

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Diplomová práce

**Mezipopulační variabilita ve tvaru a velikosti
otisků ruky:
důsledky pro odhad pohlaví pravěkých umělců**

Markéta Jarošová

Plzeň 2016

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Katedra antropologie

Studijní program Antropologie

Studijní obor Antropologie populací minulosti

Diplomová práce

**Mezipopulační variabilita ve tvaru a velikosti
otisků ruky:
důsledky pro odhad pohlaví pravěkých umělců**

Markéta Jarošová

Vedoucí práce:

Mgr. Patrik Galeta, Ph.D.

Katedra antropologie

Fakulta filozofická Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2016

Prohlašuji, že jsem práci zpracoval(a) samostatně a použil(a) jen uvedené prameny a literatury.

Plzeň, duben 2016

.....

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce Patriku Galetovi za odborné vedení a cenné rady během psaní této práce. Rovněž děkuji za zapůjčení srovnávacího materiálu Jérémy Maestraccimu a Jaroslavu Brůžkovi.

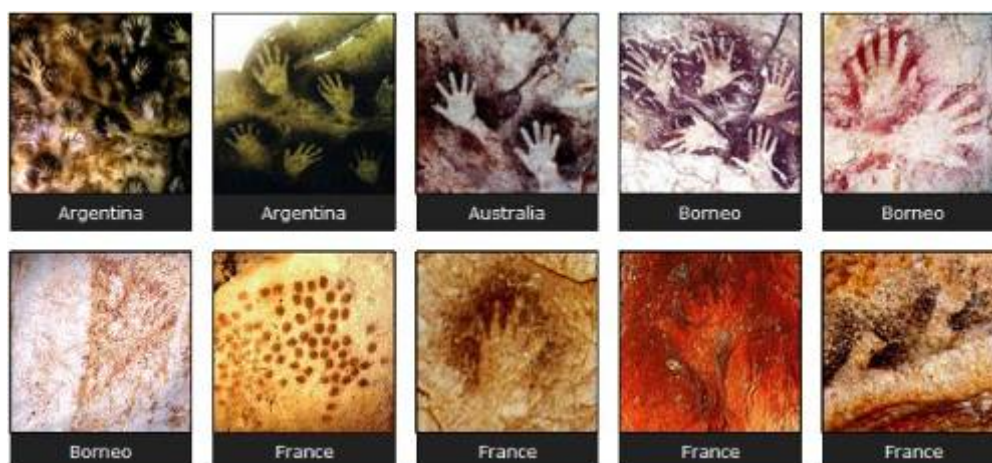
OBSAH

1 ÚVOD	1
2 CÍLE PRÁCE	4
3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA	5
3.1 Anatomie ruky	5
3.2 Fylogenetický vývoj končetin	10
3.3 Ontogenetický vývoj ruky	13
3.4 Variabilita ruky	16
3.4.1 Vrozené vady ruky	17
3.4.2 Mezipopulační variabilita ruky	21
3.4.3 Pohlavní dimorfismus ruky	24
3.5 Otisky rukou jako součást paleolitického jeskynního umění	26
3.6 Otisky rukou a jejich využití ve forezních vědách	31
3.7 Odhad pohlaví v bioarcheologii	32
3.7.1 Odhad pohlaví podle ruky.....	33
3.7.2 Morfometrie	34
3.7.3 Statistické zpracování dat pro odhad pohlaví.....	35
3.7.4 Odhad pohlaví podle paleolitických otisků ruky.....	39
4 MATERIÁL	48
5 METODY	50

5.1	Sběr dat.....	50
5.2	Rozměry ruky	51
5.3	Statistické metody	52
5.3.1	Intra- a inter-observační chyba.....	52
5.3.2	Hodnocení míry pohlavního dimorfizmu	53
5.3.3	Diskriminační analýza.....	55
5.3.4	Spolehlivost diskriminačních funkcí.....	56
5.3.5	Použitý software	56
6	VÝSLEDKY	57
6.1	Intra- a inter-observační chyba.....	57
6.2	Hodnocení míry pohlavního dimorfizmu	61
6.3	Úspěšnost a spolehlivost odhadu pohlaví.....	66
7	DISKUZE	73
8	ZÁVĚR.....	80
9	CITOVANÉ ZDROJE	82
10	RESUMÉ	93
11	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	94
12	PŘÍLOHY	99

1 ÚVOD

V několika posledních letech se autoři pokusili o odhad pohlaví tvůrců pravěkého umění a zvýšili tak zájem o problematiku rozdělení genderových rolí v paleolitu (Dobrez, 2013; Pettitt et al., 2014). Paleolitické otisky rukou se dodnes dochovaly v rozličných podobách jako součást jeskynních maleb a skalního umění po celém světě (Obrázek 1).



Obrázek 1. Otisky na stěnách jeskyní (Robinson, 2015).

Otisky ruky se využívají v bioarcheologii i ve forenzních vědách pro stanovení biologického profilu jedince, kam vedle pohlaví patří i výška postavy, věk dožití, lateralita a populační afinita (Cardoso a Severino, 2010; Faurie a Raymond, 2004; Komar a Buikstra, 2008).

Metodou odhadu pohlaví podle paleolitických otisků ruky se zabývala řada autorů (Chazine a Noury, 2006; Mackie, 2015; Nelson et al., 2006; Pettitt et al., 2014), pro tuto diplomovou práci jsou však stěžejní zejména studie (Snow, 2006; Snow, 2013) a na něj navazující práce Galety s kolektivem (Galeta et al., 2014). Snow odhadoval pohlaví pomocí paleolitických otisků ruky z jeskyně Pech Merle ve Francii. Jako srovnávací soubor využil otisky rukou z recentní americké populace, pomocí

diskriminační analýzy došel k závěru, že se na tomto umění nepodíleli jen muži, jak se dříve předpokládalo, ale také ženy.

Galeta s kolektivem (Galeta et al., 2014) se pokusili ověřit spolehlivost metody Snowa (Snow, 2006) na nezávislém souboru. S pomocí souboru dat, tvořeného otisky rukou ze současné francouzské populace, kdy Snowovu diskriminační rovnici vytvořenou na Americkém souboru aplikovali na soubor Francouzů. Neměli však k dispozici veškerá popisná data týkající se amerického souboru, jako jsou výška postavy, hmotnost jedince, BMI (*body mass index*) a rozměry ruky, mohli tedy pouze odhadovat příčiny, které způsobují, že Snowova diskriminační funkce vytvořená na souboru současné americké populace vykazuje nižší spolehlivost při aplikaci na soubor Francouzů, než jakou jí přisuzoval Snow (Snow, 2006), což je nejpravděpodobněji způsobeno rozdíly ve velikostech rukou mezi oběma populacemi (Galeta et al., 2014). V závěru autoři zmiňují (Galeta et al., 2014), že vzhledem k vysoké mezipopulační variabilitě ve tvaru a velikosti rukou není možné odhadovat pohlaví podle paleolitických otisků ruky pomocí diskriminační funkce vytvořené na recentním souboru, neboť standardy současných populací neposkytují spolehlivý nástroj k odhadu pohlaví minulých populací. Rovněž nedoporučují aplikaci Snowovy rovnice na jinou populaci, než na které byla vytvořena.

Rozdíly ve velikosti a tvaru rukou odrážejí nejen pohlavní dimorfismus, který byl ve svrchním paleolitu vyšší, než u populací současných, ale také určitou míru variability rukou napříč populacemi, což je dáno mimo jiné genetickými faktory, ale i vlivem vnějšího prostředí (Snow, 2006; Wang et al., 2010). Jiné studie (Ruff, 2002) však uvádějí, že míra pohlavního dimorfismu dosáhla moderní úrovně pravděpodobně ještě dříve než před 150 000 lety. Geografická variabilita ve velikosti a tvaru lidského těla byla v té době v souladu s tím, jak ji můžeme pozorovat dnes (Ruff, 2002), kdy populace žijící v příliš chladném nebo naopak teplém podnebí vykazují určité morfologické změny, které jsou patrné i na kostech,

včetně kostí horní končetiny (Betti et al., 2015). Tato mezipopulační (geografická) variabilita ve stavbě a velikosti těla na základě rozdílného klimatu byla popsána pomocí tzv. Allenova a Bergmanova pravidla (Allen, 1907; Bergman, 1847).

Evoluční trendy v morfologii lidského těla nám poskytují souvislosti, díky kterým můžeme interpretovat rozdíly také mezi moderními populacemi, a to právě zejména na základě adaptace lidí na působení odlišných klimatických podmínek. Bylo zjištěno, že klimatické faktory i v současnosti celosvětově významně korelují s variabilitou ve velikosti a morfologii lidského těla. Neměli bychom však zapomínat i na další faktory ovlivňující variabilitu, jako je například vliv nutričního stresu. Ukazuje se, že u tropických populací za posledních několik desítek let došlo vlivem změny stravovacích návyků ke zvýšení průměrné tělesné hmotnosti a BMI (*body mass index*), zatímco poměr povrchu těla vůči tělesné hmotnosti se snížil. Tento trend pravděpodobně odráží vliv akulturace a celkové zlepšení životního stylu, včetně dostupnější zdravotní péče a kvalitnější výživy v tropických a subtropických oblastech (Katzmarzyk a Leonard, 1998).

Mezipopulační variabilita tak odráží nejen adaptaci na různé klima, ale i zdravotní stav a životní styl celé populace. Dnes žijící lidé mají obecně nižší průměrnou hmotnost těla, než populace žijící v pleistocénu, patrně v důsledku technologického pokroku během posledních 50 000 let, kdy větší velikosti těla neznamenal již takovou výhodu. Je tedy nutné rozlišovat dlouhodobé odlišnosti v morfologii těla, které byly důsledkem selekce vzhledem k adaptaci na klimatické podmínky od změn, které odrážejí dopad nutričního stresu na růst a vývoj jedince (Ruff, 2002).

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je dokumentovat míru mezipopulační variability ve tvaru a velikosti otisků ruky u dvou současných populací, následně ověřit spolehlivost metody odhadu pohlaví vytvořené na jedné populaci při použití na druhou populaci a na závěr diskutovat důsledky pro odhad pohlaví tvůrců paleolitického umění.

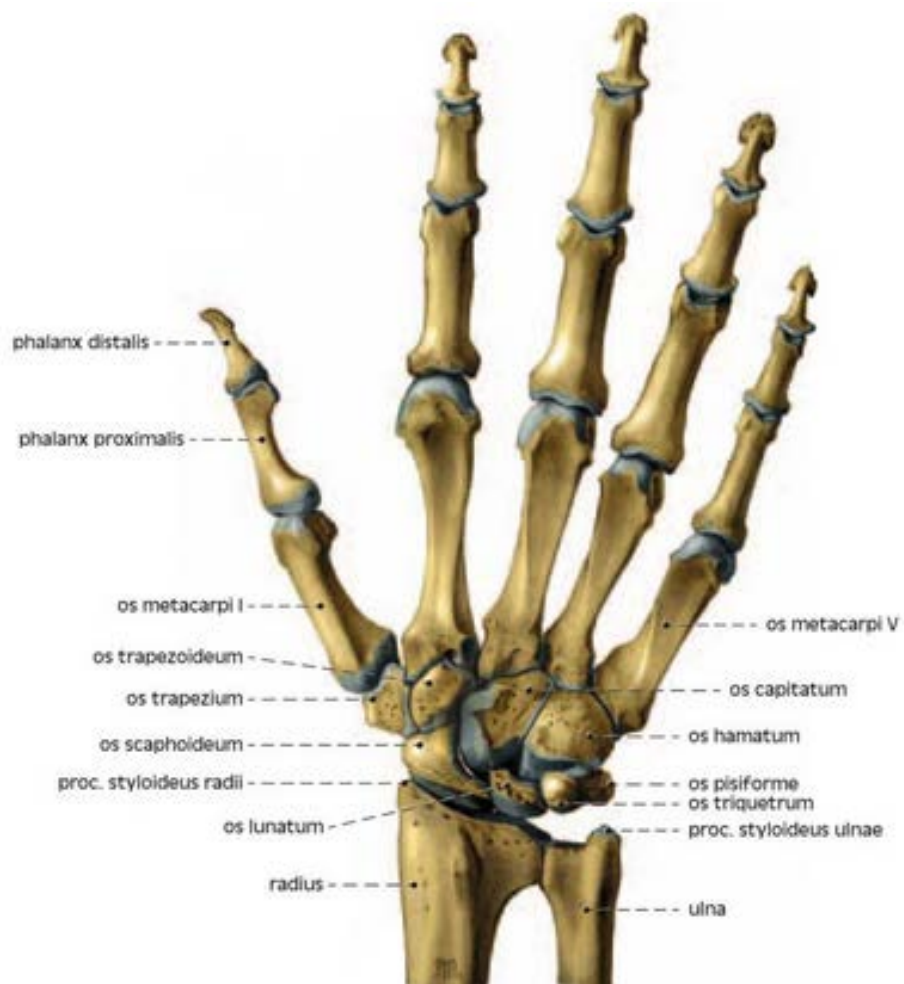
Přínos této práce spočívá především v tom, že budeme mít k dispozici veškerá popisná data pro dvě současné evropské populace (pohlaví, věk, výšku postavy, hmotnost těla, BMI, stranovou preferenci ruky, jednotlivé rozměry otisků ruky), díky kterým můžeme ověřit, zda nízká spolehlivost americké rovnice aplikované na francouzský soubor (Galeta et al., 2014), je dána rozdílem ve velikosti a tvaru rukou, potažmo celkovým rozdílem ve velikosti jedinců napříč populacemi.

