

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Antropologie a genetika člověka



Asymetrie kostěné pánve ve vztahu k reprodukci člověka

Pelvic asymmetry in relation to the human reproduction

Diplomová práce

Zpracovala: Bc. Aneta Kodytková

Vedoucí práce: prof. RNDr. Jaroslav Brůžek, CSc.

Konzultant: Mgr. Rebeka Rmoutilová

Praha 2019

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím literatury uvedené v seznamu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 12.8. 2019

.....
Aneta Kodytková

Poděkování

Úvodem mé diplomové práce bych ráda poděkovala prof. RNDr. Jaroslavu Brůžkovi, Ph.D. za cenné rady a obětavé vedení diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Rebece Rmoutilové a Ing. Martinovi Hillovi, DrSc. za odborné a podnětné konzultace. A v neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a partnerovi, kteří mě podporovali nejen při psaní diplomové práce, ale i v průběhu celého studia.

OBSAH

Abstrakt.....	6
Abstract.....	7
Seznam zkratek.....	8
Úvod.....	9
1. Teoretická část.....	10
1.1 Symetrie.....	10
1.2 Asymetrie.....	11
1.2.1 Flukтуаční asymetrie.....	11
1.2.2 Direkcionální asymetrie.....	12
1.2.3 Antisymetrie.....	13
1.3 Asymetrie lidského skeletu.....	14
1.3.1 Asymetrie skeletu končetin.....	15
1.3.2 Asymetrie axiálního skeletu.....	17
1.4 Kostěná pánev (<i>pelvis</i>).....	18
1.4.1 Pohlavní dimorfismus.....	21
1.4.2 Asymetrie kostěné pánve.....	22
1.5 Reprodukce člověka.....	26
1.5.1 Evoluce lidského porodu.....	26
1.5.2 Porod a porodní mechanismus.....	29
1.5.2.1 Kefalopelvická disproporce.....	31
2. Cíle práce a hypotézy.....	33
4. Materiál.....	34
5. Metody.....	36
5.1 Digitalizace 3D modelů.....	36
5.2 Výpočet intraobservační chyby měření.....	42
5.3 Výpočet asymetrie.....	43
5.4 Statistické zpracování.....	43
6. Výsledky.....	46
6.1 Intraobservační chyba měření.....	46
6.2 Absolutní a direkcionální asymetrie kostěné pánve.....	49
6.3 Statistické zpracování.....	54
6.3.1 Studentův párový t-test.....	54
6.3.2 Mann-Whitneyho U test.....	55
6.3.3 Smíšený model ANOVA.....	55

6.3.4	Pearsonova korelační matice	63
7.	Diskuse	66
8.	Závěr	73
9.	Použitá literatura	74
	Příloha 1 – Intraobservační chyba měření	80
	Příloha 2 – Studentův párový t-test	83
	Příloha 3 – Mann-Whitneyho U test	85
	Příloha 4 – Smíšený model ANOVA	86
	Příloha 5 – Pearsonův korelační koeficient	93
	Příloha 6 – Anotace diplomové práce	95

Abstrakt

Diplomová práce se primárně zabývá existencí asymetrie kostěné pánve a pohlavním dimorfismem asymetrie pánevního kanálu, který vyplývá z odlišné reprodukční funkce u jednotlivých pohlaví. Dále byla zkoumána korelace neboli lineární závislost vnějších pánevních rozměrů a rozměrů pánevního kanálu.

Studie využívá 3D modely pánví vytvořené v programu Avizo 7.1 z CT snímků recentní francouzské populace. Materiál tvoří celkem 74 probandů, z čehož je 36 mužů a 38 žen. Modely byly digitalizovány pomocí softwaru Viewbox 4, ve kterém bylo na každý model pánve naneseno 29 landmarků. Tyto odpovídají 24 rozměrům rozděleným do tří skupin: rozměry velké pánve, rozměry pánevního kanálu a rozměry pro výpočet korelace mezi velkou pánví a pánevním kanálem.

Míra asymetrie byla hodnocena pomocí vzorců pro výpočet direkcionalní (DA) a absolutní (AA) asymetrie. Ke statistické analýze asymetrie byl použit Studentův párový t-test, pomocí kterého byla určována asymetrie v předchozích studiích. Rozdíly mezi pohlavími byly stanoveny Mann-Whitneyho U testem. Současně byla také provedena analýza pomocí smíšeného modelu ANOVA („mixed model ANOVA“), který navíc do výpočtu zakomponuje intraobservační chybu měření, díky čemuž jsou výsledky přesnější. Pro stanovení lineární závislosti mezi vnějšími a vnitřními pánevními rozměry byla vytvořena Pearsonova korelační matice.

U mužů byla stanovena vyšší míra levostranné direkcionalní asymetrie velké pánve, výjimku tvořila šířka kosti kyčelní, která vykazovala pravostrannou asymetrii. Stejný vzorec DA byl stanoven i u žen, kde byla navíc stanovena ještě pravostranná asymetrie u rozměru výšky kosti sedací a vertikálního průměru acetabula. Pánevní kanál žen vykazoval statisticky signifikantní ($P < 0,05$) levostrannou direkcionalní asymetrii v přední části pánevního vchodu a pánevní šíře, zatímco v přední části pánevního východu byla stanovena pravostranná DA. Významné rozdíly v absolutní asymetrii byly zjištěny u žen v posteriorní části pánevního vchodu a východu. U mužů byla konstatována lineární závislost mezi vnějšími a vnitřními rozměry u 58,33 % všech rozměrů, zatímco u žen v 50 %.

Klíčová slova: asymetrie, direkcionalní asymetrie, absolutní asymetrie, pánev, velká pánev, pánevní kanál, porod

Abstract

This diploma thesis deals primarily with the existence of the asymmetry of the bony pelvis and the sexual dimorphism of the asymmetry of the pelvic canal, which is caused by different reproductive functions of each of the sexes. Furthermore, the correlation or linear dependence of the external pelvic and pelvic canal dimensions was investigated.

The study uses 3D pelvic models created in Avizo 7.1 from CT images of the recent French population. The material consists of 74 probands, of which 36 are males and 38 are females. The models were digitalized using Viewbox 4 software, in which 29 landmarks were applied to each pelvic model. These correspond to 24 dimensions divided into three groups: the size of the non-canal pelvis, the dimensions of the pelvic canal and the dimensions for calculating the correlation between the non-canal pelvis and the pelvic canal.

The degree of asymmetry was evaluated using the formulas for the calculation of directional (DA) and absolute (AA) asymmetry. Student's paired t-test was used for statistical analysis of asymmetry to determine asymmetry in previous studies. Gender differences were determined by the Mann-Whitney U test. At the same time, an analysis using the mixed model ANOVA was also performed, which in addition incorporates an intraobservation measurement error into the calculation, making the results more accurate. Pearson's correlation matrix was created to determine the linear dependence between external and internal pelvic dimensions.

In males, a higher degree of left-bias directional asymmetry of the non-canal pelvis was determined, the exception was iliac breadth, which showed right-bias asymmetry. The same DA pattern was detected for females, where moreover, right-bias asymmetry in the ischial lengths and in the acetabular height was determined. The female pelvic canal exhibited a statistically significant ($P < 0.05$) left-bias in the inlet and midplane anterior, while outlet anterior displays right-bias. Significant differences in absolute asymmetry were found within women in the posterior part of the pelvic inlet and outlet. In males, a linear dependence between external and internal dimensions was determined for 58.33% of all dimensions, whereas for females it was 50%.

Key words: asymmetry, directional asymmetry, absolute asymmetry, pelvic, non-canal pelvis, pelvic canal, obstetrics

Seznam zkratk

CT – počítačová tomografie („computed tomography“)

FA – flukтуаční asymetrie

DA – direkcionální asymetrie

AS – antisymetrie

AA – absolutní asymetrie

OD – hypotéza porodního dilema („obstetrical dilemma hypothesis“)

EGG – hypotéza energetiky gestace a růstu („energetics of gestation and growth hypothesis“).

DOD – hypotéza vývojového porodního dilema („developmental obstetric dilemma hypothesis“),

DICOM – „digital imaging and communications in medicine“

3D – trojdimensionální

PLY – „polygon file format“

ANOVA – analýza rozptylu („analysis of variance“)

Úvod

Detekce a kvantifikace asymetrií skeletu jsou základní komponenty hned několika vědních oborů. V medicíně jsou asymetrie využívány ke stanovení diagnózy a následné léčby pohybového aparátu člověka. Své místo mají také v ortodontii (Sanders et al. 2004) a v plánování chirurgických kosmetických zákroků spojených s traumaty (Mitra et al. 2007). Kromě medicíny je studium asymetrií důležité i v bioarcheologii a archeologii, jejichž cílem je přiblížit současné populaci vzhled a chování našich předků na základě rekonstrukce kosterního materiálu (Sládek et al. 2016). Zároveň nám také existence asymetrie podává informaci o fyzické aktivitě, výživě, zdravotním stavu, environmentálních podmínkách a úrovni stresu minulých populací (Bigoni et al. 2013). Své opodstatnění má i výzkum asymetrie lebky v souvislosti s kraniofaciálními rekonstrukcemi, které ve forenzních vědách slouží například k identifikaci obětí nebo k biometrickému ověření identity jedince (Wilkinson 2010; Mitra et al. 2007).

Samotné asymetrie kostěné pánve jsou v biomedicíně zkoumány v souvislosti s bolestí v dolní části zad (Badii et al. 2003; Levangie 1999), skoliózou (Timgren & Soynila 2006; Ingelmark & Lindstrom 1963) a mozkovou obrnou (Abel et al. 1999). Vznik těchto asymetrií bývá často spojen s rotací či náklonem pánve, které jsou způsobeny patologiemi vazů a svalů (Al Eisa et al. 2006). V bioarcheologii se znalost asymetrií pánve využívá především k virtuální rekonstrukci pánve u minulých populací za účelem určení pohlaví (Rosenberg & Desilva 2017). Vzhledem k tomu, že muži a ženy se obecně liší v morfologických charakteristikách jako je velikost a tvar těla, lze z kosterního materiálu odhadovat pohlaví jedince. Největší výpovědní hodnotu má právě lidská pánev, ze které se ale často dochovávají pouze fragmenty (Brůžek & Murail 2006), pomocí nichž je třeba zrekonstruovat její původní podobu. Tato rekonstrukce by se ale neobešla bez znalosti pohlavního dimorfismu asymetrie, který je spjatý s odlišnou reprodukční úlohou mužů a žen (Kurki 2017; Tague 1989).

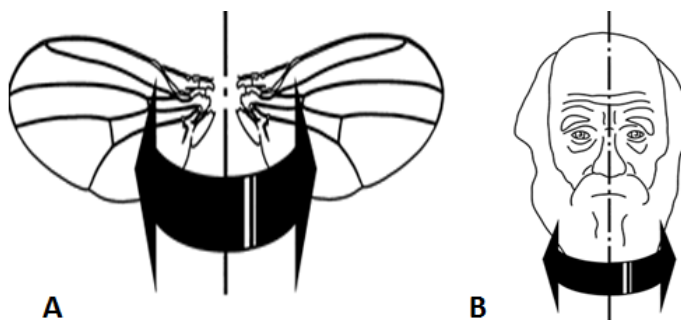
Cílem této práce je zhodnotit míru asymetrie morfologicko-funkčních částí kostěné pánve recentní francouzské populace na základě CT snímků s ohledem na pohlaví. Současně také stanovit lineární závislost mezi velkou pávní a pánevním kanálem, resp. porodnickými významnými dimenzemi. A v neposlední řadě také posoudit, zdali lze na základě vnějších pánevních rozměrů predikovat morfologii porodních cest ženy, a jak tuto predikci ovlivňuje existence asymetrie.

1. Teoretická část

1.1 Symetrie

Symetrie neboli souměrnost je jedním z hlavních znaků živých soustav, a to zejména proto, že je méně energeticky náročná než asymetrie (Graham et al. 2010). Velká část živočišné říše, včetně člověka, je bilaterálně symetrická. Výjimku tvoří některé taxonomicky nižší skupiny, jako jsou mořské houby, žebernatky, žahavci či ostnokožci, u kterých se etabloují další typy symetrie – radiální, sférická či biradiální (Klingenberg et al. 2002). Bilaterální souměrnost je typická zejména pro aktivně se pohybující organismy, pro které je podstatné, aby byl pohyb co nejefektivnější (Graham et al. 2010) vzhledem ke gravitační síle, která na ně působí (Özener 2010).

Co je to tedy bilaterální symetrie? Bilaterální symetrie je obecně definována jako shoda velikosti, tvaru a vzájemné polohy částí, které jsou po rozdělení pomocí středové osy či roviny svými zrcadlovými obrazy (Marani & Koch 2014). V biologii ji lze rozdělit na 2 základní typy. Na objektovou symetrii („object symmetry“) (Obr. 1 B) a strukturní symetrii („matching symmetry“) (Obr. 1 A). Objektová symetrie se zabývá symetrií v rámci jednoho objektu, kterým prochází osa či rovina symetrie, např. obličej (Mardia et al. 2000; Klingenberg et al. 2002; Graham et al. 2010). Zatímco v případě strukturní symetrie nebo také chiralidy (Riehl 2010) jsou předmětem zájmu dvě oddělené kopie, které jsou svými zrcadlovými odrazy, např. levá a pravá ruka (Mardia et al. 2000; Klingenberg et al. 2002).



Obr. 1: Bilaterální symetrie: (A) strukturní symetrie („matching symmetry“), (B) objektová symetrie („object symmetry“) (převzato z Klingenberg et al. 2002)

1.2 Asymetrie

Asymetrie je definována jako odchýlení od symetrie či její absence v přirozeně symetrických organismech a lze ji rozdělit do tří typů na fluktuační, direkcionální a antisymetrii (viz. Obr. 2.) (Graham et al. 2010; Palmer 1996). Fluktuační asymetrie jsou dále řazeny mezi asymetrie malé nebo jemné (Starmer et al. 2002), protože jsou mnohdy tak nepatrné, že je obtížné je změřit a mohou být zaměňovány s chybou měření. Oproti tomu asymetrie direkcionální (DA) a antisymetrie (AS) řadíme mezi asymetrie rozsáhlé či výrazné. Tyto jsou často viditelné pouhým okem (Graham et al. 2010). Vznik asymetrií je podmíněn vlivem interních a externích faktorů. Zatímco mezi faktory interní řadíme především genetiku a působení hormonů, tak jako externí jsou nejčastěji uváděny faktory environmentálního a biomechanického původu (Auerbach & Ruff 2006; Kurki 2017). Dále se jako faktor uplatňuje například věk a pohlaví jedince (Kujanová et al. 2008).

Ke kvantifikaci asymetrií jsou využívány landmarky (homologní body) umístěné na pravou i levou stranu bilaterálních struktur (Klingenberg et al. 2002). Pozice korespondujících bodů a jejich vzájemné vzdálenosti se mohou lišit, ale jejich počet musí být konstantní. Ve zcela symetrickém objektu by tyto landmarky byly svými zrcadlovými obrazy. Na samotnou analýzu landmarků jsou aplikovány metody geometrické morfometrie (Graham et al. 2010).

1.2.1 Fluktuační asymetrie

Termín fluktuační asymetrie (FA) byl poprvé použit německým biologem Wilhelmem Ludwigem (1932). Jedná se o malé (cca 1 % z celkové velikosti znaku) a zcela náhodné odchylky od dokonalé symetrie v bilaterálně spárovaných morfologických strukturách (Palmer 1996; Lens et al. 2002; Palmer & Strobeck 1986), které odrážejí genetický a environmentální stres během vývoje (Bigoni et al. 2013). Díky tomu lze FA využít jako nástroj pro monitoring úrovně stresu působící na jedince či celou populaci (Palmer 1996) a současně je zde i potenciál předpovídat změny způsobené stresem (Lens et al. 2002). Příkladem environmentálního stresu může být podvýživa, extrémní teploty a paraziti. Mezi původce genetického stresu jsou řazeny aneuploidie, chromozomové aberace, přítomnost dominantních mutantních alel nebo také homozygotita u škodlivých

recesivních alel (Schaefer et al. 2006). Toto podlehnutí stresovým genetickým a environmentálním vlivům se nazývá vývojová nestabilita. Opakem je vývojová stabilita, která odráží schopnost konkrétního genotypu podstoupit vývoj symetrického fenotypu, resp. schopnost organismu reparovat drobné fluktuace (Schaefer et al. 2006; Palmer 1996; Lens et al. 2002).

Stabilita vývoje organismu je kromě stresových faktorů narušována také tzv. vývojovým šumem nebo také hlukem („developmental noise“), který ovlivňuje ontogenetický vývoj struktury na jedné straně bilaterálně symetrického organismu nezávisle na straně druhé (Lens et al. 2002), přičemž odchylky mezi pravou a levou stranou jsou v dané populaci distribuovány kolem hodnoty 0 (Obr. 2 A) (Palmer 1996). Termín vývojový šum zahrnuje jak tepelný šum na úrovni molekul, tak i náhodné změny v rychlosti fyziologických procesů mezi buňkami, které mohou ovlivnit jejich vzájemnou komunikaci, ale také růst, dělení a elongaci (Palmer 1996; Lens et al. 2002). Ve vyvíjejícím se organismu může docházet k odlišné kumulaci těchto změn na pravé či na levé straně a následnému vzniku asymetrií (Lens et al. 2002). Jedná se tedy o důsledek poruch vývojových procesů na molekulární a buněčné úrovni (Özener 2010; Starmer et al. 2002).

Jak již bylo zmíněno výše, flukuační asymetrie se používá nejen jako indikátor stresu a vývojové stability, ale také jako měřítko zdravotního stavu jedinců, životních podmínek a variability populace (Bigoni et al. 2013). Jestliže velikosti odchylek mezi pravou a levou stranou divergují od 0, resp. se tvar příliš odchyluje od normálu (Kujanová et al. 2008), je pravděpodobné, že příčinou nebude pouhý vývojový šum nebo environmentální stres, a tudíž se nejedná o asymetrie flukuační. Takové asymetrie už nejsou validním měřítkem vývojové přesnosti (Palmer 1996).

1.2.2 Direkcionální asymetrie

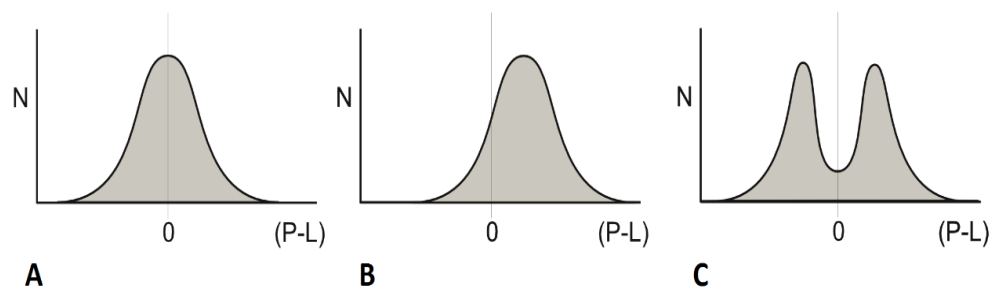
Direkcionální asymetrie (DA) jsou odchylky od bilaterální symetrie na úrovni populace (Auerbach & Raxter 2008), které nejsou způsobeny žádnou patologií (Kubicka et al. 2016). Tato směrová odchylka je definována jako normální rozdělení se střední hodnotou různou od nuly (Obr. 2 B) (Plochocki 2002). Pokud v celé populaci převládá jeden preferovaný směr, např. používání jedné ruky více než druhé („handedness“) nebo

pozice srdce či jiných orgánů v lidském těle, jedná se o asymetrii direkcionální. Ze všech 3 typů asymetrií je DA na lidském těle studována nejvíce. Jedná se především o disciplíny jako je biologie, klinická medicína, zubní lékařství, fyzická antropologie a bioarcheologie (Storm 2009; Plochocki 2002).

Podobně jako FA se DA může zakládat jak v raných stádiích ontogenetického vývoje, tak i v průběhu dospělosti (Storm 2009). Direkcionální asymetrie je obvykle interpretována jako odpověď biologicky plastického organismu na určitou zátěž (Kurki 2017). Může se jednat například o genetický a environmentální stres, ale na rozdíl od FA je to především důsledek laterality (stranové preference) nebo biomechanických tlaků, které jsou spojeny např. s opakováním určité činnosti nebo s určitým chováním (Bigoni et al. 2013). Výraznější DA je výsledkem vyšší fyzické aktivity (Auerbach & Ruff 2006). Z toho vyplývá, že DA je často využívána jako indikátor socioekonomické struktury populace (Palmer & Strobeck 1986), ekologických a environmentálních vzorců (Bigoni et al. 2013).

1.2.3 Antisymetrie

Antisymetrie (AS) je stejně jako DA viditelná pouhým okem, liší se ale frekvencí výskytu. V případě AS se obě varianty vyskytují v populaci se stejnou četností (Obr. 2 C), např. výrazně zvětšené jedno z klepet krabů rodu *Uca*, které se vyskytuje zcela náhodně se stejnou frekvencí na pravé i na levé straně (tzv. bimodální distribuce) (Palmer 1996). Výhodou je odlišná strategie páření, krmení či souboje (Hallgrímsson et al. 2011). V tomto případě je tedy asymetrie znakem kvality jedince, na rozdíl od fluktuální asymetrie, kde míra asymetrie odráží vývojovou (ne)přesnost (Graham et al. 2010). U krabů, stejně jako u většiny druhů, se AS zakládá v rané ontogenezi, v tomto případě například inhibuje hypertrofická tkáň prvního klepeta růst a vývoj klepeta druhého (Hallgrímsson et al. 2011). Dalším příkladem antisymetrie jsou zobáky některých druhů pěnkav. Jejich horní čelist je náhodně vychýlena na pravou či levou stranu, což jim umožňuje efektivněji získávat semena z těžko dostupných míst (Hallgrímsson et al. 2011).



Obr. 2: Typy asymetrií: (A) fluktuální asymetrie, (B) direkcionální asymetrie, (C) antisymetrie (přepřacováno podle Palmer 1996)

1.3 Asymetrie lidského skeletu

Asymetrie lidského skeletu lze rozdělit do 2 skupin podle období, ve kterém v průběhu ontogeneze vznikají, na prenatalní a postnatalní (Blackburn 2011; Dongen et al. 2010). Faktorů ovlivňujících skeletální asymetrie je hned několik. Jsou členěny na exogenní (externí), např. biomechanické (opakování určité akce, chování), a endogenní (interní), např. genetické a vývojové (Tobolsky et al. 2016; Kurki 2017; Auerbach & Ruff 2006). Interní faktory se etablují především v průběhu intrauteriního vývoje, a to zejména v podobě fluktuálních asymetrií, zatímco externí faktory působící více na organismus v postnatalním období, jsou hlavní příčinou direkcionálních asymetrií (Dongen et al. 2010; Blackburn 2011). Jestliže jsou odchylky od symetrie hodně výrazné, může se jednat již o patologii (Kujanová et al. 2008).

Je třeba si uvědomit rozdíl mezi asymetrií a patologickou asymetrií (vzniklou na základě patologie). Zatímco asymetrie a příčiny jejího vzniku jsou definovány výše, příčinou patologie je nemoc, jakýsi chorobný pochod či porucha vyvolávající změny v lidském těle, které ovlivňují funkčnost celého organismu (Mačák et al. 2012). Patologické asymetrie skeletu mohou vznikat jako následek poruch embryonálního vývoje či jako dědičné onemocnění kostí (diastáze symfýzy, rozštěpy rtu a patra). Dále také vznikají důsledkem malnutrice, metabolických poruch (osteoporóza) nebo hypovitaminózy (vitamin D – rachitida a osteomalacie) (Jerie & Klaus 1942). Uplatňují se zde i mechanické vlivy, díky nimž dochází ke vzniku patologických asymetrií například luxací či

zlomeninou. U zlomenin hrozí, že se kosti nezhojí ve správném postavení a dochází tak k poruchám jejich funkce. Další komplikací hojení zlomenin je vznik pakloubu, kde nedochází ke srůstu fragmentů kosti. Tento jev často postihuje kost holenní (*tibie*), kde kost lýtková působí jako rozpěrka a zabraňuje tak hojení (Mačák et al. 2012). V neposlední řadě je vznik abnormalit podmíněn nádorovým onemocněním nebo existencí anomálií jiných částí opěrné soustavy, např. anomálie dolních končetin či páteře, které podmiňují vznik patologických asymetrií pánve (Jerie & Klaus 1942).

Asymetrie lidského skeletu lze z anatomického hlediska dělit na kraniální a postkraniální a tyto dále na asymetrie axiálního skeletu a asymetrie kostry horních a dolních končetin (Auerbach & Raxter 2008).

1.3.1 Asymetrie skeletu končetin

Většina asymetrií zkoumaných na lidském těle je zaměřena na kostru horní a dolní končetiny, a to zejména na dlouhé kosti stylopodia a zeugopodia (Kubicka et al. 2016). Měření zahrnují především jejich robusticitu/šířku diafýzy (Sládek & Hora 2016), délku (Auerbach & Ruff 2006; Auerbach & Raxter 2008; Kubicka et al. 2016) a rozměry epifýz (Kurki 2017). Variabilita tvaru končetin je nejvýraznější, protože kostra končetin je typicky považována za vysoce plastickou, což demonstrují signifikantní odpovědi na různé faktory v průběhu života (Ruff et al. 2006). Ačkoliv většina morfologických změn je důsledkem vlivu environmentálních, genetických a hormonálních faktorů (Blackburn 2011), direkcionalní asymetrie skeletu končetin lze z velké části přičítat vyšší míře mechanického stresu působícího na dominantní část těla během endochondrálního růstu kosti (růst kosti do délky), který je ukončen mezi 18. až 25. rokem. V dospělosti vzniká DA primárně modelací a remodelací kostí na základě rozdílné mechanické zátěže (Plochocki 2002). Z čehož vyplývá, že asymetrie dlouhých kostí postkraniálního skeletu jsou výraznější u diafyzální šířky než u maximální délky kosti, vzhledem k nepřetržitému růstu kosti do šířky v průběhu celého života (Kubicka et al. 2016; Auerbach & Raxter 2008; Auerbach & Ruff 2006; Čuk et al. 2001). Směrovými asymetriemi autopodia se zabývá jen velmi málo studií a to zejména proto, že interpretace jejich biomechanické funkce je obtížná (Kubicka et al. 2016).

Charakteristickým rysem lidského pohybu je preference jedné strany těla nad druhou. U horní končetiny se tato preference nazývá lateralita nebo již zmíněná „handedness“. Preferovaná končetina je při určitých aktivitách používána více, a je tudíž výkonnější a manuálně zdatnější než končetina nedominantní (Aune et al. 2016; Sládek et al. 2016). Svalová aktivita, která je důsledkem rozdílného biomechanického zatížení pravé a levé horní končetiny, vede k remodelaci kostní tkáně a vzniku direkcionálních asymetrií dlouhých kostí (Kurki 2017; Sládek & Hora 2016). Dlouhé kosti na dominantní končetině jsou obecně delší a robustnější (Kujanová et al. 2008). Více jsou ovlivňovány diafýzy (Auerbach & Ruff 2006) než epifýzy kosti, aby se zachovala integrita kloubu (Tobolsky et al. 2016).

V lidské populaci převládají lidé upřednostňující pravou ruku (cca 90 %) před levou (Riehl 2010), tudíž je pravá ruka více biomechanicky zatěžována a dochází zde ke vzniku DA pravé horní končetiny v porovnání s levou (dlouhé kosti pravé ruky jsou o 1 – 3 % delší a o 2 – 4 % těžší než na levé) (Kujanová et al. 2008; Čuk et al. 2001). Avšak stranová preference má vliv nejen na asymetrii horní končetiny, ale i na zbytek skeletu (Kurki 2017), tudíž se současně systematicky objevuje trend v podobě vzniku menší levostranné direkcionální asymetrie dolní končetiny, zejména kosti stehenní. Tento trend se nazývá kontralaterální neboli zkřížená asymetrie („crossed asymetry“) (Auerbach & Ruff 2006; Tobolsky et al. 2016; Dongen et al. 2010).

Původně symetrická **kost pažní** (*humerus*) vykazuje po 12. měsíci věku přechod k pravostranné asymetrii, což souvisí s rozvojem pohybu a chůze v daném věku (Blackburn 2011). Ačkoliv preference pravé ruky byla popsána již ve fetálním období, kde v 90 % převažuje cucání palce na pravé ruce, nebyl prokázán významnější vliv na lateralitu (Kubicka et al. 2016). V dospělé populaci převažuje pravostranná DA, která promínuje více u žen než u mužů (Auerbach & Ruff 2006). Maximální délka, průměr diafýzy a šířka epikondylu pravé kosti pažní jsou tedy větší než u levé končetiny (Kubicka et al. 2016). Direkcionální asymetrie **kosti loketní** (*ulna*) a **kosti vřetenní** (*radius*) odpovídá trendu, který je popsán v souvislosti s kostí pažní (Auerbach & Ruff 2006). Proximální epifýza kosti pažní je více asymetrická než distální, zatímco u kostí předloktí je to opačně, z čehož vyplývá, že ramenní kloub a zápěstí jsou více mechanicky zatěžovány než loket (Čuk et al. 2001).

Součástí pletence horní končetiny je také **kost klíční** (*clavicula*), která je ale některými autory řazena již ke skeletu axiálnímu (Kurki 2017). Z funkčního hlediska

propojuje klíční kost horní končetinu a axiální skelet. Dochází zde k přenosu tlaku a zároveň také pomáhá stabilizovat ramenní kloub (Auerbach & Raxter 2008). U většiny dospělé populace je pravá klíční kost kratší a robustnější než levá, což je způsobeno mohutnějšími svaly a svalovými úpony, které jsou důsledkem pravostranné preference (Auerbach & Raxter 2008; Mays et al. 1999). Korelace mezi asymetrií klavikuly a kosti pažní je velmi nízká a nesignifikantní, z čehož plyne, že různé části kostí reagují na stejnou biomechanickou zátěž různými způsoby (Kubicka et al. 2016).

