

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta filozofická

Diplomová práce

**Odhad délky ruky z kostí ruky
anatomickou metodou**

Sára Kuncová

Plzeň 2018

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Katedra antropologie

Studijní program Antropologie

Studijní obor Antropologie populací minulosti

Diplomová práce

Odhad délky ruky z kostí ruky

anatomickou metodou

Sára Kuncová

Vedoucí práce:

Mgr. Patrik Galeta, Ph.D.

Katedra antropologie

Fakulta filozofická Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2018

Prohlašuji, že jsem práci zpracovala samostatně a použila jen uvedených pramenů a literatury.

Plzeň, květen 2018

.....

Poděkování:

Ráda bych poděkovala Mgr. Patriku Galetovi, Ph.D. za vedení práce, cenné připomínky a odborné rady. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Patriku Mikovi za poskytnutí materiálu v podobě rentgenových snímků.

Obsah

1 ÚVOD	1
2 CÍL PRÁCE	5
3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA	6
3.1 Anatomie ruky	6
3.2 Variabilita velikosti a tvaru ruky	10
3.2.1 Ontogenetický vývoj ruky	10
3.2.1.1 Vývojové vady ruky.....	11
3.2.2 Fylogenetický vývoj ruky	14
3.2.2.1 Ruka šimpanze a člověka.....	14
3.2.2.2 Ruka u <i>Ardipithecus ramidus</i>	16
3.2.2.3 Ruka u zástupců rodu <i>Australopithecus</i>	17
3.2.2.4 Ruka u zástupců rodu <i>Homo</i>	19
3.2.3 Vliv klimatu na velikost a tvar ruky	21
3.2.3.1 Bergmannovo pravidlo.....	21
3.2.3.2 Allenovo pravidlo	23
3.2.3.3 Adaptace na klima u moderního člověka	24
3.2.4 Pohlavní dimorfismus ruky	28
3.2.4.1 Manningův index	29
3.2.4.2 Dimorfismus záprstních kostí	30
3.2.4.3 Geometrická morfometrie ruky	31
3.5 Odhad výšky postavy jedince	34
3.5.1 Matematická metoda odhadu	35
3.5.1.1 Odhad délky ruky matematickou metodou	36
3.5.2 Anatomická metoda odhadu	37
3.5.2.1 Odhad délky ruky anatomickou metodou	40
3.6 Otisky a stopy rukou v paleolitickém umění	41
3.6.1 Evropa	43

3.6.2 Asie	45
3.6.3 Austrálie	47
3.6.4 Amerika	48
3.6.5 Afrika	49
3.7 Odhad pohlaví z otisků a stop rukou na stěnách jeskyní	50
4 MATERIÁL.....	60
5 METODY.....	61
5.1 Měření délky ruky a délek kostí ruky z rentgenových snímků	61
5.2 Statistické metody.....	65
5.2.1 Intra a inter-observační chyba	65
5.2.2 Pohlavní dimorfismus.....	66
5.2.3 Vztah délky ruky a délky kostry ruky	66
5.2.4 Vztah délky ruky a délky kostry ruky pro obě pohlaví	67
5.3 Použitý software.....	68
6 VÝSLEDKY	69
6.1 Intra a inter-observační chyba	69
6.2 Pohlavní dimorfismus.....	70
6.3 Vztah délky ruky a délky kostry ruky	74
6.4 Vztah délky ruky a délky kostry ruky pro obě pohlaví	77
7 DISKUZE	81
8 ZÁVĚR.....	87

9 LITERATURA	89
10 SEZNAM OBRÁZKŮ	103
11 SEZNAM TABULEK.....	107
12 SEZNAM GRAFŮ	109
13 RESUMÉ.....	110
14 PŘÍLOHY	111

1 ÚVOD

V posledních 12 letech se zvýšil zájem badatelů o paleolitické umění zanechané na stěnách jeskyní. Na nichž můžeme najít otisky (*handprints*) a stopy (*hand stencils*) rukou v různých částech světa – Španělsku (Garcia-Diez et al., 2015), Francii (Snow, 2006), Indonésii (Aubert et al., 2014), Africe (Manhire, 1998) nebo Severní Americe (Ellis a Hammack, 1968). Rozdíl mezi otiskem ruky a stopou ruky spočívá v tom, že *otisk* vzniká jako pozitiv namočením ruky do barviva a otisknutím na zeď. Zatímco *stopa* vzniká nanesením barvy kolem přitisknuté ruky jako negativ (Snow, 2006). Pomocí snímání délky ruky, délky prstů nebo šířky ruky z takovýchto otisků se mnoho autorů zabývá vytvořením metody pro odhad pohlaví jejich tvůrců. Z recentních studií jsou to například Wang a kolektiv (Wang et al., 2010), Pettit (Pettit et al., 2014), Mackie (Mackie, 2015) nebo Nelsonová s kolektivem (Nelson et al., 2016).

Během let, tak vzniklo množství prací, které se věnují odhadu pohlaví (Stojanowski, 1999; Barrio et al., 2006; McIntyre et al., 2006), ale také odhadu různých biologických charakteristik z ruky. Kromě evolučního vývoje ruky a srovnání s primáty (Young, 2003) lze z ruky odhadovat mnoho parametrů na základě její délky, šířky, poměrů délky jednotlivých prstů, celkového tvaru a velikosti nebo kostí.

Mezi muži a ženami je patrný pohlavní dimorfismus, který je patrný především ve velikosti a tvaru rukou. Studie pracují především s poměrem mezi délkou druhého a čtvrtého prstu ruky (*2D:4D ratio/Manningův index*). Muži mají relativně delší čtvrtý prst než ženy a tím nižší Manningův index. Tento poměr mezi délkou prstů je ovlivněn již *in utero* působením testosteronu a estrogenu (Manning et al., 1998, 2000, 2001).

Dalším biologickým parametrem, který lze odhadovat z délky ruky či kostí ruky je výška postavy jedince (Agnihotri et al., 2008; Rastogi et

al., 2008; Habib a Kamal, 2010, Wilbur, 2008). Výše zmínění autoři předkládají, že existuje pozitivní korelace mezi rozměry ruky a výškou postavy jedince. Lidský růst a vývoj je komplexní proces, který mapuje změny v tělesné velikosti a vývoj tkání. Právě na základě růstu a vývoje můžeme odhadovat výšku postavy jedince, která je ovlivněna genetickými faktory a okolním prostředím (Cameron, 2012).

O první odhady pohlaví z otisků a stop rukou se na souboru z Jižní Afriky pokoušejí Henneberg a Mathers (1994). Větší zájem o tuto problematiku, ale vyvolává až Snowova studie (2006). Snow (2006) představil metodu odhadu pohlaví u tří stop rukou z francouzské paleolitické jeskyně Pech Merle a dalších tří stop z Abri du Poisson, Les Combarelles a Font de Gaume. Na základě vytvoření dvou diskriminačních funkcí z referenčního souboru 111 jedinců ze současné americké populace v Pensylvánii. Stejnou metodu použil v roce 2013, kdy měl k dispozici soubor 32 stop z devíti evropských jeskyní (Snow, 2013). Došel k závěru, že více než polovinu stop zanechaly na stěně jeskyně ženy (v případě první studie to bylo 67 % žen, v případě druhé studie bylo 75 % stop přisouzeno ženám). Spolehlivost jeho metody zpochybňuje Galeta s kolektivem (Galeta et al., 2014) na souboru ze současné francouzské populace. Při aplikaci Snowem vytvořené diskriminační funkce zjistili, že vykazuje u současné francouzské populace nižší spolehlivost, než u populace americké. Snow (2006) hodnotí míru správné klasifikace na 79 % u přímého rozměru ruky u mužů a jen na 50 % s využitím Manningova indexu. U přímého rozměru ruky byly ženy nesprávně klasifikovány za pomoci diskriminační analýzy ze 100 % a muži z 58 %. Při využití rozměrů druhého a čtvrtého prstu byli všichni jedinci „správně“ ohodnoceni jako muži.

Snow (2006, 2013) ve svých pracích předpokládá, že evropské obyvatelstvo je od svrchního paleolitu homogenní a nebere v potaz lidskou variabilitu a adaptabilitu. Jak Galeta s kolektivem (2014) v článku předkládají, tak rozdíly ve správné klasifikaci rukou mužů a žen mohou

být zapříčiněny variabilitou ve velikosti a tvaru ruky mezi americkou a francouzskou populací. Úspěšnost současné metody, tak jak je představena Snowem, není predikovatelná na minulou populaci.

Problém při odhadování délky ruky a všech ostatních charakteristik spočívá v tom, že na výslednou morfologii ruky působí více faktorů – genetické vlohы jedince nebo klima (Holliday, 1997a; b; Holliday a Ruff, 2001; Loehlin et al., 2006). Můžeme očekávat, že ve tvaru a velikosti ruky existují mezipopulační rozdíly a ruka je jako anatomický útvar populačně specifická, tj. liší se mezi populacemi. Veškeré studie zabývající se těmito odhady pracují s klasifikačními funkcemi, které jsou právě populačně specifické (Snow, 2006, 2013; Wang et al., 2010; Mackie, 2015) a jsou aplikovatelné pouze na populaci, na které byly vytvořeny.

Mik s kolektivem (Mik et al., 2016) navrhuje metodologicky vhodnější postupy, které by mohly být aplikovatelné na otisky rukou a stop nezávisle na tom v jaké části světa tento druh umění vznikl. Navrhují vytvořit referenční soubor paleolitických otisků rukou známého pohlaví, který v současnosti neexistuje. Prvním krokem je rekonstrukce délky ruky paleolitických umělců z jejich kosterních pozůstatků, tj. z kostí ruky paleolitického stáří. Druhý krok představuje odhad pohlaví z pánevní kosti jedinců, tím by získali referenční soubor o „známém“ pohlaví. A v třetím kroku by na základě referenčního souboru o známém pohlaví byla vytvořena klasifikační funkce, která by umožňovala odhad pohlaví z otisků a stop na stěnách jeskyní. Na rozdíl od ostatních studií by tato funkce byla vytvořena na souboru paleolitického stáří (Mik et al., 2016).

Rekonstrukci délky otisku ruky z kostí ruky lze provést dvěma metodami. Matematickou metodou pomocí regresní rovnice vytvořené z délky některé záprstní kosti. Podmínkou je silný korelační vztah mezi délkou otisku a délkou záprstní kosti. Případně anatomickou metodou, ze

součtu délek kostí středního paprsku ruky a následnou korekcí na měkké tkáni.

Pro matematickou metodu odhadu existuje již předběžná studie věnující se vztahu mezi záprstními kostmi a délkou ruky (Mik, 2014). Přesnost odhadu délky ruky touto metodou je srovnatelná se známými odhady výšky postavy (Ruff et al., 2012), u které lze najít nejnižší hodnotu relativní chyby odhadu 1,66 % a nejvyšší 2,73 %. Zatímco u odhadu délky ruky podle Mika (2014) se hodnoty relativní chyby odhadu pohybují od 2,8 do 3,1 %. Nevýhodou matematické metody je, že je populačně specifická a tudíž ji můžeme použít jen na populaci, na které byla vytvořena.

V této práci se budeme zabývat odhadem délky ruky z kostí ruky anatomickou metodou z rentgenových snímků, kterou navrhuje Mik s kolektivem (2016). Předpokládáme, že stejně jako metody odhadu výšky postavy anatomickou metodou (Fully 1956, Raxter et al., 2006) bude tato metoda populačně nespecifická a za příznivých okolností bychom ji mohli využít u otisků rukou různých populací, s jinými proporcemi než je referenční soubor.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je odhadnout délku ruky z kostí ruky anatomickou metodou. Z rentgenových snímků změříme délku ruky a délku kostry ruky. Délku kostry ruky spočítáme jako součet délek kostí středního parsu ruky – kosti poloměsíčitě (*os lunatum*), kosti hlavaté (*os capitatum*), třetí záprstní kosti (*os metacarpi, MC3*), a článků prstů (*phalanges*).

3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

3.1 Anatomie ruky

Kostra ruky je distální částí horní končetiny, tzv. *autopodium*. Konečný úsek, který se sestává s většího počtu krátkých a nepravidelných kostí. *Autopodium* se rozvětňuje do pěti paprsků a vytváří anatomický útvar - ruku, na kterou navazuje tzv. *zeugopodium*, tvořené dvěma dlouhými kostmi (kost vřetenní a kost loketní). Na *zeugopodium* se napojuje tzv. *stylopodium* sestávající se z jedné dlouhé kosti (kost pažní). Tyto tři segmenty společně utvářejí horní končetinu (Čihák, 2011).

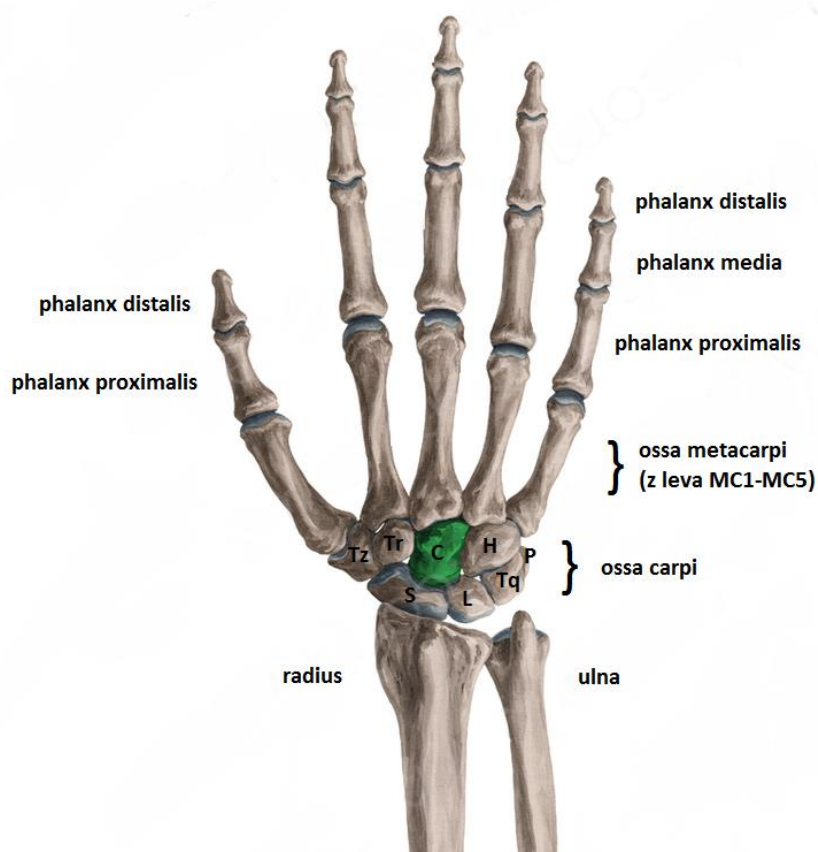
Lidskou ruku (*manus*) (Obrázek 1) tvoří celkem 27 kostí. Kosti ruky (*ossa manus*) zahrnují kosti zápěstí (*ossa carpi*), kosti záprstní (*ossa metacarpi*), články prstů (*ossa digitorum manus* neboli *phalanges*) a v některých případech i sesamské kůstky (*ossa sesamoidea*), jež se nacházejí uložené ve šlachách, u ruky při metakarpofalangovém kloubu palce (Čihák, 2011).

Kosti zápěstí jsou uspořádány do dvou řad po čtyřech nepravidelných kostech, celkem zápěstí (*carpus*) tvoří osm kostí. Proximální řada se skládá z kosti loďkovité (*os scaphoideum*), kosti poloměsíčitě (*os lunatum*), kosti trojhranné (*os triquetrum*) a kosti hráškové (*os pisiforme*). Distální řadu tvoří kost mnohohranná větší (*os trapezium*), kost mnohohranná menší (*os trapezoideum*), kost hlavatá (*os capitatum*) a kost hákovitá (*os hamatum*) (Čihák, 2011).

Zápěstí je dorsální konvexní oblast kostry ruky, která je zvýrazněna dvěma vyvýšeninami na radiálním a ulnárním okraji. *Eminentia carpi radialis* složená z *tuberculum ossis scapioidei* a *tuberculum ossis trapezii*. *A eminentia carpi ulnaris* složená z *os pisiforme* a *hamulus ossis hamati*. Vyvýšeniny jsou spojeny vazem, načež vzniká karpální tunel (*canalis carpi*). Tunelem prochází šlachy svalů a nervy (Čihák, 2011).

Kostru dlaně neboli záprstí (*metacarpus*) tvoří pět kostí typu dlouhého, skládají se z proximální baze, těla a distální hlavice. Záprstí tvoří kostěný základ dlaně a hřbetu ruky. Distálně navazují na zápěstí. Jednotlivé kosti jsou očíslovány 1 až 5 v radioulnárním směru, zjednodušeně lze použít zkratku MC1 až MC5 (Čihák, 2011).

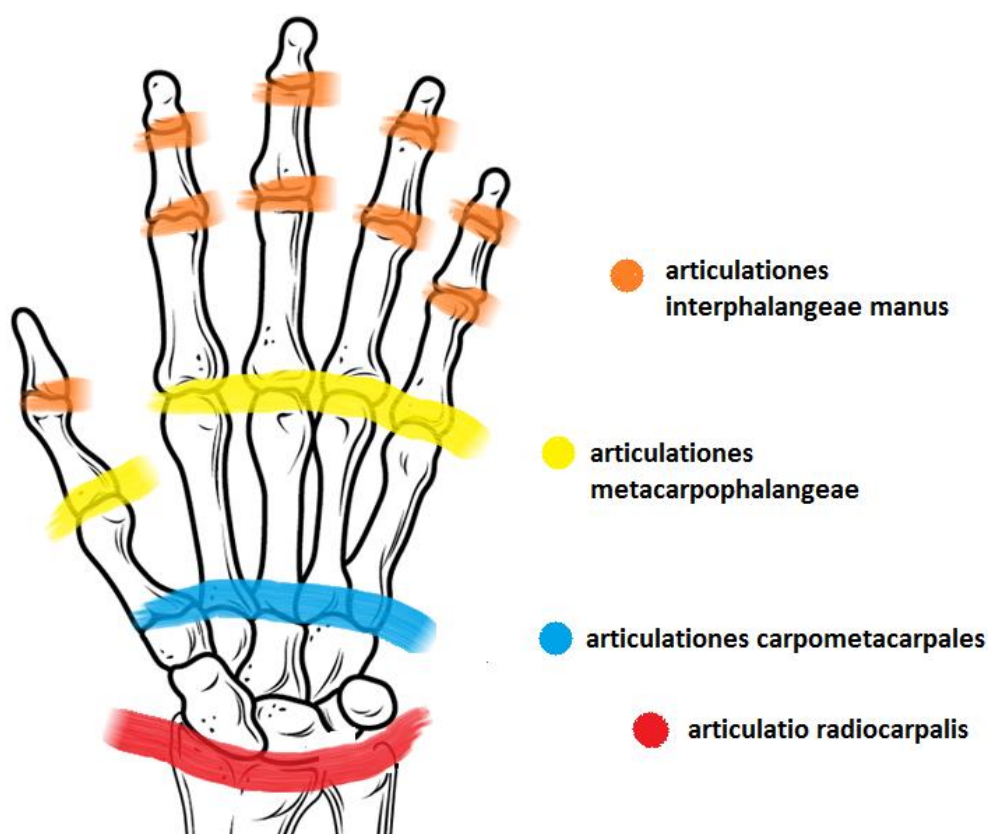
Kosti prstů *ossa digitorum manus* čili *phalanges*. Články prstů jsou dva pro palec a tři pro ostatní čtyři prsty, jsou uspořádány ve třech řadách jako *phalanx proximalis*, *media* a *distalis* (Čihák, 2011).



Obrázek 1. Kosti pravé ruky z dorzálního pohledu. Proximální řada – S (os scaphoideum), L (os lunatum), Tq (os triquetrum), P (os pisiforme). Distální řada – Tz (os trapezium), Tr (os trapezoideum), C (os capitatum), H (os hamatum). Zdroj:

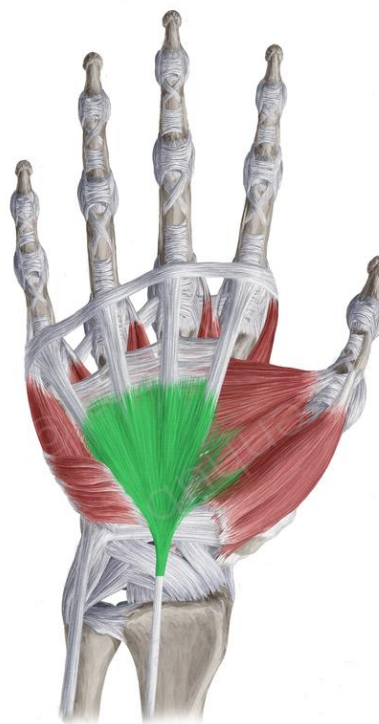
<https://www.kenhub.com/> (upraveno).

Pohyblivost ruky zaručují její klouby (Obrázek 2), které jsou uspořádány v několika řadách za sebou. Klouby umožňují pohyb ruky jako celku, v zápěstí i v prstech. Mezi kostí loketní (*ulna*) a vřetení (*radius*) a řadou karpálních kostí se nachází kloubní spojení *articulatio radiocarpalis*. Mezi proximální a distální řadou karpálních kostí je pak skloubení *articulatio mediocarpalis*. Mezi jednotlivými karpálními kostmi jsou klouby malé pohyblivosti *articulationes intercarpales*. Beze metakarpálních kostí s distální řadou karpálních kostí spojují *articulationes carpometacarpales*, ty jsou doplněny pomocnými klouby mezi MC2 až MC5 (*articulationes intermetacarpales*). Kloubní pouzdra jsou krátká a pevná, kloubní spojení je posíleno ligamenty (Čihák, 2011).



Obrázek 2. Klouby ruky. Zdroj: <https://twitter.com/AnatomyZone> (upraveno).

Dále musíme zmínit svalové skupiny ruky (Obrázek 3), protože svaly mají vliv nejen na morfologii ruky jako celku, ale také působí na tvar kostí. Na dorzální straně ruky nejsou upnuty žádné specifické svaly, za to na palmární straně, najdeme svaly, které tvoří dlaň. Tyto svaly (*musculi manus*) můžeme rozdělit do tří hlavní skupin: skupina palcová neboli *thenar*. Do této skupiny patří *musculus abductor pollicis brevis*, *musculus flexor pollicis brevis*, *musculus opponens pollicis*, *musculus adductor pollicis*. Další skupinou je malíková skupina neboli *hypothenar*. Do této skupiny patří *musculus palmaris brevis*, *musculus abductor digiti minimi*, *musculus flexor digiti minimi brevis*, *musculus opponens digiti minimi*. Třetí hlavní skupinu tvoří svaly středního prostoru – *musculi lumbiricales manus* a *musculi interossei manus*, které dělíme na svaly palmární (*musculi interossei palmares I-III* a *musculi interossei dorsales I-IV*).



Obrázek 3. Svaly ruky, palmární pohled. Zdroj:

<https://www.kenhub.com/en/atlas?sequence=hand-bones-and-ligaments> (upraveno).

3.2 Variabilita velikosti a tvaru ruky

Variabilitu tvaru a velikosti ruky můžeme pozorovat mezi různými populacemi, ale také v rámci jedné populace (Králík et al., 2014a). Velikost a tvar ruky se bude odlišovat u mužů a u žen (Stojanowski, 1999; Barrio et al., 2006; McIntyre et al., 2006) , mezi obyvateli Evropy, Afriky i Asie (El Morsi a Al Hawary, 2013) a mezi leváky a praváky (Polak a Trivers, 1994). Tvar a velikost ruky se také mění v prostoru a čase během lidské evoluce (Young, 2003).

Morfologie ruky je ovlivněna zejména genetickými faktory a vlivem vnějšího prostředí (stresem během vývoje a růstu jedince).

3.2.1 Ontogenetický vývoj ruky

Onemocnění nebo užívání některých léků během těhotenství v 4.-7. týdnu ontogeneze, může vést k vývojovým vadám a deformitám končetin. Ty jsou poté zdrojem variability ve tvaru a velikosti ruky a v počtu nebo délce prstů (Moore a Persaud, 2002).

Ontogeneze neboli vývoj jedince je proces, který začíná splynutím dvou pohlavních buněk a vede k dospělé formě jedince. Oplozené vajíčko se postupně dělí, rýhuje a proměňuje. Během třetího týdne vývoje zárodku se utváří primitivní proužek, vyvíjí se *notochord* a diferencují se tři zárodečné listy (*ektoderm* – kůže a její deriváty, centrální nervová soustava, periferní nervová soustava, sítnice, *endoderm* – dýchací soustava, trávicí soustava kromě ústní dutiny a řitního otvoru, *mesoderm* – pojiva, svaly, oběhový a lymfatický systém, pohlavní a vylučovací soustava, kosti) (Moore a Persaud, 2002). Kostra horní končetiny se začne utvářet 26.-27. den gestačního období (Malas et al., 2006), u embrya velkého 3 mm jako končetinový pupen ploutvovitého tvaru. Diferenciace je regulována HOX geny a vývoj probíhá kraniokaudálním směrem (Vacek, 2006).

V pátém týdnu vývoje lze u ruky rozlišit autopodium, o týden později rozeznáváme stylopodium a zeugopodium. U autopodia je již naznačeno pět prstů, které zůstávají spojené kožní řasou. Začátkem druhého měsíce vývoje embrya se vytvoří chrupavčité základy pletence horní končetiny, v druhé polovině tohoto měsíce se také vytvoří centra pro zápěstí, zápěstí a prsty. Plně diferenciovaná horní i dolní končetina je rozeznatelná u plodu velkého 25 mm, mezi 9.-10. týdnem prenatálního období (Vacek, 2006).

V době narození je většina kostí zápěstí chrupavčitá, karpální osifikace postupuje od kosti hlavaté (1. rok života), ke kosti hákovité (1. rok), od ní poté ke kosti trojhranné (3. rok), kosti poloměsíčitě (4. rok), kosti loďkovité (4.-5. rok), mnohohranné kosti větší (5.-6. rok), mnohohranné kosti menší (6.-7. rok), jako poslední osifikuje kost hrášková mezi 8. a 13. rokem života (Čihák, 2011).

3.2.1.1 Vývojové vady ruky

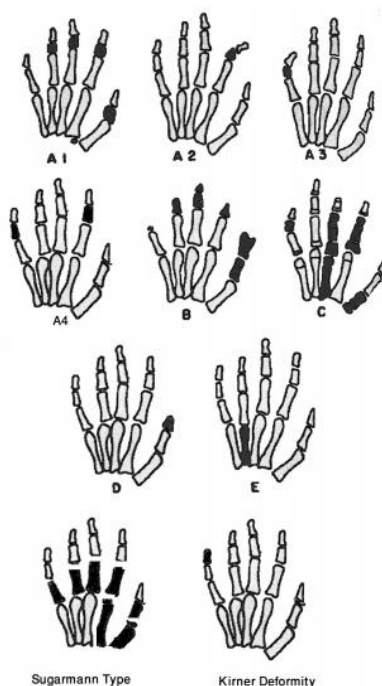
Vrozené vady končetin se mohou vyskytnout v různém stupni rozsahu a s různou četností výskytu. 90 % vrozených defektů má genetický původ ve zbylých 10 % jsou příčinou biologické, fyzické nebo chemické teratogeny (viry, bakterie, jiné choroby matky, antibiotika a chemické látky nebo ionizující záření) (Šípek et al., 2010).

Vývojové vady se týkají celých končetin nebo jejich částí. *Amelie* je vývojová vada při, které se končetiny nevyvinou vůbec, v případě *fokomelie* se diferencuje pouze autopodium a vzniknou tak ruce (nohy, v případě dolní končetiny) připojené přímo k trupu. Jako *meromelie* se označuje vada, kdy se vyvinou jen některé oddíly končetiny (Vacek, 2006).

Pokud během ontogenetického vývoje dojde k poruše apoptózy (programované buněčné smrti) vzniknou chyby v diferenciaci a separaci rukou a nohou. Může dojít ke spojení a pozdějšímu srůstu prstů tzv.

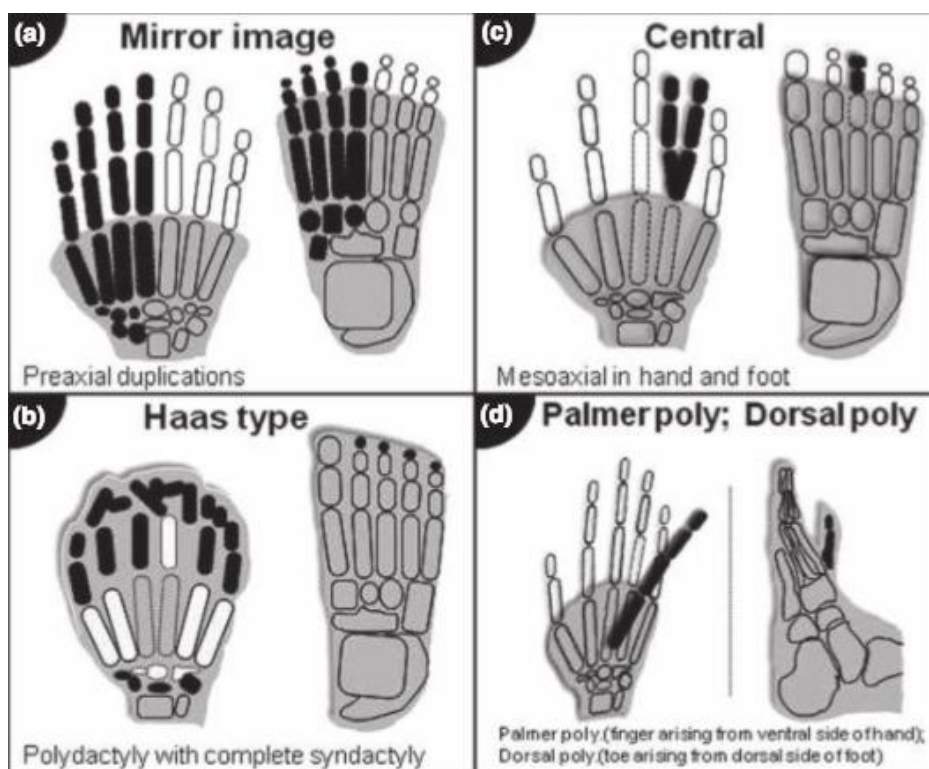
syndaktylii, jenž je nejčastější vrozenou vadou končetin (výskyt 1:2000). Syndaktylie se vyskytuje ve dvou formách. Pokud jsou prsty spojeny v celé své délce, jedná se o kompletní syndaktylii, jestliže jsou prsty spojeny jen v proximální nebo distální části, jde o syndaktylii nekompletní. Podle charakteru srůstu prstů oddělujeme syndaktylii jednoduchou a komplexní. Jednoduchá syndaktylie se projevuje pouze srůstem měkké tkáně, zatímco u komplexního srůstu dochází ke kostěnému spojení (Dungl, 2005). U srostlých prstů může také dojít k jejich zkrácení, hovoříme tedy o *brachysyndaktylii*.