3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

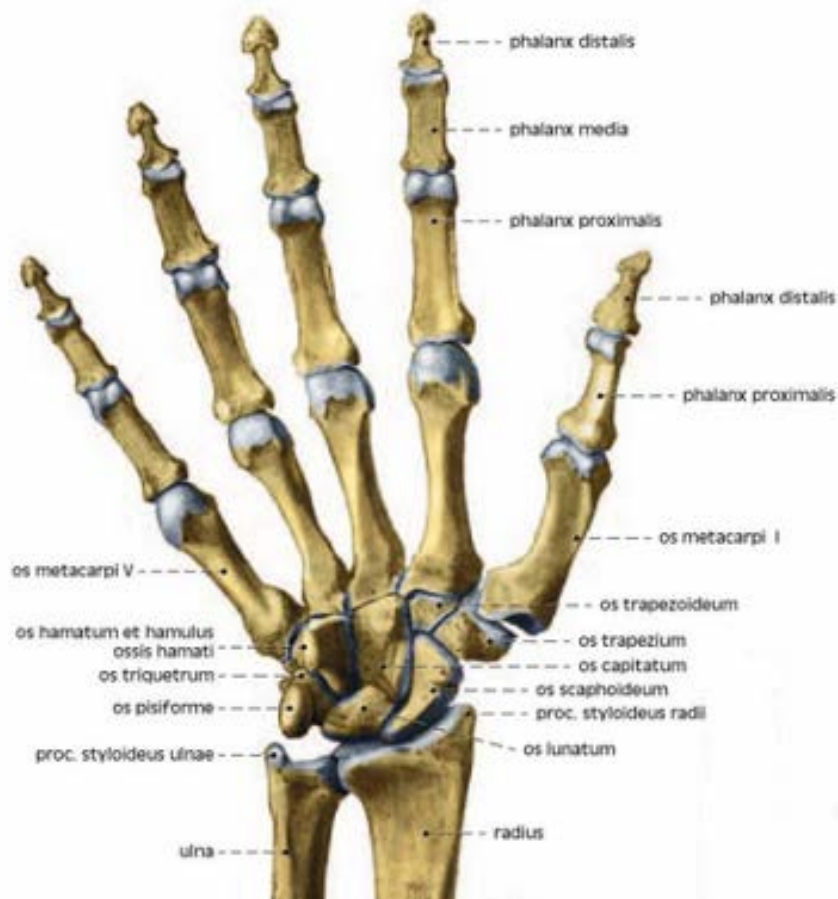
3.1 Anatomie ruky

Ruka (*manus*) je součástí volné části horní končetiny (*pars libera membri superioris*). Kostí ruky (*ossa manus*) zahrnují kosti zápěstní (*ossa carpi*), čítající osm nepravidelných kostí, dále pět kostí záprstních (*ossa metacarpí*) spolu s články prstů (*phalanges*), dva pro palec (D1) a tři pro druhý prst (D2), třetí prst (D3), čtvrtý prst (D4) a pátý prst (D5), tedy dohromady čtrnáct kostí. Celkem tvoří lidskou ruku sedmadvacet kostí (Obrázek 2 a Obrázek 3) (Čihák, 2011).

Kosti zápěstní (*ossa carpi*) jsou tvořeny proximální (*os scaphoideum*, *os lunatum*, *os triquetrum* a *os pisiforme*) a distální řadou (*os trapezium*, *os trapezoideum*, *os capitatum* a *os lunatum*), vždy po čtyřech kostech, které spoluvytvářejí dorzálně konvexní celek zvaný zápěstí (*carpus*) (Čihák, 2011).



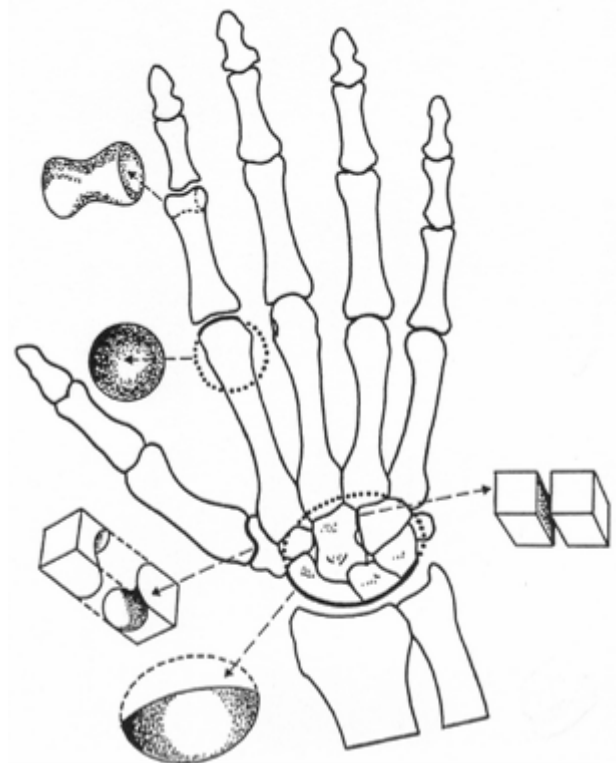
Obrázek 2. Kosti ruky, pravá ruka z dorzálního pohledu (Grim et al., 2014).



Obrázek 3. Kosti ruky, palmární strana pravé ruky (Grim et al., 2014).

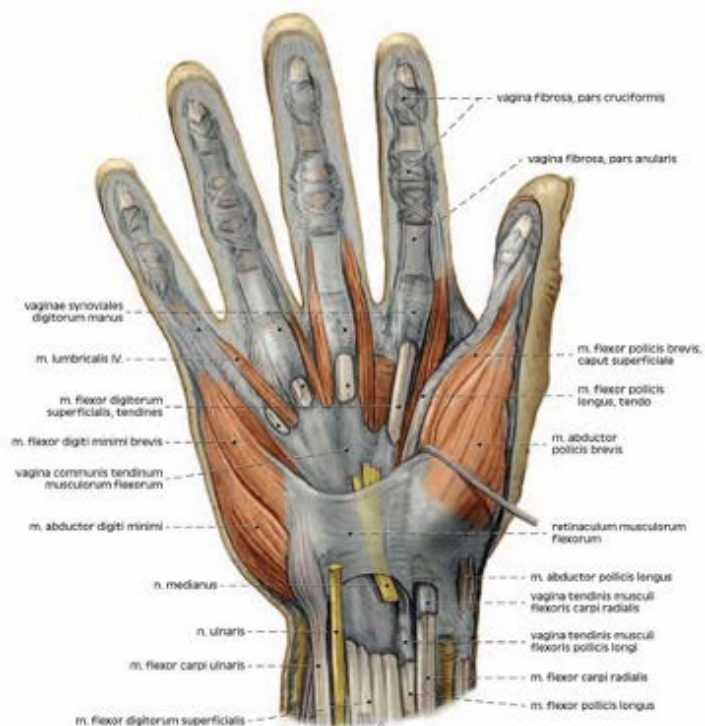
Pohyblivost ruky je dána skloubením zápěstních kostí s kostmi předloktí, což zajišťuje *articulatio radiocarpalis* pro spojení s kostí vřetení (*radius*) a *discus*, jenž je součástí kloubní jamky a odděluje loketní kost (*ulna*) od skloubení se zápěstím. Mezi proximální a distální řadou zápěstních kostí je pak další skloubení nazývané *articulatio mediocarpalis* ve tvaru písmene S. Proximální řada zápěstních kostí představuje jamku, naopak *os capitatum* a *os hamatum* do ní zapadá a tvoří na ulnární straně hlavici. Na radiální straně je jamka tvořena *os trapezium* a *os trapezoideum* a hlavici je distální konec *os scaphoideum*. Zápěstí jako celek tedy představuje tzv. elipsovité kloub (*articulatio ellipsoidea*) umožňující jak flexi, tak extenzi spolu s radiální a ulnární dukcí, spojením těchto pohybů umožňuje rovněž cirkumdukci, ale nikoli rotaci. Další skloubení nalezneme mezi zápěstními a záprstními kostmi (*ossa metacarpi*), mezi záprstními kostmi navzájem a mezi záprstními kostmi a proximální řadou článků

jednotlivých prstů. Mezi jednotlivými články prstů se nachází kladkové klouby (*articulationes interphalangeae manus*) umožňující pohyb pouze podél jedné osy (Obrázek 4) (Čihák, 2011).

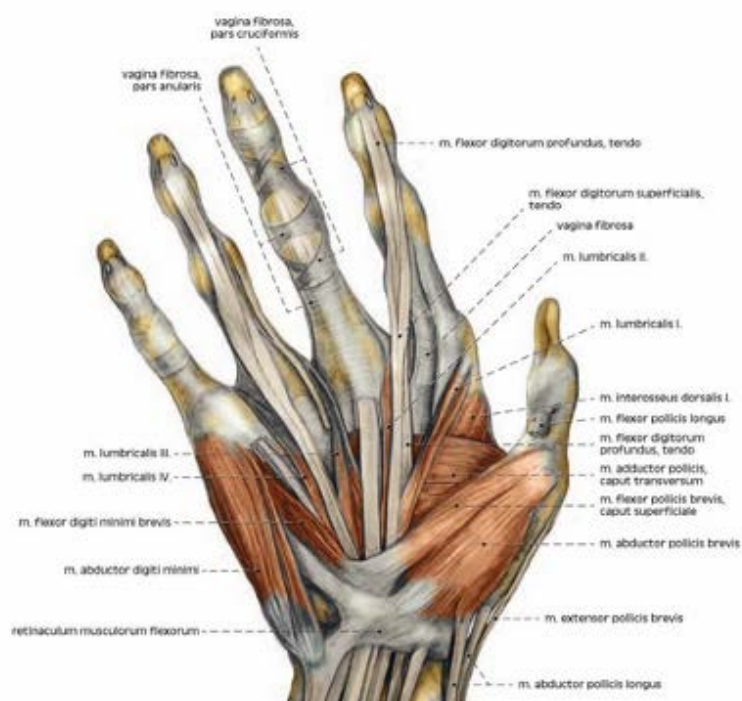


Obrázek 4. Schéma typů kloubních spojení ruky, dorzální pohled pravé ruky (Dylevský a Ježek, 2003).

Ke svalům ruky (*musculi manus*) lze podotknout, že na dorzální straně se nenacházejí žádné specifické svaly ruky, naopak na palmární straně spoluvytvářejí typické krátké svaly ruky určité skupiny, jež následně tvoří dlaň (*palma manus*). Tyto svaly lze rozdělit do čtyř skupin: svaly thenaru (skupina palcová), svaly hypothenaru (skupina malíková), *musculi lumbricales* (v dlani) a *musculi interossei* (v intermetakarpálních prostorech) (Obrázek 5 a Obrázek 6) (Čihák, 2011).



Obrázek 5. Svaly ruky a šlachové pochvy, pravá ruka z palmární strany (Grim et al., 2014).



Obrázek 6. Svaly ruky a šlachové pochvy, pravá ruka z palmární strany (Grim et al., 2014).

Jednotlivé svaly, šlachy a vazy mají vliv na morfologii kostí ruky, ty musí být také nutně zásobeny řečištěm cév a nervů.

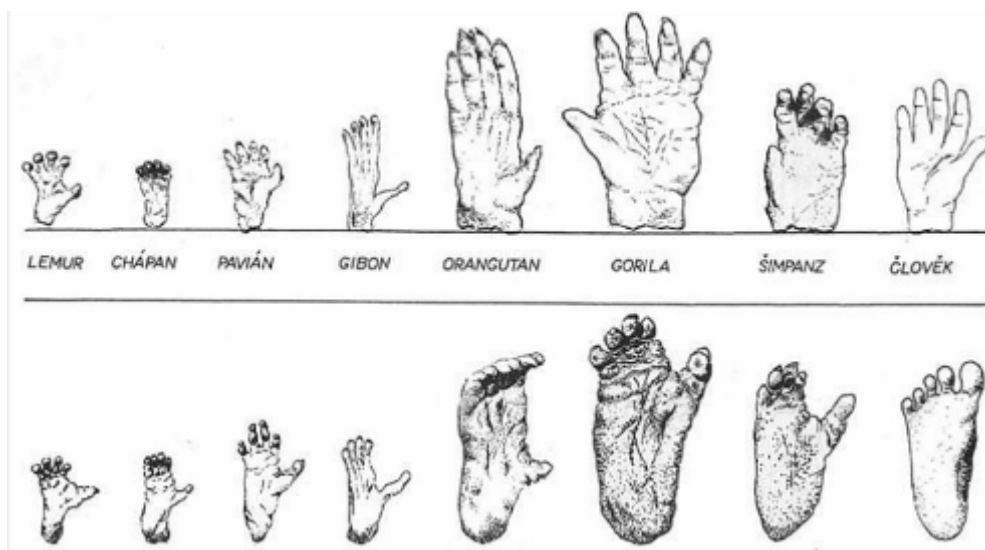
3.2 Fylogenetický vývoj končetin

Fylogenetický vývoj horní končetiny je totožný s vývojem končetiny dolní. Končetiny se ve fylogenezi vyvíjely z útvaru primitivních ryb, který nazýváme ploutvový lem. Po vymizení jeho střední části, zůstává horní a dolní končetina v místě původní prsní a břišní ploutve fosilních lalokoploutvých ryb. Ploutve byly postupně během vývoje přestavěny v končetiny kvadrupedních živočichů (Čihák, 2011).

Základní stavba kostry končetin je rozdělena do čtyř segmentů: *cingulum* (C) – pletenec, umožňující napojení horní a dolní končetiny k osovému skeletu, *stylopodium* (S) – tvořeno vždy jednou kostí napojující se na pletenec, *zeugopodium* (Z) – u horní končetiny tvořen dvěma kostmi předloktí (*radius*, *ulna*) a u končetiny dolní dvěma kostmi bérce (*tibia*, *fibula*) a *autopodium* (A) – finální úsek tvořený rukou (*manus*) nebo nohou (*pedis*) v základě s pěti-paprskovitým uspořádáním (původně pěti-paprskovitá končetina plazů). Každý tento segment se pak liší co do pohyblivosti, tvaru a uspořádání jednotlivých kostí (Čihák, 2011).