Velikostní rozdíly mezi pravou a levou stranou jsou výraznější v horní části těla než v dolní. Bipedální lokomoce má tendenci vytvářet relativně symetrické mechanické zatížení a DA na dolní končetině je tudíž méně výrazná (Auerbach & Ruff 2006; Sládek et al. 2016). Avšak i u dolní končetiny je direkcionalní asymetrie nezanedbatelná (Kubicka et al. 2016; Auerbach & Ruff 2006; Čuk et al. 2001). U většiny lidí (55 – 75 %) jsou kosti levé dolní končetiny robustnější než dlouhé kosti pravé končetiny, protože levá noha nese funkci opěrnou, zatímco pravá končetina je používána ke specifitějším úkonům. Zejména levý *femur* je v průměru těžší (Kujanová et al. 2008; Čuk et al. 2001). Kost stehenní vykazuje levostrannou direkcionalní asymetrii, a to jak v šířce diafýzy (měřeno ve středu diafýzy), tak i v maximální délce (Čuk et al. 2001). Zatímco DA šířky hlavičky kosti stehenní (*caput femoris*) a šířky epikondylu mírně prominují na pravé končetině a to zejména u mužů (Auerbach & Ruff 2006). Se stejným trendem se setkáváme i u **kosti holenní** (*tibia*), u které je nejvýraznější asymetrie na diafýze, kam se upíná nejvíce svalů dolní končetiny. U kosti holenní se také nejvýrazněji projevuje zkřížená asymetrie s kostí pažní, je-li pravá kost pažní robustnější, bude robustnější i levá kost holenní (Čuk et al. 2001). U obou pohlaví je nejméně výrazná asymetrie v oblasti kolenního kloubu a v maximální délce holenní kosti (Auerbach & Ruff 2006), nicméně u žen je DA dolní končetiny obecně výraznější než u mužů (Kujanová et al. 2008).

1.3.2 Asymetrie axiálního skeletu

Hodnocením asymetrií axiálního skeletu se zabývá podstatně méně studií, to je pravděpodobně způsobeno obtížnější interpretací jejich příčiny, např. biomechanická funkce jednotlivých elementů (Auerbach & Raxter 2008). Jedná se zejména o asymetrie

lebky (Bigoni et al. 2013), kosti křížové (Akman et al. 2008) a pánevního skeletu (Boulay et al. 2006).

U asymetrie **lebky** (*ossa cranii*) se na rozdíl od končetin jedná o odchylku od bilaterální symetrie v rámci jednoho objektu (Klingenberg et al. 2002). Nejvýraznější asymetrie lebky jsou spojeny s patologiemi, jako jsou například rozštěpy rtu a patra nebo předčasná obliterace lebečních švů (Netherway et al. 2006). U zdravé populace jsou kraniofaciální DA pravděpodobně nejvíce ovlivněny biomechanickým zatížením, které je způsobeno funkcí žvýkacích svalů. Žvýkací preference se projevuje asymetrickým růstem horní a dolní čelisti a také kostí lícnic. Většina lidské populace preferuje mastikaci na pravé straně, ale současně je zde třeba zohlednit i adaptace na určitou stravu (Diernberger et al. 2008; Bigoni et al. 2013). DA lebeční klenby mohou být způsobeny např. asymetrickým růstem mozku, který je závislý především na stravě jedince. Dále mohou být způsobeny spací pozicí dítěte a nedostatečným polohováním (Bigoni et al. 2013). Ve srovnání s klenbou se baze lebni vyvíjí více symetricky, což může být důsledkem toho, že její tvar a velikost nezávisí na ostatních strukturách (Lieberman et al. 2000).

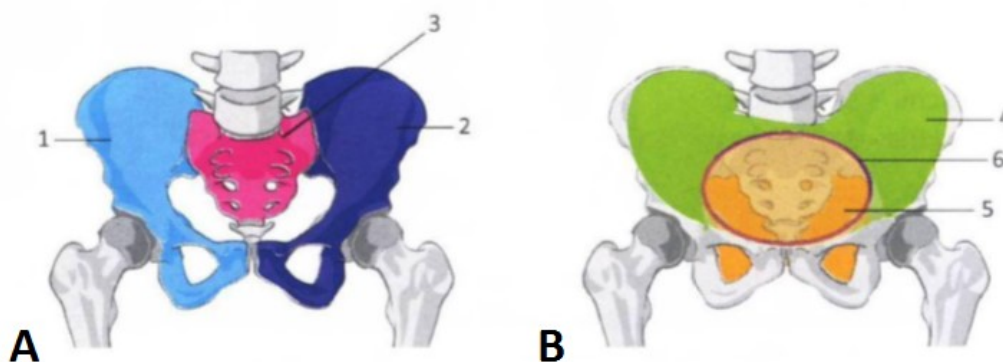
Kost křížová (*os sacrum*) je významnou součástí opěrného systému, jejíž primární funkcí je přenos a rozložení zatížení mezi horní a dolní částí lidského skeletu (Akman et al. 2008), proto morfologie kosti křížové dobře reflektuje odpověď na biomechanickou zátěž. U pravorukých jedinců vykazuje *sacrum* statisticky významnou levostrannou direkcionální asymetrii, která je nejvýraznější na křídle kosti křížové (*ala ossis sacri*) – projevuje se zde trend dříve zmíněné zkřížené asymetrie (Plochocki 2002; Akman et al. 2008). Důležitou roli ve vzniku bilaterální asymetrie hrají také mohutné svaly asociované s kostí křížovou – m. piriformis, m. erector spinae a m. gluteus maximus. Vliv věku, pohlaví ani populační příslušnosti na míru asymetrie nebyl prokázán (Plochocki 2002). Znalost asymetrie kosti křížové pomáhá snížit riziko poranění cévní či nervové soustavy v průběhu chirurgických zákroků, např. zavádění iliosakrálních implantátů (Akman et al. 2008).

1.4 Kostěná pánev (*pelvis*)

Je obecně známo, že pánev (*pelvis*) je tvořena dvěma kostmi pánevními (*ossa coxae –dextrum et sinistrum*), které jsou tuhým křížokyčelním kloubem připojeny ke kosti

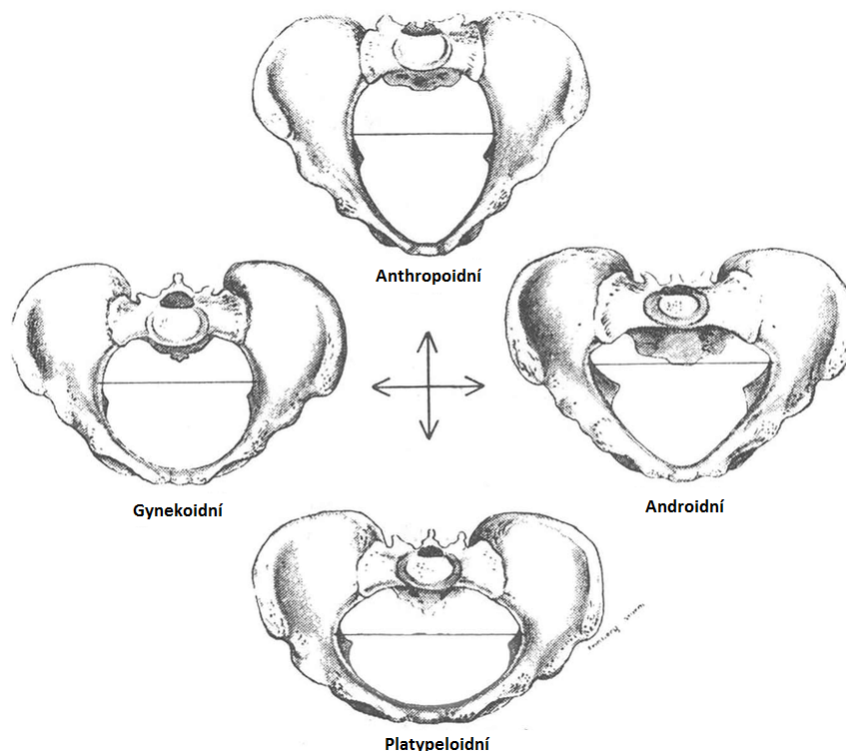
křížové (*os sacrum*), na kterou dále navazuje kost kostrční (*os coccygis*). Mimo to komunikuje každá kost pánevní s kostí stehenní (*femur*) pomocí kyčelního kloubu (*articulatio coxae*) a vytvářejí tak pletenec dolní končetiny (*cingulum pelvicum/membri inferioris*). Proto je pánev jako celek z funkčního hlediska částečně řazená ke kostře dolní končetiny a částečně k axiálnímu skeletu – páteři (Čihák 2011). Jednou z významných funkcí pánve je vytvářet pevnou oporu páteře a přenášet tak váhu trupu na dolní končetiny (Merkunová & Orel 2008; Čihák 2011), dále je místem úponů mnohých svalů, chrání pánevní orgány a v neposlední řadě hraje nenahraditelnou roli v reprodukci člověka (Correia et al. 2005; Merkunová & Orel 2008).

Na základě funkce lze rozdělit pánev na velkou (*pelvis major*) a malou neboli porodnickou (*pelvis minor*) (Betti & Manica 2018). Hranici mezi nimi tvoří *linea terminalis*, která současně i ohraničuje pánevní vchod (*aditus pelvis/apertura pelvis superior*) – viz. Obr. 3. Malá pánev neboli pánevní kanál dále sestává z pánevní šíře (*amplitudo pelvis*), pánevní úžiny (*angustia pelvis*) a pánevního východu (*exitus pelvis/apertura pelvis inferior*) (Roztočil et al. 2008). Na základě tvaru pánevního vchodu lze definovat typologii pánví. Rozlišujeme tvar gynekoidní (kulatý, mírně příčně oválný vchod), anthropoidní (sagitálně oválný vchod), androidní (srdčitý vchod) a platypeloidní (transverzálně oválný vchod) – viz. Obr. 4. (Caldwell & Moloy 1933). Zatímco mužské pánve jsou téměř vždy androidního tvaru, ženské pánve vykazují mnohem větší variabilitu. Pro hladký průběh porodu je však nejvhodnější tvar gynekoidní, který se vyskytuje cca ve 38 % případů (Abitol 1996), na rozdíl od posledních dvou zmiňovaných typů, které mohou v průběhu porodu působit komplikace (Betti & Manica 2018).



Obr. 3: Anatomie kostěné pánve (*pelvis*): (A) 1 – *os coxae dextrum*, 2 – *os coxae sinistrum*, 3 – *os sacrum* (B) 4 – *pelvis major*, 5 – *pelvis minor*, 6 – *linea terminalis* (převzato z Hudák et al. 2013)

Každá pánevní kost se skládá ze tří kostí: kosti kyčelní (*os ilium*), kosti sedací (*os ischii*) a kosti stydké (*os pubis*). Celkem má 8 osifikačních center, z toho tři primární a pět sekundárních (Gray 1858). Od konce 5. týdne embryonálního vývoje se v bázi končetinového pupenu zakládá mesenchym budoucí kosti pánevní. Koncem 6. týdne dochází k chondrifikaci mezenchymového základu a v 9. týdnu vývoje začíná osifikovat kost kyčelní. Ta je následována kostí sedací (ve 4. fetálním měsíci) a kostí stydkou (4.–5. fetální měsíc) (Čihák 2011). Všechny tyto tři kosti se setkávají v jamce kyčelního kloubu (*acetabulum*) a tvoří její plochu (Merkunová & Orel 2008). A právě od tohoto období ontogeneze až po pubertu, kdy je osifikace pánve dokončena, může docházet ke vzniku asymetrií, které nejsou důsledkem biomechanických faktorů, ale faktorů genetických a environmentálních (Badii et al. 2003; Bernard 1952). Asymetrie pánve zjištěná u mladých jedinců (do 24 let) je způsobená zejména vyšší mírou stresu během dětství a dospívání. Současně je také tvar pánve během vývoje ovlivňován dostatkem vitamínu D, výživou a mírou tělesné aktivity (Campbell et al. 2011).



Obr. 4: Typologie pánví: anthropoidní (nahore), gynecoidní (vlevo), androidní (vpravo), platypeloidní (dole) (převzato z Betti 2017)

1.4.1 Pohlavní dimorfismus

Pohlavní dimorfismus u člověka je důsledkem odlišných reprodukčních rolí ženy a muže a současně také silného selekčního tlaku působícího na člověka během evoluce (Correia et al. 2005). Pánev vykazuje nejvyšší možnou míru pohlavního dimorfismu v rámci celého lidského skeletu a dosahuje tak nejpřesnějších a nejspolehlivějších výsledků při odhadu pohlaví (Brůžek & Murail 2006). Sexuální dimorfismus pánve je dán její funkcí, která je v případě ženské pánve kompromisem mezi bipedální lokomocí a reprodukcí (biologická plasticita) (Kurki 2013b).

Obecně platí, že ženská pánev je prostornější, širší a nižší než pánev mužská (Obr. 5), což je důsledek reprodukčních aspektů ženské pánve, tedy adaptace na porod (Correia et al. 2005; Pachner 1937). Tyto rozdíly jsou patrné již v časném embryonálním vývoji (4. fetální měsíc), kdy se tyto sekundární pohlavní znaky etablují. U muže je pánevní dutina užší, vyšší a směrem k východu nálevkovitá. **Kost křížová** je u ženy kratší, širší a má více vyvinutá křídla, současně také **promontorium** vystupuje méně dopředu než u muže (Jerie & Klaus 1942). Důsledkem toho je pánevní vchod ženy příčně oválný, na rozdíl od mužské pánve, kde promontorium více prominuje, a vchod má tudíž srdčitý tvar (Čihák 2011). **Symphysis pubica** je u ženy nižší (cca 4,5 cm) než u muže (5 cm) (Jerie & Klaus 1942). Samotnou pánevní kost lze rozdělit do tří morfologicko-funkčních částí. První je ischiopubická část, kde v průběhu puberty u žen dochází k prodlužování kosti stydké vzhledem ke kosti sedací (Brůžek & Murail 2006). Vzdálenost mezi středem jamky acetabula (*fossa acetabuli*) a horním okrajem *facies symphyialis* je u ženy nápadně větší, než vzdálenost mezi středem jamky acetabula a sedacím hrbolem (*tuber ischiadicum*). U mužské pánve jsou tyto proporce téměř stejné (Čihák 2011). Dolní ramena kostí stydkých se sbíhají v **subpubický úhel**, tzv. *angulus pubicus*. Tento úhel je u muže ostřejší (70° – 75°), kdežto u ženské pánve je úhel tupý se širokým obloukovitým spojením (90° – 100°) často nazývaný *arcus pubicus* (Jerie & Klaus 1942; Čihák 2011). Další oblastí je část sakroiliakální, tedy oblast *facies auricularis* a přilehlých struktur (Brůžek & Murail 2006). V této oblasti má nejvyšší úroveň determinace **incisura ischiadica major**, která u ženy tvoří pravidelný, mělčí a širší oblouk, zatímco u muže je zářez v horní části hlubší, a tudíž nepravidelný (Correia et al. 2005; Čihák 2011). Třetí částí je oblast acetabula, kde dochází ke srůstu všech 3 kostí (Brůžek & Murail 2006).



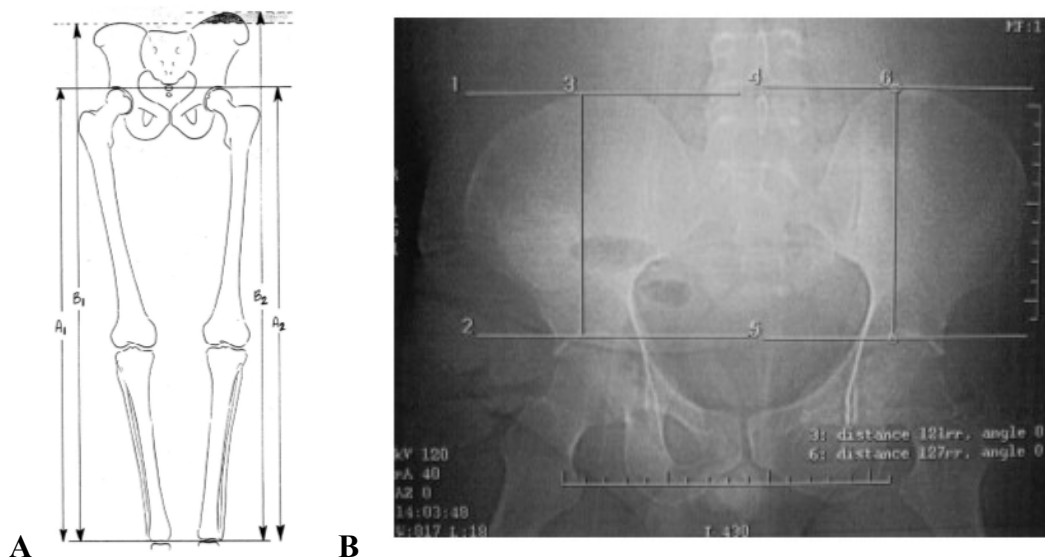
Obr. 5: Pohlavní dimorfismus lidské pánve: mužská pánve (vlevo), ženská pánve (vpravo) (Převzato z Gray 1858)

1.4.2 Asymetrie kostěné pánve

Existuje mnoho studií, které dokumentují vysokou míru bilaterální asymetrie u dlouhých kostí či lebky (viz. kap 2.3), ale jen malá část vědců se zabývala tím, do jaké míry se objevují podobné případy asymetrií i na kostěné pánvi, případně na pánevním kanálu (Tobolsky et al. 2016). Většina současných studií se však zabývá především pohlavními a populačními rozdíly, které jsou na pánvi patrné (Tobolsky et al. 2016). Ale stejně jako u ostatních elementů lidské kostry i u pánevního skeletu je obecně platné, že žádné dvě pánve si nejsou rovné a žádná pánve není zcela symetrická (Marani & Koch 2014).

Asymetrie kostěné pánve byly zkoumány zejména v souvislosti s bolestmi zad v dolní části páteře (Badii et al. 2003; Al Eisa et al. 2006), chronickou bolestí pánve (Stovall & Kumar 2010), skoliózou (Timgren & Soynila 2006; Ingelmark & Lindstrom 1963) a mozkovou obrnou (Abel et al. 1999). Je třeba si uvědomit, že na asymetrii pánve lze nahlížet ze dvou pohledů. Jednak se může jednat o strukturní asymetrii (Klingenberg et al. 2002), kde jsou předmětem zkoumání rozdíly mezi pravou a levou pánevní kostí (např. hypoplazie jedné kyčelní kosti) (Obr. 6) (Badii et al. 2003). Ve druhém případě se jedná o asymetrii objektovou (Klingenberg et al. 2002), resp. funkční. Ta je charakterizovaná jako anteriorní či posteriorní torze pánve vzhledem ke kosti křížové, přičemž velikost jednotlivých pánevních kostí je stejná, ale pánve jako celek vzhledem k ose těla rotuje (Levangie 1999). Asymetrie, které jsou spojeny s rotací nebo se sklonem pánve, jsou

převážně způsobeny patologiemi vazů (dlouhá dorsální sakroiliakální ligamenta) či disporcí v délce dolních končetin, na rozdíl od strukturních asymetrií kostěné pánve (Al Eisa et al. 2006; Stovall & Kumar 2010; Levangie 1999).



Obr. 6: Strukturní asymetrie pánve: (A) stanovení asymetrie na dolní končetině v klinické praxi, (B) rentgenový snímek pánve zachycující levostrannou asymetrii (převzato z Badii et al. 2003)

Srovnávací symetrie lidské pánve je ovlivňována jejími funkcemi. Jedná se zejména o lokomoci, držení těla a reprodukční mechanismy (Tague & Lovejoy 1986). Je třeba si uvědomit, že DA skeletu jsou interpretovány jako biologicky plastické reakce organismu na mechanické zatížení (Auerbach & Ruff 2006). Pokud je pánev biologicky plastická, lze očekávat, že na ní bude patrná odpověď na biomechanické zatížení spojené s dolní končetinou, protože pánev, jakožto pletenec dolní končetiny, hraje podstatnou roli v pohybovém systému. Z toho vyplývá, že DA pánve bude obdobná jako u dolní končetiny (Kurki 2017; Tobolsky et al. 2016). Je-li na pánev nahlíženo jako na součást trupu, je vystavena jednostrannému mechanickému zatížení v menší míře než končetiny. Pokud tedy převažuje funkční vliv pánve jako součásti trupu, lze předpokládat, že bude výsledná asymetrie méně signifikantní (Kurki & Decrausaz 2016; Kurki 2013b; Kurki 2017).

Dalším faktorem ovlivňujícím symetrii pánve a zejména pánevního kanálu jsou reprodukční aspekty (Brown 2011). Vzhledem k velikostní disporci mezi pávní matky

a hlavičkou plodu, probíhá porod u člověka tzv. rotačním porodním mechanismem (viz. kap. 2.5), tedy že plod prochází porodními cestami díky rotaci hlavičky a ramen (Kurki 2013a). Proto je předpokladem pro hladký průběh porodu absence asymetrie klíčových rozměrů pánevního kanálu.

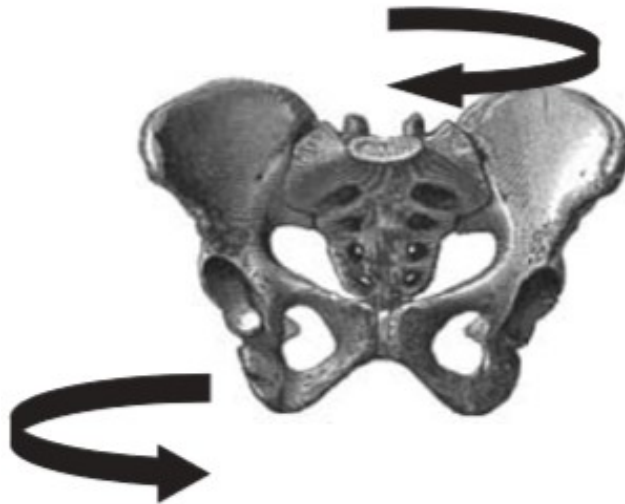
Variabilita pánevního kanálu spočívá ve formě, tedy jak ve tvaru, tak i ve velikosti. Tvar pánevního kanálu může být ovlivněn jak tvarem kostí, ze kterých je složen, tak kloubními spojeními mezi těmito kostmi (Kurki & Decrausaz 2016). V neposlední řadě ovlivňuje tvar a velikost pánevního kanálu populační afinita (Betti & Manica 2018). S ohledem na to, že forma pánevního kanálu koreluje s výškou jedince (Kurki 2013a), je jedním z možných vysvětlení mezipopulačních rozdílů tvaru pánevního kanálu adaptace na teplotní podmínky. V předchozích studiích však nebyla pozitivní korelace mezi teplotními rozdíly a tvarem pánevního kanálu prokázána. Odlišný vzorec asymetrie pánevního kanálu napříč populacemi je tak spíše důsledkem genetického driftu (Betti & Manica 2018). Všechny tyto výše zmíněné aspekty nás vedou k tomu, že nelze k pánvi přistupovat jako k celku, ale je třeba zohlednit její modularitu, a tudíž nelze předpokládat konzistentní vzorec DA (Kurki 2017).

Studie, které se zabývají zkoumáním asymetrie velké pánve, resp. rozměrů na levé a pravé pánevní kosti mimo pánevní kanál, poskytují doklady o převažující levostranné odchylce, která je v souladu s asymetrií popsanou na dolní končetině (Tobolsky et al. 2016). Levostranná asymetrie je patrná zejména na délce pánevní kosti, výšce kosti kyčelní (výraznější u žen), délce kosti sedací a délce kosti stydké, kde byla stanovena výraznější asymetrie u mužů (Kurki 2017; Tobolsky et al. 2016). Většina autorů se shoduje v tom, že pohlavní dimorfismus asymetrie je na velké pánvi málo patrný a vliv populační příslušnosti není příliš signifikantní (Kurki 2017; Plochocki 2002; Tobolsky et al. 2016; Kurki & Decrausaz 2016).

Zatímco vzorec asymetrie popsáný na velké pánvi je relativně konstantní, odchylky rozměrů pánevního kanálu jsou více variabilní (Kurki & Decrausaz 2016; Brown 2015; Kurki 2013b). Pánevní kanál vykazuje vyšší míru asymetrie než velká pánev, a to především u žen (Kurki 2017; Kurki & Decrausaz 2016; Betti & Manica 2018). Ve studii Tobolsky a kol. (2016) byl popsán mozaikový vzorec asymetrie pánevního kanálu u obou pohlaví. V zadní části všech rovin pánevního kanálu byla stanovena levostranná asymetrie u obou pohlaví, zatímco v přední části kanálu byla patrná pravostranná asymetrie. V dalších studiích nebyl objeven takto výrazný vzorec asymetrie, ale byla zde stanovena

levostranná direkcionální asymetrie zadní části pánevního vchodu a východu u obou pohlaví (Kurki & Decrausaz 2016; Kurki 2017). Zatímco v přední části pánevního kanálu byla u žen patrná asymetrie na pravé straně, a to zejména u pánevního vchodu a pánevní šíře (Kurki & Decrausaz 2016; Kurki 2017), na rozdíl od jedinců mužského pohlaví, kde převažovala asymetrie na straně levé (Kurki 2017).

S odlišným fenoménem pánevní asymetrie se setkáváme ve studii Boulay a kol. (2006), kde se kromě asymetrie velké pánve a pánevního kanálu navíc zabývali i korelací těchto rozměrů včetně několika úhlů vztahujících se k daným strukturám (Boulay et al. 2006; Kurki 2017). Boulay a kol. (2006) vytvořili model sestupné spirálovité trajektorie pánve jako celku, kdy horní část pánve s kyčelními lopatami rotuje doprava (po směru hodinových ručiček) a dolní část s pubickou symfýzou rotuje doleva (proti směru hodinových ručiček – viz. Obr. 7) (Boulay et al. 2006). Autoři tuto pánevní torzi dávají do souvislosti s asymetrií kroku, tedy především s vlivem biomechanických faktorů, ačkoliv asymetrie dolní končetiny zde nebyla zkoumána (Boulay et al. 2006).



Obr. 7: Torze pánve – lopaty kyčelní rotují doprava a spodní část s kostí stydkou rotuje doleva (převzato z Boulay et al. 2006)

1.5 Reprodukce člověka

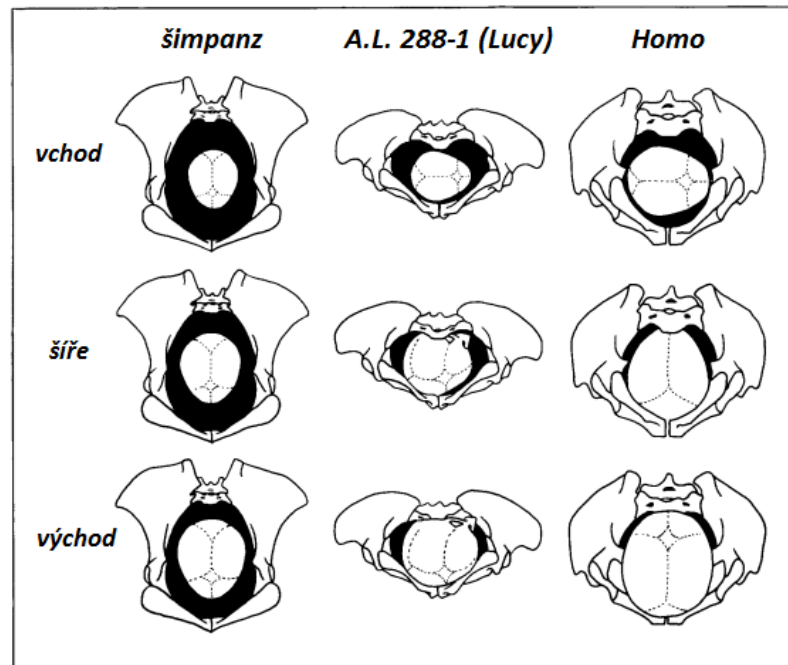
Rozmnožování neboli reprodukce je jednou ze základních vlastností všech živých organismů. Pohlavní rozmnožování, které je pro člověka typické, začíná oplozením a končí porodem, který rozděluje lidskou ontogenezi na dvě období: prenatalní a postnatalní (Roztočil et al. 2008).

1.5.1 Evoluce lidského porodu

V evoluci lidského porodu jsou dva důležité milníky. Jedním z nich je přechod od kvadrupedie k bipedii a tím druhým je růst mozku. Bipédie se objevila před 7 až 5 miliony let. Tato evoluční novinka je spojována s archaickými druhy homininů *Sahelanthropus*, *Ardipithecus* a *Orrorin* (Lieberman 2016). Pravá kráčivá chůze se ve fosilním záznamu objevuje až s nástupem rodu *Homo erectus/ergaster* před dvěma miliony let (Dunbar 2009). Vznik bipedální lokomoce byl podmíněn souborem anatomických a fyziologických změn, mezi které patří i proměna pánve. Původně úzká a dlouhá lidoopí pánev, která poskytovala pevnou oporu zadním končetinám, se díky orientaci kyčelních lopat do stran transformovala v širokou a plochou miskovitou/sedlovitou kost. Právě orientace kyčelních lopat do stran umožnila hýžd'ovým svalům zlepšit stabilitu a efektivitu chůze (Lieberman 2016). Tato klíčová adaptace na bipedalismus byla příčinou zúžení porodních cest a s ní souvisejícím vznikem rotačního porodního mechanismu (Tague 1991).

Ve srovnání s člověkem je mechanismus porodu většiny primátů poměrně jednoduchý (viz. Obr. 8). Například šimpanzí mládě vstupuje při porodu do prostorné pánve a nemusí tedy docházet k výraznějším změnám v orientaci plodu. Navíc se rodí tváří k matce, která mu může pomoci (Rosenberg & Desilva 2017; Hirata et al. 2011). Podobně tomu bylo i u australopitéků, jejichž mozek byl menší než u recentních lidí a jeho stavba byla srovnatelná s dnešními šimpanzi. Jejich pánev byla ale vzhledem k šimpanzům menší a docházelo zde k částečné rotaci (semirotači) (Tague & Lovejoy 1986). V porovnání s anatomicky moderním člověkem byla pánev australopitéka AL 288-1 (Lucy) užší v předozadním rozměru, avšak příčný rozměr byl stejně široký (Abitbol 1991). Ke změně porodního mechanismu začalo docházet až s nástupem rodu *Homo*, kdy docházelo

k výraznému růstu mozku, což z velké části souviselo se změnou stravy a změnou životního stylu (Betti & Manica 2018; Dunbar 2009) a vše vygradovalo před půl milionem let s nástupem archaického *Homo sapiens* (Dunbar 2009).



