

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta filozofická

Diplomová práce

**Vztah délky ruky a kostí ruky: využití v odhadu
pohlaví z otisků ruky u paleolitických umělců**

Patrik Mik

Plzeň 2014

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Katedra antropologie

Studijní program Antropologie

Studijní obor Antropologie populací minulosti

Diplomová práce

**Vztah délky ruky a kostí ruky: využití v odhadu
pohlaví z otisků ruky u paleolitických umělců**

Patrik Mik

Vedoucí práce:

Mgr. Patrik Galeta, Ph.D.

Katedra sociální a kulturní antropologie

Filozofická fakulta, Západočeská univerzita v Plzni

Plzeň 2014

Prohlašuji, že jsem práci zpracoval(a) samostatně a použil(a) jen uvedených pramenů a literatury.

Plzeň, srpen 2014

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Mgr. Patriku Galetovi, Ph.D, za odborné vedení a cenné rady během psaní této práci a také mu děkuji za poskytnutí statistických programů. Chtěl bych také velmi poděkovat MUDr. Tomášovi Kuncovi za zprostředkování rentgenových snímků. V neposlední řadě děkuji své manželce i celé rodině za všestrannou pomoc a podporu.

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	CÍLE PRÁCE.....	3
3	TEORETICKÁ VÝCHODISKA.....	4
3.1	Anatomie ruky.....	4
3.2	Fylogenetický vývoj ruky	5
3.3	Ontogenetický vývoj ruky	6
3.4	Variabilita ruky	9
3.4.1	Základní principy a mechanismy variability	9
3.4.2	Mezipopulační rozdíly v morfologii ruky	10
3.4.3	Pohlavní dimorfismus ruky	11
3.4.4	Stranová (a)symetrie ruky	13
3.5	Rozdíly v relativní velikosti končetin	15
3.6	Odhad výšky postavy z ruky	16
4	MATERIÁL	18
5	METODY.....	19
5.1	Osteometrie ruky.....	19
5.2	Statistické metody.....	22
6	VÝSLEDKY.....	24
6.1	Itraobservační a interobservační shoda	24
6.2	Pohlavní dimorfismus.....	26
6.3	Délka ruky a záprstních kostí mužů.....	27
6.4	Délka ruky a záprstních kostí žen.....	29
6.5	Korelace a lineární regrese.....	32
7	DISKUZE.....	47
8	ZÁVĚR.....	55

9	CITOVANÉ ZDROJE.....	57
10	RESUMÉ.....	65

1 ÚVOD

V recentní literatuře se rozvinul výzkum zaměřený na odhad pohlaví paleolitického člověka z otisků (*handprints*) a stop (*hand stencils*) rukou na stěně jeskyní především ve Španělsku a ve Francii (Nelson et al., 2006; Snow, 2006, 2013; Wang et al., 2010; Galeta et al., 2014). Otisky rukou vznikají otiskem ruky namočené do barviva jako pozitivy. Stopy rukou vznikají nanesením barviva okolo přitisknuté ruky jako negativy (Snow, 2006). Není jasné, zda byla ruka na stěnu jeskyně přitisknuta dlaní nebo hřbetem (Snow, 2006). To však nebrání badatelům, aby docházeli ke zdánlivě přesvědčivým závěrům o možnosti odhadu pohlaví z otisků a stop rukou paleolitického člověka (Nelson et al., 2006; Snow, 2006, 2013; Wang et al., 2010).

Původní překvapivé závěry o přesnosti (*accuracy*) a spolehlivosti (*reliability*) odhadu pohlaví z otisků a stop rukou byly přesvědčivě vyvráceny Galetou s kolektivem badatelů (2014). Sugestivní předpoklad Snowa, že evropské obyvatelstvo je od svrchního paleolitu geneticky homogenní (2006, 2013) a proto má stejné proporce rukou, je chybný. Snow absolutně přehlíží nejen závěry biologické antropologie o lidské variabilitě a adaptabilitě, ale přehlíží i výsledky recentních studií (Wang et al., 2010) a chybně interpretuje výsledky studií svých (Galeta et al., 2014)! Wang s kolektivem badatelů (2010) ukazují, že pohlavní dimorfismus paleolitického člověka byl výrazně vyšší než u současných lidí. Statisticky to znamená, že u recentní populace dochází k překrytí velké plochy pod mužskou a ženskou diskriminační křivkou (Wang et al., 2010). Za celou snahou o odhad pohlaví těchto „paleolitických umělců“ stojí snaha o přiblížení se sociálnímu životu našich předků. Je to „neviditelná ruka genderu“, která trápí archeology po mnohá léta (cf. Snow, 2006).

Rozšíříme-li naše zorné pole, zjistíme, že zájem o ruku je větší. Možnosti ruky v různých odhadech jsou překvapivé. Z kostí ruky, z proporcí jednotlivých částí ruky či z celé ruky se různí badatelé pokoušeli odhadnout např. pohlaví (Wilbur, 1998; Stojanowski, 1999; Barrio et al., 2006; McIntyre et al., 2006; Case and Ross, 2007; Robertson et al., 2008; Alicioglu et al., 2009; McFadden and Bracht, 2009; Kanchan and Rastogi, 2009; Manolis et al., 2009; Ibeachu et al., 2011; Khanpetch et al., 2011; Krishan et al., 2011; El Morsi and Al Hawary, 2013; Karakostis et al., 2013), věk (Cardoso and Severino, 2010), výšku jedince (Musgrave and Harneja, 1978; Wilbur, 1998; Jasuja and Singh, 2004; Agnihotri et al., 2008; Laila et al., 2009; Chikhalkar et

al., 2010; Habib and Kamal, 2010; Ishak et al., 2012; Krishan et al., 2012; Ozaslan et al., 2012; Matheswaran and Vallabhajosyula, 2014), délku jiných kostí jedince (Wilbur, 1998), odvodit růstové a vývojové poruchy jedince (Manning et al., 2001), počet spermií (Manning et al., 1998), sexuální orientaci (Robinson and Manning, 2000; Williams et al., 2000; Rahman and Wilson, 2003), sportovní úspěšnost (Manning et al., 2014).

Přes nepřeberné množství prací věnujících se různým „odhadům z ruky“ nám není známo, že by se někdo pokusil odhadnout délku ruky i s měkkými tkáněmi z jednotlivých kostí ruky. Tento odhad v sobě skrývá lákavou, ač velice nepravděpodobnou, možnost přiřadit konkrétní kostru jedince ke konkrétnímu otisku či stopě ruky „paleolitického umělce“. Také nám není známo, že by se někdo pokoušel měřit délku ruky z rentgenových snímků.

Délku ruky je možné měřit několika způsoby, jejich podrobný popis uvádíme v kapitole Metody. Protože neexistuje jen jeden způsob měření délky ruky, bylo by zajímavé zjistit, nakolik se od sebe liší výsledky měření délek ruky podle jednotlivých metod. Statisticky signifikantní odlišnost těchto způsobů měření by byla vztyčeným ukazováčkem všem pracem, které se snaží přejímat délky rukou z různých studií a na jejich základě činit obecnější závěry.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je především pokusit se na základě rentgenových snímků ruky odhadnout z délky záprstních kostí délku ruky při zohlednění měkkých tkání. Vedlejším produktem je porovnání dvou často užívaných metod měření délky ruky a metody navržené Snowem (2013).

3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

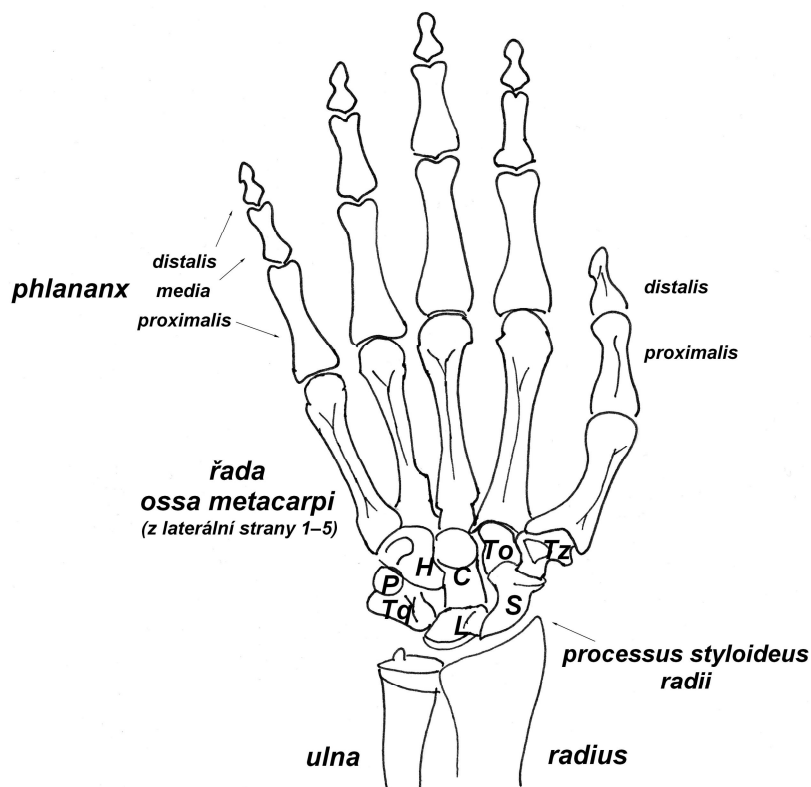
3.1 Anatomie ruky

Anatomický útvar ruka (Obr. 1) tvoří poslední pětipaprscitý segment horní končetiny lidí, autopodium základní končetinové stavby čtvernožců (Čihák, 2011, p 237). Lidskou ruku tvoří 27 kostí. Osm kostí zápěstních, pět kostí záprstních a 14 kostí článků prstů ruky. Výjimečně se může objevit malá kost u baze třetí záprstní kosti jako vývojová anomálie (Scheuer et al., 2000, p 317). Osm zápěstních kostí ve dvou řadách kloubně připojuje ruku k předloktí (White et al., 2011, p 199). Zápěstní kosti jsou malé nepravidelné kosti, jejichž proximální řada – *os scaphoideum*, *os lunatum*, *os triquetrum*, *os pisiforme* – artikuluje s kostí vřetenní a s kloubním diskem položeným nad hlavicí loketní kosti – *articulatio radiocarpalis*. Distální řada – *os trapezium*, *os trapezodeum*, *os capitatum*, *os hamatum*, artikuluje s předchozí řadou záprstních kostí – *articulatio mediocarpalis* – a s bazemi záprstních kostí – *articulationes carpometacarpales* (Scheuer et al., 2000, p 309; Čihák, 2011, pp 255–281). Zápěstní kosti jsou kloubně spojeny – *articulationes intercarpales* – a zpevněny vazy (Čihák, 2011, pp 274–277).

Záprstní kosti – *ossa metacarpalia* – distálně artikulují s kostmi článků prstů ruky. Pět záprstních kostí tvoří kostěný základ dlaně a hřbetu ruky a vytváří podklad pro paprsky článků prstů ruky (White et al., 2011, p 199). Záprstní kosti jsou kosti typu dlouhého. Skládají se z proximální baze, těla a distální hlavice (Scheuer et al., 2000, p 314). S kostmi článků prstů jsou kloubně spojeny – *articulationes metacarpophalangeae* – a přidržovány příčnými a kolaterálním vazy (Scheuer et al., 2000, p 315).

Prsty ruky tvoří 14 kostěných článků, dva pro palec, tři pro každý zbývající prst. Prstní články jsou navzájem kloubně spojeny – *articulationes interphalangeae manus*. Každý článek prstu se skládá z proximální baze, těla a z distální hlavice (Scheuer et al., 2000, p 319). Kostra ruky je doplněna funkčně významnými sezamskými kostmi (Čihák, 2011, p 237; White et al., 2011, p 199). Jsou to drobné kůstky při metakarpofalangových kloubech. Vznikají ve šlachách svalů a obvykle osifikované jsou dvě při hlavicí první záprstní kosti (Čihák, 2011, p 261). U živého člověka je ruka dále

doplněna svaly, nervy, cévami a dalšími tkáněmi, přičemž na morfologii jednotlivých kostí mají největší vliv především svaly a vazy (Scheuer et al., 2000).



Obr. 1. Kostra pravé lidské ruky, palmární aspekt. **H** – os hamatum; **C** – os capitatum; **To** – os trapezoideum; **Tz** – os trapezium; **P** – os pisiforme; **Tq** – os triquetrum; **L** – os lunatum; **S** – os scaphoideum. Kresba: autor.

3.2 Fylogenetický vývoj ruky

Horní (resp. přední) končetina se ve fylogenezi obratlovců vyvinula z ploutvového lemu primitivních ryb (Čihák, 2011, p 237). Postupně se přizpůsobovala biomechanickým nárokům na lokomoci a, v souvislosti s jejím pozdějším uvolňováním a palcem v opozici, na jemné manipulační pohyby (Cartmill and Smith, 2009). Vyvrcholením evoluce lidské ruky je autapomorfní schopnost precizního úchopu (Cartmill and Smith, 2009).

Končetina čtvernožců má základní segmentové uspořádání (Čihák, 2011, p 237). Skládá se z pletence (*cingulum*), který připojuje končetinu k osovému skeletu, dále z jediné kosti (*stylopodium*), pak ze dvou kostí (*zeugopodium*) a z terminálního úseku tvořeného větším počtem skeletních elementů (*autopodium*) (Čihák, 2011, p 237).

V evoluční linii primátů vedoucí k lidem se v oblasti autopodia – ruky odehrálo několik významných změn. Především došlo k redukci tukových polštářů dlaně, k narovnání druhého až čtvrtého prstu ruky a k výraznější divergenci palce vůči ostatním prstům ruky (Cartmill and Smith, 2009). V souvislosti s nelokomočním využíváním horních končetin rovněž došlo ke změně konfigurace karpometakarpového kloubu palce, čímž se palec uvolnil pro precizní úchop (Cartmill and Smith, 2009).

3.3 Ontogenetický vývoj ruky

Intrauterinní vývoj horní končetiny zpočátku odráží její fylogenetický vývoj (Sadler, 2011). Kosterní systém se vyvíjí z mezodermy a z neurální lišty z mezenchymové tkáně (Sadler, 2011, p 143). Pupen horní končetiny vzniká ve 4. fetálním týdnu vývoje v úrovni somitů C5 až Th1 (Malas et al., 2006; Čihák, 2011, p 237) a ve dvou po sobě následujících cirkulárních zaškrcení se formují končetinové segmenty autopodium, zeugopodium a stylopodium (Sadler, 2011, p 151). Paprsky prstů se osamostatňují apoptózou v budoucích meziprstních štěrbinách (Sadler, 2011, p 151). Ruka s nehty se vyvíjí z ploténky, utvořené kolem 33. dne fetálního vývoje, a koncem 8. týdne fetálního vývoje jsou vytvořeny všechny zevně patrné části končetiny (Scheuer et al., 2000, p 321; Čihák, 2011, p 238). Od 6. týdne fetálního vývoje se mesenchym končetinových pupenů zahušťuje a jeho buňky se diferencují v chondrocyty, tvořící modely budoucích kostí z hyalinní chrupavky (Sadler, 2011, pp 151–152). Chondrogenní osifikace kostí končetin začíná ke konci embryonálního období v primárních osifikačních centrech (Sadler, 2011, p 152).

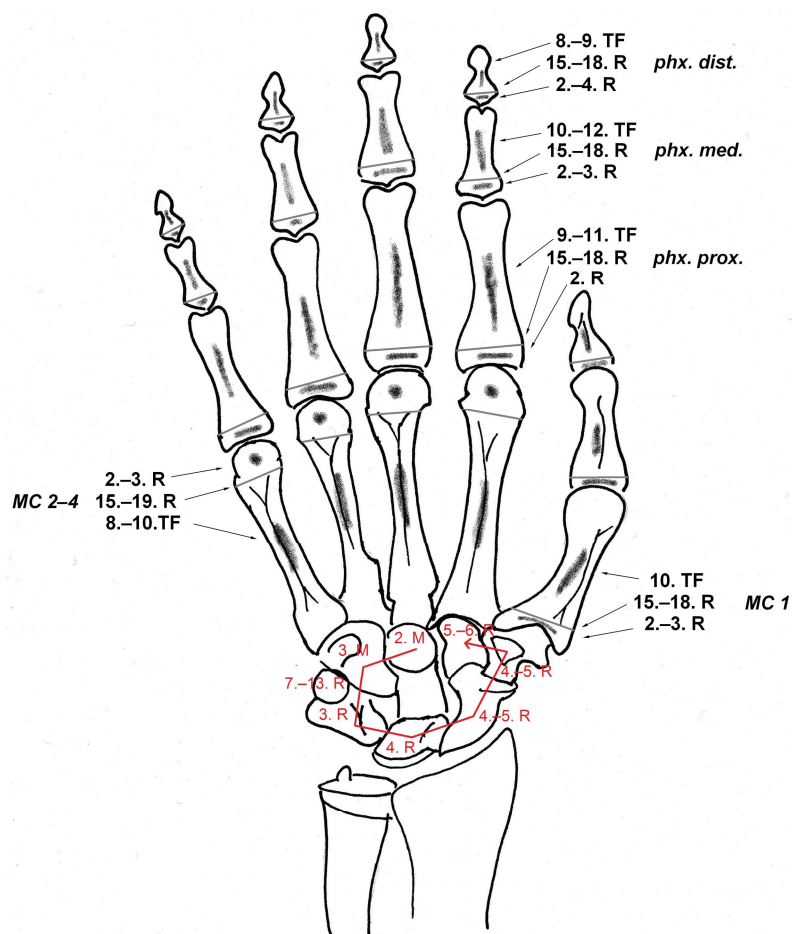
Rychlost růstu závisí na faktorech genetických, endokrinních a environmentálních (Šmahel, 2001, p 79). Vývoj končetiny je molekulárně regulován především expresí *HOX* genů, genu *Sonic hedgehog (SHH)*, genu *Radical fringe*, fibroblastovými růstovými faktory (*FGF*), insulinu podobnými růstovými faktory (*IGF*), kostními morfogenetickými proteiny (*BMP*) a *WNT* proteiny (Čihák, 2011, p 241; Sadler, 2011). Vedle růstových faktorů se na řízení růstu podílí i některé hormony. Nejvyšším centrem, řídícím humorálně růst, je hypotalamus, který je přes talamus spojen s mozkovou kůrou (Šmahel, 2001, p 80). Růst je bezprostředně řízen podél čtyř os – somatotropní, tyrotropní, kortikotropní a gonadotropní. Významnými hormony ovlivňujícími růst na různé hierarchické úrovni jsou somatotropin, tyrotropní hormon, adrenokortikotropní hormon (ACTH), glukokortikoidy, androgeny, folikuly stimulující

hormon (FTH), luteinizační hormon (LH), pohlavní hormony, kalcitonin, parathormon, glukagon, inzulín, D hormon (podrobněji viz Šmahel, 2001).

Na spuštění kaskády reakcí má vliv jednak výše zmíněná molekulární regulace, ale také prostředí, v němž jedinec vyrůstá (Larsen, 1999). Nepříznivé prostředí působí na jedince stres v podobě nedostatečného přísunu potřebných látek, výskytem infekcí a nemocí, psychosociálního stresu nebo působením fyzikálních či chemických vlivů (Larsen, 1999). Stres se v případě dostatečné intenzity či délky trvání může projevit na abnormálním růstu a vývoji jedince (Larsen, 1999; Šmahel, 2001).

Výsledný fenotyp jedince je dán součtem genetických znaků a epigenetických faktorů. Pod jejich vlivem tak probíhá i formace fenotypu ruky. Její chrupavčitý model je v rámci vývoje jedince nahrazován kostní tkání u záprstních kostí a článků prstů prenatalně, u zápěstních kostí postnatalně (Čihák, 2011, pp 259–261). Záprstní kosti osifikují z diafýzy a z jedné epifýzy – která je u první záprstní kosti v bazi, u ostatních v hlavicích (Čihák, 2011, p 260). Kostí článků prstů ruky osifikují z diafýzy a z jedné epifýzy v bazi (Čihák, 2011, p 261). Časování osifikací a srůstů shrnujeme na Obr. 2. Osifikační centra vznikají obecně po vniku cév s kostními buňkami do proliferujících buněk embryonálního chrupavčitého modelu kosti. Kostní buňky secernují mezibuněčnou hmotu a enzym kostní fosfatázu, který uvolňuje nerozpustný kalciumfosfát. Kalciumfosfát se pak za zvýšeného pH vysráží a uloží podél kolagenních vláken kostní matrix (Čihák, 2011, pp 78–89). Osifikační centra fúzí obecně dříve u dívek než u chlapců (Scheuer et al., 2000). Nejprve vznikají osifikační centra dlouhých kostí ruky v diafýzách proximálních kostí článků prstů mezi 7. a 9. fetálním týdnem. Po nich vznikají osifikační centra mezi 8. a 10. fetálním týdnem v záprstních kostech. Nejdříve ve druhé a třetí, pak ve čtvrté a páté a nakonec v první záprstní kosti. Mezi 9. a 11. fetálním týdnem vývoje jedince vznikají osifikační centra v proximálních kostech článků prstů. Nejdříve vznikají ve druhé, třetí a čtvrté, pak v první a nakonec v páté kosti proximálního článku prstu. Jako poslední osifikační centra dlouhých kostí ruky vznikají ta v středních kostech článků prstů. Vznikají mezi 10. a 12. fetálním týdnem. Nejdříve vznikají osifikační centra ve druhé až čtvrté kosti středního článku. Kolem porodu jedince vzniká osifikační centrum v kosti středního článku pátého prstu. Zápěstní kosti osifikují enchondrálně jako typické krátké kosti a zpravidla postnatalně (Scheuer et al., 2000, pp 323–336; Čihák, 2011, p 259). Postupně osifikují *os capitatum*, *os hamatum*, *os triquetrum*, *os lunatum*, *os scaphoideum*, *os trapezium*, *os trapezoideum*

a *os pisiforme*. Podrobnější informace o osifikaci jednotlivých kostí ruky lze dohledat v antropologických či anatomických publikacích (Scheuer et al., 2000; Čihák, 2011).



