 2008: Skeletal estimation and identification in American and East European populations. *Journal of Forensic Science*. 53(3): 524-532.

KOMAR DA, GRIVAS CH, 2008: Manufactured populations: What do contemporary reference skeletal collections represent? A comparative study using the Maxwell Museum documented collection. *American Journal of Physical Anthropology*. 000: 000 – 000.

KOMAR DA, BUIKSTRA JE, 2008: *Forensic anthropology: Contemporary theory and practice*. New York: Oxford University Press. 384 p. ISBN 978-0-19-530029-1.

LETTERMAN GS, 1941: The greater sciatic notch in American whites and negroes. *American Journal of Physical Anthropology*. 22(1): 99-116.

LISTI GA., BASSETT HE., 2006: Test of an alternative method for determining sex from the os coxae: Applications for modern Americans. *Journal of Forensic Science*. 51(2): 248-252.

LOVELL NC, 1989: Test of Phenice's Technique for determining sex from the os pubis. *American Journal of Physical Anthropology*. 79: 117-120.

MARCUS LF et al., 1996: *Advances in morphometrics*. New York: Plenum Press. 595 p. ISBN 0-306-45301-0.

MARIEB EN, HOEHN K, 2007: *Human anatomy & physiology*. San Francisco: Pearson Education. 1159 p. ISBN 0-321-37294-1.

MCLAUGHLIN SM, BRUCE MF, 1990: The accuracy of sex identification in european skeletal remains using the Phenice criteria. *Journal of Forensic Science*. 35(6): 1384-1392.

MITTEROECKER P, GUNZ P, 2009: Advances in geometric morphometrics. *Evolutionary Biology*. 36: 235-247.

NOVOTNÝ V, 1975: Diskriminantanalyse es Geschlechtsmerkmale auf dem Os coxae beim Menschen. *Papers of the 16th Congr. Anthropol. Czechoslovak*. Brno: 1-23.

NOVOTNÝ V, 1981: *Pohlavní rozdíly a identifikace pohlaví pánevní kosti* [Sex differences and identification of sex in pelvic bone]. Ph.D. thesis. Purkyně University. Brno.

NOVOTNÝ V, 1983: Sex differences of pelvis and sex determination in paleoanthropology. *Anthropologie*. 21(1): 65-72.

NOVOTNÝ V, 1986: Sex determination of the pelvis bone: A system approach. *Anthropologie*. 24, 2-3: 197-206.

PACHNER P, 1937: *Pohlavní rozdíly na lidské pánvi* [Sex differences of human pelvis]. Prague: Česká Akademie Věd a Umění.

PATRIQUIN ML, STEYN M, LOTH SR, 2005: Metric analysis of sex differences in South Africans black and white pelvis. *Forensic Science International*. 147: 119-127.

PHENICE TW, 1969: A newly developed visual method of sexing the os pubis. *American Journal of Physical Anthropology*. 30: 297-302.

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.

RICHTSMEIER JT, BURKE DELEON V, LELE SR, 2002: The promise of geometric morphometrics. *Yearbook of Physical Anthropology*. 45: 63-91.

RISSECH C, GARCÍA M, MALGOSA A, 2003: Sex and age diagnosis by ischium morphometric analysis. *Forensic Science International*. 135: 188-196.

ROGERS T, SAUNDERS S, 1994: Accuracy of sex determination using morphological traits of the human pelvis. *Journal of Forensic Science*. 39(4): 1047-1056.

The Oxford English Dictionary, 1971. Oxford University Press. 4134 p. ISBN 978-0198611172.

SCHEUER L, 2002: Application of osteology to forensic medicine. *Clinical Anatomy*. 15: 297-312.

SCHULTER – ELLIS FP, SCHMIDT DJ, HAYEK LC, CRAIG J, 1983: Determination of sex with a discriminant analysis of new pelvic bone measurement: Par I. *Journal of Forensic Science*. 28: 169-180.

SCHUTKOWSKI H, 1993: Sex determination of infant and juvenile skeletons: 1. Morphognostic features. *American Journal of Physical Anthropology*. 90: 199-205.