Obr. 8: Srovnání porodního mechanismu u šimpanze, australopitéka – *Australopithecus Afarensis* A.L. 288-1 (Lucy) a rodu *Homo*. Zakreslena je kefalopelvická orientace v každé pánevní rovině, inferiorní pohled na pánev a hlavičku plodu (převzato z Tague & Lovejoy 1986).

Lidský porod je unikátní záležitost z několika charakteristických důvodů. Porodní kanál u anatomicky moderního člověka je tak stísněný a strukturovaný, že mechanismus porodu musí zahrnovat řadu specifických pohybů a rotací hlavičky, aby byl porod silně ecefalizovaného potomka, navíc se širokými rameny, vůbec možný. Tento pro člověka charakteristický proces je označován jako rotační porodní mechanismus (Dunbar 2009; Tague & Lovejoy 1986; Hirata et al. 2011). Kromě rotace hlavičky během porodu jsou i další způsoby, jak se vypořádat s kefalopelvickým nepoměrem. Jedním z nich je například zkrácení doby gestace (Lieberman 2016), kdy se na rozdíl od ostatních primátů, rodí jedinci bez plně vyvinutého mozku a ani lebka není zcela osifikována, aby bylo možné v průběhu porodu lebeční kosti stlačit. Velká část mozku se vyvíjí až po porodu. V neposlední řadě porod usnadňuje skutečnost, že v pozdní fázi těhotenství je interpubické vazivo pružnější a obě části pánve se tak v průběhu porodu mírně rozestupují (Dunbar

2009). Nezanedbatelnou charakteristikou lidského porodu je i to, že se dítě rodí obličejem ke kostrči matky, která mu sama nemůže pomoci. Proto se také vyvinul další jedinečný aspekt lidského porodu a tím je účast a pomoc dalších jedinců (matky, babičky, porodní asistentky) při narození dítěte (Hirata et al. 2011; Pomeroy et al. 2016).

Hlavním evolučním modelem, který se zabývá vývojem lidské pánve ve vztahu k reprodukci, je tzv. hypotéza porodního dilema („Obstetrical Dilemma (OD) Hypothesis“) (Washburn 1960). Hypotéza popisuje vývojový kompromis mezi funkčními požadavky bipedální lokomoce, kde je výhodou úzká pánev, a porodem, u kterého je (vzhledem k velikosti hlavičky dítěte) výhodou široká pánev. Tyto antagonistické funkční požadavky OD byly stran antropologů a lékařů sice do jisté míry přijímány, ale současně byly hypotéze dávány za vinu komplikace v průběhu porodu a kefalopelvicá disproporce, v důsledku které rostl počet Císařských řezů (Pomeroy et al. 2016). Podle hypotézy je dilema vyřešeno porodem plodu v dřívějším stádiu vývoje (Washburn 1960). Ačkoli by stačilo, aby se pánevní kanál ženy zvětšil o pouhých 3 % (to odpovídá existující variabilitě v populaci), což by umožnilo 10% nárůst hlavičky novorozenců a OD by byla relativně snadno odstraněna přirozenou selekcí. Jedním z možných vysvětlení, proč k tomuto nárůstu velikosti pánevního kanálu nedošlo, je výše zmíněný kulturní aspekt, kterým je účast dalších jedinců u porodu, což mohlo snížit selekční tlak adaptace (Pomeroy et al. 2016).

Po léta byla tato hypotéza z biomechanických, metabolických a biokulturních důvodů napadána a přehodnocována. Nový pohled na problematiku poskytla např. hypotéza energetiky gestace a růstu („The energetics of gestation and growth (EGG) hypothesis“). Tato hypotéza považuje za limitující faktor metabolismus matky, spíše než velikost její pánve (Dunsworth et al. 2012). Další navrženou hypotézou je tzv. hypotéza vývojového porodního dilema („Developmental obstetric dilemma (DOD) hypothesis“), která předpokládá, že morfologie ženské pánve se v průběhu života mění v závislosti na fertilitě. Plodnost ženy dosahuje svého maxima mezi 25. – 30. rokem. V tomto období je morfologie pánve nejvíce přizpůsobená porodu, na rozdíl od dívek v pubertě a žen v postmenopauzálním období, ve kterém se pánev vrací k podobnému vývojovému vzorci, který je charakteristický převážně pro muže, resp., dochází k jejímu zúžení. Všechny tyto výkyvy jsou pravděpodobně důsledkem hormonálních změn v průběhu puberty a menopauzy (Huseynov et al. 2016). O větší míře asymetrie pánve u mladých žen (18 – 24 let) vypovídá i studie Campbell a kol. (2011), jejímž předmětem

bylo zkoumání vlivu věku na míru asymetrie u jedinců původní americké populace z Nového Mexika a Aljašky. Byla zde zjištěna signifikantní pravostranná asymetrie v porodnických významných dimenzích mladých žen, zatímco u žen a u mužů nad 25 let nebyla žádná obdobná asymetrie stanovena. Tyto rozdíly mezi mladými a starými ženami byly pravděpodobně způsobeny větší mírou stresu během dětství, nedostatkem vitamínu D nebo nadměrnou či nedostatečnou aktivitou (Abitol 1996). Mimo to mohou rozdíly také naznačovat, že výrazné asymetrie v porodních dimenzích pánevního kanálu mohou komplikovat či dokonce inhibovat porod. Navíc také zvyšují pravděpodobnost vzniku infekcí a mohou být příčinou úmrtí mladých žen během porodu. Vyššího věku se tak dožívaly pouze ženy s nižší, resp. normální mírou pánevní asymetrie (Campbell et al. 2011).

1.5.2 Porod a porodní mechanismus

Reprodukce člověka je charakteristická dlouhou dobou gestace, během které se plod vyvíjí v jednodukomorové děloze, ta je vybavena cervikálním uzávěrovým systémem. Další charakteristikou lidské reprodukce je tzv. monotokie, kdy se rodí jeden velký plod se značnou cerebralizací. Těhotenství je v průběhu 38. – 42. týdne od oplození ukončeno porodem altriciálního jedince (Doležal et al. 2007). Celý proces je rozdělen na tři porodní fáze. První doba porodní je charakteristická svalovými kontrakcemi, které vedou k dilataci děložního hrdla. Druhá fáze porodní je tzv. doba vypuzovací a končí porozením dítěte. V třetí době porodní dochází k porodu plodových obalů, placenty a pupečníku (Roztočil et al. 2008).

Průběh porodu je výrazně ovlivněn jak anatomií pánve rodičky a jejím věkem (viz. Kap. 2.4 a 2.5.1), tak i polohou a postavením plodu. V ideálním případě jsou osy plodu a dělohy rovnoběžné a hlavička směřuje dolů, tzv. pozice podélná záhlavím. V případě, že jsou obě osy rovnoběžné, ale plod je situován pánevním koncem dolů, mluvíme o pozici podélné koncem pánevním. Tato poloha je o poznání komplikovanější. Pokud je osa plodu kolmá na osu dělohy jedná se o postavení příčné, pokud však osy svírají jiný než pravý úhel, mluvíme o poloze šikmé. Šikmá poloha bývá nestabilní a často přechází do polohy podélné či příčné (Walrath 2003). Na rozdíl od polohy plodu je jeho postavení definováno jako vztah hřbetu plodu vzhledem k přední hraně dělohy. Rozlišujeme tak levé přední, levé zadní, pravé přední a pravé zadní. Při standartním průběhu porodu je postavení plodu levé

přední (v 60 % případů) či pravé zadní, zbylá dvě postavení působí komplikace (Kobilková et al. 2005; Posner et al. 2013).

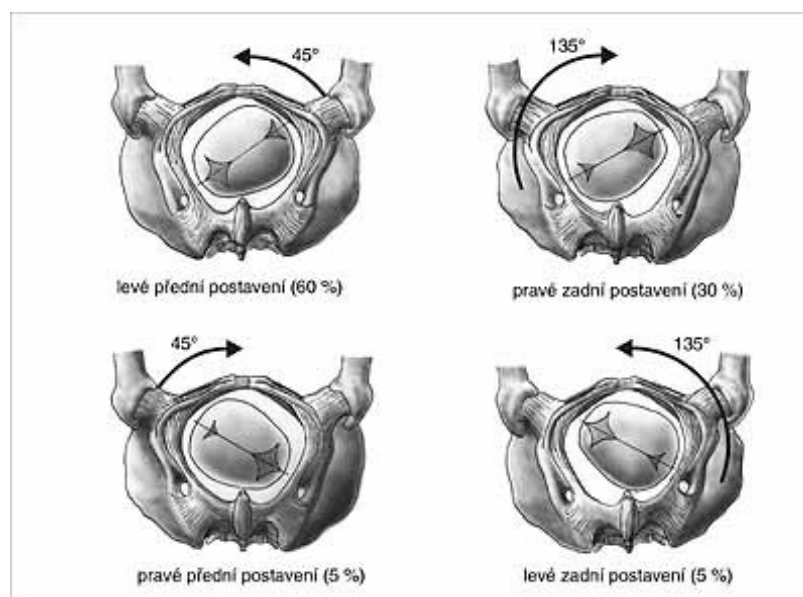
Vzhledem k povaze této práce se budeme zabývat především druhou dobou porodní, ve které hlavička plodu rotuje úzkým pánevním kanálem. V ideálním případě, ve druhé fázi porodní dochází k sestupu, resp. progresi hlavičky, která byla zahájena již v první fázi porodní (Roztočil et al. 2008; Posner et al. 2013). Poté dochází, vlivem zakřivení pánve a odporu svalů pánevního dna, k její pasivní flexi (přitažení k hrudníku) tak, že se snižuje okciput a nejnižší položeným neboli vedoucím bodem je oblast malé fontanely (Gabbe et al. 2012). Dále hlavička vnitřně rotuje tak, aby v každé rovině pánve její dorzoventrální osa odpovídala nejdelšímu rozměru (Abitbol 1991). A v neposlední řadě dochází k deflexi či extensi hlavičky, její zevní rotaci a porodu ramének (Roztočil et al. 2008; Posner et al. 2013).

Do pánevního vchodu vstupuje hlavička nejčastěji v levém příčném postavení, s menší frekvencí pak v levém šikmém postavení (Roztočil et al. 2008; Posner et al. 2013). Vyšší frekvenci výskytu těchto postavení lze vysvětlit tím, že oba tyto rozměry pánevního vstupu jsou větší než rozměr předozadní. Současně bylo v některých případech zjištěno, že levá polovina pánevního vchodu je u žen prostornější než pravá, a proto je i nejmohutnější část hlavičky uložena v nejprostornější části pánevního vchodu. Nejméně asymetrický je tedy pravý šikmý průměr pánevního vchodu (Pachner 1937).

Dále pokračuje hlavička do pánevní šíře, jejíž šikmé průměry mají zhruba stejnou délku jako příčný průměr pánevního vchodu. Nejdelší rozměr se tak posouvá oproti pánevnímu vchodu o cca 40° po směru hodinových ručiček. Zde dochází k první vnitřní rotaci hlavičky (Pachner 1937). Následuje vstup do pánevní úžiny, jejímž nejdelším rozměrem je její přímý neboli předozadní průměr, kde dochází ke druhé vnitřní rotaci tak, aby do pánevního východu vstupovala hlavička v rozměru přímém, tedy obličejem ke kosti křížové (Tague & Lovejoy 1986; Roztočil et al. 2008). Při normální rotaci se okciput otáčí dopředu za sponu stydkou, bez ohledu na to, kde se předtím nacházel (viz. Obr. 9). V případě abnormální vnitřní rotace hlavičky naopak vedoucí bod rotuje směrem ke kostrči a dítě se rodí obličejem ke sponě stydké (Tague & Lovejoy 1986; Doležal et al. 2007; Roztočil et al. 2008). Pakliže se jedná o postavení levé nebo pravé přední, rotuje hlavička mezi pánevní šíří a pánevní úžinou o úhel rovný nebo menší 45° do rozměru přímého. V ostatních případech dochází k rotaci o 45° – 135° (Posner et al. 2013; Tague & Lovejoy 1986). Ve zhruba 65 % všech porodů rotuje okciput během celého porodu doprava a

ve zbývajících 35 % doleva (Posner et al. 2013; Roztočil et al. 2008; Gabbe et al. 2012). Tento proces, při kterém pánevní dutina vytváří matici pro šroubovitě postupující hlavičku plodu, se nazývá rotační porodní mechanismus (Pachner 1937).

Nejdelším rozměrem pánevního východu je, stejně jako u pánevní úžiny, přímý průměr. Na rozdíl od ostatních savců je přímý průměr pánevního východu u ženy (*diameter recta*) velmi malý (9 – 9,5 cm). Zatímco předozadní rozměr hlavičky donošeného dítěte činí cca 11,5 cm (obvod 34 – 35 cm) (Čihák 2011). Proto musí hlavička plodu při průchodu pánevním východem odtláčit kostrč dorzálně a mechanicky tak rozšířit východ na 11 – 11,5 cm (Doležal et al. 2007). Po porození kraniofaciální části dochází k zevní rotaci hlavičky, která rotuje do anatomicky správného postavení vzhledem ke zbytku těla (Gabbe et al. 2012). Následuje porod ramének a zbytku těla (hýždě, dolní končetiny), který probíhá již bez větších komplikací (Roztočil et al. 2008; Gabbe et al. 2012).



Obr. 9: Normální vnitřní rotace hlavičky z různých postavení plodu – v 65 % rotuje vpravo a ve 35 % rotuje vlevo (převzato z: www.asistentky.porodnice.cz)

1.5.2.1 Kefalopelvicá disproporce

Kefalopelvicá disproporce neboli nepoměr mezi pánví a hlavičkou plodu je hlavní příčinou morbidity a mortality matky a plodu během porodu v rozvojových zemích (Liselele et al. 2000). K jejímu vzniku dochází vlivem zúžení, případně vlivem výrazné

asymetrie, která již hraničí s patologií, v kterékoli porodnické významné rovině pánevního kanálu nebo vlivem disproporční velikosti plodu, což je ale méně časté. Například v případě zúžení pánevního vchodu nedochází k sestupu plodu do pánevní dutiny a plod může zaujímat abnormální pozice, které jsou pro něj i pro matku nebezpečné (Cunningham et al. 2018). Ve většině případů lze komplikacím předejít prostřednictvím porodu císařským řezem nebo vakuovou extrakcí. Hlavním cílem prenatálních klinik je proto včasná detekce žen, u kterých je zvýšené riziko kefalopelvické disproporce bez použití moderních zobrazovacích metod, např. ultrazvukové vyšetření a magnetické rezonance (Liselele et al. 2000; Lenhard et al. 2010).

Ve studii Liselele a kol. (2000) byl podíl kefalopelvické disproporce u žen v rozmezí 4 % v rozvinutých až 15 % v rozvojových zemích. Tento rozdíl je způsoben především vlivem genetických a nutričních faktorů. V této práci byla k predikci přítomnosti disproporce využívána skutečnost, že výška žen pozitivně koreluje s velikostí pánve, tedy že u žen menšího věku je riziko kefalopelvického nepoměru vyšší. Avšak jak se ukázalo, tak i výška matky má omezenou výpovědní hodnotu, tzn. u výšky matky pod 150 cm tato korelace neplatí (Liselele et al. 2000). U žen pod 150 cm je téměř 50% pravděpodobnost, že budou mít zúženou pánev (Pachner 1937). Spolehlivějším prediktorem je proto například obvod hlavy matky vztažený k její výšce, podobně signifikantní je i korelace těchto veličin u otce (Connolly & McKenna 2001).

Původní technikou používanou k predikci kefalopelvické disproporce byla pelvimetrie. Předpokladem této predikce je lineární závislost (korelace) mezi vnějšími a vnitřními pánevními rozměry (Lenhard et al. 2010). K odhadu morfologie pánevního kanálu je využívána přední a zadní horní bispinální šířka (*distantia bispinalis*), bikristální šířka (*distantia bicristalis*) a bitrochanterická šířka (*distantia bitrochanterica*) (Pachner 1937). Tyto rozměry je možné měřit pomocí pelvimetru na živém jedinci (Perlman et al. 2019). Z nedávných studií ale vyplývá, že pánevní kanál sleduje jiný trend asymetrie než velká pánev (Kurki 2017; Kurki & Decrausaz 2016; Pachner 1937), a tudíž lze předpokládat, že i korelace, která podává informaci o tom, v jakém vztahu jsou spolu tyto moduly, nebude zcela zjevná.

2. Cíle práce a hypotézy

Cílem této práce je zhodnotit míru asymetrie morfologicko-funkčních částí kostěné pánve recentní francouzské populace na základě CT snímků s ohledem na pohlaví.

V první části chceme navázat na výsledky předešlých studií (Kurki 2017; Tobolsky et al. 2016; Kurki 2013a; Boulay et al. 2006), ve kterých byl ke stanovení velikosti asymetrie použit suchý kosterní materiál a ověřit existenci levostranné direkcionální asymetrie velké pánve u obou pohlaví.

Dále se budeme zabývat existencí pohlavního dimorfismu asymetrie pánevního kanálu tak, že porovnáme variabilitu pánevního kanálu u mužů a žen. Pánevní kanál žen plní funkci porodních cest, a lze proto předpokládat, že vzorec asymetrie zde bude ovlivněn rotačním porodním mechanismem, tedy že bude odlišný od mužského vzorce asymetrie (Pachner 1937; Kurki 2017).

V poslední části chceme zjistit, zdali vnější pánevní rozměry korelují s klíčovými rozměry pánevního kanálu, a zdali lze z vnějších pánevních rozměrů predikovat morfologii porodních cest ženy či nikoli. A konečně jakou roli hraje v predikci těchto rozměrů asymetrie kostěné pánve (Perlman et al. 2019; Pachner 1937).

Hypotézy:

1. Velká pánev vykazuje levostrannou direkcionální asymetrii u obou pohlaví.
2. Pánevní kanál žen vykazuje vyšší míru asymetrie v porodnicky významných rozměrech než pánevní kanál mužů.
3. Jestliže vnější pánevní rozměry korelují s rozměry pánevního kanálu, lze je využít k jejich vzájemné predikci.

4. Materiál

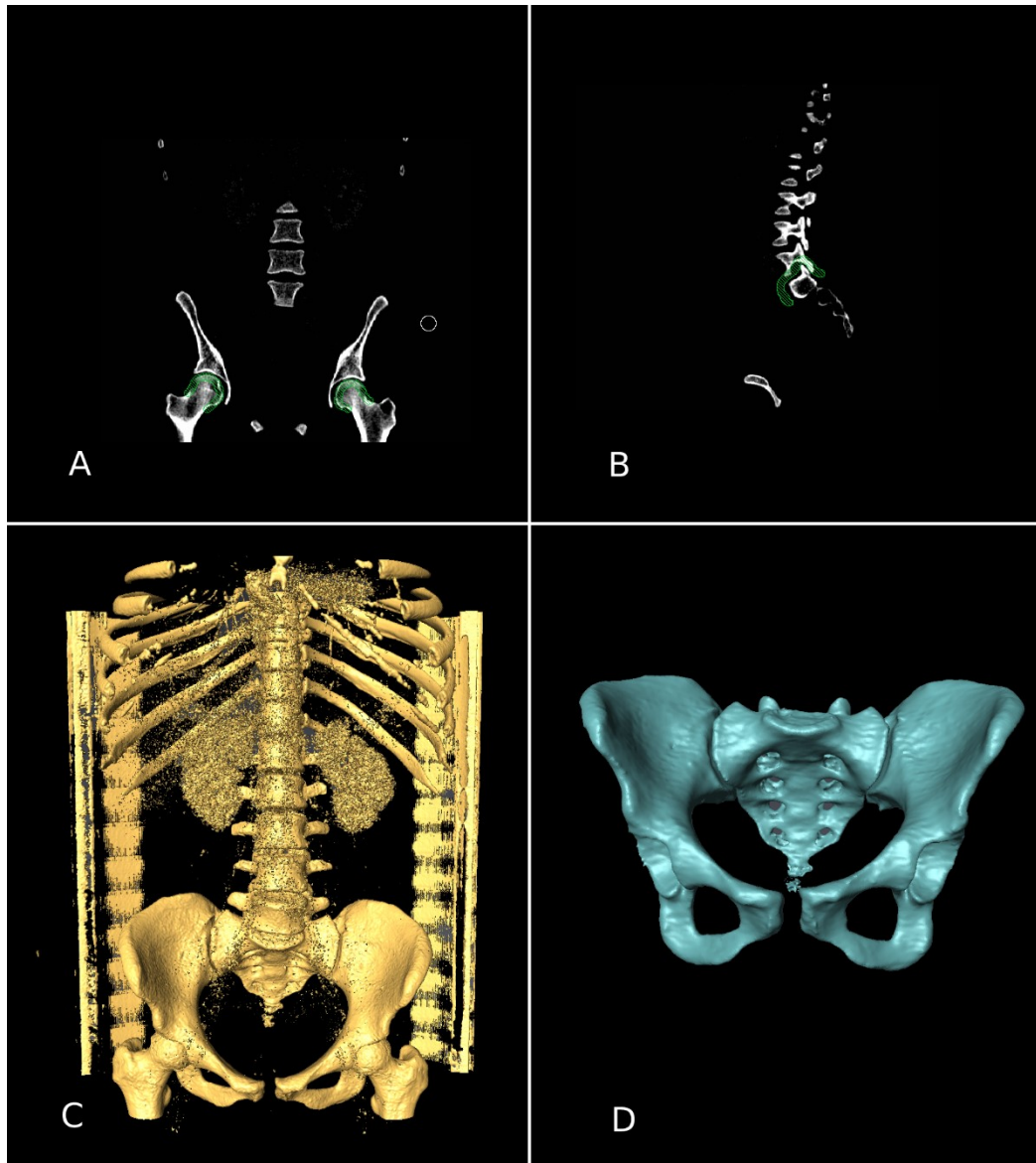
V této práci byly použity CT snímky recentní francouzské populace pořízené ve Fakultní nemocnici CHU Hôpital Nord v Marseille. Klinická data pacientů, která obdržela Dr. Katia Chaumoitre („Department of Medical Imaging, University North Hospital, Marseille“), byla anonymizována a shromažďována se souhlasem Etické komise Lékařské fakulty v Marseille. Soubor čítá celkem 259 probandů, z nichž bylo pro vlastní analýzu asymetrie vybráno 74 jedinců ve věku 18 – 50 let v zastoupení: 36 mužů a 38 žen. Věk probandů zasahuje do 4 period postnatální ontogeneze – adolescence, plná dospělost, zralost a střední věk (viz. Tab. 1). Průměrný věk žen činí 35,26 let, zatímco průměrný věk mužů je 37,83 let. Pacienty s patologiemi, např. *diastasis symphysis pubis* a s výraznými chirurgickými zákroky, např. s endoprotézou, jsme ze studie vyřadili.

K vyšetření byl použit Siemens SOMATOM Sensation 64 CT Scanner. Parametry akvizice byly stanoveny následovně: kolimace 64×0,6 26 mm, perioda rotace 0,5 s, pitch faktor 1,5 mm, napětí na rentgence 120 kV, proud rentgenkou 116 mAs.

Tab. 1: Distribuce pohlaví a věku napříč souborem

Věk	18–30 let	31–50 let	Celkem
Muži	6	30	36
Ženy	14	24	38
Celkem	20	54	74

Získané CT snímky ve formátu DICOM („Digital Imaging and COmmunications in Medicine“) bylo nejprve třeba upravit do podoby 3D povrchových modelů. K tomuto účelu byl použit segmentační program Avizo 7.1. Při samotné segmentaci bylo třeba oddělit pánev od komunikujících kostí a měkkých tkání a následně oddělit obě kosti pánevní (Obr. 10). Získané modely kostěné pánve byly uloženy ve formátu PLY („Polygon File Format“) a byly tak připraveny pro následnou analýzu.



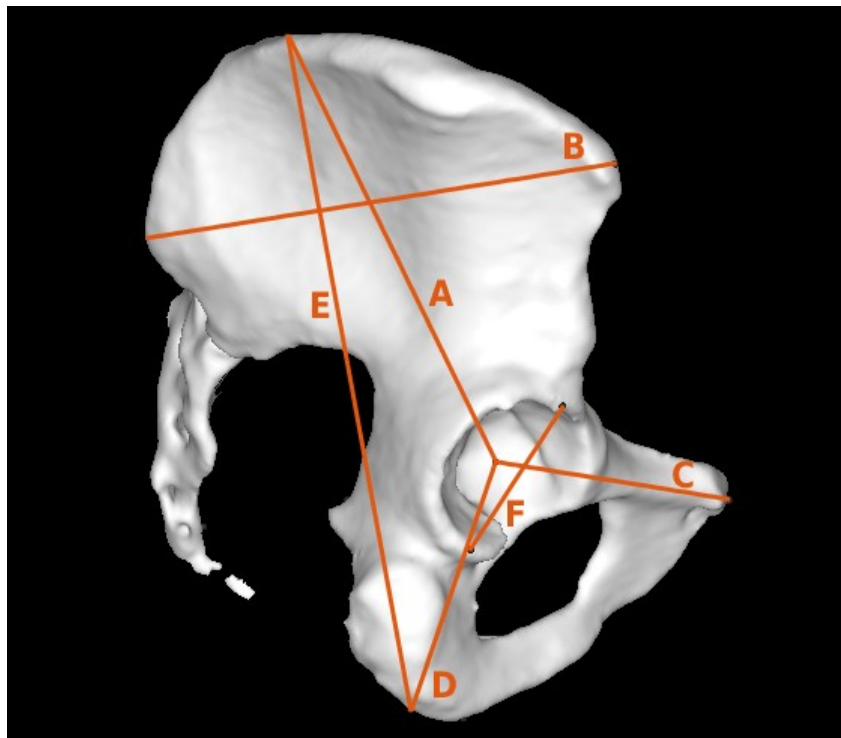
Obr. 10: Segmentace pánve v programu Avizo 7.1: (A) frontální CT snímek – oddělení pravé a levé kosti stehenní od pánevních kostí, (B) sagitální CT snímek – oddělení kosti křížové od 5. bederního obratle, (C) 3D model postkraniálního skeletu před segmentací, (D) výsledný 3D model kostěné pánve

5. Metody

5.1 Digitalizace 3D modelů

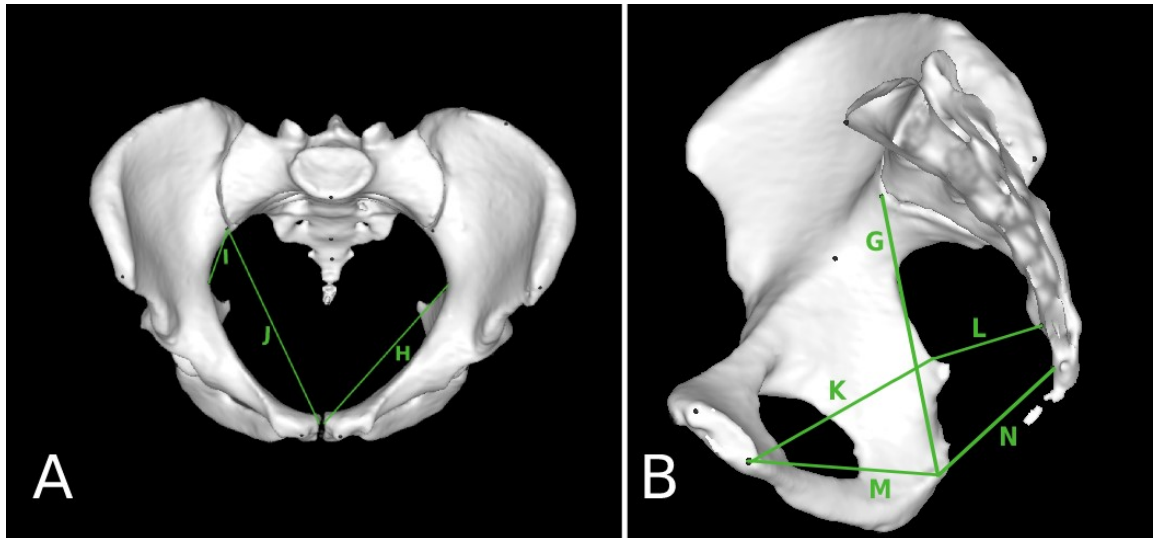
Digitalizace 3D modelů pánví probíhala v programu Viewbox 4. Nejprve byl vytvořen templát na základě níže stanovených landmarků a rozměrů (viz. Tab. 2, 3 a 4). Na každou pánev bylo naneseno celkem 29 landmarků, tzn. 24 rozměrů, které byly rozděleny do 3 skupin: zevní pánevní rozměry (Obr. 11), rozměry pánevního kanálu (Obr. 12) a rozměry pro výpočet korelace (Obr. 13). Landmarky a rozměry vycházejí z předchozích studií zabývajících se pelvimetrií, asymetrií pánve a pánevního kanálu (Martin 1914; Tague 1989; Kurki 2007).

- 6 zevních rozměrů pánevních pro každou pánevní kost: výška kosti kyčelní (A), šířka kosti kyčelní (B), délka kosti stydké (C), výška kosti sedací (D), výška pánve (E) a vertikální průměr jámy kyčelního kloubu (F).