Obr. 2. Vznik osifikačních center ruky a jejich srůst. Osifikační centra vznikají nejprve v distálních kostech článků prstů, dále v záprstních kostech, pak v proximálních kostech článků prstů a nakonec ve středních kostech článků prstů. Tečkovaně vyznačena osifikační centra; šedé čáry oddělují diafýzu od epifýzy a jsou místem fúze osifikačních center; červeně je vyznačena osifikace zápěstních kostí. **T** – týden; **F** – fetální; **M** – měsíc; **R** – rok; **MC** – záprstní kost; **phx.** – phalanx; **prox.** – proximalis; **med.** – media; **dist.** – distalis.

Kresba: autor, časové údaje převzaty z Scheuer et al. (2000) a Čihák (2011).

Dlouhá kost roste do délky v růstové chrupavce činností chondrocytů v proliferativní a hypertrofické zóně (Rauch, 2005). Růst je kontrolován na systémové úrovni – synchronní růst párových kostí, lokálně – v závislosti na aktivitě růstových chrupavek a v závislosti na působení mechanických sil (Ruff, 2003; Ruff et al., 2006). Do šířky roste kost činností osteoblastů mechanismem periostální apozice (Rauch, 2005). Průměr těla, baze i hlavice záprstních kostí nezůstává po ukončení růstu kosti do délky stejný (Case and Ross, 2007). Kost se přestavuje celý život pod vlivem mechanických nároků. Průměr těla kosti má zásadní vliv na odolnost vůči ohybovým

silám (Ruff et al., 2006). Přesný mechanismus apozice není dodnes znám, jeho vysvětlení se opírá o dvě hypotézy (Rauch, 2005). První hypotéza udává, že tvar kosti je dán adaptací kosti na mechanické požadavky (Frost, 2003). Předpokládá existenci mechanismu, který vyhodnocuje působení sil, a výkonného mechanismu, který optimalizuje rozložení kostní tkáně (Frost, 2003). Druhá hypotéza se opírá o existenci hlavního genu či souboru genů, které regulují růst svalů a kostí tak, aby dorostly do předprogramovaných rozměrů (Parfitt, 1997). Ovšem genetický potenciál jedince může být omezen prostředím – klimatem, výživou, prodělanými nemocemi, fyzickou aktivitou a kulturními praktikami (Molnar, 2005). Vliv prostředí na růst a vývoj jedince však s rostoucím věkem jedince klesá (Wetherington and Rutenberg, 1978).

3.4 Variabilita ruky

3.4.1 Základní principy a mechanismy variability

Určení míry vlivu konkrétních faktorů na výslednou morfologii ruky je problematické. Recentní studie ukazují, že na konečnou podobu ruky má vliv jak pohlaví jedince (Garn et al., 1972; Wilbur, 1998; Manning et al., 1998; Stojanowski, 1999; Lutchmaya et al., 2004; McIntyre et al., 2006; Case and Ross, 2007; Robertson et al., 2008; Alicioglu et al., 2009; Manolis et al., 2009; McFadden and Bracht, 2009; Kanchan and Krishan, 2011; Khanpetch et al., 2011; El Morsi and Al Hawary, 2013), tak i celý jeho genotyp (Loehlin et al., 2006), ale i populační afinita jedince (Garn et al., 1972; Wilbur, 1998; McFadden and Bracht, 2009), ač nebyl vliv populační afinity ve všech studiích prokázán (Stojanowski, 1999).

Rozdíly v délkách dlouhých kostí ruky nejsou jen mezi věkovými kohortami, ale můžeme je nalézt i mezi jednotlivými populacemi (El Morsi and Al Hawary, 2013). Od 19. století je nám známa klimatická podmíněnost morfologie živočichů (Bergmann, 1847; Allen, 1877), která byla ve 20. století prokázána i na člověku (klimatické adaptace shrnuje Ruff, 1994). Pod termíny Bergmanovo pravidlo (Bergmann, 1847) a Allenovo pravidlo (Allen, 1877) rozumíme zvětšování tělesné velikosti živočichů v rámci druhu směrem k chladným oblastem a zmenšování tělesné velikosti směrem k teplým oblastem, resp. zkracování distálních segmentů končetin směrem k chladným oblastem a prodlužování těchto segmentů směrem k teplým oblastem. Tato pravidla jsou ve skutečnosti zvláštními případy obecnějšího vztahu povrchu těla živočicha

(*surface area*) k jeho tělesné hmotnosti (*body mass*) (Ruff, 1994). Poměr povrchu těla k jeho hmotnosti je největší v teplém klimatu a nejmenší v chladném klimatu (Ruff, 1994). Horní/dolní končetina hraje zásadní roli při zvětšování/zmenšování povrchu těla a tím i zvětšování/zmenšování výsledného poměru – dlouhá končetina zvětšuje povrch těla, ze kterého může být odváděno teplo potem (Ruff, 1994). Tedy lidé žijící v chladných oblastech jsou/byli charakterističtí relativně kratšími končetinami než lidé žijící v teplých oblastech (Holliday, 1997 a). Lidé žijící v chladných oblastech jsou relativně širší, než lidé žijící v teplých oblastech. Relativním zvětšením šířky těla či jeho částí je dosaženo zmenšení povrchu vůči objemu, takže se ze svalů uvolňované teplo odvádí z těla méně efektivně (Ruff, 1993). Jedinec s takovými proporcemi pak lépe vzdoruje chladu (Ruff, 1993). Proto můžeme očekávat, že výsledný tvar končetiny bude populačně specifický, tedy ovlivněn prostředím.

3.4.2 Mezipopulační rozdíly v morfologii ruky

Výše zmíněný předpoklad populační specificity morfologie ruky potvrzují ve své studii Lazenby a Smashnuková (1999), kde porovnávají šest rozměrů naměřených na druhých záprstních kostech Inuitů s evropskou populací. Výsledky ukazují, že Inuité mají vůči Evropanům relativně širokou, ale nízkou ruku v zápěstí, a naopak úzkou, ale vysokou ruku v metakarpofalangovém kloubu – Inuitská ruka je adaptovaná na udržování tepla (Lazenby and Smashnuková, 1999). Délkový gradient kostí ruky, snižující se s rostoucí zeměpisnou šířkou, potvrzuje studie El Morsiové a Al Hawaryho (2013). Při mezipopulačním porovnání záprstních kostí vychází průměrně nejdelší kosti u Američanů afrického původu (McFadden and Bracht, 2009) a postupně se zkracují přes Egypťany (El Morsi and Al Hawary, 2013) k Turkům (Alicioglu et al., 2009), Řekům (Manolis et al., 2009) a Američanům evropského původu (McFadden and Bracht, 2009).

Nehledě na tyto absolutní rozdíly je pro člověka typický vzorec velikosti záprstních kostí 2. > 3. > 4. > 5. > 1., od největší druhé záprstní kosti k nejmenší první záprstní kosti (pro prehistorickou populaci středozápadní Illinois Wilbur, 1998; pro Španěly Barrio et al., 2006; pro Američany evropského původu Case and Ross, 2007; pro Turky Alicioglu et al., 2009; pro Řeky Manolis et al., 2009; pro Američany evropského i afrického původu McFadden and Bracht, 2009; pro Thajce Khanpetch et al., 2011; pro Egypťany El Morsi and Al Hawary, 2013).

3.4.3 *Pohlavní dimorfismus ruky*

Rozdíly v rozměrech kostí ruky byly pozorovány i v rámci jedné populace a to mezi pohlavími (e.g. Scheuer and Elkington, 1993; Stojanowski, 1999; Lazenby and Smashnuk, 1999; Barrio et al., 2006; Case and Ross, 2007; Alicioglu et al., 2009; McFadden and Bracht, 2009; Manolis et al., 2009; Ibeachu et al., 2011; Khanpetch et al., 2011; Krishan et al., 2011; El Morsi and Al Hawary, 2013; Karakostis et al., 2013). S jistou mírou nepřesnosti můžeme tvrdit, že muži mají všechny rozměry dlouhých kostí ruky absolutně větší, než ženy stejného věku a populační afinity (Bennett, 1981; Lazenby and Smashnuk, 1999; Jasuja and Singh, 2004; Barrio et al., 2006; Case and Ross, 2007; Agnihotri et al., 2008; Alicioglu et al., 2009; Kanchan and Rastogi, 2009; McFadden and Bracht, 2009; Habib and Kamal, 2010; Krishan et al., 2011; Ibeachu et al., 2011; Ishak et al., 2012; Karakostis et al., 2013; El Morsi and Al Hawary, 2013). Výjimky byly objeveny např. u Turků (Alicioglu et al., 2009), Egyptanů (Eshak et al., 2011) nebo Nigerijců (Ibeachu et al., 2011). Pohlavní dimorfismus je na dlouhých kostech ruky větší v mírách příčných než podélných (Harris et al., 1992; Scheuer and Elkington, 1993; Barrio et al., 2006; Alicioglu et al., 2009; Manolis et al., 2009; Ibeachu et al., 2011; Khanpetch et al., 2011; Karakostis et al., 2013). Musíme však upozornit, že příčné míry dlouhých kostí reflektují především jejich robusticitu a jsou tak ovlivněny aktivitou jedince, která může pohlavní dimorfismus převrstvit (Ruff et al., 2006)! A všechny rozdíly nejsou vždy statisticky signifikantní (e.g. Barrio et al., 2006).

Delší kosti ruky u mužů než u žen byly pozorovány: u záprstních kostí cirkumpolárních Inuitů (Lazenby and Smashnuk, 1999), u záprstních kostí Španělů (Barrio et al., 2006), u proximálních článků prstů ruky Řeků (Karakostis et al., 2013) a u záprstních kostí Řeků (Manolis et al., 2009), kromě článků čtvrtého prstu ruky a distálního článku malíčku u turecké populace (Alicioglu et al., 2009), u všech dlouhých kostí levé i pravé ruky u egyptské populace (El Morsi and Al Hawary, 2013), u druhého až čtvrtého prstu Džátů na severu Indie (Jasuja and Singh, 2004), u délek prstů obyvatel jižní Indie (Matheswaran and Vallabhajosyula, 2014), u záprstních kostí Thajců (Khanpetch et al., 2011), u záprstních kostí Američanů evropského i afrického původu Hamann-Toddovy sbírky (McFadden and Bracht, 2009). Že muži mají celkově delší ruku než ženy, potvrzují další studie. Muži mají delší ruce u Inuitů na severní Aljašce (Bennett, 1981), u Francouzů (Galeta et al., 2014), u Džátů v severní Indii (Jasuja and Singh, 2004), obecně v severní Indii (Kanchan and Rastogi, 2009; Krishan et al., 2011) i

v jižní Indii (Kanchan and Rastogi, 2009), v Turecku (Ozaslan et al., 2012), v Egyptě (Habib and Kamal, 2010), v Nigérii (Ibeachu et al., 2011), na Mauriciu (Agnihotri et al., 2008), v západní Austrálii (Ishak et al., 2012).

Ve vztahu pohlaví k délkám dlouhých kostí ruky byla v recentní literatuře velká pozornost zaměřena na poměr délky druhého a čtvrtého prstu – tzv. Manningův index (přehled literatury viz Manning, 2011 a Manning et al., 2014). Manning s kolektivem badatelů (1998) prokázal, že je poměr délky druhého a čtvrtého prstu pohlavně dimorfní. Muži mají tento poměr nízký, ženy naopak vysoký – jinými slovy: muži mají delší prsteníček než ukazováček, zatímco ženy mají prsteníček stejně dlouhý nebo kratší než ukazováček. Větší rozdíly ve velikosti Manningova indexu jsou, v porovnání s nepříbuznými jedinci, mezi sourozenci (McIntyre et al., 2006). Vzhledem k populační specifičnosti absolutních hodnot Manningova indexu se doporučuje používat spíše poměr třetího a čtvrtého prstu, který je více pohlavně dimorfní a méně populačně specifický než Manningův index (McIntyre et al., 2006). Oblast zájmu byla postupně rozšířena i na záprstní kosti (Wilbur, 1998; Stojanowski, 1999; Case and Ross, 2007; Alicioglu et al., 2009; Manolis et al., 2009; McFadden and Bracht, 2009; Khanpetch et al., 2011; El Morsi and Al Hawary, 2013) a badatelé byli nuceni postupně zahrnout i všechny výše zmíněné faktory, které rozšířili o hormonální regulaci.

Ukázalo se, že v prenatálním vývoji jedince se na vývoji Manningova indexu největší měrou podílí pohlavní hormony – testosteron a estradiol (Lutchmaya et al., 2004). Mezi badateli nepanovala shoda v tom, kdy se ve vývoji jedince poměr druhého a čtvrtého prstu ustavuje (Malas et al., 2006; McIntyre et al., 2006). Protože se délka dlouhých kostí dokončuje kolem 20. roku života jedince, veškeré faktory ovlivňující délku kosti ji mohou ovlivnit v ontogenezi jedince jedině do tohoto věku (Case and Ross, 2007). Až recentně bylo zjištěno, že vývoj pohlavně dimorfního poměru je řízen androgenním receptorem a estrogenním receptorem α (Zheng and Cohn, 2011). Aktivita obou receptorů je vyšší na čtvrtém prstu. Inaktivace androgenního receptoru vede ke zpomalení růstu, inaktivace estrogenního receptoru α vede ke zrychlení růstu (Zheng and Cohn, 2011). Výsledný index se ve vývoji pravděpodobně zakládá v krátkém embryonálním období na konci prvního trimestru a je více vyvinut na pravé ruce (Zheng and Cohn, 2011). Muži jsou – v porovnání se ženami – v embryonálním vývoji ruky v předstihu do doby, než se objeví první osifikační centra (Garn et al., 1974). Tento vývoj

ale nemá paralely v postnatálním načasování osifikace, srůstání epifýz, vývoji stálých zubů ani v sexuální zralosti, kdy jsou naopak rychlejší ženy (Garn et al., 1974).

Pohlavní dimorfismus Manningova indexu je dán proximodistální a lateromediální provázaností vývoje ruky (McIntyre et al., 2006). Čím více distálně se článek prstu nachází a čím více je posazena mediálně, tím je u mužů tento článek větší vůči analogickému ženskému článku. Ovšem lateromediální vztah byl testován jen na druhém až čtvrtém prstu (McIntyre et al., 2006). Proximodistální zpřesňování odhadu pohlaví však potvrzují pro všechny články prstů levé ruky Case a Ross (2007) a především studie McFaddena a Brachtové (2005, 2009), které potvrzují vyšší přesnost odhadu pohlaví z poměru článků prstů než z poměru záprstních kostí u člověka, šimpanze i gorily.

Po srůstu osifikačních center dlouhých kostí ruky nezůstává jejich délka podle očekávání beze změny (Harris et al., 1992). Mezi 21. a 55. rokem života dochází u americké populace bělochů u distálních a prostředních kostí článků prstů k jejich prodlužování, zatímco záprstní kosti se zkracují, u proximálních článků dochází jen k nepatrným změnám (Harris et al., 1992). U mužů jsou tyto změny markantnější (Harris et al., 1992). Na jiné populaci Američanů evropského původu však bylo zjištěno, že se záprstní kosti s věkem naopak prodlužují (McFadden and Bracht, 2009). Jelikož materiál obou studií nepochází z podobného časového období, jedinci ve studiích neměli stejný průměrný věk a první studie byla dlouhodobá (Harris et al., 1992), zatímco druhá studie průřezová (McFadden and Bracht, 2009), musíme počítat s tím, že rozdíly ve výsledcích mohou být způsobeny neekvivalencí vzorků nebo jiným stylem života populací (McFadden and Bracht, 2009). Další problém představuje poměrně malý vzorek zkoumané populace McFaddenem a Brachtovou (2009).

3.4.4 Stranová (a)symetrie ruky

Pokud ještě více zaostříme náš „diferencioskop“, nalezneme rozdíly v morfologii ruky i na úrovni jedince. Hovoříme o stranové asymetrii. V živočišné říši je stranová asymetrie dlouho známým jevem (Valen, 1962) a můžeme ji sledovat i u člověka (Garn et al., 1976; Plato et al., 1980; Roy et al., 1994; Auerbach and Ruff, 2006; přehled literatury v Krishan et al., 2010). Obecně rozlišujeme tři druhy asymetrie: směrová asymetrie (*directional asymmetry*), antisymetrie (*antisymmetry*) a plovoucí asymetrie (*fluctuating asymmetry*) (Valen, 1962). *Směrová asymetrie* je adaptivní a

systematická větší vyvinutost znaku na jedné straně symetrických ploch, *antisymetrie* je adaptivní a nesystematická větší vyvinutost znaku na jedné straně symetrických ploch, *plovoucí asymetrie* je malá a náhodná odchylka od symetrie, která není vztažená k předchozím a není adaptivní (Valen, 1962; Franks and Cabo, 2014). Jedním ze zdrojů plovoucí asymetrie by mohla být biologická podstata bilaterálních znaků (Livshits et al., 1998). Komplexnější znaky jsou více geneticky kontrolovány než znaky jednodušší (Livshits et al., 1998), mají nižší koeficient pozměňování (*coefficient of variation*) (Soule, 1982). Na příkladu lidské ruky to znamená, že je délka jednotlivých článků prstů více proměnlivá, než délka celého prstu (Livshits et al., 1998). Jednotlivé změny pak probíhají v rámci vývojově a funkčně provázaných celků (Livshits et al., 1998). Plovoucí asymetrie indikuje vývojovou stabilitu a je tak indikátorem prosperity živočichů (Knierim et al., 2007). Čím je plovoucí asymetrie nižší, tím se daří dané populaci lépe (Knierim et al., 2007). Na druhou stranu plovoucí asymetrie je jako indikátor prosperity méně celostní v porovnání s celkovou tělesnou velikostí: dosažení větší velikosti předpokládá trvalý a dostatečný přísun zdrojů (Watson and Thornhill, 1994). Ovšem recentní výzkumy ukazují, že plovoucí asymetrie je citlivým biomarkerem environmentálního stresu (Beasley et al., 2013), a že asymetrie negativně koreluje s imunitou jedince (Møller, 2006). Vznik asymetrie je tedy selekční odpovědí při omezení růstu jedince (Møller and Manning, 2003).

I když se v evoluci lidské linie stranová asymetrie postupně zmenšuje (Auerbach and Ruff, 2006), přesto ji můžeme sledovat i dnes (McFadden and Bracht, 2005; Barrio et al., 2006; Kanchan and Rastogi, 2009; Manolis et al., 2009; Krishan et al., 2010; Ibeachu et al., 2011; Khanpetch et al., 2011; El Morsi and Al Hawary, 2013). Někdy jsou rozdíly ve velikosti kostí levé a pravé ruky statisticky signifikantní pro jednu stranu (Krishan et al., 2011), v tom případě můžeme hovořit o směrové asymetrii. Jindy jsou rozdíly nesignifikantní (McFadden and Bracht, 2005; Manolis et al., 2009; Habib and Kamal, 2010), což může znamenat antisymetrii nebo plovoucí asymetrii. Signifikantní rozdíly jsou opět spíše v příčných rozměrech (Rastogi et al., 2008; Krishan et al., 2011; Ishak et al., 2012), ale existují i v podélných rozměrech (Rastogi et al., 2008; Krishan et al., 2011). Rozdíly ve stranové asymetrii v příčných i podélných rozměrech opět nejsou vždy statisticky signifikantní (Krishan and Sharma, 2007; Agnihotri et al., 2008; Robertson et al., 2008; Habib and Kamal, 2010) nebo neplatí pro obě pohlaví jedné populace (Krishan et al., 2011).

Stranová asymetrie ruky na populační úrovni pak znamená, že jedinci mají delší pravou ruku, širší pravou ruku, delší i širší pravou ruku, muži delší pravou ruku a ženy delší levou ruku atd. Stejně tak to platí i pro jednotlivé dlouhé kosti ruky (McFadden and Bracht, 2005; Barrio et al., 2006; Manolis et al., 2009; Krishan et al., 2010; Khanpetch et al., 2011; El Morsi and Al Hawary, 2013). Při analýze stranových asymetrií na základě citovaných studií jednotlivých populací jsme nenarazili na variantu, že by byla levá ruka širší než pravá (viz výše).

Významný vliv na stranovou asymetrii má chování jedince (Auerbach and Ruff, 2006). Preference pravé ruky má za následek zvýšení asymetrie tak, že se kosti pravé ruky více vyvíjí do délky i do šířky (Garn et al., 1976; Plato et al., 1980). Preference levé ruky asymetrii snižuje na statisticky nesignifikantní (Plato et al., 1980). Stranová preference má za následek zvyšování periostální a endosteální expanze kostních povrchových lamel, čímž se zvyšuje odolnost kosti (Roy et al., 1994).