Stavba horní končetiny se od stavby končetiny dolní u člověka liší, a to v závislosti na její odlišné funkci a rozdílné zátěži, je tedy zřejmé, že během vývoje muselo dojít k určitým morfologickým změnám nejen na kostech. Horní končetina je více přizpůsobená funkcím spojeným s uchopováním předmětů, na rozdíl od dolní končetiny, která má zajišťovat především bipední chůzi. Horní končetina nemá při lokomoci u homininů velký význam, její důležitou funkcí je především manipulace. U šimpanzů pak hraje důležitou roli schopnost dobré manipulace při groomingu nebo čištění ovoce před konzumací. Dobrá schopnost manipulace je neméně důležitá i při nástrojovém chování a zacházení s drobnými předměty (Vančata, 2013; Vančatová, 2011). Předpokladem pro vývoj horní končetiny včetně ruky (*manus*), jak ji známe dnes, byla také nutná změna ve tvaru úponů a šlach i svalů ruky, spolu se změnami spojenými s řízením

svalů, týkajících se centrální nervové soustavy (CNS). Tzv. komplex „mozek-ruka“ je pak faktorem, který významně ovlivnil další proces hominizace, a to především co do zlepšení a rozvoje motoriky, kognice a komunikace, ale i učení a nemalou roli sehrál i v rozvoji nástrojového chování, neméně důležitého pro celkové formování lidského chování a rozvoj sociální organizace (Vančata, 2013).



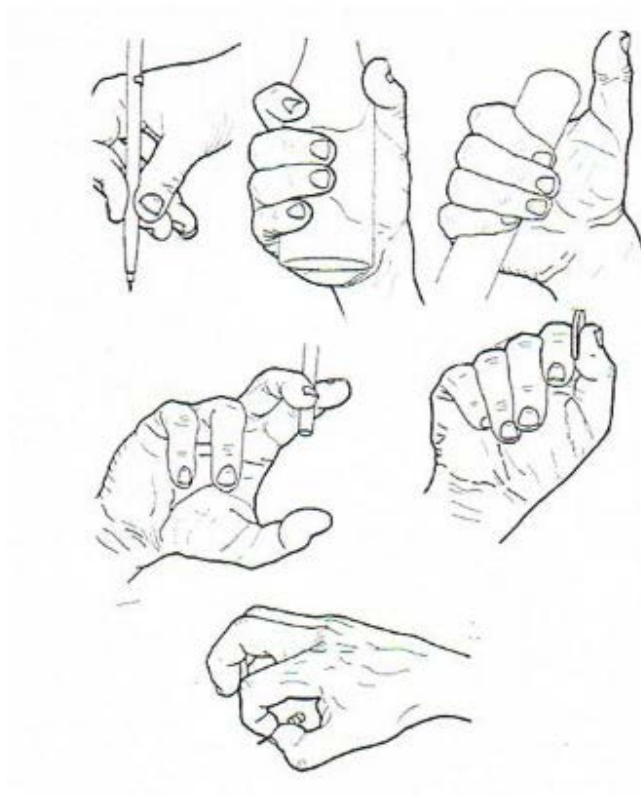
Obrázek 7. Srovnání rukou (nahore) a nohou (dole) člověka a ostatních primátů
(<http://slideplayer.cz/slide/2004312/>).

Během evoluce člověka došlo k několika zásadním změnám týkajících se horní končetiny, například u australopitéků byla ruka více podobná rodu Homo, vyjma starší skupiny australopitéků spodního pliocénu, jejichž ruce a nohy byly morfologicky uspořádány, tak, aby mohli nejen dobře manipulovat s předměty, ale zároveň šplhat po stromech (Obrázek 7). V případě mladších australopitéků se již ukazují modernější morfologické znaky, jež dokazují domněnku, že tito australopitéci stromová patra využívali jen zřídkakdy. Naopak měli díky vyspělejší morfologii ruky (konkrétně *A. sediba*) již možnost vyrábět technologicky náročnější kamenné industrie oldovanského typu (Vančata, 2013).

Je zřejmé, že změny, které se během evoluce odehrály, se projevují nejvíce v morfologii ve finálním úseku horní končetiny (*autopodia*). Za velmi důležitou změnu v tomto úseku je mimo jiné považováno opositní

postavení palce ruky, kdy došlo k jeho uvolnění a postavení proti ostatním prstům (D2 až D5). Postavení palce do opozice oproti ostatním prstům následně umožnilo provádět různé doteky palce a ostatních prstů, například dotek palce (D1) a druhého prstu (D2), dotek s prstem pátým (D5), případně dotek palce (D1) společně s druhým a třetím prstem (D2 a D3).

Toto opozitní postavení palce je umožněno postavením první záprstní kosti proximálněji než je tomu u ostatních záprstních kostí, dále pak silnými svaly palcového valu (*thenar*). Svalů umožňujících pohyb, kdy přechází palec do opozice, je pět a představují je čtyři svaly *thenaru* (*m. abductor pollicis longus*, *m. abductor pollicis brevis*, *m. opponens pollicis*, *m. adductor pollicis*) a pátý *m. interosseus dorsalis I.* (Čihák, 2011). Za pomoci ostatních svalů horní končetiny pak můžeme dnes jako příslušníci poddruhu *Homo sapiens sapiens* vykonávat rozličné množství úchopů a pohybů (Obrázek 8) (Čihák, 2011; Véle, 2006).



Obrázek 8. Ukázka základních typů úchopů (Véle, 2006).

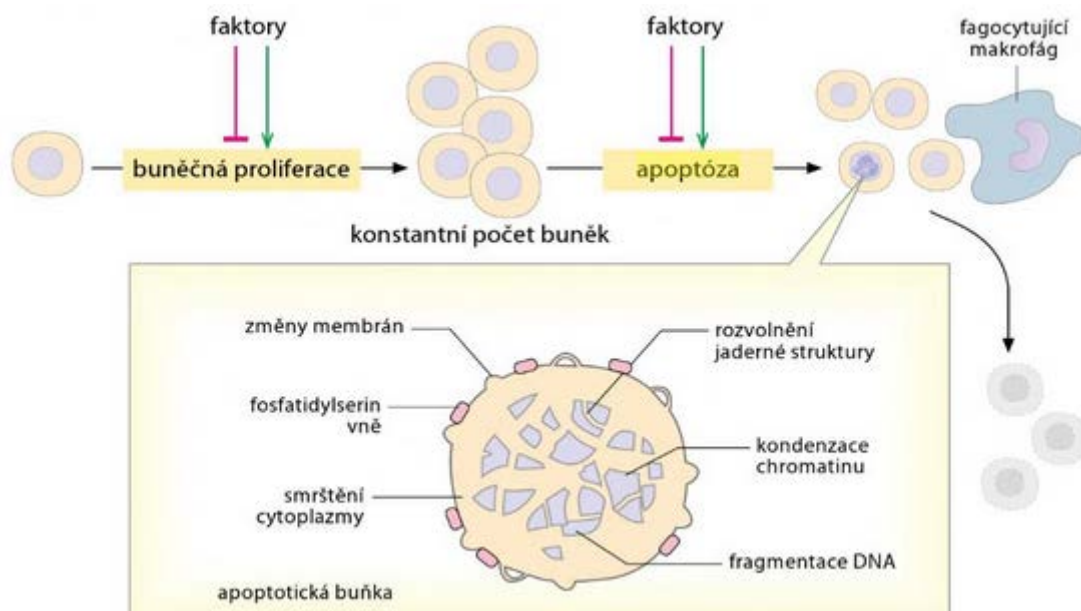
3.3 Ontogenetický vývoj ruky

Ontogeneze by se dala považovat za jistou „rychlejší rekapitulaci“ fylogeneze (Sadler, 2011).

„Rozdíl mezi oběma fenomény je ovšem hlubší než pouhé měřítko. Vývoj jedince je totiž dopředu naprogramován do té míry, že ze slepičího vajíčka určitě vyroste buď slepice či kohout, anebo – když něco selhalo – nic,“ (Zrzavý et al., 2004, s.24). Výsledek ontogeneze lze tedy do určité míry předvídat, na rozdíl od fylogeneze, jejíž podobu můžeme zpětně odhadovat (rekonstruovat) pouze na základě dochovaného materiálu (Zrzavý et al., 2004).

V rámci ontogeneze horní končetiny se nejprve přibližně ve 24. dnu vytvoří ploutvovitý základ končetiny tzv. končetinový pupen v úrovni budoucích obratlů (somitů) pátého krčního obratle (C5) až prvního hrudního obratle (Th1). Ve čtvrtém týdnu vývoje už vidíme hotový končetinový pupen (v této fázi se teprve začíná vytvářet končetinový pupen pro dolní končetinu) vyčnívající z tělní stěny, do osmého týdne pak pokračuje jeho růst. Tento růst je podporován vzájemnou interakcí mezi ektodermem na povrchu a mezenchymem (původem z mezodermu) uvnitř končetinového pupenu. Růst pupenu do délky pak zajišťuje tzv. apikální ektodermový hřeben, jeho správná funkce zajišťuje další vývin končetiny, pokud dojde k narušení funkčnosti, končetina se dále nevyvíjí.

Samotný vývoj ruky (*manus*) začíná aktivací skupin mezenchymových buněk a tvorbou ploténky (kolem 33. dne) a pokračuje vznikem prstových paprsků (kolem 6. týdne). Následuje proces zvaný apoptóza (Obrázek 9).

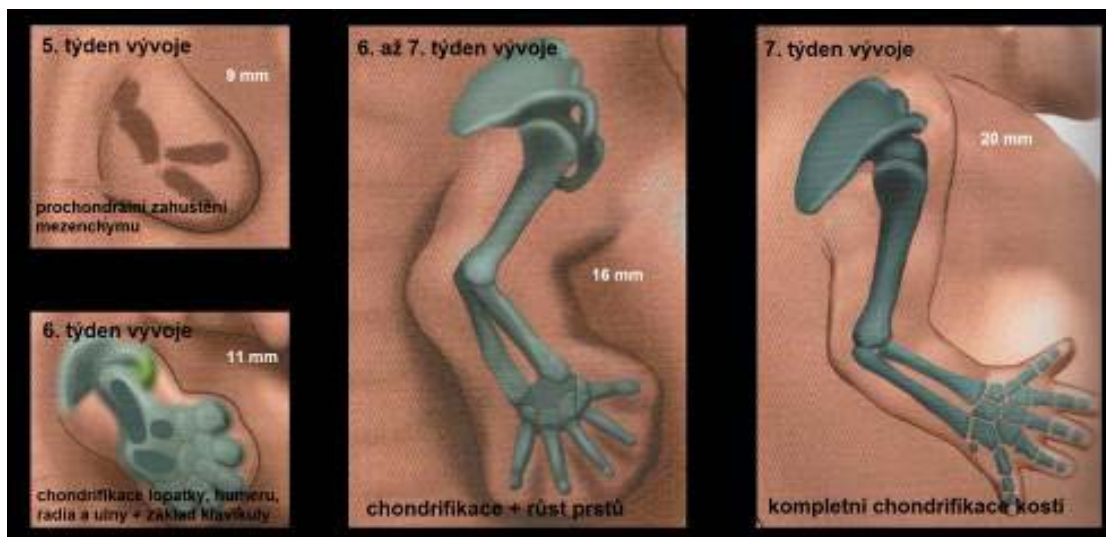


Obrázek 9. Proliferace a apoptóza (Koolman a Röhms, 2012).

Apoptóza, neboli geneticky naprogramovaná fyziologická buněčná smrt, která spolu s proliferací buněk ovlivňuje počet buněk v určité tkáni. Proces apoptózy mimo kontrolu počtu buněk v tkáni rovněž umožňuje odstranění buněk přebytečných čili nežádoucích, jako je tomu právě v tomto případě během embryonálního vývoje ruky. Apoptóza je regulována stimulačními a inhibičními faktory, například faktory růstovými a *cytokiny*, příčinou tedy není fyzické či chemické poškození, i přes to, že výsledkem apoptózy je úplná destrukce (smrt) celé buňky (Koolman a Röhms, 2012). Při vývoji ruky způsobí apoptóza rozdělení meziprstových paprsků a apikálního hřebene, čímž dochází k oddělení jednotlivých prstů a je umožněn jejich následný samostatný růst do délky.

V mezenchymu, který se nachází uvnitř končetinového pupenu, dochází koncem pátého týdne k prochondrálnímu zahušťování a expresi skupiny HOX genů, jejichž vlivem následně vznikají základy jednotlivých budoucích kostí, kloubů, šlach svalů a vaziva. V šestém týdnu tento proces pokračuje chondrifikací, neboli přeměnou mezenchymového základu v základ chrupavčitý. Chondrifikace kostí probíhá u horní končetiny v proximodistálním směru a v sedmém týdnu by měla být již zcela kompletní (Obrázek 10). V 8. týdnu prenatálního vývoje je už pak dobře

patrná vnější morfologie jednotlivých částí horní končetiny. Následuje vývoj kloubů a od sedmého do dvanáctého týdne probíhá osifikace kostí. Samotný růst je dán nejen zvětšováním buněk, ale také jejich proliferací a změnou složení mezibuněčného prostoru. Na růstu kostí se mimo jiné podílejí i některé hormony na rozdíl od svalů a šlach, jejichž růst je stimulován tahem způsobeným růstem kostí (Čihák, 2011).



Obrázek 10. Ontogeneze horní končetiny v prenatalním vývoji (Čihák, 2011).

Osifikace krátkých kostí zápěstí je enchodrální. Jako první osifikuje z chrupavčitého základu *os capitatum*. Dále osifikují ostatní zápěstní kosti v pořadí *os hamatum*, *os triquetrum*, *os lunatum*, *os scaphoideum*, *os trapezium* a *os trapezoideum*. Osifikace každé kosti probíhá z jednoho osifikačního jádra, osifikace postupuje směrem od středu k povrchu. Výjimku tvoří *os pisiforme*, která jakožto sezamská kost osifikuje později, v 7. až 13. roce po narození. Stupeň osifikace zápěstních kostí je jedním z ukazatelů tzv. kostního věku a odkazuje k tělesné vyspělosti dítěte.