Brachydaktylií nazýváme vadu, u které dochází ke zkrácení jednotlivých článků prstů, záprstních kostí nebo obojího. Brachydaktylie se vyskytuje v několika formách (označována jako brachydaktylie A1 až A5, B, C, D, E, brachymetakarpalíe IV, Sugarmanova brachydaktylie nebo Kirnerova deformita), viz Obrázek 4. Různé typy brachydaktylie se objevují ve spojení s jinými deformacemi nebo syndromy – Robinowův syndrom, Rubinstein-Taybi syndrom nebo Panův syndrom (Temtamy a Aglan, 2008).



Obrázek 4. Různé typy brachydaktylie. Černě vyznačené postižené části (Temtamy a Aglan, 2008).

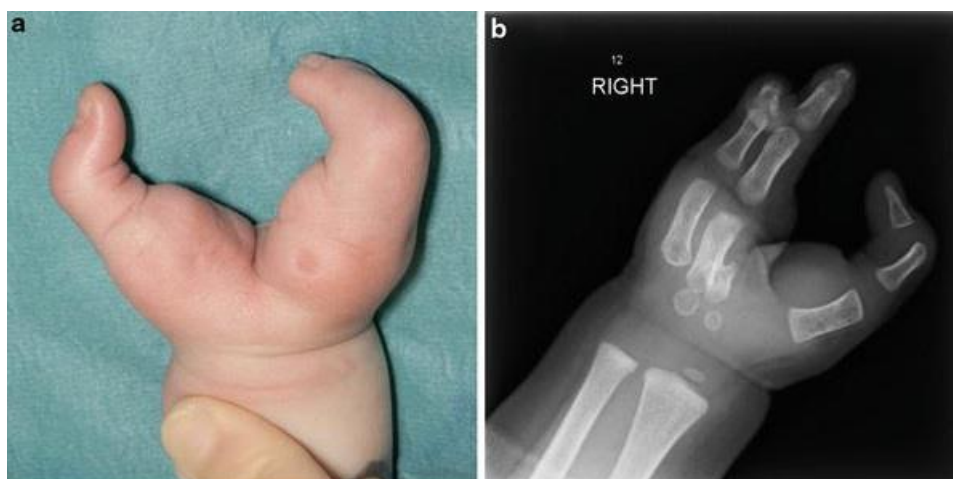
Během vývoje může také dojít k duplikaci končetin nebo jejich částí, jedná se o vady, jež vznikly v důsledku rozštěpu embryonální tkáně, který vedl k vytvoření nadpočetných periferních i centrálních segmentů. Mezi takové vady řadíme *polydaktylii*, tedy zmnožení počtu prstů. Rozlišujeme polydaktylii preaxiální – duplikace palce, centrální – duplikace D2, D3 a D4, polydaktylie postaxiální – duplikace malíku, která se vyskytuje nejčastěji. Dále rozlišujeme polydaktylii komplexní, kam řadíme tzv. „polydaktylii zrcadlového odrazu“, středovou, Haasova typu nebo polydaktylii vycházející z palmární nebo dorzální strany ruky (Obrázek 5) (Malik, 2013).



Obrázek 5. Typy komplexní polydaktylie, a) polydaktylie „zrcadlového odrazu“ b) polydaktylie středová c) polydaktylie Haasova typu d) polydaktylie vycházející z palmární nebo dorzální strany ruky a nohy (Malik, 2013).

Opakem polydaktylie je *oligodaktylie*, též parciální adaktylie, což je vada, která je typická sníženým počtem prstů, případně jsou založeny jenom jejich rudimenty. Rozdělit ji můžeme na preaxiální – chybí palec a

druhý prst a na postaxiální – chybí čtvrtý prst a malík. Bývá také spojena s rozštěpem ruky, kdy vzniká tzv. „račí klepeto“, v tomto případě chybí centrální prsty a zbytek je zachován (Obrázek 6) (Dungl, 2005).



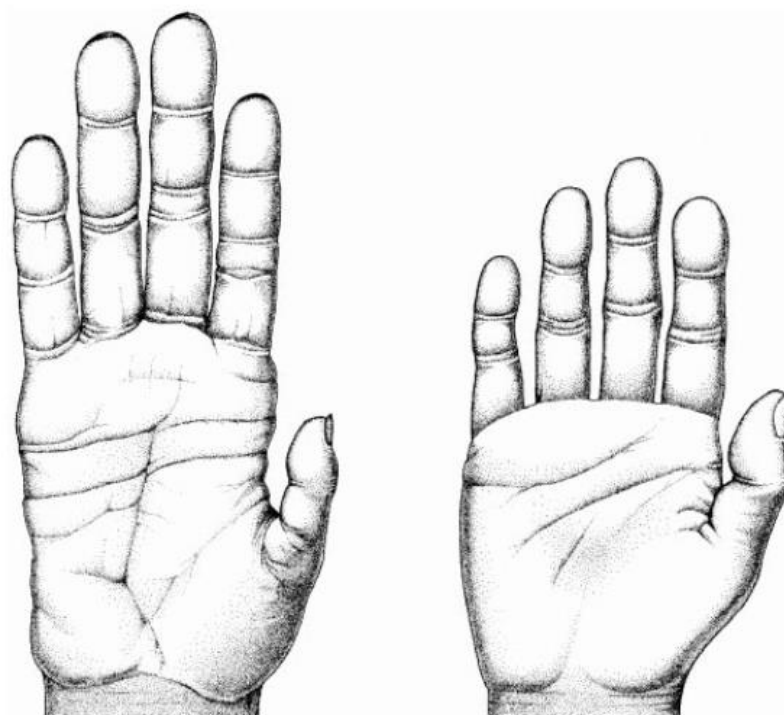
Obrázek 6. Oligodaktylie pravé ruky spojená se syndaktylií. Zdroj: <https://obgynkey.com/syndromes-associated-with-syndactyly/> (upraveno).

3.2.2 Fylogenetický vývoj ruky

Fylogenetický vývoj ruky se v mnoha studiích pojí s fosilními nálezy homininů, šimpanzů a otázkami spojenými s vývojem úchopu, precizního stisku nebo schopností házet předměty (Napier, 1960; Marzke a Marzke, 2000; Young, 2003; Almécija et al., 2015). Kvůli tomu dochází během evoluce ke změnám ve velikosti a morfologii kostí ruky, ale také ke změnám v celkové velikosti nebo tvaru ruky.

3.2.2.1 Ruka šimpanze a člověka

Ruka šimpanze nebo jakéhokoliv jiného primáta je typická svými dlouhými zakřivenými prsty a relativně krátkým palcem. Lidská ruka je naproti tomu více svalnatá, celkově větší s relativně delším palcem v opozici, ostatní prsty jsou kratší a rovnější než u primátů (Young, 2003).



Obrázek 7. Nalevo ruka šimpanze, napravo lidská ruka (Young, 2003).

Vědci se shodují v tom, že tyto rozdíly ve tvaru a velikosti ruky lze během evoluce přičíst používání nástrojů (Marzke a Marzke, 2000). Ruka šimpanze je často brána jako model pro ruku nejstarších předků. Vyspělejší morfologie ruky se vyskytuje až s *Australopithecus sediba*. Zápěstní, záprstní kosti a prsty mají šimpanzi protáhlé, palec je naproti tomu krátký a spíše imobilní. Proximální a mediální články prstů jsou zakřivené směrem do palmy ruky, což dává šimpanzům schopnost úchopu při arboreální lokomoci. Schopnost úchopu se značně liší od člověka. Palec může sloužit jako opora, ale nedokáže plně stisknout a není schopen precizního gripu (Young, 2003). Lidská ruka je význačná svým palcem v opozici. Opozitní postavení palce je umožněno postavením první záprstní kosti proximálněji a svaly *thenaru*, které umožňují pohybovat palcem (Čihák, 2011). Prsty jsou kratší a ztratily zakřivení typické pro šimpanze. Na distálních člácích prstů můžeme najít robustní apikální chomáčky, které napomáhají rozložení síly při silném stisku (Young, 2003). Mezi specifické pohyby palce a ostatních prstů patří dotek mezi palcem a všemi ostatními prsty, dále možnost

uchopit předmět a odhodit ho, případně bezpečně a rychle vzít a držet zbraň. Fosilní nálezy ukazují, že právě výše uvedené možnosti měly vliv na morfologii a anatomii ruky (Marzke a Marzke, 2000; Young, 2003).

3.2.2.2 Ruka u *Ardipithecus ramidus*

K objevu *Ardipithecus ramidus* (dříve popsán jako *Australopithecus ramidus*) došlo v roce 1994. Za jeho odkrytím v Aramisu stojí Tim White s týmem. Byla exkavována neúplná kostra – zachovaly se části lebky, zuby, zlomky obratlů a žeber, kost pažní i většina předloktí, dvě proximální části stehenních kostí a zlomky pánevního pletence. Dochovaly se jak kosti dolní, tak horní končetiny, včetně kostí ruky a nohy, což vedlo mnohé autory k analýze lokomočních vzorců a možnosti využívání bipední chůze u *A. ramidus* (White et al., 1994; Lovejoy et al., 2009a; b; c; d; Suwa et al., 2009).

Ruka *A. ramidus* byla odkryta téměř kompletně (Obrázek 8). Chybí pouze kost hrášková a čtyři distální články prstů. První paprsek ruky je popisován jako robustní oproti jiným primátům, také se od ostatních primátů liší distálním článkem prstu prvního paprsku ruky, který disponuje místem pro úpon *flexor pollicis longus*. Pokud srovnáme druhou až pátou záprstní kost s ostatními primáty, zjistíme, že *A. ramidus* měl všechny záprstní kosti kratší. Dalším zajímavým znakem je celková stavba dlaně ruky. Ta je rovná s dominující poloměsíčitou kostí. Výše zmíněné znaky naznačují, že ruka *A. ramidus* je anatomicky specializovaná jako u jiných afrických lidoopů a zároveň u tohoto hominina došlo k jemným změnám pro lepší arboreální lokomoci. Noha vykazuje menší výhodné změny pro chůzi po zemi (Lovejoy et al., 2009b).

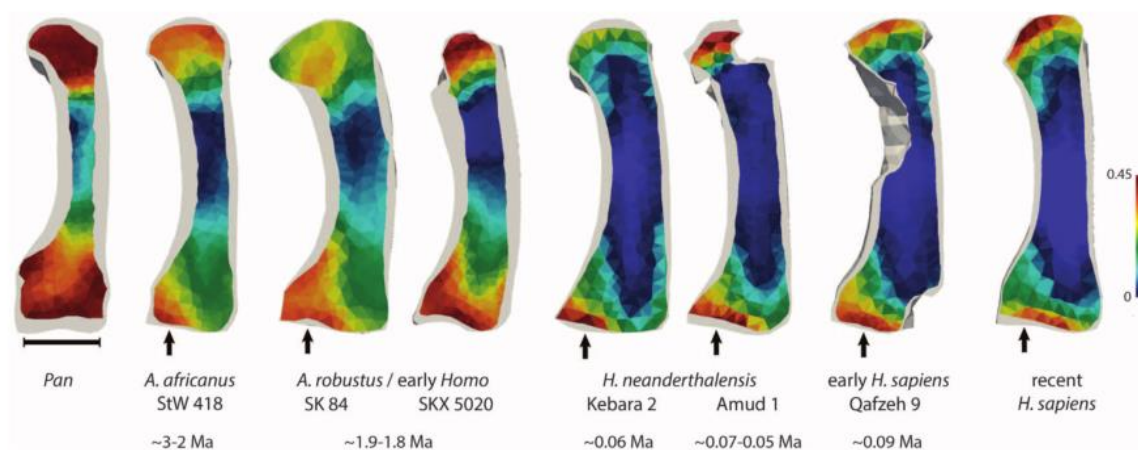


Obrázek 8. Digitální rekonstrukce ruky *Ardipithecus ramidus* ARA-VP-500/6 (Lovejoy et al., 2009b).

3.2.2.3 Ruka u zástupců rodu *Australopithecus*

U *A. afarensis* se autoři Alba, Moyá-Solá a Köhler (2003) zajímali především o proporce ruky a délku palce v souvislosti s precizním gripem a možným využíváním nástrojů. Výsledky morfometrické analýzy ukazují na proporce ruky podobné člověku, ačkoliv jsou v analýze použity kosti ruky více jedinců (Alba et al., 2003).

Dalším ze zástupců je *A. africanus*, jehož anatomie ruky je stále předmětem zájmu, jak ukazuje nejnovější článek od Skinnera a kolektivu z roku 2015 (Skinner et al., 2015). Ti se odkazují na analýzu průřezu záprstních kostí u *A. africanus* a dle jejich výsledků je spongióza záprstních kostí podobná svou hustotou kostem šimpanzů a ruce jsou stále uzpůsobené pro arboreální lokomoci, naproti tomu rozložení spongiózní kosti se podobá modernímu člověku a Neandertálcům (Obrázek 9). Pro schopnost precizního gripu a výrobu nástrojů, však hovoří nejvíce asymetrické rozložení trámčiny u hlavice třetí a páté záprstní kosti a zároveň fakt, že takovéto rozložení trámců spongiózní kosti zcela chybí u šimpanzů (Skinner et al., 2015). Výsledky studie tak na základě morfologie kostí ruky ukazují, že *A. africanus* mohl používat své ruce k manipulaci s kamennými nástroji. Podobné výsledky na základě jiných metod jsou představeny i u staršího *A. afarensis* nebo u mladšího *A. sediba* (Ricklan, 1987; Tocheri et al., 2008; Kivell et al., 2011; Almécija, 2014; Almécija et al., 2015).

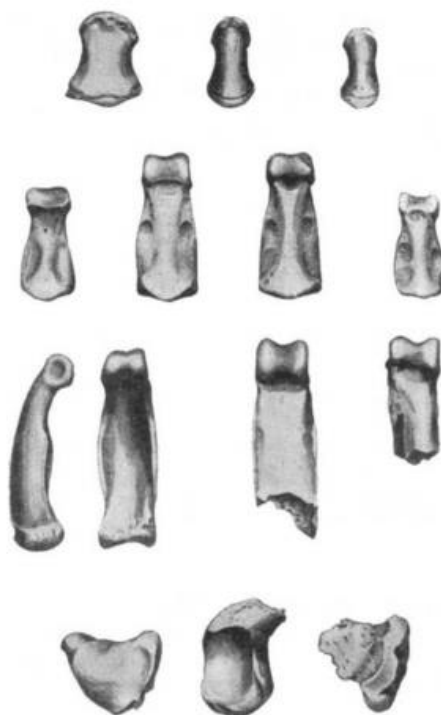


Obrázek 9. Řez v sagitální rovině skrze první záprstní kost šimpanze, *A. africanus*, *A. robustus*, *H. neanderthalensis*, časného a recentního moderního člověka. Barevně je vyznačena hustota spongiózní kosti na škále od 0 % (tmavě modrá barva) do 45 % (tmavě červená až černá barva), Skinner et al., 2015 (upraveno).

3.2.2.4 Ruka u zástupců rodu *Homo*

V roce 1964 Leakey et al. přiřadili k nově nalezenému *Homo habilis* několik charakteristik, kterými by se měl vyznačovat každý ze zástupců rodu *Homo*. Kromě velikosti mozku nad 600 cm³ a vlastnictví jazyka, to byla schopnost vyrábět kamenné nástroje, jenž se pojí se schopností precizního gripu založeného na postavení palce v opozici.

Z ruky *H. habilis* se zachovalo celkem 15 kostí (Obrázek 10). Nejlépe se zachovali články prstů, karpální kosti jsou zachovány pouze tři – *os trapezium*, *os scaphoideum* a *os capitatum* (Napier, 1962).



Obrázek 10. Kosti ruky *Homo habilis* (holotyp OH7), Napier (1962).

Distální články prstů vypadají stejně jako u *H. sapiens*. Na konci mají apikální chomáčky, což značí lepší předpoklad pro tvorbu nástrojů. Distální článek u palce ruky je silný a široký, také nese hluboký žlábek pro *flexor pollicis longus*. První záprstní kost a *os trapezium* svou morfologií dovolují větší rozsah pohybů, tím přispívají k evidenci o možnosti precizního gripu (Napier, 1962; Susman a Creel, 1979).

Téměř 50 let po objevu někteří autoři začali řešit problémy s taxonomickým zařazením kostí ruky holotypového jedince *H. habilis*, OH 7. Moyá-Solá s kolektivem (2008) zkoumali články prstů dospělého jedince OH 7 z morfometrického i morfologického hlediska, bez ohledu na taxonomické zařazení. Morfometrickou a morfologickou příbuznost porovnávali s *H. sapiens*, *H. neanderthalensis*, *H. ergaster/erectus*, stejně tak i se zástupci gracilních a robustních australopitéků. Výsledky ukazují, že falangy OH 7 mohou patřit *A. boisei* (v článku jako *Paranthropus boisei*) a zařazení pod *H. habilis* je tedy víceméně závislé na lebce a postkraniálním skeletu nedospělého jedince.

Kosti ruky *H. ergaster* (*H. erectus sensu lato*) jsou zastoupeny pouze dvěma prvními záprstními kostmi z levé a pravé ruky, proximálním článkem palce a mediálním článkem prstu. Z karpálních kostí se dochovala pouze kost poloměsíčitá (Walker a Leakey, 1993). Máme k dispozici tedy pouze limitovaný fosilní materiál kostry ruky, ale přesto můžeme tvrdit, že nese spíše plesiomorfnní znaky, tedy vývojově původnější obecné znaky, sdílené alespoň dvěma skupinami předků (Tocheri et al., 2008).

Více než sto kostí ruky náleží devíti jedincům *H. neanderthalensis* z iráckého Shanidaru. Jedná se o nejlépe zachované kosti ruky ve fosilním záznamu. Hlavní rozdíly mezi rukou moderního člověka a neandertálce tkví v robusticitě kostí, uspořádání karpometakarpálního kloubu a jiných mechanických využití určitých svalů ruky (Trinkaus 1983, Trinkaus et al., 1991).

H. neanderthalensis, společně s *H. sapiens* a *H. antecessor*, jsou jedinými zástupci, jejichž kostra ruky vykazuje odvozené znaky, které nenajdeme nikde jinde v linii homininů. Tyto znaky se s největší pravděpodobností vyvinuli jako synapomorfie, které se mohli objevit kolem 1,8 – 0,8 mya. (Tocheri et al., 2008).

3.2.3 Vliv klimatu na velikost a tvar ruky

Už od 19. století jsou nám známa dvě základní ekogeografická pravidla, která popisují vliv klimatu na morfologii těla teplokrevných živočichů. Těmito rozdíly v morfologii se zabývali vědci Carl Bergmann, podle něž je pojmenováno Bergmannovo pravidlo (1847) a Joel Asaph Allen, po kterém nese název Allenovo pravidlo (1877). Tyto pravidla nám říkají, že teplokrevní živočichové mají menší a štíhlejší tělo a delší končetiny, pokud obývají teplé oblasti a naopak, pokud žijí v chladnějším pásu, tak disponují větším, zavalitějším tělem a kratšími končetinami.

Tyto pravidla můžeme vztáhnout nejen na velikost těla, ale také na velikost končetin i ruky. Některé ze studií se zabývají proporcí končetin současných i minulých populací (zvláště pak u neandertálců). Zmíněné studie potvrzují, že populace žijící v chladných oblastech mají relativně kratší končetiny než obyvatelé teplejších oblastí (Holliday, 1997a; b; Lazenby a Smashnuk, 1999; Betti et al., 2015).

3.2.3.1 Bergmannovo pravidlo

Podle Bergmannova pravidla disponují populace teplokrevných živočichů žijících v chladném podnebném pásu větší velikostí těla než jedinci stejného druhu obývajících teplejší oblasti (Bergmann, 1847; Rensch, 1938).

Pokud dojde ke zvětšení tělesné velikosti, změní se poměr mezi tělesnou hmotností a povrchem těla. Větší velikost těla znamená větší produkci tepla a energie díky větším zásobám tělesného tuku nebo hustotě svalů. Kvůli menšímu povrchu energie ani teplo tolik neuniká do okolního prostředí, proto je nejvýhodnější se v chladných oblastech co nejvíce přiblížit tvaru koule, která má vůči svému objemu nejmenší povrch (Obrázek 11) (Ruff, 1994).



Teplé oblasti

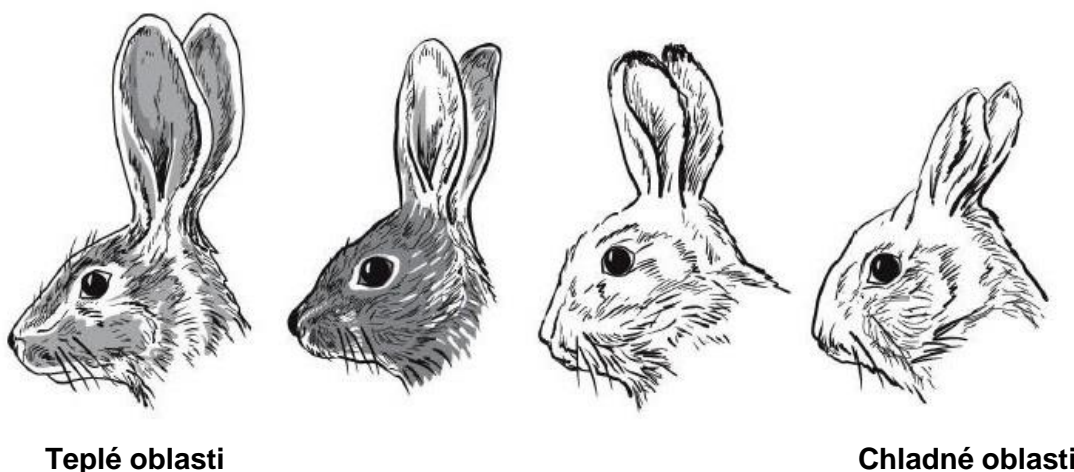
Chladné oblasti

Obrázek 11. Vyjádření Bergmannova pravidla: změna ve velikosti těla medvědů podle obývané oblasti. Zdroj: https://silvrback.s3.amazonaws.com/uploads/79fa74bf-9627-46f1-bf9f-94e587f4f757/Image%20%20Bergmanns%20rule.jpg_large.png

Protože Bergmannovo pravidlo bylo formulováno před více než 150 lety, do dnešních dnů je předmětem mnoha studií, které se snaží dokázat nebo vyvrátit spojitost mezi velikostí těla (nejen teplokrevných živočichů), obývanou zeměpisnou šířkou a teplotou. Například Ashton s kolektivem (2013) zjistili, že u 78 ze 110 druhů savců na vnitrodruhové úrovni existuje pozitivní korelace mezi velikostí těla a zeměpisnou šířkou. Podobné výsledky představují i Meiri a Dayan (2003), kdy 72 % zkoumaných ptáků a 65 % savců podléhá Bergmannovu pravidlu. Někteří autoři jsou však přesvědčeni, že nezáleží na teplotě a geografii, nýbrž se podle Rosenzweiga (1968) velikost těla více přizpůsobuje dostupnosti či nedostupnosti potravy. Tomu odporuje Ruff (2002), který říká, že potrava má sice vliv na celkovou morfologickou stavbu jedince, nejvíce ale ovlivňuje výšku a hmotnost a se šíří těla nijak nesouvisí.

3.2.3.2 Allenovo pravidlo

Allenovo pravidlo nám říká, že teplokrevní živočichové obývající chladné prostředí mají ke své velikosti těla relativně krátké končetiny i jiné extremity – nos, uši a ocas, zatímco živočichové žijící v teplém prostředí mají končetiny dlouhé. Opět toto pravidlo souvisí s tělesným teplem, kratší končetiny zmenšují povrch těla k jeho celkovému objemu. V chladných oblastech tak u živočichů s krátkými extremitami nedochází ke zbytečné ztrátě tepla a naopak, v teplých oblastech, dlouhé končetiny pomáhají k odvodu přebytečného tepla (Allen, 1877). Princip zvětšení povrchu těla k celkové velikosti těla platí i zde (Obrázek 12).



Obrázek 12. Vyjádření Allenova pravidla: změna ve velikosti uší zajíců. Zdroj:

<http://www.newtonsapple.org.uk/wp-content/uploads/2016/03/Allens-rule-showing-hares-and-foxes.jpg>

Jedna z novějších studií se zajímá o velikost a délku zobáku u 214 druhů ptáků (Symonds a Tattersall, 2010). Všechny druhy vykazují pozitivní korelaci mezi délkou zobáku, obývaným prostředím a teplotou. Nejvíce znatelné znaky nesli austrálští papoušci, tučňáci nebo rackové (Symonds a Tattersall, 2010). Kromě ptáků byli předmětem zájmu také králíci (Stevenson, 1986) nebo žáby (Alho et al., 2011).

3.2.3.3 Adaptace na klima u moderního člověka

Velikost a tvar těla se různí napříč populacemi na celém světě. Průměrná váha se liší o 50 % mezi muži a ženami uvnitř a mezi populacemi na celém světě. Průměrná výška postavy a šířka těla (počítáme s bi-iliakální šíří nebo maximální šířkou pánve) se také odlišují, i když o něco méně. Odlišnost ve výšce postavy mezi populacemi je kolem 10 % a nepodléhá žádnému geografickému trendu. Zatímco rozdíly v šířce postavy jsou větší, kolem 25 % a můžeme sledovat jasný gradient spojený se zeměpisnou šířkou (Ruff, 2002).

Tělesnou velikost ovlivňují i další faktory, jako ekologie, sociální organizace nebo životní historie jedince. U moderních populací jsou tak tyto rozdíly způsobeny vzájemným působením genetických faktorů, vývojovým prostředím, okolní teplotou, stravou nebo nemocemi (Ruff, 2002).

Vliv klimatu na stavbu těla testovali například Gillian s Bulbeckem (2007) u australských Aboriginců na regionální úrovni. Pozitivní korelaci na základě Pearsonova koeficientu a kanonické korelační analýzy můžeme u Aboriginců sledovat mezi přírodními podmínkami, teplotou a hlavními rozměry těla, mezi které autoři zařadili tvar těla, délku a proporce končetin a tvar a velikost hlavy.

Katzmarzyk a Leonard (1998) testovali vliv obou pravidel na souborech z roku 1953 až 1996. Jednalo se o 223 mužů a 195 žen, u kterých byla zjištěna výška postavy, hmotnost a relativní výška v sedě (*relative sitting height*). Lidé pocházeli z různých částí světa – Ameriky, Asie, Afriky a Evropy. Výsledky studie ukazují, že za 40 let vzrostly hodnoty BMI a váhy u mužů i u žen, zatímco poměr mezi povrchem těla a váhou se zmenšil. Výsledky také potvrzují platnost obou ekogeografických pravidel. I když je korelace mezi teplotou prostředí a tělesnou stavbou pozitivní, od roku 1953 postupně klesá a nejvíce

znatelné změny jsou u tropických populací. Autoři to připisují sekulárním trendům – akulturaci, lepší zdravotní péči nebo výživě.

Studie zaměřené na proporcionalitu těla prokazují, že výška postavy nekoreluje s průměrnou roční teplotou a zeměpisnou šířkou. Na druhou stranu relativní proporce končetin a šířka těla korelují se zmíněnými proměnnými pozitivně (Holliday, 1997a; Ruff, 1994; Katzmarzyk a Leonard, 1998; Trinkaus, 1981). Nejvýznamněji se zeměpisnou šířkou koreluje bi-iliakální šíře. U žen je korelační koeficient roven 0,919, u mužů se rovná 0,884 (Ruff, 1994).

Jedna z novějších studií od Rosemana a Auerbacha (2014) upozorňuje na to, že všechny výše zmíněné studie, které se věnují ekogeografickým pravidlům a proporcím těla nepojednávají o evolučních mechanismech (selekce, genetický drift, genový tok a mutace), jež mají nesporný vliv na morfologii těla společně s klimatem a výživou. Jejich argument spočívá v analýze morfologických i molekulárních dat a vytvořené počítačové simulaci.