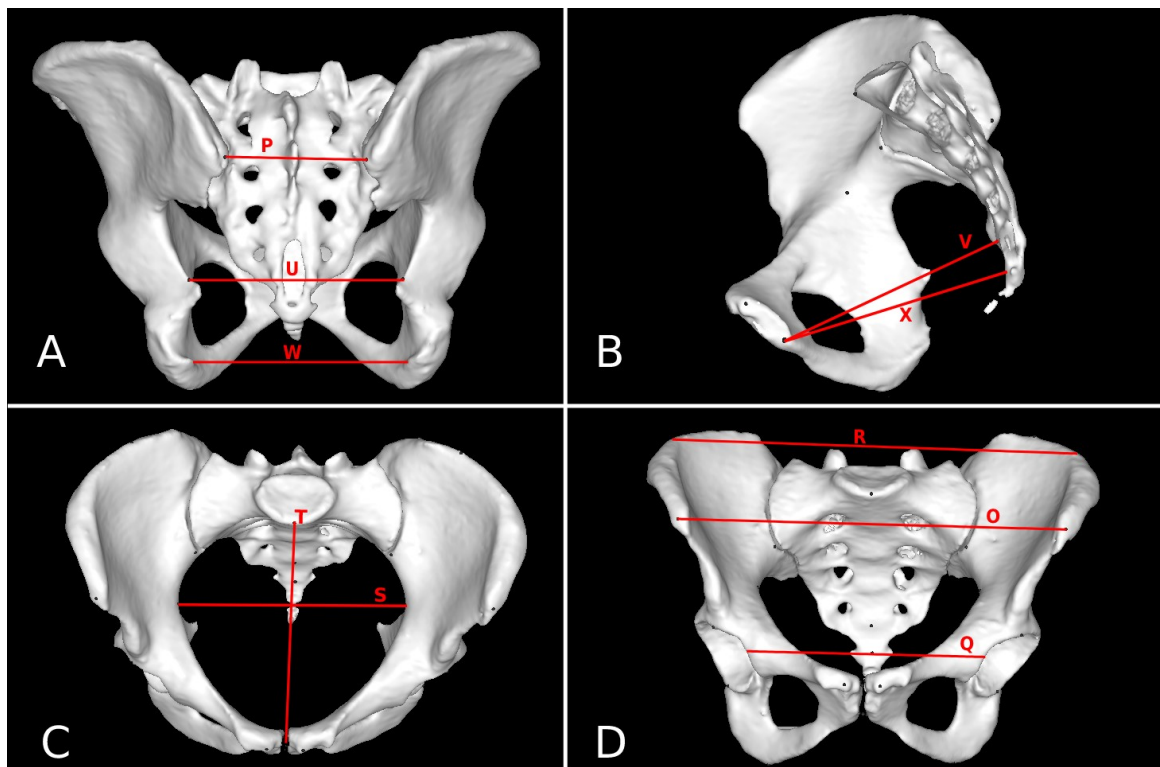
Obr. 11: Vyznačené vnější pánevní rozměry (oranžově) na 3D modelu pravé pánevní kosti (*os coxae dextrum*), laterální pohled

- 8 rozměrů pánevního kanálu pro každou pánevní kost: hloubka pánevního kanálu (G), pánevní vchod anteriorní část (H), pánevní vchod posteriorní část (I), pánevní vchod antero-posteriorní průměr (J), pánevní šíře anteriorní část (K), pánevní šíře posteriorní část (L), pánevní východ anteriorní část (M) a pánevní východ posteriorní část (N).



Obr. 12: Vyznačené rozměry pánevního kanálu (zeleně) na 3D modelu pánve (pelvis) a pravé pánevní kosti (os coxae dextrum) – (A) pohled shora, (B) mediální pohled

- 10 rozměrů pro výpočet korelace: přední bispinální šířka pánve (O), zadní bispinální šířka pánve (P), acetabulární šířka pánve (Q), bikristální šířka pánve (R), příčný průměr pánevního vchodu (S), předozadní průměr pánevního vchodu (T), příčný průměr pánevní šíře (U), předozadní průměr pánevní šíře (V), příčný průměr pánevního východu (W), předozadní průměr pánevního východu (X)



Obr. 13: Vyznačené rozměry pro výpočet korelace (červeně) na 3D modelu pánve (pelvis) a pravé pánevní kosti (os coxae dextrum) – (A) posteriorní pohled, (B) mediální pohled, (C) superioriorní pohled a (D) frontální pohled

Tab. 2: Zevní pánevní rozměry (Martin 1914):

Měřená vzdálenost	Označení	Reference	Landmark 1	Landmark 2
1. výška kosti kyčelní	A	M 9*	střed jámy kyčelního kloubu (<i>acetabulum</i>)	nejvýše položený bod na <i>crista iliaca</i>
2. šířka kosti kyčelní	B	M 12*	<i>spina iliaca anterior superior</i>	<i>spina iliaca posterior superior</i>
3. délka kosti stydké	C	M 17*	střed jámy kyčelního kloubu (<i>acetabulum</i>)	nejvyšší bod plochy <i>facies symphysialis</i>
4. výška kosti sedací	D	M 15*	střed jámy kyčelního kloubu (<i>acetabulum</i>)	posteriovní část vnitřní hrany příčného hřebenu na <i>tuberositas ischiadica</i>
5. výška pánve	E	M 1*	nejvýše položený bod na <i>crista iliaca</i>	posteriovní část vnitřní hrany příčného hřebenu na <i>tuberositas ischiadica</i>
6. vertikální průměr jámy kyčelního kloubu (<i>acetabulum</i>)	F	M 22*	průsečík okraje jámy kyčelního kloubu a <i>spina iliaca anterior inferior</i>	nejníže položený protilehlý bod na okraji jámy kyčelního kloubu

*M – Martin (1914)

Tab. 3: Rozměry pánevního kanálu (malé pánve) (Martin 1914; Tague 1989; Kurki 2007):

Měřená vzdálenost	Označení	Reference	Landmark 1	Landmark 2
1. hloubka pánevního kanálu	G	M 30*	<i>apex auricularis</i> (průsečík s <i>linea terminalis</i>)	posteriorní část vnitřní hrany příčného hřebenu na <i>tuberositas ischiadica</i>
2. pánevní vchod anteriorní část	H	K*	bod největší příčné vzdálenosti (<i>diameter transversa</i>) na <i>linea terminalis</i>	nejvyšší bod plochy <i>facies symphysialis</i>
3. pánevní vchod posteriorní část	I	K*	<i>apex auricularis</i> (průsečík s <i>linea terminalis</i>)	bod největší příčné vzdálenosti (<i>diameter transversa</i>) na <i>linea terminalis</i>
4. pánevní vchod antero-posteriorní průměr	J	T*	nejvyšší bod plochy <i>facies symphysialis</i>	<i>apex auricularis</i> (průsečík s <i>linea terminalis</i>)
5. pánevní šíře anteriorní část	K	K*	<i>spina ischiadica</i>	nejnižší bod plochy <i>facies symphysialis</i>
6. pánevní šíře posteriorní část	L	K*	spojení 4. a 5. sakrálního obratle	<i>spina ischiadica</i>
7. pánevní východ anteriorní část	M	K*	posteriorní část vnitřní hrany příčného hřebenu na <i>tuberositas ischiadica</i>	nejnižší bod plochy <i>facies symphysialis</i>
8. pánevní východ posteriorní část	N	K*	apex 5. sakrálního obratle	posteriorní část vnitřní hrany příčného hřebenu na <i>tuberositas ischiadica</i>

*M – Martin (1914), T – Tague (1989), K – Kurki (2007)

Tab. 4: Rozměry pro výpočet korelace (Martin 1914; Tague 1989):

Měřená vzdálenost	Označení	Reference	Landmark 1	Landmark 2
1. přední bispinální šířka pánve	O	M 5*	<i>spina iliaca anterior superior</i> L**	<i>spina iliaca anterior superior</i> P**
2. zadní bispinální šířka pánve	P	M 6*	<i>spina iliaca posterior superior</i> L**	<i>spina iliaca posterior superior</i> P**
3. acetabulární šířka pánve	Q	M 7*	střed jámy kyčelního kloubu (<i>acetabulum</i>) L**	střed jámy kyčelního kloubu (<i>acetabulum</i>) P**
4. bikristální šířka pánve	R	M 2*	nejvýše položený bod na <i>crista iliaca</i> L**	nejvýše položený bod na <i>crista iliaca</i> P**
5. příčný průměr pánevního vchodu	S	M 24*	bod největší příčné vzdálenosti (<i>diameter transversa</i>) na <i>linea terminalis</i> L**	bod největší příčné vzdálenosti (<i>diameter transversa</i>) na <i>linea terminalis</i> P**
6. předozadní průměr pánevního vchodu	T	M 23*	<i>promontorium</i> (střed horního anteriorního okraje)	střední hodnota nejvýše položených bodů plochy <i>facies symphysialis</i> levé a pravé kosti pánevní
7. příčný průměr pánevní šíře	U	M 8*	<i>spina ischiadica</i> L**	<i>spina ischiadica</i> P**
8. předozadní průměr pánevní šíře	V	T*	střední hodnota nejnižě položených bodů plochy <i>facies symphysialis</i> levé a pravé kosti pánevní	spojení 4. a 5. sakrálního obratle
9. příčný průměr pánevního východu	W	M 27*	posteriorní část vnitřní hrany příčného hřebenu na <i>tuberositas ischiadica</i> L**	posteriorní část vnitřní hrany příčného hřebenu na <i>tuberositas ischiadica</i> P**
10. předozadní průměr pánevního východu	X	M 26*	střední hodnota nejnižě položených bodů plochy <i>facies symphysialis</i> levé a pravé kosti pánevní	apex 5. sakrálního obratle

*M – Martin (1914), T – Tague (1989)

**L – levá kost pánevní, P – pravá kost pánevní

5.2 Výpočet intraobservační chyby měření

Každé měření je zatíženo chybou a právě tato chyba určuje, jak výrazný je rozdíl mezi skutečnou a naměřenou hodnotou (Zvárová 2011). Chyba měření závisí na několika faktorech, jako je přesnost měřicího přístroje, přesnost metody, provedení metody a na okolních podmínkách (Brůžek & Murail 2006). Pro tuto práci je podstatná především chyba vzniklá při umístění landmarků, která může do značné míry ovlivnit následné posuzování velikosti asymetrie.

Vytvořený templát byl použit pro stanovení intraindividuální chyby. Chyba byla počítána na základě měření všech 74 jedinců naměřených dvakrát s odstupem jednoho měsíce. K posouzení přesnosti měření byl použit výpočet průměrné absolutní odchylky – MAD [mm] („mean absolute difference“) a výpočet chybové směrodatné odchylky – TEM [mm] („technical error of measurement“) (Brůžek et al. 1994; Šmahel 2001). Odchytky byly počítány podle vzorců

$$MAD = \frac{\sum |d|}{n}$$

$$TEM = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

kde d je rozdíl mezi dvěma měřeními a n je velikost vzorku, tedy počet měřených pánevních kostí (Brůžek et al. 1994).

Dále byl počítán chybový variační koeficient, který udává míru přesnosti měření znaku (Šmahel 2001). Chybový variační koeficient vyjádřený v procentech (%) byl počítán podle vzorce

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \times 100,$$

kde s je absolutní nebo chybová směrodatná odchylka a \bar{x} je průměr hodnoceného znaku. Z předchozích studií vyplývá, že chyba měření je přijatelná, pokud je hodnota variačního koeficientu nižší než 5 % (von Cramon-Taubadel et al. 2007).

5.3 Výpočet asymetrie

Jednoznačnou výhodou je stanovení direkcionální i absolutní asymetrie v procentech, protože je zde možnost porovnání hodnot s předchozími studiemi a všechna měření jsou standardizována. Pro výpočet absolutní nebo také maximální asymetrie (AA; [%]) byl použit vzorec:

$$AA = (\text{maximum} - \text{minimum}) / [(\text{maximum} + \text{minimum}) / 2] \times 100,$$

kde „*maximum*“ je strana s největší naměřenou hodnotou a „*minimum*“ s naměřenou nejmenší hodnotou (Auerbach & Ruff 2006; Auerbach & Raxter 2008; Sládek et al. 2016; Kurki 2017). Procento absolutní asymetrie ilustruje úroveň asymetrie, avšak bez informace o směru odchylky (Kurki 2017). Je-li výsledná hodnota AA rovna nule, jedná se o bilaterální symetrii (Sládek et al. 2016).

Direkcionální asymetrie (DA; [%]) udává míru laterality a je počítána podle vzorce:

$$DA = (\text{pravá} - \text{levá}) / [(\text{pravá} + \text{levá}) / 2] \times 100,$$

kde „*pravá*“ je označení hodnoty naměřené na pravé pánevní kosti a „*levá*“ na levé pánevní kosti (Auerbach & Ruff 2006; Auerbach & Raxter 2008; Sládek et al. 2016; Kurki 2017). Pokud je výsledná hodnota kladná, jedná se o pravostrannou asymetrii, zatímco levostranná asymetrie je reprezentována zápornou hodnotou (Sládek et al. 2016). Výsledek, který je roven nule, značí absenci DA (Auerbach & Ruff 2006).

5.4 Statistické zpracování

Statistické zpracování dat probíhalo v programu Statgraphics Centurion XVII – X64 a v programu RStudio 1.2.1335. Tabulky a grafy byly vytvořeny v programu MS Excel 2016.

V této práci byla asymetrie pánve analyzována dvěma odlišnými způsoby. První přístup kombinuje Studentův párový t-test pro stanovení rozdílů mezi pravou a levou stranou a Mannův-Whitneyův U test pro určení rozdílů mezi pohlavími. Tyto testy byly použity v předchozích studiích zabývajících se asymetrií pánve, a tudíž nám dávají možnost lepšího srovnání. Druhým přístupem je smíšený model ANOVA („mixed model ANOVA“), který je sice náročnější na výpočet, ale lze díky němu současně porovnat několik hned faktorů (pohlaví, jednotlivá měření a stranu), a proto jsou výsledky ve srovnání s předchozími metodami přesnější.

Pro stanovení signifikantních rozdílů mezi levou a pravou stranou byl použit Studentův párový t-test, který porovnává mediány dvou základních hodnot (Tobolsky et al. 2016; Kurki 2017; Plochocki 2002). Test byl použit separátně pro muže i ženy. Předpokladem byla normalita dat, která byla testována pomocí Kolmogorovova-Smirnovova testu a závislost mezi porovnávanými dvojicemi, která jasně vyplývá z povahy hodnot, tedy že se jedná o dvě po sobě jdoucí měření prováděná na jednom probandovi (Zvára 2003). Byla stanovena nulová hypotéza $H_0: \mu = 0$, která předpokládá, že rozdíl mezi pravou a levou stranou je nulový, tedy absenci asymetrie. Nulová hypotéza byla zamítána na 5% hladině významnosti ($P < 0,05$).

Ke stanovení rozdílů mezi pohlavími u direkcionalní a absolutní asymetrie byl použit neparametrický dvouvýběrový Mannův-Whitneyův U test (dvouvýběrový Wilcoxonův test) (Sládek et al. 2016; Kurki 2017), jehož předpokladem jsou dva nezávislé výběry o spojitém rozdělení. Nulová hypotéza předpokládá, že rozdělení jsou stejná, tedy i populační mediány jsou stejné ($H_0: \text{medián}_1 = \text{medián}_2$) (Zvára 2003). Nulová hypotéza byla zamítána na 5% hladině významnosti ($P < 0,05$), resp. rozdíl mediánů je na 5% hladině průkazný.

K analýze rozptylů byl použit smíšený model ANOVA („mixed model ANOVA“). Jedná se o parametrickou více faktorovou ANOVU s opakováním i bez opakování (1. a 2. měření) a se smíšenými efekty, tedy že část faktorů je pevných a část je náhodných (interakce) (Schwarz 2019). Základním principem ANOVY obecně je porovnání rozptylů (míry variability) mezi jednotlivými výběry a uvnitř výběrů. Podmínkou je nezávislost, normalita a homoskedasticita výběrů (Zvára 2003). Byla testována nulová hypotéza, že jednotlivé faktory i jejich interakce jsou bez vlivu. Nulová hypotéza byla zamítána na 5% hladině významnosti ($P < 0,05$).

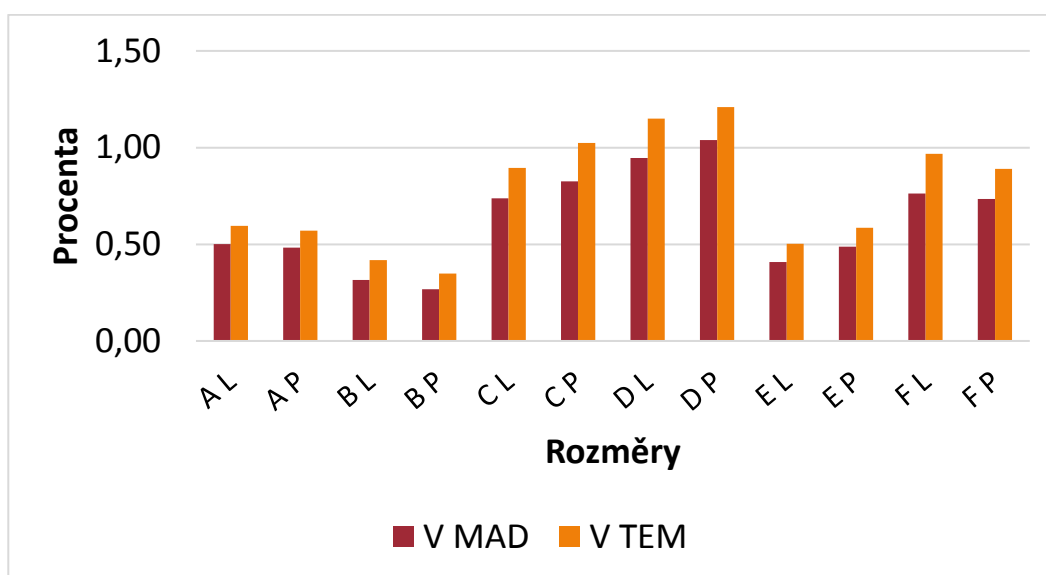
Korelace mezi vnějšími pánevními rozměry a rozměry pánevního kanálu byla stanovena pomocí Pearsonova korelačního koeficientu, resp. korelační matice (Boulay et al. 2006). Korelační matice obsahuje párové korelační koeficienty všech dvojic proměnných a je symetrická podle hlavní diagonály (Zvárová 2011). Pokud jsou dvě náhodné veličiny korelované, znamená to, že jsou lineárně závislé. Nejsou-li korelované, jsou nezávislé. Míru korelace udává korelační koeficient r , který může nabývat hodnot od -1 do 1. Čím více se ale r blíží hodnotě 1, tím těsnější je mezi nimi přímá závislost (čím větší je jeden rozměr, tím větší je i druhý rozměr). V případě, že korelační koeficient nabývá záporných hodnot jedná se závislost nepřímou (čím větší je jeden rozměr, tím menší je druhý rozměr). Je-li ale $r = 0$, není mezi veličinami žádný lineární vztah. Předpokladem korelační analýzy dat bylo jejich normální rozdělení, které bylo testováno pomocí Shapirova-Wilkova testu (Zvára 2003). V případě, že mají data normální rozdělení, lze testovat nulovou hypotézu, že korelační koeficient je nulový ($H_0: \mu_{X,Y} = 0$), tzn. že veličiny nejsou lineárně závislé. Nulová hypotéza byla zamítna na 5% hladině významnosti ($P < 0,05$).

6. Výsledky

6.1 Intraobservační chyba měření

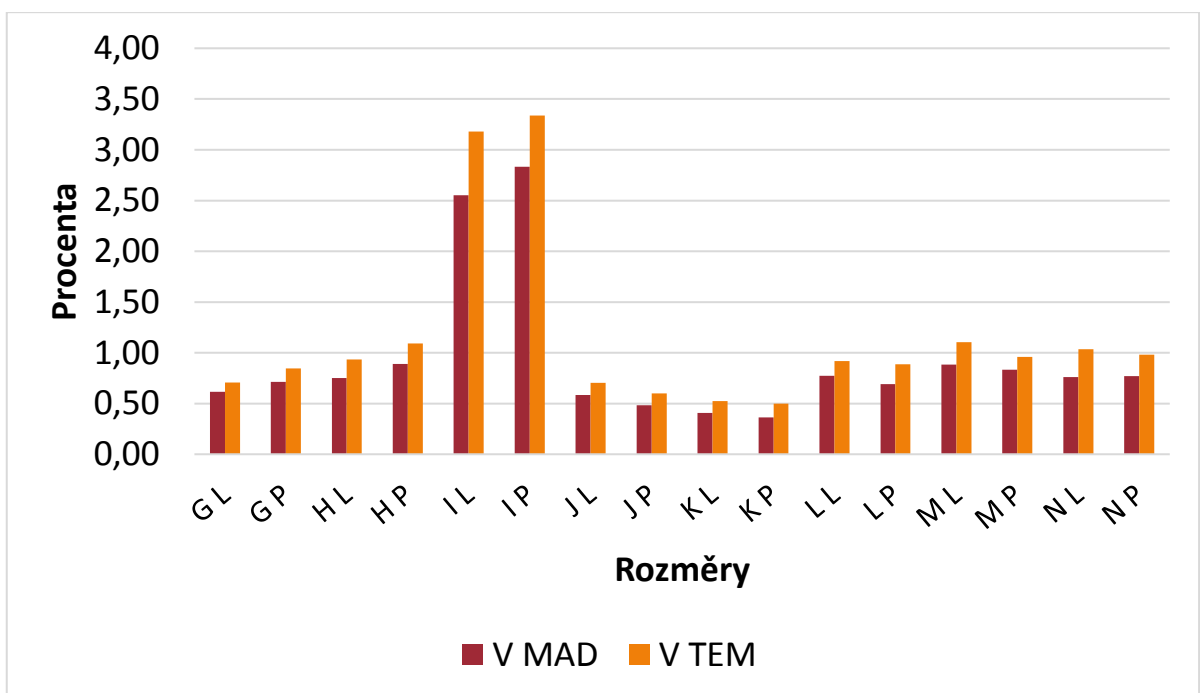
Intraobservační chyba byla počítána u všech rozměrů na pravé i levé kosti pánevní, které byly proměřeny dvakrát s odstupem jednoho měsíce. Chyba byla stanovena pomocí průměrné absolutní odchylky (MAD), chybové směrodatné odchylky (TEM) a jejich variačních koeficientů (V_{MAD} , V_{TEM}). Výsledné hodnoty odchylek jsou uváděny v milimetrech a jejich variační koeficienty v procentech.

Intraobservační chyba měření u rozměrů velké pánve počítaná pomocí MAD se pohybovala v rozmezí od 0,39 mm u vertikálního průměru jámy kyčelního kloubu, až po 0,90 mm u výšky pánve na pravé pánevní kosti (viz. Příloha 1). V procentech se hodnoty pohybovaly od 0,27 % u šířky kosti kyčelní, až po 1,04 % u výšky kosti sedací. Obdobné výsledky byly vypočítány i pomocí TEM, ke se hodnoty pohybovaly od 0,47 mm pro vertikální průměr acetabula, až po 1,09 mm u výšky pravé pánevní kosti (viz. Příloha 1). U variačních koeficientů TEM byla stanovena nejnižší hodnota opět u šířky kosti kyčelní 0,35 % a nejvyšší hodnota 1,21 % u výšky kosti sedací. Všechny variační koeficienty jsou znázorněny ve sloupcovém grafu na Obr. 14.



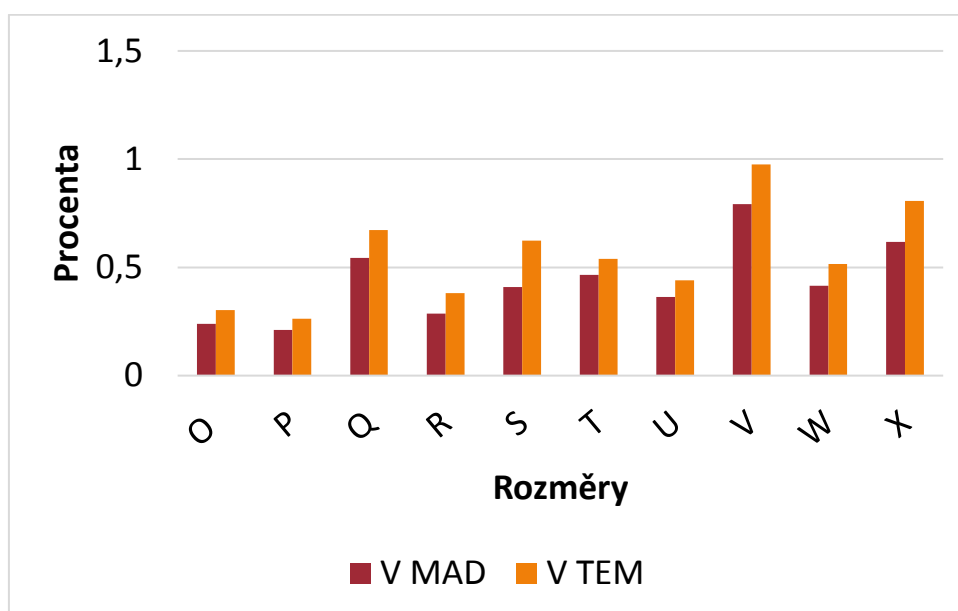
Obr. 14: Intraobservační chyba rozměrů velké pánve – počítáno pomocí variačních koeficientů. Názvy rozměrů jsou uvedeny v Tab. 2. V_{MAD} [%] a V_{TEM} [%] jsou variační koeficienty.

Intraobservační chyba měření u rozměrů pánevního kanálu počítaná pomocí MAD se pohybovala v rozmezí od 0,36 mm u anteriorní části pánevní šíře, až po 0,88 mm u posteriorní části pánevního vchodu (viz. Příloha 1). V procentech byla nejmenší a největší hodnota chyby stanovena u stejných rozměrů, tedy 0,36 % u anteriorní části pánevní šíře a 2,83 % u posteriorní části pánevního vchodu. Obdobné výsledky byly vypočítány i pomocí TEM, kde se hodnoty pohybovaly od 0,49 mm pro anteriorní část pánevní šíře, až po 1,09 mm u posteriorní části pánevního vchodu (viz. Příloha 1). U variačních koeficientů TEM byla stanovena nejnižší hodnota opět u anteriorní části pánevní šíře 0,50 % a celkově nejvyšší hodnota 3,34 % u posteriorní části pánevního vchodu. Nejvyšších hodnot nabývá intraobservační chyba měření u posteriorní části pánevního vchodu z toho důvodu, že se jedná o nejmenší z měřených rozměrů na celé pánvi, a tudíž i malá chyba měření je zde hodně výrazná. Všechny variační koeficienty jsou znázorněny ve sloupcovém grafu na Obr. 15.



Obr. 15: Intraobservační chyba měření rozměrů pánevního kanálu – počítáno pomocí variačních koeficientů. Názvy rozměrů jsou uvedeny v Tab. 2. V_{MAD} [%] a V_{TEM} [%] jsou variační koeficienty.

Intraobservační chyba měření u rozměrů pro výpočet korelace počítaná pomocí MAD se pohybovala v rozmezí od 0,24 mm u acetabulární šířky, až po 1,04 mm u největší šířky pánve (viz. Příloha 1). V procentech byla nejmenší hodnota chyby stanovena opět u acetabulární šířky 0,21 %, zatímco největší chyba byla stanovena u šířky pánevního východu 0,79 %. Obdobné výsledky byly vypočítány i pomocí TEM, kde se hodnoty pohybovaly od 0,30 mm pro acetabulární šířku, až po 1,29 mm u největší šířky pánve (viz. Příloha 1). U variačních koeficientů TEM byla stanovena nejnižší hodnota opět u acetabulární šířky 0,26 % a nejvyšší hodnota 0,98 % u šířky pánevního východu. Všechny variační koeficienty jsou znázorněny ve sloupcovém grafu na Obr. 16.



Obr. 16: Intraobservační chyba měření rozměrů pro výpočet korelace – počítáno pomocí variačních koeficientů. Názvy rozměrů jsou uvedeny v Tab. 2. V_{MAD} [%] a V_{TEM} [%] jsou variační koeficienty.

6.2 Absolutní a direkciónální asymetrie kostěné pánve

Pro stanovení úrovně absolutní (AA) a direkciónální (DA) asymetrie byly použity vzorce uvedené v kapitole 5.3. AA udává velikost asymetrie v procentech bez údaje o směru odchylky, zatímco u direkciónální asymetrie byla vždy porovnávána pravá strana oproti levé, tudíž pokud je výsledná hodnota záporná, jedná se o levostrannou asymetrii, a pokud nabývá kladných hodnot je asymetrie určena jako pravostranná. DA je udávána také v procentech.

Hodnoty direkciónální asymetrie jsou relativně nízké u obou pohlaví, většina hodnot se pohybuje kolem nuly (viz. Tab. 5 a 6, Obr. 17 a 18). Velká pánev mužů vykazuje, až na jeden rozměr (šířka kosti kyčelní), levostrannou direkciónální asymetrii. U celkové výšky pánve mužů byla identifikována nejvýraznější levostranná DA (– 1,17 %). U žen je direkciónální asymetrie rozměru šířky kosti kyčelní také pravostranná, stejně jako tomu je u vertikálního průměru jámy kyčelního kloubu, délky kosti sedací a délky kosti stydké. U zbývajících dvou rozměrů, tzn. výška pánve a kyčelní kosti je patrná výraznější levostranná DA. Nejvýraznější levostranná DA velké pánve žen byla stanovena u výšky pánve, u které nabývá hodnoty 2,05 %. Ze všech rozměrů velké pánve byla jako nejvýraznější DA stanovena pravostranná DA u žen u rozměru výšky kosti sedací (2,19 %). V pánevním kanálu není zcela konzistentní vzorec direkciónální asymetrie (Obr. 17). Pánevní kanál u mužů vykazuje z velké části levostrannou DA, vyjímaje pánevní východ, kde je direkciónální asymetrie pravostranná. U pánevního kanálu žen je vzorec DA pestřejší. Převažuje zde opět levostranná DA, avšak zadní část pánevního vchodu a pánevní šíře vykazuje asymetrii pravostrannou. A stejně jako je tomu i u mužů, v anteriorní části pánevního východu je DA pravostranná, ale u žen je podstatně výraznější.