3.5 Rozdíly v relativní velikosti končetin

To, že je ruka větší nebo menší, může být dáno jen absolutně větší/menší velikostí jedince. Významnější jsou proto závěry o relativní délce končetin. Známými ukazateli relativní délky končetin jsou brachiální a krurální index. Oba indexy jsou nezávislé na absolutní výšce jedince. Brachiální index (*brachial index*) je poměr vřetenní kosti ke kosti pažní vynásobený 100. Krurální index (*crural index*) je poměr holenní kosti ke kosti stehenní vynásobený 100 (Aiello and Dean, 1990 p 248). Oba indexy udávají relativní délku stylopodia/zeugopodia nezávislou na výšce jedince. Trinkaus (1981) na 12 populacích anatomicky moderního člověka ukázal, že se zvyšující se průměrnou roční teplotou se zvyšuje i brachiální index populací, které teplejší oblasti obývají (cf. Aiello and Dean, 1990 p 259). Na recentních populacích byl prokázán stejný trend. Při porovnání brachiálního a krurálního indexu obyvatel Evropy, severní Afriky a subsaharské Afriky vychází nejnižší indexy u Evropanů, pak se zvyšují přes populace severní Afriky k populacím subsaharským (Holliday, 1997 b). To znamená relativní prodloužení zeugopodia vůči stylopodiu u populací obývajících oblasti s vyšší průměrnou roční teplotou. Relativní zkrácování zeugopodia vůči výšce kostry trupu jedince (*skeletal trunk height*, cf. (Franciscus and Holliday, 1992)) u populací obývajících chladnější oblasti a u Neandertálců popsal ve své studii Holliday (1997 a). Relativní zkrácení zeugopodia je adaptací na chladné podnebí (Holliday, 1997

a). Délka zeugopodia se obecně jeví více variabilní oproti délce stylopodia (Holliday and Ruff, 2001). Proto můžeme předpokládat, že distální část horní končetiny bude citlivější na klimatické změny. Výpovědní hodnota distální části horní končetiny je tak v mezipopulačním porovnání významnější oproti proximální části. Nesmíme však zapomínat na podmíněnost absolutních rozměrů absolutní výškou jedince.

3.6 Odhad výšky postavy z ruky

I přes relativně velkou morfologickou variabilitu člověka bylo učiněno mnoho přesvědčivých výzkumů o možnosti odhadu výšky postavy jedince z jeho ruky (Musgrave and Harneja, 1978; Wilbur, 1998; Jasuja and Singh, 2004; Agnihotri et al., 2008; Laila et al., 2009; Chikhalkar et al., 2010; Habib and Kamal, 2010; Ishak et al., 2012; Krishan et al., 2012; Ozaslan et al., 2012; Matheswaran and Vallabhajosyula, 2014). Princip odhadu výšky postavy jedince je totožný s principem odhadu délky ruky.

Nejběžnější metody odhadu výšky postavy jsou založené na korelaci výšky postavy s délkou končetin. Čím více koreluje délka kosti s výškou postavy, tím je užší interval spolehlivosti odhadu (Baines et al., 2011). Rozlišujeme dva typy metod odhadu výšky postavy jedince. Anatomická metoda (Fully, 1956; Raxter et al., 2006) se opírá o měření délek všech kostí podílejících se na výšce jedince, k jejichž součtu se připočte výška měkkých tkání a zohlední se zakřivení páteře. Matematická metoda (přehled viz Baines et al., 2011) odhaduje výšku postavy pomocí délky či délek kostí a regresní rovnice (Baines et al., 2011). Obecný tvar regresní rovnice je $y = a + bx$, kde a je průsečík s osou Y , b je sklon přímky či regresní koeficient a x a y jsou hodnoty na ose X resp. Y (Sokal and Rohlf, 1995, pp 454–455). Odhadnutá výška postavy je interval, v němž na hladině významnosti α 0,05 očekáváme výšku jedince. Intervalová povaha odhadu je dána nepřesností měření a lidskou variabilitou (Baines et al., 2011). Regresní rovnice odhadu výšky postavy je populačně specifická a nelze ji spolehlivě použít pro jinou populaci, než pro kterou byla vytvořena (Zeman and Králík, 2012). Nadhodnocuje výšku jedinců s nejdelšími kostmi a podhodnocuje výšku jedinců s nejkratšími kostmi (Sjøvold, 2000). Neznáme-li populační afinitu jedince, nezbývá než použít metodu organické korelace (Sjøvold, 1990, 2000). Odhad výšky postavy pomocí metody organické korelace má sice širší interval spolehlivosti než lineární regrese, ovšem je univerzálně použitelná. Metoda organické korelace nezohledňuje regresi k průměru a je založena na součtu ploch reziduálních trojúhelníků, ne čtverců, jak je tomu u lineární

regrese (Zeman and Králík, 2012). Novým prvkem bylo přidání chyby odhadu do regresní rovnice. Ta tak dostala finální podobu: $y = a + bx + \varepsilon$, kde ε je odchylka hodnoty y od regresní přímky (Sjøvold, 1990, p 439).

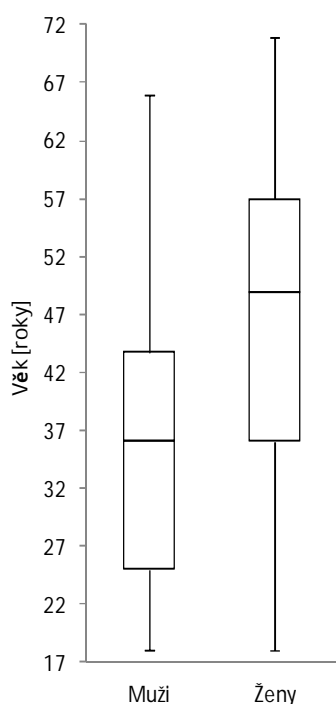
Velikost korelace délky kostí a částí ruky s výškou postavy byla zkoumána v závislosti na populační afinitě jedince, jeho pohlaví a na straně, ze které záprstní kost pochází (Musgrave and Harneja, 1978; Wilbur, 1998). Ze záprstních kostí koreluje s výškou postavy nejvíce druhá záprstní kost a nejméně pátá záprstní kost. Korelace ostatních záprstních kostí s výškou postavy se ve studiích různí (Musgrave and Harneja, 1978; Wilbur, 1998). U délek prstů není hierarchie korelace s výškou postavy jednoznačná. Na předních místech korelace však figurují délky třetího a druhého prstu (Jasuja and Singh, 2004; Habib and Kamal, 2010; Ishak et al., 2012; Matheswaran and Vallabhajosyula, 2014). Zdá se, že velikost korelace délky dlouhých kostí ruky s výškou postavy nezávisí na straně, ze které pochází ani na pohlaví, resp. se v tomto závěry studií rozcházejí (Musgrave and Harneja, 1978; Agnihotri et al., 2008; Laila et al., 2009; Habib and Kamal, 2010; Ishak et al., 2012; Ozaslan et al., 2012). Musgrave a Harnejová (1978) a Ishaková s kolektivem (2012) však shodně dospěli k závěru, že u žen levá dlaň či kosti levé dlaně více korelují s výškou postavy než pravá dlaň, resp. kosti pravé dlaně. Tento rozdíl však nebyl statisticky testován.

Větší korelaci s výškou postavy mají podélné míry ruky oproti mírám příčným (Ishak et al., 2012; Ozaslan et al., 2012) a rovněž větší korelaci s výškou postavy mají míry, na nichž se podílí více elementů – např. délka ruky, oproti mírám jednotlivým – např. délka článku prstu ruky (Habib and Kamal, 2010; Ishak et al., 2012). Sledujeme zde tedy opačný jev, než u odhadu pohlaví, kde jsou více dimorfní míry podélné. Ovšem zmíněnou větší korelaci podélných měř s výškou postavy lze na základě jiných odhadů (e.g. Sjøvold, 1990, 2000) i logické úvahy – podélné míry se podílí na délce – předpokládat.

4 MATERIÁL

Vztah mezi délkou ruky a délkou záprstních kostí jsme zkoumali na rentgenových snímcích ruky. Snímky pocházely ze tří plzeňských radiologických pracovišť. Snímky ruky nebyly pořizovány za účelem této studie, proto jsme nemohli polohu snímané ruky standardizovat. Vybrali jsme snímky s minimalizovanou dukcí ruky. Palec se nacházel v různém stupni abdukce či v addukci. Snímky jsme použili se souhlasem MUDr. Tomáše Kunce. Pod jeho dohledem jsme vybrané snímky exportovali do formátu JPEG.

Zkoumali jsme 50 mužských a 50 ženských rentgenových snímků ruky (Tab. 1). Snímaní muži byli ve věku od 18 do 66 let, s průměrným věkem 36,5 let. Snímané ženy byly ve věku 18 až 71 let, s průměrným věkem 45,7 let (Graf 1). Na rentgenových snímcích nebyly přítomny žádné patologie. Všichni snímaní jedinci byli Češi.



Graf 1. Věk zkoumaných jedinců.

Tab. 1. Věk mužů a žen [roky].

	Muži	Ženy
Počet	50	50
Průměr	36,5	45,7
Sm. odchylka	13,9	15,1
Medián	36	49

Radiologický výzkum má nesporné výhody. Zkoumá živé jedince, je neinvazivní, umožňuje uchovávat obrovské množství dat elektronicky a je možno se k těmto studiím kdykoli vracet (cf. Alicioglu et al., 2009).

5 METODY

5.1 Osteometrie ruky

V této práci jsme měřili délku ruky a délku 2.–5. záprstní kosti. Všechny rozměry jsme měřili z rentgenových snímků v milimetrech s přesností na setinu milimetru.

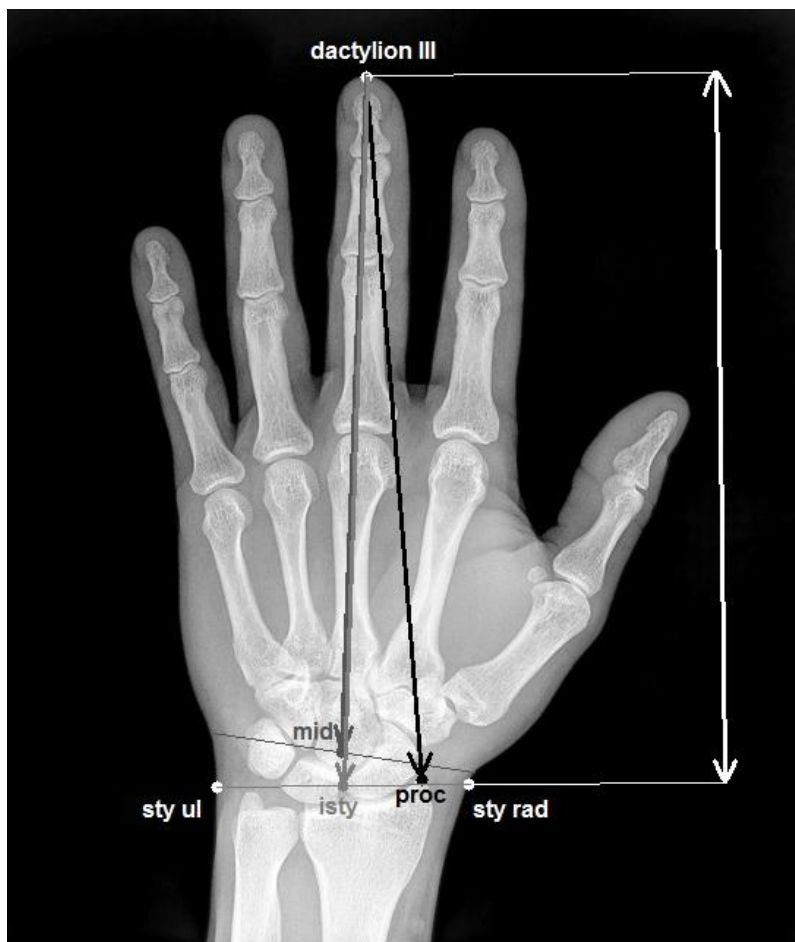
Délku ruky jsme měřili několika způsoby (Obr. 3). Jedním ze způsobů bylo měření vzdálenosti od vrcholu *processus styloideus radii* ke špičce měkké tkáně třetího prstu – *dactylion III*. Jedná se o podobný rozměr, který uvádí Knussmann v Somatometrii pod č. 49e (Knussmann, 1988, p 266). My jsme ovšem neměřili projektivní vzdálenost k bodu *styliion radiale*, ale přímou vzdálenost k vrcholu *processus styloideus radii*. Promítnutím *processus styloideus radii* na laterální povrch předloktí jsme získali právě bod *styliion radiale*. Motivací nám byla snadnost, rychlost a velmi nízká intraobservační chyba – průměrný absolutní rozdíl měření (*MAD*) pouhých 0,75 mm – i interobservační chyba – $MAD = 1,24$ mm (Bland and Altman, 1986, 1996, 1999, 2003) – mezi měřeními.

Délku ruky jsme také měřili jako projektivní vzdálenost mezi bodem *styliion radiale* a bodem *dactylion III* (definice bodů v Knussmann, 1988, p 242). Rozměr je standardizován jako rozměr č. 49a v Somatometrii (Knussmann, 1988, p 266). Rozměr je velmi často používanou antropologickou mírou (cf. Clauser et al., 1988; Harrison and Robinette, 2002; Paquette et al., 2009; Gordon et al., 2013).

Dále jsme měřili „přímou délku ruky“ od bodu *interstyliion* k bodu *dactylion III* (definice bodů v Knussmann, 1988, p 242). Rozměr je standardizován jako rozměr č. 49 v Somatometrii (Knussmann, 1988, p 266). I tento způsob měření délky ruky je ve výzkumech často využíván (cf. Kanchan and Rastogi, 2009; Chikhalkar et al., 2010; Krishan et al., 2011; Ozaslan et al., 2012).

Také jsme se pokusili měřit délku ruky podle Snowa (2013, p 750). Ten ji sice měří jako vzdálenost od středu distální flexní rýhy zápěstí po špičku třetího prstu (cf. Agnihotri et al., 2008; Habib and Kamal, 2010; Ibeachu et al., 2011; Ishak et al., 2012), ale na stopách rukou „paleolitických umělců“. Rozměr je standardizován jako rozměr č. 49d v Somatometrii (Knussmann, 1988, p 266). Protože se na těchto stopách nemůže flexní rýha dochovat (viz technika tvorby stop v Snow, 2006), použil Snow jako

zástupný bod střed vzdálenosti mezi dny okrajových konkavit zřetelných na obou stranách stop, kde se dlaň připojuje k zápěstí (Snow, 2013, p 750).



Obr 3. Použité způsoby měření délky ruky. Černá barva – náš způsob měření; bílá barva – projektivní měření; světle šedá barva – přímá délka ruky; tmavě šedá barva – měření podle Snow, 2013; **isty** – interstyloid; **mid** – střed linie spojující dna konkavit; **proc** – processus styloideus radii; **sty rad** – styloid radiale; **sty ul** – styloid ulnare. Více informací viz text.

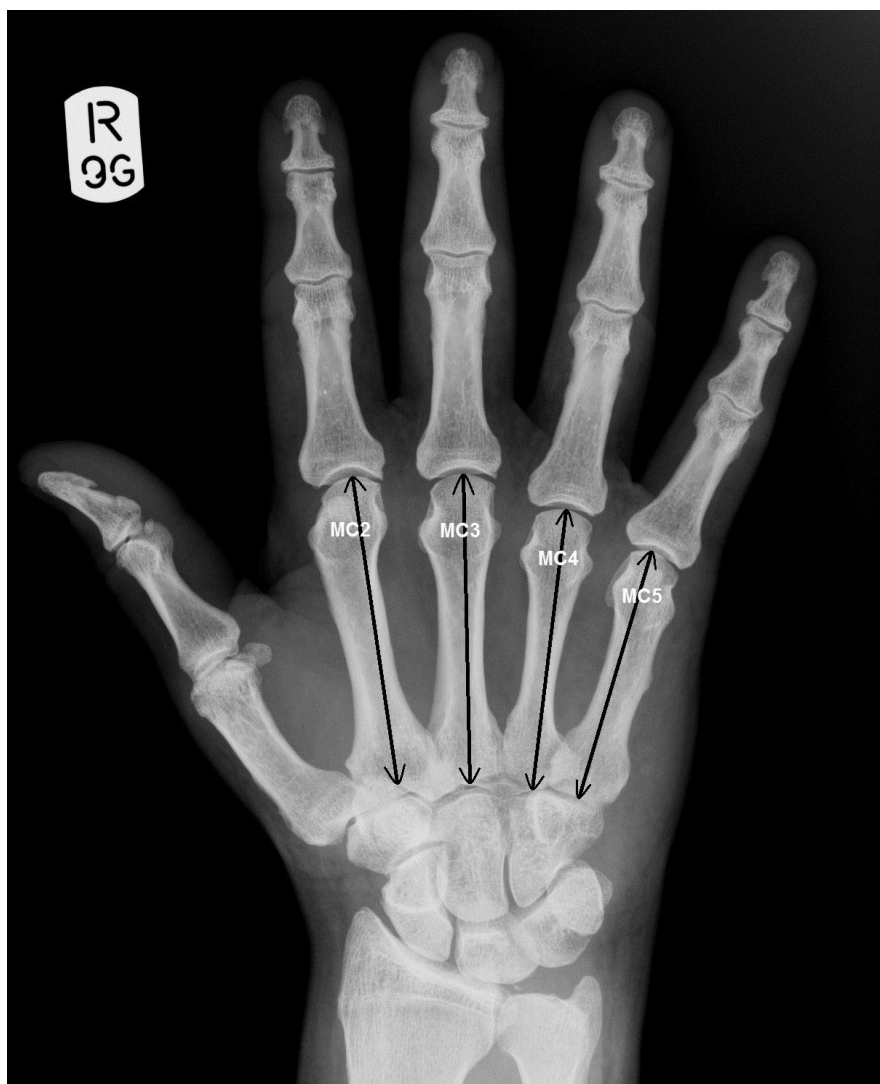
Zdroj: http://dxline.info/img/new_ail/hand-x-ray_1.jpg [cit. 10.8.2014]

Délku 2.–5. záprstní kosti jsme měřili jako vzdálenost od středu baze proximální kloubní plochy k vrcholu hlavice záprstní kosti podle Musgrave a Harneja (1978) (Obr. 4). Jedinou výjimkou z tohoto pravidla středu baze byla délka druhé záprstní kosti. Délku druhé záprstní kosti jsme měřili od vrcholu hlavice k nejdálšímu bodu proximální kloubní plochy – tzv. vrchol „střechy“ (cf. Musgrave and Harneja, 1978). Tento způsob měření je běžně používán v antropologických (Scheuer and Elkington, 1993; Roy et al., 1994; Lazenby and Smashnuk, 1999; Robertson et al., 2008; Alicioglu et al., 2009) i forenzních studiích (Manolis et al., 2009; El Morsi and Al Hawary, 2013).

Měření délky záprstních kostí od středu baze k vrcholu hlavice má oproti měření maximální délky záprstní kosti (s výjimkou třetí záprstní kosti i Harris et al., 1992; s výjimkou první záprstní kosti i Livshits et al., 1998; Case and Ross, 2007; McFadden and Bracht, 2009; Khanpetch et al., 2011) výhodu při porovnání sejmutých délek záprstních kostí z rentgenových snímků s osteologickým materiálem. Třetí záprstní kost je charakteristická výrazným výběžkem – *processus styloideus*. Tento výběžek je na běžně pořizovaných rentgenových snímcích ruky překryt *os metacarpi secundum* (Harris et al., 1992). Problém může nastat i při snímání délky maximální délky u špatně či hůře zachovalých kostí. U špatně zachovalých kostí dochází k degradaci či opotřebování nejdříve ostrých hran a výběžků (Behrensmeyer, 1978). To může být zásadním problémem při měření maximální délky kosti.

Statistická analýza navíc post hoc ukázala nejlepší intraobservační shodu měření délky ruky u metody měření od *processus styloideus radii*. Míra interobservační shody byla rovněž překvapivá. Také byl tento způsob měření délky ruky subjektivně rychlejší a lépe proveditelný. Způsob měření délky ruky podle Snowa (2013) navíc ukázal, že jej nelze aplikovat na všechny snímané ruky, resp. nebyli jsme schopni nalézt uváděná dna konkavit u 9 mužských a 9 ženských rukou. Všechny způsoby měření délky ruky vykazovaly relativně dobrou intraobservační shodu.

Měření délek z rentgenových snímků jsme prováděli v programu ImageJ 1.48k (Rasband, 2013). Do původních rentgenových snímků jsme v prohlížeči JiveX Review Web (VISUS Technology Transfer) vložili měřítko. Rentgenové snímky jsme převedli do formátu JPEG. V programu ImageJ jsme pomocí funkce *Straight line* a pomocí funkce *Set scale* v kontextovém menu *Analyze* udali na základě původního měřítka poměr pixelů vůči milimetrům. Délku ruky i délku jednotlivých kostí jsme měřili pomocí funkce *Straight line*. Naměřený rozměr jsme převedli do tabulky pomocí funkce *Measure* klávesovou zkratkou Ctrl+M. Naměřené rozměry z jednoho jedince jsme překopírovali do tabulkového software Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corp., 2007). Měření jsme prováděli na monitoru HP L1950 s rozlišením 1280x1024 DPI. Rentgenové snímky jsme, kromě otáčení do svislé polohy, nemuseli jinak upravovat.