- SHARMA K, 2002: Genetic basis of human female pelvic morphology: A twin study. *American Journal of Physical Anthropology*. 117: 327-333.
- SINGH S, POTTURI BR, 1978: Greater sciatic notch in sex determination. *Journal of Anatomy*. 125(3): 619-624.
- SLICE DE, 2005: *Modern morphometrics in physical anthropology*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. 387 p. ISBN 0-306-48697-0.
- STEYN M, PRETORIUS E, HUTTEN L, 2004: Geometric morphometric analysis of the greater sciatic notch in South Africans. *HOMO*. 54(3): 197-206.
- STRAUS WL, 1927: The human ilium: Sex and stock. *American Journal of Physical Anthropology*. 11(1): 1-28.
- TAKAHASHI H, 2006: Curvature of the greater sciatic notch in sexing the human pelvis. *Anthropological Science*. 114: 187-191.
- THIEME FP, SCHULL WJ, 1957: Sex determination from the skeleton. *Human Biology*. 29: 242-273.
- UBELAKER DH, VOLK CG, 2002: A test of the Phenice method for the estimation of sex. *Journal of Forensic Science*. 47(1): 19-24.
- VLAK D, ROKSANDIC M, SCHILLACI MA, 2008: Greater sciatic notch as a sex indicator in juveniles. *American Journal of Physical Anthropology*. 137: 309-315.
- WALKER PL, 2005: Greater sciatic notch morphology: Sex, age, and population differences. *American Journal of Physical Anthropology*. 127: 385-391.
- WEAVER DS, 1980: Sex differences in the illia of a known sex and age sample of fetal and infant skeletons. *American Journal of Physical Anthropology*. 52: 191-195.
- WILSON LA, MACLEOD N, HUMPHREY LT, 2008: Morphometric criteria for sexing juvenile human skeletons using the ilium. *Journal of Forensic Science*. 53(2): 269-278.
- ZELDITCH ML, SWIDERSKI DL, SHEETS HD, FINK WL, 2004: *Geometric morphometrics for biologists: A primer*. San Diego: Elsevier Academic Press. 447 p. ISBN 0-12-77846-08.
- ZIMA J, MACHOLÁN M, MUCLINGER P, PIÁLEK J, 2004: *Genetické metody v zoologii*. Praha: Karolinum.

12 Internetové zdroje

DONATO, G., BELONGIE, S., 2002: Approximation Methods for Thin Plate Spline Mappings and Principal Warps. http://cseweb.ucsd.edu/~sjb/pami_tps.pdf, vyhledáno 14. 11. 2010

MELOUN, M.: Metoda hlavních komponent (pdf prezentace).
<http://meloun.upce.cz/docs/lecture/chemometrics/slidy/44pca.pdf> vyhledáno 15. 11. 2010

13 Software

HAMMER, O., HARPER, D. A. T., 1999: Past – Paleontological Statistic. User manual.

<http://folk.uio.no/ohammer/past/index.html>

O’HIGGINS, P., JONES, N., 2006: Tools for statistical shape analysis. Hull York Medical School. <http://sites.google.com/site/hymsfme/resources>

PELIKÁN, J., CSÉFALVAY, S., DAJČÁR, M., HENCZ, A., KRATOCHVÍL, J., MOŠKO, J., SABOL, V., ZAJÍČEK, P., 2010: Morphome3cs-User manual.

<http://cgg.mff.cuni.cz/trac/morpho/attachment/wiki/WikiStart/UserManual.pdf>

14 Seznam obrázků

Obr. 1. Rozdělení pánevní kosti na <i>os ilium</i> , <i>os ischii</i> a <i>os pubis</i> (Čihák 2001).....	10
Obr. 2. V červeném rámečku je vyznačena oblast <i>incisura ischiadica major</i> (foto J.Valdez).....	12
Obr. 3. Pohlavní rozdíly mužské a ženské pánve – vchod do malé pánve; <i>angulus pubicus</i> a <i>arcus pubicus</i> . (Čihák 2001).....	15
Obr. 4. Pohlavní rozdíly pánevní kosti – tvar <i>incisura ischiadica major</i> a rozdílné rozměry v oblasti <i>os ischii</i> a horního ramene <i>os pubis</i> (Čihák 2001).....	16
Obr. 5. Hodnocené znaky na <i>os pubis</i> – ukázka výskytu znaku u ženy a absence znaku u muže (Phenice 1969).....	19
Obr. 6. Digitalizace křivky v programu Rhinoceros.....	31
Obr. 7. Automatická detekce křivky a její rozdělení v programu Morphome3cs.....	33
Obr. 8. Projekce 2D všech 114 křivek <i>incisura ischiadica major</i> dospělých jedinců před a po procrustovské transformaci.....	34
Obr. 9. Ukázka deformace souřadnicové mřížky (upraveno podle Donato and Belongie, 2002).....	35
Obr. 10. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose <i>x</i> odpovídající první hlavní komponentě (manuální snímání, 12 semilandmarků)....	43
Obr. 11. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose <i>y</i> odpovídající druhé hlavní komponentě (manuální snímání, 12 semilandmarků)....	44
Obr. 12. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty (manuální snímání, 12 semilandmarků).....	45
Obr. 13. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose <i>x</i> odpovídající první hlavní komponentě (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	52
Obr. 14. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose <i>y</i> odpovídající druhé hlavní komponentě (manuální snímání, 16 semilandmarků)....	53
Obr. 15. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	54
Obr. 16. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose <i>x</i> odpovídající první hlavní komponentě (manuální snímání, 37 semilandmarků)....	61
Obr. 17. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose <i>y</i> odpovídající druhé hlavní komponentě (manuální snímání, 37 semilandmarků)....	62