Hodnoty absolutní asymetrie jsou napříč měřeními hodně variabilní. Vyšších hodnot nabývá především v oblasti pánevního kanálu. Nejvýraznější AA se objevuje u posteriorní části pánevního vchodu u obou pohlaví, kde její hodnota u mužů dosahuje 7,99 % a u žen 5,73 % (viz. Obr. 18). Tyto hodnoty poukazují na velkou variabilitu mezi jednotlivými měřeními. S ohledem na to, že se jedná o nejmenší ze všech rozměrů zahrnutých ve studii, lze usuzovat, že i malá chyba měření může zásadně ovlivnit hodnoty asymetrie. Nižších hodnot (mezi 1,25 – 3,21 %) nabývá AA u rozměrů velké pánve. Nejnižších hodnot dosahuje absolutní asymetrie u obou pohlaví u šířky kosti kyčelní. U žen tato hodnota činí 1,50 % a u mužů 1,25 %.

Tab. 5: Absolutní a direkcionální asymetrie velké pánve a pánevního kanálu u mužů a žen – Studentův párový t-test a Mann-Whitneyho U test.

Rozměr	Muži		Ženy	
	AA [%] (SD) ^a	DA [%] (SD) ^a	AA [%] (SD) ^a	DA [%] (SD) ^a
Velká pánev				
výška kosti kyčelní	1,41 (0,99)	<u>-0,52 (1,65)^{c,*}</u>	1,58 (1,18)	<u>-1,15 (1,60)^{c,*}</u>
šířka kosti kyčelní	1,25 (0,96)	0,84 (1,33)*	1,50 (1,05)	0,89 (1,60)*
délka kosti stydké	2,58 (2,41)	-0,26 (3,52) ^b	2,12 (1,84)	0,13 (2,80) ^b
výška kosti sedací	2,68 (2,37)	<u>-0,13 (3,58)^d</u>	3,21 (2,16)	<u>2,19 (3,18)*</u>
výška pánve	1,97 (1,79)	<u>-1,17 (2,40)*</u>	2,05 (1,44)	<u>-2,05 (1,81)*</u>
vertikální průměr acetabula	2,13 (1,80)	-0,30 (2,78)	2,31 (1,90)	0,52 (2,95)
Pánevní kanál				
hloubka pánevního kanálu	3,52 (2,27)	-1,42 (3,94)*	2,96 (4,40)	-1,92 (3,29)*
pánevní vchod anteriorní část	2,12 (1,63)	-0,68 (2,59)	2,55 (1,82)	-1,20 (2,90)*
pánevní vchod posteriorní část	<u>7,99 (5,28)</u>	-0,41 (9,57)	<u>5,73 (4,71)</u>	1,05 (7,34)
pánevní vchod antero-posteriorní průměr	2,34 (1,63)	-0,17 (2,84)	2,11 (1,61)	-0,85 (2,51)*
pánevní šíře anteriorní část	1,62 (1,46)	-0,93 (1,98)*	1,65 (1,15)	-0,76 (1,86)*
pánevní šíře posteriorní část	4,37 (2,89)	-0,44 (5,22)	3,66 (3,07)	0,16 (4,77)
pánevní východ anteriorní část	2,72 (2,17)	<u>0,01 (3,48)</u>	3,09 (2,34)	<u>1,86 (3,40)*</u>
pánevní východ posteriorní část	<u>4,97 (3,56)</u>	0,56 (6,08)	<u>3,19 (2,59)</u>	-0,64 (4,06)

^a SD = směrodatná odchylka

^b Levostranná direkcionální asymetrie vyznačena záporným znaménkem a červeně, pravostranná DA modře.

^c * jsou vyznačeny statisticky signifikantní ($P < 0,05$) rozdíly mezi pravou a levou stranou u Studentova párového t-testu.

^d Podtržení značí statisticky signifikantní ($P < 0,05$) rozdíly mezi muži a ženami u Mann-Whitneyho U testu.

Tab. 6: Absolutní a direkcionální asymetrie velké pánve a pánevního kanálu u mužů a žen – smíšený model ANOVA.

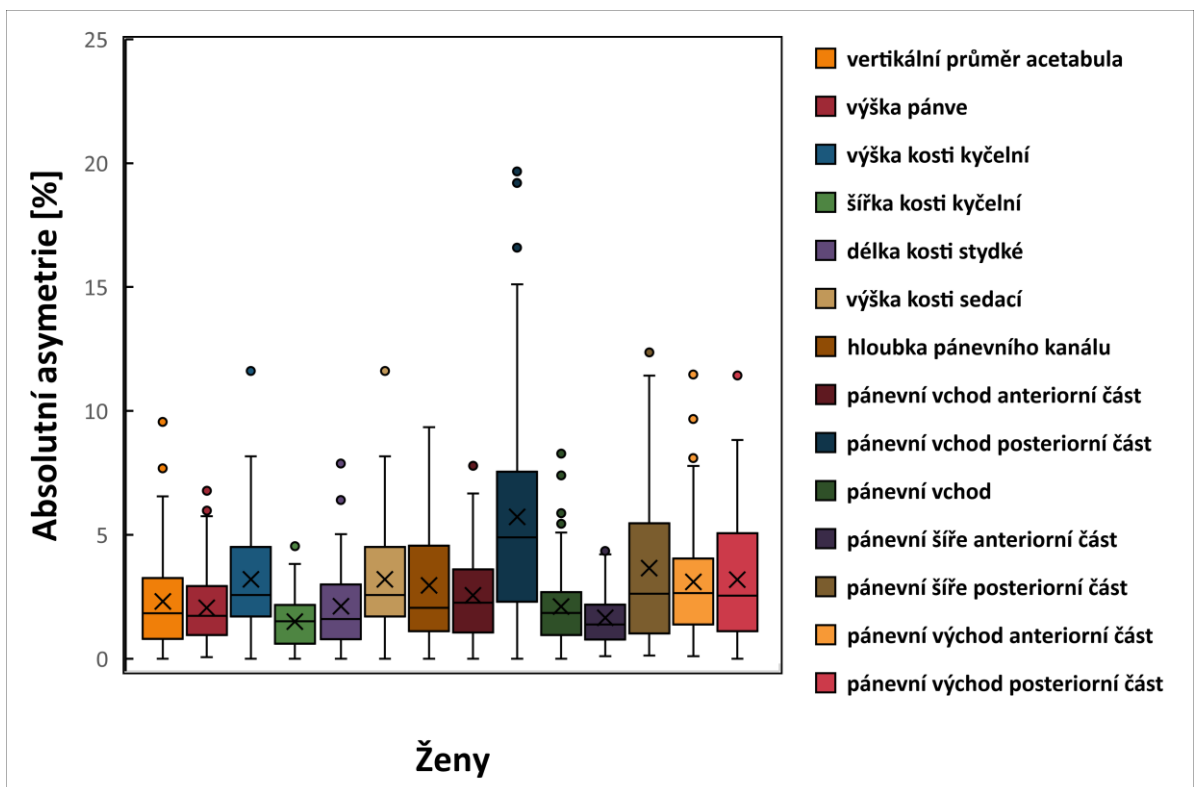
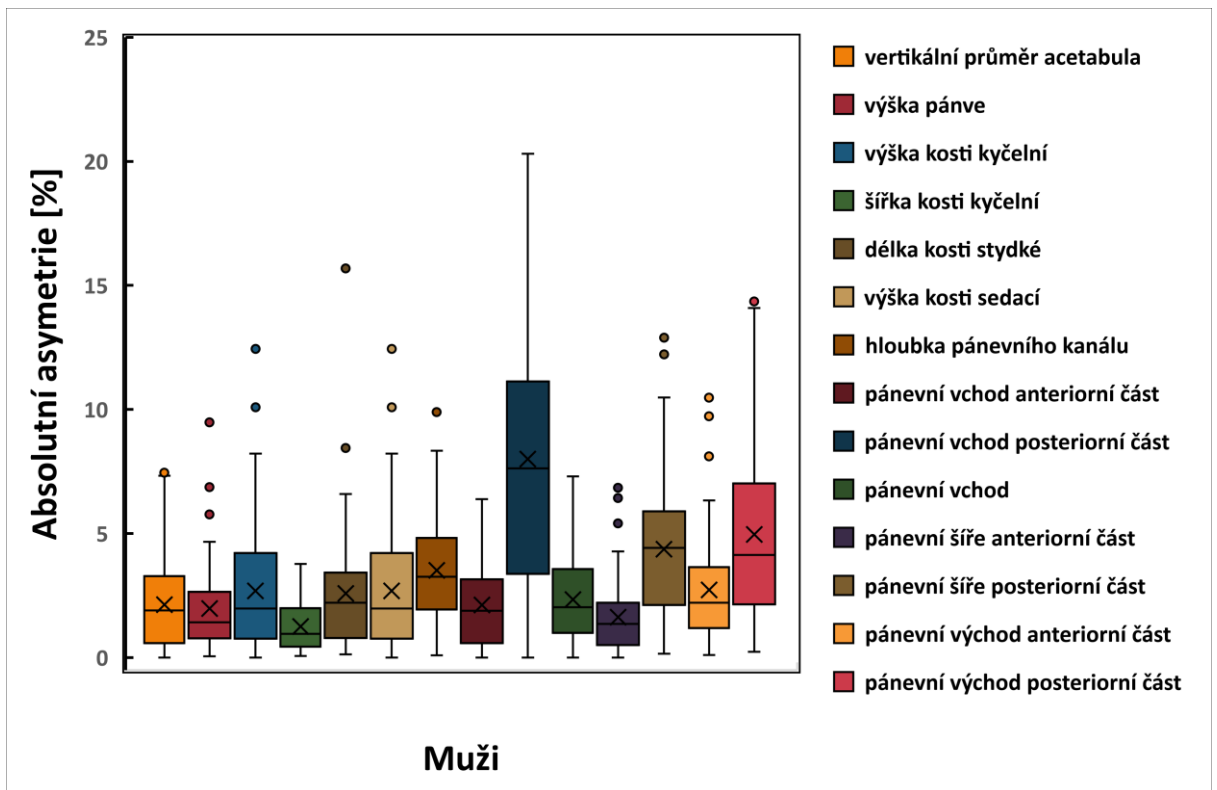
Rozměr	Muži		Ženy	
	AA [%] (SD) ^a	DA [%] (SD) ^a	AA [%] (SD) ^a	DA [%] (SD) ^a
Velká pánev				
výška kosti kyčelní	1,41 (0,99)	<u>-0,52 (1,65)^{c,*}</u>	1,58 (1,18)	<u>-1,15 (1,60)^{c,*}</u>
šířka kosti kyčelní	1,25 (0,96)	0,84 (1,33)*	1,50 (1,05)	0,89 (1,60)*
délka kosti stydké	2,58 (2,41)	-0,26 (3,52) ^b	2,12 (1,84)	0,13 (2,80) ^b
výška kosti sedací	2,68 (2,37)	<u>-0,13 (3,58)^d</u>	3,21 (2,16)	<u>2,19 (3,18)*</u>
výška pánve	1,97 (1,79)	<u>-1,17 (2,40)*</u>	2,05 (1,44)	<u>-2,05 (1,81)*</u>
vertikální průměr acetabula	2,13 (1,80)	-0,30 (2,78)	2,31 (1,90)	0,52 (2,95)*
Pánevní kanál				
hloubka pánevního kanálu	3,52 (2,27)	-1,42 (3,94)*	2,96 (4,40)	-1,92 (3,29)*
pánevní vchod anteriorní část	2,12 (1,63)	-0,68 (2,59)	2,55 (1,82)	-1,20 (2,90)*
pánevní vchod posteriovní část	7,99 (5,28)	-0,41 (9,57)	5,73 (4,71)	1,05 (7,34)
pánevní vchod antero-posteriorní průměr	2,34 (1,63)	-0,17 (2,84)	2,11 (1,61)	-0,85 (2,51)*
pánevní šíře anteriorní část	1,62 (1,46)	-0,93 (1,98)*	1,65 (1,15)	-0,76 (1,86)*
pánevní šíře posteriovní část	4,37 (2,89)	-0,44 (5,22)	3,66 (3,07)	0,16 (4,77)
pánevní východ anteriorní část	2,72 (2,17)	<u>0,01 (3,48)</u>	3,09 (2,34)	<u>1,86 (3,40)*</u>
pánevní východ posteriovní část	4,97 (3,56)	<u>0,56 (6,08)</u>	3,19 (2,59)	<u>-0,64 (4,06)</u>

^a SD = směrodatná odchylka

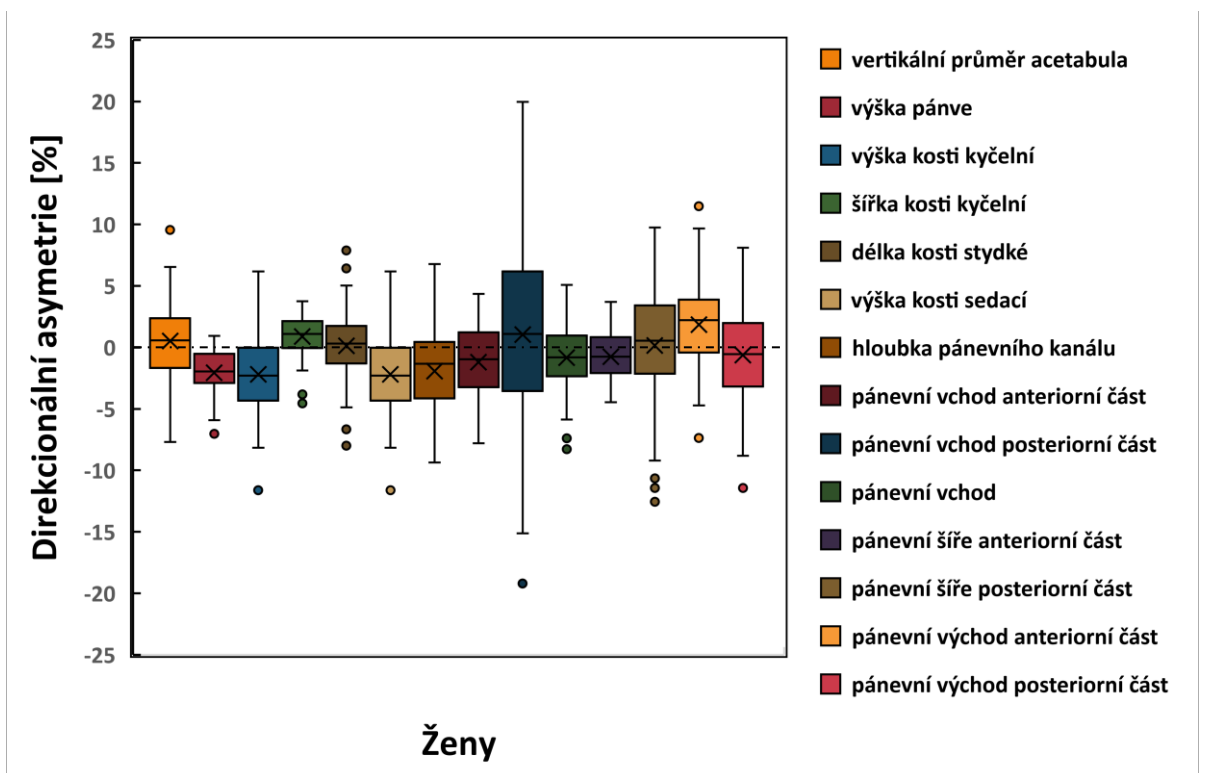
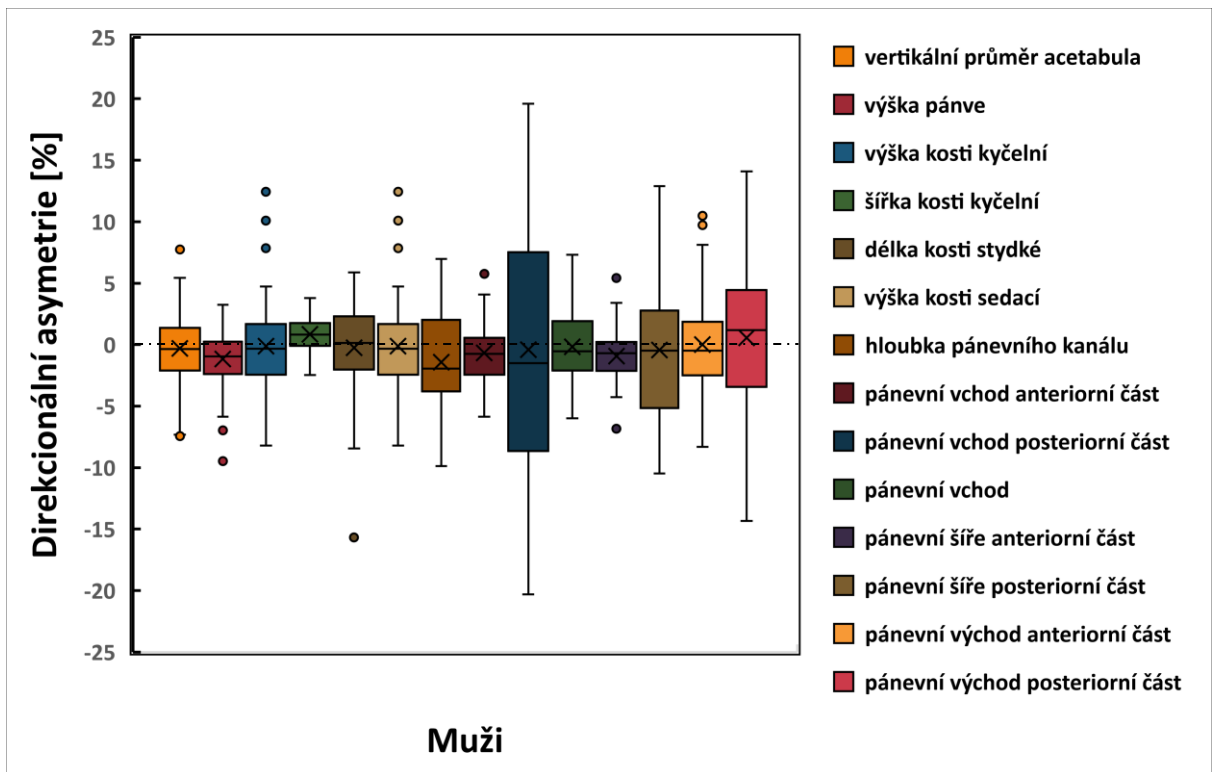
^b Levostranná direkcionální asymetrie vyznačena záporným znaménkem a červeně, pravostranná DA modře.

^c * jsou vyznačeny statisticky signifikantní ($P < 0,05$) rozdíly mezi pravou a levou stranou u smíšeného modelu ANOVA.

^d Podtržení značí statisticky signifikantní ($P < 0,05$) rozdíly mezi muži a ženami u smíšeného modelu ANOVA.



Obr. 17: Absolutní asymetrie [%] velké pánve a pánevního kanálu mužů (nahore) a žen (dole). Krabice odpovídají hodnotám mezi 25. a 75. percentilem, medián je vyznačen linií. Křížek označuje průměrnou hodnotu, úsečky značí minimum a maximum, jednotlivé body pak odlehlá pozorování.



Obr. 18: Direkcionální asymetrie [%] velké pánve a pánevního kanálu mužů (nahore) a žen (dole). Krabice odpovídají hodnotám mezi 25. a 75. percentilem, medián je vyznačen linií. Křížek označuje průměrnou hodnotu, úsečky značí minimum a maximum, jednotlivé body pak odlehlá pozorování. Záporných hodnot nabývá levostranná DA a kladný pravostranná.

6.3 Statistické zpracování

6.3.1 Studentův párový t-test

Pomocí Studentova párového t-testu byly hodnoceny rozdíly mezi pravou a levou stranou u rozměrů velké pánve a pánevního kanálu (Příloha 2). Separátně byl test proveden u mužů i žen. Byla testována nulová hypotéza, která předpokládá absenci asymetrie, tedy že rozdíl mezi pravou a levou stranou je roven nule. Nulová hypotéza byla zamítna při 5% hladině významnosti testu ($P < 0,05$). V případě, že se jedná o direkcionální asymetrii (DA) jsou rozdíly mezi pravou a levou stranou statisticky signifikantní.

U mužů byla DA prokázána u 5 ze 14 měřených rozměrů na velké pánvi a v pánevním kanálu (35,71 % měřených rozměrů), přičemž byla více orientována na levou stranu (viz. Tab. 5 a Příloha 2). Jediný rozměr, který vykazuje pravostrannou DA je šířka kosti kyčelní. Statisticky významná levostranná DA pak byla prokázána u rozměrů výšky pánve a výšky kosti kyčelní. U rozměrů pánevního kanálu pak u hloubky pánevního kanálu a v anteriorní části pánevní šíře.

Na druhou stranu u žen byl stanoven statisticky signifikantní rozdíl mezi pravou a levou stranou u 9 ze 14 měřených rozměrů, což činí 64,29 % z celkového počtu měřených znaků (viz. Tab. 5 a Příloha 2). U rozměrů velké pánve byla, stejně jako u mužů prokázána levostranná DA u výšky pánve a výšky kosti kyčelní a pravostranná DA u šířky kosti kyčelní. Z čehož vyplývá, že jak mužů, tak i u žen je levá pánevní kost a současně i kost kyčelní vyšší, zatímco pravá kost kyčelní je širší u obou pohlaví. Navíc je zde ještě DA orientovaná na pravou stranu u rozměru výšky kosti sedací. U pánevního kanálu žen byla DA prokázána u většího počtu rozměrů. Stejně jako u mužů se zde projevila levostranná DA hloubky pánevního kanálu a přední části pánevní šíře, dále je zde ještě anteriorní část pánevního vchodu a antero-posteriorní průměr pánevního vchodu. Jediná (ale výrazná) DA orientovaná na pravou stranu byla prokázána u anteriorní části pánevního vchodu.

6.3.2 Mann-Whitneyho U test

Rozdíly mezi pohlavími byly stanoveny pomocí Mann-Whitneyho U testu, proto byl test použit pro obě pohlaví současně. Byla testována nulová hypotéza, která nepředpokládá rozdíl mezi populačními mediány. Hypotéza byla zamítna na 5 % hladině významnosti ($P < 0,05$).

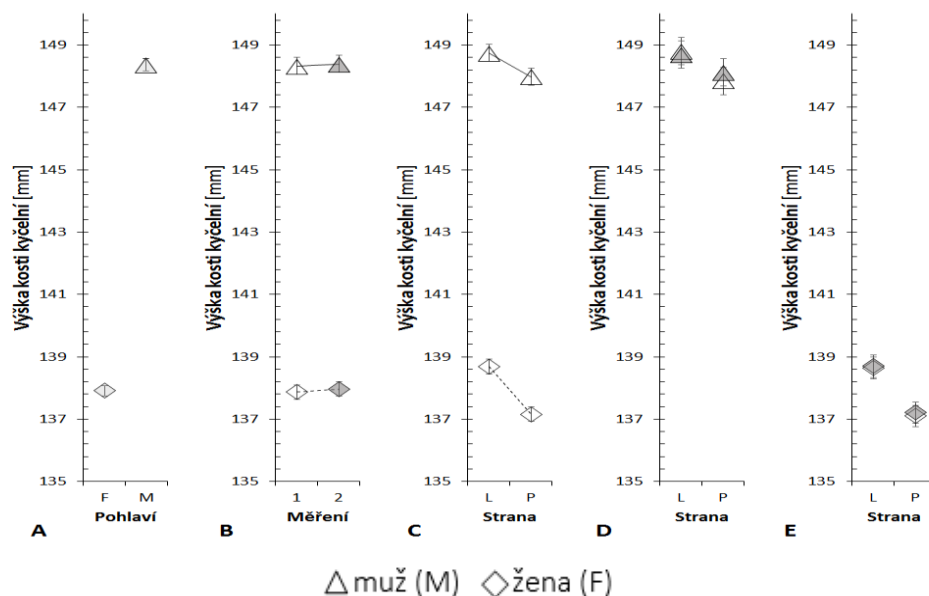
Statisticky signifikantní rozdíly byly stanoveny ve všech případech ve prospěch žen, tedy že u žen byla prokázána výraznější direkcionální i absolutní asymetrie (viz. Tab. 5 a Příloha 3). U velké pánve byla stanovena vyšší míra direkcionální asymetrie u výšky pánve, výšky kosti kyčelní a výšky kosti sedací. Zatímco u pánevního kanálu byla stanovena statisticky významná odlišnost mezi pohlavími pouze u direkcionální asymetrie přední části pánevního východu. Rozdíly v absolutní asymetrii byly zjištěny pouze u rozměrů pánevního kanálu, a to v posteriorní části pánevního vchodu a východu.

6.3.3 Smíšený model ANOVA

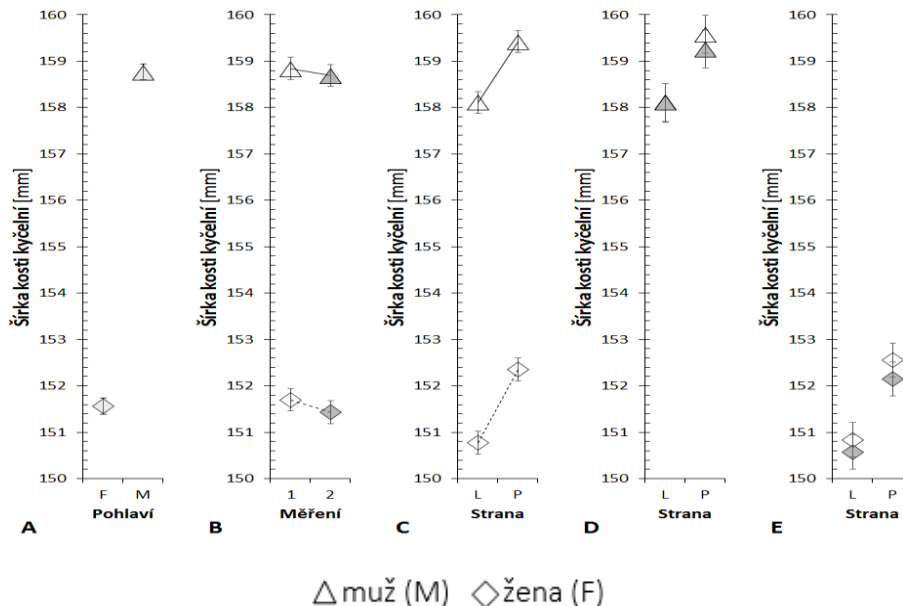
Pomocí smíšeného modelu ANOVA byly hodnoceny rozdíly mezi pravou a levou stranou a současně také rozdíly mezi jednotlivými pohlavími. Sledovanou veličinou byly jednotlivé rozměry velké pánve a testovanými faktory bylo pohlaví, levá či pravá strana a číslo měření. Byla testována nulová hypotéza, že jednotlivé faktory i jejich interakce jsou bez vlivu. Nulová hypotéza byla zamítna na 5% hladině významnosti. Výsledky jsou znázorněny v Tab. 6 a v Příloze 3.

- **Vnější pánevní rozměry (Příloha 3)**

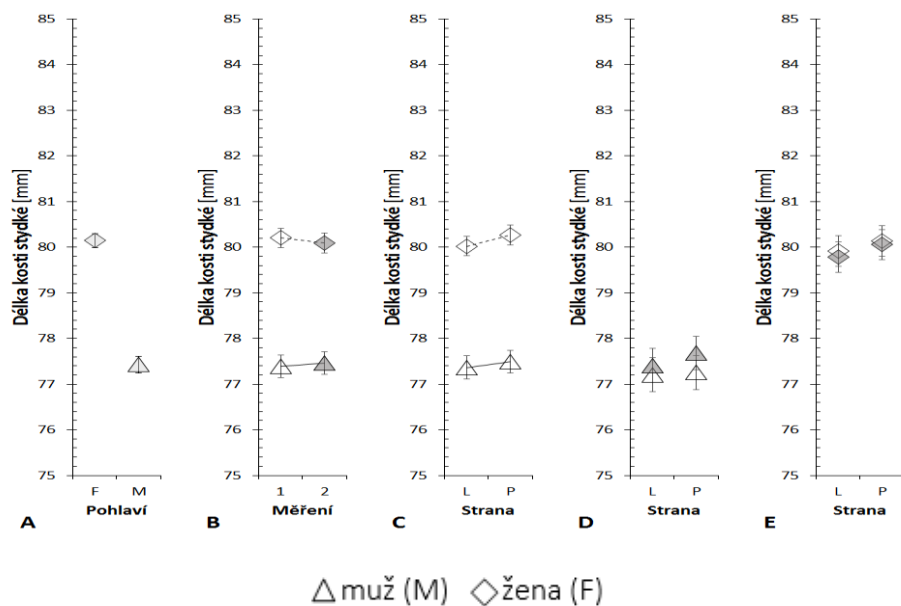
Velká pánev jak u mužů, tak i u žen vykazuje na 5% hladině statisticky významnou levostrannou asymetrii ve výšce kosti kyčelní (Obr. 19) a výšce pánve (Obr. 23). Zatímco pravostranná asymetrie byla stanovena u šířky kosti kyčelní (Obr. 20) u obou pohlaví a u žen navíc i u výšky kosti sedací (Obr. 22) a vertikálního průměru jámy kyčelního kloubu (Obr. 24). U délky kosti stydké (Obr. 21) nebyla objevena signifikantní asymetrie u žádného pohlaví. Statisticky významný rozdíl mezi pohlavími byl stanoven u 50 % rozměrů velké pánve. Jedná se o rozměry: výška kosti kyčelní, výška kosti sedací, výška pánve.