Obr. 4. Měření délky záprstních kostí. MC2–5 – délka druhé až páté záprstní kosti.

Zdroj: http://dxline.info/img/new_ail/hand-x-ray.jpg [cit. 9.8.2014]

5.2 Statistické metody

Ke statistickému vyhodnocení míry intraobservační shody jsme použili metodu podle Blanda a Altmana (1986, 1996, 1999, 2003). Ti měří míru shody jako procento rozdílů měření ležících v intervalu dvou směrodatných odchylek (*limits of agreement*) od průměrného rozdílů měření. Průměrný rozdíl měření získáme vypočítáním průměru rozdílů mezi prvním a druhým měřením. Limity shody vypočítáme podle vzorce $\bar{d} \pm 1,96s$, kde \bar{d} je průměrný rozdíl a s je směrodatná chyba rozdílů (Bland and Altman, 1986). Očekáváme, že při normálním rozdělení bude 95 % hodnot ležet mezi horní a dolní limitou shody (Bland and Altman, 1986). Při nenormálním rozdělení

odstraníme 5 % extrémních hodnot rozdílů a zjistíme rozsah zbývajících hodnot (Bland and Altman, 1999). Interpretace výsledků shody měření metodou Bland-Altman závisí na rozsahu limit shody (Bland and Altman, 1986). Něco jiného znamenají limity shody ± 4 mm u měření maximální délky kosti pažní a u páté záprstní kosti. Podrobnější informace o metodě Bland-Altman lze dohledat v citovaných publikacích. Pro vypočítání míry intraobservační shody jsme použili Software pro hodnocení shody opakovaných měření kvantitativních dat (doplněk MS Excel), který vytvořil Patrik Galeta (2014).

Pro identifikování odlehlých hodnot jsme použili metodu označování odlehlých hodnot (*outlier labelling*), navrženou Hoaglinem s kolektivem autorů (1986; 1987). Odlehou hodnotu najdeme tak, že odečteme velikost prvního kvartilu od třetího kvartilu a vynásobíme koeficientem $g = 2,2$ (původně 1,5). Výsledek pak odečteme od prvního kvartilu a přičteme jej k třetímu kvartilu. Menší výsledná hodnota udává dolní limit, za nímž se nachází odlehlé hodnoty, větší výsledná hodnota udává horní limit, za nímž se nachází odlehlé hodnoty: $Q_3 + (Q_3 - Q_1) \times 2,2$ pro horní limit a $Q_1 - (Q_3 - Q_1) \times 2,2$ pro dolní limit.

Další použité statistické metody jsou Shapiro-Wilkův test normality, Levenův test homogenity rozptylů, dvouvýběrový t-test, Mann-Whitneyův U test, Pearsonova korelace, lineární regrese, Ramseyho RESET test linearitu vztahu, Durbin-Watsonův test nezávislosti, Breusch-Paganův test heteroskedasticity, testování odlehlých hodnot pomocí Mahalanobisovy vzdálenosti a Cookovy vzdálenosti. Statistické výpočty jsme prováděli v programu SPSS Statistics 21 (IBM Corp., 2012) a v programu Stata/SE 12.0. (2011). Jako tabulkový software pro tvorbu grafů a tabulek nám posloužil Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corp., 2007). Statistické výpočty jsme prováděli na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

6 VÝSLEDKY

6.1 Intraobservační a interobservační shoda

Intraobservační shodu jsme hodnotili pro délky druhé až páté záprstní kosti a pro délku ruky měřenou od *proc. styloideus radii* na 31 jedincích, zbývající metody měření délky ruky jsme hodnotili na 20 jedincích (Tab. 2). Minimální odstup mezi měřeními 31 jedinců byl 7 dní, mezi měřeními 20 jedinců čtyři dny. Výsledky měření intraobservační shody měření délky záprstních kostí ukazují na dobrou shodu měření – MAD od 0,39 mm pro třetí záprstní kost do 0,78 mm pro čtvrtou záprstní kost. Dobrá shoda měření byla i u délky ruky měřené od *proc. styloideus radii* – MAD = 0,75 mm a u délky ruky měřené od bodu *interstyliion* – MAD = 2,26 mm. Relativně dobrá shoda měření byla i u měření délky ruky podle Snowa (2013) – MAD = 3,33 mm a u měření délky ruky od bodu *styliion radiale* – MAD = 3,67 mm. Popisnou statistiku k rozdílům měření uvádíme v Tabulce 3.

Tab. 2. Hodnocení intraobservační shody (Bland-Altmanova metoda) [mm].

	HL_proc	HL_isty	HL_mid	HL_sty	MC2	MC3	MC4	MC5
Počet	31	20	20	20	31	31	31	31
Průměrný rozdíl	0,56	-0,19	0,85	-0,45	0,05	0,07	-0,10	-0,13
Sm. odchylka rozdílů	1,68	5,50	6,36	7,32	0,86	0,80	1,69	1,06
Dolní limit shody	-2,73	-10,97	-11,63	-14,81	-1,63	-1,51	-3,41	-2,20
Horní limit shody	3,86	10,60	13,32	13,90	1,72	1,64	3,21	1,95
MAD	0,75	2,26	3,33	3,67	0,57	0,39	0,79	0,55
Dolní IS MAD	0,16	-0,08	0,78	0,72	0,34	0,13	0,24	0,22
Horní IS MAD	1,34	4,60	5,88	6,62	0,80	0,65	1,34	0,89

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstyliion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *styliion radiale*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

Interobservační shodu jsme hodnotili na 21, resp. 20 jedincích (Tab. 4). Hodnotili jsme ji pouze pro měření délky záprstních kostí a pro měření délky ruky od

proc. styloideus radii. Pro měření délky záprstních kostí se průměrný absolutní rozdíl pohyboval od 0,46 mm pro třetí záprstní kost po 0,7 mm pro druhou záprstní kost. Při hodnocení interobservační shody měření délky páté záprstní kosti jsme nevyhodnocovali jedno měření. Jednalo se o jedince č. 12 a rozdíl mezi měřením prvním badatelem a druhým badatelem činil -6,3 mm a naprosto se odchyloval od ostatních měření. Interobservační shoda pro měření délky ruky od *proc. styloideus radii* byla rovněž dobrá – MAD = 1,24 mm.

Tab. 3. Rozdíly mezi prvním a druhým měřením délky ruky různými metodami [mm].

	Rozdíl HL_proc	Rozdíl HL_isty	Rozdíl HL_mid	Rozdíl HL_sty
Počet	20	20	20	20
Minimum	-0,74	-17,19	-14,82	-14,95
První kvartil	-0,04	-0,17	0,02	-0,26
Medián	0,24	0,15	0,74	0,33
Průměr	0,91	-0,19	0,85	-0,45
Sm. odchylka	2,019	5,503	6,365	7,322
Třetí kvartil	0,51	0,41	1,67	0,94
Maximum	5,96	15,75	20,90	22,11

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstyliion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *styliion radiale*;

Tab. 4. Hodnocení interobservační shody (Bland-Altmanova metoda) [mm].

	HL_proc	MC2	MC3	MC4	MC5
Počet	21	21	21	21	20
Průměrný rozdíl	0,40	0,04	0,05	0,11	0,08
Sm. odchylka rozdílů	1,87	0,99	0,67	0,96	0,79
Dolní limit shody	-3,27	-1,90	-1,26	-1,76	-1,47
Horní limit shody	4,06	1,97	1,36	1,99	1,64
MAD	1,24	0,70	0,46	0,69	0,61
Dolní IS MAD	0,58	0,39	0,24	0,39	0,37
Horní IS MAD	1,89	1,01	0,68	0,99	0,84

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstyliion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *styliion radiale*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

6.2 Pohlavní dimorfismus

Věkové složení zkoumaného souboru uvádíme spolu s grafem a popisnou statistikou v kapitole materiál. Testování předpokládané normality rozložení věku se nepotvrdilo ani u mužů ($W = 0,936$; $p = 0,01$; 50 stupňů volnosti), ani u žen ($W = 0,948$; $p = 0,029$; 50 stupňů volnosti). Proto jsme rozdíly věku obou podsouborů porovnávali neparametrickým Mann-Whitneyovým testem. Výsledky statistického porovnání mediánů ukazují, že muži, zastoupení v souboru, jsou statisticky signifikantně mladší než ženy ze stejného souboru ($U = 805$; $p = 0,002$).

Z analýzy dat vyplývá, že muži mají absolutně delší ruce i druhou až pátou záprstní kost (Tab. 5). Délky kostí i délky ruky měly normální rozdělení $p > 0,1$ (Shapiro-Wilkův test) a neidentifikovali jsme u nich žádné odlehlé hodnoty (*outlier labelling* (Hoaglin et al., 1986; Hoaglin and Iglewicz, 1987)). Protože měly porovnávané proměnné homogenní rozptyly (Levenův test, $p > 0,08$), použili jsme pro výpočet statistické signifikance rozdílů dvouvýběrový t-test s nepárovým uspořádáním. Výsledky testu ukazují na signifikantní odlišnost u všech měřených rozměrů mezi muži a ženami: $p < 0,001$ (Tab. 6). Muži mají statisticky signifikantně delší ruce i druhou až pátou záprstní kost než ženy.

Tab. 5. Popisná statistika naměřených délek rukou a záprstních kostí u mužů a u žen [mm]†.

	HL_proc	HL_isty	HL_mid‡	HL_sty	MC2	MC3	MC4	MC5
<i>Muži</i>								
Průměr	196,99	199,20	192,00	196,17	71,18	68,87	61,20	56,26
Sm. odchylka	9,125	9,098	9,675	9,477	3,775	3,742	3,497	3,727
Medián	196,22	199,26	193,22	196,04	71,33	68,85	61,14	56,77
<i>Ženy</i>								
Průměr	179,27	180,50	173,53	178,00	65,42	62,60	55,89	51,56
Sm. odchylka	8,639	7,943	7,520	8,504	3,399	3,424	2,773	2,444
Medián	180,19	182,03	173,57	178,97	65,52	62,77	56,21	52,22

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstyliion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *styliion radiale*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

† $n = 50$

‡ $n = 41$

Tab. 6. Testování normality rozdělení naměřených délek, homogenity rozptylů naměřených délek a porovnání naměřených délek mezi muži a ženami.

	HL_proc	HL_isty	HL_mid	HL_sty	MC2	MC3	MC4	MC5
<i>muži (normalita rozložení, S-W test†)</i>								
<i>W</i>	0,994	0,982	0,974‡	0,991	0,985	0,982	0,99	0,969
<i>p</i>	0,996	0,622	0,476‡	0,96	0,756	0,65	0,937	0,207
<i>ženy (normalita rozložení, S-W test†)</i>								
<i>W</i>	0,978	0,978	0,97‡	0,991	0,989	0,988	0,97	0,964
<i>p</i>	0,478	0,463	0,333‡	0,96	0,924	0,899	0,233	0,127
<i>homogenita rozptylů délek mezi muži a ženami (Levenův test*)</i>								
<i>F</i>	0,047	0,991	3,044**	0,284	0,461	0,391	1,599	2,989
<i>p</i>	0,83	0,322	0,085**	0,595	0,449	0,533	0,209	0,087
<i>porovnání délek u mužů a žen (dvouvýběrový t-test*)</i>								
<i>t</i>	9,975	10,947	9,649**	10,093	8,012	8,740	8,409	7,453
<i>p</i>	< 0,001	< 0,001	< 0,001**	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstyliion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *styliion radiale*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

† 50 stupňů volnosti

‡ 41 stupňů volnosti

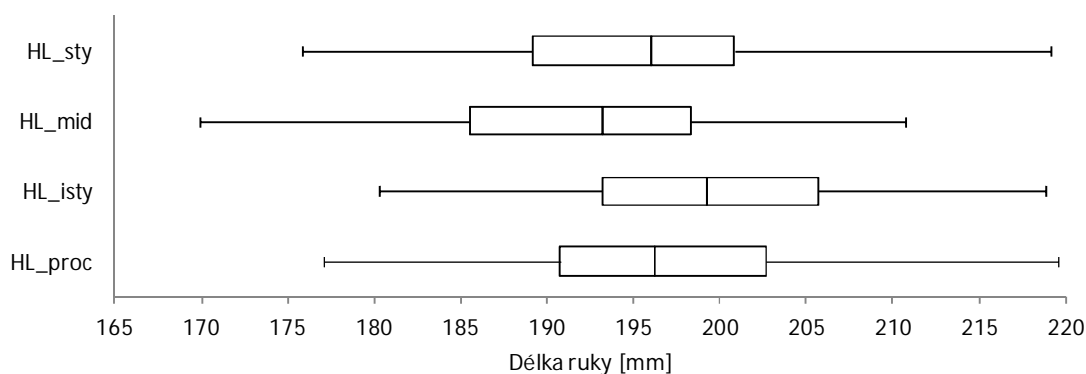
* 98 stupňů volnosti

** 80 stupňů volnosti

6.3 Délka ruky a záprstních kostí mužů

Výsledky měření délky ruky mužů uvádíme v Grafu 2. Popisnou statistiku k měření délky ruky mužů uvádíme v Tabulce 5. Délku ruky jsme měřili čtyřmi způsoby. Průměrně nejdelší nám vyšla ruka měřená od bodu *interstyliion* k bodu *dactyliion III* ($199,2 \pm 9,1$ mm). Menší průměrnou délku ruky měly shodně dva další způsoby měření. Průměrně podobně dlouhá ruka nám vyšla u měření od vrcholu *proc. styloideus radii* k bodu *dactyliion III* ($197 \pm 9,1$ mm) a od bodu *styliion* k bodu *dactyliion III* ($196,2 \pm 9,5$ mm). Průměrně nejkratší nám vyšla délka ruky měřená podle Snowa (2013), tedy od středu linie spojující konkavity po stranách zápěstí ($192 \pm 9,7$ mm). Tímto způsobem měření délky ruky jsme nebyli schopni změřit 9 rukou. Shapiro-Wilkův test normality nezamítl nulovou hypotézu normality rozložení

hodnot u žádného způsobu měření délky ruky (Tab. 6). Levenův test homogenity rozptylu ukázal na homogenitu jejich rozptylu (Tab. 6). Výsledky měření délky ruky podle Snowa (2013) jsou jako jediné statisticky signifikantně odlišné (t-test, $p < 0,05$). Průměrná délka ruky získaná ostatními způsoby měření délky se od sebe statisticky signifikantně nelišila. Výsledky testování dvouvýběrovým t-testem s nepárovým uspořádáním uvádíme v Tabulce 7.



Graf 2. Rozložení naměřených délek ruky u mužů. **HL_proc** – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstylion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snowa (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *stylion radiale*.

Tab. 7. Testování rozdílu průměrů délek ruky mužů různými metodami (t-test*).

		HL_isty	HL_mid	HL_sty
HL_proc	<i>t</i>	-1,212	2,529**	0,44
	<i>p</i>	0,288	0,013**	0,661
HL_isty	<i>t</i>		3,652**	1,629
	<i>p</i>		< 0,01**	0,106
HL_mid	<i>t</i>			-2,072**
	<i>p</i>			0,041**

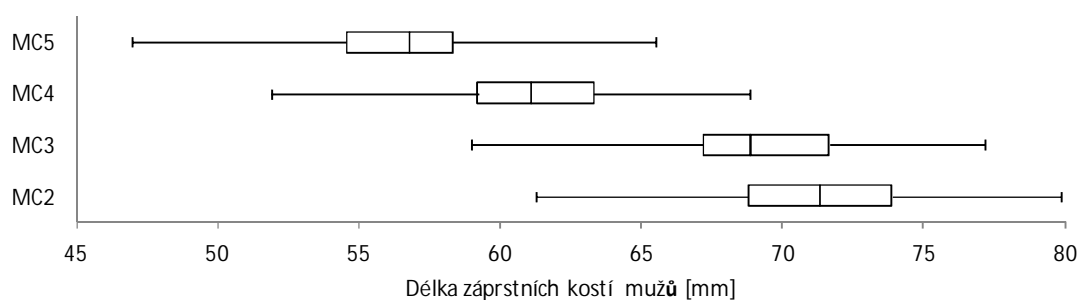
HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstylion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *stylion radiale*.

* 98 stupňů volnosti

** 80 stupňů volnosti

Délku záprstních kostí shrnujeme v Tabulce 5. a v Grafu 3. Průměrně nejdelší ze čtyř měřených záprstních kostí (druhá až pátá) byla druhá záprstní kost ($71,2 \pm 3,78$ mm). Kratší byla třetí záprstní kost ($68,9 \pm 3,74$ mm). Ještě kratší byla čtvrtá záprstní kost ($61,2 \pm 3,5$ mm) a nejkratší byla pátá záprstní kost

($56,3 \pm 3,73$ mm). Shapiro-Wilkův test normality nezamítl nulovou hypotézu normality rozložení hodnot délek u žádné ze záprstních kostí, Levenův test homogenity rozptylu ukázal na homogenitu jejich rozptylu (Tab. 6). Také jsme neidentifikovali žádné odlehle hodnoty (*outlier labelling* (Hoaglin et al., 1986; Hoaglin and Iglewicz, 1987)). Všechny rozdíly v průměrné délce záprstních kosti byly statisticky signifikantní (t-test, $p < 0,01$) (Tab 8).



Graf 3. Rozložení naměřených délek u druhé až páté záprstní kosti u mužů. MC2–5 – druhá až pátá záprstní kost.

Tab. 8. Testování rozdílů průměrů délek záprstních kostí mužů (t-test*).

		MC3	MC4	MC5
MC2	<i>t</i>	3,08	13,717	19,888
	<i>p</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01
MC3	<i>t</i>		10,586	16,878
	<i>p</i>		< 0,01	< 0,01
MC4	<i>t</i>			6,832
	<i>p</i>			< 0,01

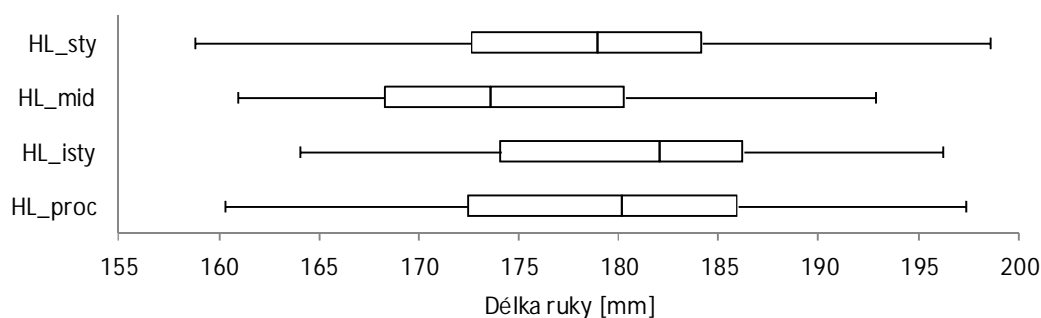
MC2–5 – délka druhé až páté záprstní kosti.

* 98 stupňů volnosti.

6.4 Délka ruky a záprstních kostí žen

Výsledky měření délky ruky žen uvádíme v Grafu 4. Popisnou statistiku k měření délky ruky žen uvádíme v Tabulce 5. Délku ruky jsme měřili čtyřmi způsoby. Průměrně nejdelší nám vyšla ruka měřená od bodu *interstyliion* k bodu *dactylion III* ($180,5 \pm 7,94$ mm). Podobnou průměrnou délku ruky jsme naměřili od vrcholu *proc. styloideus ossis radii* k bodu *dactylion III* ($179,3 \pm 8,6$ mm). Kratší průměrnou délku

ruky jsme naměřili od bodu *stylion* k bodu *dactylion III* ($178 \pm 8,5$ mm). Průměrně nejkratší nám vyšla délka ruky měřená podle Snowa (2013), tedy od středu linie spojující konkavitu po stranách zápěstí ($173,5 \pm 7,52$ mm). Tímto způsobem měření délky ruky jsme nebyli schopni změřit 9 dělek rukou. Shapiro-Wilkův test normality nezamítl nulovou hypotézu normality rozložení hodnot u žádného způsobu měření délky ruky (Tab. 6). Levenův test homogenity rozptylu ukázal na homogenitu jejich rozptylu (Tab. 6). Výsledky měření délky ruky podle Snowa (2013) jsou jako jediné statisticky signifikantně odlišné (t-test, $p < 0,05$). Průměrná délka ruky získaná ostatními způsoby měření délky se od sebe statisticky signifikantně neliší. Výsledky testování dvouvýběrovým t-testem s nepárovým uspořádáním uvádíme v Tabulce 9.



Graf 4. Rozložení naměřených délek ruky u žen. **HL_proc** – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstylion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snowa (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *stylion radiale*.

Tab. 9. Testování shody měření délek ruky žen různými metodami (t-test*).