Na rozdíl od kostí zápěstí probíhá osifikace kostí záprstních prenatalně již v 9. týdnu. Diafýzy druhých až pátých kostí záprstních (MCII až MCV) osifikují přednostně. Epifýzy záprstních kostí začínají osifikovat kolem druhého až třetího roku života, ke splynutí s diafýzami dochází kolem patnáctého až devatenáctého roku života, dříve pak u dívek spíše než u chlapců. U prvních metakarpálních kostí (MCI) se epifýzy nacházejí

při bazi kosti. Epifýzy ostatních záprstních kostí pak v hlavici kosti. Někdy se mohou objevit i tzv. „*pseudoepifýzy*“ v hlavici první záprstní kosti, případně při bazi ostatních kostí záprstních (MCII až MCV) (Čihák, 2011).

Články prstů jsou vzhledem ke způsobu a rychlosti osifikace srovnatelné s osifikací u MCI (vychází z osifikačního centra při bazi kosti) a jsou označovány za tzv. *monoepifýzové* kosti. Stejně jako kosti záprstní začínají osifikovat prenatalně kolem osmého až devátého týdne (Čihák, 2011).

3.4 Variabilita ruky

Variabilita rukou se projevuje zejména ve velikosti a tvaru rukou. Morfologie ruky je ovlivněna především genetickými faktory, vnějším prostředím a působením dalších stresových faktorů (např. nutriční stres) během vývoje a růstu jedince (viz dále také podkapitola Vrozené vady ruky). Nemálo pak přispívá k variabilitě rukou i samotné chování jedinců (stranová preference) během jejich života viz asymetrie dále v textu. Velikost a tvar rukou závisí tedy zejména na populační afinitě (Garn et al., 1972; McFadden a Bracht, 2009; Wilbur, 1998), respektive na klimatických podmínkách, ve kterých daná populace delší dobu žije a je nucena zde odolávat stresu vnějšího prostředí (Allenovo a Bergmanovo pravidlo) (Allen, 1907; Bergman, 1847; Betti et al., 2015).

Odlišnosti ve tvaru a velikosti rukou pak můžeme pozorovat na několika úrovních, a to: (A) napříč populacemi v prostoru a čase nebo (B) mezi pohlavím, či (C) uvnitř jedné populace (Králík et al., 2014) a (D) na úrovni jednotlivců (mezi levou a pravou rukou).

Asymetrie jako jeden z faktorů variability se dělí na tři základní typy: (1) asymetrii flukтуаční (*fluctuating asymmetry*), popisovanou jako menší náhodnou odchylku od bilaterální symetrie lidského těla (Savage a Hogarth, 1999). Tato asymetrie se významně liší od dalších dvou typů asymetrie, které ve své práci popsali Polak a Trivers (Polak a Trivers,

1994), a to od (2) asymetrie směrové (*direction asymmetry*) a (3) tzv. anti-asymetrie.

Rozdíl mezi asymetrií fluktuační, směrovou a anti-asymetrií spočívá v tom, že na fluktuační asymetrii mají vliv jak genetické faktory, tak i stresové faktory vnějšího prostředí (např. nemoc, teplotní výkyvy, *inbreeding*, umělá/vědomá selekce) působící během vývoje a růstu jedince. Budeme-li hovořit o ruce, bude se asymetrie projevovat na úrovni délkových rozměrů jednotlivých kostí (např. článků prstů), tak i délek celých prstů a potažmo na délce a šířce ruky, kdy se jednotlivé rozměry budou lišit například u levé oproti pravé ruce jedince (Ishak et al., 2012; Kanchan a Krishan, 2011; Rastogi et al., 2008).

Míra fluktuační asymetrie pak poukazuje například na zdravotní stav jedince nebo schopnost přežití celé populace, vývojovou stabilitu a kvalitu prostředí, ve kterém daná populace žije. I přes četné studie zabývající se asymetrií, ať už z hlediska biologické antropologie, bioarcheologie, behaviorální ekologie či genetiky, zůstává přesná povaha genetické a molekulární regulace asymetrie víceméně nejasná (Savage a Hogarth, 1999). Jiné studie pak potvrzují behaviorální dopad na asymetrii rukou vzhledem ke stranové preferenci levé nebo pravé ruky daným jedincem. Stejně tak může být odlišná asymetrie u žen a u mužů v rámci jedné populace (Auerbach a Ruff, 2006; Garn et al., 1976; Krishan et al., 2011; Plato et al., 1980).

3.4.1 Vrozené vady ruky

Během embryonálního vývoje může dojít působením stresu k vrozeným patologiím horní končetiny, patrných i na ruce. Výsledný fenotyp rukou je však ovlivněn řadou faktorů. U většiny vrozených patologií ruky mají velký vliv genetické faktory. Mezi tyto faktory se řadí například chromozomální aberace. K výslednému variabilnímu vzhledu končetin pak přispívají i vlivy vnějšího prostředí, kam můžeme řadit působení fyzikálních nebo chemických činitelů a další stres například v podobě nedostatečné nebo nekvalitní výživy (Čihák, 2011).

Pokud je během prenatálního vývoje zablokován proces apoptózy, dojde ke spojení a pozdějšímu srůstu prstů tzv. *syndaktylii* (Obrázek 11), případně k *polysyndaktylii*, kdy dochází ke srůstu dvou či více prstů. Mimo již zmíněnou *syndaktylii*, se jedná například o vady spojené s poruchami růstu, kdy: „I malé rozdíly v růstu (diferencovaný růst), podmiňují změny konečného tvaru. Není však příliš jasné, jak je tento program specifikován, ale jsou známy faktory, které růst stimuluje, i faktory, které ho brzdí,“ (Čihák, 2011, s.54). Výjimečně se může objevit variace v podobě *trifalangie* palce (třetí článek u D1). Další změny týkající se článků prstů se mohou rovněž objevit u vrozených malformací končetin. Geneticky podmíněné mohou být také individuální variace, projevující se odlišnou relativní délkou, ale i poměrem délky vůči šířce u článků jednotlivých prstů. Taktéž u metakarpů se mohou objevit různé vrozené vady, spojené s malformacemi končetin například chybějící MCI nebo MCII (u *manus vera congenita*) (Čihák, 2011).



Obrázek 11. Syndaktylie porucha rozdělení třetího a čtvrtého prstu pravé ruky
(<http://yuveo.de/handchirurgie/syndaktylie.html>).

Dále je známa například tzv. *brachydaktylie*, neboli zkrácení článků jednotlivých prstů způsobené mutací genu *BMPR* (*bone morphogenetic proteine receptor*), což má negativní dopad na chrupavčitý základ pozdější kosti (Otová, 2008). Dalším patologickým jevem je *brachymetakarpie*, která se zvnějšku projeví také jako zkrácení prstů, jde však o vadu, při které

dochází ke zkrácení kostí zápěstních. Obě tyto patologie mohou, ale nemusí být dědičné, často se vyskytují bilaterálně (symetricky). Některé výzkumy například potvrdily vyšší výskyt *brachymetakarpie* pátého metakarpu (MCV) u lidí trpících onemocněním *diabetes mellitus*, Turnerovým syndromem a hypotyreózou (Brunner et al., 2015). Mezi další vývojové vady řadíme například *arachnodaktylii*, pojící se s Marfanovým syndromem (Obrázek 12), polydaktylii (nadpočet prstů) (Obrázek 13), vzácněji pak *monodaktylii* (přítomnost pouze D1) nebo *oligodaktylii* (snížený počet prstů) (Dungl, 2005; Šípek et al., 2009).



Obrázek 12. Arachnodaktylie (Marfanův syndrom) (<http://slideplayer.cz/slide/2520446/>).

Mezi méně časté vady dále patří například rozštěp ruky, postihující zápěstní kosti a třetí prst (D3), *brachysyndaktylie* (zkrácení srostlých prstů) nebo *makrodaktylie*, nadměrný růst, spojený buď s vaskulárními změnami, neurofibromatózou a nebo s kostními či chrupavčitými exostózami, hypersegmentace (např. již zmíněný tříčlankový palec), synostózy karpálních a metakarpálních kostí a jiné vrozené deviace (Rayan a Upton III, 2014).



Obrázek 13. Polydaktylie (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Polydaktylie>).

V České republice byly zaznamenány jako nejčastěji se vyskytující vrozené vady ruky syndaktylie a polydaktylie (Tabulka 1). Marfanův syndrom se pak vyskytl u 26 novorozenců v období od roku 1994 do roku 2006 (Šípek et al., 2009).

„V současné době se odhaduje, že 8 až 10 % vrozených vad může být způsobeno efektem zevního prostředí (především léky, viry aj.). U zhruba 50 až 60 % vrozených vad zůstávají stále příčiny neznámé, 20 – 25 % je podmíněno multifaktoriální dědičností, 6 – 7 % je způsobeno známými chromozomálními abnormalitami a 7 až 8 % mutantními geny,“ (Šípek et al., 2009, s.42-43).

Tabulka 1. Zobrazující počet novorozenců v České republice s vrozenou vadou ruky mezi lety 1994 až 2007 (Šípek et al., 2009).

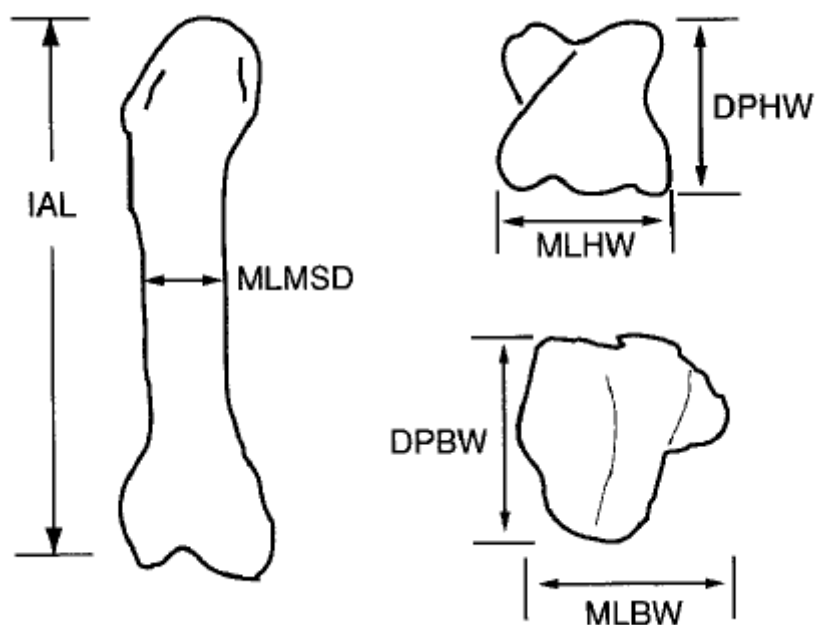
Diagnóza	Počet
Polydaktylie (nadpočetný palec ruky/nadpočetné palce rukou)	306
Polydaktylie (nespecifická)	249
Syndaktylie (sloučené prsty ruky)	186
Syndaktylie (nespecifická)	138
Polysyndaktylie	100
Blanitě spojené prsty ruky	114
Vrozené chybění ruky a prstu(ů)	145

3.4.2 Mezipopulační variabilita ruky

Vztah mezi klimatem a tělesnou stavbou (morfologií) vysvětluje Allenovo a Bergmanovo pravidlo. Obě pravidla se zaměřují na změny poměru tělesného povrchu vůči tělesné hmotnosti, tyto změny by pak měly být patrné například i na morfologii kostí končetin, kdy podle Allenova pravidla budou končetiny spíše kratší, pokud bychom předpokládali adaptaci na chladnější klimatické podmínky (Allen, 1907). Na základě Bergmanova pravidla můžeme předpokládat, že populace žijící v chladnějších oblastech mají tendenci zmenšovat svojí povrchovou plochu vůči hmotnosti, aby nedocházelo k přílišným ztrátám tepla. V případě končetin musí tedy nutně docházet nejen k redukci délky, ale také ke zvětšování jejich šířky (Bergman, 1847).

Některé další studie (Holliday, 1997; Weinstein, 2005) zabývající se délkami končetin minulých i současných lidských populací potvrdily, že populace žijící v chladnějších podmínkách mají relativně kratší končetiny, než skupiny/populace žijící nebo pocházející z teplejších oblastí (Lazenby a Smashnuk, 1999).

Lazenby a Smashunk (Lazenby a Smashnuk, 1999) vydali studii zaměřenou na odlišnou morfologii MCII u Inuitů, ve které testovali právě Allenovo pravidlo. Kosterní materiál představoval dva soubory, první vzorek byl tvořen minulou inuitskou populací, pocházející ze Southampton Island, který se nachází severně od Hudson's Bay pod polárním kruhem v Kanadě. Druhý vzorek zahrnoval evropské osadníky z 19. století a pocházel ze hřbitova v Belleville v Ontariu. Pro měření diafyzární a kloubní velikosti si zvolili šest rozměrů (Obrázek 14), interartikulární délku (IAL), dorsopalmární a mediolaterální šířku hlavice kloubu (MLHW a DPHW), mediolaterální šířku baze (MLBW), dorsopalmární šířku baze (DPBW) a mediolaterální průměr (MLMSD).



Obrázek 14. Šest lineárních rozměrů pro MCII (Lazenby a Smashunk, 1999).

Autorům se potvrdila hypotéza o osteologických dokladech adaptace na klimatické podmínky viz Allenovo pravidlo (Allen, 1907). Oproti původním evropským osadníkům měli Inuité hlubší metakarpophalangeální kloub a zároveň kratší interartikulární délky a větší mediolaterální šířku baze (Lazenby a Smashnuk, 1999).

Stejně tak Betti (Betti et al., 2015) ve své studii testovala Allenovo pravidlo a efekt klimatu na morfologii horní a dolní končetiny, kde sledovala nejen poměry kostí předloktí a bérce, ale také dopad odlišných klimatických podmínek na morfologii nohy a ruky. Jako materiál jí sloužila data od 393 jedinců z deseti geograficky a klimaticky různých populací ze všech klimatických zón světa (Obrázek 15).



Obrázek 15. Geografické umístění studovaných populací (Betti et al., 2015).