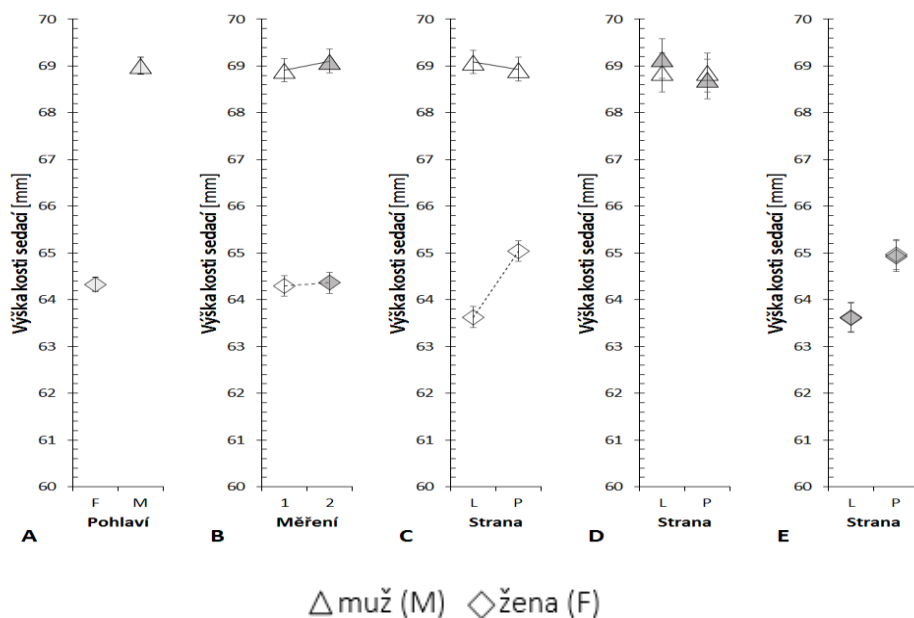
Obr. 19: Výška kosti kyčelní – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



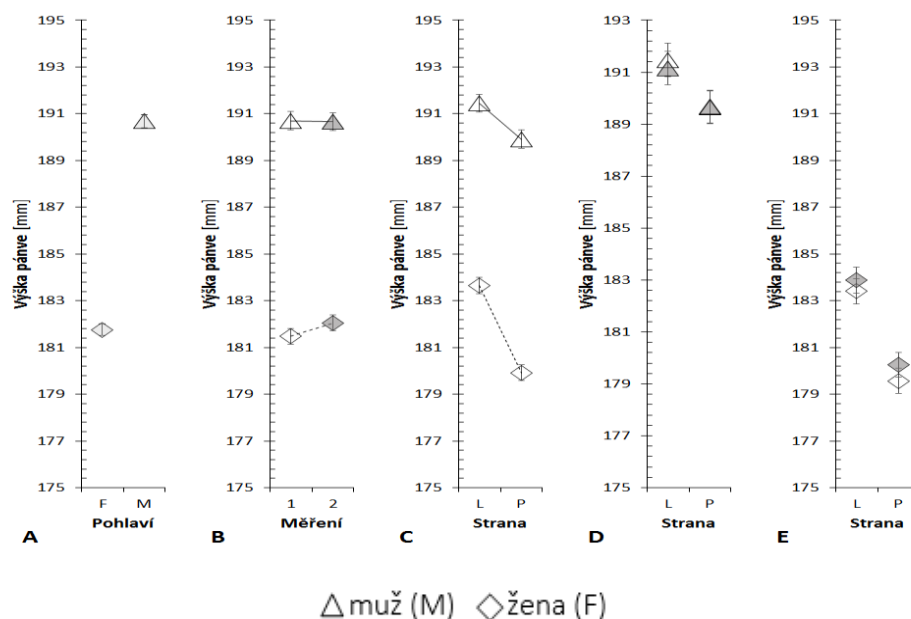
Obr. 20: Šířka kosti kyčelní – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



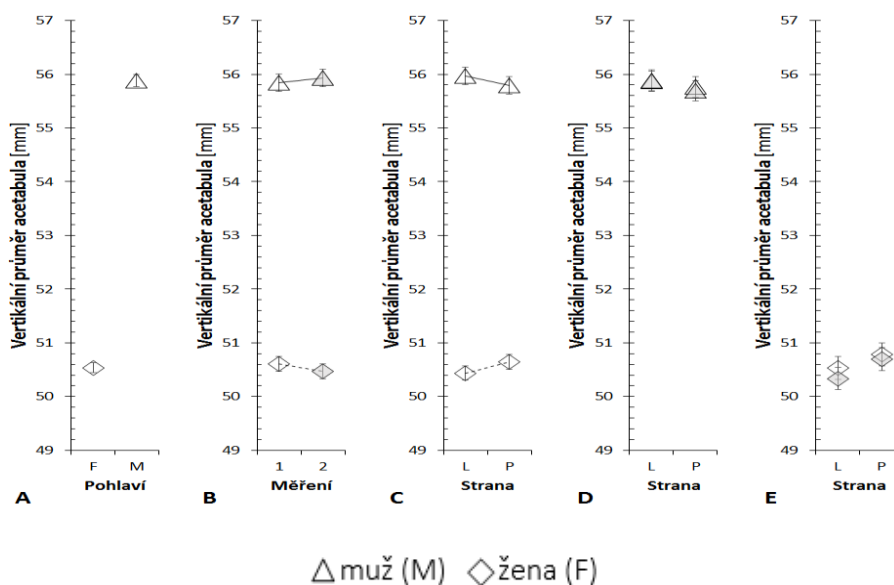
Obr. 21: Délka kosti stydké – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



Obr. 22: Výška kosti sedací – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



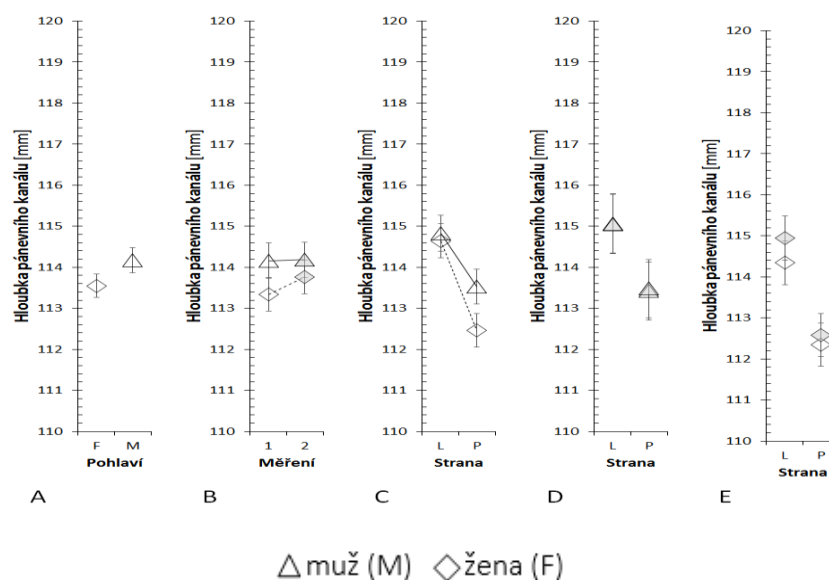
Obr. 23: Výška pánve – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



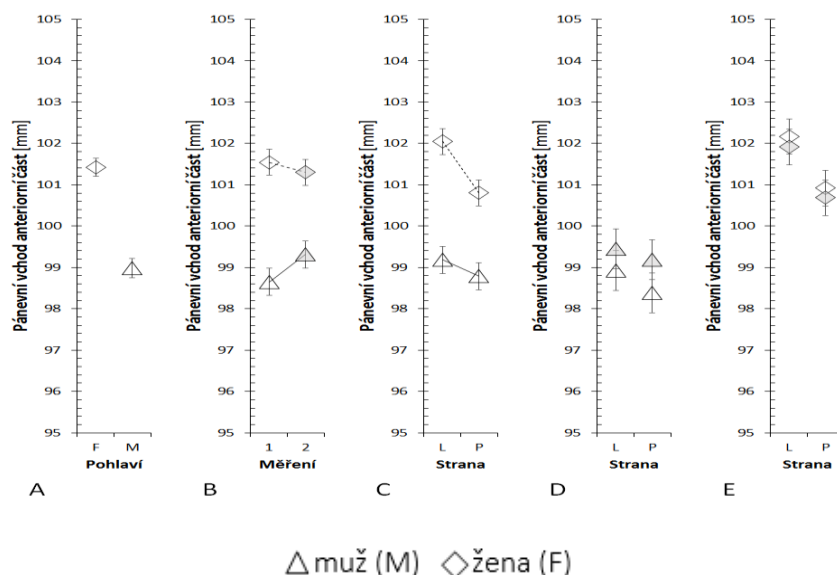
Obr. 24: Vertikální průměr jámy kyčelního kloubu (acetabulum) – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.

- **Rozměry pánevního kanálu (viz. Příloha 4)**

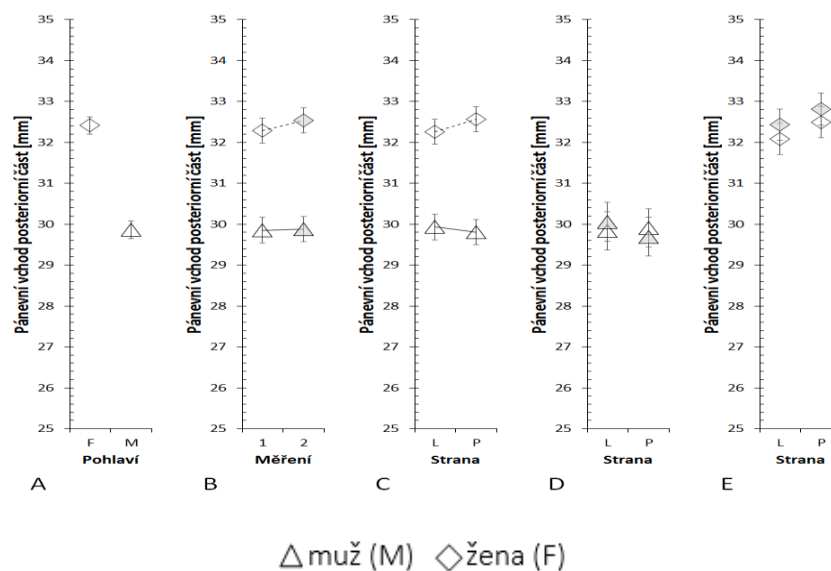
Levostranná asymetrie pánve byla stanovena u hloubky pánevního kanálu (Obr. 25) a v anteriorní části pánevní šíře (Obr. 29) u obou pohlaví. U žen byla navíc zjištěna i v anteriorní části pánevního vchodu (Obr. 26) a u rozměru antero-posteriorního průměru pánevního vchodu (vchod jako celek) (Obr. 28). Pravostranná asymetrie byla stanovena pouze u žen a to v anteriorní části pánevního východu (Obr. 31). Posteriovní část pánevního vchodu (Obr. 27), pánevní šíře (Obr. 30) i pánevního východu (Obr.32) nevykazuje žádnou významnou asymetrii. Signifikantní rozdíl mezi oběma pohlavími byl zjištěn jak v přední, tak i vzadní části pánevního východu (Obr. 31 a 32).



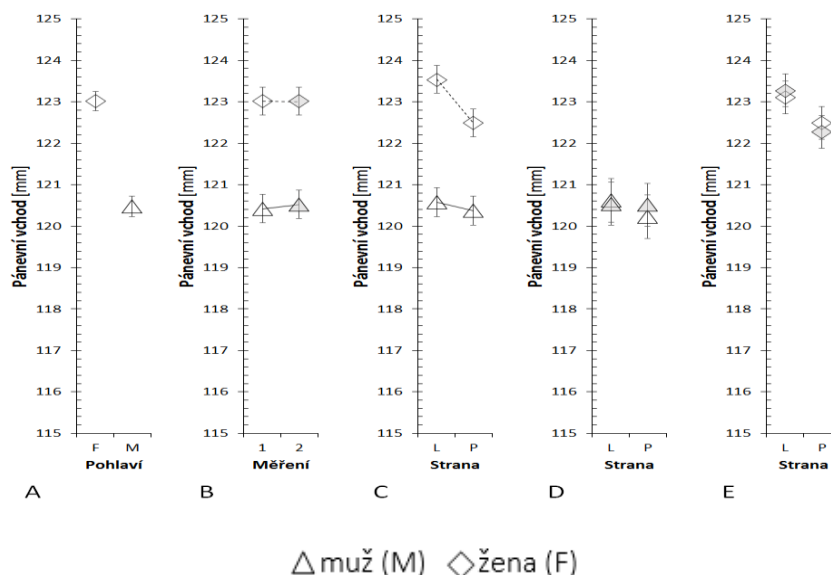
Obr. 25.: Hloubka pánevního kanálu – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



Obr. 26: Pánevní vchod anteriorní část – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.

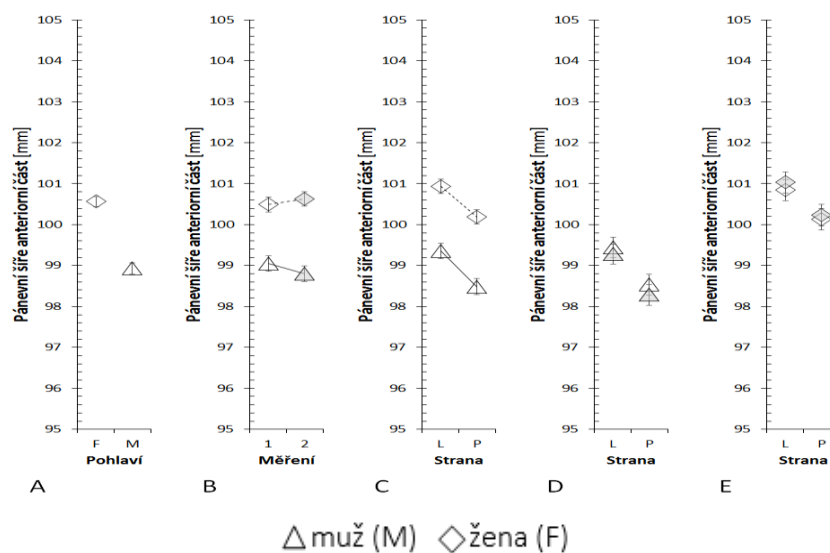


Obr. 27: Pánevní vchod posteriorní část – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.

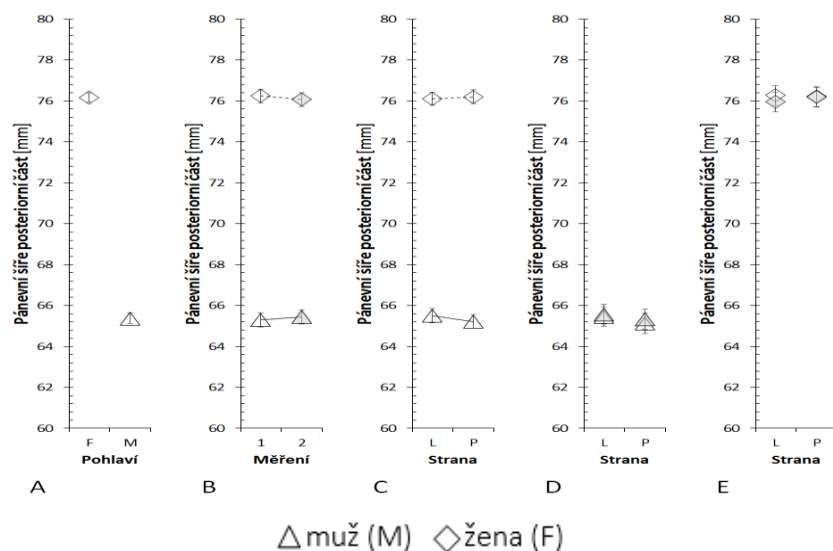


Obr. 28: Pánevní vchod antero-posteriorní průměr – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření.

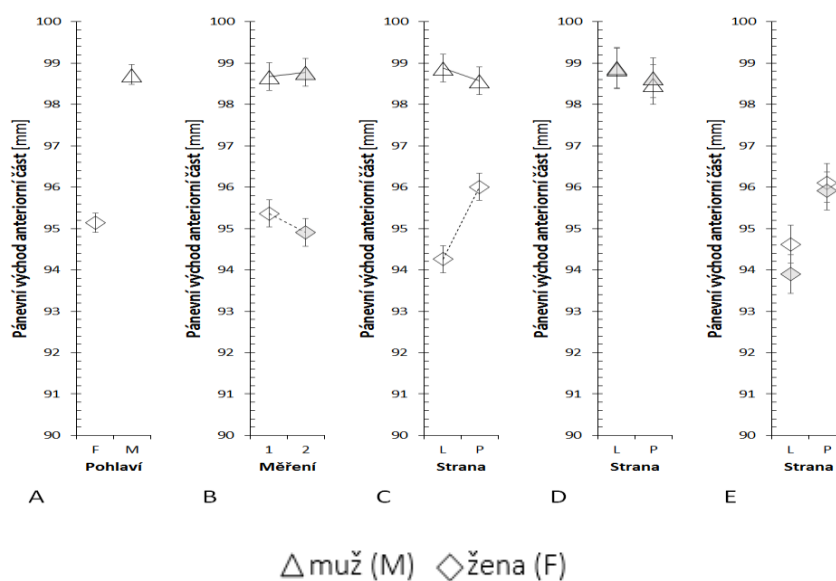
Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



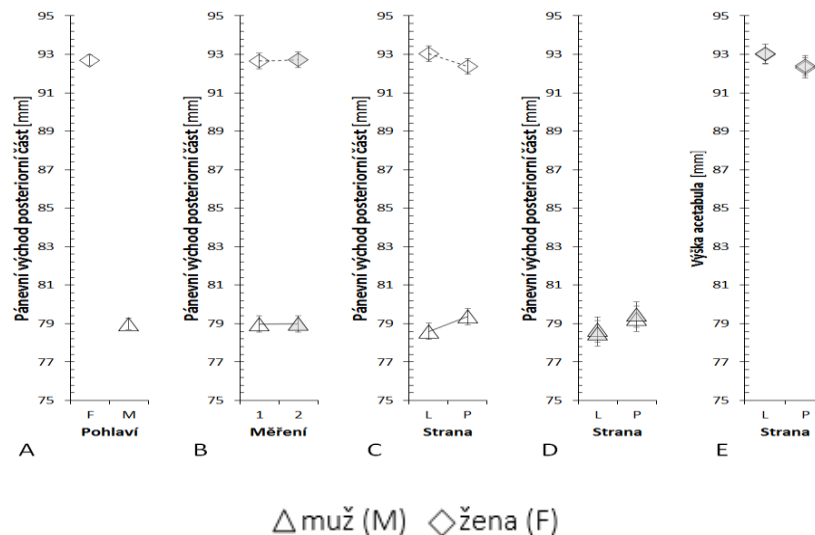
Obr. 29: Pánevní šíře anteriorní část – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



Obr. 30: Pánevní šíře posteriorní část – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



Obr. 31: Pánevní východ anteriorní část – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.



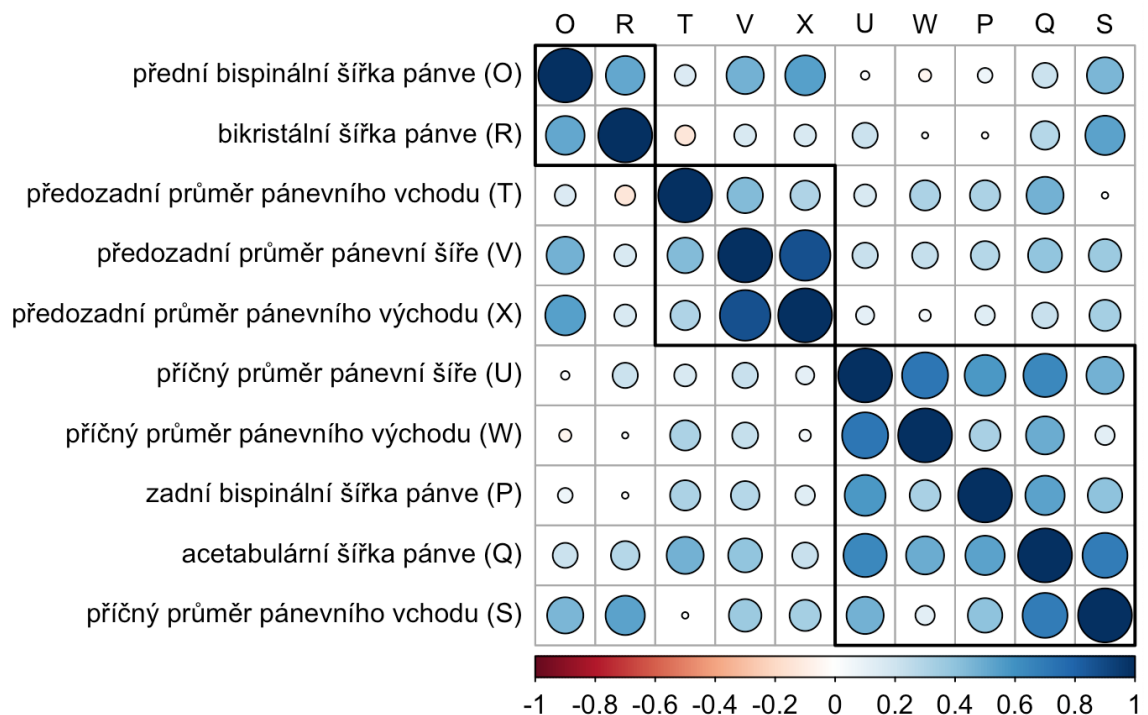
Obr. 32: Pánevní východ posteriorní část – (A) průměr naměřených hodnot u mužů a žen, (B) rozdíl mezi 1. a 2. měřením u mužů a žen, (C) porovnání levé a pravé strany u mužů a žen, (D) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u mužů, (E) rozdíl mezi jednotlivými měřeními a stranami u žen. Bílá barva je 1. měření, šedá je 2. měření. Úsečky označují 95% konfidenční intervaly.

6.3.4 Pearsonova korelační matice

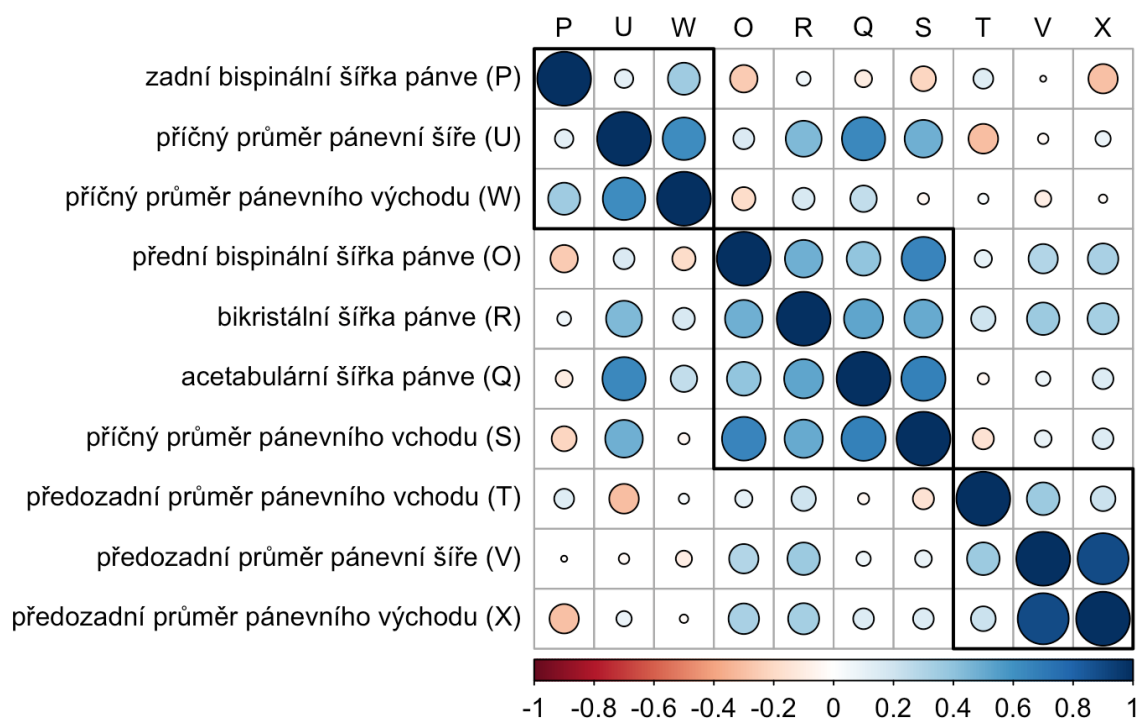
Korelace mezi vnějšími pánevními rozměry a rozměry pánevního kanálu byla stanovena pomocí Pearsonova korelačního koeficientu, resp. korelační matice. Korelační matice obsahuje párové korelační koeficienty všech dvojic proměnných a je symetrická podle hlavní diagonály (Zvářová 2011). Byla stanovena nulová hypotéza $H_0: \mu = 0$, která předpokládá, že veličiny nejsou lineárně závislé, tedy že spolu nekorelují. Nulová hypotéza byla zamítna na 5% hladině významnosti ($P < 0,05$).

U mužů byla stanovena lineární závislost u 58,33 % všech rozměrů (viz. Obr. 33 a Příloha 5). Příčný průměr pánevního východu koreluje se všemi měřenými vnějšími rozměry. Oproti tomu předozadní průměr pánevního východu, příčný průměr pánevní šíře a příčný průměr pánevního východu koreluje jen se zadní bispinální šířkou a s acetabulární šířkou pánve. U předozadního průměru pánevní šíře byla stanovena lineární závislost s přední a zadní bispinální šířkou a s acetabulární šířkou pánve. U předozadního průměru pánevního východu byla stanovena korelace pouze s přední bispinální šířkou.

U žen byla stanovena lineární závislost u celých 50,00 % všech rozměrů (viz. Obr. 34 a Příloha 5). Oproti mužům koreluje příčný průměr pánevního východu se třemi vnějšími rozměry, s výjimkou zadní bispinální šířky. U předozadního průměru pánevního východu nebyla nalezena žádná lineární závislost s vnějšími pánevními rozměry. Příčný průměr pánevní šíře koreluje s acetabulární šířkou a s bikristální šířkou pánve. Předozadní průměr pánevní šíře je lineárně závislý na přední bispinální šířce pánve a na bikristální šířce pánve, zatímco příčný průměr pánevního východu na zbývajících dvou rozměrech (stejně je tomu i u mužů). U posledního rozměru, kterým je předozadní průměr pánevního východu byla stanovena korelace s přední bispinální šířkou a s bikristální šířkou pánve, jako je tomu u předozadního průměru pánevní šíře. Navíc zde byla stanovena ještě nepřímá závislost se zadní bispinální šířkou pánve.



Obr. 33: Pearsonova korelační matice pro stanovení závislosti mezi vnějšími pánevními rozměry a rozměry pánevního kanálu u mužů. Barevná škála modré a červené udává hodnotu korelačního koeficientu a velikost kruhů udává míru statistické signifikance podle p hodnoty ($P < 0,05$).



Obr. 34: Pearsonova korelační matice pro stanovení závislosti mezi vnějšími pánevními rozměry a rozměry pánevního kanálu u žen. Barevná škála modré a červené udává hodnotu korelačního koeficientu a velikost kruhů udává míru statistické signifikance podle p hodnoty ($P < 0,05$).

7. Diskuse

Diplomová práce byla zaměřena na sledování asymetrie kostěné pánve ve vztahu k reprodukci člověka na základě analýzy 74 pánví recentní francouzské populace ve věku od 18 do 50 let. Ve většině předchozích studií (viz. Kurki 2017; Tobolsky et al. 2016; Kurki 2013b) byl ke stanovení míry asymetrie použit suchý kosterní materiál měřený pomocí kaliperu nebo posuvného měřidla a pro měření rozměrů pánevního kanálu bylo třeba spojit obě pánevní kosti s kostí křížovou pomocí elastických pásek. Oproti tomu byly v této práci k analýze asymetrie použity 3D modely pánví vytvořené na základě CT snímků v programu Avizo 7.1 a samotné měření probíhalo v počítačovém softwaru Viewbox 4.0. Lze tedy předpokládat, že jednotlivá měření byla v této práci přesnější. Na druhou stranu bylo ve většině dřívějších studií obvykle testováno více než 100 probandů s různou populační afinitou, což ve výsledku znamenalo, že vědci měli k dispozici v průměru 20-30 jedinců z každého geografického území. Žádný signifikantnější vliv populační příslušnosti však nebyl v předchozích studiích objeven, z čehož vyplývá, že geografická variabilita souborů výsledky příliš neovlivnila (Plochocki 2002; Tobolsky et al. 2016; Kurki 2017). V této práci nebyla populační afinita předmětem zkoumání.

Intraobservační chyba měření

Chyba měření je obecně definována jako rozdíl mezi skutečnou hodnotou měřené veličiny a hodnotou, která byla stanovena samotným měřením (Zvárová 2011). Zatímco samotná intraobservační chyba měření je rozdíl mezi jednotlivými měřeními daného rozměru. Během jednotlivých měření se uplatňuje několik faktorů, které mohou ovlivnit výslednou hodnotu a závěry z ní vyplývající. Jedná se zejména o kvalitu a zchovalost kosterního materiálu, přesnost metody a měřících přístrojů. Dalším faktorem může být i nepřesná definice měřených rozměrů či chyba způsobená člověkem v závislosti na jeho osobních zkušenostech, tzv. interobservační chyba (Brůžek et al. 1994). V této práci byla podstatná především chyba vzniklá při umístění landmarků na trojdimensionální modely pánví, která mohla do značné míry ovlivnit posuzování velikosti asymetrie.

Intraobservační chyba byla počítána pomocí průměrné absolutní odchylky (MAD), chybové směrodatné odchylky (TEM) a jejich variačních koeficientů (Brůžek et al. 1994) u všech rozměrů velké pánve, pánevního kanálu i u rozměrů pro výpočet korelace.

U rozměrů velké pánve a u korelačních rozměrů se hodnoty MAD pohybovaly v rozmezí 0,24 – 1,04 mm a hodnoty TEM mezi 0,30 – 1,29 mm. Přičemž intraobservační chyba u těchto rozměrů překročila hranici 1 % pouze u výšky kosti sedací. Obdobných výsledků bylo dosaženo i u rozměrů pánevního kanálu s výjimkou posteriorní části pánevního vstupu, kde se hodnota intraobservační chyby pohybovala okolo 3 %. Vzhledem k tomu, že se jedná o nejmenší z měřených rozměrů na celé pánvi, je zde i malá chyba měření hodně výrazná. K obdobným závěrům došli i ve studii Tobolsky a kol. (2016), kde byla navíc zjišťována i interobservační chyba mezi jednotlivými badateli. V jejich studii nepřekročila hodnota intra- i interobservační chyby hranici 3 %.