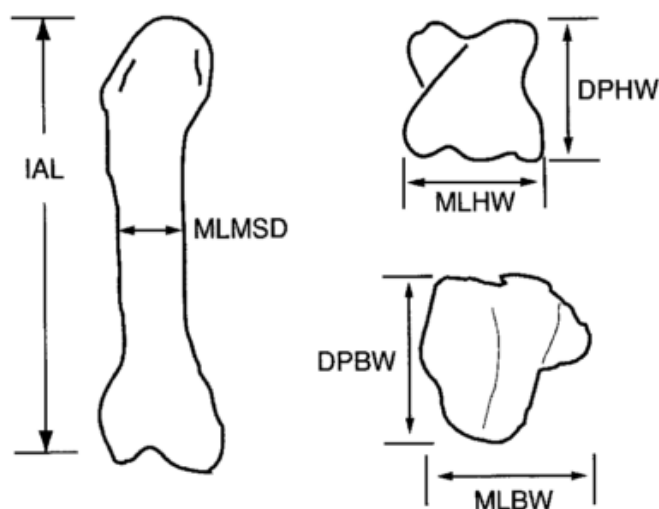
Roseman a Auerbach (2014) testují několik scénářů. V prvním modelu jsou zkoumané skupiny „evolučně nezávislé“, v druhém a třetím modelu podléhají zkoumané skupiny genetickému driftu a genovému toku. K modelování využili Goldmanovu kolekci (1538 jedinců) a Auerbachovu americkou kolekci (2749 jedinců). Tyto dvě kolekce představují vzorek recentní populace z celého světa, které autoři rozdělili do 121 skupin (Roseman a Auerbach, 2014).

Výsledky naznačují tři skutečnosti. První – genetická příbuznost mezi skupinami není náhodně distribuována, vytváří strukturu populace, která je důležitá pokud nás zajímá velikost a tvar těla. Druhá – ekogeografická pravidla podléhají různým evolučním silám. Třetí – tyto pravidla jsou součástí populační historie a struktury, která je unikátní a tudíž referenční modely mohou být zavádějící. Obecně to tedy znamená, že populace, které jsou vzdálené geograficky, jsou si vzdálené i

geneticky. Zároveň, ale netvrdí, že by uvedené skutečnosti nějak ovlivnily význam ekogeografických pravidel a ukazují pozitivní korelaci mezi klimatem/teplotou a tělesným proporcemi (Roseman a Auerbach, 2014).

Koncept ekogeografických pravidel můžeme vztáhnout i na ruku, což je pro naši diplomovou práci podstatné. Například dvojice autorů Lazenby a Smashnuk (1999) se zaměřili na odlišnou morfologii druhé záprstní kosti u Inuitů. Jejich nulová hypotéza říká, že druhá záprstní kost u Inuitů se nebude nijak lišit od druhé záprstní kosti evropských osadníků z 19. století. Alternativní hypotéza je formulována tak, že druhá záprstní kost u Inuitů bude širší a kratší v závislosti na platnosti ekogeografických pravidel.

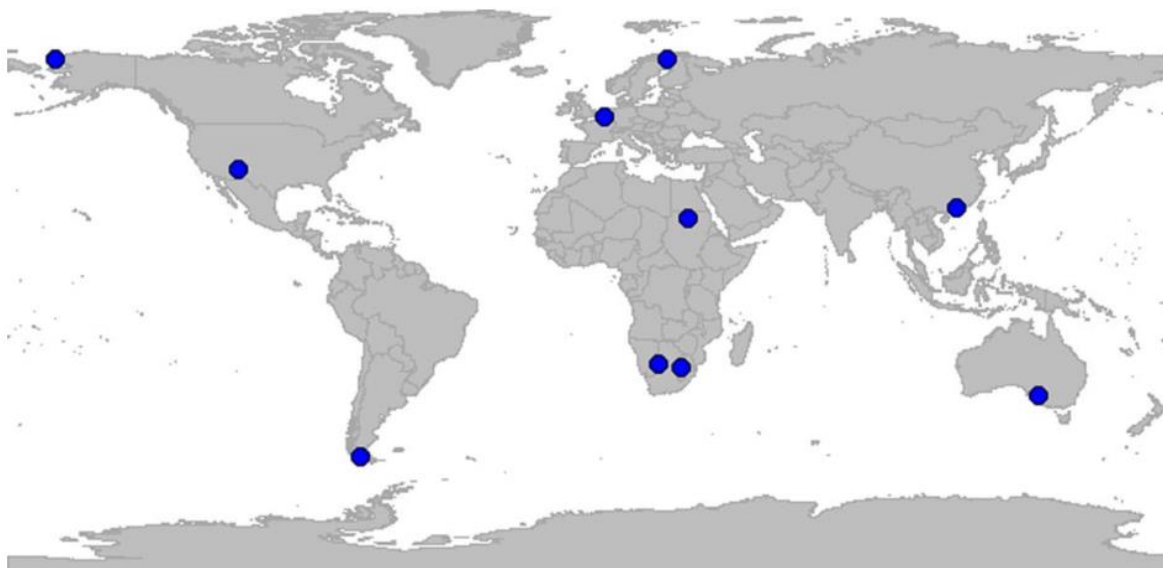
Kosterní soubor se skládal ze dvou skupin minulých populací. Jednu skupinu tvořili Inuité ze Southampton Island, nacházející se kousek od polárního kruhu. Druhým souborem pak byli evropští osadníci z 19. století, soubor získaný z St. Thomas Anglican Church cemetery v Belleville, v Ontariu. U všech zkoumaných bylo známo pohlaví jedince nebo bylo odhadnuto podle pánevní kosti. Pro měření záprstních kostí zvolili šest rozměrů (Obrázek 13). Interartikulární délku (IAL), dorsopalmární šířku hlavice kloubu (MLHW) a mediolaterální (DPHW), mediolaterální šířku baze (MLBW), dorsopalmární šířku baze (DPBW) a mediolaterální průměr (MLMSD).



Obrázek 13. Dorsální a artikulární pohled na MC2 s vyznačenými měřenými hodnotami (zkratky výše v textu) (Lazenby a Smashnuk, 1999).

Autoři došli k závěru, že za a) pohlaví jedince hraje roli v morfologii druhé záprstní kosti. Muži mají širší i delší druhou záprstní kost než ženy. Za b) Inuité měli obecně širší a kratší ruce, než evropští osadníci. Inuité měli například hlubší metakarpophalangeální kloub, kratší interartikulární délku a větší mediolaterální šířku baze MC2. Tímto potvrdili vliv ekogeografických pravidel na morfologii ruky – inuitská ruka je přizpůsobená na udržování tepla v chladném arktickém podnebí (Lazenby a Smashnuk, 1999). Musíme mít, ale na vědomí, že se jedná o srovnání pouze dvou populací.

Platnost Allenova pravidla testovala v novější studii také Betti s kolektivem (2015). Studii podrobili celkem 339 jedinců, kteří pocházeli z diverzního klimatického prostředí (Obrázek 14). Předmětem zájmu byla délka dolní i horní končetiny a morfologie ruky a nohy. Pro měření zvolili několik rozměrů. Maximální délku stehenní, lýtkové, pažní a vřetenní kosti. Šířku distální epifýzy všech kostí a také maximální délku MC1 a MT1. K výpočtům použili osm indexů nezávislých na výšce jedince (*Crural index*, *Foot index 1*, *Foot index 2*, *Metatarsal 1*, *Brachial index*, *Hand index 1*, *Hand index 2*, *Metacarpal 1*). Zastoupeni byli muži i ženy.



Obrázek 14. Geografické rozložení studovaných populací (Betti et al., 2015).

Výsledky se pozitivně shodují s již dřívějšími studiemi, jež se zabývaly relativní délkou končetin. Krurální a brachialní index se liší mezi populacemi podle geografické šířky, ve které jedinci žijí. Recentní i minulé populace žijící v chladnějším prostředí mají kratší distální segment končetin (vřetenní a holenní kost) oproti proximální části končetiny (stehenní a pažní kost). Stejný efekt můžeme vidět i na kostech ruky, zatímco u kostí nohy se neprokázal. První záprstní kost je u populací žijících v chladnějším klimatu relativně kratší než u jejich tropických protějšků. Autopodium horní končetiny popisují autoři jako podsaditější a jejich výsledky potvrzují vliv Allenova i Bergmannova pravidla na ruku. Efekt obou pravidel, na druhou stranu, nevidíme u nohy, což ale může souviset s jinou funkcí ruky a nohy (Betti et al., 2015).

3.2.4 Pohlavní dimorfismus ruky

Pohlavní dimorfismus popisuje tělesné rozdíly mezi muži a ženami. Jedná se o primární i sekundární pohlavní znaky. Odlišnosti můžeme vidět například v tělesné velikosti, poměru svalů a tuků v těle nebo v robusticitě kostí. Tyto rozdíly jsou patrné již ve fetálním stádiu, ale nejvíce se začnou projevovat během puberty (Wells, 2014). Platí, že muži mají absolutně větší velikost těla než ženy.

Mezipohlavní rozdíly jsou patrné i ve velikosti a tvaru rukou, což bylo prokázáno mnohými studiemi napříč recentními i minulými populacemi (Lazenby a Smashnuk, 1999; Manning et al., 2000; Barrio et al., 2006; McIntyre et al., 2006; Agnihotri et al., 2008; Krishan et al., 2011; El Morsi a Al Hawary, 2013; Králík et al., 2014; Stojanowski, 1999). Jedním z nejvíce zkoumaných dimorfních znaků na ruce je tzv. *Manningův index/2D:4D index*. Od roku 1998 do roku 2010 se zabývalo poměrem mezi ukazováčkem a prsteníčkem průměrně 60 studií (Manning, 2011), jejichž autorem je sám Manning nebo se na člancích podílí jako spoluautor. Poměr mezi druhým prstem (2D) a čtvrtým prstem

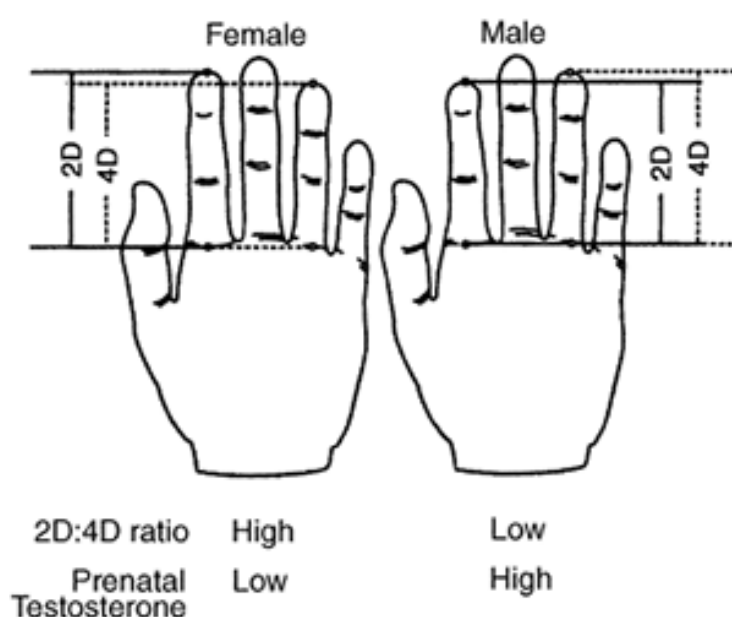
(4D) je dávám do souvislosti také s různými nemocemi – rakovinou prsu u žen, autismem nebo infarktem myokardu u mužů. Dále můžeme najít souvislosti s velikostí rodiny, počtem spermií, stranovou preferencí nebo homosexualitou (Manning et al., 2000, 2001, 2007; Lutchmaya et al., 2004; Manning, 2011).

3.2.4.1 Manningův index

Diferenciaci distální části ruky a prstů mají pod kontrolou HOX geny, přesněji *Hoxd* a *Hoxa*. Stejná sada genů také kontroluje vývoj pohlavních žláz, proto poměr 2D:4D může reflektovat činnost pohlavních hormonů, případně produkci testosteronu a estrogenu (Manning et al., 2000). Pozitivní korelaci mezi pohlavními hormony a poměrem prstů předkládá Manning, již ve své studii z roku 1998, ve které zkoumal 58 mužů a 40 žen navštěvující kliniku pro asistovanou reprodukci. Výsledky ukazují, že muži s nižším poměrem 2D:4D produkují více testosteronu a spermií a mají nižší hodnoty estrogenu a luteizačního hormonu než muži s vyšším indexem. Zatímco ženy s vyšším 2D:4D poměrem mívají více estrogenu a LH oproti ženám s nízkým indexem, u nichž převažují vyšší hodnoty testosteronu (Manning et al., 1998, 2000).

Podobné výsledky týkající se pohlavních hormonů a poměru druhého a čtvrtého prstu prezentují Lutchmaya s kolektivem (2004). Pro analýzu ale využívají hodnot hormonů v prenatálním období – fetálního testosteronu (FT) a fetálního estradiolu (FE). Ty byly získány při odběru a vyšetření plodové vody u budoucích matek v Cambridge. Délka prstů pak byla měřena u 18 chlapců a 15 dívek, když dosáhli věku dvou let. Výsledky opět ukazují, že nízký Manningův index je spojený s vyššími hodnotami FT a vyšší index koreluje s vyššími hodnotami FE. Tyto výsledky reflektují vztah mezi fetálními gonádami a nadledvinkami a 2D:4D poměrem již *in utero* (Lutchmaya et al., 2004).

Obecně tedy platí, že nižší Manningův index mají muži (0,96) a vyšší poměr mezi ukazováčkem a prsteníčkem pak mají ženy (1,00), viz Obrázek 15 (Manning et al., 1998). Měření tohoto poměru je snadné a zopakovatelné s vysokou spolehlivostí. Měří se posuvným měřidlem od proximální části prstu po distální konec prstu na palmární straně ruky. Ideální je snímat hodnoty na měkké tkáni živého jedince, ale lze použít i fotokopie, rentgenové nebo CT snímky (Manning et al., 1998).



Obrázek 15. Zobrazení 2D:4D poměru ve vztahu k hodnotám prenatálního testosteronu. Zdroj: <https://pbmo.files.wordpress.com/2012/12/digit-ratio-2.png?w=370>

3.2.4.2 Dimorfismus záprstních kostí

Několik studií z konce 90. let se zaměřilo na analýzu záprstních kostí a jejich pohlavní dimorfismus, jinak řečeno, pomocí lineárních diskriminačních funkcí se autoři snažili odhadnout pohlaví podle různých morfologických znaků záprstních kostí (Scheur a Elkington, 1993; Fallseti, 1995; Stojanowski, 1999).

Například Scheur a Elkington (1993) pracovali s 60 jedinci z Británie a vytvořili regresní rovnice založené na šesti rozměrech MC1 až MC5 a prvního proximálního článku prstu. Pro první záprstní kost se přesnost pro odhad pohlaví rovnala 94 % a pro druhou záprstní kost 78 %. Podobné výsledky ukazuje Fallseti (1995). Ten pro výpočty využil 33 jedinců z londýnské Royal Free Medical School a 40 jedinců z univerzity v Novém Mexiku. Přesnost odhadu pohlaví se pohybovala od 78 % do 85 % u MC2 a MC5. Stojanowski (1999) prezentuje obdobné výsledky, ale na větším vzorku. Záprstní kosti pocházely od 200 mužů i žen, evropsko-amerického a afroamerického původu. Celkem prezentoval 35 různých diskriminačních funkcí, u kterých se přesnost odhadu pohlaví dle záprstních kostí pohybovala od 79 % do 85 %.

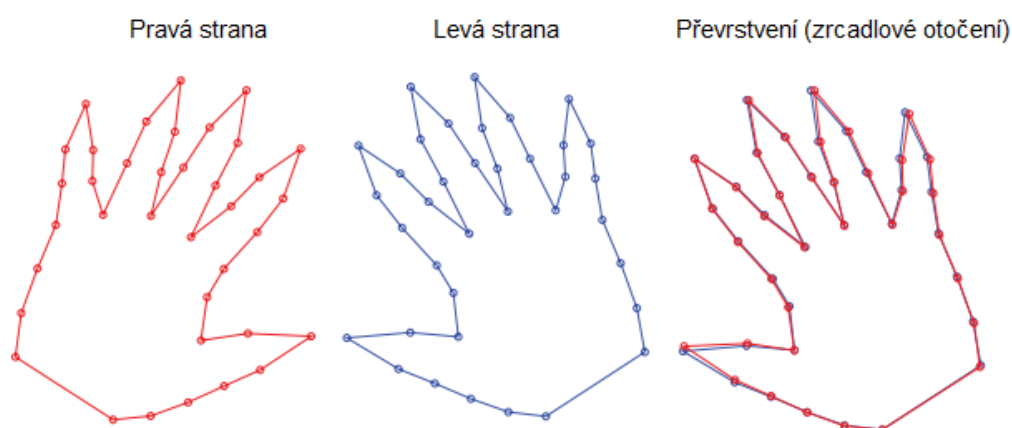
Důvodem těchto příznivých výsledků je fakt, že muži mají relativně delší záprstní kosti než ženy, také univerzálně platí typický vzorec velikosti záprstních kostí 2. > 3. > 4. > 5. > 1., což bylo dokázáno napříč populacemi. Například u Řeků (Manolis et al., 2009), Španělů (Barrio et al., 2006), Američanů (Case a Ross, 2007) nebo Egyptanů (El Morsi a Al Hawary, 2013). V naší práci jsme pro výpočty potřebovali jen délku MC3, ale i ta ukazuje, že muži mají oproti ženám delší tuto záprstní kost, rozdíl ve velikosti jsme potvrdili nepárovým t-testem ($p < 0,001$), viz kapitola 6. Výsledky.

3.2.4.3 Geometrická morfometrie ruky

Morfometrie je disciplína zabývající se změnou tvaru objektů, jejich variabilitou a klasifikací. Morfometrických dat využívají různé vědy – antropologie, biologie nebo archeologie. Geometrická morfometrie poté popisuje objekt a jeho tvar pomocí tzv. landmarků (2D nebo 3D biologicky významných bodů) a semi-landmarků (nebiologické body, rovnoměrně rozmístěné v prostoru). Úkolem geometrické morfometrie je najít například průměrného jedince v souboru, najít odlišnosti mezi jedinci

nebo skupinami, porovnání symetrie nebo asymetrie a mnohé další (Pelikán et al., 2011).

Geometrické morfometrie pro studium pohlavního dimorfismu ruky využili Králík s kolektivem (2014) a Sanfilippo s dalšími autory (2013). Sanfilippo s kolektivem (2013) použili data z dlouhodobé studie věnující se kohortě těhotenství v Perthu, v Austrálii od roku 1989. Celkem zkoumali fotoscany palmární strany ruky 117 jedinců (59 žen a 58 mužů), pro vyznačení landmarků poté použili 222 scanů, které byly jasně čitelné a snadno označitelné s pomocí programů tpsDig, tpsRelw a MorphoJ. Pravou ruku zrcadlově otočili, tak aby se shodovala s levou rukou, na obou pak vyznačili 32 landmarků a 5 semi-landmarků (Obrázek 16).



Obrázek 16. Standardizace pravé a levé ruky Prokrustovskou analýzou a vyznačené landmarky (Sanfilippo, 2013; upraveno).

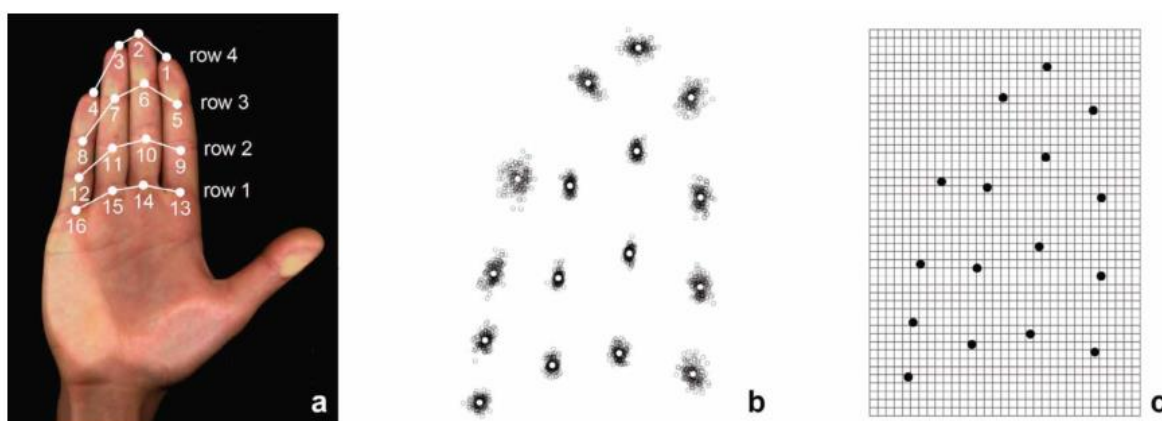
Cílem bylo klasifikovat ženské a mužské ruce na základě tvaru a Manningova indexu. Muži měli kratší druhý prst, zatímco ženy měly druhý prst delší. Pomocí t-testu ověřili, že muži mají průměrně nižší 2D:4D index, což potvrzují mnohé starší studie (Manning et al., 1998, 2001; Manning, 2011). Celkový tvar ruky vyhodnotili na základě lineární diskriminační analýzy (LDA), klasifikace dle diskriminačních funkcí jsou uvedeny níže v kontingenční tabulce 1.

Tabulka 1. Klasifikační hodnoty odvozené z diskriminační funkce pro morfologii ruky (Sanfilippo, 2013; upraveno).

	Pohlaví	Klasifikace (n/%)		Celkem (n/%)
		Muž	Žena	
2D:4D index	Muž	39 (68,4)	18 (31,6)	57 (100,0)
	Žena	18 (30,5)	41 (69,5)	59 (100,0)
Tvar ruky	Muž	41 (71,9)	16 (28,1)	57 (100,0)
	Žena	11 (18,6)	48 (81,4)	59 (100,0)
Těžiště	Muž	46 (80,7)	11 (19,3)	57 (100,0)
	Žena	11 (18,6)	48 (81,4)	59 (100,0)

Výsledky ukazují, že morfometrická analýza tvaru ruky jako celku ukazuje lepší výsledky, než klasické měření 2D:4D poměru při odhadu pohlaví, ačkoliv dimenze ruky nejsou v této studii nijak kvantifikovány. Muži mají o něco širší ruku než ženy, zatímco délka ruky je téměř stejná u obou pohlaví (Sanfilippo et al., 2013).

Králík s kolektivem (2014) také využívají geometrické morfometrie. Cílem jejich práce je studium vnitropopulační variability ruky, mimo jiné i se zaměřením na pohlavní dimorfismus. Originální soubor tvořily fotoscany rukou ostravských a brněnských vysokoškoláků (celkem 99 žen a 75 mužů). Na fotokopíích poté vyznačili 16 landmarků (Obrázek 17), jako jejich kolegové k tomu využili program tspDig.



Obrázek 17. a) Pozice landmarků na fotokopii palmy ruky b) umístění parametrů pro Prokrustovskou analýzu c) parametry, které nejsou deformované v TPS mřížce (Králík et al., 2014; upraveno).

Podle autorů tkví tvarová odlišnost ruky ve vícero charakteristikách. Odlišné je i zakřivení ruky. Ženská ruka je charakteristická tím, laterální ohyb ruky je více distálně a zároveň mediální ohyb ruky je postaven více proximálně, než je tomu u mužů. Poté můžeme vidět odlišnosti v šířce ruky. Větší ruce jsou relativně širší. Ženy mívají podle autorů ruce hubenější a celkově menší a muži naopak širší. Také zmiňují 2D:4D index, jejich studie ukazuje stejné výsledky jako všechny předešlé (Manning et al., 1998, 2000; McIntyre et al., 2006; Manning, 2011; Sanfilippo et al., 2013; Králík et al., 2014).

3.5 Odhad výšky postavy jedince

Pro námi nově vytvořenou metodu odhadu délky ruky z kostí ruky anatomickou metodou je potřeba vycházet z již ověřených metod odhadu výšky postavy jedince, cituji: *„Při vytváření nové metodiky je výhodou, že odhad délky otisku ruky je principiálně shodný s odhadem výšky postavy živého jedince z jeho kostry, pro který lze v antropologické literatuře najít vhodné řešení“* (Mik et al., 2016).

Výška postavy tvoří jednu z důležitých součástí antropologických a bioarcheologických studií. Výška může indikovat zdravotní stav v minulosti, sexuální dimorfismus mezi muži a ženami a také díky tomu můžeme studovat vliv prostředí na výšku a postavu člověka, stejně tak jako vliv klimatu nebo subsistence (Ruff et al., 2012).

Z jednotlivých kostí kosterního aparátu lze odhadovat výšku postavy, například z výšky lebky (Ryan a Bidmos, 2007), kosti křížové a kostrční (Pelín et al., 2005), kosti hrudní (Singh et al., 2011) nebo článků prstů a záprstních kostí (Jasuja a Singh, 2004). Tyto metody bychom mohly zařadit mezi matematické. Využívají rozměrů dlouhých kostí a poté se vytvoří regresní rovnice pro odhad výšky postavy jedince. Mezi

nejpoužívanější metodu pro odhad výšky postavy v americkém prostředí, je ta od Trotterové a Gleserové (1952, 1958), zatímco mezi nejspolehlivější matematické metody patří Sjøvoldova metoda odhadu z dlouhých kostí (1990) a novější metoda vytvořená Christopherem Ruffem a kolektivem (2012). Obě metody počítají s kostí stehenní, holenní, lýtkovou, pažní, vřetení a loketní.

Mezi tzv. anatomické metody, jež využívají součtu kosterních elementů tvořící výšku postavy jedince, bychom zařadili Fullyho metodu (1956) a upravenou verzi od Raxterové a kolektivu z roku 2006 nebo nejnovější od Niskanena a jeho kolegů (2013), jenž se zaměřuje hlavně na VP a věk. Matematická i anatomická metoda budou popsány podrobněji v následujících podkapitolách.

3.5.1 Matematická metoda odhadu

Princip je založen na korelaci délky dlouhých kostí s výškou postavy a využití regresních rovnic pro odhad. Existují různé regresní rovnice v závislosti na příslušnosti k etnické skupině nebo pohlaví, rozdílné rovnice použijeme pro Američany evropského původu, pro Afroameričany nebo Evropany. Matematická metoda odhadu je populačně specifická, což znamená, že vytvořené rovnice lze použít pouze na jedné konkrétní populaci, na které byly vytvořeny. Problémem jsou hlavně tělesné proporce a délka končetin, které se populačně liší, protože jsou ovlivněny, jak geneticky, tak klimatem. Dalším problémem mohou být rozdíly v délce končetin u mladších a starších referenčních souborů (Ruff et al., 2012). A v neposlední řadě může být problematická použitá statistická metoda, jak ukazuje Sjøvold (1990). Dle jeho výsledků je vhodnější využít RMA (*reduced major axis*) analýzu, protože je v analýze zachovaná veškerá variabilita souboru, zatímco u LSR (*least square regression*) analýzy, se variabilita významně podhodnocuje.

Pro odhad výšky postavy evropské holocénní populace zde uvedeme jednu z novějších studií od Christophera Ruffa a kolektivu

(2012). Pro odhad výšky postavy využili soubor o 501 (268 mužů a 233 žen) jedincích z celé Evropy a z různých časových období. Pro odhad výšky postavy počítali s maximálními délkami kosti stehenní, lýtkové, holenní, pažní, loketní a vřetení. Výsledkem jsou regresní rovnice počítající s rozřazením jedinců dle regionu („dohromady“, sever, jih) a dle pohlaví („indiferentní jedinec“, muž, žena)(Ruff et al., 2012).

3.5.1.1 Odhad délky ruky matematickou metodou

Odhad délky ruky matematickou metodou by fungoval na stejném principu jako odhad výšky postavy jedince touto metodou. Ta by byla odhadována na základě délky některé ze záprstních kostí ruky. Principiálně by byly vytvořeny regresní rovnice pro odhad délky ruky na základě silné korelace mezi délkou záprstní kosti a délkou ruky s tkáněmi (Obrázek 18). K dispozici je předběžná studie (Mik, 2014).

V této předběžné studii Patrik Mik (2014) zkoumal 73 mužských a 73 ženských rentgenových snímků ruky, na kterých měřil 2. až 5. záprstní kost a délku ruky s tkáněmi třemi způsoby. Nejsilnější korelační vztah našel u MC4 mužů, $r = 0,81$ a u MC2 a 3 shodně u žen, $r = 0,72$. Také vytvořil regresní rovnice pro možný odhad délky ruky, přesnost metody odhadu je srovnatelná s přesností odhadu výšky postavy a je dokonce přesnější než metoda odhadu tělesné hmotnosti. Relativní chyba odhadu pro odhad délky ruky matematickou metodou ze záprstních kostí je 2,8 % u žen a 3,1 % u mužů (Mik, 2014; Mik et al., 2016).



Obrázek 18. RTG snímek ruky s naznačeným měřením záprstních kostí a celé délky ruky (Mik et al., 2016).

3.5.2 Anatomická metoda odhadu

Princip anatomické metody je založen na součtu výšek a délek kostních elementů, jež se podílejí na výšce postavy jedince od lebky až po patní kost. Tudiž u této metody nehrají roli proporce těla a trupu nebo končetin. Tuto metodu můžeme označit za populačně nespécifickou a lze ji tedy použít u všech populací napříč regiony a kontinenty. Na problém můžeme narazit, pokud nebudou kosterní pozůstatky dobře zachovalé a nebudeme moci změřit příslušné kosti (Raxter et al., 2006). Tento problém však vyřešil Auerbach (2005, 2011).