K analýze využila osmi indexů nezávislých na absolutní výšce jedince (*Crural index*, *Foot index*, *Foot index 2*, *Metatarsal 1*, *Brachial index*, *Hand index 1*, *Hand index 2*, *Metacarpal 1*), pro které naměřila maximální délky a šířky jednotlivých kostí. Následná analýza potvrdila výsledky předchozích studií zabývajících se relativními délkami končetin (Dean, 1990; Franciscus a Holliday, 1992; Holliday, 1997; Holliday a Ruff, 2001). Populace žijící v chladnějším klimatických podmínkách mají kratší vřetenní a holenní kost v poměru k proximálním kostem končetin (*femur* a *humerus*), a to nejen u současných, ale i minulých populací, což také znamená, že na celkové délce končetin se více podílejí kosti předloktí či bérce, tedy kosti uložené distálně od těla. Můžeme se tak domnívat, že nejdistaněji se nacházející kosti horní končetiny (ruky) budou na klimatické změny reagovat silněji než samotné kosti předloktí, což se prozatím nepotvrdilo.

Betti (Betti et al., 2015) dále poznamenává, že populace žijící ve vyšších nadmořských výškách, kde panuje chladnější podnebí, mají sklon mít kratší kosti předloktí a bérce vůči pažním a stehenním kostem. Tento trend se projevuje také na kostech ruky, konkrétně na zkoumané první záprstní kosti (MCI), to se ovšem nedá říci o první zánártní kosti (MTI), kde jak autorka říká, může mít větší vliv spíše zachování biomechanických vlastností chodidla. Efekt Bergmanova a Allenova pravidla se projevuje tedy i na kostech ruky na rozdíl od kostí nohy, což mimo jiné souvisí i s rozdílnou funkcí ruky a nohy spolu s odlišným cévním zásobením.

Určitou roli hraje také pohlavní dimorfismus, kdy u žen nebyl potvrzen vztah mezi délkou a tvarem kostí ruky a teplotními rozdíly v klimatu, což však může být dáno nedostačující velikostí souboru (Betti et al., 2015).

3.4.3 Pohlavní dimorfismus ruky

Pohlavní dimorfismus je termín, kterým popisujeme rozdíly mezi muži a ženami. Ten je dán absolutně větší velikostí mužů oproti ženám. Mezipohlavní rozdíly jsou patrné také na ruce, kdy ruce mužů a žen se od sebe liší především svým tvarem a velikostí (robusticitou). Další studie pak uvádějí, že muži mají obecně delší a širší ruce (Tabulka 2) než ženy (Agnihotri et al., 2008; Alicioğlu et al., 2009; Barrio et al., 2006; Bennett, 1981; Case a Ross, 2007; El Morsi a Al Hawary, 2013; Habib a Kamal, 2010; Ibeachu et al., 2011; Ishak et al., 2012; Jasuja a Singh, 2004; Kanchan a Rastogi, 2009; Karakostis et al., 2015; Krishan et al., 2011; Lazenby a Smashnuk, 1999; McFadden a Bracht, 2009; Snow, 2006).

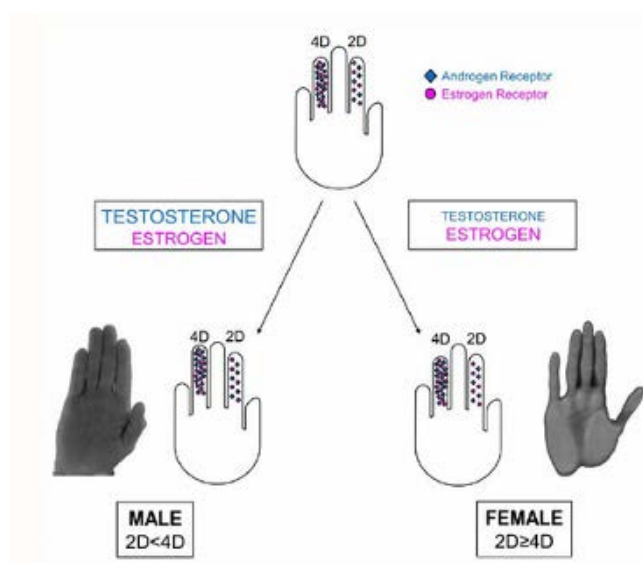
Tabulka 2. Průměrná velikost rukou u Evropanů (převzato z Snow, 2006).

Pohlaví	n	Délka ruky	Šířka ruky	Poměr šířky a délky ruky
Muži	9883	190,8	87,3	0,458
Ženy	8848	173,5	77,0	0,444

Dalším sledovaným znakem mimo robusticity může být například míra exprese jednotlivých svalových úponů (entezopatií) (Gunn, 2006;

Králík et al., 2014; Manning, 2002; Snow, 2013; Snow, 2006; Voracek, 2009; Wang et al., 2010).

Pohlavní dimorfismus rukou se zakládá již v rané ontogenezi, kdy vývoj mužské ruky je do určité doby v předstihu před vývojem ruky ženské (Garn et al., 1976). Růst jedince je ovlivněn především růstovým hormonen IGF-1, ale i steroidními hormony, zejména testosteronem a estradiolem (Lutchmaya et al., 2004). Muži mají relativně delší 4. prst než ženy a tím i nižší tzv. Manningův index (2D:4D), pohlavní rozdíly ve 2D:4D nastávají kolem 9. týdne fetálního vývoje (Obrázek 16) (Manning, 2002; Putz et al., 2004).



Obrázek 16. Manningův index u mužů a žen (<https://fingerlengthdigitratio.wordpress.com>).

Vlivem testosteronu, estradiolu a kortizolu na vývoj lidské ruky se zabývala také Ingrová (Ingrová et al., 2014). Pomocí Spearmanova korelačního koeficientu (R) analyzovala souvislost mezi hladinou hormonů a rozměry ruky. Hladinu hormonů stanovila pomocí enzymatické kompetitivní analýzy (EIA), rozměry byly vypočteny z 33 bodů na ruce, k těmto účelům sloužily Ingrové otisky rukou získané pomocí skeneru od deseti žen a jedenácti mužů. „Více korelací s hodnotou $R > 0,5$ nebo $R < -0,5$ bylo zaznamenáno u mužů než u žen. Nejslabší vztahy byly zjištěny mezi rozměry rukou a hladinami estradiolu. Nejvíce rozměrů rukou

korelovalo (i statisticky významně) s hladinami kortizolu a jednalo se o korelace negativní, tj. čím vyšší byly hladiny kortizolu, tím menší byly rozměry rukou,“ (Ingrová et al., 2014, s.65).

Pohlavní dimorfismus se v průběhu evoluce mění, kdy u minulých populací byly zjištěny výrazně vyšší morfologické odlišnosti mezi muži a ženami oproti pohlavním rozdílům, které vykazují populace současné (Snow, 2006).

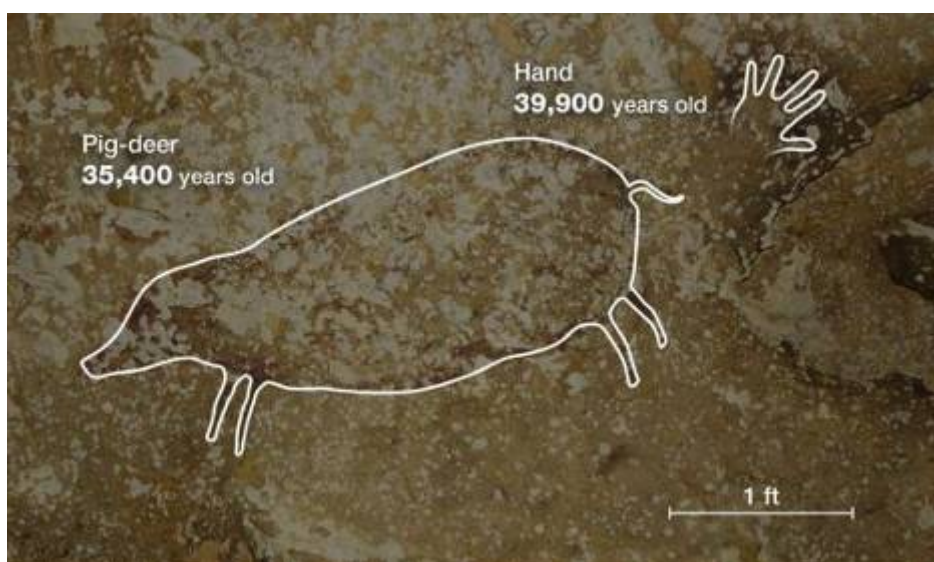
„Svrchně paleolitický člověk [...] měl poměrně velkou tělesnou výšku. Vysocí byli zejména muži, kteří mohli dosahovat až výšky okolo dvou metrů, ale kteří byli, na rozdíl od žen, zároveň poměrně štíhlí. Ženy byly sice vyšší než ženy neolitické nebo neandrtálské, ale byly výrazně menší a často (zhruba ze dvou třetin) také mnohem robustnější než muži. Tento rys pohlavních rozdílů se u mladších svrchně paleolitických populací již neobjevuje. [...] Robusticita jejich těla [žen svrchního paleolitu] mohla dosahovat téměř hodnot robusticity neandrtálských žen, samozřejmě se ale výrazně lišily ve všech podstatných morfologických charakteristikách [...]. Také proporce jejich těla byly typické pro anatomicky moderního člověka. Nalézáme však i ženy malé a štíhlé,“ (Vančata, 2013, s.34). Nejvýraznější pohlavní dimorfismus u svrchně paleolitických populací Evropy pak autor připisuje tzv. gravettským populacím anatomicky moderních lidí (Vančata, 2013).

Stejně tak je míra pohlavního dimorfismu závislá na věku jedince, neboť je známo, že u starších žen můžeme pozorovat vyšší robusticitu (maskulinizaci) sledovaných morfologických struktur na kostech, naopak mladší (adolescentní) muže lze snadno chybně zaměnit za ženy.

3.5 Otisky rukou jako součást paleolitického jeskynního umění

Paleolitičtí lidé jakožto tvůrci parietálního jeskynního umění po sobě zanechali jedinečný důkaz své existence a sofistikovanosti v podobě otisků ruky aniž by tušili, že nám tím poskytují určité vodítko, díky kterému jsme do jisté míry schopni se těmito lidem více přiblížit. Otisky rukou zanechané

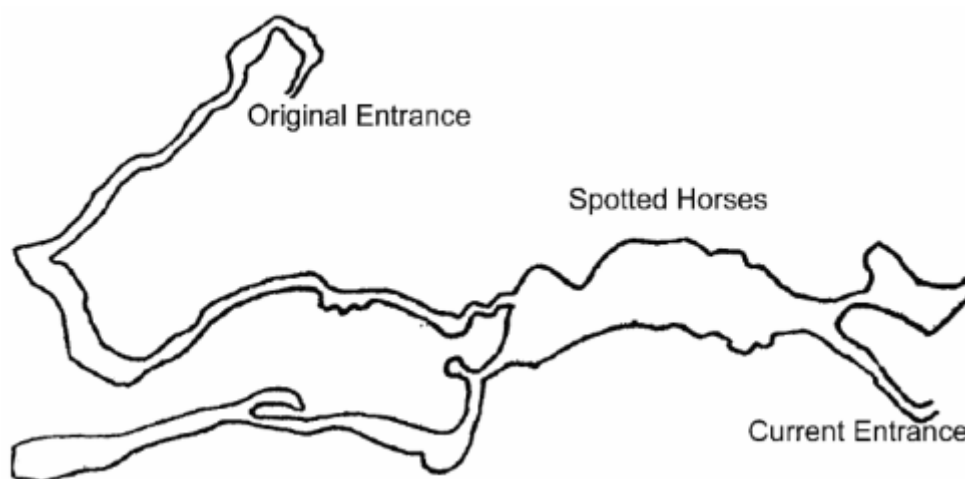
na stěnách jeskyní, které bývají součástí jiných, mnohem složitějších výjevů skalního umění, nalézáme například v jeskyních Altamira, Lascaux nebo Niaux v blízkosti Pyrenejí, které se datují do magdalénského období před 12 000 až 17 000 lety (Valladas et al., 2001). Jeskynní malby, jež otisky rukou často doprovází, pak nesou mnohé informace týkající se přesunů stád, majetkových poměrů a sociálního statusu členů jednotlivých skupin, podobně jako mytologie, neslouží tak pouze k dekorativním a estetickým účelům (Ambrožová, 2008). Toto výtvarné umění bývá připisováno převážně lidem z období magdalenienů, ačkoli: „[...] dnes známe skalní malby i z doby gravettienu, z Pyrenejí, Francie a Uralu, tento druh umění se výrazně rozvíjí především v období po posledním glaciálu,“ (Vančata, 2013, s.39). Nejstarší datovaný otisk ruky sahá až do období starého téměř 40 tisíc let (Obrázek 17).



Obrázek 17. Nejstarší datovaný otisk ruky na světě nacházející se v jeskyni Leang Timpuseng v Sulawesi, ostrov na východ od Bornea (Aubert et al., 2014).

Svoboda (Svoboda, 2002) ve své práci shrnuje základní rysy společné pro jeskyně, kde se paleolitické jeskynní umění nachází a podotýká, že některé z nich bývají často přehlíženy. Jedním ze jmenovaných rysů je (1) skrytost (Obrázek 18), o které vypovídá v terénu často neviditelný a obtížně přístupný vchod do jeskyně. Tento jev se velmi často opakuje. Což svědčí o záměrném výběru právě takových

velmi těžko fyzicky dostupných míst. Dalším společným rysem je pak (2) pojetí vnitřního prostoru, kde jednotlivé figurální motivy vynesené na stěnách jeskyní tvoří určitý strukturální systém a jsou navzájem mezi sebou propojeny pomyslnou sítí vyjadřující jejich vzájemné vztahy. Mnozí autoři, věnují svoji pozornost při analýze jeskynních maleb zejména těmto vztahům (Chazine a Noury, 2006). Nemálo nám může napovědět i samotný prostor těchto jeskyní. Celkové rozmístění maleb v prostoru pak bývá různé. Svoboda (Svoboda, 2002) tento jev ilustruje na příkladu španělské jeskyně El Castillo, jež je v tomto směru pravým opakem jiné španělské jeskyně Las Monedas, kde ačkoli v obou jeskyních nalézáme stejné povětšinou nefigurální motivy, v El Castillo byl symboly pokryt téměř celý prostor jeskyně na rozdíl od Las Monedas, kde je umění soustředěno pouze na jednu boční stěnu.