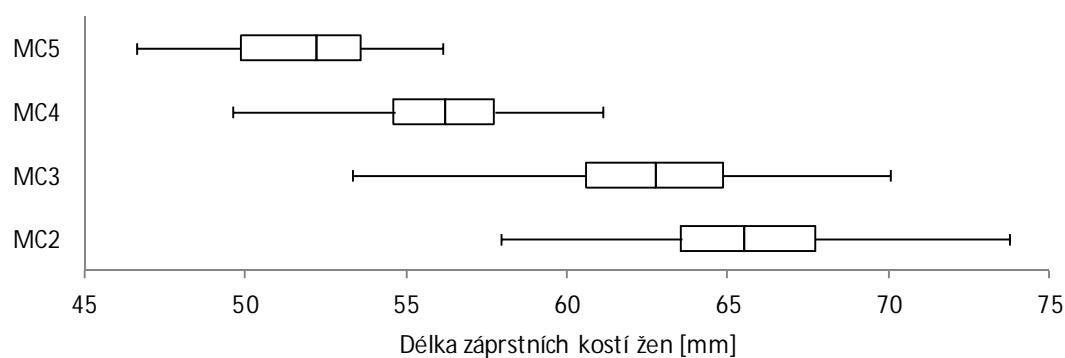
		HL_isty	HL_mid	HL_sty
HL_proc	<i>t</i>	-0,745	3,338**	0,739
	<i>p</i>	0,458	< 0,01**	0,461
HL_isty	<i>t</i>		4,266**	1,522
	<i>p</i>		< 0,01**	0,131
HL_mid	<i>t</i>			-2,652**
	<i>p</i>			0,01**

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstylion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *stylion radiale*.

* 98 stupňů volnosti

** 80 stupňů volnosti

Délku záprstních kostí shrnujeme v Tabulce 5 a v Grafu 5. Průměrně nejdelší ze čtyř měřených záprstních kostí (druhá až pátá) byla druhá záprstní kost ($65,4 \pm 3,39$ mm). Kratší byla třetí záprstní kost ($62,6 \pm 3,42$ mm). Ještě kratší byla čtvrtá záprstní kost ($55,9 \pm 2,7$ mm) a nejkratší byla pátá záprstní kost ($51,6 \pm 2,44$ mm). Shapiro-Wilkův test normality nezamítl nulovou hypotézu normality rozložení hodnot délek u žádné ze záprstních kostí, Levenův test homogenity rozptylu ukázal na homogenitu jejich rozptylu (Tab. 6). Také jsme neidentifikovali žádné odlehle hodnoty (*outlier labelling* (Hoaglin et al., 1986; Hoaglin and Iglewicz, 1987)). Všechny rozdíly v průměrné délce mezi záprstními kostmi byly statisticky významné (t-test, $p < 0,01$) (Tab. 10).



Graf 5. Rozložení naměřených délek u druhé až páté záprstní kosti u žen. MC2–5 – druhá až pátá záprstní kost.

Tab. 10. Testování rozdílů průměrů délek záprstních kostí žen (t-test*).

		MC3	MC4	MC5
MC2	<i>t</i>	3,947	15,232	23,186
	<i>p</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01
MC3	<i>t</i>		10,662	18,243
	<i>p</i>		< 0,01	< 0,01
MC4	<i>t</i>			8,174
	<i>p</i>			< 0,01

MC2–5 – délka druhé až páté záprstní kosti.

* 98 stupňů volnosti.

6.5 Korelace a lineární regrese

Předpoklady pro provedení lineární regrese byly splněny téměř u všech zkoumaných vztahů. Pro vztah mezi délkou druhé záprstní kosti a délkou ruky měřenou od bodu *styliion radiale* a pro vztah mezi délkou páté záprstní kosti a délkou ruky měřenou od bodu *styliion radiale* u žen jsme nepřijali na základě Shapiro-Wilkova testu nulovou hypotézu o normalitě rozdělení reziduí. Tedy v těchto dvou případech neměla rezidua normální rozdělení, a proto jsme nemohli provést lineární regresi. Žádný ze vztahů ostatních proměnných neodporoval podmínkám pro provedení lineární regrese (Tab. 11–14). Linearitu vztahu mezi proměnnými potvrdil, resp. nezamítl, Ramseyho RESET test. Nezávislost vztahu mezi proměnnými nebyla rovněž v žádném případě zamítnuta Durbin-Watsonovým testem. Tabulky s kritickými hodnotami pro Durbin-Watsonův test jsme používali podle Savina Whitea (1977).

Testování přítomnosti odlehlých hodnot v jednotlivých vztazích mezi proměnnými jsme prováděli pomocí Mahalanobisovy a Cookovy vzdálenosti. Těmito metodami byla prokázána přítomnost odlehlých hodnot. U mužů to byli 4 jedinci ve vztahu druhé záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa (2013) a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 91, 106, 110 a 138). Dalšími odlehlými hodnotami byli 4 jedinci ve vztahu páté záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 91, 110, 133 a 138). Dalšími odlehlými hodnotami byli 3 jedinci ve vztahu třetí záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 91, 106 a 138). Posledními odlehlými hodnotami byli 3 jedinci ve vztahu čtvrté záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 91, 110 a 138).

U žen byly odlehlými hodnotami 4 jedinci ve vztahu druhé záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa (2013) a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 20, 70, a 116, jedinec č. 83 nebyl odlehnut ve vztahu k délce ruky podle Snowa). Dalšími odlehlými hodnotami byli 3 jedinci ve vztahu třetí záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 20, 70 a 116). Další odlehlou hodnotou byl jedinec č. 70 ve vztahu čtvrté záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus*

radii, od bodu *interstylion*, podle Snowa a od bodu *stylion radiale*. Posledními odlehlou hodnotu byl jedinec č. 70 ve vztahu páté záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstylion*, podle Snowa a od bodu *stylion radiale*.

Homoskediscitu rozložení reziduí jsme testovali Breusch-Paganovým testem. Homoskedesticita nebyla zamítnuta u žádného ze vztahů. Posledním testovaným předpokladem byl Shapiro-Wilkův test normality rozložení reziduí. Zde jsme nezamítli normalitu rozložení u téměř všech vztahů. Normalita rozložení reziduí byla zamítnuta u žen u vztahu délky druhé záprstní kosti a délky ruky měřené od body *stylion radiale* a u vztahu délky páté záprstní kosti a délky ruky měřené od bodu *stylion radiale*. Pro tyto dva vztahy jsme nevytvořili regresní rovnice.

Tab. 11. Ramseyho RESET test linearity vztahů*.

		HL_proc	HL_isty	HL_mid**	HL_sty
<i>muži</i>					
MC2	<i>F</i>	0,71	1,47	0,68	0,63
	<i>p</i>	0,55	0,24	0,57	0,60
MC3	<i>F</i>	1,45	0,34	0,47	1,01
	<i>p</i>	0,24	0,79	0,7	0,4
MC4	<i>F</i>	1,38	0,39	0,38	1,21
	<i>p</i>	0,26	0,76	0,77	0,32
MC5	<i>F</i>	1,27	0,8	2,12	1,31
	<i>p</i>	0,3	0,5	0,12	0,28
<i>ženy</i>					
MC2	<i>F</i>	0,54	0,81	0,42	1,39
	<i>p</i>	0,65	0,5	0,74	0,26
MC3	<i>F</i>	0,67	1,29	0,55	0,75
	<i>p</i>	0,57	0,29	0,65	0,53
MC4	<i>F</i>	0,88	1,2	1,98	1,33
	<i>p</i>	0,46	0,32	0,14	0,28
MC5	<i>F</i>	0,02	0,14	0,9	0,03
	<i>p</i>	> 0,99	0,93	0,45	0,99

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstylion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *stylion radiale*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

* $n = 50$

** $n = 41$

Tab. 12. Durbin-Watsonův test nezávislosti proměnných.

		HL_proc	HL_isty	HL_mid	HL_sty
<i>muži</i>					
MC2	<i>n</i>	46	46	37	46
	<i>d</i>	1,759	1,889	1,921	1,861
MC3	<i>n</i>	47	47	38	47
	<i>d</i>	1,803	1,892	1,675	1,93
MC4	<i>n</i>	47	47	38	47
	<i>d</i>	1,897	2,174	1,735	2,064
MC5	<i>n</i>	46	46	37	46
	<i>d</i>	1,788	2,029	1,883	1,926
<i>ženy</i>					
MC2	<i>n</i>	46	46	38	46
	<i>d</i>	1,571	1,649	1,968	1,689
MC3	<i>n</i>	47	47	38	47
	<i>d</i>	1,868	1,859	1,945	1,878
MC4	<i>n</i>	49	49	40	49
	<i>d</i>	1,729	1,742	1,948	1,765
MC5	<i>n</i>	49	49	40	49
	<i>d</i>	1,899	2,048	1,65	1,965

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstylion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *stylion radiale*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

Tab. 13. Breusch-Paganův test homoskedasticity.

		HL_proc	HL_isty	HL_mid	HL_sty
<i>muži</i>					
MC2	<i>n</i>	46	46	37	46
	χ^2	0,03	0,00	0,42	1,04
	<i>p</i>	0,86	0,95	0,52	0,31
MC3	<i>n</i>	47	47	38	47
	χ^2	0,00	0,01	0,28	0,02
	<i>p</i>	0,99	0,91	0,60	0,90
MC4	<i>n</i>	47	47	38	47
	χ^2	0,03	0,30	0,51	0,11
	<i>p</i>	0,87	0,58	0,48	0,74
MC5	<i>n</i>	46	46	37	46
	χ^2	0,00	0,87	0,02	0,02
	<i>p</i>	0,97	0,35	0,88	0,88
<i>ženy</i>					
MC2	<i>n</i>	46	46	38	46
	χ^2	0,01	0,00	0,19	0,54
	<i>p</i>	0,92	0,99	0,66	0,46
MC3	<i>n</i>	47	47	38	47
	χ^2	0,32	0,49	1,59	0,24
	<i>p</i>	0,57	0,48	0,21	0,62
MC4	<i>n</i>	49	49	40	49
	χ^2	0,06	0,20	1,17	0,11
	<i>p</i>	0,81	0,66	0,28	0,74
MC5	<i>n</i>	49	49	40	49
	χ^2	0,54	0,94	0,13	2,40
	<i>p</i>	0,46	0,33	0,72	0,12

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstyliion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *styliion radiale*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

Tab. 14. Shapiro-Wilkův test normality rozdělení reziduí.

		HL_proc	HL_isty	HL_mid	HL_sty
<i>muži</i>					
MC2	<i>n</i>	46	46	37	46
	<i>W</i>	0,979	0,982	0,955	0,975
	<i>p</i>	0,566	0,670	0,135	0,406
MC3	<i>n</i>	47	47	38	47
	<i>W</i>	0,992	0,965	0,965	0,988
	<i>p</i>	0,989	0,163	0,275	0,915
MC4	<i>n</i>	47	47	38	47
	<i>W</i>	0,966	0,955	0,954	0,977
	<i>p</i>	0,185	0,069	0,122	0,458
MC5	<i>n</i>	46	46	37	46
	<i>W</i>	0,973	0,983	0,955	0,985
	<i>p</i>	0,362	0,716	0,136	0,800
<i>ženy</i>					
MC2	<i>n</i>	46	46	38	46
	<i>W</i>	0,959	0,959	0,954	0,941
	<i>p</i>	0,106	0,106	0,122	0,022
MC3	<i>n</i>	47	47	38	47
	<i>W</i>	0,966	0,963	0,978	0,954
	<i>p</i>	0,182	0,141	0,640	0,060
MC4	<i>n</i>	49	49	40	49
	<i>W</i>	0,972	0,984	0,989	0,959
	<i>p</i>	0,286	0,741	0,963	0,084
MC5	<i>n</i>	49	49	40	49
	<i>W</i>	0,966	0,967	0,967	0,931
	<i>p</i>	0,171	0,189	0,289	0,007

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **HL_isty** – délka ruky od bodu *interstyliion*; **HL_mid** – délka ruky podle Snow (2013); **HL_sty** – délka ruky od bodu *styliion radiale*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

Výčet regresních rovnic pro odhad délky ruky z jednotlivých záprstních kostí spolu s Pearsonovým korelačním koeficientem uvádíme v Tabulkách 12–15. Regresní rovnici pro odhad délky ruky, měřené metodou od bodu *styliion radiale*, jsme nevypočítali pro délku druhé záprstní kosti a pro délku páté záprstní kosti. Pearsonovy

korelační koeficienty ukazují na statistickou signifikanci všech korelací. Výčet grafů s regresními přímkami uvádíme za tabulkami s regresními rovnicemi (Graf 6–13).

Tab. 15. Regresní rovnice pro odhad délky ruky od *proc. styloideus radii* k bodu *dactylion III* ze záprstních kostí.

	HL_proc					
	N	Slope	Y-Intercept	SEE	<i>r</i>	<i>R</i> ²
<i>muži</i>						
MC2	46	1,74x	72,954	5,47	0,69	0,48
MC3	47	1,714x	78,988	6,10	0,67	0,44
MC4	47	1,801x	86,75	5,94	0,67	0,45
MC5	46	1,896x	89,92	6,00	0,67	0,45
<i>ženy</i>						
MC2	46	1,979x	49,839	4,93	0,74	0,55
MC3	47	2,098x	47,936	4,86	0,78	0,60
MC4	49	2,233x	54,589	5,86	0,71	0,51
MC5	49	2,585x	46,116	5,66	0,74	0,54

HL_proc – délka ruky od *proc. styloideus radii*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

Tab. 16. Regresní rovnice pro odhad délky ruky od bodu *interstyliion* k bodu *dactylion III* ze záprstních kostí.

	HL_isty					
	N	Slope	Y-Intercept	SEE	<i>r</i>	<i>R</i> ²
<i>muži</i>						
MC2	46	1,964x	59,305	5,33	0,74	0,55
MC3	47	1,93x	66,317	5,69	0,73	0,54
MC4	47	1,932x	80,928	5,89	0,70	0,49
MC5	46	1,957x	88,822	6,12	0,68	0,46
<i>ženy</i>						
MC2	46	1,96x	52,4	4,49	0,77	0,59
MC3	47	2,002x	55,186	4,44	0,79	0,63
MC4	49	2,112x	62,499	5,30	0,73	0,53
MC5	49	2,47x	53,238	5,03	0,76	0,58

HL_isty – délka ruky od bodu *interstyliion*; **MC2–5** – délka druhé až páté záprstní kosti.

Tab. 17. Regresní rovnice pro odhad délky ruky podle Snowa (2013) ze zápřstních kostí.

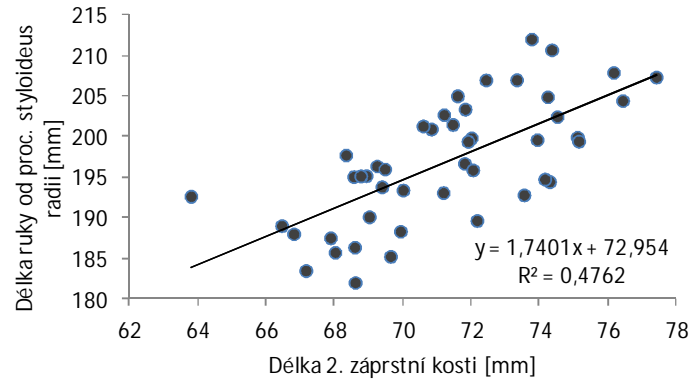
		HL_mid					
		N	Slope	Y-Intercept	SEE	<i>r</i>	<i>R</i> ²
<i>muži</i>							
MC2	37	1,962x	52,033	6,58	0,64	0,41	
MC3	38	1,774x	70,148	6,85	0,65	0,42	
MC4	38	1,986x	70,362	6,66	0,66	0,44	
MC5	37	2,228x	66,176	6,45	0,70	0,49	
<i>ženy</i>							
MC2	38	1,835x	53,222	4,55	0,78	0,61	
MC3	38	1,799x	60,555	4,91	0,74	0,55	
MC4	40	1,899x	67,122	5,33	0,72	0,52	
MC5	40	2,197x	60,06	5,45	0,70	0,50	

HL_mid – délka ruky podle Snow (2013); **MC2–5** – délka druhé až páté zápřstní kosti.

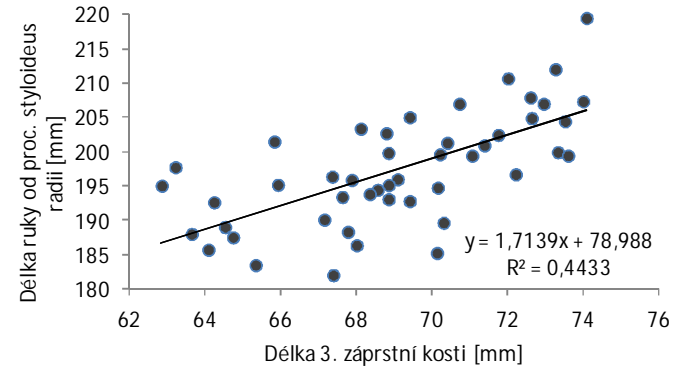
Tab. 18. Regresní rovnice pro odhad délky ruky od bodu *stylion radiale* k bodu *dactylion III* ze zápřstních kostí.

		HL_sty					
		N	Slope	Y-Intercept	SEE	<i>r</i>	<i>R</i> ²
<i>muži</i>							
MC2	46	1,787x	68,77	6,01	0,67	0,44	
MC3	47	1,773x	74,085	6,58	0,65	0,42	
MC4	47	1,820x	84,701	6,47	0,64	0,41	
MC5	46	1,934x	86,903	6,49	0,65	0,42	
<i>ženy</i>							
MC2							
MC3	47	1,863x	61,501	5,59	0,69	0,48	
MC4	49	1,913x	71,237	6,41	0,62	0,39	
MC5							

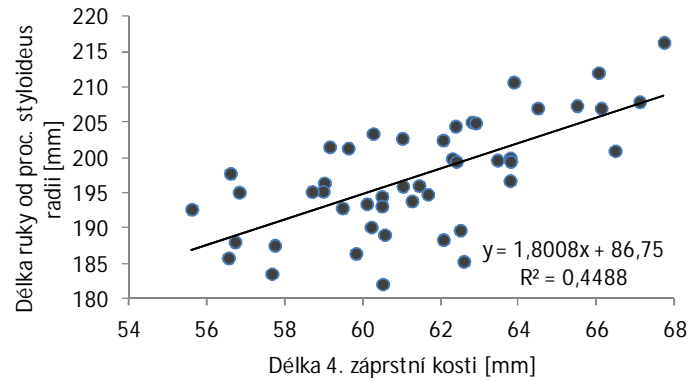
HL_sty – délka ruky od bodu *stylion radiale*; **MC2–5** – délka druhé až páté zápřstní kosti.



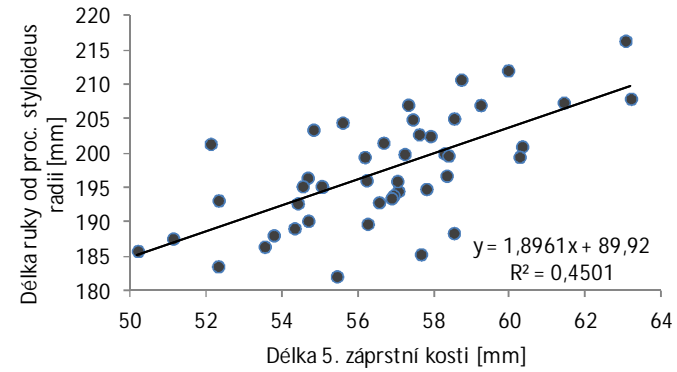
A.



B.

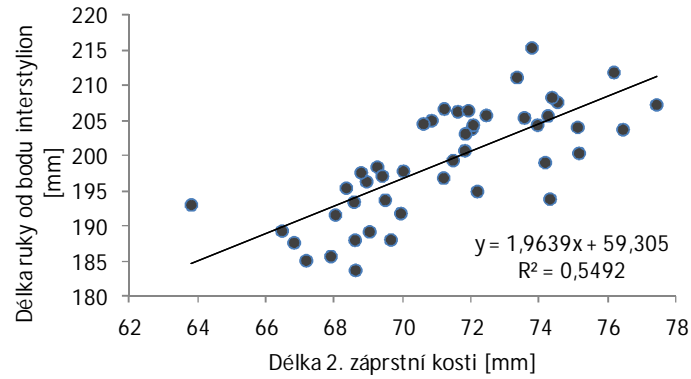


C.

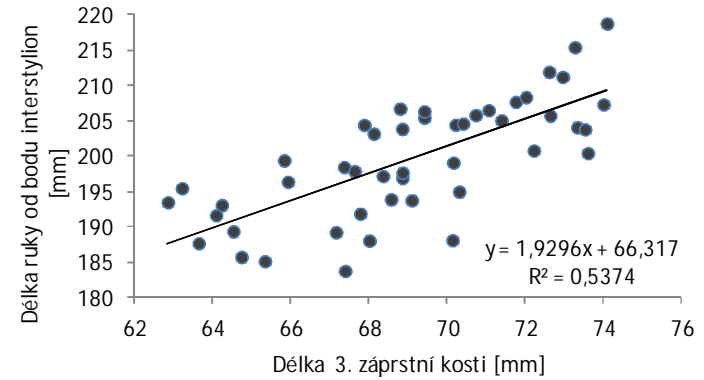


D.