Vývoj anatomické metody je obecně přisuzován Goergesovi Fullymu, dle něj také pojmenování „Fullyho metoda“ (1956), ačkoliv jejím průkopníkem byl již Dwight v roce 1894. V roce 1955 byl Fully předvolán k identifikaci kosterních pozůstatků do koncentračního tábora

v Mauthausenu. Kromě identifikace tento soubor posloužil k vytvoření nové metody odhadu výšky postavy, využil k tomu 102 jedinců mužského pohlaví. Mezi měřené elementy patří:

- výška basion-bragma na lebce
- maximální výška těla obratlů C2 až L5
- výška prvního segmentu kosti křížové
- fyziologická délka kosti stehenní
- maximální délka lýtkové kosti
- artikulovaná výška kosti hlezenní a patní

Změřením a sečtením výše uvedených kostí dostaneme tzv. skeletální výšku jedince. Pro výšku živého jedince je potřeba udělat korekci na měkké tkáni, viz tabulka 2 (Fully, 1956).

Tabulka 2. Korekce na měkké tkáni dle Fullyho metody.

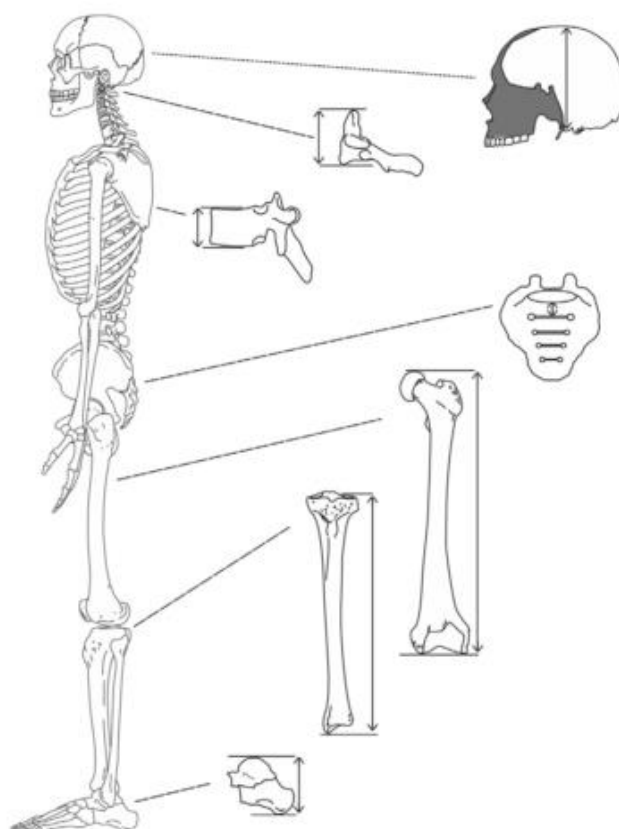
Výška kostry	Přičtení měkké tkáni
≤ 153,5 cm	10,0 cm
153,6–165,5 cm	10,5 cm
≥ 165,5 cm	11,5 cm

Několik dalších autorů se věnuje odhadu výšky postavy Fullyho metodou a shodně publikují články, jejichž výsledky ukazují, že Fullyho metoda má tendence podhodnocovat skutečnou výšku živého jedince a jeho metodu upravují (Maijanen a Niskanen, 2006; Raxter et al., 2006; Niskanen et al., 2013; Brits et al., 2017).

Raxterová s kolegy (2006) se věnují hlavně zpřesnění měření výšek a délek kostí. Fully jasně neuvádí, jakým způsobem měřit těla obratle, nové osteometrické desky neumožňují snadné měření lýtkové kosti bez *eminentia intercondylaris* a v neposlední řadě detailně neuvádí

v jaké pozici, se má nacházet hlezenní a patní kost, proto navrhují úpravy a také poukazují na význam věku jedince.

Jejich soubor tvořilo celkem 119 jedinců (29 žen a 33 mužů afroamerického původu, 25 žen a 32 mužů europoidního původu) známého věku od 21 do 85 let a s již odhadnutou skeletální výškou. Ve výsledcích porovnávají rozdíly mezi Fullyho technikou (FES) a výškou živého jedince (LS), s ohledem a bez ohledu na věk jedince. FES značně podhodnocuje výšku živého jedince, bez korekce na věk o 0,9 cm a s ohledem na věk dokonce o 2,4 cm. Faktor věku hraje významnou roli, korelační koeficient vztahu mezi FES a LS je s přidaným věkem vysoce pozitivní ($r = 0,952$) (Raxter et al., 2006). Autoři v závěru doporučují snímat maximální délku těla obratlů z anteriorního pohledu, definice se liší podle měřeného obratle. Maximální délku lýtkové kosti doporučují měřit na bezkolejové osteometrické desce. Hlezenní a patní kost je třeba stabilizovat do artikulované polohy (Obrázek 19).



Obrázek 19. Znárodnění měření jednotlivých kosterních elementů (Christensen et al., 2014).

3.5.2.1 Odhad délky ruky anatomickou metodou

Principiálně by tato metoda byla shodná s odhadem výšky postavy anatomickou metodou. Délka otisku ruky by byla odhadována z délky kostry ruky, přesněji z kostí tvořící střední paprsek ruky (*os lunatum*, *os capitatum*, MC3 a články prstů) a následné korekci na měkké tkáně ruky (Obrázek 20). Jak bylo zmíněno výše, anatomická metoda je populačně nespecifická a předpokládáme, že bychom ji mohli aplikovat v populacích s odlišnými tělesnými proporcemi (Mik et al., 2016), což je cílem naší práce. Soubor, se kterým jsme pracovali, měření a vytvořená metoda podrobněji v kapitolách 4. Materiál, 5. Metody a 6. Výsledky.



Obrázek 20. RTG ruky s naznačenými měřeními středního paprsku a délky ruky (vlastní obrázek, zdroj RTG snímku: Mudr. Tomáš Kunc).

3.6 Otisky a stopy rukou v paleolitickém umění

První jeskynní malby byly objeveny již koncem 19. století ve španělské Altamiře. Uznání se dočkaly až začátkem 20. století s objevem dalšího jeskynního umění v Prigórdu (Svoboda, 2002). Pojem paleolitické nástěnné umění zahrnuje několik různých uměleckých projevů. Náměty mladopaleolitického parietálního umění tvoří většinou, a také jsou nejznámější, zvířecí motivy, mezi které patří bizoni, koně, praturové, jeleni nebo kočkovité šelmy (Obrázek 21). Společně s nimi se na stěnách jeskyní vyskytují stopy a otisky rukou, abstraktní a symbolické motivy nebo tzv. *finger flutings*, což jsou rýhy vytvořené prsty, které jejich autoři zarývali do měkkého povrchu skal (Lewis-Williams, 2007; Bednarik, 2008). Obecně je ale můžeme rozdělit do tří kategorií: antropomorfní motivy, zoomorfní motivy a symboly (Medina-Alcaide et al., 2017). Společné znaky nesou i samotná místa, na kterých všechny zmíněné motivy nalézáme. Kromě uzavřených prostor jeskyní, jež jsou špatně přístupné, můžeme kresby najít také u vstupů do jeskyní, na svislých skalních plochách nebo skalních převisích (Lewis-Williams, 2007; Svoboda, 2002).

Nástěnné umění bylo vždy spojováno s příchodem anatomicky moderního člověka v mladém paleolitu, kdy dochází ke kognitivní adaptaci a rozvoji symbolického myšlení. Do nedávna byl považován za nejstarší otisk ruky z indonéského ostrova Sulawesi společně s vyobrazením babirusy (druh prasete), stáří bylo stanoveno na 40 tisíc let (Aubert et al., 2014). Naproti tomu se Bednarik (2008) již před pár lety domníval, že prvními tvůrci kreseb mohou být neandertálci, což bylo potvrzeno v únoru tohoto roku Hoffmanem a kolektivem (Hoffmann et al., 2018), kteří ve své studii pomocí uranu a thoria datují červený lineární motiv v La Pasiega, stopu ruky z Maltravieso a červeně zbarvené speleotémy v Ardales. Jejich stáří odhadují na 64,8 tisíc let před dneškem, což je o více než 20 tisíc let dříve, než první anatomicky moderní člověk vkročil do Evropy.



Obrázek 21. Koně z jeskyně Lascaux, zdroj:

<http://www.donsmaps.com/images25/lascauxhorsesaurochshd.jpg>

Otisky a stopy rukou, jež jsou součástí nástěnného umění, a které mají být klíčem pro odhad pohlaví jejich tvůrců, můžeme nalézt v jeskynních komplexech po celém světě. Nejvíce však v Západní Evropě – ve Španělsku, ve Francii, ale také v Africe, na obou amerických kontinentech nebo v Indonésii (Borneo) a Austrálii (Brůžek et al., 2012).

Otisky a stopy rukou byly zhotovovány pomocí černého, okrového nebo červeného barviva. V úvahu přicházejí dva způsoby, jak takový otisk vytvořit. Za prvé, namočením ruky do pigmentu a následným otisknutím na stěnu jeskyně – tím vznikl pozitivní otisk ruky (*positive handprint*) a za druhé, přitisknutím ruky ke stěně a následným nanesením barvy kolem ruky samotné – tím vznikl negativní otisk/stopa ruka (*negative handstencil*). V tomto případě ruka sloužila jako šablona a autor (nejspíše) foukal barvu pomocí trubičky (Snow, 2006). Snow (2006) také

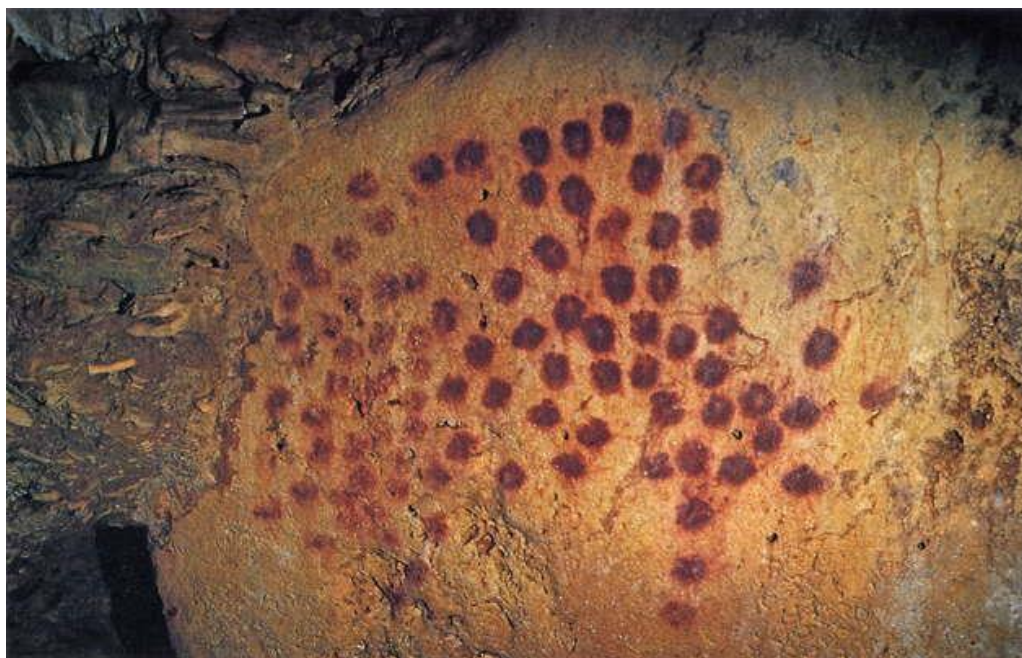
předpokládá, že u paleolitických umělců převládala preference pravé ruky, protože máme k dispozici více negativních stop levých rukou, což by znamenalo, že tvůrci v pravé ruce drželi právě trubičku jako nástroj.

Dalším zajímavým prvkem jsou chybějící prsty nebo jejich části na některých stopách rukou (v jeskyních Maltravieso, Gargas), u chybějících distálních částí prstů je možné, že je jejich autoři skutečně neměli, pokud chybí prst celý, s největší pravděpodobností ho měl jejich tvůrce pouze ohnutý do dlaně (Snow, 2006).

V současnosti lze tyto otisky a stopy rukou využít k vytvoření biologického profilu jejich tvůrce. Jak již bylo řečeno v úvodu, z tvaru a velikosti ruky můžeme odhadovat různé biologické parametry, jako jsou pohlaví, výška, věk nebo stranová preference ruky (Snow, 2006, 2013; Cardoso a Severino, 2010; Wang et al., 2010; Gunn, 2006).

3.6.1 Evropa

Nejvíce otisků a stop nacházíme v tzv. franko-kantabrijské oblasti, kam spadá oblast jižní Francie a severního Španělska, kde leží nejméně 36 jeskyní s paleolitickými nástěnnými malbami, jedna jeskyně poté leží na území Itálie (Pettitt et al., 2015). Některé z jeskyní, ale již nejsou otevřeny pro vědecká bádání. Mezi ně patří jeskyně Chauvet, ve které bylo objeveno nejméně 12 pozitivních otisků ruky, 9 negativních stop ruky a na 500 otisků ruky bez prstů (Obrázek 22). Další nepřístupnou jeskyní pro výzkum je jedna z nejznámějších – Lascaux (Snow, 2006). Mezi významné francouzské jeskyně poté řadíme Gargas a Pech Merle. Stáří stop v Gargas bylo odhadnuto na 27 tisíc let před dneškem. V jeskyni se ukrývá celkem 231 otisků a stop rukou. V jeskyni Pech Merle je viditelných 16 stop rukou, jejichž výzkum prováděl sám Snow (2006), stejně tak jako v jeskyních Les Combarelles, Font-de-Gaume a Abri du Poisson, ve kterých ale nalezneme pouze jednu dobře čitelnou stopu v každé z jeskyní.



Obrázek 22. Otisky rukou bez prstů z jeskyně Chauvet ve Francii,
zdroj:<http://donsmaps.com/chauvetcave.html>

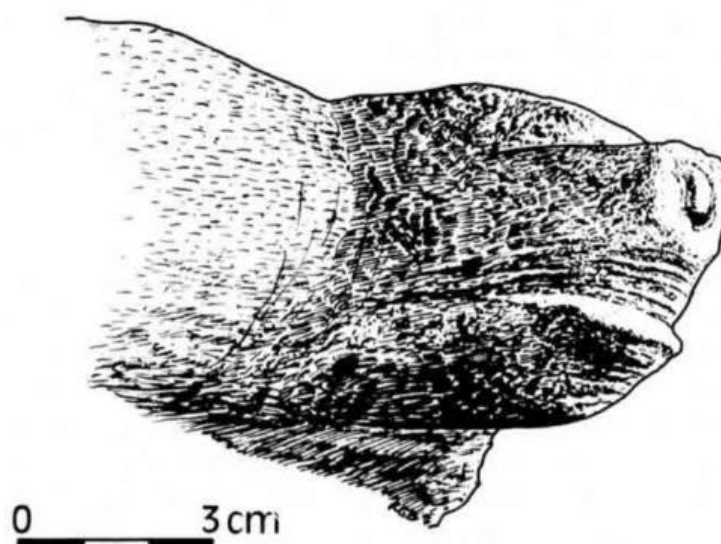
Ve Španělsku nalezneme otisky a stopy rukou v deseti jeskyních: Altamira, Altamira II, El Castillo, Fuente del Salín, Fuente del Trucho, La Garma, Maltravieso, La Pasiega, El Pindal a Tito Bustillo (Garcia-Diez et al., 2015; Balbín-Behrmann et al., 2017).

El Castillo je známé pro své výjimečné umění a to hlavně proto, že na stěnách nalezneme všechny výše zmiňované motivy maleb, kreseb a rytin ve všemožných stylech a technikách. Také je často nazývána „encyklopedií paleolitického umění“. Na stěnách v přední a střední části jeskyně (*Panel of Hands, Gallery of Disks*) můžeme pozorovat 60 negativních otisků rukou, v celé jeskyni je ale nejméně 85 otisků (Garcia-Diez et al., 2015; Pettitt et al., 2015). Jsou vyvedeny v červené barvě a nejstarší datace jednoho z otisků v hlavní části panelu je kolem 37 130 let s 99,7 % pravděpodobností (Garcia-Diez et al., 2015). Dalším bohatým nalezištěm otisků a stop rukou ve Španělsku je jeskyně Maltravieso, kde

můžeme najít 71 otisků. La Garma se může pyšnit až 39 otisky, Fuente el Trucho nejméně 40 otisky a Tito Bustillo pouze jedním otiskem, avšak vsazeným mezi malby koní (Pettitt et al., 2015; Balbín-Behrmann et al., 2017).

3.6.2 Asie

Paleolitické umění v Asii nepředstavuje pro většinu badatelů takové lákadlo jako to evropské. Do devadesátých let byly pokusy autorů věnujících se parietálnímu umění v Asii ignorovány, uznání se jim dostalo až po roce 1988. Nálezy spíše hmotného charakteru najdeme na Sibiři, v Číně, Japonsku, Indii a Jihovýchodní Asii. Jedná se hlavně o rytinami zdobené kosti a antropomorfní i zoomorfní vyřezávané figurky a sošky (Obrázek 23) (Bednarik, 1992, 1994). Nástěnné malby jsou v Asii celkem ojedinělým úkazem, přesto mezi nejdůležitější naleziště můžeme zařadit jeskyně na Kalimantanu (část Bornea) (Chazine, 2005) a na indonéském ostrově Sulawesi (Aubert et al., 2014).



Obrázek 23. Vyřezávaná zoomorfní soška (nejspíše medvěda) z obratle nosorožce srstnatého. Sibiř, stáří kolem 35 tisíc let (Bednarik, 1994).

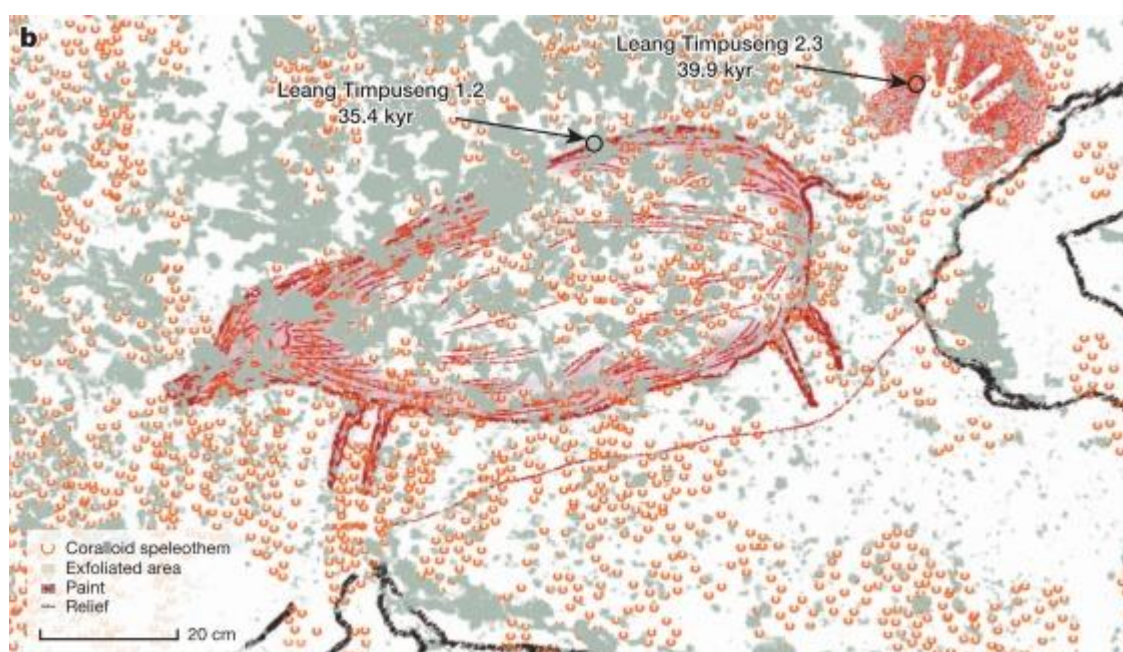
Na Kalimantanu se nachází 16 jeskyní, na jejichž stěnách můžeme spatřit různé druhy paleolitického umění. Nejrozšířenějším motivem jsou právě stopy rukou, kterých můžeme napočítat až 1500, z nichž je jen 375 v jediné jeskyni – Gua Ham. Z velké části jsou ale doprovázeny jinými motivy na stejném panelu a ruce samotné jsou překreslovány nebo doplňovány vyobrazením zvířat, lidí a symbolů (Obrázek 24). Zatím není jasná chronologie daných motivů, ale přesto se autor domnívá, že jsou otisky a stopy rukou prvotním důkazem o využívání jeskyně (Chazine, 2005).



Obrázek 24. Stopy rukou překryté symboly z Gua Tewet (Chazine, 2005; upraveno).

Mezi další významné jeskyně na Kalimantanu patří Gua Masri II, kde se nachází na 140 stop rukou, z těchto pak tým Chazine a Noury (2006) analyzovali 34 stop z hlavního panelu jeskyně. Pohlaví odhadovali na základě Manningova indexu za pomoci specifického programu Kalimain (© Noury 2005). Tento program je schopný vyhodnotit velikost a morfologii otisků a stop rukou (Chazine a Noury, 2006).

Sulawesi je jedenáctý největší ostrov a také je nejstarší v oblasti Wallaceovy linie, předmětem výzkumu bylo sedm jeskyní v krasové oblasti Maros. Pro dataci badatelé sesbírali 19 vzorků spojených se 14 motivy umění (12 stop rukou a dvě vyobrazení zvířat), stáří se pohybuje v rozmezí 39,9 – 17,4 tisíc let, větší část umění je pak starší více než 25 tisíc let (Aubert et al., 2014). Nejstarší je stopa ruky z Leang Timpuseng (39,9 kya) společně s vyobrazením samičky prasete (35,4 kya), (Obrázek 25, Aubert et al., 2014).



Obrázek 25. Vyobrazení babirusy a stopy ruky v Leang Timpuseng, Sulawesi (Aubert et al., 2014).

3.6.3 Austrálie

V Austrálii najdeme umění na skalách na dvou významných místech, a to v Severním Queenslandu v severovýchodní části Austrálie a v Kimberley, v západní části země (Goodall et al., 2009; Aubert, 2012). Severní Queensland, ale patří mezi naleziště světového významu. Spolu s kresbami zvířat a rytinami, zde můžeme vidět stopy a otisky rukou, z části s chybějícími prsty. Místní rytiny v jeskyni Fern byly datovány

kolem 13 tisíc let před dneškem, datace stop a otisků byla obtížnější kvůli použitému neorganickému červenému barvivu. Goodallová s kolektivem (2009) se pokusili o dataci těchto 32 stop rukou pomocí Ramanovy spektroskopie. Ti zjistili, že vyobrazené stopy jsou poměrně nové ve srovnání s těmi v Evropě nebo v Asii. Jejich přibližné stáří se pohybuje v rozmezí 1000 až 4000 let (Goodall et al., 2009). Dalším významným místem s více jak 50 otisky je centrální Austrálie, konkrétně Dulcie Ranges a Levi-Gill Ranges, kde prováděl svůj výzkum Robert Gunn (2006).

3.6.4 Amerika

Ani americký kontinent není výjimkou a najdeme zde skály, jejichž stěny pokrývá umění. Nejvíce lokalit s antropomorfními, zoomorfními motivy a symboly najdeme ve státě Wyoming a Montana na severu USA (Greer a Greer, 1998, 1999; Mackie, 2015).

V Montaně se nachází 708 archeologických lokalit, kde můžeme nalézt nástěnné umění. Na 67 z nich jsou vyobrazené ruce. Téměř tři čtvrtiny jsou poté situovány v centrální oblasti státu. Celkem je zde otisknuto 358 pozitivních otisků rukou, pět negativních stop a dokonce zde najdeme i 47 stylizovaných a upravených rukou (Obrázek 26). Další zajímavostí je, že 3 otisky mají po šesti prstech. Otisky jsou vyvedeny většinou světle červeným barvivem, ale také oranžovou, rudou nebo černou barvou. Na stěnách jsou jako samostatné obrazy nebo jsou doplňkem k symbolům, postavám nebo zvířatům. Otisky jsou poměrně nové a jejich datace se pohybuje kolem 1400 let (Greer a Greer, 1999).

Ve Wyomingu je hlavní lokalitou s vyobrazenými stopami rukou Powder River v Johnson County. Opět zde najdeme všechny typické motivy - zvířata, postavy, symboly a ruce vyvedené v zelené, červené, bílé a černé barvě. Všechny vyobrazené ruce na celkem 22 panelech jsou negativní stopy v bílé barvě umístěné na světle červené pískovcové

skále. Celkem zde najdeme 78 stop rukou (35 pravých, 34 levých, devět s neurčenou stranou).



Obrázek 26. Pozitivní otisky rukou v Black Canyon, Montana (Greer a Greer, 1999).

3.6.5 Afrika

Nástěnnému umění v Africe se věnovali již v roce 1994 Henneberg a Mathers. Ti se pokoušeli o odhad pohlaví a věku z otisků rukou na skalních převisích v Jižní Africe. O pár let později se stejnému tématu věnuje například Manhire (1998). Ten zkoumal pozitivní otisky rukou v South-Western Cape. Tam můžeme najít dvě varianty otisků – klasické a stylizované. Otisky nalezneme celkem na 247 lokalitách na jihu Afriky, jejich množství se také liší podle místa nálezů – 79 lokalit se nachází ve stepi, zatímco 168 lokalit s otisky je umístěno v horách. Zmiňované otisky jsou opět novějšího data v porovnání s ostatními nálezů ve světě. Stáří bylo stanoveno na 1700 let před dneškem (Manhire, 1998).

3.7 Odhad pohlaví z otisků a stop rukou na stěnách jeskyní

V posledních 12 letech se zvýšil zájem autorů o odhad pohlaví z otisků a stop rukou zanechaných na stěnách jeskyní, jak jsme mohli zjistit z předešlé kapitoly je jejich výskyt hojný po celém světě. Zájem především vyvolala Snowova studie z roku 2006, posléze z roku 2013. Podle závěrů jeho studií byly autorkami parietálního umění hlavně ženy. Což zvedlo vlnu zájmu o poskytnutí důkazů nejen o pohlavním dimorfismu, ale také o dělbě práce a genderových rolích v paleolitické společnosti (Wang et al., 2010). Této problematice se věnuje mnoho autorů, jejich stručný přehled je uveden v tabulce 4 na konci kapitoly.

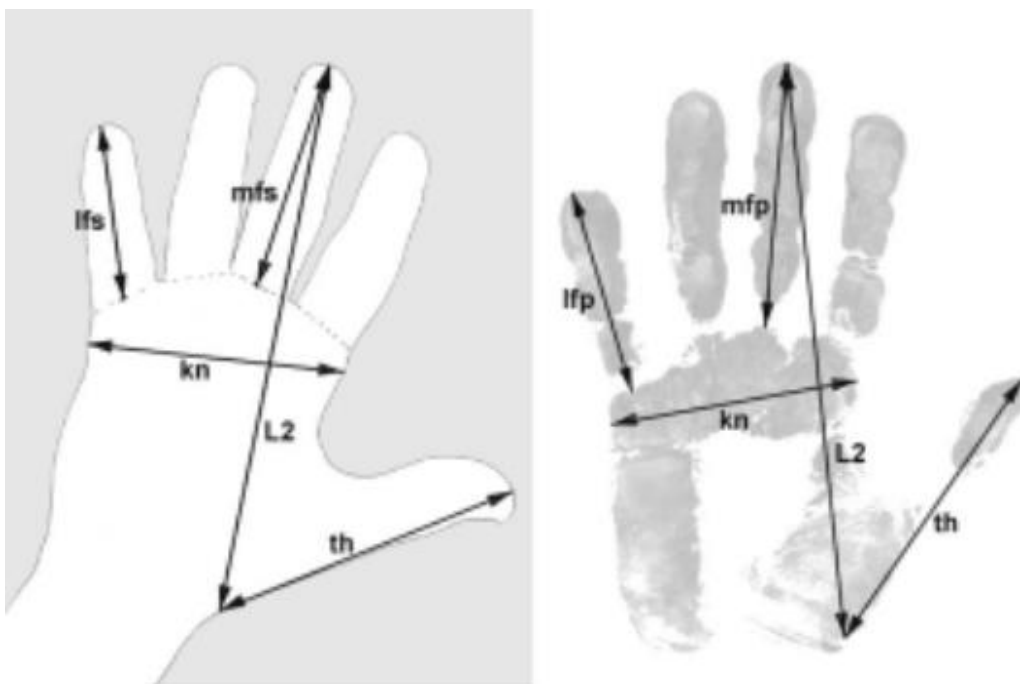
K odhadu pohlaví podle otisků rukou bylo navrženo a vytvořeno mnoho metod. Za základní lze označit metodu, která pracuje s Manningovým indexem. Další metody využívají jiných rozměrů ruky, její celkové velikosti a tvaru nebo například délky prostředníčku a malíčku (Nelson, 2006; Wang et al., 2010; Snow, 2006). Také se pro odhad používají nejnovější statistické programy, softwary pro geometrickou morfometrii nebo se vyvíjejí softwary určené pouze pro tuto problematiku jako je Kalimain (© Noury 2005).

Mezi první velké seriózní práce věnující se odhadu pohlaví z otisků rukou byla studie od Guthrieho z roku 2005, která byla součástí jeho monografie o paleolitickém umění. Guthrie (2005) provedl odhad pohlaví u 201 otisků z Francie a Španělska. Jako referenční soubor mu posoužilo na 700 jedinců euroamerického původu z Aljašky. Jeho výsledky naznačují, že tvůrci nástěnného umění byli převážně muži. Analyzoval ruce pomocí devíti různých lineárních rozměrů a povedlo se mu klasifikovat 19 % otisků jako ženských (případně mohou patřit malým chlapcům) a 81 % otisků jako mužských. Naproti tomu, ale upozorňuje na několik problémů týkající se odhadů samotných. Největší problém vidí v tom, že jeden jedinec mohl zanechat více stop. Mezi další úskalí řadí variabilitu ve velikosti rukou mezi minulými a současnými populacemi

(nebere v potaz vliv klimatu nebo variabilitu mezi recentními populacemi), ale dle něj se ruce v Evropě nijak výrazně evolučně nezměnily již od Pleistocénu (Guthrie, 2005).