Obrázek 18. Znázornění odlehlosti vstupů od výskytu skalního umění (Snow, 2006).

Dalším společným rysem může být jednoduché ohraničení ploch určených k uměleckému vyjádření pomocí červených bodů nebo jiných jednoduchých symbolů samotnými autory jeskynních maleb (Svoboda, 2002).

Co se týče dalších motivů zahrnutých v jeskynních malbách, můžeme je rozdělit do tří skupin: (A) zoomorfní motivy, (B) antropomorfní motivy (otisky rukou) a (C) schematické znaky (Obrázek 19). Někdy se také objevují motivy, ve kterých splývá člověk se zvířetem. Dalším častým

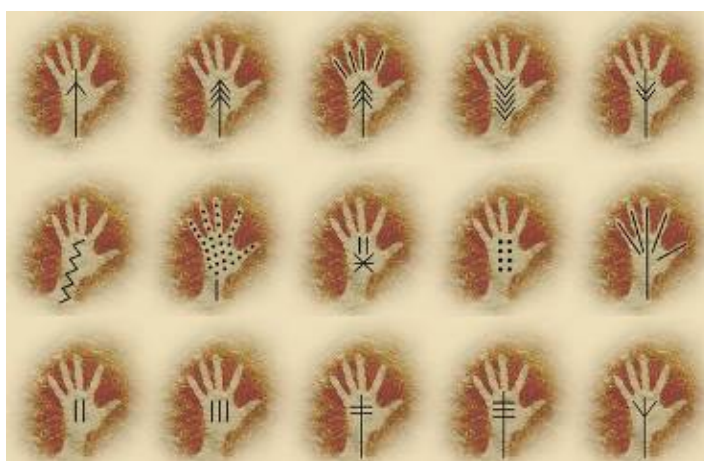
symbolem bývá trojúhelník, ať už znázorňující lidský obličej nebo ženu skrze tzv. „pubický trojúhelník“. Z těchto redukcí a stylizací lidských postav můžeme usuzovat, že člověk jako takový nebyl středobodem paleolitických jeskynních maleb (Svoboda, 2002). Otázkou zůstává, jakou roli v jeskynním umění hrály samotné otisky rukou, jež skalní malby hojně doprovází.



Obrázek 19. Zobrazení všech čtyř typů motivů zahrnutých v jeskynních malbách (Brazílie) (<http://curitibainenglish.com>).

Otisky rukou nám mohou o svých autorech mnohé vypovědět, bioarcheologové často interpretují otisky rukou jako určitý symbolický jazyk, vlastní podpis tvůrců umění nebo jako nějaké primitivní početní operace pomocí prstů (Brůžek et al., 2012; Dawson et al., 2011; Khanpetch et al., 2012; Wang et al., 2010). Otisky rukou byly zhotovovány černou nebo okrovou (červenou) barvou a mohly být doplněny také o různé symboly (Obrázek 20) (Snow, 2006; Svoboda, 2002). Je znám dvojí způsob, jakým mohly otisky rukou pravděpodobně vznikat: (A) otisky rukou byly zhotovovány namočením ruky do pigmentu a následným otisknutím na stěnu jeskyně, takto vznikaly tzv. pozitivní otisky rukou (*positive handprints*) nebo v druhém případě (B) člověk přitlačil ruku ke stěně a využil ji jako šablonu, tímto vznikaly otisky negativní (*negative hand*

stencils), pro nanesení (nastříkání) barvy byla použita trubička a barvivo se foukalo skrz tuto trubičku pusou, to mělo ve výsledku stejný efekt jako dnešní spreje (Obrázek 21). Předpokládá se, že u paleolitických umělců převládala preference pravé ruky, proto na stěnách vidíme častěji negativní otisky levých rukou, vzhledem k tomu, že v pravé ruce umělci drželi onu trubičku. V případě kdy máme otisky pravých rukou, mohla být barva přes ruku nanášena prskáním přímo z úst bez použití jiného nástroje (Snow, 2006).



Obrázek 20. Symboly doplňující negativní otisky rukou z jeskyně Tewel, východní Kalimantan (Putney, 2014).

V mnoha jeskyních (např. Maltravieso, Gargas) také často nalézáme otisky, na kterých chybí buď celé prsty, nebo pouze části prstů, v druhém případě je pravděpodobné, že konce prstů, které zde nejsou zobrazeny, tvůrcům skutečně chyběly. Pokud však u otisků ruky chybí celé prsty, je zde možnost, že je jejich tvůrci měli při zhotovování pouze ohnuté do dlaně (Snow, 2006).



Obrázek 21. Ukázka způsobu zhotovování negativních otisků ruky (<http://www.karencarr.com>).

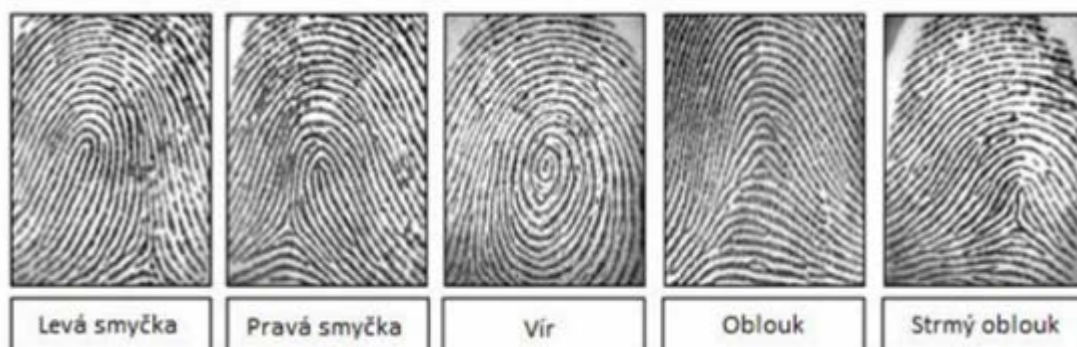
V současnosti mohou tyto otisky přispět ke stanovení tzv. biologického profilu jedince, kde sledujeme proměnné jako je například pohlaví, věk, výška postavy, lateralita a populační afinita, jak již bylo řečeno v úvodu (Cardoso a Severino, 2010; Faurie et al., 2004; Snow, 2013; Snow, 2006; Voracek, 2009).

Stopy otisků rukou nebo jednotlivých prstů se zachovaly v archeologickém materiálu také na keramice nebo cihlách, ale i jiných ručně zhotovovaných předmětech. Můžeme však pouze odhadovat, do jaké míry byly na těchto předmětech otisky prstů včetně viditelných papilárních linií zachovány záměrně a zda si lidé uvědomovali jedinečnost vlastních otisků prstů a jaký jim přikládali význam. Analýzou stop na artefaktech se pak zabývá archeologická metoda traseologie (ang. *traceology*) (Šajnerová, 2004; Thomas et al., 2011).

3.6 Otisky rukou a jejich využití ve forezních vědách

Ve forezních vědách slouží otisky rukou především k pozitivní identifikaci neznámého jedince (Obrázek 22). Vědní obor zabývající se studiem kožních papilárních linií na prstech a dlaních, které jsou pro

jednotlivce charakteristické a do jisté míry dědičné a neměnné v čase, se nazývá daktyloskopie nebo také dermatoglyfika (Pospíšil, 1974).



Obrázek 22. Pět základních obrazců papilárních linií využíváných kriminalisty k identifikaci otisků prstů (Kujanová, 2012).

Již zmíněná archeologická metoda traseologie také mimo jiné v současné době přispívá k identifikaci osob, a to podle otisků zejména rukou, nohou, rtů apod., avšak vzhledem k odlišným cílům pro užití metody v archeologii a ve forezních vědách se pro kriminalistické účely používá odlišný název, a to trasologie (ang. také *traceology*) (Šajnerová, 2004; Thomas et al., 2011).

3.7 Odhad pohlaví v bioarcheologii

Odhad pohlaví vychází z předpokladu pohlavního (sexuálního) dimorfizmu viz výše. Odhad pohlaví je důležitý jak pro účely forezních věd (kriminalistika) a soudního lékařství, tak i pro vědní obory jako jsou paleopatologie, paleoantropologie, paleodemografie a archeologie. Pohlaví můžeme sledovat na několika úrovních, a to: (A) pohlaví genetické (na úrovni chromozomů X, Y a jejich kombinací), (B) pohlaví gonadální (gonády neboli pohlavní žlázy – vaječníky u žen a varlata u mužů), (C) genitální pohlaví (vnější pohlavní orgány), (D) somatické pohlaví (tělesná stavba jedince – projevy patrné na kostře), (E) pohlaví psychosociální (gender) (Bruzek a Murail, 2006; Dawson et al., 2011; Komar a Buikstra, 2008; Lewis, 2007).

Hovoříme-li v této práci o pohlaví, máme vždy na mysli pohlaví somatické, které lze díky svým vnějším tělesným projevům a odlišným znakům na kostře odhadovat pomocí morfologických a morfometrických metod. Konkrétně se zde zaměříme na vztah mezi pohlavím a morfologií ruky. Ačkoli za mnohem úspěšnější (přes 90 %) metody jsou obecně považovány ty, jež se zakládají na hodnocení pohlavně dimorfních znaků na pánevní kosti. U horní končetiny se pak pohlaví odhaduje nejčastěji za pomoci kosti pažní (Bruzek a Murail, 2006; Dawson et al., 2011; Klepinger, 2006). Brůžek (Bruzek a Murail, 2006) pak dále říká, že pánev je jediným spolehlivým ukazatelem pro odhad pohlaví na kostře, neboť její morfologie se u žen během evoluce přizpůsobovala nejen bipední chůzi, ale i reprodukci (spojené se zvýšenou encefalizací během prenatálního vývoje plodu), jak autor dále podotýká, není však možné určovat pohlaví pouze na základě jednoho znaku.

3.7.1 Odhad pohlaví podle ruky

Odhadem pohlaví podle ruky se zabývá řada autorů (Alicioğlu et al., 2009; Barrio et al., 2006; Case a Ross, 2007; El Morsi a Al Hawary, 2013; Ibeachu et al., 2011; Kanchan a Rastogi, 2009; Karakostis et al., 2015; Khanpetch et al., 2012; Krishan et al., 2011; McFadden a Bracht, 2009; McIntyre et al., 2006; Robertson et al., 2008; Wilbur, 1998), někteří pak tyto metody využívají k pokusům o určení pohlaví jedinců populací minulosti, a to prostřednictvím otisků rukou, viz kapitola níže. Metody tak slouží nejčastěji k forenzním a bioarcheologickým účelům.

Metody odhadu pohlaví podle ruky závisí na měření délek jednotlivých segmentů ruky (např. záprstních kostí nebo jednotlivých článků prstů nebo celých prstů D2 až D5 apod.), případně na poměrech naměřených rozměrů. Nejčastěji využívaný je poměr délky druhého a čtvrtého prstu (Manningův index) a poměr délky druhého a pátého prstu, tyto indexy se však vícekrát ukázaly pro odhad pohlaví jako nespolehlivé (Galeta et al., 2014; Králík et al., 2014; Mackie, 2015; Manning, 2002). Dále můžeme hodnotit robusticitu jednotlivých kostí (šířku baze a středů těla

dlouhých kostí), která však bývá ovlivněna fyzickou aktivitou jedince, jež může doklady pohlavního dimorfizmu zamaskovat. Pro následnou diskriminační analýzu je tedy vhodnější využívat spíše metody založené na měření délek jednotlivých kostí a to spíše článků prstů, tuto metodu navrhuje např. Case (Case a Ross, 2007), který hovoří až o 80 % úspěšnosti správné klasifikace pohlaví, měření délek kostí záprstních využívá například Falsetti (Falsetti, 1995), jenž hodnotí úspěšnost své metody nad 84 %. Obě metody byly vytvořeny za pomoci existující sbírky tzv. Terryho kolekce.

Měření můžeme provádět jak na živých lidech, tak na kosterním materiálu nebo pomocí obrazového materiálu (rentgenové snímky, fotografie, otisky ruky).

K odhadu pohlaví se dnes využívají i mnohé počítačové programy. Dochází tedy čím dál tím častěji k automatizaci klasifikačních systémů (Wang et al., 2010). Metodou geometrické morfometrie odhadu pohlaví podle ruky se u nás zabývá například Králík (Králík et al., 2014). Fotogrammetrii k odhadu pohlaví podle paleolitických otisků ruky v praxi využila například Mackie (Mackie, 2015).

3.7.2 Morfometrie

Morfometrie se zabývá měřením formy (tvaru), a to prostřednictvím získání lineárních rozměrů sledovaných objektů, struktur. Rozměry je možné sejmout po definování význačných bodů neboli landmarků. Landmarky v antropometrii jsou definovány v místech (1) spojení anatomických struktur (lambda), (2) v bodech největšího zakřivení (mastoid, sellion), nebo (3) jako extremity a konstruované, vypočítané body (euryon, semilandmarky) (Bookstein, 1991).

Prostřednictvím snímání jednotlivých lineárních rozměrů daných spojnicemi landmarků posuzujeme následně změny v morfometrii příslušné anatomické oblasti (např. ruky), resp. změny ve tvaru a velikosti,

jež patří mezi základní znaky pohlavního dimorfizmu (Bookstein, 1991; Zelditch et al., 2004).

Úspěšnost klasifikační metody (viz dále) pak mimo jiné závisí na množství a diskriminační síle proměnných (rozměrů) a na jejich kombinaci v těchto modelech. Je známo, že přemíra sledovaných znaků vede k průměrnosti, stejně tak nedostatek proměnných může mít odlišný vliv na úspěšnost metody v závislosti na diskriminační síle daných znaků (Bruzek a Murail, 2006; Ousley a Jantz, 2012).