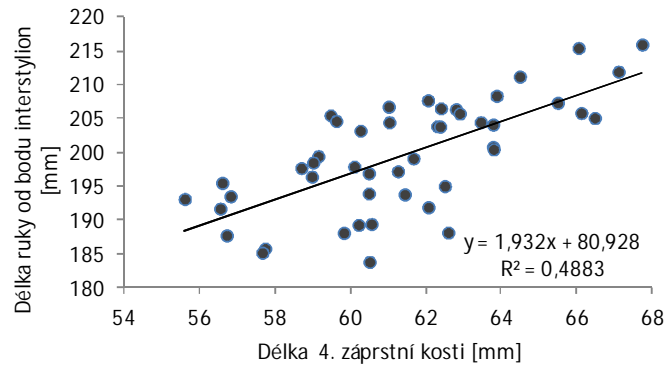
Graf 6 A.–D. Bodové grafy proložené regresní přímkou s rovnicí pro odhad délky ruky ze záprstních kostí u mužů. Délka ruky měřena od processus styloideus radii.



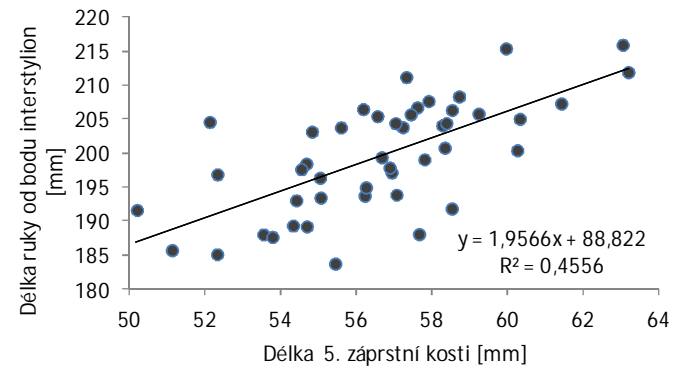
A.



B.

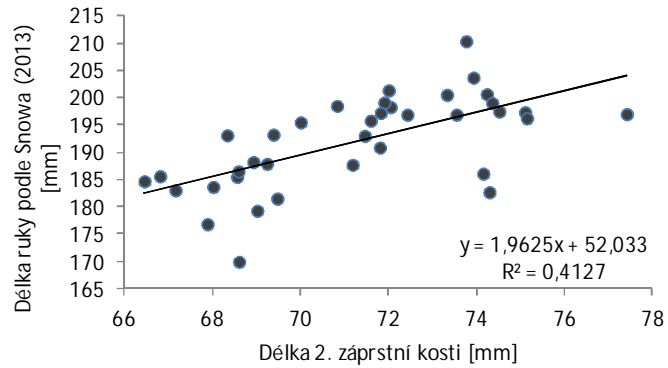


C.

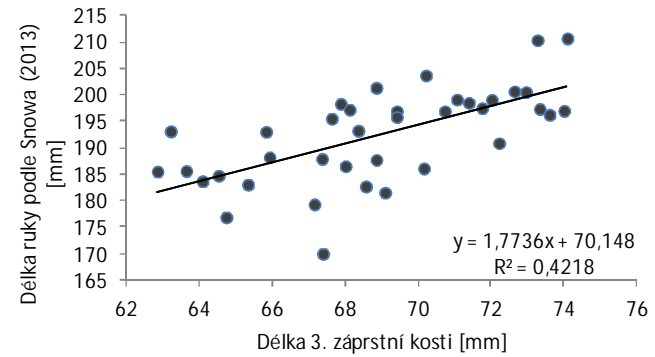


D.

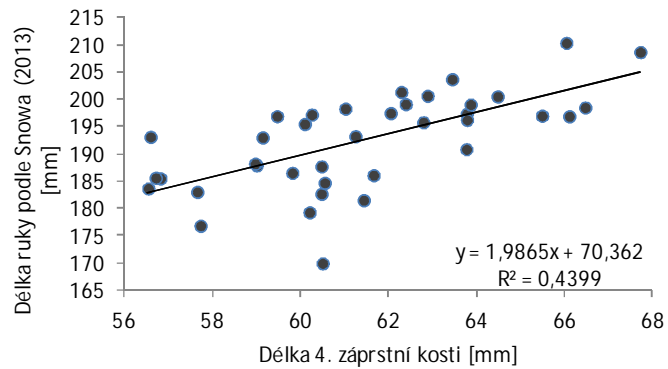
Graf 7 A.–D. Bodové grafy proložené regresní přímkou s rovnicí pro odhad délky ruky ze záprstních kostí u mužů. Délka ruky měřena od bodu interstyliion.



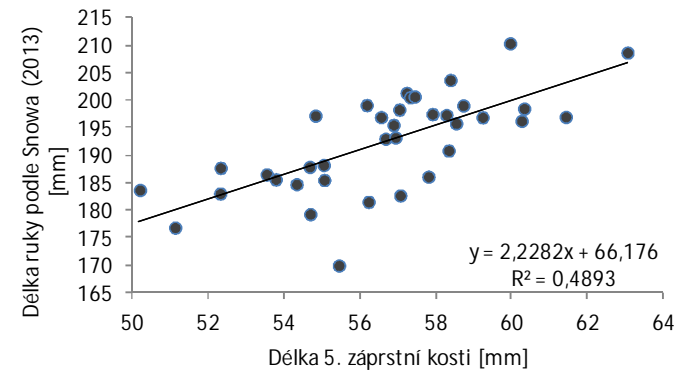
A.



B.

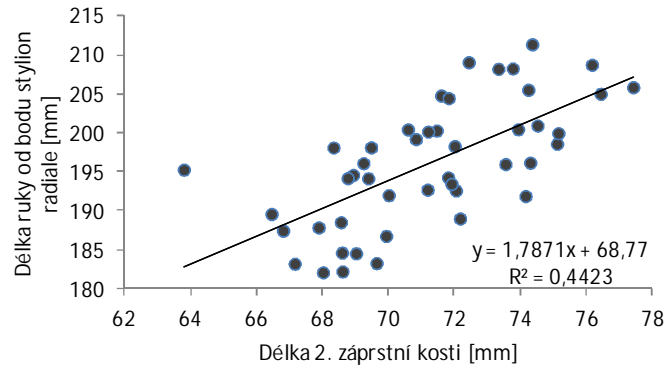


C.

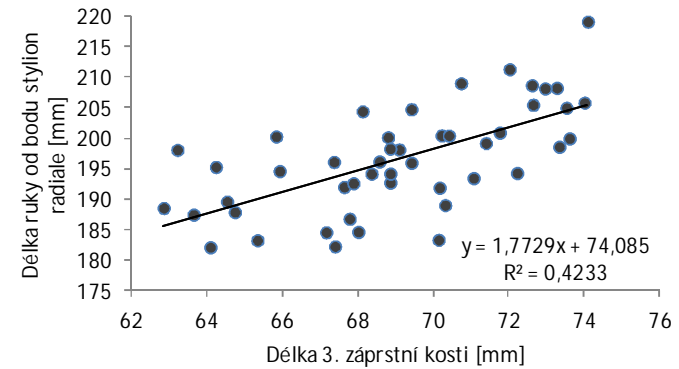


D.

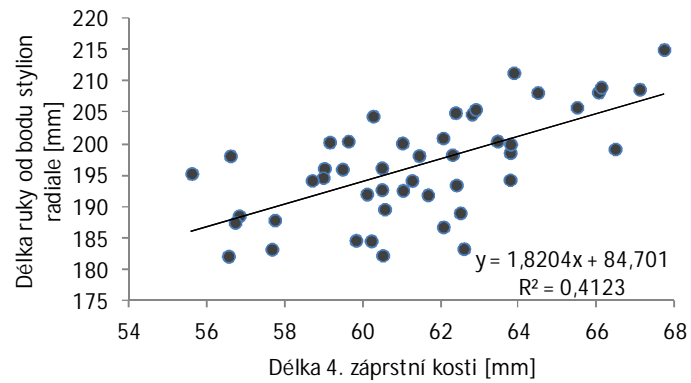
Graf 8 A.–D. Bodové grafy proložené regresní přímkou s rovnicí pro odhad délky ruky ze záprstních kostí u mužů. Délka ruky měřena podle Snowa (2013).



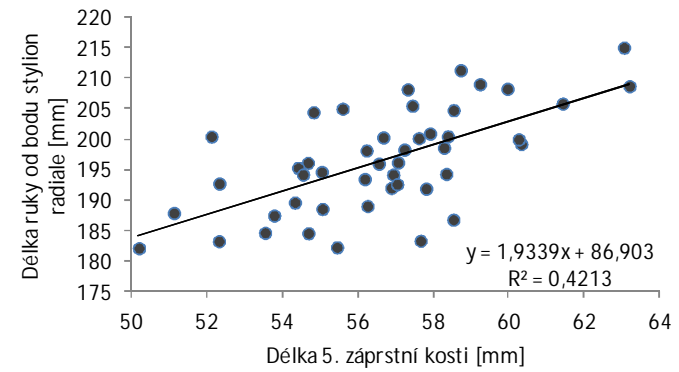
A.



B.

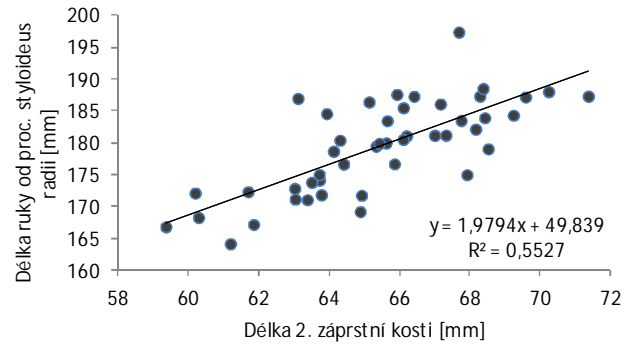


C.

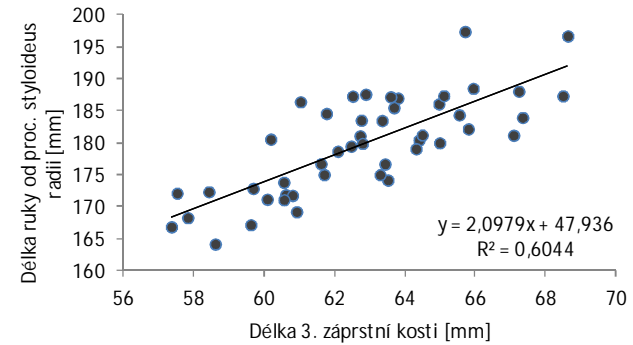


D.

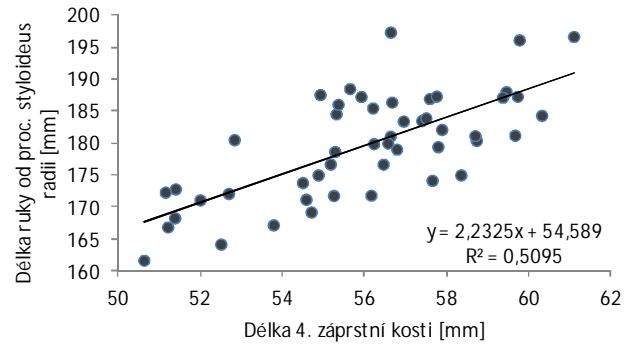
Graf 9 A.–D. Bodové grafy proložené regresní přímkou s rovnicí pro odhad délky ruky ze záprstních kostí u mužů. Délka ruky měřena od bodu styliion radiale.



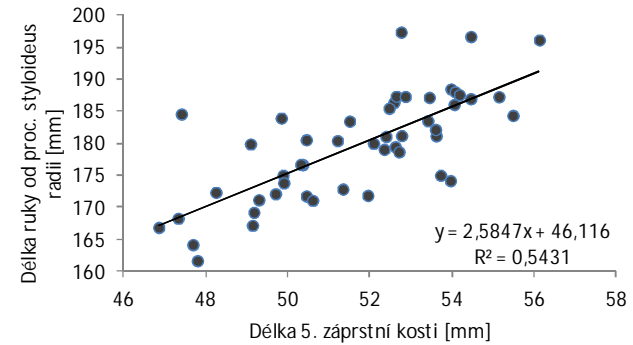
A.



B.

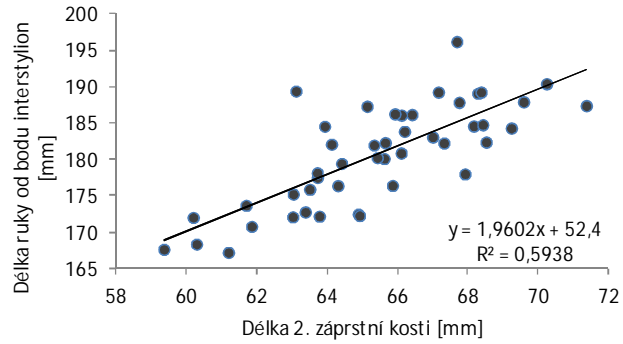


C.

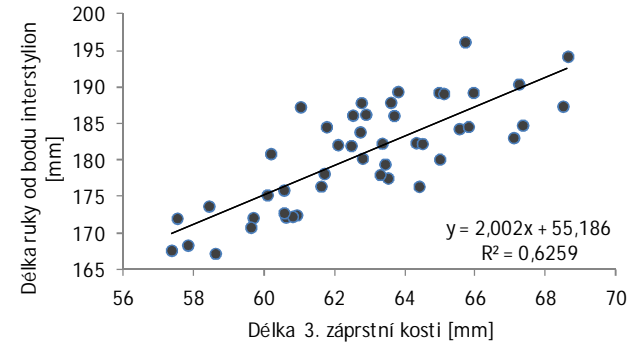


D.

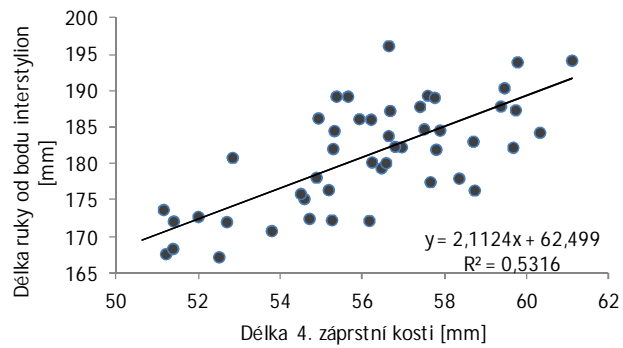
Graf 10 A.–D. Bodové grafy proložené regresní přímkou s rovnicí pro odhad délky ruky ze záprstních kostí u žen. Délka ruky měřena od processus styloideus radii.



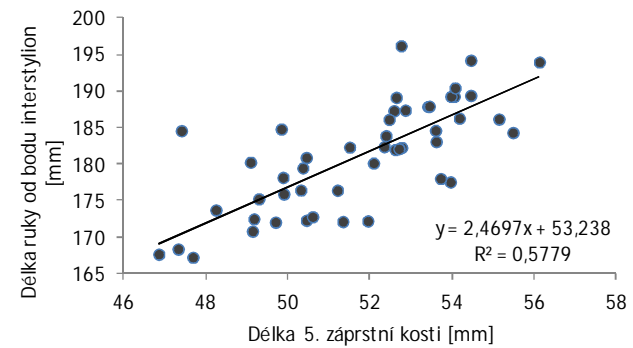
A.



B.

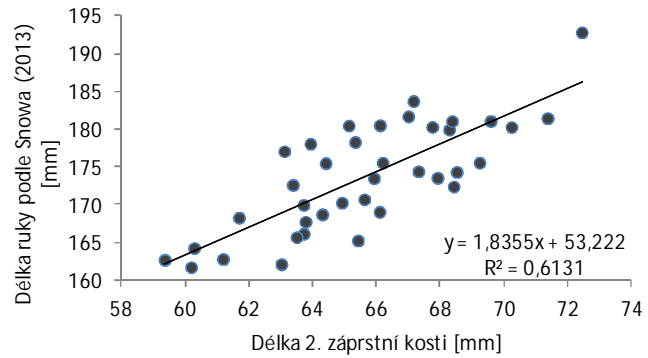


C.

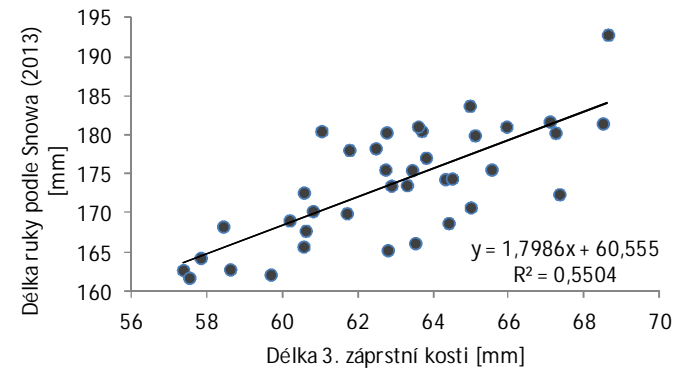


D.

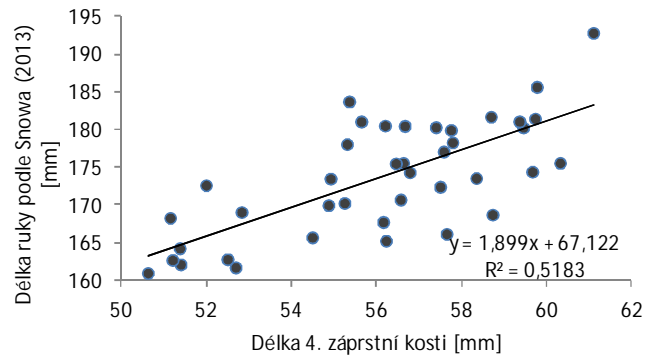
Graf 11 A.–D. Bodové grafy proložené regresní přímkou s rovnicí pro odhad délky ruky ze záprstních kostí u žen. Délka ruky měřena od bodu interstyliion.



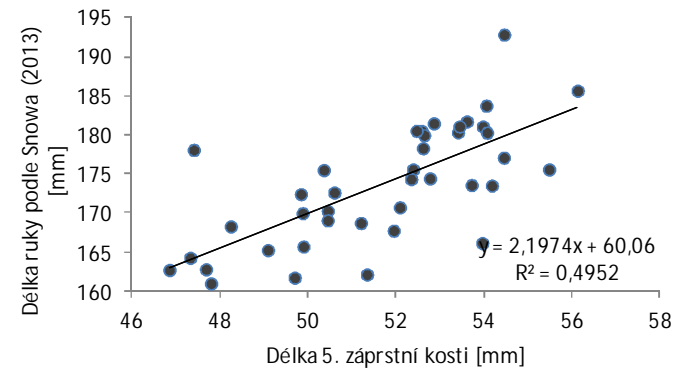
A.



B.

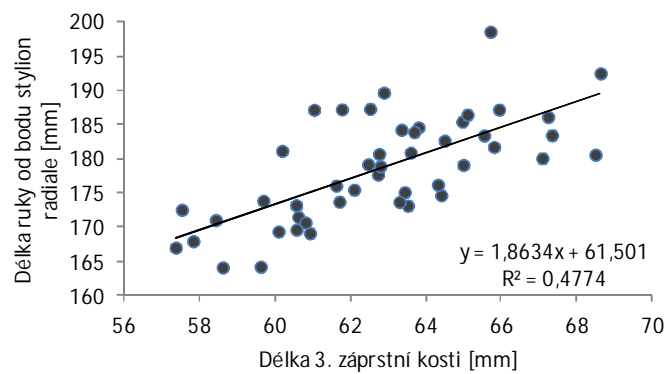


C.

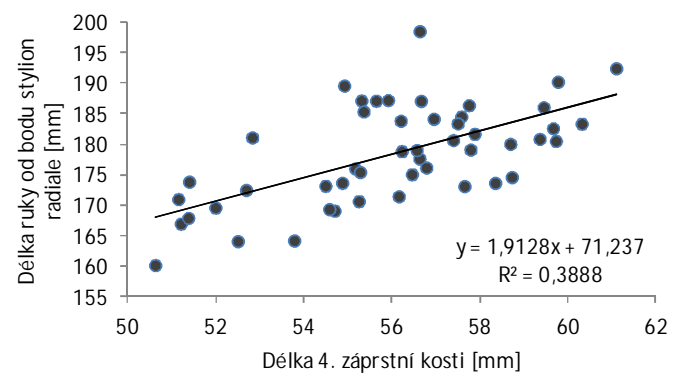


D.

Graf 12 A.–D. Bodové grafy proložené regresní přímkou s rovnicí pro odhad délky ruky ze záprstních kostí u žen. Délka ruky měřena podle Snowa (2013).



A.



B.

Graf 13 A.–B. Bodové grafy proložené regresní přímkou s rovnicí pro odhad délky ruky ze záprstních kostí u žen. Délka ruky měřena od bodu styliion radiale.

7 DISKUZE

Výsledky intraobservační a interobservační shody měření délky ruky ukázaly na významnou shodu u způsobu měření délky ruky námi navrhovaným způsobem. Průměrný absolutní rozdíl mezi prvním a druhým měřením délky ruky jedním badatelem se pohyboval v intervalu spolehlivosti 0,16 až 1,34 mm s průměrem 0,75 mm. Výsledky intraobservační shody měření délky ruky podle dalších metod (přímá délka ruky od bodu *interstyliion*, projektní vzdálenost ruky od bodu *styliion radiale* a měření od středu spojnice den marginálních konkavit zápěstí) už tolik uspokojivé nebyly. Pro přímou délku ruky byl MAD 2,26 mm, pro Snowovu délku ruky byl MAD 3,33 mm a pro projektní vzdálenost ruky byl MAD 3,67 mm. Všechny tři metody měření délky ruky také měly široké intervaly spolehlivosti. Ze statistického hlediska byly výsledky těchto tří metod silně ovlivněny extrémními hodnotami rozdílů měření, které rozšířily interval spolehlivosti u délek ruky a především snížily průměr vůči mediánu rozdílů mezi měřeními. Můžeme proto usuzovat, že na vině neshody měření je několik extrémních rozdílů, kdy při druhém měření byla naměřena výrazně delší hodnota, než při měření prvním. Subjektivní pocity badatele, které budeme v budoucnu empiricky ověřovat, nasvědčují tomu, že námi navržená metoda je také méně časově a technicky náročná a celkově lépe proveditelná.