Následující rok vychází na toto téma čtyři studie. Článek od Gunna (2006) se věnuje australským otiskům rukou, předběžná studie od Snowa (2006), ve které autor zpracovává negativní otisky z francouzských jeskyní. Studie od dvojice Chazine a Noury, kteří se věnují otiskům v Indonésii a v neposlední řadě článek od Nelsonové a kolektivu (2006).

Gunn již ve své předchozí studii z roku 1993 rozděluje otisky a stopy rukou podle jejich velikosti. Ruce < 70 mm klasifikoval jako dětské, 70 – 90 mm dlouhé ruce patří podle něj adolescentům nebo dospělým ženám, a ruce velké více než 90 mm patří mužům. Cílem jeho novější studie z roku 2006 bylo porovnat rozměry živých rukou s otisky a stopami a ukázat spojitost mezi velikostí a tvarem ruky s pohlavím, věkem a výškou jedince. Celkem snímal pět rozměrů – délku palce, prostředníčku a malíčku, šířku a délku ruky (Obrázek 27).



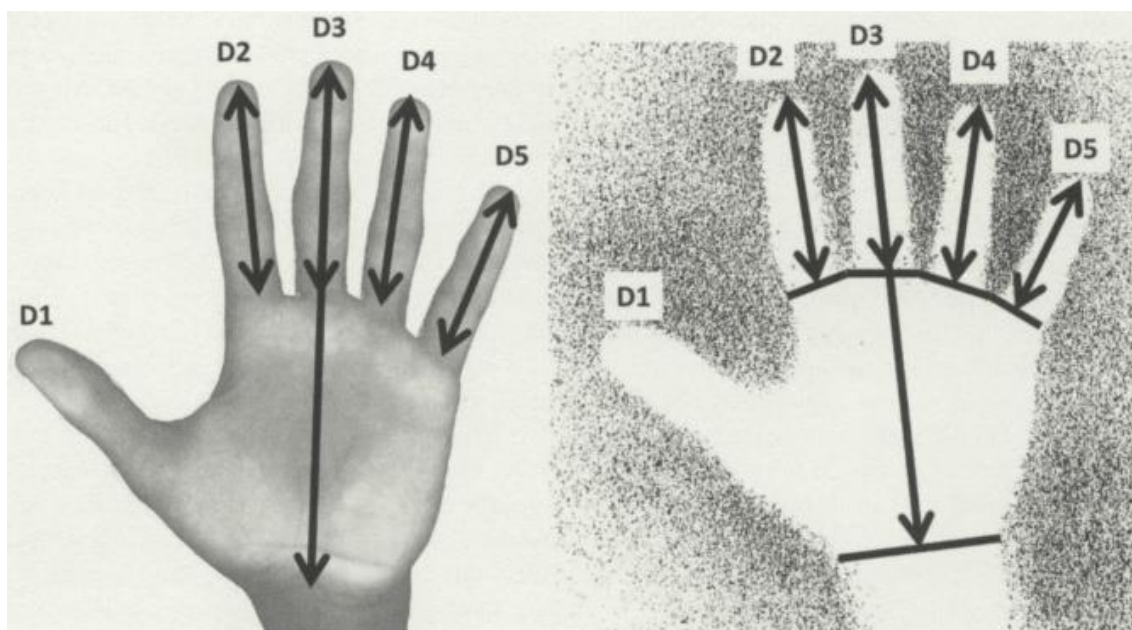
Obrázek 27. Snímané rozměry ruky podle Gunn (2006).

Nejdříve provedl experiment, kdy na papír vytvořil 47 otisků a stop s různým postavením prstů. Následné měření ukázalo, že velikost otisků se může u jednoho jedince lišit. Otisky mohou být v poměru s reálnou velikostí ruky menší, a to v rozmezí od 5 do 15 mm, stopy jsou pak o 5 až 25 mm větší než živé ruce. Poté snímal rozměry 53 stop v Kulpi Mara v centrální Austrálii a dalších 92 stop v Murchinson v západní Austrálii. Pomocí regresní analýzy pak studoval vztah mezi pohlavím a délkou ruky, věkem a délkou ruky a v neposlední řadě vztah mezi výškou postavy a délkou ruky. Dochází k závěrům, že nelze odhadovat věk ani pohlaví z otisků rukou a doporučuje, se věnovat odhadu pohlaví například pomocí analýzy DNA, jenž je někdy přítomno v použité barvě (Gunn, 2006).

Snow (2006) zase představuje myšlenku, že tvůrci parietálního umění byly převážně ženy a svojí předběžnou studií rozdmíchává zájem o tuto problematiku. Pomocí metody založené na kombinaci pěti lineárních rozměrů (Obrázek 28) lze podle něj odhadnout pohlaví tvůrců otisků s dostatečnou spolehlivostí. V roce 2004 navštívil francouzské jeskyně Les Combarelles, Font-de-Gaume, Abri du Poisson a Pech Merle a osobně provedl veškerá měření na šesti stopách rukou. Jeho referenční soubor se sestával z 57 mužů a 54 žen z Pensylvánie. Scaňoval pravou i levou ruku ve dvou polohách – s prsty u sebe a od sebe. Následně u každé z rukou snímal délku všech prstů kromě palce a maximální délku ruky měřenou od distální flexní rýhy zápěstí ke špičce prostředníčku. Ze současného amerického souboru poté odvodil prediktivní rovnici za použití Fisherovy lineární diskriminační funkce. Poté se zaměřil na porovnání 2D:4D indexu pro podpoření výsledků. Jeho výsledky ukazují, že lze podle stop rukou oddělit jejich tvůrce podle pohlaví, ale protože se jednalo pouze o malý soubor šesti stop, nemůžeme z jeho studie vyvozovat obecně platné závěry (Snow, 2006).

Na tento výzkum navazuje v roce 2013 (Snow, 2013). Vzorek šesti stop rukou rozšířil na celkový počet 32. K původním vzorkům přidal stopy

z Bernifal, Gargas, Rocamadour, Grotte du Bison ve Francii a z El Castillo a Maltravieso ve Španělsku. Všech 32 otisků podrobil stejné analýze jako v roce 2006. V 75 % klasifikoval ruce jako ženské, v 25 % byly otisky na stěnách jeskyní podle autora mužské (Snow, 2013).



Obrázek 28. Pět lineárních rozměrů ruky měřených podle Snowa (2013).

O další studii z roku 2006 se postarala dvojice autorů Chazine a Noury. Z celkového počtu 140 stop rukou na hlavním panelu v jeskyni Gua Masri II na Kalimantanu dokázali identifikovat pohlaví u 34 stop. Analýzu provedli za pomoci specifického počítačového softwaru Kalimain, vytvořeného Nourym, který pro odhad pohlaví pracuje s Manningovým 2D:4D indexem. Výsledky ukazují, že se na otiscích podíleli muži i ženy. Avšak autoři v článku nezmiňují, jaký použili referenční soubor, stejně tak nebyl popsán princip, na jakém pracuje software Kalimain a jejich výsledky bychom také neměli brát za obecně platné.

Nelsonová s kolektivem (2006) se ve své studii zaměřují hlavně na metodickou stránku odhadu pohlaví z otisků rukou a řeší různé faktory, které bychom měli brát v potaz, než se o odhad pohlaví začneme

pokoušet. Upozorňují hlavně na využívání Manningova indexu, který může být variabilní nejen mezi populacemi, ale i uvnitř jedné etnické skupiny. Největší problém spatřují autoři v tom, že na otiscích či stopách nevidíme flexní rýhy na proximálních částech prstů, od kterých bychom měli odvíjet měření druhého a čtvrtého prstu. Proto autoři nedoporučují odhadovat pohlaví pouze na základě 2D:4D poměru (Nelson et al., 2006).

Stejně tak kriticky reagují na Snowovu (2006, 2013) studii Galeta s kolektivem (2014). Ti se pokusili ověřit spolehlivost Snowovy metody na nezávislém souboru. Využili diskriminační funkci vytvořenou na americkém souboru (DF_{USA}) a testovali ji na francouzské populaci (DF_{FR}). U přímého rozměru ruky byly ženy nesprávně klasifikovány za pomoci diskriminační analýzy ze 100 % a muži z 58 %. Při využití rozměrů druhého a čtvrtého prstu byli všichni jedinci „správně“ ohodnoceni jako muži. Lze tedy říci, že diskriminační funkce vytvořená na americkém souboru vykazuje nižší spolehlivost při aplikaci u francouzského souboru, což může být podle autorů způsobeno nedostatkem popisných dat u amerického souboru (jako výška jedince, hmotnost, BMI nebo rozměry ruky) a mezipopulační variabilitou ve velikosti ruky (Galeta et al., 2014).

Další motivací pro odhad pohlaví z otisků rukou je také zájem o dělbu práce a genderové role v paleolitu. Wang a kolektiv (2010) představují myšlenku, že anatomicky moderní člověk, mohl mít výhodu nad konkurenčním druhem (*H. neanderthalensis*) z důvodu silnějších vazeb mezi muži a ženami. Navazují na Snowovu studii (2006) a využívají jeho souboru, na kterém ukazují novou metodu automatické klasifikace pohlaví. Analýza pomocí softwaru spočívá ve třech krocích: obraz s otiskem ruky je rozdělen do segmentů a je extrahován obrys ruky, poté jsou označeny tzv. zájmové body (*points of interests, POIs*), které jsou rozvrženy po celé dlani ruky pro výpočet určených rozměrů a v posledním kroku, autoři odhadují pohlaví pomocí klasifikačního nástroje Support Vector Machine (Obrázek 29). Pomocí automatické klasifikace, pak dokázali správně odhadnout pohlaví u 72 % rukou z jejich

referenčního souboru. Jejich výsledky také naznačují, že pohlavní dimorfismus rukou byl v paleolitu výraznější než u recentních populací. Tuto metodu autoři doporučují využívat nejen pro paleolitické otisky, ale i ve forenzních případech (Wang et al., 2010), ale využití speciálně ve forenzní antropologii se věnují jiné studie, například ty od Ishaka et al. (2012) a Ceyhana et al. (2014).



Obrázek 29. Odhady provedené na základě automatické klasifikace u dvou otisků rukou (Wang et al., 2010).

Mackie (2015) je další autorkou, která se věnuje tomuto tématu, avšak zatím jako jediná podrobuje výzkumu stopy rukou v americkém Johnson County ve Wyomingu. Za pomoci fotogrammetrie (využívá

programy Photoscan Pro, 123D Catch) a 3D digitálních modelů 25 rukou a využitím diskriminační analýzy s třemi hranicemi posteriorní pravděpodobnosti, se snaží o spolehlivý odhad pohlaví ze stop rukou zanechaných na pískovcových skalách. Stanovila 18 landmarků na ruce, jež sloužily ke zjištění lineárních rozměrů ruky, mezi které zařadila délku ruky, délku všech prstů, šířku palce a ukazováčku a celkovou plochu dlaně. Referenční soubor tvořily sprejem vytvořené stopy rukou na papír, celkem od 271 jedinců o známém pohlaví a věku z Wyomingu. Věk zúčastněných se pohyboval od tří do 70 let. Vzhledem v rozdílu ve velikosti rukou u nedospělých a dospělých jedinců byla schopna rozlišit jedince podle věku (do 12 let a starší 12 let). Pohlaví bylo odhadnuto pouze u jedinců starších 12 let, což bylo celkem 31 stop rukou z proběhnuvšího experimentu. Z 25 stop rukou zanechaných umělci na skalách, poté klasifikovala sedm negativních otisků jako ženských, 13 jako mužských a 5 jich zůstalo neklasifikováno. Mackie (2015) také upozorňuje na některé problémy jako její kolegové. Jedno omezení tvoří malá velikost a celková reprezentativnost vzorku vůči celé populaci. Druhým problémem je, že jeden jedinec mohl zanechat více otisků a není tedy možné určit, jestli se na tvorbě nástěnného umění podíleli více muži či ženy (Mackie, 2015).

S novou metodou pro odhad pohlaví přichází Nelsonová s kolektivem (2016). Jako první využívají geometrické morfometrie (zpracováno v programu TSPDig2). Jejich referenční soubor tvořilo celkem 53 mužů a 79 žen z anglické University of Liverpool. U všech byl znám věk, pohlaví a příslušnost k etnické skupině. Ruce participantů opět nescanovali, ale vytvořili stopy pomocí barvy na papír, u nich pak určili 19 landmarků, které reflektují pozici a proporce prstů. V programu MorphoJ poté proběhla Prokrustovská analýza a následovalo statistické testování – PCA analýza, Fisherova diskriminační analýza a částečná analýza nejmenších čtverců. Výsledky naznačují, že lze s vysokou spolehlivostí odhadovat pohlaví na základě celkové velikosti a tvaru ruky. Výhoda této metody také spočívá v tom, že můžeme odhadovat pohlaví i u neúplných

otisků nebo otisků s chybějícími prsty, protože jako nejdůležitější pro odhad se jeví oblast dlaně ruky (Nelson et al., 2016).

Úplně nejnovější studii pak představuje kolektiv autorů ze Španělska. Rabazo-Rodríguezová et al. (2017) prezentují nová data k otiskům a stopám rukou v jeskyni El Castillo. Referenční soubor tvořilo celkem 77 jedinců (46 ženských a 31 mužských pravých rukou) z univerzity v Granadě a z univerzity Rovira a Virgili. Pro potřeby analýzy byly opět vytvořeny stopy rukou pomocí spreje na papír. V El Castillo zůstalo měřitelných pouze 21 stop rukou z celkového počtu 85. Pro potřebný odhad autoři využili pouze délek druhého a čtvrtého prstu pro stanovení Manningova indexu a délku ruky. Pohlaví odhadovali na základě diskriminační analýzy. Výsledky ukazují, že 10 stop rukou v jeskyni El Castillo patřilo mužům a 11 stop bylo ženských, i když dle diskriminační funkce mohly být tři stopy špatně klasifikovány. Autoři, ale upozorňují, že existují významné rozdíly mezi rozměry živé ruky a vytvořenými stopami na papír, kdy jsou negativy o několik milimetrů až centimetrů větší (Rabazo-Rodríguez et al., 2017).

Všechny zmíněné studie prezentují možnosti odhadu pohlaví paleolitických umělců, vytváří se nové metody, které by přinesly větší přesnost a spolehlivost. Největší překážku, ale stále tvoří fakt, že ruce jsou sice pohlavně dimorfní, ale také je jejich velikost a tvar populačně specifická. Tato populační specifita neumožňuje tyto metody spolehlivě aplikovat napříč populacemi. Naše metoda odhadu délky z kostí ruky anatomickou metodou by měla tento problém vyřešit, protože je principiálně stejná jako odhad výšky postavy anatomickou metodou, který lze použít u všech jedinců stejně bez ohledu na původ nebo geografii.

Tabulka 3. Přehled autorů věnující se odhadu pohlaví z otisků a stop rukou (Nelson et al., 2016, upraveno a doplněno o nejnovější studii z roku 2017).

Autor/Autoři	Lokalita s otisky rukou	Referenční soubor	Metody	Výsledky
Guthrie (2005)	Francie, Španělsko	700 mužských a ženských rukou z oblasti Západní Evropy	Jednorozměrná analýza založená na 9 lineárních rozměrech	Otisky byly převážně mužské
Gunn (2006)	Centrální a Západní Austrálie	316 mužů a 205 žen austrálského původu	Jednorozměrná a mnohorozměrná regresní analýza	Není možné odhadovat věk ani pohlaví
Snow (2006, 2013)	Francie, Španělsko	222 (111 jedinců) rukou od 54 mužů a 57 žen, Francie	Diskriminační analýza	Otisky byly převážně ženské
Chazine a Noury (2006)	Indonésie (Kalimantan)	Jedinci z Liverpoolu, UK	Analýza pomocí programu Kalimain ©	Obě pohlaví se podílela na tvorbě otisků
Wang et al. (2010)	Francie (stejně jako Snow, 2006)	17 mužských a 17 ženských rukou (Snow, 2006) + 51 mužských a 56 ženských rukou (Čínský divadelní soubor v LA, USA)	Automatická klasifikace	Obě pohlaví se podílela na tvorbě otisků

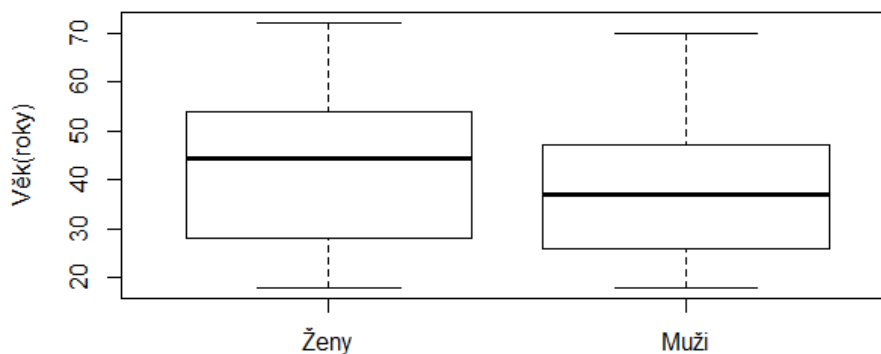
Pettit et al. (2014)	Španělsko	Referenční soubor Snowa (2006)	Stejně jako Snow (2006)	Otisky byly převážně ženské
Mackie (2015)	Wyoming, USA	271 jedinců, 93 mužských a 178 ženských rukou, USA	Vytyčení 18 landmarků na scanech ruky a vytvoření tří rovnic pro odhad	Obě pohlaví se podílela na tvorbě otisků
Nelson et al. (2016)	V této studii nejsou využity otisky paleolitického stáří	Jedinci z univerzity v Liverpoolu, 53 mužů a 79 žen, vytvoření stop sprejem na papír	Geometrická morfometrie ruky, vytyčení 19 landmarků	Vytvoření nové vhodnější metody pro odhad pohlaví u otisků a stop paleolitického stáří
Rabazo-Rodríguez et al. (2017)	Španělsko	46 ženských a 31 mužských rukou z univerzity v Granadě a univerzity Rovira a Virgili, vytvoření stop sprejem na papír	T-test a diskriminační analýza	Obě pohlaví se podílela na tvorbě otisků

4 MATERIÁL

Zkoumali jsme 50 rentgenových snímků žen a 50 snímků mužů. Snímky pochází z roku 2013 ze tří radiologických pracovišť v Plzni. Snímky jsme použili se souhlasem Mgr. Patrika Mika, který snímky zpracovával pro svou diplomovou práci v roce 2013 a se svolením MUDr. Tomáše Kunce, který rentgenové snímky převedl do formátu JPEG. Ve snímcích bylo již vloženo měřítko (10 mm).

Snímky byly pořízeny v rámci běžného lékařského vyšetření a nebyly pořízeny za účelem této studie. Vybrali jsme snímky mužů i žen s minimální dukcí ruky, s dobře viditelnými kostmi ruky, bez patologií a v anteroposteriorní projekci.

Věk žen se pohyboval od 18 do 72 let věku, jejich průměr byl 42,7 let. Věk mužů se pohyboval od 18 do 70 let věku, s průměrným věkem 38,4 let (Graf 1, Tabulka 4).



Graf 1. Věk žen a mužů (roky).

Tabulka 4. Věk žen a mužů (roky).

	Ženy	Muži
Počet	50	50
Průměr	43	38
SD	15,4	14,4
Medián	44,5	37

5 METODY

5.1 Měření délky ruky a délek kostí ruky z rentgenových snímků

Měřili jsme celkem devět rozměrů: délku ruky třemi způsoby (HL_MIK, HL_SNOW, HL_MACKIE) a délku a výšku kostí středního paprsku ruky (kost poloměsíčitá, kost hlavatá, třetí záprstní kost a články prstů), jejichž součtem jsme získali délku kostry ruky (HSL). Všechny rozměry jsme měřili z rentgenových snímků s přesností na setinu milimetru.

Délku ruky jsme měřili třemi různými způsoby.

HL_MIK (2014)

Délka ruky podle Mika (*hand length Mik*):

Přímočará vzdálenost od vrcholu *processus styloideus radii* k bodu *dactylion III* (střed špičky měkké tkáně třetího prstu).

Jedná se o upravený rozměr z Knussmannovy Somatometrie (1988), který měří délku ruky jako projektivní vzdálenost od špičky třetího prstu k bodu *stylion radiale* (Knussmann, 1988).

HL_MACKIE (Mackie, 2015)

Délka ruky podle Mackie (*hand length Mackie*):

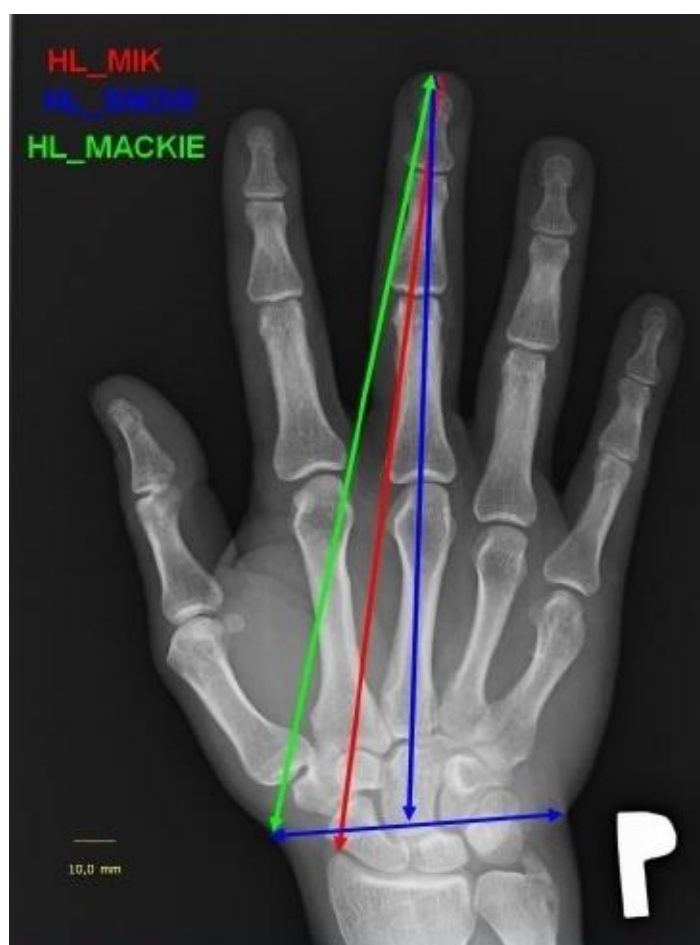
Přímočará vzdálenost od laterální konkavity ruky k bodu *dactylion III*. (Mackie, 2015; Gunn, 2006).

HL_SNOW (Snow 2006, 2013)

Délka ruky podle Snowa (*hand length Snow*):

Přímočará vzdálenost od středu spojnice konkavit ruky k bodu *dactylion III*.

Opět se jedná o upravený rozměr z Knussmannovy Somatometrie (1988). Ten je definován jako vzdálenost od středu distální flexní rýhy zápěstí ke špičce třetího prstu. Na paleolitických otiscích a stopách není žádný způsob, jak by se mohla zachovat flexní rýha. Proto Snow (2013) vytváří vhodný způsob měření použitelný u otisků a stop. Všechny způsoby měření délky ruky jsou znázorněny v obrázku 30.



Obrázek 30. Způsoby měření délky ruky. HL_MIK (měření podle předběžné studie Mik, 2014), HL_MACKIE (měření podle Mackie, 2015) a HL_Snow (délka ruky podle Snow, 2013).

Dále jsme měřili kosti středního paprsku ruky.

HLB (upraveno; Drozdová, 2004)

Výška kosti poloměsíčné (*height of lunate bone*):

Projektivní vzdálenost nejdistančnějšího bodu a nejproximálnějšího bodu viditelného na rentgenovém snímku. Skrze oba body vedeme vodorovně rovnoběžky, délku měříme kolmo od nejdistančnějšího k nejproximálnějšímu bodu kosti poloměsíčné.

HCB (upraveno; Drozdová, 2004)

Výška kosti hlavaté (*height of capitate bone*):

Projektivní vzdálenost od nejdistančnějšího bodu viditelného na rentgenovém snímku ke středu hlavice kosti. Skrze nejdistančnější bod vedeme rovnoběžku pod takovým úhlem, abychom ji protnuli s bodem na laterální straně distální plochy, pod stejným úhlem poté vedeme rovnoběžku skrze bod ve středu *caput ossis capitati*, délku měříme kolmo od nejdistančnějšího k nejproximálnějšímu bodu kosti hlavaté.

MC3 (Musgave a Harneja, 1978)

Délka třetí záprstní kosti (*length of 3rd metacarpal bone*):

Přímá vzdálenost od středu baze proximální kloubní plochy ke středu hlavice záprstní kosti.

PH_PROX, PH_INTER, PH_DIST (Drozdová, 2004)

Délka proximálního, intermediálního a distálního článku prstu (*length of proximal, intermediate and distal phalang*):

Přímá vzdálenost od středu baze proximální kloubní plochy ke středu hlavice článku prstu.

HSL

Délka kostry ruky (*hand skeleton length*):

Součet všech kostí středního paprsku ruky.

Všechny způsoby měření kostí ruky jsou znázorněny na obrázku 31.



Obrázek 31. Způsoby měření délek a výšek kostí středního paprsku ruky (výška HLB (*height of lunate bone*) – výška kosti poloměsíčitě, Výška HCB (*height of capitate bone*) – výška kosti hlavatě, Délka MC3 (*metacarpal bone*) – délka třetí záprstní kosti a Délka PH (*phalanges*) – délka článků prstů).

Měření délek ruky a kostí ruky jsme prováděli v programu *ImageJ* 1.48k. V rentgenových snímcích bylo již vloženo měřítko 10 mm. Snímky byly ve formátu JPEG. V programu *ImageJ* jsme pomocí funkce *Straight Line* a *Set scale* v kontextovém menu *Analyze* převedli pixely na

milimetry na základě vloženého měřítka. Délku ruky a kostí ruky jsme měřili pomocí funkce *Straight Line* a *Measure*.

5.2 Statistické metody

Chybu měření jsme hodnotili na základě metody Blanda a Altmana (1986). Vztah délky ruky a délky kostry ruky jsme testovali pomocí jednorozměrné regresní analýzy (*least square regression*). Dále jsme provedli analýzu kovariance (ANCOVA, *Analysis of covariance*), kterou jsme testovali, jestli se liší regresní přímky pro vztah délky ruky a délky kostry ruky pro muže a ženy.

5.2.1 Intra a inter-observační chyba

Intra-observační chybu (chyba opakovaných měření jednoho pozorovatele) a inter-observační chybu (chyba opakovaných měření mezi dvěma pozorovateli) jsme hodnotili na základě metody Blanda a Altmana (1986, 1996, 1999, 2003). K vyhodnocení intra-observační chyby jsem opakovaně měřila hodnoty u 20 jedinců (10 mužů a 10 žen), snímala jsem dvakrát všech devět rozměrů s odstupem jednoho týdne od prvního měření. Stejní jedinci byli využiti k zjištění inter-observační chyby. Měření prováděla Bc. Izabela Kuncová z plzeňské fakultní nemocnice na Lochotíně, která absolvovala základní anatomické kurzy.

Systematickou chybu měření jsme srovnávali na základě průměrného rozdílu mezi prvním a druhým měřením (MD, *Mean Difference*). Pro možnost srovnání s jinými publikacemi využíváme procentuální vyjádření %MD, který vypočítáme jako poměr průměrného rozdílu mezi prvním a druhým měřením a průměrnou hodnotou dané proměnné. Absolutní chybu (MAD, *Mean Absolute Difference*) jsme vypočítali jako poměr absolutního průměrného rozdílu mezi prvním a druhým měřením a průměrnou hodnotou dané proměnné. %MAD vyjadřuje stejný rozdíl, pouze v procentech. Také jsme určili hranici pro akceptovatelnou chybu měření, %MAD = 5 % (např. Galeta et al., 2014;

Sládek et al., 2010). Rozdíly mezi měřeními jsme převedli do Bland-Altmanových grafů, abychom vizuálně ověřili, že se naměřené hodnoty pohybují v přijatelných mezích limitů shody (LA, *limits of agreement*). Limity shody jsou intervalem, v němž se pohybuje 95 % odchylek prvního a druhého měření (Bland a Altman, 1986). Hodnoty jsme poté zanesli do grafu, ve kterém jsou na ose X vyznačeny průměrné hodnoty prvního a druhého měření a na ose Y jsou zaneseny rozdíly mezi prvním a druhým měřením. Uvnitř grafu vidíme vodorovné čáry pro dolní a horní 95% limity shody. Pokud se většina hodnot pohybuje uvnitř grafu/uvnitř LA, můžeme chybu hodnotit jako akceptovatelnou (Bland a Altman, 1986).

5.2.2 Pohlavní dimorfismus

Ačkoliv to není cílem práce, ve výsledcích také hodnotíme míru pohlavního dimorfismu rukou mužů a žen. Pro testování hypotéz jsme stanovili obvyklou hladinu statistické významnosti $\alpha = 0,05$. Normální rozdělení hodnot jsme testovali pomocí Shapiro-Wilkova testu. Protože porovnáváme data, která tvoří dva nezávislé výběry (v našem případě muži a ženy), tak pohlavní dimorfismus testujeme pomocí nepárového t -testu (Zar, 1999).