Odlíšné přístupy statistické analýzy

V této práci bylo k hodnocení míry asymetrie použito hned několik přístupů. Kromě základního stanovení direkcionalní (DA) a absolutní (AA) asymetrie podle vzorců (viz. kap. 5.3) zde byly využity dva způsoby statistického hodnocení. První z nich vycházel z předchozí literatury, ve které byla asymetrie hodnocena pomocí dvou testů (Kurki 2017; Tobolsky et al. 2016; Boulay et al. 2006). Rozdíly mezi pravou a levou kostí pánevní zde byly testovány pomocí Studentova párového t-testu a pro rozdíly mezi pohlavími, tzn. pro stanovení pohlavního dimorfismu asymetrie, byl použit Mann-Whitneyho U test. Výhodou kombinace těchto testů byla lepší možnost porovnání výsledků s předchozími studii a současně také jejich jednoduché provedení. Na druhou stranu jejich prostřednictvím nelze zohlednit intraobservační chybu, která při zkoumání asymetrie skeletu může hrát důležitou roli, tedy že může docházet ke zkreslení výsledků a výsledná asymetrie může být detekována jako větší či naopak menší.

Druhým přístupem statistické analýzy bylo použití smíšeného modelu ANOVA („mixed model ANOVA“) (Schwarz 2019), jehož výsledky sice nelze porovnat s předchozími výzkumy asymetrie pánve, ale lze je srovnat s výsledky prvního přístupu, tedy s výsledky Studentova párového t-testu a Mann-Whitneyho U testu. Smíšený model ANOVA zahrnuje do analýzy kromě pohlaví a rozdílů mezi pravou a levou stranou i intraobservační chybu stanovenou mezi prvním a druhým měřením každého rozměru. Díky tomu jsou výsledky přesnější a mají větší výpovědní hodnotu. Jedinou nevýhodou je časová a technická náročnost testu.

Při porovnání výsledků obou přístupů statistické analýzy zjišťujeme, že výsledky jsou do jisté míry shodné, avšak u smíšeného modelu ANOVA vychází vyšší signifikance jednotlivých stranových asymetrií (Tab. 7). Oproti prvnímu přístupu zde byla navíc prokázána pravostranná asymetrie vertikálního průměru jámy kyčelního kloubu a statisticky významný pohlavní dimorfismus v zadní části pánevního východu. Tyto výsledky byly objeveny díky vyšší citlivosti testové statistiky.

Tab. 7: Srovnání statistických přístupů dle procenta statisticky významných výsledků, které byly stanoveny na 5% hladině významnosti.

Testová statistika	Studentův párový t-test + Mann-Whitneyho U test	Smíšený model ANOVA
Statisticky signifikantní výsledky [%]		
Velká pánev – muži	50,00	50,00
Velká pánev – ženy	66,67	83,33
Pánevní kanál – muži	25,00	25,00
Pánevní kanál – ženy	62,50	62,50
Rozdíly mezi pohlavími	28,57	35,71
Celkem	46,55	51,31

Asymetrie velké pánve

U mužů byla prostřednictvím výše zmíněných metod stanovena levostranná DA velké pánve, s výjimkou jednoho rozměru, kterým byla šířka kosti kyčelní, u které byla objevena pravostranná DA. Shodných výsledků bylo dosaženo i v práci Tobolsky a kol. (2016) nebo ve studii Badii a kol. (2003), kde bylo zjištěno, že levá pánevní kost je výrazně vyšší než pravá. Většina asymetrií, zejména direkcionalní asymetrie, studovaných na lidském těle je typicky interpretována ve vztahu k biomechanické zátěži, která působí na jedince v průběhu celého života. Lze tedy očekávat, že na pánvi, která je součástí dolní končetiny, bude patrná obdobná asymetrie jako na skeletu dolní končetiny. Tento předpoklad podporují např. studie Auerbach a Ruff (2006) nebo Čuk a kol. (2001), ve kterých byla stanovena levostranná DA délky a epifyzární šířky kosti stehenní.

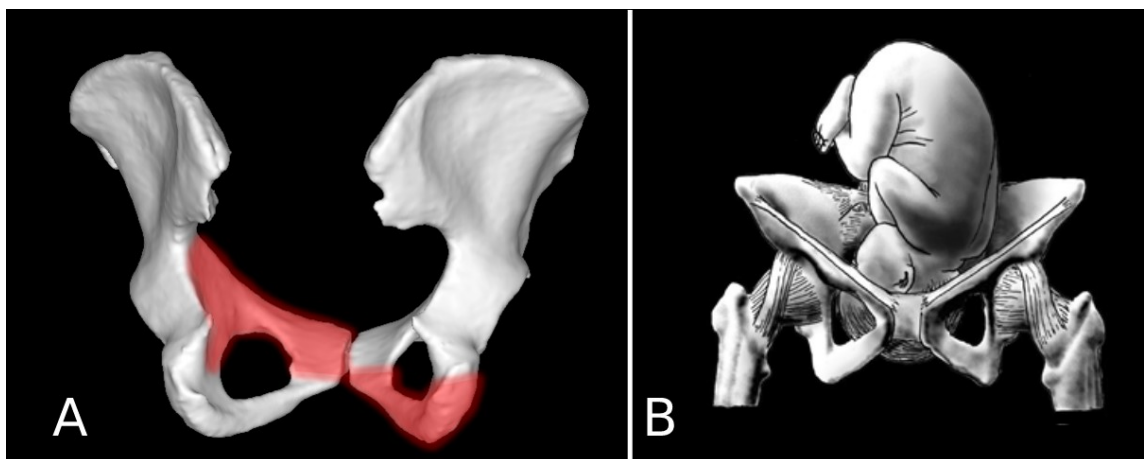
Zatímco u mužů byl detekován převážně levostranný trend DA velké pánve, který je konzistentní s levostrannou DA popsanou na dolní končetině, u žen vykazovaly stejné rozměry především pravostrannou asymetrii. Levostranná DA byla stanovena pouze u dvou rozměrů, kterými jsou výška pánve a výška kosti sedací. Stejný vzorec DA rozměrů velké pánve u žen byl objeven i v nedávných studiích Kurki (2017) a Boulay a kol. (2006), což se ale neshoduje s výsledky, které demonstrovala dříve Tobolsky a kol. (2016), v jejichž studii byl prokázán levostranný trend asymetrie velké pánve u obou pohlaví. Dalším aspektem, který ovlivňuje asymetrii velké pánve je to, že pánev funguje jako pevná opora páteře a přenáší tak váhu trupu na dolní končetiny (Boulay et al. 2006). Tato skutečnost může být příčinou vzniku pravostranné DA v horní části pánve, která koresponduje s pravostrannou DA v horní část lidského těla a promínuje více u žen než u mužů (Auerbach & Ruff 2006; Kubicka et al. 2016), zatímco v dolní části je výraznější levostranná DA, která lépe koresponduje s asymetrií dolní volné končetiny.

Asymetrie pánevního kanálu

Při hodnocení asymetrie pánevního kanálu byl postup shodný s analýzou asymetrie velké pánve. U hloubky pánevního kanálu byla u obou pohlaví stanovena signifikantní levostranná DA shodná s tou, která byla popsána v předchozích studiích (Kurki 2017; Tobolsky et al. 2016). V práci Tobolsky a kol. (2016) byl popsán mozaikový vzorec direkcionální asymetrie pánevního kanálu pro obě pohlaví, kde v každé rovině byla v anteriorní části popsána pravostranná DA a v posteriorní části levostranná DA. Oproti tomu byl v této práci stanoven odlišný vzorec u jednotlivých pohlaví. V pánevním kanálu mužů převažuje levostranná DA, zatímco pravostranná DA byla stanovena pouze v přední a zadní části pánevního východu. Všechny hodnoty DA pánevního kanálu u mužů kolísají kolem nuly. U žen převažuje opět signifikantní levostranná DA v přední části pánevního kanálu (pánevní vchod a šíře) s tím rozdílem, že v zadní části pánevního vchodu a pánevní šíře byla stanovena pravostranná DA (Obr. 35 A). U pánevního východu se tento vzorec obrací a je zde patrný trend shodný s prací Tobolsky a kol. (2016).

Důležitým aspektem ovlivňujícím symetrii ženské pánve je její porodnická funkce. Předpokladem hladkého průběhu porodu je nižší míra asymetrie v klíčových dimenzích porodních cest ženy, ale pouze v těch, na které nepůsobí tlak způsobený rotačním porodním mechanismem. Naopak u těch rozměrů, které ovlivňuje rotační porodní

mechanismus nejvíce, lze očekávat vyšší míru asymetrie. Důsledkem je omezení odpovědi biologicky plastického organismu na biomechanické zatížení spjaté s dolní končetinou. Vzorec DA stanovený v této práci je ve shodě se studií Petra Pachnera (1937), ve které bylo zjištěno, že levá část pánevního kanálu je u žen prostornější. Tomu odpovídá i nejčastější levé přední postavení plodu při standartním průběhu porodu (viz. Obr. 35 B) (Cunningham et al. 2018). Hlavička dítěte se tak staví svou nejmohutnější částí do nejprostornější části pánevního kanálu, což odpovídá signifikantní levostranné DA v přední části pánevního vchodu a pánevní šíře. Plod tedy během porodu naléhá hlavičkou a zády na levou přední část pánevního kanálu, po kterém rotuje. V rovině pánevního východu je již plod v postavení předním, tedy nejdelší rozměr hlavičky odpovídá předozadnímu průměru pánevního východu. Tudíž se zde může etablovat pravostranná DA anteriorní části pánevního východu, která vyrovnává asymetrii na dolní končetině (Tobolsky et al. 2016; Boulay et al. 2006).



Obr. 35: Vztah asymetrie pánevního kanálu žen a rotačního porodního mechanismu – (A) červeně vyznačena signifikantní direkcionální asymetrie přední části pánevního kanálu, posteriorní pohled, (B) levé přední postavení plodu, anteriorní pohled (převzato z www.porodnice.cz)

Absolutní asymetrie

Z předchozí studie Kurki (2017) vyplývá, že absolutní asymetrie velké pánve obecně nabývá nižších hodnot než AA pánevního kanálu. Na shodné výsledky poukázala i tato práce, ve které se hodnota AA u mužů pohybovala mezi 1,25 – 2,68 %, podobně jako tomu

bylo u žen, kde absolutní asymetrie nabývala hodnot od 1,5 % do 3,21 %. Oproti tomu nabývala absolutní asymetrie pánevního kanálu vyšších hodnot. U žen se hodnota AA pohybovala v rozmezí 1,65 – 5,73 %. Obdobné hodnoty byly stanoveny i u mužů, kde se hodnota AA pohybovala mezi 1,62 – 7,99 %. Nízká hladina AA velké pánve vypovídá o celkově nízké variabilitě napříč souborem, z čehož vyplývá, že velká pánev je méně biologicky plastická než pánevní kanál (Kurki 2013b). Ve srovnání s rozměry velké pánve, byly hodnoty absolutní asymetrie u rozměrů pánevního kanálu výrazně vyšší, a to zejména v posteriorní části pánevního východu. Ke stejným výsledkům dospěla např. ve své práci i Kurki (2017). Předchozí studie ukázaly (Kurki 2013b; Kurki & Decrausaz 2016), že pánevní kanál je oproti velké pánvi variabilnější, co do velikosti i tvaru, což značí, že asymetrie pánevního kanálu je ovlivněna vysokým stupněm biologické plasticity, tedy schopností adaptivní odpovědi na biomechanické zatížení. Toto tvrzení je opět v souladu s interpretací DA především na horní končetině (Blackburn 2011; Auerbach & Raxter 2008).

Pohlavní dimorfismus asymetrie

Pohlavní dimorfismus direkcionální asymetrie byl stanoven u poloviny rozměrů velké pánve. Jednalo se o výšku sedací a kyčelní kosti a celkovou výšku pánve. Všechny tyto signifikantní rozdíly byly ve prospěch žen, resp. u žen byla stanovena vyšší míra direkcionální asymetrie. U absolutní asymetrie velké pánve nebyl objeven žádný sexuální dimorfismus. Direkcionální asymetrie pánevního kanálu vykazovala rozdíl mezi jednotlivými pohlavími pouze v přední a zadní části pánevního východu. Ale na rozdíl od velké pánve zde byl stanoven pohlavní dimorfismus absolutní asymetrie posteriorní části pánevního vchodu a pánevního východu. Oproti tomu v předchozích studiích (Kurki 2017; Tobolsky et al. 2016) nebyl nalezen téměř žádný signifikantní rozdíl DA mezi pohlavími, ani u měření prováděných na velké pánvi ani v pánevním kanálu.

Korelace vnějších a vnitřních pánevních rozměrů

Lineární závislost mezi vnějšími a vnitřními pánevními rozměry byla u mužů stanovena u 58,33 % všech rozměrů. Nejvýraznější korelace byly objeveny u acetabulární šířky, která nejsilněji koreluje s příčným průměrem pánevního vchodu. Silná pozitivní korelace byla stanovena i s předozadním průměrem pánevního vchodu, ale i s příčnými

průměry zbývajících dvou rovin. Přední bispinální šířka pánve nejsilněji korelovala s předozadním průměrem pánevní šíře a pánevního východu. Zatímco zadní bispinální šířka pozitivně korelovala jen s příčným průměrem pánevní šíře. Nejnižší korelace byly stanoveny u bikristální šířky, která koreluje pouze s přímým průměrem pánevního východu.

U žen byla stanovena korelace pouze u 50,00 % ze zjišťovaných rozměrů. Nejsilnější lineární závislost byla stanovena mezi acetabulární šířkou a příčným průměrem pánevního východu a pánevní šíře. Acetabulární šířku, která byla měřena v této práci, lze připodobnit k intertrochanterické šířce, která vzhledem k povaze materiálu nemohla být v této práci zkoumána. Z předchozí studie ale vyplývá, že příčný průměr pánevního východu odpovídá přibližně 44 % vzdálenosti naměřené mezi trochantery (Pachner 1937). Z toho lze usuzovat, že i na základě acetabulární šířky je možné predikovat délku příčného průměru pánevního východu. Dále byla zjištěna korelace mezi přední bispinální šířkou a příčným průměrem pánevního východu. Vzdálenost spin však není možno ani přibližně použít k určení příčného průměru pánevního východu (Pachner 1937). Jediná záporná korelace byla objevena mezi zadní bispinální šířkou a předozadním průměrem pánevního východu, z čehož vyplývá, že čím větší bude vzdálenost mezi posteriorními spinami, tím užší bude předozadní průměr pánevního východu, který je jeho nejdelším rozměrem. Bikristální šířka koreluje jak s příčným průměrem pánevního východu, tak i pánevní šíře, tzn. čím větší bude největší šířka pánve, tím delší budou příčné průměry obou rovin. Pachner (1937) ve své práci uvádí, že příčný průměr pánevního východu ženské pánve se rovná přibližně 47 % bikristální vzdálenosti. Příčný průměr pánevního kanálu lze jako jediný predikovat na základě vnějších pánevních rozměrů.

Vzhledem k relativně nízkému procentu případů, ve kterých byla stanovena korelace mezi vnějšími a vnitřními pánevními rozměry, což vyplývá z odlišných trendů asymetrie velké pánve a pánevního kanálu (viz. výše), nelze z vnějších pánevních rozměrů spolehlivě odhadnout morfologii porodních cest žen.

8. Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit míru asymetrie morfologicko-funkčních částí kostěné pánve recentní francouzské populace na základě CT snímků s ohledem na pohlaví. V první části jsme chtěli ověřit existenci levostranné direkcionální asymetrie u obou pohlaví. Dále jsme chtěli porovnat variabilitu pánevního kanálu u mužů a žen, a ověřit tak existenci pohlavního dimorfismu asymetrie. A současně také stanovit lineární závislost mezi velkou pávní a pánevním kanálem. V neposlední řadě jsme chtěli posoudit, zdali lze na základě vnějších pánevních rozměrů predikovat morfologii porodních cest ženy, a jak tuto predikci ovlivňuje existence asymetrie.

V první části práce byla ověřena existence levostranné direkcionální asymetrie velké pánve u mužů, která se shoduje s výsledky předešlých studií, ve kterých byl ke stanovení velikosti asymetrie použit suchý kosterní materiál. Oproti tomu velká pánev žen vykazovala výraznou pravostrannou asymetrii ve většině měřených rozměrů. Námi stanovenou hypotézu, že velká pánev vykazuje levostrannou asymetrii, se tedy podařilo potvrdit pouze u mužů nikoli u žen.

Dále jsme potvrdily, že pánevní kanál vykazuje zřetelný pohlavní dimorfismus asymetrie. U mužů byla v pánevním kanálu stanovena převažující levostranná direkcionální asymetrie, která byla objevena i na velké pánvi, kde je interpretována v souvislosti s asymetrií dolní končetiny. Zatímco u žen byl stanoven signifikantní vzorec asymetrie, který odpovídá jeho porodnické funkci, resp. postavení plodu a rotačnímu porodnímu mechanismu. Bylo tedy potvrzeno, že pánevní kanál žen vykazuje vyšší míru asymetrie než pánevní kanál mužů. Pro další studium vlivu porodnické funkce na asymetrii pánve by bylo vhodné mít k dispozici informace o počtu a průběhu porodů.

V poslední části práce byla stanovena lineární závislost u relativně malého počtu rozměrů velké pánve a pánevního kanálu. U mužů byla zjištěna korelace u 58,33 % měřených rozměrů, zatímco u žen pouze u 50,00 %. Takto nízká úroveň korelace je způsobena odlišným trendem asymetrie velké pánve a pánevního kanálu, z čehož vyplývá, že nelze predikovat morfologii porodních cest ženy pouze na základě vnějších pánevních rozměrů.

9. Použitá literatura

- Abel, M.F. et al., 1999. Asymmetric Hip Deformity and Subluxation in Cerebral Palsy: An Analysis of Surgical Treatment. *Journal of pediatric orthopedics*, 19, pp.479–485.
- Abitbol, M.M., 1991. Ontogeny and evolution of pelvic diameters in anthropoid primates and in *Australopithecus afarensis* (AL 288-1). *American Journal of Physical Anthropology*, 85, pp.135–148.
- Abitol, M., 1996. The shapes of the female pelvis: Contributing factors. *The Journal of Reproductive Medicine*, 41, pp.242–250.
- Akman, S.D., Karakas, P. & Borkiz, M.G., 2008. Bilateral asymmetry in sacrum and handedness. *Neurosurgery Quarterly*, 18, pp.66–68.
- Auerbach, B.M. & Raxter, M.H., 2008. Patterns of clavicular bilateral asymmetry in relation to the humerus: variation among humans. *Journal of Human Evolution*, 54(5), pp.663–674.
- Auerbach, B.M. & Ruff, C.B., 2006. Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans. *Journal of Human Evolution*, 50, pp.203–218.
- Aune, T.K., Ettema, G. & Vereijken, B., 2016. Bilateral Asymmetry in Upper Extremities Is More Pronounced in Distal Compared to Proximal Joints. *Journal of Motor Behavior*, 48(2), pp.143–152.
- Badii, M. et al., 2003. Pelvic Bone Asymmetry in 323 Study Participants Receiving Abdominal CT Scans. , 28(12), pp.1335–1339.
- Bernard, R.M., 1952. The shape and size of the female pelvis. *Edinburgh Medical Journal*, 59, pp.1–15.
- Betti, L. & Manica, A., 2018. Human variation in the shape of the birth canal is significant and geographically structured. *The Royal Society*, 285, pp.1–9.
- Betti, L.I.A., 2017. Human Variation in Pelvic Shape and the Effects of Climate and Past Human Variation in Pelvic Shape and the Effects of Climate and Past Population History. *The Anatomical Record Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, 300, pp.687–697.
- Bigoni, L. et al., 2013. Skull Shape Asymmetry and the Socioeconomic Structure of an Early Medieval Central European Society. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICAL ANTHROPOLOGY*, 150, pp.349–364.
- Blackburn, A., 2011. Bilateral asymmetry of the humerus during growth and development. *American Journal of Physical Anthropology*, 145, pp.639–646.
- Boulay, C. et al., 2006. Three-dimensional study of pelvic asymmetry on anatomical specimens and its clinical perspectives. *Journal of Anatomy*, 208, pp.21–33.
- Brown, K.M., 2011. *Obstetrical Adaptation in the Human Bony Pelvis: A Three Dimensional Morphometry Approach*.
- Brown, K.M., 2015. Selective Pressures in the Human Bony Pelvis : Decoupling Sexual Dimorphism in the Anterior and Posterior Spaces. *American Journal of Physical Anthropology*, 440, pp.428–440.
- Brůžek, J. et al., 1994. Inter- and intra-observer error in pelvic measurements and it's

- implication for the methods of sex determination. *Anthropologie*, 32, pp.215–223.
- Brůžek, J. & Murail, P., 2006. Methodology and Reliability of Sex Determination From the Skeleton. In *Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences From Recovery to Cause of Death*. Human Press, pp. 225–242.
- Caldwell, W.E. & Moloy, H.C., 1933. Anatomical variations in the female pelvis and their effect in labor with a suggested classification. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 26, pp.479–505.
- Campbell, M.L. et al., 2011. Survival is in the balance? Asymmetry in obstetric dimensions and mortality. *American Journal of Physical Anthropology*, 144, pp.102–102.
- Connolly, G. & McKenna, P., 2001. Maternal height and external pelvimetry to predict cephalo-pelvic disproportion in nulliparous African women. *British Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 108, pp.338–338.
- Correia, H., Balseiro, S. & Areia, M. De, 2005. Sexual dimorphism in the human pelvis : Testing a new hypothesis. *HOMO — Journal of Comparative Human Biology*, 56, pp.153–160.
- von Cramon-Taubadel, N., Frazier, B.C. & Mirazo, M., 2007. The Problem of Assessing Landmark Error in Geometric Morphometrics: Theory, Methods, and Modifications. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 35, pp.24–35.
- Cunningham, G.F. et al., 2018. *Williams Obstetrics*, McGraw-Hill Education.
- Čihák, R., 2011. *Anatomie I*, Grada Publishing, a.s.
- Čuk, T., Leben-Seljak, P. & Štefančič, M., 2001. Lateral asymmetry of human long bones. *Variability and Evolution*, 9, pp.19–32.
- Diernberger, S. et al., 2008. Self-reported chewing side preference and its associations with occlusal, temporomandibular and prosthodontic factors: results from the population-based Study of Health in Pomerania (SHIP-0). *Journal of Oral Rehabilitation*, 35, pp.613–620.
- Doležal, A. et al., 2007. *Porodnické operace*, Grada Publishing, a.s.
- Dongen, S. Van et al., 2010. Human fetuses and limb asymmetry: No evidence for directional asymmetry and support for fluctuating asymmetry as a measure of developmental instability. *Animal Biology*, 60, pp.169–182.
- Dunbar, R., 2009. *Příběh rodu Homo: nové dějiny evoluce člověka*, Academia.
- Dunsworth, H.M. et al., 2012. Metabolic hypothesis for human altriciality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, pp.15212–15216.
- Al Eisa, E. et al., 2006. Effects of Pelvic Asymmetry and Low Back Pain on Trunk Kinematics During Sitting: A Comparison With Standing. *Spine*, 31, pp.135–143.
- Gabbe, S. et al., 2012. *Obstetrics: Normal and Problem Pregnancies*, Elsevier Inc.
- Graham, J.H. et al., 2010. Fluctuating Asymmetry: Methods, Theory, and Applications. *Symmetry*, 2, pp.466–540.

- Gray, H., 1858. *Anatomy: Descriptive and Surgical*, Philadelphia: Lea & Febiger.
- Hallgrímsson, B., Hall, B.K. & Hallgrímsson, B., 2011. *Variation : Central Concept in Biology*, Elsevier Science & Technology.
- Hirata, S., Fuwa, K. & Sugama, K., 2011. Mechanism of birth in chimpanzees: humans are not unique among primates. *Biology letters*, 7, pp.686–688.
- Hudák, R., Kachlík, D. & Kachlík, D., 2013. *Memorix anatomie*, Triton.
- Huseynov, A. et al., 2016. Developmental evidence for obstetric adaptation of the human female pelvis. , 113, pp.5227–5232.
- Ingelmark, E. & Lindstrom, J., 1963. Asymmetries of the lower extremities and pelvis and their relations to lumbar scoliosis. *Acta morphologica Neerlando-Scandinavica*, 5, pp.221–234.
- Jerie, J. & Klaus, K., 1942. *Porodnictví pro lékaře*, Vesmír.
- Klingenberg, C.P., Barluenga, M. & Meyer, A., 2002. Shape Analysis of Symmetric Structures: Quantifying Variation among Individuals and Asymmetry. *Evolution*, 56(10), pp.1909–1920.
- Kobilková, J. et al., 2005. *Základy gynekologie a porodnictví*, Galén.
- Kubicka, A.M. et al., 2016. Directional Asymmetry of Upper Limbs in a Medieval Population from Poland : A Combination of Linear and Geometric Morphometrics. *American Journal of Human Biology*, 28, pp.817–824.
- Kujanová, M. et al., 2008. Limb Bones Asymmetry and Stress in Medieval and Recent Populations of Central Europe. *International Journal of Osteoarchaeology*, 18, pp.476–491.
- Kurki, H.K., 2017. Bilateral Asymmetry in the Human Pelvis. *The Anatomical Record*, 300, pp.653–665.
- Kurki, H.K., 2013a. Bony Pelvic Canal Size and Shape in Relation to Body Proportionality in Humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 101, pp.88–101.
- Kurki, H.K., 2007. Protection of Obstetric Dimensions in a Small-Bodied Human Sample. *American Journal of Physical Anthropology*, 133, pp.1152–1165.
- Kurki, H.K., 2013b. Skeletal Variability in the Pelvis and Limb Skeleton of Humans: Does Stabilizing Selection Limit Female Pelvic Variation? *American Journal of Human Biology*, 802, pp.795–802.
- Kurki, H.K. & Decrausaz, S., 2016. Shape Variation in the Human Pelvis and Limb Skeleton: Implications for Obstetric Adaptation. *American Journal of Physical Anthropology*, 638, pp.630–638.
- Lenhard, M.S. et al., 2010. Pelvimetry revisited: Analyzing cephalopelvic disproportion. *European Journal of Radiology*, 74(3), pp.107–111.
- Lens, L.U.C. et al., 2002. Fluctuating asymmetry as an indicator of fitness : can we bridge the gap between studies ? *Biological Reviews (Cambridge)*, 77, pp.27–38.
- Levangie, P.K., 1999. The association between static pelvic asymmetry and low back pain. *Spine*, 24, pp.1234–1242.

- Lieberman, D.E., 2016. *Příběh lidského těla*, Jan Melvil Publishing.
- Lieberman, D.E., Pearson, O.M. & Mowbray, K.M., 2000. Basicranial influence on overall cranial shape. *Journal of Human Evolution*, 38, pp.291–315.
- Liselele, H.B. et al., 2000. Maternal height and external pelvimetry to predict cephalopelvic disproportion in nulliparous African women: a cohort study. *British Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 107, pp.947–952.
- Mačák, J., Mačáková, J. & Dvořáčková, J., 2012. *Patologie*, Grada Publishing, a.s.
- Marani, E. & Koch, W.F.R.M., 2014. *The Pelvis*, Springer.
- Mardia, K. V., Bookstein, F.L. & Moreton, I.J., 2000. Statistical Assessment of Bilateral Symmetry of Shapes. In *Biometrika*. Oxford University Press, pp. 285–300.
- Martin, R., 1914. *Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung*, Fischer.
- Merkunová, A. & Orel, M., 2008. *Anatomie a fyziologie člověka*, Grada Publishing, a.s.
- Mitra, S., Lazar, N.A. & Liu, Y., 2007. Understanding the role of facial asymmetry in human face identification. *Statistics and Computing*, 17, pp.57–70.
- Netherway, D.J. et al., 2006. Three-Dimensional Computed Tomography Cephalometry of Plagiocephaly: Asymmetry and Shape Analysis. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 43, pp.201–210.
- Özener, B., 2010. Fluctuating and Directional Asymmetry in Young Human Males: Effect of Heavy Working Condition and Socioeconomic Status. *American Journal of Physical Anthropology*, 120, pp.112–120.
- Pachner, P., 1937. *Pohlavní rozdíly na lidské pánvi*, Česká akademie věd a umění.
- Palmer, R.A., 1996. Waltzing with Asymmetry. *BioScience*, 15(7), pp.518–532.
- Palmer, R.A. & Strobeck, C., 1986. Fluctuating asymmetry: Measurement, Analysis, Patterns. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, pp.391–421.
- Perlman, S. et al., 2019. The birth canal: correlation between the pubic arch angle, the interspinous diameter, and the obstetrical conjugate: a computed tomography biometric study in reproductive age women. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 32, pp.3255–3265.
- Plochocki, J.H., 2002. Directional Bilateral Asymmetry in Human Sacral Morphology. *International Journal of Osteoarchaeology*, 355, pp.349–355.
- Pomeroy, E., Wells, J.C.K. & Stock, J.T., 2016. Obstructed Labour: The Classic Obstetric Dilemma and Beyond. In *Evolutionary Thinking in Medicine*. Springer, pp. 33–45.
- Posner, G. et al., 2013. *Oxorn Foote Human Labor and Birth*, McGraw-Hill Education.
- Riehl, J.P., 2010. *Mirror-Image Asymmetry : An Introduction to the Origin and Consequences of Chirality*, Wiley.
- Rosenberg, K.R. & Desilva, J.M., 2017. Evolution of the Human Pelvis. *The Anatomical Record*, 797, pp.789–797.
- Roztočil, A. et al., 2008. *Moderní porodnictví*, Grada Publishing, a.s.