Interobservační shoda měření délky ruky byla rovněž překvapivá. Interval spolehlivosti průměrného absolutního rozdílu mezi měřeními dvou badatelů byl od 0,58 mm do 1,89 mm s průměrem 1,24 mm. Vzhledem k tomu, že byla interobservační shoda hodnocena badatelem bez anatomického vzdělání, můžeme částečně potvrdit lepší proveditelnost této metody. Ovšem musíme důrazně upozornit, že u zbývajících tří metod měření délky ruky nebyla hodnocena interobservační shoda.

Měření délky ruky několika metodami ukázalo na významnou odlišnost průměrné délky ruky měřenou podle Snowa (2013). Snow se pokoušel měřit délku ruky na stopách rukou (*hand stencils*) tzv. paleolitických umělců (Snow, 2006, 2013). Délku ruky měřil od středu spojnice dna mediální a laterální konkavity zápěstí. Tento způsob měření délky ruky se jako jediný významně odlišoval. Statistická analýza ukázala, že tímto způsobem měření dosahujeme průměrně kratších délek rukou a to u mužů i u žen. Dalším negativním aspektem této metody byla nemožnost změřit délku ruky u

18 jedinců (9 mužských a 9 ženských rukou). Potíže nám činilo nalézt dna konkavit, která jsme u těchto jedinců nebyli schopni přesvědčivě rozpoznat.

Obecně většina potíží při měření délky ruky metodou přímé délky ruky, metodou podle Snowa (2013) a metodou projektivní délky ruky byla způsobena nestandardizací polohy ruky při jejím snímání. Na snímcích, které jsme měli k dispozici, měli někteří snímaní jedinci abdukovaný palec a tím docházelo k nahrnutí měkkých tkání do oblasti *styliion radiale* a tedy nemožnosti určit tento bod. Rovněž neměli všichni jedinci palec ve stejném úhlu abdukce. Tím docházelo ke zkreslení přesného bodu dna laterální konkavity. Také jsme nemohli zajistit, aby jedinci pokládali horní končetinu do snímacího zařízení se stejnou silou. Tím bychom předešli nestejnému efektu „rozplácnutí“ měkkých tkání v oblasti zápěstního kloubu. Použité rentgenové snímky ruky totiž nebyly pořizovány za účelem této studie, proto nebylo možno standardizovat polohu předloktí a ruky při snímání. S určováním bodu *styliion ulnare* jsme neměli žádný problém.

Z analýzy dat také vyplývá, že muži měli všechny rozměry průměrně větší než ženy. Přestože záměrem této práce nebyl výzkum pohlavního dimorfismu ruky, identifikované rozdíly jsme statisticky otestovali. Tento výzkum tak potvrzuje závěry studií, které zkoumaly pohlavní dimorfismus ruky (Bennett, 1981; Lazenby and Smashnuk, 1999; Jasuja and Singh, 2004; Barrio et al., 2006; Case and Ross, 2007; Agnihotri et al., 2008; Alicioglu et al., 2009; Kanchan and Rastogi, 2009; McFadden and Bracht, 2009; Habib and Kamal, 2010; Krishan et al., 2011; Ibeachu et al., 2011; Ishak et al., 2012; Karakostis et al., 2013; El Morsi and Al Hawary, 2013). Muži měli v průměru absolutně delší ruku než ženy u všech čtyř metod měření její délky. U námi navrhované metody byl rozdíl 17,72 mm, u přímé délky ruky byl rozdíl 18,70 mm, u Snowovy (2013) metody činil rozdíl 18,47 mm a u projektivní délky byl rozdíl 18,17 mm. Zde bychom chtěli zvýraznit podobný rozdíl 18 mm u „nejkratší metody“ Snowovy. Vzhledem k tomu, že je tato metoda průměrně nejkratší, znamená to, že jsou si k sobě počáteční a konečný bod měření nejbližší. Kdybychom předpokládali, že se ruka mezi pohlavími zmenšuje poměrně, měl by nám nejmenší rozdíl v délce ruky vyjít u Snowovy metody. K tomuto závěru jsme však nedošli, nejmenší rozdíl v délce ruky mezi pohlavími nám vyšel podle námi navrhované metody měření délky ruky. Námi navrhovaná metoda měří délku ruky od vrcholu *proc. styloideus radii*. Jedná se o přímou vzdálenost těchto bodů, která je od osy ruky odkloněna. Ostatní metody svírají

s osou ruky menší úhel. Abychom dosáhli výsledků naší studie, musíme předpokládat relativně širší mužské zápěstí. Náš myšlenkový pochod do jisté míry podporují závěry studií, které ukazují na větší pohlavní dimorfismus v příčných, resp. šířkových mírách kostí ruky (Harris et al., 1992; Scheuer and Elkington, 1993; Barrio et al., 2006; Alicioglu et al., 2009; Manolis et al., 2009; Ibeachu et al., 2011; Khanpetch et al., 2011; Karakostis et al., 2013). Větší dimorfismus šířkových měř je jednoduše dán jejich absolutně větším rozdílem. To znamená, že v absolutních číslech je větší rozdíl mezi mírami šířkovými než mezi mírami podélnými. Tím tedy potvrzujeme, že se závěry naší studie o pohlavním dimorfismu délky ruky neodlišují od ostatních studií.

Pohlavní dimorfismus byl sledován i na délkách druhé až páté záprstní kosti. Pozitivní výsledky hodnocení intraobservační shody i interobservační shody měření délky záprstních kostí nám umožnily další analýzu dat. Pro měření délky záprstních kostí se průměrný absolutní rozdíl pohyboval od 0,46 mm pro třetí záprstní kost po 0,7 mm pro druhou záprstní kost. U všech záprstních kostí měli muži absolutně delší záprstní kosti než ženy. Tím jsme opět potvrdili závěry jiných studií (Lazenby and Smashnuk, 1999; Barrio et al., 2006; Manolis et al., 2009; McFadden and Bracht, 2009; Khanpetch et al., 2011; El Morsi and Al Hawary, 2013). Největší rozdíl mezi průměry délek záprstních kostí jsme neměřili u třetí záprstní kosti, 6,27 mm. Pohlavní rozdíly se v absolutních číslech postupně zmenšovaly přes rozdíly v průměrné délce druhé záprstní kosti, 5,76 mm, čtvrté záprstní kosti, 5,31 mm, až k rozdílu v průměrné délce páté záprstní kosti, 4,7 mm.

Rozdíly v průměrných délkách jednotlivých záprstních kostí jsme našli i v rámci jednotlivých pohlaví. U obou pohlaví sledovaly rozdíly stejný vzorec od nejdelší druhé záprstní kosti (muži 71,18 mm, ženy 65,42 mm) přes třetí (muži 68,87 mm, ženy 62,6 mm), čtvrtou (muži 61,2, ženy 55,89 mm) až k páté záprstní kosti (muži 56,26 mm, ženy 51,56 mm). Protože jsme neměřili délku první záprstní kosti, nemůžeme přesvědčivě dokázat, že délka první záprstní kosti byla průměrně nejkratší u obou pohlaví. Dvouvýběrovým t-testem jsme zamítli všechny nulové hypotézy o nerozdílnosti průměrů délek záprstních kostí. To znamená, že průměrné délky jednotlivých záprstních kostí se od sebe statisticky signifikantně liší. Na základě porovnání s dalšími studiemi můžeme potvrdit i pro námi zkoumaný vzorek typicky lidský vzorec délek záprstních kostí 2. > 3. > 4. > 5. (a předpokládat) > 1. (pro prehistorickou populaci středozápadní Illinois Wilbur, 1998; pro Španěly Barrio et al.,

2006; pro Američany evropského původu Case and Ross, 2007; pro Turky Alicioglu et al., 2009; pro Řeky Manolis et al., 2009; pro Američany evropského i afrického původu McFadden and Bracht, 2009; pro Thajce Khanpetch et al., 2011; pro Egyptany El Morsi and Al Hawary, 2013).

V této práci jsme také testovali předpoklady pro regresní analýzu. Testování předpokladů není ve studiích tohoto typu obvyklé. Předpoklady pro provedení lineární regrese byly splněny téměř u všech zkoumaných vztahů. Linearitu vztahu mezi proměnnými jsme potvrdili (resp. nezamítli) Ramseyho RESET testem. Nezávislost vztahu mezi proměnnými jsme rovněž v žádném případě Durbin-Watsonovým testem nezamítli.

Při testování přítomnosti odlehlých hodnot pomocí Mahalanobisovy a Cookovy vzdálenosti jsme identifikovali u mužů 4 jedince ve vztahu druhé záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa (2013) a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 91, 106, 110 a 138). Dalšími odlehlými hodnotami byli 4 jedinci ve vztahu páté záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa (2013) a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 91, 110, 133 a 138). Dalšími odlehlými hodnotami byli 3 jedinci ve vztahu třetí záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa (2013) a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 91, 106 a 138). Posledními odlehlými hodnotami byli 3 jedinci ve vztahu čtvrté záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstyliion*, podle Snowa (2013) a od bodu *styliion radiale* (jedinci č. 91, 110 a 138).

U jedince č. 91 je jeho časté zastoupení v odlehlých hodnotách způsobeno celkově kratšími naměřenými rozměry záprstních kostí (druhá záprstní kost 62,86 mm, třetí záprstní kost 60,93 mm, čtvrtá záprstní kost 53,86 mm, pátá záprstní kost 47,45 mm) i délky ruky (od *proc. styloideus radii* 177,09 mm, od bodu *interstyliion* 180,26 mm, podle Snowa 168,06 mm, od bodu *styliion radiale* 175,82 mm). Jedinec č. 91 je sice muž, ovšem velikostí těchto rozměrů se řadí k ženskému podprůměru u délky všech záprstních kostí. Průměrnou délku ženské ruky překračuje jen u způsobu měření podle Snowa (2013) a to poměrně výrazně (4,5 mm). Významný rozdíl oproti očekávané délce ruky by mohl být způsoben relativně delšími články prstů nebo zápěstními kostmi. Jedinci č. 91 bylo v době snímání 18 let, ale měl přirostlé všechny epifýzy dlouhých kostí (článků prstů, záprstních kostí i distální epifýzy kosti loketní a

vřetenní). Proto již nemůžeme očekávat výraznější změny v délce těchto kostí. Ovšem recentní studie ukázaly, že zde k určitým změnám dojít může (Harris et al., 1992; McFadden and Bracht, 2009). U americké populace bělochů ve věku od 21 do 55 let došlo u distálních a prostředních kostí článků prstů k jejich prodloužení, zatímco záprstní kosti se zkrátily a u proximálních kostí článků prstů došlo jen k nepatrným změnám (Harris et al., 1992). U mužů byly tyto změny markantnější než u žen (Harris et al., 1992). Na jiné populaci Američanů evropského původu však bylo zjištěno, že se záprstní kosti s věkem prodloužily (McFadden and Bracht, 2009). Ovšem nevíme, jak velké jsou tyto změny z praktického hlediska, zda jsou schopné navrátit délkové vztahy jedince č. 91 do mužského průměru.

U dalších odlehlých hodnot (jedinci č. 106 a 110) nás zarazí extrémní délka všech záprstních kostí (druhá 78,98 mm, třetí 77,14 mm, čtvrtá 67,73 mm, pátá 63,06 mm u jedince č. 106 a druhá 79,86 mm, třetí 74,1 mm, čtvrtá 68,85 mm a pátá 65,51 mm u jedince č. 110) těchto jedinců a rovněž délka ruky měřená všemi způsoby (od *proc. styloideus radii* 216,36 mm, od bodu *interstyliion* 215,97 mm, podle Snowa 208,68 mm, od bodu *styliion radiale* 215,08 mm u jedince č. 106 a od *proc. styloideus radii* 219,52 mm, od bodu *interstyliion* 218,8 mm, podle Snowa 210,68 mm, od bodu *styliion radiale* 219,2 mm u jedince č. 110). Vzhledem k extrémním hodnotám délek záprstních kostí i ruky nevidíme problém v nenaplnění očekávané délky ruky, ale právě v extrémních hodnotách samotných.

Vzhledem k faktu, že jedinec č. 133 se jeví jako odlehlá hodnota jen ve vztahu délky páté záprstní kosti a délek ruky, zaměříme se na délku páté záprstní kosti. Zde jsme zjistili, že je extrémně krátká (47 mm). Při analýze rentgenového snímku tohoto jedince je rovněž patrná její velká robusticita. Je možné, že jedinec během vývoje utrpěl nějaké trauma na páté záprstní kosti, která se proto nemohla více vyvíjet.

U poslední mužské odlehlé hodnoty, jedinec č. 138, může být jeho odlehlost způsobena asi podobnými faktory jako u jedince č. 90. Délky záprstních kostí tohoto jedince jsou sice pod ženským průměrem (druhá 61,27 mm, třetí 58,96 mm, třetí 51,9 mm a čtvrtá 48,23 mm), ale dvě délky ruky ženský průměr přesahují (délka od *interstyliion* 183,08 mm a od *styliion radiale* 180,44 mm). Má tedy větší délku ruky, než by u jedince s jeho délkou záprstních kostí bylo obvyklé. Vzhledem k recentním studiím bychom se přikláněli spíše k relativnímu prodloužení článků prstů. Rozdíl v délce ruky oproti očekávání by mohl být způsoben zvýrazněním proximodistálního růstového

trendu ruky, kdy u mužů dochází k relativnímu prodlužování distálních segmentů článků prstů oproti ženám (McIntyre et al., 2006). K přesvědčivějším závěrům nám chybí data o délkách článků prstů. I u tohoto „kratšího“ jedince jsme zjistili podprůměrný věk (25 let). Proto lze očekávat drobné délkové změny dlouhých kostí ruky (Harris et al., 1992; McFadden and Bracht, 2009). Nevíme však, do jaké míry jsou schopné upravit vztahy mezi podélnými mírami tohoto jedince.

U žen byli odlehlými hodnotami 4 jedinci ve vztahu druhé záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstylion*, podle Snowa (2013) a od bodu *stylion radiale* (jedinci č. 20, 70, 83 a 116, jedinec č. 83 nebyl odlehlou hodnotou ve vztahu k délce ruky podla Snowa). Dalšími odlehlými hodnotami byli 3 jedinci ve vztahu třetí záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstylion*, podle Snowa (2013) a od bodu *stylion radiale* (jedinci č. 20, 70 a 116). Další odlehlou hodnotou byl jedinec č. 70 ve vztahu čtvrté záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstylion*, podle Snowa (2013) a od bodu *stylion radiale*. Poslední odlehlou hodnotou byl jedinec č. 70 ve vztahu páté záprstní kosti a délky ruky měřené od *proc. styloideus radii*, od bodu *interstylion*, podle Snowa (2013) a od bodu *stylion radiale*.

U jedince č. 70 je jeho časté zastoupení v odlehlých hodnotách způsobeno celkově kratšími naměřenými rozměry záprstních kostí (druhá záprstní kost 58,14 mm, třetí záprstní kost 54,79 mm, čtvrtá záprstní kost 49,6 mm, pátá záprstní kost 46,59 mm) i délky ruky (od *proc. styloideus radii* 160,32 mm, od bodu *interstylion* 164,28 mm, podle Snowa 168,38 mm, od bodu *stylion radiale* 158,73 mm). Odlehlost tohoto jedince je pravděpodobně způsobena celkově malými rozměry. Musíme rovněž upozornit, že jsme se při měření délky ruky tohoto jedince potýkali s problémy při určování bodu *stylion radiale*. *Proc. styloideus radii* zasahoval nezvykle vysoko do zápěstí, tudíž se bod *stylion radiale* promítal až na marginální okraj tukového polštářku, který je v oblasti první záprstní kosti. To však vysvětluje jen kratší rozměry délky ruky a ne záprstních kostí.

Jedinec č. 20 měl absolutně nejdelší druhou (73,77 mm) třetí (70,07 mm) a pátou záprstní kost (56,14 mm). Délka čtvrté záprstní kosti se nacházela také v oblasti ženského maxima (59,77 mm). Délky rukou se u tohoto jedince také nacházely v oblasti ženského maxima (délka ruky od *proc. styloideus radii* 196,16 mm, od bodu *interstylion* 193,98 mm, podle Snowa 185,66 mm, od bodu *stylion radiale* 190,31 mm). Protože je

jedinec odlehlou hodnotou u délky druhé a třetí záprstní kosti ve vztahu k délkám ruky, je jeho odlehlost způsobena pravděpodobně extrémními rozměry druhé a třetí záprstní kosti.

Výskyt jedince č. 83 v odlehlých hodnotách jen ve vztahu délky druhé záprstní kosti k délkám ruky je nejspíše způsoben extrémní délkou druhé záprstní kosti (72,44 mm). Ovšem extrémní délky dalších kostí se na odlehlosti tohoto jedince neprojeví. Přítomnost jedince v odlehlých hodnotách je tak dána celkovou extrémností vztahu délky druhé záprstní kosti s délkami ruky. Také musíme upozornit, že vztah délky druhých záprstních kostí k délce ruky měřené od bodu *styliion radiale* neměl (jako pouze jeden ze dvou) reziduálně normální rozložení hodnot, proto jsme nevytvořili pro tento vztah regresní rovnici. Nejsme schopni jednoznačně interpretovat, proč nebyl jedinec odlehlou hodnotou ve vztahu druhé záprstní kosti k délce ruky podle Snowa (2013). Protože je délka ruky podle Snowa nejkratší vzdáleností, je tedy proximální bod měření vzdálenosti nejdále v zápěstí a není svázán s *proc. styloideus radii*. Tak bychom mohli snad usuzovat např. na morfológickou fluktuaci tohoto výběžku kosti vřetenní.

Přítomnost jedince č. 116 v odlehlých hodnotách ve vztahu délky druhé a třetí záprstní kosti k délkám ruky bychom vysvětlili extrémním odlehnutím délky druhé (57,91 mm) a třetí záprstní kosti (53,33 mm) tohoto jedince, které jsou absolutně minimálními hodnotami naměřenými pro tyto kosti. Také byla na snímku ruky tohoto jedince patrná zvýšená hmota měkkých tkání a tím mohlo dojít k prodloužení měřené délky ruky a tedy k odlehnutí vztahu délek ruky s délkou druhé a třetí záprstní kosti.

Homoskedasticitu rozložení reziduí jsme testovali Breusch-Paganovo testem. Homoskedasticita nebyla zamítnuta u žádného ze vztahů. Posledním testovaným předpokladem byl Shapiro-Wilkův test normality rozložení reziduí. Normalita rozložení reziduí byla zamítnuta jen u žen u vztahu délky druhé záprstní kosti a délky ruky měřené od bodu *styliion radiale* a u vztahu délky páté záprstní kosti a délky ruky měřené od bodu *styliion radiale*. Pro tyto dva vztahy jsme nevytvořili regresní rovnice.

Přestože se nám podařilo sestavit regresní rovnice odhadu pohlaví pro většinu vztahů délek záprstních kostí s délkami ruky, tyto vztahy nevykazují značnou korelaci u mužů ($r < 0,75$) ani u žen ($r < 0,8$), což se projevilo na poměrně velké směrodatné chybě odhadu (SEE) u mužů (cca 3,1 % odhadnuté délky ruky) i u žen (cca 2,9 % odhadnuté délky ruky). V porovnání s odhadem tělesné výšky jedince z jeho dlouhých

kostí u Sjøvolda (1990, 2000) jsou naše korelační koeficienty o stupeň nižší a naše směrodatné chyby odhadu jsou navíc v absolutních číslech podobné (či vyšší) těm Sjøvoldovým. Když uvážíme, že jsou Sjøvoldovy směrodatné chyby odhadu určeny tělesné výšce jedince, lze naše odhady délky ruky používat jen velmi orientačně. Důležité implikace plynou z porovnání regresních rovnic odhadu délky ruky, které jsme vytvořili před odstraněním hodnot nevyhovujícím předpokladům regresní analýzy a po jejich odstranění. Před odstraněním odlehlých hodnot se korelační koeficienty pohybovaly v rozmezí 0,69–0,83 pro muže a 0,7–0,84 pro ženy. Po odstranění odlehlých hodnot se korelační koeficienty snížily do rozmezí 0,64–0,74 pro muže a 0,62–0,79 pro ženy a současně došlo k rozšíření směrodatné chyby odhadu. Tímto odstraněním také došlo ke snížení R^2 hodnot, tedy ke snížení váhy jednotlivých kostí při podílení se na délce ruky.