Obr. 18. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty (manuální snímání, 37 semilandmarků).....	64
Obr. 19. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose x odpovídající první hlavní komponentě (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	71
Obr. 20. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose y odpovídající druhé hlavní komponentě (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	72
Obr. 21. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	73
Obr. 22. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose x odpovídající první hlavní komponentě (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	79
Obr. 23. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi extrémními tvary křivek na ose y odpovídající druhé hlavní komponentě (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	80
Obr. 24. Výsledky metody TPS v závislosti na tvarových změnách mezi tvary křivek v záporných a kladných hodnotách první a druhé hlavní komponenty (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	81
Obr. 25. Porovnání tvarů křivek záporných hodnot první hlavní komponenty obou souborů.....	87
Obr. 26. Porovnání tvarů křivek kladných hodnot první hlavní komponenty obou souborů.....	87
Obr. 27. Porovnání grafů PCA souboru z Maxwellovy sbírky a souboru z UNAM.....	88
Obr. 28. Porovnání hyperfemininních tvarů křivek první hlavní komponenty obou souborů.....	89
Obr. 29. Porovnání hypermaskulinních tvarů křivek první hlavní komponenty obou souborů.....	90
Obr. 30. Správná a chybná detekce křivky v programu Morphome3cs.....	97

15 Seznam tabulek

Tab. 1. Morfologické rozdíly na pánevní kosti a pánvi mužů a žen (zdroj Čihák 2001).....	15
Tab.2. Stupeň rozvoje znaku a jeho hodnocení (podle Acsádi a Nemeskéri 1970).....	20
Tab. 3. Přehled spolehlivosti a váhy znaku (podle Dobisíková 1999).....	20
Tab. 4. Přehled rozměrů na pánevní kosti a jejich definice.....	23
Tab. 5. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (manuální snímání, 12 semilandmarků).....	38
Tab. 6. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (manuální snímání, 12 semilandmarků).....	46
Tab. 7. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	48
Tab. 8. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	55
Tab. 9. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (manuální snímání, 37 semilandmarků).....	56
Tab. 10. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (manuální snímání, 37 semilandmarků).....	64
Tab. 11. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	66
Tab. 12. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	73
Tab. 13. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	75
Tab. 14. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	82
Tab. 15. Shrnutí úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy při využití různého počtu semilandmarků u manuálního snímání křivky.....	83
Tab. 16. Shrnutí úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy při využití různého počtu semilandmarků u automatického snímání křivky.....	84
Tab. 17. Shrnutí úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy při využití různého počtu semilandmarků u manuálního a automatického snímání křivky.....	84
Tab. 18. Procentuelní vyjádření variability jednotlivými hlavními komponentami u srovnávacího souboru (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	85

Tab. 19. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví podle diskriminační analýzy srovnávacího souboru (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	90
--	----

Tab. 20. Procento úspěšnosti klasifikace pohlaví smíšeného souboru (Maxwellova sbírka a sbírka z UNAM).....	92
---	----

16 Seznam grafů

Graf 1. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (manuální snímání, 12 semilandmarků).....	38
Graf 2. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 12 semilandmarků).....	40
Graf 3. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (manuální snímání, 12 semilandmarků).....	41
Graf 4. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 12 semilandmarků).....	42
Graf 5. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (manuální snímání, 12 semilandmarků).....	45
Graf 6. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (manuální snímání, 12 semilandmarků).....	47
Graf 7. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	48
Graf 8. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	49
Graf 9. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	50
Graf 10. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	51
Graf 11. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	54
Graf 12. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (manuální snímání, 16 semilandmarků).....	55
Graf 13. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (manuální snímání, 37 semilandmarků).....	57
Graf 14. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy x a y (manuální snímání, 37 semilandmarků).....	58

Graf 15. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (manuální snímání, 37 semilandmarků).....	59
Graf 16. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy <i>x</i> a <i>y</i> (manuální snímání, 37 semilandmarků).....	60
Graf 17. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (manuální snímání, 37 semilandmarků).....	63
Graf 18. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (manuální snímání, 37 semilandmarků).....	65
Graf 19. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	67
Graf 20. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy <i>x</i> a <i>y</i> (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	68
Graf 21. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	69
Graf 22. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy <i>x</i> a <i>y</i> (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	70
Graf 23. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	72
Graf 18. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (automatické snímání, 12 semilandmarků).....	74
Graf 25. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	75
Graf 26. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy <i>x</i> a <i>y</i> (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	76
Graf 27. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí, kterou udává třetí a čtvrtá hlavní komponenta (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	78
Graf 22. Graf analýzy PCA s grafickým zobrazením extrémních tvarů křivek osy <i>x</i> a <i>y</i> (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	78
Graf 29. Referenční a cílový bod použitý pro sledování tvarových změn ovlivněných první a druhou hlavní komponentou (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	81

Graf 30. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	82
Graf 31. Grafické znázornění variability tvaru <i>incisura ischiadica major</i> mužských a ženských pánevních kostí srovnávacího souboru, kterou udává první a druhá hlavní komponenta (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	86
Graf 32. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy srovnávacího souboru (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	91
Graf 33. Grafické znázornění výsledků diskriminační analýzy smíšeného souboru (automatické snímání, 16 semilandmarků).....	92