5.2.3 Vztah délky ruky a délky kostry ruky

Nejdříve jsme testovali sílu vztahu mezi proměnnými pomocí korelačního koeficientu (Pearsonův koeficient, r). Korelační koeficient nabývá hodnot od -1 do 1. Kladné hodnoty vyjadřují rostoucí závislost, tzn. čím vyšších hodnot r nabývá, tím je závislost mezi proměnnými silnější (Agresti a Finlay, 1997).

Pomocí jednorozměrné lineární regrese objasňujeme vztah mezi dvěma proměnnými. Proměnné rozdělujeme na závislou proměnnou (délka ruky, na ose Y) a nezávislou proměnnou (délka kostry ruky, na ose X). Tento vztah můžeme matematicky vyjádřit jako:

$$Y = a + bx$$

Y...závislá proměnná

x...nezávislá proměnná

a + b jsou regresní koeficienty, kdy **a** vyjadřuje průsečík regresní přímky s osou Y, **b** je sklon regresní přímky (Zar, 1999).

Průsečík regresní přímky vyjadřuje hodnotu závislé proměnné pro nulovou hodnotu nezávislé proměnné. Sklon regresní přímky vyjadřuje změnu závislé proměnné při jednotkové změně nezávislé proměnné. Před použitím regresní analýzy jsme testovali předpoklady. 1) jedinci musí podléhat náhodnému výběru, 2) proměnné musí mít normální rozdělení, 3) musí existovat lineární vztah mezi proměnnými, 4) rozptyl náhodné složky musí být konstantní (tzv. homoskedasticita).

Tyto předpoklady jsme testovali následovně: Nezávislost vztahu mezi proměnnými jsme testovali Durbin-Watsonovým testem, u nějž se hodnoty testové statistiky d pro přijetí nezávislosti vztahu pohybují nad 1,4 a zároveň jsou nižší než 2,6. Homoskedasticitu rozložení reziduí jsme testovali Breusch-Paganovým testem, na základě p hodnoty. Shapiro-Wilkovým testem jsme testovali normalitu rozdělení reziduí. Kvalitu regresního modelu nám udává hodnota indexu determinace R^2 . Přítomnost odlehlých hodnot jsme testovali pomocí Cookovy vzdálenosti. Pozorování je odlehlou hodnotou, pokud je Cookova vzdálenost větší než 1.

V naší práci aplikujeme regresní analýzu nejmenších čtverců (*least square regression*), kdy přímka minimalizuje součet ploch čtverců vzdáleností naměřených hodnot od predikované přímky. Kritériem je součet nejmenších čtverců chyby odhadu (Pavlík et al., 2005).

5.2.4 Vztah délky ruky a délky kostry ruky pro obě pohlaví

Analýza kovariance (ANCOVA, *Analysis of covariance*) je metoda, která kombinuje vlastnosti a užití analýzy rozptylu (ANOVA) a lineární regresní analýzy. Cílem je očistit proměnné od působení doprovodných

vlivů, tzv. kovariátů, pro naši práci to znamenalo zjistit, jestli se liší regresní přímky pro vztah délky ruky a délky kostry ruky u mužů a žen. Motivací pro tuto analýzu je vytvoření regresních rovnic společně pro muže i ženy. Opět jsme testovali předpoklady: 1) jedinci musí podléhat náhodnému výběru, 2) proměnné musí mít normální rozdělení, 3) rozptyl náhodné složky musí být konstantní, 4) X a Y musí být lineárně závislé, 5) regresní přímky musí být ve výsledku rovnoběžné (*homogeneity of slopes*) – jedná se o shodu regresních koeficientů (Drápela, 2011). Celkovou vhodnost modelu jsme testovali pomocí F testu a p hodnoty (Zar, 1999).

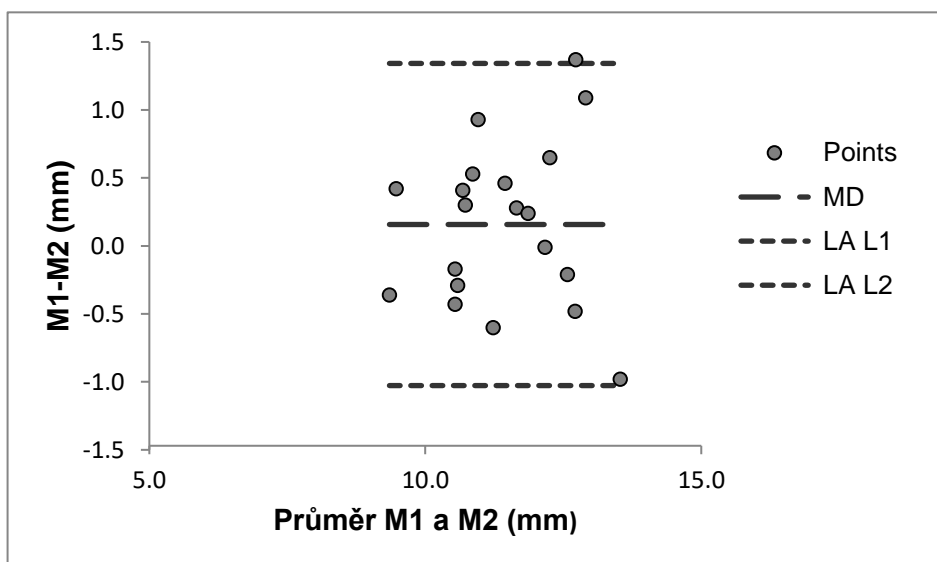
5.3 Použitý software

Pro statistické výpočty a grafy byl použit program R 3.4.4 a Microsoft Office Excel 2007.

6 VÝSLEDKY

6.1 Intra a inter-observační chyba

Výsledky intra-observační a inter-observační chyby jsou zobrazeny v tabulce 5. Výsledky měření intra-observační chyby délky ruky i kostí ruky vykazují dobrou shodu měření. Systematická chyba měření délky ruky MD% od 0,1 % pro HL_MIK do 0,3 % pro HL_SNOW. Pro kosti ruky se hodnoty MD% pohybují od -0,8 % pro distální článek prstu do 1,4 % pro kost poloměsíčitou. Průměrný procentuální rozdíl MAD% jakožto ukazatel absolutní chyby se pohyboval od 0,6 % pro HL_MIK do 1,1 % HL_SNOW pro hodnocení délky ruky. U kostí ruky byly pak hodnoty mezi 1,1 % (třetí záprstní kost) a 4,4 % (kost poloměsíčitá). Všechny hodnoty spadají do námi určené 5% hranice akceptovatelnosti chyby měření. Vyšší hodnota 4,4 % u kosti poloměsíčité může být způsobena malými rozměry kosti, kde mohou hrát roli desetiny milimetru (ukázka v Bland-Altmanově grafu, graf 2).



Graf 2. Bland-Altmanův graf pro inter-observační chybu měření kosti poloměsíčité.

Podobné výsledky nám ukazují i hodnoty inter-observační chyby. Systematická chyba MD% pro délku ruky se pohybuje od -0,1 % pro

HL_MIK do 0,3 % pro HL_MACKIE. U kostí ruky se hodnoty MD% pohybují od -0,3 % pro proximální článek prstu do 1,2 % pro kost poloměsíčitou. Míra absolutní chyby MAD% činí 0,5 % pro HL_MIK až 0,8 % pro HL_SNOW. U kostí ruky se pohybujeme mezi 0,9 % (třetí záprstní kost) a 3,8 % (kost poloměsíčitá). Toto rozmezí je přijatelné pro hodnocení chyby měření mezi dvěma pozorovateli. Z výsledků je patrné, že i u inter-observační chyby je nejvíce zatížena chybou měření kost poloměsíčitá. Tyto hodnoty vypovídají o přijatelné míře chyby, což znamená, že je naše měření opakovatelné.

Tabulka 5. Intra a inter-observační chyba měření pro rozměry ruky.

Rozměr	Intra-observační chyba		Inter-observační chyba	
	MD%	MAD%	MD%	MAD%
HL_MIK	0,1	0,6	-0,1	0,5
HL_SNOW	0,3	1,1	0,1	0,8
HL_MACKIE	0,2	0,7	0,3	0,6
HLB	1,4	4,4	1,2	3,8
HCB	0,1	1,8	0,2	3,5
MC3	0	1,1	-0,1	0,9
PH_PROX	0,3	1,4	-0,3	1,8
PH_INTER	-0,2	1,3	0	3,5
PH_DIST	-0,8	2,1	0,3	3,5

Vysvětlení zkratk rozměrů, viz 5. Metody.

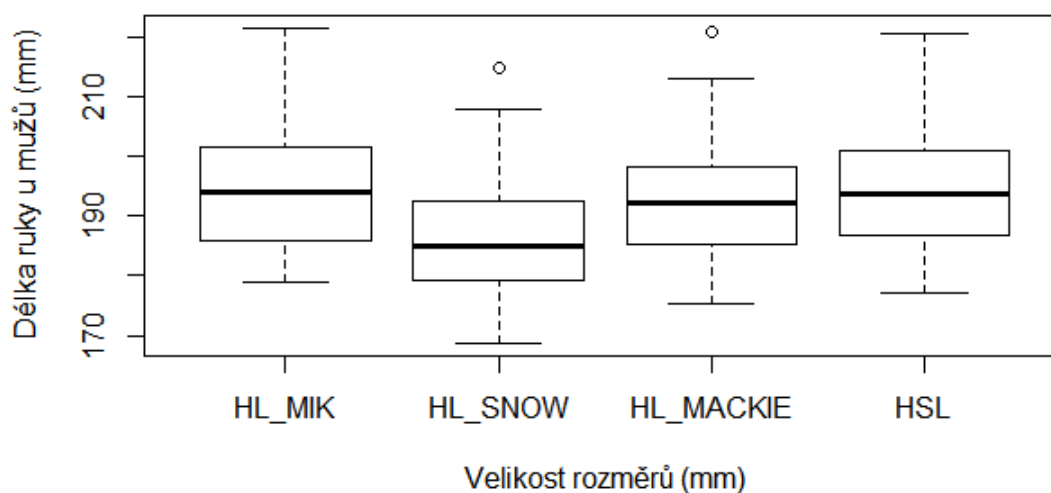
6.2 Pohlavní dimorfismus

Z analýzy dat vyplývá, že muži mají absolutně delší ruce a delší kosti středního paprsku ruky než ženy (Tabulka 6).

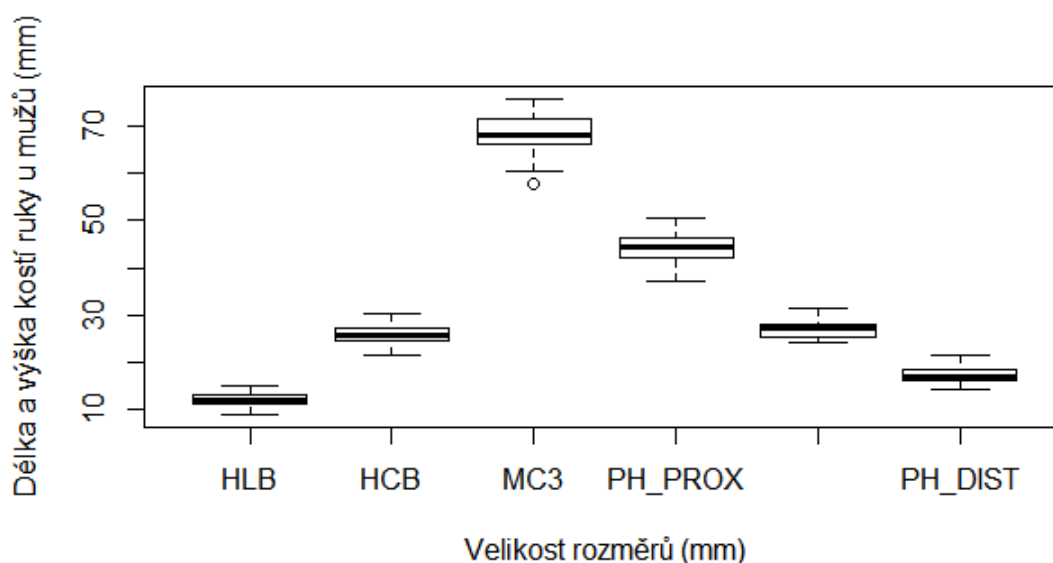
Tabulka 6. Popisná statistika pro rozměry ruky a kostí ruky u mužů a žen (v mm).

Rozměr	Muži (n=50)		Ženy (n=50)	
	Průměr	SD	Průměr	SD
HL_MIK	195,0	10,8	177,7	8,0
HL_SNOW	186,4	9,9	167,7	7,5
HL_MACKIE	192,9	10,5	173,2	7,6
HSL	194,9	10,2	177,8	8,1
HLB	12,2	1,2	11,2	1,0
HLC	25,8	1,9	23,0	1,6
MC3	68,3	3,8	62,3	3,4
PH_PROX	44,2	2,9	40,3	2,5
PH_INTER	27,2	2,0	25,2	1,6
PH_DIST	17,4	1,7	15,8	1,3

Výsledky měření délky ruky u mužů uvádíme v grafu 3. Průměrně nejdelší je dle výsledků délka ruky měřená podle Mika (HL_MIK = 195,0 ± 10,8 mm). Podobnou průměrnou délku ruky jsme získali měřením podle Mackie (HL_MACKIE = 192,9 ± 10,5 mm) a nejmenší průměrnou délku ruky jsme naměřili podle Snowovy metody (HL_SNOW = 186,4 ± 9,9 mm). Průměrná délka kostry ruky u mužů je 194,9 ± 10,2 mm. Výsledky měření délek a výšek kostí středního prstku ruky jsou znázorněny v grafu 4. Hodnoty pro každou kost jsou uvedeny v tabulce 6.

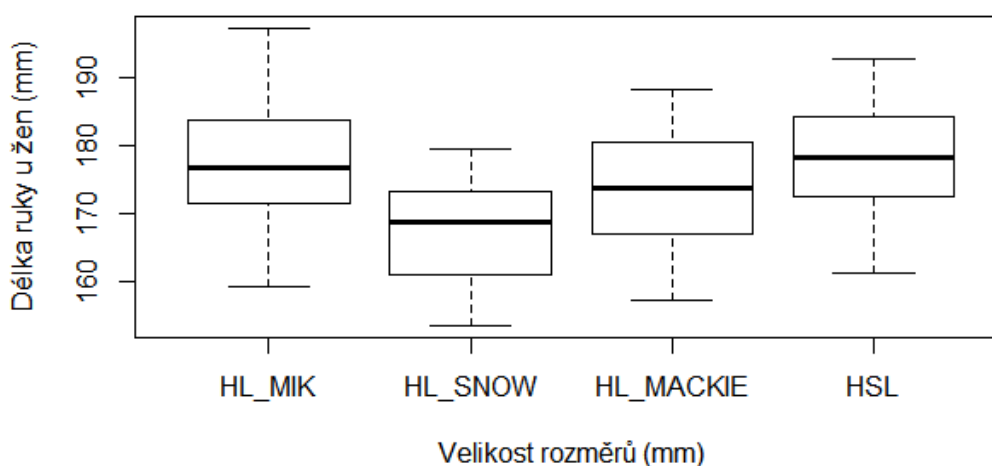


Graf 3. Boxploty pro délku ruky a délku kostry ruky u mužů (mm).

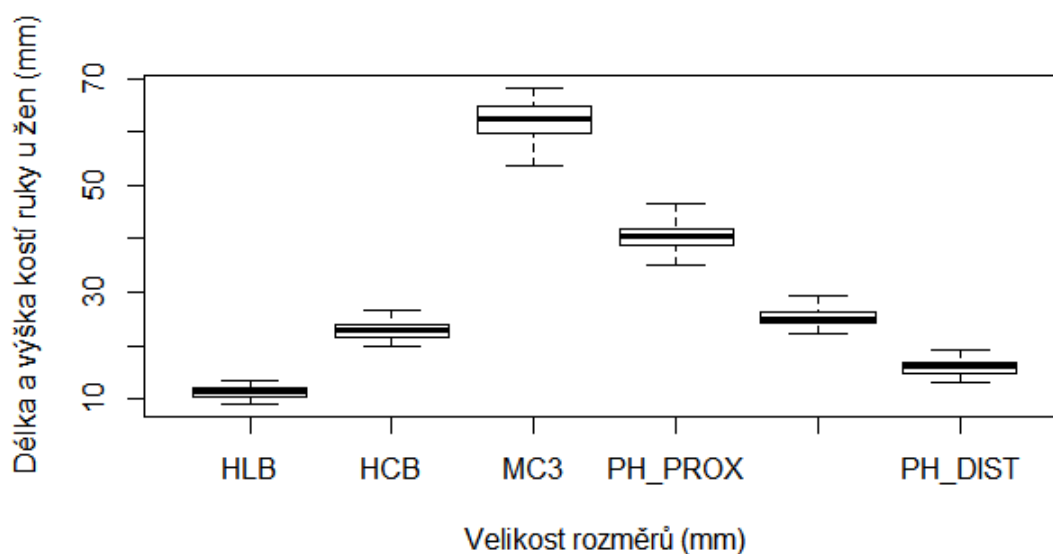


Graf 4. Boxploty pro výšku a délku kostí středního prstku ruky u mužů (mm).

Výsledky měření délky ruky u žen uvádíme v grafu 5. V grafu jsou opět znázorněny boxploty pro měření délky ruky třemi způsoby a boxplot pro délku kostry ruky u žen. Průměrně nejdelší nám vyšla délka ruky měřená podle Mika (HL_MIK = 177,7 ± 8 mm). Podobnou průměrnou hodnotu jsme získali měřením dle Mackie (HL_MACKIE = 173,2 ± 7,6 mm) a nejmenší průměrnou hodnotu opět ukazuje měření podle Snowa (HL_SNOW = 167,7 ± 7,5 mm). Průměrná délka kostry ruky je u žen 177,8 ± 8,1 mm. Výsledky měření délek a výšek kostí středního prstku ruky jsou znázorněny v grafu 6. Hodnoty pro každou kost jsou uvedeny v tabulce 6.



Graf 5. Boxploty pro délku ruky a délku kostry ruky u žen (mm).



Graf 6. Boxploty pro výšku a délku kostí středního paprsku ruky u žen (mm).

. Výsledky ukázaly, že všechny proměnné u mužů a žen jsou normálně rozděleny s výjimkou délky ruky u mužů měřené podle Mika (HL_MIK), p hodnota $< 0,0148$. P hodnota se po zlogaritmování změnila ($p < 0,0386$), avšak stále neukazuje na normální rozdělení hodnot. Neparametrická alternativa (Kolmogorov-Smirnovův test) však toto podezření nepotvrdila. U všech proměnných jsme také neidentifikovali žádné odlehlé hodnoty (*outlier labelling*, Hoaglin et al., 1986).

Protože měly porovnávané proměnné homogenní rozptyly (Levenův test, $p > 0,05$), výsledky testu jsou uvedeny v kapitole 14 Přílohy. Přikročili jsme k ověření dvouvýběrovým nepárovým t -testem. Výsledky nepárového t -testu ($p < 0,001$, viz Přílohy) nám potvrzují, že muži mají absolutně větší ruce a všechny kosti středního paprsku ruky jsou větší než u žen.

6.3 Vztah délky ruky a délky kostry ruky

Sílu vztahu mezi délkou ruky a délkou kostry ruky vyjadřují hodnoty r , uvedené v tabulce 7.

Tabulka 7. Korelační koeficienty pro vztah délky ruky a délky kostry ruky.

Rozměr	Muži (n=50)			Ženy (n=50)		
	r	r^2	p	r	r^2	p
HL_MIK	0,90	0,81	0,000	0,91	0,83	0,000
HL_SNOW	0,89	0,79	0,000	0,85	0,73	0,000
HL_MACKIE	0,82	0,67	0,000	0,86	0,75	0,000

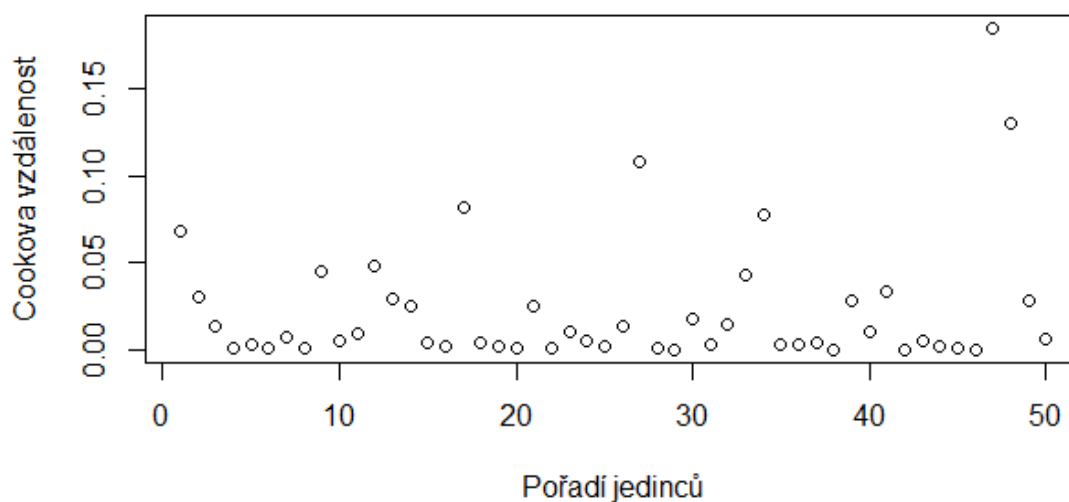
Nejsilnější vztah mezi délkou ruky a délkou kostry ruky u mužů vidíme u způsobu měření délky ruky podle Mika ($r = 0,90$), u žen je také korelační koeficient nejvyšší u délky ruky měřené podle Mika ($r = 0,91$). Druhý nejvyšší korelační koeficient je u délky ruky měřené podle Snowa ($r = 0,89$), zatímco u žen je druhý nejsilnější koeficient u vztahu délky ruky měřené dle Mackie ($r = 0,86$). Nejnižší koeficient (avšak stále vysoce pozitivní) vidíme u délky ruky měřené podle Mackie u mužů ($r = 0,82$) a žen u HL_SNOW ($r = 0,85$).

Předpoklady pro provedení lineární regrese byly splněny u všech zkoumaných vztahů. Na základě výsledků Shapiro-Wilkova testu jsme přijali nulovou hypotézu o normalitě rozdělení reziduí u všech proměnných. Nezávislost vztahu mezi proměnnými nebyla zamítnuta na základě Durbin-Watsonova testu. Na základě p hodnoty u Breush-Paganova testu nebyla homoskediscita zamítnuta u žádné z proměnných. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 8 (pro muže a ženy).

Tabulka 8. Předpoklady pro použití regresní analýzy pro muže a ženy.

Rozměr	Durbin-Watson (d)	Breusch-Pagan (p)	Shapiro-Wilk rezidua (p)
<i>Ženy (n = 50)</i>			
HL_MIK	1,51	0,83	0,39
HL_SNOW	1,71	0,06	0,49
HL_MACKIE	1,77	0,42	0,22
<i>Muži (n = 50)</i>			
HL_MIK	1,55	0,05	0,70
HL_SNOW	1,57	0,73	0,08
HL_MACKIE	1,75	0,45	0,66

Přítomnost odlehlých hodnot jsme testovali pomocí Cookovy vzdálenosti. Na základě této reziduální analýzy jsme neobjevili žádnou odlehlou hodnotu, která by mohla ovlivnit regresní analýzu (příklad je uveden v grafu 7).



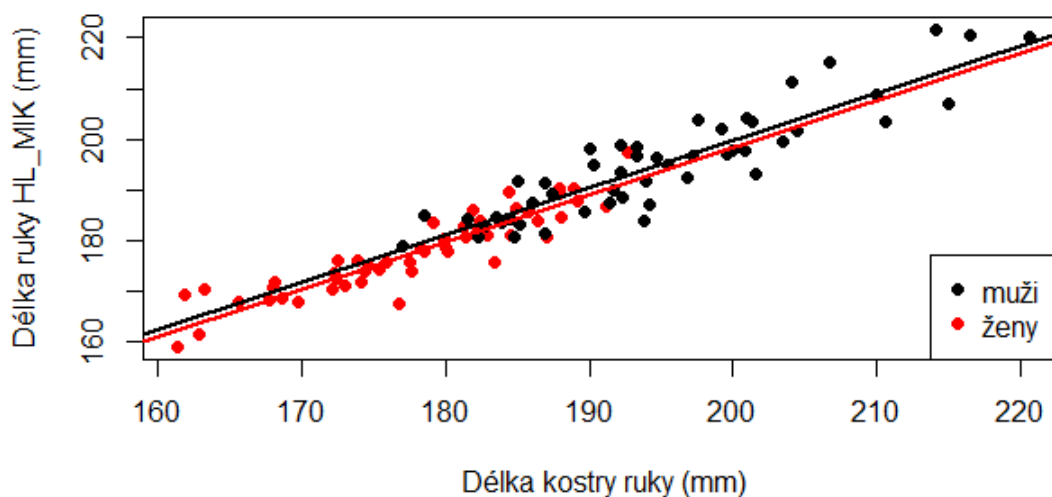
Graf 7. Cookův graf pro rozložení reziduí u HL_SNOW (muži).

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že veškeré předpoklady byly splněny. Výsledkem jsou regresní rovnice pro odhad délky ruky třemi způsoby u mužů a třemi způsoby u žen. Jednotlivé regresní rovnice pro odhad délky ruky (HL_MIK, HL_SNOW, HL_MACKIE) z délky kostry ruky

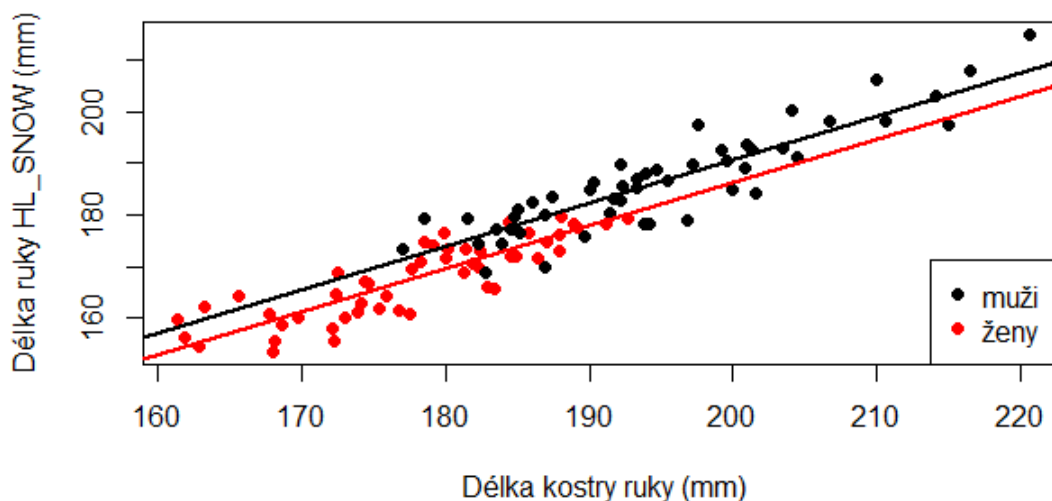
(HSL) pro muže a ženy jsou uvedeny v tabulce 10. Jednotlivé grafy regresní analýzy jsou uvedeny v grafu 8 až 10.

Tabulka 9. Regresní rovnice pro odhad délky ruky z délky kostry ruky u mužů a u žen.

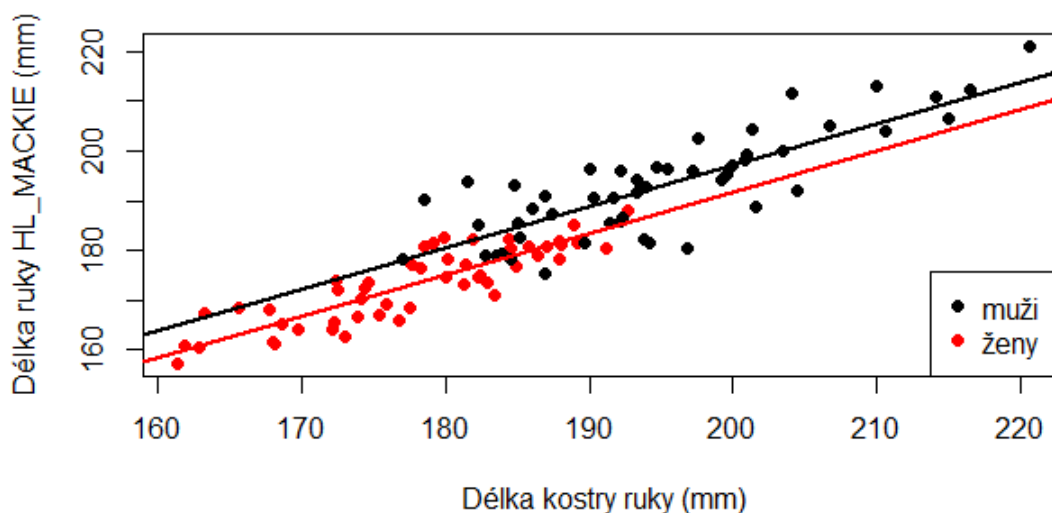
	Muži (n=50)			Ženy (n=50)		
	Sklon	Průsečík	SEE	Sklon	Průsečík	SEE
HL_MIK	0,96	8,84	4,57	0,89	18,18	3,17
HL_SNOW	0,87	17,46	4,40	0,78	28,2	3,82
HL_MACKIE	0,84	28,58	5,94	0,81	29,19	3,74



Graf 8. Graf regresní analýzy pro vztah délky ruky (HL_MIK) a délky kostry ruky pro muže i ženy.