- Ruff, C., Holt, B. & Trinkaus, E., 2006. Who's Afraid of the Big Bad Wolff?: "Wolff's Law" and Bone Functional Adaptation. *American Journal of Physical Anthropology*, 498, pp.484–498.
- Sanders, D.A. et al., 2004. Quantification of skeletal asymmetries in normal adolescents: cone-beam computed tomography analysis. *Progress in Orthodontics*, 15, pp.1–11.
- Schaefer, K. et al., 2006. Dental Arch Asymmetry in an Isolated Adriatic Community. *American Journal of Physical Anthropology*, 142, pp.132–142.
- Schwarz, C.J., 2019. The Mixed-Model ANOVA: The Truth, the Computer Packages, the Books . Part I: Balanced Data. *The American Statistician*, 47(1), pp.48–59.
- Sládek, V. et al., 2016. The impact of subsistence changes on humeral bilateral asymmetry in Terminal Pleistocene and Holocene Europe. *Journal of Human Evolution*, 92, pp.37–49.
- Sládek, V. & Hora, M., 2016. O kostech, ženách a zemědělství. *Živa*, pp.253–256.
- Starmer, W.T., Patten, M. & Polak, M., 2002. The statistics of detecting positional fluctuating asymmetry. *Biological Journal of the Linnean Society*, 77, pp.491–498.
- Storm, R.A., 2009. *Human skeletal asymmetry: A Study of Directional and Fluctuating Asymmetry in Assessing Health, Environmental Conditions, and Social Status in English Populations from the 7th to the 19th centuries*, University of Bradford.
- Stovall, B.A. & Kumar, S., 2010. Anatomical Landmark Asymmetry Assessment in the Lumbar Spine and Pelvis: A Review of Reliability. *Physical Medicine and Rehabilitation*, 2, pp.48–56.
- Šmahel, Z., 2001. *Principy, teorie a metody auxologie*, Karolinum.
- Tague, G., 1991. Commonalities in dimorphism and variability in the anthropoid pelvis , with implications for the fossil record. *Journal of Human Evolution*, 21, pp.153–176.
- Tague, R.G., 1989. Variation in Pelvic Size Between Males and Females. *American Journal of Physical Anthropology*, 71, pp.59–71.
- Tague, R.G. & Lovejoy, C.O., 1986. The Obstetric Pelvis of A.L. 288-1 (Lucy). *Journal of Human Evolution*, 15, pp.237–255.
- Timgren, J. & Soinila, S., 2006. Reversible Pelvic Asymmetry: An Overlooked Syndrome Manifesting as Scoliosis, Apparent Leg-Length Difference, and Neurologic Symptoms. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 29, pp.561–565.
- Tobolsky, V.A., Kurki, H.K. & Stock, J.T., 2016. Patterns of Directional Asymmetry in the Pelvis and Pelvic Canal. *American Journal of Human Biology*, 28, pp.804–810.
- Walrath, D., 2003. Rethinking Pelvic Typologies and the Human Birth Mechanism. *Current Anthropology*, 44, pp.5–31.
- Washburn, S.L., 1960. Tools and Human Evolution. *Scientific American*, 203, pp.62–75.
- Wilkinson, C., 2010. Facial reconstruction - anatomical art or artistic anatomy? *Journal of Anatomy*, 216, pp.235–250.
- Zvára, K., 2003. *Biostatistika*, Karolinum.
- Zvárová, J., 2011. *Biomedicínská statistika I.*, Karolinum.

Internetové zdroje:

www.asistentky.porodnice.cz

www.porodnice.cz

Příloha 1 – Intraobservační chyba měření

Uvedené jsou výsledky intraobservační chyby rozměrů velké pánve, pánevního kanálu a rozměrů pro výpočet korelace.

Průměrná absolutní odchylka (MAD [mm]), chybová směrodatná odchylka (TEM [mm]) a variační koeficienty (V_{MAD} [%], V_{TEM} [%]) měřených rozměrů velké pánve.

Rozměr	MAD	V_{MAD}	TEM	V_{TEM}
výška kosti kyčelní L*	0,72	0,50	0,86	0,60
výška kosti kyčelní P*	0,69	0,48	0,82	0,57
šířka kosti kyčelní L	0,49	0,32	0,64	0,42
šířka kosti kyčelní P	0,42	0,27	0,54	0,35
délka kosti stydké L	0,58	0,74	0,70	0,90
délka kosti stydké P	0,65	0,83	0,80	1,02
výška kosti sedací L	0,63	0,95	0,76	1,15
výška kosti sedací P	0,70	1,04	0,81	1,21
výška pánve L	0,77	0,41	0,95	0,50
výška pánve P	0,90	0,49	1,09	0,59
vertikální průměr acetabula L	0,41	0,76	0,52	0,97
vertikální průměr acetabula P	0,39	0,73	0,47	0,89

*L je rozměr měřený na levé pánevní kosti, P je rozměr měřený na pravé pánevní kosti

Průměrná absolutní odchylka (MAD [mm]), chybová směrodatná odchylka (TEM [mm]) a variační koeficienty (V_{MAD} [%], V_{TEM} [%]) měřených rozměrů pánevního kanálu.

Rozměr	MAD	V_{MAD}	TEM	V_{TEM}
hloubka pánevního kanálu L*	0,71	0,61	0,82	0,71
hloubka pánevního kanálu P*	0,81	0,71	0,96	0,85
pánevní vchod anteriorní část L	0,76	0,75	0,94	0,93
pánevní vchod anteriorní část P	0,89	0,89	1,09	1,09
pánevní vchod posteriorní část L	0,80	2,55	0,99	3,18
pánevní vchod posteriorní část P	0,88	2,83	1,04	3,34
pánevní vchod antero-posteriorní průměr L	0,71	0,58	0,86	0,70
pánevní vchod antero-posteriorní průměr P	0,59	0,48	0,73	0,60
pánevní šíře anteriorní část L	0,41	0,41	0,52	0,52
pánevní šíře anteriorní část P	0,36	0,36	0,49	0,50
pánevní šíře posteriorní část L	0,55	0,77	0,65	0,92
pánevní šíře posteriorní část P	0,49	0,69	0,63	0,89
pánevní východ anteriorní část L	0,85	0,88	1,06	1,10
pánevní východ anteriorní část P	0,81	0,83	0,93	0,96
pánevní východ posteriorní část L	0,66	0,76	0,89	1,03
pánevní východ posteriorní část P	0,66	0,77	0,84	0,98

*L je rozměr měřený na levé pánevní kosti, P je rozměr měřený na pravé pánevní kosti

Průměrná absolutní odchylka (MAD [mm]), chybová směrodatná odchylka (TEM [mm]) a variační koeficienty (V_{MAD} [%], V_{TEM} [%]) měřených rozměrů pro výpočet korelace.

Rozměr	MAD	V_{MAD}	TEM	V_{TEM}
přední bispinální šířka pánve	0,56	0,24	0,71	0,30
zadní bispinální šířka pánve	0,48	0,62	0,63	0,81
acetabulární šířka pánve	0,24	0,21	0,30	0,26
bikristální šířka pánve	1,04	0,54	1,29	0,67
příčný průměr pánevního vchodu	0,36	0,29	0,48	0,38
předozaďní průměr pánevního vchodu	0,49	0,41	0,75	0,62
příčný průměr pánevní šíře	0,51	0,47	0,59	0,54
předozaďní průměr pánevní šíře	0,47	0,36	0,57	0,44
příčný průměr pánevního východu	0,92	0,79	1,13	0,98
předozaďní průměr pánevního východu	0,51	0,42	0,63	0,52

Příloha 2 – Studentův párový t-test

Výsledky Studentova párového t-testu u mužů: **t** je hodnota t-testu, **p** dosažená hladina významnosti testu, **SD** je směrodatná odchylka od průměru, **DA** je směrová asymetrie.

Rozměr	Muži				
	T	p	SD	95% konfidenční interval ^b	DA
Velká pánev					
výška kosti kyčelní	-2,07^a	4,63 x 10⁻²	2,21	[-1,51; -0,01]	levostranná
šířka kosti kyčelní	3,92^a	3,99 x 10⁻⁴	2,03	[0,64; 2,02]	pravostranná
délka kosti stydké	-0,44	0,66	2,45	[-1,01; 0,65]	
výška kosti sedací	-0,23	0,82	2,34	[-0,88; 0,70]	
výška pánve	-2,94^a	5,79 x 10⁻³	4,75	[-3,93; -0,72]	levostranná
vertikální průměr acetabula	-0,66	0,52	1,42	[-0,64; 0,33]	
Pánevní kanál					
hloubka pánevního kanálu	-2,24^a	0,03	4,48	[-3,18; -0,15]	levostranná
pánevní vchod anteriorní část	-1,54	0,13	2,45	[-1,46; 0,20]	
pánevní vchod posteriorní část	-0,53	0,60	2,74	[-1,17; 0,68]	
pánevní vchod antero-posteriorní průměr	-0,36	0,72	3,38	[-1,35; 0,94]	
pánevní šíře anteriorní část	-2,92^a	6,03 x 10⁻³	1,84	[-1,52; -0,27]	levostranná
pánevní šíře posteriorní část	-0,51	0,62	3,39	[-1,43; 0,86]	
pánevní východ anteriorní část	0,01	0,99	3,40	[-1,14; 1,16]	
pánevní východ posteriorní část	0,60	0,55	4,89	[-1,17; 2,14]	

^a Červeně jsou vyznačeny statisticky významné ($P < 0,05$) rozdíly mezi pravou a levou stranou.

^b 95% konfidenční interval je interval spolehlivosti, který s 95% pravděpodobností překrývá populační průměr.

Výsledky Studentova párového t-testu u žen: t je hodnota t-testu, p dosažená hladina významnosti testu, SD je směrodatná odchylka od průměru, DA je direkcionální asymetrie.

Rozměr	Ženy				
	t	p	SD	95% konfidenční interval ^b	DA
Velká pánev					
výška kosti kyčelní	-4,90^a	1,96 x 10⁻⁵	2,00	[-2,24; -0,93]	levostranná
šířka kosti kyčelní	3,48^a	1,30 x 10⁻³	2,45	[0,58; 2,18]	pravostranná
délka kosti stydké	0,28	0,78	2,08	[-0,59; 0,78]	
výška kosti sedací	4,89^a	2,02 x 10⁻⁵	1,78	[0,83; 2,00]	pravostranná
výška pánve	-7,46^a	7,05 x 10⁻⁹	3,09	[-4,76; -2,72]	levostranná
vertikální průměr acetabula	1,33	0,19	1,29	[-0,15; 0,70]	
Pánevní kanál					
hloubka pánevního kanálu	-3,77^a	5,73 x 10⁻⁴	3,59	[-3,38; -1,02]	levostranná
pánevní vchod anteriorní část	-2,76^a	8,95 x 10⁻³	2,75	[-2,13; -0,33]	levostranná
pánevní vchod posteriorní část	0,95	0,35	1,91	[-0,33; 0,92]	
pánevní vchod antero-posteriorní průměr	-2,15^a	3,81 x 10⁻²	3,03	[-2,05; -0,06]	levostranná
pánevní šíře anteriorní část	-2,74^a	9,49 x 10⁻³	1,71	[-1,32; -0,20]	levostranná
pánevní šíře posteriorní část	0,17	0,87	3,45	[-1,04; 1,23]	
pánevní východ anteriorní část	3,79^a	5,32 x 10⁻⁴	2,85	[0,82; 2,69]	pravostranná
pánevní východ posteriorní část	-1,17	0,25	3,52	[-1,83; 0,49]	

^a Červeně jsou vyznačeny statisticky významné ($P < 0,05$) rozdíly mezi pravou a levou stranou.

^b 95% konfidenční interval je interval spolehlivosti, který s 95% pravděpodobností překrývá populační průměr.

Příloha 3 – Mann-Whitneyho U test

Výsledky Mann-Whitneyho U testu pro stanovení rozdílů mezi pohlavími u direkcionální (DA) a absolutní asymetrie (AA): U je hodnota testu, p dosažená hladina významnosti testu.

Rozměr	DA			AA		
	U	p	Pohlaví s vyšším % DA	U	p	Pohlaví s vyšším % AA
Velká pánev						
výška kosti kyčelní	2156,5^a	0,03	ženy	2873,5	0,60	
šířka kosti kyčelní	2881,0	0,58		3113,5	0,15	
délka kosti stydké	2864,0	0,62		2430,0	0,24	
výška kosti sedací	3869,0^a	5,70 x 10⁻⁶	ženy	3237,0	0,055	
výška pánve	2014,0^a	5,64 x 10⁻³	ženy	2998,0	0,32	
vertikální průměr acetabula	3222,0	0,06		2894,0	0,55	
Pánevní kanál						
hloubka pánevního kanálu	2599,0	0,60		2233,0	0,054	
pánevní vchod anteriorní část	2512,0	0,39		3098,0	0,17	
pánevní vchod posteriorní část	3018,5	0,28		2017,5^a	5,88 x 10⁻³	ženy
pánevní vchod antero-posteriorní průměr	2395,5	0,19		2523,5	0,42	
pánevní šíře anteriorní část	2866,5	0,62		2936,5	0,44	
pánevní šíře posteriorní část	3060,0	0,21		2246,0	0,06	
pánevní východ anteriorní část	3643,0^a	5,06 x 10⁻⁴	ženy	3017,0	0,28	
pánevní východ posteriorní část	2295,0	0,09		1896,0^a	1,28 x 10⁻³	ženy

^a Červeně jsou vyznačeny statisticky významné ($P < 0,05$) rozdíly mezi pravou a levou stranou.

Příloha 4 – Smíšený model ANOVA

Uvedeny jsou výsledky pro všechny rozměry velké pánve a pánevního kanálu u obou pohlaví.

Výška kosti kyčelní u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – výška kosti kyčelní					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	2,8 X 10-5	1	2,8 X 10-5	0,09	0,7632
strana	0,00195	1	0,00195	6,27	0,0145
měření*strana	0,00012	1	0,00012	0,4	0,529
proband	0,85497	66	0,01295	41,59	0
reziduální	0,02305	74	0,00031		
celková	1,78835	143			
ŽENY – výška kosti kyčelní					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	3,5 X 10-5	1	3,5 X 10-5	0,12	0,7267
strana	0,01061	1	0,01061	37,73	0
měření*strana	3,69 X 10-6	1	3,69 X 10-6	0,01	0,9091
proband	0,8811	74	0,01191	42,36	0
reziduální	0,02052	73	0,00028		
celková	0,91331	150			

Šířka kosti kyčelní u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – šířka kosti kyčelní					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00017	1	0,00017	0,31	0,5775
strana	0,01113	1	0,01113	20,91	0
měření*strana	0,00016	1	0,00016	0,3	0,5832
proband	1,7375	66	0,02633	49,45	0
reziduální	0,0394	74	0,00053		
celková	1,78835	143			
ŽENY – šířka kosti kyčelní					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00066	1	0,00066	1,66	0,2023
strana	0,01579	1	0,01579	39,51	0
měření*strana	3,47 X 10-5	1	3,47 X 10-5	0,09	0,7689
proband	1,79026	72	0,02486	62,24	0
reziduální	0,02877	72	0,0004		
celková	1,83551	147			

Délka kosti stydké u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – délka kosti stydké					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00843	1	0,00843	1,45	0,2324
strana	0,00228	1	0,00228	0,39	0,5331
měření*strana	0,00114	1	0,00114	0,2	0,6596
proband	10,0788	63	0,15998	27,54	0
reziduální	0,41237	71	0,00581		
celková	10,5061	137			
ŽENY – délka kosti stydké					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,0013	1	0,0013	0,21	0,647
strana	0,00656	1	0,00656	1,07	0,3055
měření*strana	6,85 X 10-5	1	6,85 X 10-5	0,01	0,9163
proband	5,23822	72	0,07275	11,81	0
reziduální	0,44371	72	0,00616		
celková	5,68986	147			

Výška kosti sedací u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – výška kosti sedací					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	6,3 X 10-6	1	6,3 X 10-6	0,07	0,7934
strana	4,9 X 10-5	1	4,9 X 10-5	0,54	0,4639
měření*strana	5 X 10-5	1	5 X 10-5	0,54	0,4634
proband	0,05569	65	0,00086	9,39	0
reziduální	0,00666	73	9,1 X 10-5		
celková	0,06247	141			
ŽENY – výška kosti sedací					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	1 X 10-6	1	1 X 10-6	0,02	0,8996
strana	0,00219	1	0,00219	34,38	0
měření*strana	2,16 X 10-7	1	2,16 X 10-7	0	0,9538
proband	0,05509	73	0,00075	11,84	0
reziduální	0,00465	73	6,4 X 10-5		
celková	0,06194	149			

Výška pánve u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – výška pánve					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	2,1 X 10 ⁻⁵	1	2,1 X 10 ⁻⁵	0,1	0,751
strana	0,00283	1	0,00283	13,73	0,0004
měření*strana	3,1 X 10 ⁻⁵	1	3,1 X 10 ⁻⁵	0,15	0,7003
proband	0,50382	65	0,00775	37,57	0
reziduální	0,01465	71	0,00021		
celková	0,51967	139			
ŽENY – výška pánve					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00043	1	0,00043	2,29	0,1342
strana	0,01793	1	0,01793	94,87	0
měření*strana	1,8 X 10 ⁻⁵	1	1,8 X 10 ⁻⁵	0,09	0,7603
proband	0,43978	74	0,00594	31,44	0
reziduální	0,01399	74	0,00019		
celková	0,47215	151			

Vertikální průměr acetabula u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – vertikální průměr acetabula					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	5,7 X 10 ⁻⁶	1	5,7 X 10 ⁻⁶	0,03	0,8537
strana	0,0002	1	0,0002	1,17	0,2813
měření*strana	1,5 X 10 ⁻⁵	1	1,5 X 10 ⁻⁵	0,09	0,7678
proband	0,31317	33	0,00949	56,59	0
reziduální	0,0171	102	0,00017		
celková	0,3304	138			
ŽENY – vertikální průměr acetabula					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00029	1	0,00029	0,92	0,3391
strana	0,00123	1	0,00123	3,99	0,0483
měření*strana	3,9 X 10 ⁻⁵	1	3,9 X 10 ⁻⁵	0,12	0,7244
proband	0,34099	37	0,00922	29,8	0
reziduální	0,03402	110	0,00031		
celková	0,37655	150			

Hloubka pánevního kanálu u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – hloubka pánevního kanálu					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
Měření	6,88 X 10 ⁻⁷	1	6,88 X 10 ⁻⁷	0	0,9649
Strana	0,00353	1	0,00353	9,97	0,0021
měření*strana	1,7 X 10 ⁻⁶	1	1,7 X 10 ⁻⁶	0	0,9452
Proband	0,285	33	0,00864	24,41	0
Reziduální	0,03787	107	0,00035		
Celková	0,3264	143			
ŽENY – hloubka pánevního kanálu					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
Měření	0,00025	1	0,00025	1,21	0,273
Strana	0,00698	1	0,00698	33,23	0
měření*strana	4,8 X 10 ⁻⁵	1	4,8 X 10 ⁻⁵	0,23	0,6346
Proband	0,25622	37	0,00692	32,97	0
Reziduální	0,02332	111	0,00021		
celková	0,28681	151			

Pánevní vchod anteriorní část u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – pánevní vchod anteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00196	1	0,00196	3,8	0,054
strana	0,00069	1	0,00069	1,34	0,2489
měření*strana	8,9 X 10 ⁻⁵	1	8,9 X 10 ⁻⁵	0,17	0,6785
proband	0,62169	33	0,01884	36,46	0
reziduální	0,05426	105	0,00052		
celková	0,67918	141			
ŽENY – pánevní vchod posteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00028	1	0,00028	0,61	0,4374
strana	0,00747	1	0,00747	16,18	0,0001
měření*strana	3,77 X 10 ⁻⁷	1	3,77 X 10 ⁻⁷	0	0,9772
proband	0,46717	37	0,01263	27,36	0
reziduální	0,05122	111	0,00046		
celková	0,52613	151			

Pánevní vchod posteriorní část u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – pánevní vchod posteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	1,02 X 10 ⁻⁷	1	1,02 X 10 ⁻⁷	0	0,982
strana	3,8 X 10 ⁻⁵	1	3,8 X 10 ⁻⁵	0,19	0,6636
měření*strana	8,5 X 10 ⁻⁵	1	8,5 X 10 ⁻⁵	0,42	0,5159
proband	0,11565	33	0,0035	17,47	0
reziduální	0,02066	103	0,0002		
celková	0,13644	139			
ŽENY – pánevní vchod posteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,0002	1	0,0002	1,48	0,2259
strana	0,00028	1	0,00028	2,08	0,152
měření*strana	6,70 X 10 ⁻⁷	1	6,70 X 10 ⁻⁷	0	0,9438
proband	0,07596	37	0,00205	15,27	0
reziduální	0,01479	110	0,00013		
celková	0,09114	150			

Pánevní vchod antero-posteriorní průměr u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – pánevní vchod					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	9 X 10 ⁻⁶	1	9 X 10 ⁻⁶	0,07	0,7848
strana	3,6 X 10 ⁻⁵	1	3,6 X 10 ⁻⁵	0,3	0,5834
měření*strana	2,7 X 10 ⁻⁵	1	2,7 X 10 ⁻⁵	0,23	0,6347
proband	0,19066	33	0,00578	48,2	0
reziduální	0,01283	107	0,00012		
celková	0,20356	143			
ŽENY – pánevní vchod					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	3,30 X 10 ⁻⁷	1	3,30 X 10 ⁻⁷	0	0,9456
strana	0,00058	1	0,00058	8,15	0,0052
měření*strana	3,6 X 10 ⁻⁵	1	3,6 X 10 ⁻⁵	0,51	0,4782
proband	0,14983	36	0,00416	58,98	0
reziduální	0,00762	108	7,1 X 10 ⁻⁵		
celková	0,15806	147			

Pánevní šíře anteriorní část u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – pánevní šíře anteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00134	1	0,00134	1,36	0,246
strana	0,02814	1	0,02814	28,64	0
měření*strana	5,2 X 10-5	1	5,2 X 10-5	0,05	0,8187
proband	4,4471	33	0,13476	137,14	0
reziduální	0,10219	104	0,00098		
celková	4,57515	140			
ŽENY – pánevní šíře anteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00077	1	0,00077	0,6	0,4387
strana	0,02054	1	0,02054	16,18	0,0001
měření*strana	8,3 X 10-5	1	8,3 X 10-5	0,07	0,7992
proband	2,31458	37	0,06256	49,28	0
reziduální	0,14091	111	0,00127		
celková	2,47688	151			

Pánevní šíře posteriorní část u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – pánevní šíře posteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	7,4 X 10-5	1	7,4 X 10-5	0,22	0,6394
strana	0,00023	1	0,00023	0,69	0,409
měření*strana	5,4 X 10-6	1	5,4 X 10-6	0,02	0,8994
proband	0,27118	33	0,00822	24,49	0
reziduální	0,0359	107	0,00034		
celková	0,30739	143			
ŽENY – pánevní šíře posteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	9,7 X 10-5	1	9,7 X 10-5	0,27	0,6041
strana	2,5 X 10-5	1	2,5 X 10-5	0,07	0,7916
měření*strana	6,2 X 10-5	1	6,2 X 10-5	0,17	0,6798
proband	0,29678	37	0,00802	22,26	0
reziduální	0,04	111	0,00036		
celková	0,33697	151			

Pánevní východ anteriorní část u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – pánevní východ anteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	3,2 X 10-5	1	3,2 X 10-5	0,08	0,7839
strana	0,00035	1	0,00035	0,83	0,365
měření*strana	1,9 X 10-5	1	1,9 X 10-5	0,05	0,8293
proband	0,37923	33	0,01149	27,56	0
reziduální	0,04379	105	0,00042		
celková	0,42317	141			
ŽENY – pánevní východ anteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	0,00076	1	0,00076	1,92	0,1689
strana	0,01111	1	0,01111	27,94	0
měření*strana	0,00025	1	0,00025	0,62	0,4337
proband	0,27151	37	0,00734	18,45	0
reziduální	0,04415	111	0,0004		
celková	0,32778	151			

Pánevní východ posteriorní část u mužů a žen: S je součet čtverců, f je počet stupňů volnosti, S/f je průměrný čtverec, F je hodnota statistiky a p je dosažená hladina testu.

MUŽI – pánevní východ posteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	2,09 X 10-7	1	2,09 X 10-7	0	0,9752
strana	0,00057	1	0,00057	2,66	0,1061
měření*strana	4 X 10-5	1	4 X 10-5	0,19	0,6676
proband	0,22038	33	0,00668	30,88	0
reziduální	0,02271	105	0,00022		
celková	0,24375	141			
ŽENY – pánevní východ posteriorní část					
Variabilita	S	f	S/f	F	p
měření	4,3 X 10-6	1	4,3 X 10-6	0,03	0,8587
strana	0,00044	1	0,00044	3,24	0,0748
měření*strana	2,3 X 10-6	1	2,3 X 10-6	0,02	0,8959
proband	0,24147	37	0,00653	48,35	0
reziduální	0,01498	111	0,00013		
celková	0,2569	151			

Příloha 5 – Pearsonův korelační koeficient

Pearsonův korelační koeficient pro stanovení závislosti mezi vnějšími pánevními rozměry a rozměry pánevního kanálu u mužů.

MUŽI	přední bispinální šířka pánve	zadní bispinální šířka pánve	acetabulární šířka pánve	bikristální šířka pánve
příčný průměr pánevního vchodu	0,4510* 0,0001**	0,4091 0,0004	0,6942 0,0000	0,5313 0,0000
předozadní průměr pánevního vchodu	0,1509 0,2058	0,3146 0,0071	0,4723 0,0000	-0,1377 0,2487
příčný průměr pánevní šíře	0,0256 0,8309	0,5742 0,0000	0,6435 0,0000	0,2192 0,0643
předozadní průměr pánevní šíře	0,4799 0,0000	0,2800 0,0172	0,3956 0,0006	0,1644 0,1677
příčný průměr pánevního východu	-0,0524 0,6621	0,3267 0,0051	0,4976 0,0000	0,0140 0,9073
předozadní průměr pánevního východu	0,5476 0,0000	0,1315 0,2707	0,2299 0,0521	0,1635 0,1700

*Horní řádek: korelační koeficient; dolní řádek: p-hodnota – dosažená hladina významnosti.

**Červeně jsou vyznačeny statisticky významné závislosti ($P < 0,05$).

Pearsonův korelační koeficient pro stanovení závislosti mezi vnějšími pánevními rozměry a rozměry pánevního kanálu u žen.

ŽENY	přední bispinální šířka pánve	zadní bispinální šířka pánve	acetabulární šířka pánve	bikristální šířka pánve
příčný průměr pánevního vchodu	0,6550* 0,0000**	-0,2144 0,0630	0,6702 0,0000	0,5031 0,0000
předozadní průměr pánevního vchodu	0,1029 0,3762	0,1362 0,2409	-0,0443 0,7042	0,2054 0,0751
příčný průměr pánevní šíře	0,1516 0,1912	0,1177 0,3114	0,6440 0,0000	0,4441 0,0001
předozadní průměr pánevní šíře	0,2964 0,0093	-0,0131 0,9106	0,0716 0,5388	0,3622 0,0013
příčný průměr pánevního východu	-0,1861 0,1076	0,3531 0,0018	0,2411 0,0359	0,1653 0,1537
předozadní průměr pánevního východu	0,3214 0,0046	-0,2962 0,0094	0,1483 0,2011	0,3330 0,0033

*Horní řádek: korelační koeficient; dolní řádek: p-hodnota – dosažená hladina významnosti.

**Červeně jsou vyznačeny statisticky významné závislosti (P < 0,05).

Příloha 6 – Anotace diplomové práce

Kvantifikace a interpretace asymetrie kostěné pánve člověka

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

Konzultant: Mgr. Rebeka Rmoutilová (Katedra antropologie a genetiky člověka, PřF UK Praha, rebka@seznam.cz)

Hodnocení asymetrie pánve není příliš často studováno i přes význam pánve v reprodukci a lokomoci. Nicméně existence asymetrie lidského skeletu je popsána a analyzována v řadě studií (Trinkaus et al., 1994; Auerbach and Ruff, 2006; Bigoni et al., 2013). Současné publikace nepodávají zcela jasný popis existence asymetrie pánve: neshodují se na míře ani převažujícím směru asymetrie (Badii et al., 2003; Boulay et al., 2006; Tobolsky et al., 2016; Kurki, 2017). Vzhledem k různým faktorům ovlivňujícím pánev je navíc možné, že pánevní kanál sleduje odlišný trend asymetrie než vnější pánev a tyto výsledky jsou dávány do souvislosti s teprve nedávno studovanou biologickou plasticitou pánve (Kurki and Decrausaz, 2016; Kurki, 2017). Na tuto skutečnost upozorňoval již Pachner (1937), když napsal, že podle zevních pánevních rozměrů nelze usuzovat na pánevní rozměry vnitřní. Cílem práce je zhodnotit míru asymetrie pomocí metod geometrické morfometrie (Klingenberg et al., 2002). Bylo by vhodné zaměřit se na jednotlivé oblasti pánve a porovnat výsledky s předchozími studiiemi a v nich navrženými interpretacemi. Materiál tvoří soubor CT snímků recentní francouzské populace, který bude diplomantovi poskytnut.

Základní bibliografie

Auerbach BM, Ruff CB. 2006. Limb bone bilateral asymmetry: Variability and commonality among modern humans. *J Hum Evol* 50:203–218.

Badii M, Shin S, Torreggiani WC, Jankovic B, Gustafson P, Munk PL, Esdaile JM. 2003. Pelvic bone asymmetry in 323 study participants receiving abdominal CT scans. *Spine (Phila Pa 1976)* 28:1335–1339.

- Bigoni L, Krajíček V, Sládek V, Velemínský P, Velemínská J. 2013. Skull shape asymmetry and the socioeconomic structure of an early medieval Central European society. *Am J Phys Anthropol* 150:349–364.
- Boulay C, Tardieu C, Bénaim C, Hecquet J, Marty C, Prat-Pradal D, Legaye J, Duval-Beaupère G, Pélissier J. 2006. Three-dimensional study of pelvic asymmetry on anatomical specimens and its clinical perspectives. *J Anat* 208:21–33.
- Klingenberg CP, Barluenga M, Meyer A. 2002. Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry. *Evolution (N Y)* 10:1909–1920.
- Kurki HK. 2017. Bilateral Asymmetry in the Human Pelvis. *Anat Rec* 300:653–665.
- Kurki HK, Decrausaz S. 2016. Shape variation in the human pelvis and limb skeleton: implications for obstetric adaptation. *Am J Phys Anthropol* 159:630–638.
- Tobolsky VA, Kurki HK, Stock JT. 2016. Patterns of directional asymmetry in the pelvis and pelvic canal. *Am J Hum Biol* 28:804–810.
- Trinkaus E, Churchill SE, Ruff CB. 1994. Postcranial robusticity in Homo. II: Humeral bilateral asymmetry and bone plasticity. *Am J Phys Anthropol* 93:1–34.