8 ZÁVĚR

Na základě statistické analýzy rozdílů výsledků měření délky ruky jednotlivými metodami a na podkladě subjektivně vnímané velké efektivity můžeme námi navrhovanou metodu měření délky ruky od *processus styloideus radii* k bodu *dactylion III* doporučit. Velmi jednoduchá proveditelnost této metody a jasné definování počátečního a koncového bodu měření délky ruky umožnily na rentgenových snímcích dosažení vysoké interobservační shody mezi badatelem s anatomickým vzděláním a badatelem bez anatomického vzdělání. Tato metoda rovněž dosahovala nejlepší intraobservační shody ze všech používaných metod. Naopak výrazně horší shody bylo dosaženo u metody navrhované Snowem (2013) a u projekční délky ruky, běžně užívané v somatometrii. Výsledky měření délky ruky podle Snowovy metody se navíc jako jediné statisticky signifikantně odlišovaly. Délka ruky měřená podle Snowa je signifikantně kratší než délka ruky měřená od bodu *interstyliion* k bodu *dactylion III*, od bodu *styliion radiale* k bodu *dactylion III* nebo od *proc. styloideus radii* k bodu *dactylion III*. Snowovou metodou jsme navíc nebyli schopni změřit délku ruky 18 jedinců (9 mužů a 9 žen).

Naše studie potvrdila závěry dalších studií o pohlavním dimorfismu lidské ruky. Všechny námi měřené rozměry byly u mužů signifikantně delší než u žen. Muži v našem vzorku měli signifikantně delší jak ruku (ve všech metodách měření délky ruky), tak druhou, třetí, čtvrtou i pátou záprstní kost. Rovněž jsme na našem vzorku potvrdili typický lidský vzorec délky záprstních kostí u mužů i u žen. Od nejdelší druhé záprstní kosti přes třetí, dále čtvrtou, až k páté. Nejmenší délku první záprstní kosti jsme nemohli potvrdit, protože první záprstní kost nebyla předmětem našeho výzkumu.

Zajímavých výsledků jsme dosáhli při testování předpokladů pro regresní analýzu. Linearitu vztahu mezi proměnnými jsme potvrdili (resp. nezamítli) Ramseyho RESET testem. Nezávislost vztahu mezi proměnnými jsme rovněž v žádném případě Durbin-Watsonovým testem nezamítli. Ovšem při testování přítomnosti odlehlých hodnot pomocí Mahalanobisovy a Cookovy vzdálenosti jsme identifikovali u mužů i u žen 4 odlehlé hodnoty. Jejich odlehnutí bylo způsobeno několika faktory. Odlehlost těchto jedinců mohla být způsobena tím, že měli extrémně dlouhé/krátké rozměry – nacházeli se tak na okrajích rozložení mužských a ženských hodnot. Očekávaný vztah mezi délkou záprstní kosti a délkou ruky mohl být narušen traumatem v období růstu

jedince, po němž už záprstní kost nestačila naplnit svůj růstový potenciál. Mohlo se také jednat o zvýraznění proximodistálního růstového trendu u mužů, kdy mohlo dojít pod vlivem hormonů k relativnímu prodloužení článku prstů. Rovněž musíme počítat s morfologickou fluktuací *proc. styloideus radii* a s fluktuací tloušťky hmoty měkkých tkání.

Po odstranění odlehlých hodnot se korelační koeficienty snížily do rozmezí 0,64–0,74 pro muže a 0,62–0,79 pro ženy a současně došlo k rozšíření směrodatné chyby odhadu. Po odstranění odlehlých hodnot se také snížily hodnoty R^2 , prakticky tak došlo ke snížení váhy jednotlivých kostí při podílení se na délce ruky. Analýza předpokladů pro testování dat regresní analýzou se tak ukázala poměrně důležitým faktorem pro sestavení spolehlivých a přesných regresních rovnic. Homoskedesticita nebyla Breusch-Paganovým testem zamítnuta u žádného ze vztahů. Posledním testovaným předpokladem byl Shapiro-Wilkův test normality rozložení reziduí. Normalita rozložení reziduí byla zamítnuta jen u žen u vztahu délky druhé záprstní kosti a délky ruky měřené od body *stylion radiale* a u vztahu délky páté záprstní kosti a délky ruky měřené od bodu *stylion radiale*. Pro tyto dva vztahy jsme nevytvořili regresní rovnice.

9 CITOVANÉ ZDROJE

- Agnihotri AK, Agnihotri S, Jeebun N, Googoolye K. 2008. Prediction of stature using hand dimensions. *J Forensic Leg Med* 15:479–482.
- Aiello L, Dean C. 1990. *An Introduction to Human Evolutionary Anatomy*. Academic Press.
- Alicioglu B, Yilmaz A, Karakas HM, Ciagli BS, Cikmaz S, Ulucam E. 2009. Sex determination by the interarticular distance of metacarpals and phalanges: a digital radiologic study in contemporary Turkish people. *Int J Exp Clin Anat* 3:14–20.
- Allen JA. 1877. The influence of Physical conditions in the genesis of species. *Radic Rev* 1:108–140.
- Auerbach BM, Ruff CB. 2006. Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans. *J Hum Evol* 50:203–218.
- Baines KN, Edmond S, Eisma R. 2011. Stature. In: Black S, Ferguson E, editors. *Forensic Anthropology: 2000 to 2010*. CRC Press.
- Barrio PA, Trancho GJ, Sánchez JA. 2006. Metacarpal sexual determination in a Spanish population. *J Forensic Sci* 51:990–995.
- Beasley DAE, Bonisoli-Alquati A, Mousseau TA. 2013. The use of fluctuating asymmetry as a measure of environmentally induced developmental instability: A meta-analysis. *Ecol Indic* 30:218–226.
- Behrensmeyer AK. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology* 4:150–162.
- Bennett KA. 1981. On the expression of sex dimorphism. *Am J Phys Anthropol* 56:59–61.
- Bergmann C. 1847. Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. *Gött Stud* 3:595–708.
- Bland JM, Altman DG. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1:307–310.
- Bland JM, Altman DG. 1996. Measurement error and correlation coefficients. *BMJ* 313:41–42.
- Bland JM, Altman DG. 1999. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* 8:135–160.
- Bland JM, Altman DG. 2003. Applying the right statistics: analyses of measurement studies. *Ultrasound Obstet Gynecol* 22:85–93.

- Cardoso HFV, Severino RSS. 2010. The chronology of epiphyseal union in the hand and foot from dry bone observations. *Int J Osteoarchaeol* 20:737–746.
- Cartmill M, Smith FH. 2009. *The Human Lineage*. 1 edition. (Brown KB, editor.). Hoboken, N.J: Wiley-Blackwell.
- Case DT, Ross AH. 2007. Sex Determination from Hand and Foot Bone Lengths*. *J Forensic Sci* 52:264–270.
- Chikhalkar BG, Mangaonkar AA, Nanandkar SD, Peddawad RG. 2010. Estimation of Stature from Measurements of Long Bones, Hand and Foot Dimensions. *J Indian Acad Forensic Med* 32:329–331.
- Čihák R. 2011. *Anatomie 1*. 3. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s.
- Clauser C, Tebbetts I, Bradtmiller B, McConville J, Gordon C. 1988. *Measurer's Handbook: U.S. Army Anthropometric Survey, 1987-1988*. Natick, MA: U.S. Army Natick Research. Available from: <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA202721>
- 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.
- Eshak GA, Ahmed HM, Abdel Gawad EAM. 2011. Gender determination from hand bones length and volume using multidetector computed tomography: A study in Egyptian people. *J Forensic Leg Med* 18:246–252.
- Franciscus RG, Holliday TW. 1992. Hindlimb skeletal allometry in plio-pleistocene hominids with special reference to AL-288-1 (“Lucy”). *Bull Mém Société Anthropol Paris* 4:5–20.
- Franks EM, Cabo LL. 2014. Quantifying asymmetry: Ratios and alternatives. *Am J Phys Anthropol* 154:498–511.
- Frost HM. 2003. Bone's mechanostat: A 2003 update. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol* 275A:1081–1101.
- Fully G. 1956. Une nouvelle methode de determination de la taille. *Ann Med Leg* 35:266–273.
- Galeta P, Bruzek J, Lázníčková-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.
- Galeta P. 2014. Software pro hodnocení shody opakovaných měření kvantitativních dat (doplňk MS Excel). Available from: http://www.oba.zcu.cz/measurement_error/qual/Measurement_Error_QUAL_manual.pdf
- Garn SM, Burdi AR, Babler WJ. 1974. Male advancement in prenatal hand development. *Am J Phys Anthropol* 41:353–359.

- Garn SM, Mayor GH, Shaw HA. 1976. Paradoxical bilateral asymmetry in bone size and bone mass in the hand. *Am J Phys Anthropol* 45:209–210.
- Garn SM, Nagy JM, Sandusky ST. 1972. Differential sexual dimorphism in bone diameters of subjects of European and African ancestry. *Am J Phys Anthropol* 37:127–129.
- Gordon CC, Blackwell CL, Bradtmiller B, Parham JL, Hotzman J, Paquette SP, Corner BD, Hodge BM. 2013. 2010 Anthropometric Survey of U.S. Marine Corps Personnel: Methods and Summary Statistics.
- Habib SR, Kamal NN. 2010. Stature estimation from hand and phalanges lengths of Egyptians. *J Forensic Leg Med* 17:156–160.
- Harris EF, Aksharanugraha K, Behrents RG. 1992. Metacarpophalangeal length changes in humans during adulthood: A longitudinal study. *Am J Phys Anthropol* 87:263–275.
- Harrison CR, Robinette KM. 2002. Caesar: Summary Statistics for the Adult Population (Ages 18-65) of the United States of America. Storming Media.
- Hoaglin DC, Iglewicz B, Tukey JW. 1986. Performance of Some Resistant Rules for Outlier Labeling. *J Am Stat Assoc* 81:991.
- Hoaglin DC, Iglewicz B. 1987. Fine-Tuning Some Resistant Rules for Outlier Labeling. *J Am Stat Assoc* 82:1147.
- Holliday TW, Ruff CB. 2001. Relative variation in human proximal and distal limb segment lengths. *Am J Phys Anthropol* 116:26–33.
- Holliday TW. 1997a. Postcranial evidence of cold adaptation in European Neandertals. *Am J Phys Anthropol* 104:245–258.
- Holliday TW. 1997b. Body proportions in Late Pleistocene Europe and modern human origins. *J Hum Evol* 32:423–447.
- Ibeachu PC, Abu EC, Didia BC. 2011. Anthropometric Sexual Dimorphism of Hand Length, Breadth and Hand Indices of University of Port-Harcourt Students. *Asian J Med Sci* 3:146–150.
- IBM Corp. 2012. IBM SPSS Statistics for Windows. Armonk, NY: IBM Corp.
- Ishak N-I, Hemy N, Franklin D. 2012. Estimation of stature from hand and handprint dimensions in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 216:199.e1–199.e7.
- 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.

- Kanchan T, Rastogi P. 2009. Sex determination from hand dimensions of North and South Indians. *J Forensic Sci* 54:546–550.
- Karakostis FA, Zorba E, Moraitis K. 2013. Sexual Dimorphism of Proximal Hand Phalanges. *Int J Osteoarchaeol*:n/a–n/a.
- Khanpetch P, Prasitwattanseree S, Case DT, Mahakkanukrauh P. 2011. Determination of sex from the metacarpals in a Thai population. *Forensic Sci Int* 217:229.e1–229.e8.
- Knierim U, Van Dongen S, Forkman B, Tuytens FAM, Špinko M, Campo JL, Weissengruber GE. 2007. Fluctuating asymmetry as an animal welfare indicator — A review of methodology and validity. *Physiol Behav* 92:398–421.
- Knussmann R. 1988. Somatometrie. In: *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen. Band I. Auflage: 4. Aufl.* Stuttgart; New York: Spektrum Akademischer Verlag.
- Krishan K, Kanchan T, DiMaggio JA. 2010. A study of limb asymmetry and its effect on estimation of stature in forensic case work. *Forensic Sci Int* 200:181.e1–181.e5.
- 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 Med* 19:211–214.
- Krishan K, Sharma A. 2007. Estimation of stature from dimensions of hands and feet in a North Indian population. *J Forensic Leg Med* 14:327–332.
- Laila SZH, Ferdousi R, Nurunnobi A, Islam AS, Holy SZH, Yesmin F. 2009. Anthropometric Measurements of the hand length and their correlation with the Stature of Bengali adult Muslim females. *Bangladesh J Anat [Internet]* 7. Available from: <http://www.banglajol.info/index.php/BJA/article/view/3010>
- Larsen CS. 1999. *Bioarchaeology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton.* New Ed edition. Cambridge; New York: Cambridge University Press.
- Lazenby R, Smashnuk A. 1999. Osteometric variation in the Inuit second metacarpal: a test of Allen's Rule. *Int J Osteoarchaeol* 9:182–188.
- Livshits G, Yakovenko K, Kletselman L, Karasik D, Kobylansky E. 1998. Fluctuating asymmetry and morphometric variation of hand bones. *Am J Phys Anthropol* 107:125–136.
- Loehlin JC, McFadden D, Medland SE, Martin NG. 2006. Population Differences in Finger-Length Ratios: Ethnicity or Latitude? *Arch Sex Behav* 35:739–742.
- 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.

- 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.
- Manning J, Kilduff L, Cook C, Crewther B, Fink B. 2014. Digit Ratio (2D:4D): A Biomarker for Prenatal Sex Steroids and Adult Sex Steroids in Challenge Situations. *Front Endocrinol* [Internet] 5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3906590/>
- 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, 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* 13:3000–4.
- Manning JT. 2011. Resolving the role of prenatal sex steroids in the development of digit ratio. *Proc Natl Acad Sci* 108:16143–16144.
- Manolis SK, Eliopoulos C, Koiliias CG, Fox SC. 2009. Sex determination using metacarpal biometric data from the Athens Collection. *Forensic Sci Int* 193:130.e1–130.e6.
- Matheswaran G, Vallabhajosyula R. 2014. Digit Length Displays a Significant Fraction in Stature Estimation: A Study from Coastal Region of South India. *Int J Anat Res* 2:336–339.
- McFadden D, Bracht MS. 2005. Sex differences in the relative lengths of metacarpals and metatarsals in gorillas and chimpanzees. *Horm Behav* 47:99–111.
- McFadden D, Bracht MS. 2009. Sex and race differences in the relative lengths of metacarpals and metatarsals in human skeletons. *Early Hum Dev* 85:117–124.
- McIntyre MH, Cohn BA, Ellison PT. 2006. Sex dimorphism in digital formulae of children. *Am J Phys Anthropol* 129:143–150.
- Møller AP, Manning J. 2003. Growth and developmental instability. *Vet J* 166:19–27.
- Møller AP. 2006. A review of developmental instability, parasitism and disease: Infection, genetics and evolution. *Infect Genet Evol* 6:133–140.
- Molnar S. 2005. *Human Variation: Races, Types, and Ethnic Groups*. 6 edition. Upper Saddle River, N.J: Pearson.
- Musgrave JH, Harneja NK. 1978. The estimation of adult stature from metacarpal bone length. *Am J Phys Anthropol* 48:113–119.
- Nelson EC, Manning JT, Sinclair AGM. 2006. Using the length of the 2nd to 4th digit ratio (2D:4D) to sex cave art hand stencils: factors to consider. *Farming* 1:5–11.
- Ozaslan A, Karadayi B, Kulusayin MO, Kaya A, Afsin H. 2012. Predictive role of hand and foot dimensions in stature estimation. *Romanian J Leg Med* 20:41–46.

- Paquette S, Gordon C, Bradtmiller B. 2009. Anthropometric Survey (ANSUR) II Pilot Study: Methods and Summary Statistics. Natick.
- Parfitt AM. 1997. Genetic effects on bone mass and turnover-relevance to black/white differences. *J Am Coll Nutr* 16:325–333.
- Plato CC, Wood JL, Norris AH. 1980. Bilateral asymmetry in bone measurements of the hand and lateral hand dominance. *Am J Phys Anthropol* 52:27–31.
- Rahman Q, Wilson GD. 2003. Born gay? The psychobiology of human sexual orientation. *Personal Individ Differ* 34:1337–1382.
- Rasband W. 2013. ImageJ. National Institutes of Health, USA. Available from: <http://imagej.nih.gov/ij/index.html>
- Rastogi P, Nagesh KR, Yoganarasimha K. 2008. Estimation of stature from hand dimensions of north and south Indians. *Leg Med* 10:185–189.
- Rauch F. 2005. Bone growth in length and width: the Yin and Yang of bone stability. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 5:194–201.
- Raxter MH, Auerbach BM, Ruff CB. 2006. Revision of the Fully technique for estimating statures. *Am J Phys Anthropol* 130:374–384.
- Robertson J, Zhang W, Liu JJ, Muir KR, Maciewicz RA, Doherty M. 2008. Radiographic assessment of the index to ring finger ratio (2D:4D) in adults. *J Anat* 212:42–48.
- Robinson SJ, Manning JT. 2000. The ratio of 2nd to 4th digit length and male homosexuality. *Evol Hum Behav* 21:333–345.
- Roy TA, Ruff CB, Plato CC. 1994. Hand dominance and bilateral asymmetry in the structure of the second metacarpal. *Am J Phys Anthropol* 94:203–211.
- Ruff C, Holt B, Trinkaus E. 2006. Who's afraid of the big bad Wolff?: "Wolff's law" and bone functional adaptation. *Am J Phys Anthropol* 129:484–498.
- Ruff C. 2003. Growth in bone strength, body size, and muscle size in a juvenile longitudinal sample. *Bone* 33:317–329.
- Ruff CB. 1993. Climatic adaptation and hominid evolution: The thermoregulatory imperative. *Evol Anthropol Issues News Rev* 2:53–60.
- Ruff CB. 1994. Morphological adaptation to climate in modern and fossil hominids. *Am J Phys Anthropol* 37:65–107.
- Sadler TW. 2011. *Langmanova lékařská embryologie*. Praha: Grada Publishing a.s.
- Savin NE, White KJ. 1977. The Durbin-Watson Test for Serial Correlation with Extreme Sample Sizes or Many Regressors. *Econometrica* 45:1989.

- Scheuer JL, Elkington NM. 1993. Sex determination from metacarpals and the first proximal phalanx. *J Forensic Sci* 38:769–778.
- Scheuer L, Black S, Cunningham C. 2000. *Developmental Juvenile Osteology*. Academic Press.
- Sjøvold T. 1990. Estimation of stature from long bones utilizing the line of organic correlation. *Hum Evol* 5:431–447.
- Sjøvold T. 2000. ANTHROPOLOGY | Stature Estimation from the Skeleton. In: Siegel JA, editor. *Encyclopedia of Forensic Sciences*. Oxford: Elsevier. p 276–284. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122272153007708>
- Šmahel Z. 2001. *Principy, teorie a metody auxologie*. Praha: Karolinum.
- 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.
- Sokal RR, Rohlf FJ. 1995. *Biometry*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Soule ME. 1982. Allometric Variation. 1. The Theory and Some Consequences. *Am Nat* 120:751.
- StataCorpLP. 2011. *Stata/SE 12.0 for Windows*. College City: StataCorp LP.
- Stojanowski CM. 1999. Sexing potential of fragmentary and pathological metacarpals. *Am J Phys Anthropol* 109:245–252.
- Trinkaus E. 1981. Neanderthal limb proportions and cold adaptation. In: Stringer CB, editor. *Aspects of Human Evolution*. London: Tylor and Francis Ltd. p 187–224. Available from: <http://ci.nii.ac.jp/naid/10018145328/>
- Valen LV. 1962. A Study of Fluctuating Asymmetry. *Evolution* 16:125.
- 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. In: *Proceedings of the international conference on Multimedia*. ACM. p 1325–1332. Available from: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1874214>
- Watson PJ, Thornhill R. 1994. Fluctuating asymmetry and sexual selection. *Trends Ecol Evol* 9:21–25.
- Wetherington RK, Rutenberg GW. 1978. Contributions to variance in phalangeal growth: Estimates from twins. *Am J Phys Anthropol* 48:83–87.
- White TD, Black MT, Folkens PA. 2011. *Human Osteology, Third Edition*. 3 edition. San Diego, Calif: Academic Press.

- Wilbur AK. 1998. The utility of hand and foot bones for the determination of sex and the estimation of stature in a prehistoric population from west-central Illinois. *Int J Osteoarchaeol* 8:180–191.
- Williams TJ, Pepitone ME, Christensen SE, Cooke BM, Huberman AD, Breedlove NJ, Breedlove TJ, Jordan CL, Breedlove SM. 2000. Finger-length ratios and sexual orientation. *Nature* 404:455–456.
- Zeman T, Králík M. 2012. Historický přehled principů tvorby metod pro odhad výšky postavy člověka na základě skeletu. *Anthropol Integra* 3:7–22.
- Zheng Z, Cohn MJ. 2011. Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proc Natl Acad Sci*:201108312.

10 RESUMÉ

In this thesis we tried to predict hand length from length of metacarpals. For this purpose we analyzed radiograph pictures of human hands. On the basis of statistical analysis and according to high-efficiency we introduce a new method of hand-length measurement. We measured hand length as a distance from tip of *processus styloideus radii* to tip of third finger. In comparison with other methods our method showed the best performance in analyzing intra- and inter-observer agreement. We confirmed, that there is a typical length pattern of metacarpals in human hand and that there is a sexual dimorphism present in length dimensions. We also analyzed assumptions for linear regression analysis, which is rarely done in this kind of studies. For this purpose we used Ramsey's RESET test, Durbin-Watson test, Mahalanobis and Cook's distance, Breusch-Pagan's test and Shapiro-Wilk's test. We identified sever outliers, that biased previous regression formulas. We tried to interpret why they are lying out. We produced non-biased regression formulas for hand-length estimations from metacarpal lengths.