3.7.3 Statistické zpracování dat pro odhad pohlaví

Velikostní a tvarové rozdíly rukou, jako znak projevu pohlavního dimorfizmu, je možné sledovat pomocí lineárních proměnných, a ty využít k sestavení klasifikačního modelu pro následný odhad pohlaví u neznámých jedinců. K oddělení (diskriminaci) zkoumaných případů do kategorií podle pohlaví je vhodná lineární diskriminační funkce, která umožňuje maximalizovat rozdíly mezi zkoumanými skupinami a minimalizovat rozdíly uvnitř skupin. Diskriminační analýza patří společně s logistickou regresí k nejvíce rozšířeným metodám tvorby pravidel pro klasifikaci pohlaví v biologické antropologii, diskriminační analýza je však daleko více využívána (Pietrusewsky, 2008; Santos et al., 2014).

Diskriminační funkci je nutné vytvořit na souboru jedinců známého pohlaví. Výstupem je klasifikační funkce, jejíž spolehlivost je možné ověřit v jiném (nezávislém) souboru. Rovnice slouží ke zjištění hodnoty diskriminačního skóre (DS) každého jedince s posteriorní pravděpodobností (PP) klasifikace. Jedinci jsou rozřazeni do skupin podle toho, zda hodnota jejich diskriminačního skóre je nižší nebo vyšší než dělící bod, který bývá (v závislosti na apriorní pravděpodobnosti) v polovině vzdálenosti mezi průměry (centroidy) zkoumaných skupin. Podle hodnoty PP rozhodujeme, s jakou pravděpodobností byl jedinec zařazen do příslušné kategorie (např. s více než padesátiprocentní pravděpodobností při $PP > 0,5$). Při požadavku přijatelné klasifikace s minimální PP vyšší než 0,5 (např. alespoň 0,8) pak mohou nastat případy, kdy jedinec nemůže být

s dostatečnou pravděpodobností klasifikován a jeho přiřazení ke skupině tak zůstává neurčeno. Hodnota Wilksovo *lambda* nám ukazuje podíl nezávislé proměnné (např. pohlaví) na vysvětlení rozdílů průměrů závislých proměnných. Konkrétně nabývá hodnot od 0 do 1, a čím je nižší, tím více slouží proměnné použité v diskriminační funkci k rozlišení pohlaví (Congdon, 2014; Hendl, 2012; Pietrusewsky, 2008). Asymetrie v proporcích správné klasifikace ve skupině mužů a žen se nazývá mezipohlavní odchylkou (*sex bias*), která je dána jako hodnocení mužů mínus hodnocení žen a která by neměla přesáhnout $\pm 6\%$ (Walker, 2008).

Obecně vyžaduje vícerozměrná analýza splnění předpokladů pro vstupní data, konkrétně diskriminační analýza je ale robustní metodou, která je odolná na mírné porušení těchto požadavků (Ousley a Jantz, 2012), mezi které patří (1) dostatečně velký soubor (minimálně trojnásobek počtu proměnných), (2) vyvážený poměr obou pohlaví, (3) normální rozdělení hodnot proměnných v rámci klasifikačních skupin a (4) homogenita rozptylu (homoskedascita) mezi populacemi pohlaví (Hendl, 2012).

Obecně platí, že čím jsou průměry skupin vzdálenější a křivky jejich rozdělení hodnot užší (oblast překrývající se hodnot je menší), tím je pohlavní dimorfismus více zřetelný, hodnota Wilkovo *lambda* nižší a potažmo je klasifikační funkce aplikovatelná s větší úspěšností (Hendl, 2012; Zar, 1999)

S diskriminační analýzou jsou neoddělitelně spjaty termíny přesnost (*precision*), validita, správnost/úspěšnost (*accuracy*) a spolehlivost (*reliability*), které nabývají různých významů podle oblastí, kde jsou používány nebo kdo je používá. Společně s navrhovanou klasifikační metodou je totiž potřeba předkládat hodnocení její (1) objektivitě (intra- a inter-observační chyba), (2) interní validity (úspěšnosti s využitím *resamplingu*) a (3) spolehlivosti, tedy externí validity otestované na alespoň jednom nezávislém souboru. Je třeba si tyto pojmy vymezit tak, jak jsou

uznávány v (antropologickém) statistickém usuzování a jak jsou používány v této práci.

Validita obecně zahrnuje správnost (blížkost pravdivé hodnotě) a hodnověrnost nástrojů, dat a pozorování. Vyjadřuje užitečnost, zda metoda skutečně hodnotí sledované proměnné (obsahová validita), sílu spojení mezi hypotézou a možným uplatněním ve skutečném světě. Zahrnuje proces sběru dat, jejich zaznamenání, analýzu, závěry i vyvození úsudků. Interní validita označuje schopnost klasifikačního modelu přinášet správné výsledky v rámci zdrojového souboru, externí validita pak ukazuje jeho užitečnost a aplikovatelnost v širší perspektivě, při použití na jiné populaci (Hendl, 2012).

U každé předkládané metody je třeba uvést i parametry její objektivitu, která zahrnuje nezávislost metody na pozorovateli – tedy míře možného zkreslení získaných údajů buď jedním pozorovatelem, nebo více pozorovateli. Tyto parametry se ověřují zjištěním přesnosti a spolehlivosti měření. Přesnost získání dat (samotného aktu měření) je dána rozlišovací schopností nástroje. Přesnost měření (reprodukovatelnost shodných výsledků při opakování; intra-observační chyba) hodnotí míru shody po sobě jdoucích jednotlivých měření jedním pozorovatelem bez ohledu na blízkost pravdě získaných dat, jelikož aktuální hodnotu nelze zjistit. Spolehlivost měření/pozorování je komponentem externí validity a vyjadřuje míru konzistence a korektnosti opakovaného měření stejného jevu různými pozorovateli, jedná se tedy jinými slovy o hodnocení poměru inter-observační chyby, opakovatelnosti měření, která zvyšuje objektivitu metody, neboli její nezávislost na vstupních podmínkách (Hendl, 2012; Ousley a Hollinger, 2012).

Úspěšnost/správnost sleduje blízkost hodnot pravdě. V případě hodnocení diskriminačního účinku modelu se tedy jedná o poměr správně klasifikovaných případů vůči chybným hodnocením a zároveň o vyjádření míry interní (prediktivní) validity (Hendl, 2012; Ousley a Hollinger, 2012).

Spolehlivost v případě hodnocení přínosnosti a zobecnitelnosti klasifikačního modelu pak sleduje úspěšnost např. diskriminační funkce aplikované na nezávislém souboru. Jelikož lineární rozměry jsou značně populačně specifické, je nepřesné používat diskriminační funkce vytvořené na souboru jedné referenční populace na jiném, nezávislém souboru (Bruzek a Murail, 2006). Kompenzace dělicího bodu (jeho posunutí podle průměrů skupin testovaného souboru) vzhledem k různé variabilitě uvnitř rozdílných populací pak neposkytuje řešení problému, jak poznamenal Calcagno (Calcagno, 1981). Při vytvoření diskriminační funkce na velice variabilním souboru nám sice poskytne vhodnější model pro více odlišné populace, nelze pak ale očekávat udržení dostatečné úspěšnosti modelu (Klepinger, 2006). Při snaze o vytvoření obecných metod pro odhad pohlaví prostřednictvím diskriminačních funkcí je tedy třeba otestovat jejich spolehlivost na nezávislém souboru, a to co nejvíce odlišném od zdrojové populace, abychom mohli objektivně posoudit jejich diskriminační schopnosti.

Zvýšení spolehlivosti odhadu pohlaví a snížení systematické chyby neboli odchylky (*bias*) klasifikace poskytují statistické postupy „znovuvytvoření“ testovacího vzorku (*resample*). Mezi takové metody patří (1) *jackknife* (z švýcarský/univerzální nožik), která iterativně určuje sledovaný parametr s využitím zdrojového souboru vždy bez n -tého případu až do té doby, dokud nebyly takto postupně vynechány všechny případy. Stejný postup se aplikuje ve variantě (2) *leave-one-out* u křížové validace (*cross-validation*). Ta má ale i jiné podoby, vždy se však jedná o postupné rozdělení souboru na jeden trénovací (*training*) a jeden testovací, validační (*testing*) podsoubor, přičemž velikosti obou částí a počet opakování se liší podle přístupu (např. *leave-p-out*, *k-fold* nebo *two-fold*). Další metoda, jež je nástupcem pro starší *jackknife*, je (3) *bootstrap*, která znovuvytvoří zpravidla minimálně 1000 nových náhodných výběrů na základě původního souboru. Počet nových výběrů závisí opět na konkrétní variaci metody (např. exaktní, vyhlazený nebo Monte-Carlo). Zmíněné metody mají za cíl informovat o možné zobecnitelnosti testovaného

klasifikačního modelu, tedy limitech jeho použití při aplikování na nezávislých souborech (Good, 2012; Hendl, 2012).

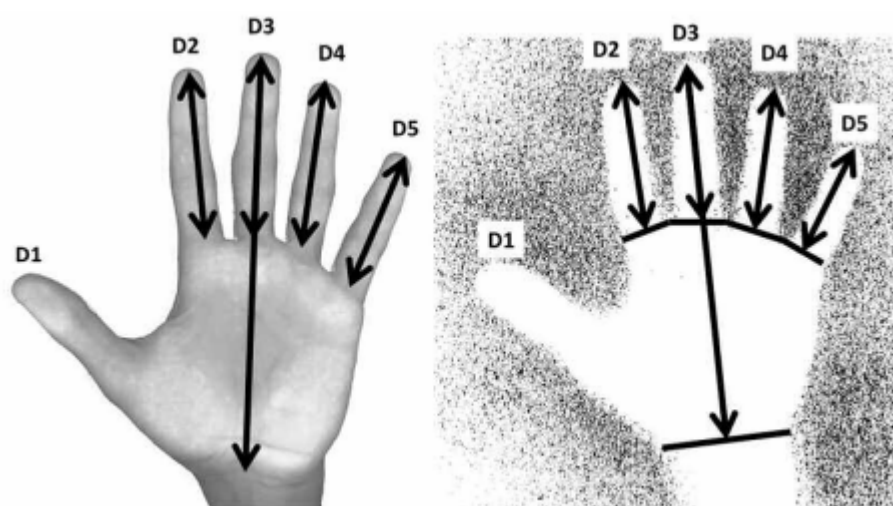
3.7.4 Odhad pohlaví podle paleolitických otisků ruky

V poslední době se mnozí autoři pokusili o odhad pohlaví paleolitických tvůrců jeskynního umění, ve snaze poskytnout tak důkazy nejen ohledně pohlavního dimorfizmu, ale i co se týče genderové dělby práce v paleolitické společnosti (Snow, 2013; Wang et al., 2010). Klíčem by v tomto případě měly být právě otisky zanechané na stěnách mnoha jeskyní v celé západní Evropě, zejména pak ve Španělsku (El Castillo, El Pindal, Tito Bustillo, Fuentedel Salin, Maltravieso, La Pasiega, Altamira), ve Francii (Gargas, Tibiran, Cosquer, Pech-Merle, Tibiran, Combarelles, Arcysur-Cure), ale také na Sahaře a v Jižní i Severní Americe, dále například v Indonésii (Borneo) nebo v Austrálii (Brůžek et al., 2012).

Vzhledem k velkému množství paleolitických otisků ruky na stěnách jeskyní po celém světě a jen zlomku dochovaného kosterního materiálu z téže doby, z něhož bychom mohli pomocí současných metod spolehlivě odhadovat pohlaví, se přímo nabízí pokusit se o odhad pohlaví z alternativních zdrojů, tj. otisků rukou. Po roce 2006 došlo k nárůstu studií zabývajících se vztahem pohlavního dimorfizmu a paleolitických otisků ruky (Freers, 2001; Gunn, 2006; Chazine a Noury, 2006; Ishak et al., 2012; Mackie, 2015; Snow, 2013; Snow, 2006; Wang et al., 2010), zřejmě v závislosti na rodících se nových metodách odhadu pohlaví podle ruky jako takové, spolu s možností využití nejmodernější výpočetní techniky a dostupných statistických programů, ale i stále dokonalejších software na zpracování obrazových dat.

Snow (Snow, 2006) se zaměřil na otisky rukou především z lokalit ve Francii a Španělsku. Konkrétně pak pořídil za pomoci digitálního fotoaparátu snímky ze tří francouzských jeskyní (Les Combarelles, Font-de-Gaume a AbriduPoisson), otisky rukou z dalších lokalit měřil přímo v terénu.

Dříve se předpokládalo, že otisky rukou na stěnách francouzských a španělských jeskyní zde zanechali buď dospělí muži anebo mladí chlapci. Otázka genderu v paleolitu je však velmi složitá, málokdy lze z nalezených artefaktů odhadovat, kdo s těmito předměty zacházel, zda to byli muži nebo ženy. Snow (Snow, 2006) dále uvádí, že s pomocí metody založené na kombinaci pěti lineárních rozměrů (Obrázek 23) dokáže pohlaví z otisků ruky odhadnout s dostatečnou spolehlivostí a říká, že tvůrci jeskynního umění byli jak muži, tak i ženy (Snow, 2006).