Graf 9. Graf regresní analýzy pro vztah délky ruky (HL_SNOW) a délky kostry ruky pro muže i ženy.



Graf 10. Graf regresní analýzy pro vztah délky ruky (HL_MACKIE) a délky kostry ruky pro muže i ženy.

6.4 Vztah délky ruky a délky kostry ruky pro obě pohlaví

Předpoklady pro provedení analýzy kovariance byly splněny u všech zkoumaných vztahů. Výsledky jsou totožné jako u jednorozměrné regresní analýzy (Tabulka 8 a 9), také byl splněn předpoklad homogenity sklonů – regresní přímky pro obě pohlaví jsou rovnoběžné, jak ukazuje p hodnota pro HL_MIK ($p = 0,522$), HL_SNOW ($p = 0,388$) a HL_MACKIE ($p = 0,772$).

Výsledky analýzy kovariance jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10. Výsledky analýzy kovariance.

	Součet čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	F	p
<i>HL_MIK</i>					
Přizp. průměr	24,4025	1	24,4025	1,52	0,2206
Přizp. chyba	1557,45	97	16,0562		
Přizp. součet	1581,85	98			
<i>HL_SNOW</i>					
Přizp. průměr	257,445	1	257,445	14,55	0,0002
Přizp. chyba	1716,31	97	17,6939		
Přizp. součet	1973,76	98			
<i>HL_MACKIE</i>					
Přizp. průměr	399,433	1	399,433	15,67	0,0001
Přizp. chyba	2472,54	97	25,4901		
Přizp. součet	2871,97	98			

Z výsledků vyplývá, že rozdíly mezi přizpůsobenými průměry jsou statisticky významné u HL_SNOW ($p < 0,001$) a HL_MACKIE ($p < 0,001$), zatímco u HL_MIK statistická významnost není ($p > 0,05$). Stejně tak můžeme interpretovat hodnoty F, které nám udávají celkovou vhodnost modelu.

Výše zmíněné výsledky nám umožňují vytvořit regresní rovnice pro obě pohlaví u HL_SNOW a HL_MACKIE. Nejdříve jsme testovali sílu vztahu mezi proměnnými pomocí Pearsonova korelačního koeficientu, hodnoty r jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11. Korelační koeficienty pro vztah délky ruky a délky kostry ruky.

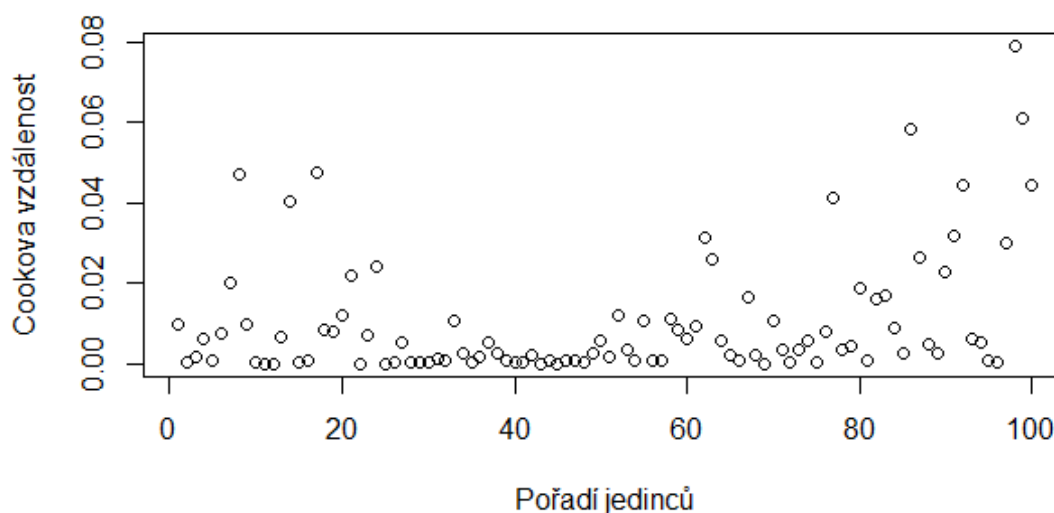
Obě pohlaví (n = 100)			
Rozměr	r	r ²	p
HL_SNOW	0,94	0,87	0,000
HL_MACKIE	0,92	0,84	0,000

Předpoklady pro provedení lineární regrese byly splněny u všech zkoumaných vztahů. Na základě výsledků Shapiro-Wilkova testu jsme přijali nulovou hypotézu o normalitě rozdělní reziduí u všech proměnných. Nezávislost vztahu mezi proměnnými nebyla zamítnuta na základě

Durbin-Watsonova testu. Na základě p hodnoty u Breush-Paganova testu nebyla homoskediscita zamítnuta u žádné z proměnných. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 12. Přítomnost odlehlých hodnot jsme testovali pomocí Cookovy vzdálenosti. Na základě této reziduální analýzy jsme neobjevili žádnou odlehlou hodnotu, která by mohla ovlivnit regresní analýzu (Graf 11).

Tabulka 12. Předpoklady pro použití regresní analýzy pro muže a ženy kombinovaně.

Obě pohlaví (n=100)			
Rozměr	Durbin-Watson (d)	Breusch-Pagan (p)	Shapiro-Wilk rezidua (p)
HL_SNOW	1,52	0,07	0,11
HL_MACKIE	1,65	0,05	0,53

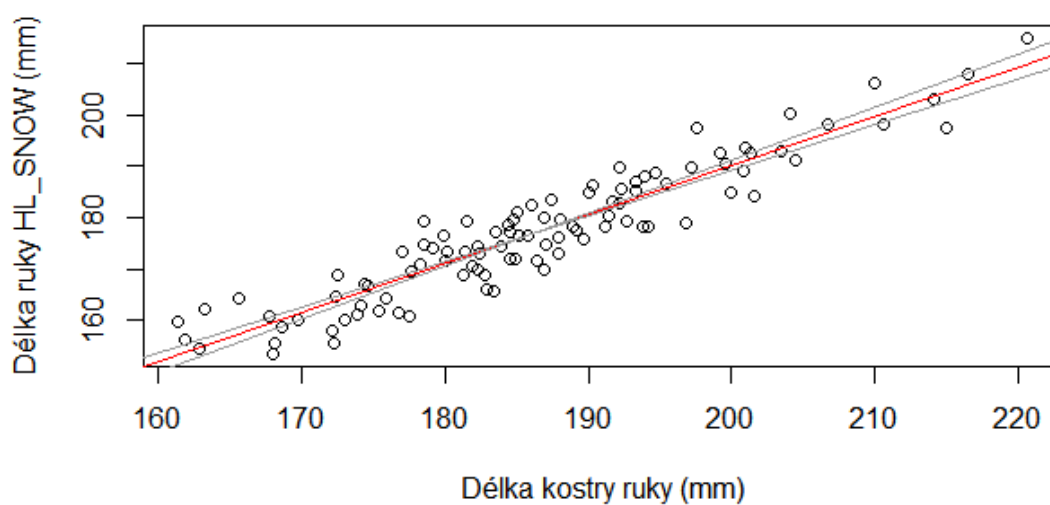


Graf 11. Cookův graf rozložení reziduí u HL_MACKIE u mužů a žen.

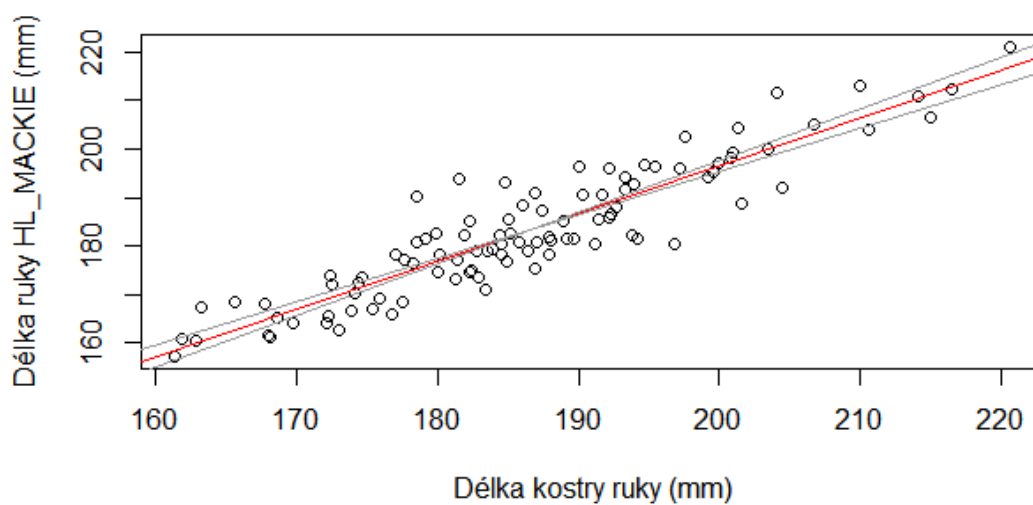
Veškeré předpoklady byly splněny, proto jsme vytvořili regresní rovnice pro odhad délky ruky z délky kostry ruky využívajíc rozměrů HL_SNOW a HL_MACKIE pro obě pohlaví kombinovaně. Jednotlivé regresní rovnice pro odhad délky ruky (HL_SNOW, HL_MACKIE) z délky kostry ruky (HSL) jsou uvedeny v tabulce 13. Jednotlivé grafy regresní analýzy jsou uvedeny v grafu 12 a 13.

Tabulka 13. Regresní rovnice pro odhad délky ruky z délky kostry ruky u mužů a žen kombinovaně.

Obě pohlaví (n = 100)			
Rozměr	Sklon	Průsečík	SEE
HL_SNOW	0,95	-0,87	4,44
HL_MACKIE	0,97	0,52	5,35



Graf 12. Graf regresní analýzy pro odhad délky ruky (HL_SNOW) z délky kostry ruky pro muže a ženy.



Graf 13. Graf regresní analýzy pro odhad délky ruky (HL_MACKIE) z délky kostry ruky pro muže a ženy.

7 DISKUZE

V posledních 12 letech vzrostl počet publikací věnující se odhadu pohlaví z otisků rukou zanechaných na stěnách paleolitických jeskyní, jež se vyskytují po celém světě (Gunn, 2006; Chazine a Noury, 2006; Mackie, 2015). Základním předpokladem pro odhad pohlaví z takovýchto otisků je, že mužské a ženské ruce se liší v jejich délce, velikosti, celkovém tvaru nebo délce prstů (Manning et al., 1998, 2001; Lazenby a Smashnuk, 1999; Stojanowski, 1999; Lutchmaya et al., 2004; Králík et al., 2014).

Muži mají obecně širší a delší ruce než ženy. Délka ruky souvisí také s tím, že muži také mají obecně delší kosti ruky než ženy. Což dokládá řada studií, např. Barrio a kolektiv (2006) se věnují odhadu pohlaví z velikosti a morfologie záprstních kostí a ukazují, že muži mají delší záprstní kosti než ženy. Ke stejným výsledkům dochází také Stojanowski (1999) nebo Lazenby a Smashnuk (1999). Antropometrii živé ruky a jejím rozměrům se také věnuje řada autorů. Mnozí autoři potvrdili, že muži mají širší a delší ruce než ženy (Kanchan a Krishan, 2011; Krishan et al., 2011; Ozaslan et al., 2012).

Závěry výše zmíněných studií potvrzujeme i v naší práci. Z našich výsledků je patrné, že muži mají absolutně delší ruce než ženy. Průměrná délka ruky u mužů se u našeho souboru pohybuje mezi 186,4 mm (HL_SNOW) a 195,0 mm (HL_MIK), zatímco u žen se průměrná délka ruky pohybuje mezi 167,7 mm (HL_SNOW) a 177,7 mm (HL_MIK). Tyto míry jsou zajímavé také z hlediska rozdílných průměrů. Měření délky ruky třemi různými způsoby ukázalo na odlišnost průměrné délky ruky měřené podle Snowa, u jehož metody měření vychází průměrná délka ruky jako nejmenší – u mužů i u žen. Snow (2013) ve své studii měří délku ruky od středu spojnice dna laterální a mediální konkavity ke špičce třetího prstu. Největším problémem tohoto způsobu měření je, že střed spojnice dna konkavit je bodem, který je špatně naležitelný. Ačkoliv jsme byli schopni

najít dna konkavit u všech jedinců v souboru, jedná se také o body, které jsou špatně rozpoznatelné, což může být ještě složitější, pokud bychom snímali délku ruky z otisků nebo stop rukou.

Pozitivní výsledky intra a inter-observační chyby u měření délky ruky nám říkají, že ačkoliv může dojít k potížím s identifikováním potřebných bodů (z důvodu nestandardizované polohy ruky na rentgenových snímcích nebo přílišné abdukce palce) je naše měření snadno zopakovatelné. Absolutní chyba intra-observační chyby se u délky ruky pohybovala od 0,6 % do 1,1 %, u inter-observační chyby se hodnoty MAD% pohybovali mezi 0,5 % a 0,8 %, hranice akceptovatelnosti chyby jsme stanovili na MAD% = 5 %.

Dále jsme také potvrdili, že muži mají větší a delší všechny kosti středního paprsku ruky než ženy. Muži mají v průměru o 1 mm větší kost poloměsíčitou než ženy, o 3 mm se liší ve velikosti kosti hlavaté, rozdíl mezi záprstní kostí je 5 mm a podobné rozdílné rozměry mají i články prstů. To se projevilo i v délce kostry ruky, u mužů byl průměrný součet všech měřených kostí ruky 194,9 mm, zatímco u žen byla průměrná délka kostry ruky 177,8 mm.

Výsledky intra i inter-observační chyby měření u kostí středního paprsku ruky jsou taktéž pozitivní. Absolutní chyba měření jedním pozorovatelem se pohybovala od 1,1 % do 4,4 %. U měření druhým, nezávislým pozorovatelem bylo MAD% v rozmezí od 0,9 % do 3,8 %. Obě nejvyšší hodnoty MAD% jsme získali při opětovném měření kosti poloměsíčité, což je nejpravděpodobněji zapříčiněno malým rozměrem kosti a roli při měření mohou hrát i desetiny milimetru.

Rozdíly ve velikosti a tvaru otisků rukou nesouvisí pouze s odlišným pohlavím jejich tvůrců, ale vliv na morfologii rukou má také geografické prostředí (Betti et al., 2015; Lazenby a Smashnuk, 1999), kdy autoři zmíněných studií dokazují, že ruce podléhají Allenovu a Bergmannovu ekogeografickému pravidlu.

Jedny ze stěžejních publikací pro tuto diplomovou práci jsou studie od Snowa (2006, 2013) a studie od Galety a kolektivu (2014), která testuje diskriminační funkce vytvořené Snowem pro odhad pohlaví paleolitických umělců ze stop rukou zanechaných v jeskyních ve Francii a Španělsku. Snow ve svých studiích (2006, 2013) konstatuje, že se na tvorbě otisků a stop se ženy nejenom podílely, ale jejich zapojení do umělecké činnosti převládalo nad jejich mužskými protějšky. Toto tvrzení však zpochybňují právě Galeta s kolektivem (2014). Ti se ujali ověření spolehlivosti amerického klasifikačního modelu na nezávislém francouzském souboru. Výsledky ukazují, že u přímého rozměru ruky byly ženy nesprávně klasifikovány za pomoci diskriminační analýzy ze 100 % a muži z 58 %. Při využití rozměrů druhého a čtvrtého prstu byli všichni jedinci „správně“ ohodnoceni jako muži. Jedním z důvodů je, že Snow (2006, 2013) předpokládá, že populace je od svrchního paleolitu homogenní a nebere v potaz lidskou variabilitu a adaptabilitu. Druhým důvodem jsou nedostupné další parametry u amerického souboru jako je výška, váha nebo BMI jedince, což neumožňuje objektivní posouzení horší úspěšnosti amerických diskriminačních funkcí při použití na francouzském souboru.

Dalším z autorů, který tvrdí, že se velikost a tvar ruky nemění dokonce již od Pleistocénu (počátek Pleistocénu datujeme na 2,5 milionu let před dneškem) je Guthrie (2005), jak jsme si ale ukázali v teoretické části o fylogenetickém vývoji ruky, tak morfologie a velikost kostí ruky se v evoluci liší u každého hominina od počátku až k *Homo sapiens*. Jak jsme zmiňovali výše, mnozí autoři také dokázali platnost ekogeografických pravidel na ruku. Například Lazenby a Smashnuk (1999), kteří studovali záprstní kosti u dvou populací (evropští osadníci vs. Inuité) dokazují, že Inuité žijící v chladném podnebí mají kratší a širší záprstní kost a zároveň kratší a širší ruku než evropští osadníci žijící v teplém podnebném pásu. Podobné výsledky také přináší studie od Betti a kolektivu (2015). Můžeme tedy tvrdit, že na morfologii ruky, kromě genetických faktorů, působí také klimatické prostředí.

Autoři zabývající se odhadem pohlaví z otisků rukou paleolitických umělců používají v dosavadních studiích metodologicky nevhodné postupy. Badatelé totiž klasifikují otisky rukou na základě referenčních souborů současných populací. Všechny zmíněné studie v naší práci se snaží vytvořit nové metody, které by přinesly větší přesnost a spolehlivost. Populační specifická, ale neumožňuje tyto metody spolehlivě aplikovat napříč populacemi.

Metodologicky vhodnější postup navrhuje Mik a kolektiv (2016). Navrhují vytvořit referenční soubor paleolitických otisků rukou známého pohlaví, který v současnosti neexistuje. Paleolitické otisky by měly být zrekonstruovány z kostí ruky (matematickou nebo anatomickou metodou) a pohlaví jejich tvůrců by bylo odhadnuto z pánevní kosti. V naší práci pracujeme s ideou odhadu délky ruky anatomickou metodou a to z toho důvodu, že anatomické metody nejsou populačně specifické a lze je aplikovat u populací s odlišnými tělesnými proporcemi. Navíc máme širokou podporu v již existující literatuře, týkající se odhadu výšky postavy jedince anatomickou metodou (Fully, 1956; Raxter et al., 2006), který je principiálně shodný s námi navrhovanou metodou pro odhad délky ruky z délky kostry ruky.

Nejdůležitějším výstupem této diplomové práce jsou námi navržené regresní rovnice pro odhad délky ruky z délky kostry ruky. Nejdříve jsme testovali sílu vztahu mezi proměnnými. Pearsonův korelační koeficient nabývá velmi pozitivních hodnot jak pro muže, tak pro ženy. U mužů je koeficient mezi 0,80 – 0,90 a u žen 0,85 – 0,91. Pro obě pohlaví se korelační koeficient rovná 0,92 pro HL_MACKIE a 0,94 pro HL_SNOW. Rovnice jsme vytvořili samostatně pro ženy i muže, ale na základě výsledků analýzy kovariance jsme byli schopni vytvořit rovnice pro odhad délky ruky podle Snowa a Mackie i pro obě pohlaví kombinovaně (u HL_MIK nebyly splněny předpoklady pro vytvoření rovnic pro obě pohlaví). Chyba odhadu délky ruky (SEE%) se u žen pohybuje od 1,8 % (HL_MIK) do 2,2 % (HL_SNOW) a u mužů se pohybuje od 2,3 %

(HL_MIK) do 3,1 % (HL_MACKIE). Chyba odhadu délky ruky se pro obě pohlaví pohybuje ve velmi podobném rozmezí. SEE% je pro HL_SNOW 2,5 % a pro HL_MACKIE 2,9 %. Podobné hodnoty hodnocení chyby odhadu můžeme najít v pracích od Ruffa a kolektivu (2012), kde se SEE% pohybuje od 1,7 % do 2,7 % pro odhady výšky postavy z dlouhých kostí matematickou metodou. Více relevantní jsou pro nás výsledky u odhadu výšky postavy jedince anatomickou metodou od Raxterové a kolektivu (2006). Ta bohužel neuvádí hodnoty v procentech, ale chyba odhadu se pohybuje dle použité metody od 2,22 cm (s korekcí na věk) do 2,31 cm (bez korekce na věk) pro odhad výšky postavy jedince.

Podmínkou přesného odhadu délky otisku ruky paleolitického umělce je tedy silný korelační vztah mezi délkou otisku a délkou kostry ruky, kterou bychom získali změřením zachovalých kostí ruky paleolitického stáří. Největší výhodou této metody je její populační nespecifičnost a možné použití nezávisle na místě výskytu otisků na stěnách jeskyní, ať už se jedná o chladnější Evropu nebo teplejší Austrálii nebo Polynésii. Tato předběžná studie předkládá pouze možný postup pro odhad pohlaví z otisků a stop. Prozatím jsme dokázali, že je možné odhadovat délku ruky z délky kostry ruky. Stejně tak ve své předběžné studii dokazuje Mik (2014), že je možné odhadovat délku ruky matematickou metodou. Mik (2014) ve své práci ověřuje sílu vztahu mezi délkou záprstních kostí a délkou ruky (opět se nejedná o otisk nebo stopu). Rovněž vytvořil regresní rovnice pro odhad délky ruky a přesnost odhadu délky ruky je srovnatelná s našimi výsledky nebo s výsledky studií věnující se odhadu výšky postavy jedince (SEE% pro odhad délky ruky se pohybovala do 3,1 % pro muže a do 2,8 % pro ženy). Očekávaným omezením při praktické aplikaci matematické metody je její populační specifičnost, tudíž překážkou jsou různé tělesné proporce populací žijících v odlišných klimatických pásech.

Již zmíněná populační specifičnost stále zůstává překážkou pro vytvoření spolehlivé metody pro odhad pohlaví paleolitických umělců

z otisků a stop zanechaných na stěnách jeskyní. Veškeré dosavadní studie představují klasifikační funkce založené na rozměrech rukou současných populací, a jak jsme si ukázali výše v práci, takovéto metody nepřinášejí spolehlivé výsledky. Protože jsme neměli možnost ověřit námi navrženou metodu na jiném souboru, nemůžeme ani uvést do jaké míry je anatomická metoda odhadu spolehlivá a domníváme se, že v tuto chvíli není možné pohlaví z otisků a stop spolehlivě odhadnout.

8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo odhadnout délku ruky z délky kostry ruky anatomickou metodou. Z rentgenových snímků jsme snímali délku ruky třemi způsoby. Tyto způsoby byly vybrány tak, aby bylo možné toto měření provést i u otisků nebo stop zanechaných paleolitickými umělci (kromě rozměru HL_MIK, který je definován od anatomického bodu na kosti vřetenní). Součtem délek a výšek kostí středního parsku ruky jsme získali délku kostry ruky.

Systematická chyba měření se pohybovala do 1,4 %, absolutní chyba se pohybovala do 4,4 %. Tyto čísla ukazují na vysokou shodu při měření délky ruky i kostí ruky, což znamená, že způsoby jakými jsme měřili veškeré rozměry, jsou snadno zopakovatelné.

Ačkoliv to nebylo cílem práce, potvrdili jsme také závěry jiných studií o pohlavním dimorfismu ruky. Z našich výsledků vyplývá, že muži mají absolutně větší ruce než ženy. Muži mají také absolutně větší kosti středního parsku ruky, což jsme potvrdili dvouvýběrovým nepárovým t -testem, u kterého byla p hodnota u všech měřených vztahů menší než 0,001.

Délka ruky a délka kostry ruky spolu silně korelují. U žen se korelační koeficient pohybuje od 0,85 do 0,91, u mužů je pak korelační koeficient mezi 0,82 – 0,90. Pro obě pohlaví je korelační koeficient ještě silnější, a to od 0,92 do 0,95.

Rovnice, které jsou výsledkem jednorozměrné regresní analýzy, nám umožní odhadnout délku ruky z délky kostry ruky anatomickou metodou. Ve výsledcích uvádíme tři různé způsoby pro odhad délky ruky pro muže a ženy samostatně a dva různé způsoby pro odhad délky ruky pro obě pohlaví kombinovaně.

V závěru, ale nemůžeme potvrdit použitelnost naší metody u paleolitických umělců. Za prvé jsme námi navrženou metodu netestovali na jiné populaci či souboru, za druhé neznáme konkrétní parametry žádné paleolitické populace – pro aplikaci naší metody by bylo nejvíce vhodné vytvořit referenční soubor o známém pohlaví paleolitického stáří. V současnosti žádný takový soubor neexistuje a celková zachovalost kostí ruky a pánevních kostí tohoto stáří je velmi malá.

9 LITERATURA

Agnihotri AK, Agnihotri S, Jeebun N, Googoolye K. 2008. Prediction of stature using hand dimensions. *J Forensic Leg Med* 15:479–482.

Agresti A, Finlay B. 1997. *Statistical Methods for Social Sciences*. New Jersey: Prentice Hall.

Alba DM, Moya S, Köhler M. 2003. Morphological affinities of the *Australopithecus afarensis* hand on the basis of manual proportions and relative thumb length. *J Hum Evol* 44:225–254.

Allen JA. 1877. The influence of Physical conditions in the genesis of species. *Radic Rev* 1:108–140.

Alho JS, Herczeg G, Laugen AT, Räsänen K, Laurila A, Merilä J. 2011. Allen's rule revisited: Quantitative genetics of extremity length in the common frog along a latitudinal gradient. *J Evol Biol* 24:59–70.

Almécija S. 2014. On manual proportions and pad-to-pad precision grasping in *Australopithecus afarensis*. *J Hum Evol* 73:88–92.

Almécija S, Smaers JB, Jungers WL. 2015. The evolution of human and ape hand proportions. *Nat Commun* 6:1–11.

Ashton KG, Tracy MC, Queiroz A De, Ashton KG, Tracy MC, Queiroz A De. 2000. Is Bergmann's Rule Valid for Mammals? *Am Natur* 156:390–415.

Aubert M. 2012. A review of rock art dating in the Kimberley, Western Australia. *J Archaeol Sci* 39:573–577.

Aubert M, Brumm A, Ramli M, Sutikna T, Saptomo EW, Hakim B, Morwood MJ, Bergh GD Van Den, Kinsley L, Dosseto A. 2014b. Pleistocene cave art from Sulawesi, Indonesia. *Nature* 514:223–227.

Balbín-Behrmann R, Alcolea J, Alcaraz-Castano M. 2017. The Palaeolithic art of Tito Bustillo cave (Asturias, Spain) in its archaeological context. *Quat Int* 430:81–96.

Barrio PA, Trancho GJ, Sanchez JA. 2006. Metacarpal sexual determination in a Spanish population. *J Forensic Sci* 51:990–995.

Bednarik RG. 1992. The Paleolithic art of Asia. *Anc Images, Anc thought Archaeol Ideol*:383–390.

Bednarik RG. 1994. The Pleistocene Art of Asia. *J World Prehistory* 8:351–375.

Bednarik RG. 2008. Children as Pleistocene artists. *Rock Art Res* 25:173–182.

Bergmann C. 1847. Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. *Gött Stud* 3:595–708.

Betti L, Lycett SJ, Von Cramon-Taubadel N, Pearson OM. 2015. Are human hands and feet affected by climate? A test of Allen's rule. *Am J Phys Anthropol* 158:132–140.

Bland J, Altman D. 1999. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* 8:135–160.

Bland JM, Altman DG. 1996. Measurement error and correlation coefficients. *BMJ* 313:41–2.

Bland JM, Altman DG. 2003. Applying the right statistics: Analyses of measurement studies. *Ultrasound Obstet Gynecol* 22:85–93.

Brits D, Manger PR, Bidmos MA. 2017. The accuracy of the anatomical method for stature estimation in Black South African females. *Forensic Sci Int* 278:409.e1-409.e10.

Brůžek J, Lázničková-Galetová M, Galeta P. 2012. Les empreintes de mains dans l'art pariétal: possibilités et limites d'interprétations mises en relief par l'anthropologie médico-légale. Symp Appl Tech police Sci:1197–1206.

Cardoso HF V, Severino RSS. 2010. The chronology of epiphyseal union in the hand and foot from dry bone observations. Int J Osteoarchaeol 20:737–746.

Case DT, Ross AH. 2007. Sex determination from hand and foot bone lengths. J Forensic Sci 52:264–270.

Čihák R. 2011. Anatomie 1. Praha: Grada Publishing, a.s.

Cameron N. 2012. Human Growth and Development. New York: Academic Press.

Ceyhan EB, Sagiroglu S, Cesur R, Oner K. 2014. Automatic gender classification system from finger 2D:4D ratio and comparison of successes with using different algorithm. 2014 13th Int Conf Mach Learn Appl ICMLA 2014:600–605.

Dungl P. 2005. Ortopedie. Praha: Grada Publishing a.s.

Drápela K. 2011. Analýza kovariance (ANCOVA) – její předpoklady a využití 1-6.

Drozdová E. 2004. Panoráma sociální a biologické antropologie: Základy osteometrie. Brno: Nauma.

Dylevský I, Ježek P. 2003. Základy kineziologie. Praha: ATVS Palestra.

Ellis F, Hammack L. 1968. The inner sanctum of Feather Cave, a Mogollon Sun and earth shrine linking Mexico and the Southwest. Am Antiq 33:25–44.

El Morsi DA, Al Hawary AA. 2013. Sex determination by the length of metacarpals and phalanges: X-ray study on Egyptian population. *J Forensic Leg Med* 20:6–13.

Falsetti AB. 1995. Sex assessment from metacarpals of the human hand. *J of Forensic Sci.* 40:774-776.

Fully G. 1956. Une nouvelle methode de determination de la taille. *Ann Med Leg* 35:266–273.

Galeta P, Brůžek J, Lázničková-Galetová M. 2014. Is sex estimation from handprints in prehistoric cave art reliable? A view from biological and forensic anthropology. *J Archaeol Sci* 45:141–149.

Garcia-Diez M, Garrido D, Hoffmann DL, Pettitt PB, Pike AWG, Zilhao J. 2015. The chronology of hand stencils in European Palaeolithic rock art: Implications of new u-series results from el Castillo cave (Cantabria, Spain). *J Anthropol Sci* 93:135–152.

Gilligan I, Bulbeck D. 2007. Environment and Morphology in Australian Aborigines: A Re-analysis of the Birdsell Database. *Am J Phys Anthropol* 134:75–91.

Goodall RA, David B, Kershaw P, Fredericks PM. 2009. Prehistoric hand stencils at Fern Cave, North Queensland (Australia): environmental and chronological implications of Raman spectroscopy and FT-IR imaging results. *J Archaeol Sci* 36:2617–2624.

Greer M, Greer J. 1998. Southwestern Montana Rock Art. *Archaeol Mont* 39:55–64.

Greer M, Greer J. 1999. Handprints in Montana Rock Art. *Plains Anthropol* 44:59–71.

Gunn RG. 2006. Hand Sizes in Rock Art: Interpreting The Measurements of Hand Stencils and Prints. *Rock Art Res* 23:97–112.

Guthrie RD. 2005. *The nature of Palaeolithic Art*. Chicago: University of Chicago Press.

Habib SR, Kamal NN. 2010. Stature estimation from hand and phalanges lengths of Egyptians. *J Forensic Leg Med* 17:156–160.

Henneberg M, Mathers K. 1994. Reconstruction of body, height, age and sex from handprints. *S Af J Sci* 90:493-496.

Hoaglin DC, Iglewicz B, Tukey JW. 1986. Performance of Some Resistant Rules for Outlier Labeling. *J Am Stat Assoc* 81:991.

Hoffmann DL, Standish CD, Pettitt PB, Milton JA, Collado H, Lorblanchet M, Pike AWG. 2018. U-TH dating of carbonate crusts reveals Neandertal origin of Iberian cave art. *Science* 359:912–915.

Holliday TW. 1997a. Body proportions in Late Pleistocene Europe and modern human origins. *J Hum Evol* 32:423–448.

Holliday TW. 1997b. Postcranial evidence of cold adaptation in European Neandertals. *Am J Phys Anthropol* 104:245–258.

Holliday TW, Ruff CB. 2001. Relative variation in human proximal and distal limb segment lengths. *Am J Phys Anthropol* 116:26–33.

Chazine J-M, Noury A. 2006. Sexual determination of hand stencils on the main panel of the Gua Masri II cave (east-Kalimantan/Borneo - Indonesia). In *New On Rock Art* 44:21–26.

Chazine J. 2005. *Rock Art, Burials, and Habitations: Caves in East Kalimantan*. *Asian Perspect* 44:219–230.

Ishak N, Hemy N, Franklin D. 2012. Estimation of sex from hand and handprint dimensions in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 221:154.e1-154.e6.

Jasuja OP, Singh G. 2004. Estimation of stature from hand and phalange length. *J Indian Acad Forensic Med* 26:100–106.

Kanchan T, Krishan K. 2011. Anthropometry of hand in sex determination of dismembered remains - A review of literature. *J Forensic Leg Med* 18:14–17.

Katzmarzyk PT, Leonard WR. 1998. Climatic Influences on Human Body Size and Proportions : Ecological Adaptations and Secular Trends. *Am J Phys Anthropol* 106:483–503.

Kivell TL, Kibbi J, Churchill SE, Schmid P, Berger LR. 2011. *Australopithecus sediba* Hand demonstrates Mosaic Evolution of Locomotor and Manipulative Abilities. *Science* 333:1411–1416.

Knussmann R. 1988. Somatometrie. In: *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen. Band I. Auflage: 4. Aufl.* Stuttgart; New York:Akademischer Verlag.

Králík M, Katina S, Urbanová P. 2014a. Distal Part of the Human Hand : Study of Form Variability and Sexual Dimorphism Using Geometric Morphometrics. *Anthropol Integr* 5:7–26.

Králík M, Urbanová P, Katina S. 2014b. Distal Part of the Human Hand : Study of Form Variability and Sexual Dimorphism Using Geometric Morphometrics. *Anthropol Integr* 5:7–26.

Krishan K, Kanchan T, Sharma A. 2011. Sex determination from hand and foot dimensions in a North Indian population. *J Forensic Sci* 56:453–459.

Krishan K, Kanchan T, Sharma A. 2012. Multiplication factor versus regression analysis in stature estimation from hand and foot dimensions. *J Forensic Leg* 19:211–214.

Lazenby R, Smashnuk A. 1999. Osteometric variation in the Inuit second metacarpal: a test of Allen's Rule. *Int J Osteoarchaeol* 9:182–188.

Lewis-Williams JD. 2007. *Mysl v jeskyni: vědomí a původ umění*. Praha: Academia.

Loehlin JC, McFadden D, Medland SE, Martin NG. 2006. Population differences in finger-length ratios: Ethnicity or latitude? *Arch Sex Behav* 35:739–742.

Lovejoy CO, Latimer B, Suwa G, Asfaw B, White TD. 2009a. Combining prehension and propulsion: the foot of *Ardipithecus ramidus*. *Science* 326:72e1-e8.

Lovejoy CO, Simpson SW, White TD, Asfaw B, Suwa G. 2009b. Careful climbing in the Miocene: the forelimbs of *Ardipithecus ramidus* and humans are primitive. *Science* 326:70e1-e8.

Lovejoy CO, Suwa G, Simpson SW, Matternes JH, White TD. 2009c. The great divides: *Ardipithecus ramidus* reveals the postcrania of our last common ancestors with African apes. *Science* 326:100–106.

Lovejoy CO, Suwa G, Spurlock L, Asfaw B, White TD. 2009d. The pelvis and femur of *Ardipithecus ramidus*: the emergence of upright walking. *Science* 326:71e1-e6.

Lutchmaya S, Baron-Cohen S, Raggatt P, Knickmeyer R, Manning JT. 2004. 2nd To 4th Digit Ratios, Fetal Testosterone and Estradiol. *Early Hum Dev* 77:23–28.

Mackie ME. 2015. Estimating age and sex: Paleodemographic identification using rock art hand sprays, an application in Johnson County, Wyoming. *J Archaeol Sci Reports* 3:333–341.

Maijanen H, Niskanen M. 2006. Comparing stature-estimation methods on medieval inhabitants of Westerhus, Sweden. *Fennoscandia Archaeol* XXIII:37–46.

Malas MA, Dogan S, Hilal Evcil E, Desdicioglu K. 2006. Fetal development of the hand, digits and digit ratio (2D : 4D). *Early Hum Dev* 82:469–475.

Malik S. 2013. Polydactyly : phenotypes , genetics and classification. *Clin Genet* 85:203–212.

Manhire A. 1998. The Role of Hand Prints in the Rock Art of the South-Western Cape. *South African Archaeol Soc* 53:98–108.

Manning JT. 2011. Resolving the role of prenatal sex steroids in the development of digit ratio. *Proc Natl Acad Sci* 108:16143–16144.

Manning JT, Barley L, Walton J, Lewis-jones DI, Trivers RL. 2000. The 2nd : 4th digit ratio , sexual dimorphism , population differences , and reproductive success : evidence for sexually antagonistic genes ? *21:163–183.*

Manning JT, Baron-Cohen S, Wheelwright S, Sanders G. 2001. The 2nd to 4th digit ratio and autism. *Dev Med Child Neurol* 43:160–164.

Manning JT, Churchill AJG, Peters M. 2007. The Effects of Sex , Ethnicity , and Sexual Orientation on Self-Measured Digit Ratio (2D : 4D). :223–233.

Manning JT, Scutt D, Wilson J, Lewis-Jones DI. 1998. The ratio of 2nd to 4th digit length: a predictor of sperm numbers and concentrations of

testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Hum Reprod* 13:3000–3004.

Manolis SK, Eliopoulos C, Koiliias CG, Fox SC. 2009. Sex determination using metacarpal biometric data from the Athens Collection. *Forensic Sci Int* 193.

Martin Bland J, Altman D. 1986. Statistical Methods for Assessing Agreement Between Two Methods of Clinical Measurement. *Lancet* 327:307–310.

Marzke MW, Marzke RF. 2000. Evolution of the human hand: approaches to acquiring, analysing and interpreting the anatomical evidence. *J Anat* 197:121–140.

McIntyre MH, Cohn BA, Ellison PT. 2006. Sex dimorphism in digital formulae of children. *Am J Phys Anthropol* 129:143–150.

Medina-Alcaide MÁ, Garate-maidagan D, Sanchidrián-Torti JL. 2017. Painted in red: In search of alternative explanations for European Palaeolithic cave art. *Quat Int* 30:1–13.

Meiri S, Dayan T. 2003. On the validity of Bergmanns rule. *J Biogeogr* 30:331–351.

Mik, P. 2014. Vztah délky ruky a kostí ruky: využití v odhadu pohlaví z otisků ruky u paleolitických umělců [diplomová práce]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni.

Mik P, Sosna D, Galeta P. 2016. Zhodnocení možností odhadu pohlaví autorů paleolitických nástěnných maleb z otisků ruky. *Archeol Rozhl*:3–18.

Moore KL, Persaud TVN. 2002. Zrození člověka. Praha: ISV.

Moyà-solà S, Alba M, Kohler M, Almécija S. 2008. Taxonomic Attribution of the Olduvai Hominid 7 Manual Remains and the Functional Interpretation of Hand Morphology in Robust Australopithecines. *Folia Primatol* 79:215–250.

Musgrave JH, Harneja NK. 1978. The estimation of adult stature from metacarpal bone length. *Am J Phys Anthropol* 48:113–119.

Napier JR. 1960. Studies of the Hands of Living Primates. *Proc Zool Soc London* 134:647–657.

Napier JR. 1962. Fossil hand bones from Olduvai George. *Nature* 196:409–411.

Nelson E, Hall J, Randolph-quinney P, Sinclair A. 2016. Beyond size : The potential of a geometric morphometric analysis of shape and form for the assessment of sex in hand stencils in rock art. *J Archaeol Sci* 30:1-12.

Nelson EC, Manning JT, Sinclair, GM. 2006. News Using the length of the 2nd to 4th digit ratio (2D: 4D) to sex cave art hand stencils: factors to consider. *Before Farming* 1:1–7.

Niskanen M, Maijanen H, McCarthy D, Junno JA. 2013. Application of the anatomical method to estimate the maximum adult stature and the age-at-death stature. *Am J Phys Anthropol* 152:96–106.

Ozaslan A, Karadayi B, Kolusayin MO, Kaya A, Afsin H. 2012. Predictive role of hand and foot dimensions in stature estimation. *Rom J Leg Med* 20:41–46.

Pavlík J, Jaroš F, Loučka M, Veselý P. 2005. *Aplikovaná statistika*. Praha: VŠCHT.

Pelikán J, Dupej J, Krajíček V. 2011. *Geometrická morfometrie aneb co nám říká tvar obličeje [prezentace]*. Praha: Karlova univerzita.

Pelin C, Duyar A, Kayahan E, Zagyapan R, Fildere A, Erar A. 2005. Body Height Estimation Based on Dimensions of Sacral and Coccygeal Vertebrae. *J Forensic Sci* 50:1–4.

Pettit PB, Maximiano AM, Ontañón R, Harrison R. 2014. New research on the hand stencils of La Garma and El Castillo caves (Cantabria). *Antiquity* 88:47–63.

Pettitt PB, García-díez M, Hoffmann DL, Castillejo A, Ontañón R, Pike AWG, Zilhão J. 2015. Are hand stencils in European cave art older than we think? An evaluation of the existing data and their potential implications. *Durham Res Online* 1:31–43.

Polak M, Trivers R. 1994. The science of symmetry in biology. *Trends in eco & evol.* 9:122-124.

Rabazo-Rodríguez AM, Modesto-mata M, Bermejo L, García-díez M. 2017. New data on the sexual dimorphism of the hand stencils in El Castillo Cave. *J Archaeol Sci Reports* 14:374–381.

Rastogi P, Nagesh KR, Yoganarasimha K. 2008. Estimation of stature from hand dimensions of north and south Indians. *Leg Med* 10:185–189.

Raxter MH, Auerbach BM, Ruff CB. 2006. Revision of the fully technique for estimating statures. *Am J Phys Anthropol* 130:374–384.

Ricklan D. 1987. Functional anatomy of the hand of *Australopithecus africanus* *. *J Hum* 16:643–666.

Roseman CC, Auerbach BM. 2014. Ecogeography, genetics, and the evolution of human body form. *J Hum Evol* 35: 1–11.

Rosenzweig M. 1968. The strategy of body size in mammalian carnivores. *Am Midl Nat* 80:299–315.

Ruff C. 1994. Morphological adaptation to climate in modern and fossil hominids. *Am J Phys Anthropol* 37:65–107.

Ruff C. 2002. Variation in Human Body Size and Shape. *Annu Rev Anthropol* 31:211–232.

Ruff C, Holt BM, Niskanen M, Sladek V, Berner M, Garofalo E, Garvin HM, Hora M, Maijanen H, Niinimiiki S, Salo K, Schuplerova E, Tompkins D. 2012. Stature and body mass estimation from skeletal remains in the European Holocene. *Am J Phys Anthropol* 148:601–617.

Ryan I, Bidmos MA. 2007. Skeletal height reconstruction from measurements of the skull in indigenous South Africans. *Forensic Sci Int* 167:16–21.

Sanfilippo PG, Hewitt AW, Mountain JA, Mackey DA. 2013. A geometric morphometric assessment of hand shape and comparison to the 2D: 4D digit ratio as a marker of sexual dimorphism. *Twin Res Hum Genet* 16:590–600.

Scheuer JL, Elkington NM. 1993. Sex determination from metacarpals and the first proximal phalanx. *J Forensic Sci* 38:769–778.

Singh J, Pathak RK, Chavali KH. 2011. Skeletal height estimation from regression analysis of sternal lengths in a Northwest Indian population of Chandigarh region: A postmortem study. *Forensic Sci Int* 206.

Sjøvold T. 1990. Estimation of stature from long bones utilizing the line of organic correlation. *Hum Evol* 5:431–447.

Sladek V, Berner M, Galeta P, Friedl L, Kudrnova S. 2010. Technical note: The effect of midshaft location on the error ranges of femoral and tibial cross-sectional parameters. *Am J Phys Anthropol* 141:325–332.

Skinner MM, Stephens NB, Tsegai ZJ, Foote AC, Nguyen NH, Gross T, Pahr DH, Hublin J, Kivell TL. 2015. Human-like hand use in *Australopithecus africanus*. *Human evol* 347:395–400.

Snow DR. 2006. Sexual dimorphism in Upper Palaeolithic hand stencils. *Antiquity* 80:390–404.

Snow DR. 2013. Sexual dimorphism in European Upper Paleolithic Cave Art. *Am Antiq* 78:746–761.

Stevenson RD. 1986. Allen's rule in North American rabbits (*Sylvilagus*) and hares (*Lepus*) is an exception, not a rule. *J Mammal* 67:312–316.

Stojanowski CM. 1999. Sexing potential of fragmentary and pathological metacarpals. *Am J Phys Anthropol* 109:245–252.

Susman RL, Creel N. 1979. Functional and Morphological Affinities of the Subadult Hand (OH 7) from Olduvai Gorge. *Am J* 4:311–332.

Suwa G, Asfaw B, Kono RT, Kubo D, Lovejoy CO, White TD. 2009. The *Ardipithecus ramidus* skull and its implications for hominid origins. *Science* 326:68e1-e7.

Svoboda J. 2002. *Paleolit a mezolit: Myšlení, symbolismus a umění*. Brno: Nauma.

Symonds MRE, Tattersall GJ. 2010. Geographical Variation in Bill Size across Bird Species Provides Evidence for Allen's Rule. *Am Nat* 176:188–197.

Šípek A, Gregor V, Šípek Jr A, Horáček J, Klaschka J, Skibová J, Langhammer P, Petržílková L, Wiesnerová J. 2009. Vrozené vady v České republice v období 1994-2007. *Česká Gynekologie* 74:31-44.

Temtamy SA, Aglan MS. 2008. Brachydactyly. *Orphanet J Rare Dis* 16:1–16.

Tocheri MW, Orr CM, Jacofsky MC, Marzke MW. 2008. The evolutionary history of the hominin hand since the last common ancestor of Pan and Homo. *J Anat* 212:544–562.

Trotter M, Gleser GC. 1952. Estimation of stature from long bones of American whites and Negroes. *Am J Phys Anthropol* 47:355–356.

Trotter M, Gleser GC. 1958. A Re-Evaluation of estimation of stature based on measurement of stature taken during life and of long bones after death. *Am J Phys Anthropol*:79–123.

Vacek, Z. 2006. *Embryologie*. Praha: Grada Publishing a.s.

Wang JZ, Ge W, Snow DR, Mitra P, Giles CL. 2010. Determining the sexual identities of prehistoric cave artists using digitized handprints: A machine learning approach. 18th ACM Int Conf Multimed ACM Multimed 2010, MM'10:1325–1332.

Wells JCK. 2014. Sexual dimorphism of body composition.

White TD, Suwa G, Asfaw B. 1994. *Australopithecus ramidus*, a new species of early hominid from Aramis, Ethiopia. *Nature* 371:306-312.

Young RW. 2003. Evolution of the human hand: The role of throwing and clubbing. *J Anat* 202:165–174.

Zar JH. 1999. *Biostatistical analysis*. New Jersey: Prentice Hall.

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1. Kostí pravé ruky z dorzálního pohledu. Proximální řada – S (os scaphoideum), L (os lunatum), Tq (os triquetrum), P (os pisiforme). Distální řada – Tz (os trapezium), Tr (os trapezoideum), C (os capitatum), H (os hamatum). Zdroj: <https://www.kenhub.com/> (upraveno). 7
- Obrázek 2. Klouby ruky. Zdroj: <https://twitter.com/AnatomyZone> (upraveno). 8
- Obrázek 3. Svaly ruky, palmární pohled. Zdroj: <https://www.kenhub.com/en/atlas?sequence=hand-bones-and-ligaments> (upraveno). 9
- Obrázek 4. Různé typy brachydaktylie. Černě vyznačené postižené části (Temtamy a Aglan, 2008). 12
- Obrázek 5. Typy komplexní polydaktylie, a) polydaktylie „zrcadlového odrazu“ b) polydaktylie středová c) polydaktylie Haasova typu d) polydaktylie vycházející z palmární nebo dorzální strany ruky a nohy (Malik, 2013). 13
- Obrázek 6. Oligodaktylie pravé ruky spojená se syndaktylií. Zdroj: <https://obgynkey.com/syndromes-associated-with-syndactyly/> (upraveno). 14
- Obrázek 7. Nalevo ruka šimpanze, napravo lidská ruka (Young, 2003). 15
- Obrázek 8. Digitální rekonstrukce ruky *Ardipithecus ramidus* ARA-VP-500/6 (Lovejoy et al., 2009b). 17
- Obrázek 9. Řez v sagitální rovině skrze první záprstní kost šimpanze, *A. africanus*, *A. robustus*, *H. neanderthaensis*, časného a recentního moderního člověka. Barevně je vyznačena hustota spongiózní kosti na škále od 0 % (tmavě modrá barva) do 45 % (tmavě červená až černá barva), Skinner et al., 2015 (upraveno). 18

- Obrázek 10. Kostí ruky *Homo habilis* (holotyp OH7), Napier (1962). 19
- Obrázek 11. Vyjádření Bergmannova pravidla: změna ve velikosti těla medvědů podle obývané oblasti. Zdroj: https://silvrback.s3.amazonaws.com/uploads/79fa74bf-9627-46f1-bf9f-94e587f4f757/Image%20%20Bergmanns%20rule.jpg_large.png 22
- Obrázek 12. Vyjádření Allenova pravidla: změna ve velikosti uší zajíců. Zdroj: <http://www.newtonsapple.org.uk/wp-content/uploads/2016/03/Allens-rule-showing-hares-and-foxes.jpg> 23
- Obrázek 13. Dorsální a artikulární pohled na MC2 s vyznačenými měřenými hodnotami (zkratky výše v textu) (Lazenby a Smashnuk, 1999). 27
- Obrázek 14. Geografické rozložení studovaných populací (Betti et al., 2015). 28
- Obrázek 15. Zobrazení 2D:4D poměru ve vztahu k hodnotám prenatálního testosteronu. Zdroj: <https://pbmo.files.wordpress.com/2012/12/digit-ratio-2.png?w=370> 30
- Obrázek 16. Standardizace pravé a levé ruky Prokrustovskou analýzou a vyznačené landmarky (Sanfilippo, 2013; upraveno). 32
- Obrázek 17. a) Pozice landmarků na fotokopii palmy ruky b) umístění parametrů pro Prokrustovskou analýzu c) parametry, které nejsou deformované v TPS mřížce (Králík et al., 2014; upraveno). 34
- Obrázek 18. RTG snímek ruky s naznačeným měřením záprstních kostí a celé délky ruky (Mik et al., 2016). 37
- Obrázek 19. Znázornění měření jednotlivých kosterních elementů (Christensen et al., 2014). 40

- Obrázek 20. RTG ruky s naznačenými měřeními středního paprsku a délky ruky (vlastní obrázek, zdroj RTG snímku: Mudr. Tomáš Kunc). 40
- Obrázek 21. Koně z jeskyně Lascaux, zdroj: <http://www.donsmaps.com/images25/lascauxhorsesaurochshd.jpg> 42
- Obrázek 22. Otisky rukou bez prstů z jeskyně Chauvet ve Francii, zdroj: <http://donsmaps.com/chauvetcave.html> 44
- Obrázek 23. Vyřezávaná zoomorfní soška (nejspíše medvěda) z obratle nosorožce srstnatého. Sibiř, stáří kolem 35 tisíc let (Bednarik, 1994)..... 45
- Obrázek 24. Stopy rukou překryté symboly z Gua Tewet (Chazine, 2005; upraveno)..... 46
- Obrázek 25. Vyobrazení babirusy a stopy ruky v Leang Timpuseng, Sulawesi (Aubert et al., 2014)..... 47
- Obrázek 26. Pozitivní otisky rukou v Black Canyon, Montana (Greer a Greer, 1999). 49
- Obrázek 27. Snímané rozměry ruky podle Gunn (2006). 51
- Obrázek 28. Pět lineárních rozměrů ruky měřených podle Snowa (2013). 53
- Obrázek 29. Odhady provedené na základě automatické klasifikace u dvou otisků rukou (Wang et al., 2010). 55
- Obrázek 30. Způsoby měření délky ruky. HL_MIK (měření podle předběžné studie Mik, 2014), HL_MACKIE (měření podle Mackie, 2015) a HL_Snow (délka ruky podle Snow, 2013). 62
- Obrázek 31. Způsoby měření délek a výšek kostí středního paprsku ruky (výška HLB (*height of lunate bone*) – výška kosti poloměsíčitá, Výška HCB (*height of capitate bone* – výška kosti hlavatá, Délka MC3

(*metacarpal bone*) – délka třetí záprstní kosti a Délka PH (*phalanges*) –
délka článků prstů)..... 64

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Klasifikační hodnoty odvozené z diskriminační funkce pro morfologii ruky (Sanfilippo, 2013; upraveno).	33
Tabulka 2. Korekce na měkké tkáně dle Fullyho metody.	38
Tabulka 3. Přehled autorů věnující se odhadu pohlaví z otisků a stop rukou (Nelson et al., 2016, upraveno a doplněno o nejnovější studii z roku 2017).....	58
Tabulka 4. Věk žen a mužů (roky).	60
Tabulka 5. Intra a inter-observační chyba měření pro rozměry ruky.	70
Tabulka 6. Popisná statistika pro rozměry ruky a kostí ruky u mužů a žen (v mm).....	71
Tabulka 7. Korelační koeficienty pro vztah délky ruky a délky kostry ruky.	74
Tabulka 8. Předpoklady pro použití regresní analýzy pro muže a ženy..	75
Tabulka 9. Regresní rovnice pro odhad délky ruky z délky kostry ruky u mužů a u žen.	76
Tabulka 10. Výsledky analýzy kovariance.	78
Tabulka 11. Korelační koeficienty pro vztah délky ruky a délky kostry ruky.	78
Tabulka 12. Předpoklady pro použití regresní analýzy pro muže a ženy kombinovaně.	79
Tabulka 13. Regresní rovnice pro odhad délky ruky z délky kostry ruky u mužů a žen kombinovaně.....	80
Tabulka 14. Zkratky a definice používaných rozměrů.	111

Tabulka 15. Testování homogenity rozptylů – Levenův test.	111
Tabulka 16. Testování normality a dvouvýběrový nepárový t-test u mužů a žen.	112

12 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Věk žen a mužů (roky).....	60
Graf 2. Bland-Altmanův graf pro inter-observační chybu měření kosti poloměsíčité.	69
Graf 3. Boxploty pro délku ruky a délku kostry ruky u mužů (mm).	72
Graf 4. Boxploty pro výšku a délku kostí středního paprsku ruky u mužů (mm).....	72
Graf 5. Boxploty pro délku ruky a délku kostry ruky u žen (mm).	73
Graf 6. Boxploty pro výšku a délku kostí středního paprsku ruky u žen (mm).....	73
Graf 7. Cookův graf pro rozložení reziduí u HL_SNOW (muži).	75
Graf 8. Graf regresní analýzy pro vztah délky ruky (HL_MIK) a délky kostry ruky pro muže i ženy.	76
Graf 9. Graf regresní analýzy pro vztah délky ruky (HL_SNOW) a délky kostry ruky pro muže i ženy.	77
Graf 10. Graf regresní analýzy pro vztah délky ruky (HL_MACKIE) a délky kostry ruky pro muže i ženy.	77
Graf 11. Cookův graf rozložení reziduí u HL_MACKIE u mužů a žen.	79
Graf 12. Graf regresní analýzy pro odhad délky ruky (HL_SNOW) z délky kostry ruky pro muže a ženy.	80
Graf 13. Graf regresní analýzy pro odhad délky ruky (HL_MACKIE) z délky kostry ruky pro muže a ženy.	80

13 RESUMÉ

A number of recent studies have demonstrated that sex can be estimated with a high degree of expected accuracy through the analysis of anthropometric measurements of the hand. Whereas researches of handprints and hand stencils left on the walls of palaeolithic caves around the world have been carried out with varied results.

The aim of this thesis is introduce new method of estimation of hand length from hand bones using the anatomical method. For this purpose we analyzed radiographs of hands from 50 men and 50 women from Pilsen, Czech republic. We measured hands with thee different techniques, also we measuered height and length of the lunate bone, capitate bone, third metacarpal and phalanges. Based on the data we were able to produce non-biased regression formulas for estimation of the hand length from hand skleton length for men and women severally or for both sexes combined.

On the basis of statistical analysis and according to high-efficiency we introduce a new method of hand-length measurement.

14 PŘÍLOHY

Tabulka 14. Zkratky a definice používaných rozměrů.

Zkratka	Definice
HL_MIK	přímočará vzdálenost od vrcholu processus styloideus radii k bodu <i>dactylion III</i>
HL_SNOW	přímočará vzdálenost od laterální konkavity ruky k bodu <i>dactylion III</i>
HL_MACKIE	přímočará vzdálenost od středu spojnice konkavit ruky k bodu <i>dactylion III</i>
HSL	součet délek a výšek kostí středního paprsku
HLB	projektivní vzdálenost nejdistanějšího bodu a nejproximálnějšího bodu viditelného na rentgenovém snímku, skrze oba body vedeme vodorovně rovnoběžku, délku měříme kolmo od nejdistanějšího k nejproximálnějšímu bodu
HLC	projektivní vzdálenost od nejdistanějšího bodu viditelného na rentgenovém snímku ke středu hlavice kosti, skrze nejdistanější bod vedeme rovnoběžku pod takovým úhlem, abychom ji protnuli s bodem na laterální straně distální plochy, pod stejným úhlem poté vedeme rovnoběžku skrze bod ve středu <i>caput ossis capitati</i> , délku měříme kolmo od nejdistanějšího k nejproximálnějšímu bodu
MC3	přímá vzdálenost od středu baze proximální kloubní plochy ke středu hlavice
PH_PROX	přímá vzdálenost od středu baze proximální kloubní plochy ke středu hlavice
PH_INTER	přímá vzdálenost od středu baze proximální kloubní plochy ke středu hlavice
PH_DIST	přímá vzdálenost od středu baze proximální kloubní plochy ke středu hlavice

Tabulka 15. Testování homogenity rozptylů – Levenův test.

Rozměr	Obě pohlaví (n = 100)	
	Levenův test (p)	F
HL_MIK	0,07	83,18
HL_SNOW	0,19	113,3
HL_MACKIE	0,08	115,2
HSL	0,19	85,81
HLB	0,26	18,57
HLC	0,34	63,88
MC3	0,77	67,95
PH_PROX	0,28	52,54
PH_INTER	0,09	30,99
PH_DIST	0,06	25,57

Tabulka 16. Testování normality a dvouvýběrový nepárový t-test u mužů a žen.

	Muži (n=50)	Ženy (n=50)	Obě pohlaví (n=100)
Rozměr	Shapiro-Wilk (p)	Shapiro-Wilk (p)	t-test (p)
HL_MIK	0,0148*	0,9	<0,001
HL_SNOW	0,2	0,1	<0,001
HL_MACKIE	0,2	0,1	<0,001
HSL	0,2	0,4	<0,001
HLB	0,9	0,9	<0,001
HLC	0,6	0,7	<0,001
MC3	0,4	0,3	<0,001
PH_PROX	1,0	0,8	<0,001
PH_INTER	0,1	0,4	<0,001
PH_DIST	0,1	0,4	<0,001

*log 0,03861