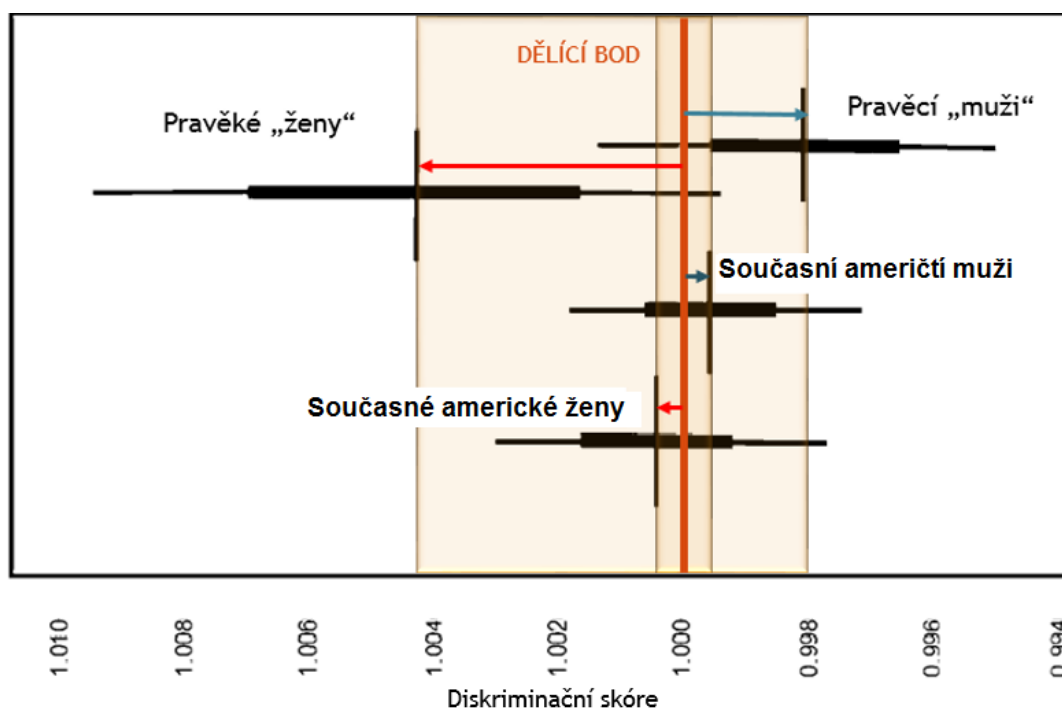


Obrázek 23. Délky jednotlivých prstů a délka ruky (Snow, 2013).

Referenční soubor, jenž Snow (Snow, 2006) použil, jako srovnávací soubor s archeologickými daty se stával z 57 žen a 54 mužů ze střední Pensylvánie. Archeologický soubor pro předběžné testování hypotézy se skládal z šesti otisků ruky zanechaných na stěnách francouzských jeskyní, jež Snow sám navštívil a naměřil v roce 2004, jednalo se však o negativní otisky rukou. Dále Snow (Snow, 2006) postupoval tak, že si naměřil u každého souboru délky všech prstů mimo palec a maximální délku ruky, měřenou od distální flexní rýhy zápěstí ke špičce třetího prstu. Z recentního amerického souboru pak odvodil prediktivní rovnici za použití Fisherovy lineární diskriminační funkce. Výsledky této analýzy založené na kombinaci pěti lineárních rozměrů, které byly naměřené i na snímcích paleolitických otisků a tato data následně dosazena do diskriminační funkce vytvořené

na americkém souboru ukazují, podle autora ukazují, že lze jednoznačně oddělit dospělé muže od žen a nedospělých (adolescentních mužů). V druhém kroku se Snow (Snow, 2006) pro zpřesnění výsledků zaměřil na poměry délek prstů, a to na tzv. *Manningův index* (D2:D4), ale i na poměr délek druhého a pátého prstu (D2:D5). Testovaný vzorek byl však příliš malý na to, abychom z výsledků mohli vyvozovat nějaké obecně platné závěry, lze však říci, že paleolitičtí umělci nebyli pouze muži, ale v určité míře se na parietálním paleolitickém umění podílely i ženy.

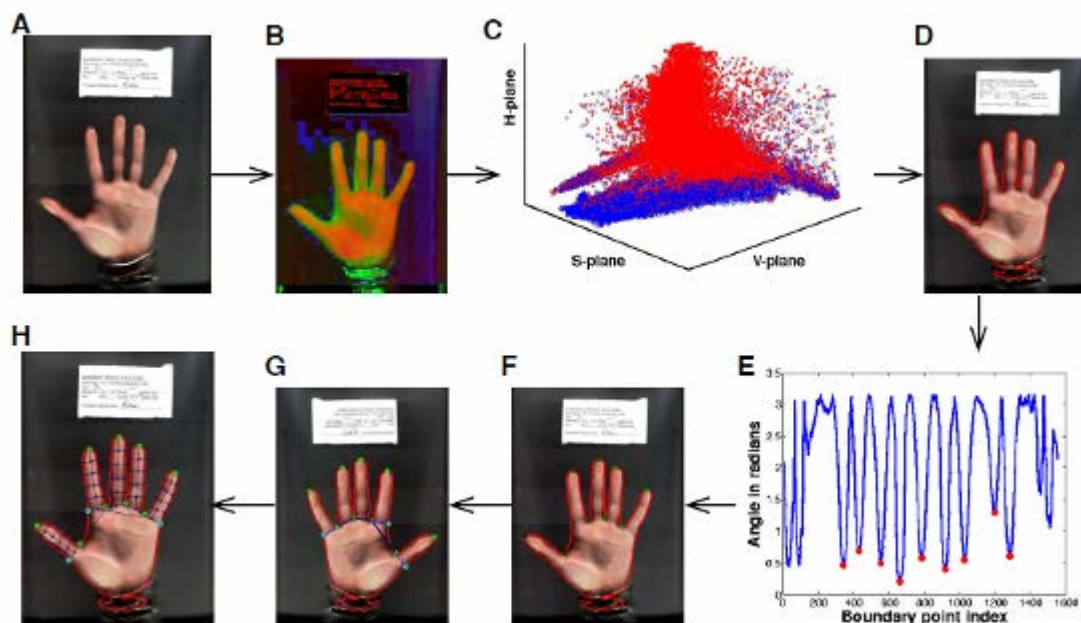
Na tento předběžný výzkum posléze v roce 2013 Snow (Snow, 2013) navázal dalším výzkumem, kde původní paleolitický soubor sestávající z šesti otisků ruky rozšířil na soubor třiceti dvou paleolitických otisků, tento vzorek pak považuje za dostatečně velký na to, aby z něj mohl vyvodit závěry, a to takové, že otisky rukou na stěnách jeskyní byly převážně ženské (ze 75 %). Autor také došel k závěru (Snow, 2013), že pohlavní dimorfismus byl více patrný u paleolitických populací než u populací současných (Obrázek 24).



Obrázek 24. Srovnání žen a mužů z paleolitické a recentní populace (Snow, 2013).

Wang (Wang et al., 2010) se zaměřil na pohlavní dimorfismus a parietální umění v paleolitu, které by v souvislosti s objasněním genderové dělby práce mohlo napomoci objasnit jeho hypotézu, kdy trvalejší a více spjaté páry tvořené anatomicky moderními lidmi zvítězily v konkurenčním boji nad neandrtálci. Wang ve svém výzkumu navázal na předešlé studie Snowa (Snow, 2013; Snow, 2006), ze kterých vyplývá, že ženská účast na parietálním umění činí až 75 %. Wang (Wang et al., 2010) se pokusil vytvořit novou metodu odhadu pohlaví pomocí otisků ruky, která by nahradila časově náročné manuální měření rozměrů a zároveň odstranila problém, se kterým se setkal také Snow u většiny publikovaných otisků ruky, a to chybějící měřítko.

Analýza na základě Wangovy metody se skládá ze tří kroků: (1) obraz s otiskem ruky je rozdělen do segmentů a jsou extrahovány jeho obrysy, (2) dále jsou stanoveny určité body tzv. „*points of interest*“ (POIs), které jsou rozprostřeny na obrysu ruky pro výpočet jednotlivých rozměrů (délek a šířek prstů) a pro výpočet geometrických znaků (*geometric hand features*) ruky. U těchto znaků je odstraněn vliv velikosti, (3) následně Wang odhaduje pohlaví pomocí klasifikačního nástroje Support Vector Machine (SVM) (Obrázek 25). Výše popsanou metodu pak použil nejen k odhadu pohlaví z paleolitických otisků ruky, ale navrhuje její použití i pro forenzní účely (Wang et al., 2010).



Obrázek 25. Postup segmentace otisku ruky a následné nanesení POIs za použití *Support Vector Machine* (Wang, 2010).

Další autoři se zaměřili při odhadu pohlaví z paleolitických otisků rukou především na zmíněný Manningův index, tedy poměr D2:D4 (Nelson et al., 2006; Pettitt et al., 2014; Snow, 2006). Nelsonová s kolektivem (Nelson et al., 2006) navazuje na nejnovější práci Chazine a Noury (Chazine a Noury, 2006), kde odhadovali pohlaví pomocí otisků ruky starých zhruba 9 900 let z oblasti východního Kalimantanu na Borneu (jeskyně Gua Masri II). Autoři v závěru také zmiňují, že na paleolitickém umění se podíleli jak muži, tak ženy (Obrázek 26). Dále si povšimli určité korelace mezi umístěním otisků ruky a pohlavím tvůrců těchto otisků, a dokonce přisuzují ženám a mužům odlišný styl tvorby a vzorování otisků ruky. Hypotézy spojené s rozvržením otisků a odlišným vzorováním na stěnách jeskyně však lze považovat za pouhé domněnky, neboť tento prostorový kontext postrádá jakýkoli časový rozměr. Pomocí softwaru (Kalimain[®]) navrženým Nourym (Chazine a Noury, 2006) pak odhadovali pohlaví u 34 jedinců.

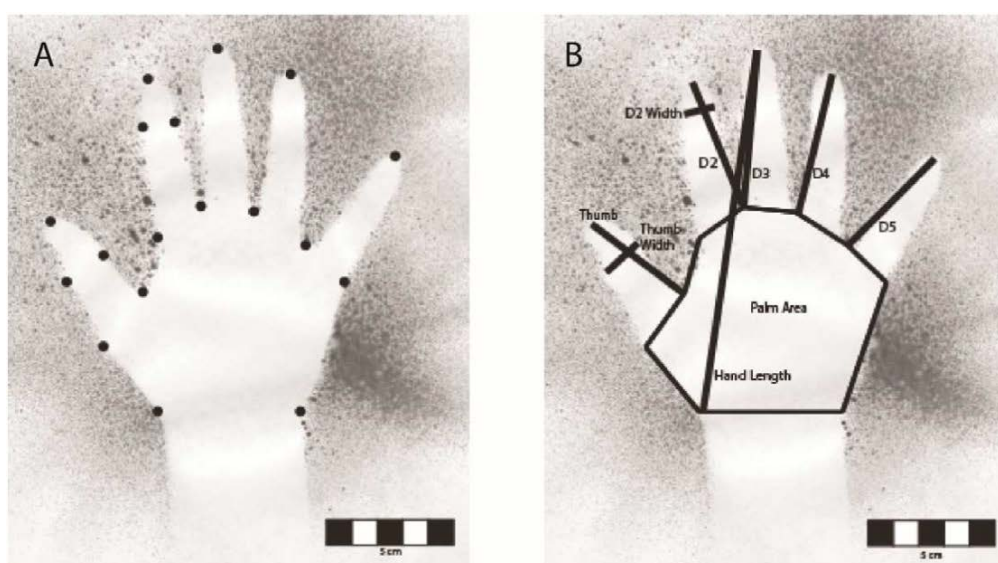


Obrázek 26. Negativní otisky rukou z jeskyně GuaMasri II, tmavě jsou označeny otisky přisouzené ženám (18) a světle přisouzené mužům (16) (Nelson, 2006).

Výsledky se však zdají nespolehlivé, neboť dochází k velké oblasti překryvu hodnot u nedospělých mužů a žen. Vzhledem k mezipopulační variabilitě se dále jeví jako velmi nespolehlivý referenční vzorek vzatý z průměrných hodnot D2:D4 evropské populace, který byl využit pro následný odhad pohlaví z otisků rukou na Borneu. Stejně tak nelze odhadovat kolik bylo levých či pravých otisků ruky, neboť se můžeme pouze domnívat, že ruce byly přikládány na stěnu jeskyně dlaní. Poloha palce tak není směrodatným vodítkem při určování stranové preference rukou. Taktéž nelze odhadovat počet osob, které v dané lokalitě zanechaly své otisky rukou, nemůžeme vyloučit, že tentýž člověk nezanechal více svých otisků ruky. Největší problém Nelsonová spatřuje v měření délek jednotlivých prstů z otisků rukou, kdy nejsou u negativních otisků dochovány žádné flexní rýhy, od kterých by se měření mohlo odvíjet. Vzhledem k faktu, že u některých populací je rozdíl mezi D2:D4 u žen a u mužů velmi malý (4 milimetry u Evropanů), se metoda založená pouze na poměru délek druhého a čtvrtého prstu ruky jeví jako vysoce nespolehlivá a nepřesná, autorka (Nelson et al., 2006) tak nedoporučuje její samostatné využití při odhadu pohlaví podle paleolitických otisků ruky. Na základě

odhadu pohlaví z jedné lokality, pak také nelze vyvozovat obecně platné závěry o tvůrcích parietálního umění.

Nejnovější studii představuje analýza otisků rukou z regionu Johnson County ve Wyomingu (Mackie, 2015). Za pomoci fotogrammetrie a 3D digitálních modelů 25 otisků rukou bylo odhadováno pohlaví tvůrců jeskynního umění ze tří lokalit v daném regionu. Bylo stanoveno celkem 18 bodů na ruce, které sloužily ke zjištění lineárních rozměrů (délka ruky a délky prstů D1 až D5, šířka D1 a D2) a celková plocha (velikost) dlaně (*palm area*), potřebných pro klasifikační rovnice (Obrázek 27). K analýze použila autorka rovnice dříve vytvořené za pomoci recentního souboru 271 jedinců ze stejné lokality o známém věku a pohlaví (jedinci byli ve věku 3 až 70 let). Pomocí metody byla Mackie (Mackie, 2015) schopná rozlišit jedince na nedospělé (do dvanácti let) a adolescentní/dospělé (nad dvanáct let). Pohlaví bylo možné určit pouze u jedinců starších dvanácti let (celkem 31 jedinců). K odhadu pohlaví využila diskriminační analýzu s třemi hranicemi posteriorní pravděpodobnosti (0,7; 0,8 a 0,9). Pro klasifikaci využila délky jednotlivých prstů, jejich poměry (D2:D5 a D2:D4) a celkovou plochu dlaně.



Obrázek 27. Experimentální otisky rukou (hand spray) a umístění jednotlivých bodů (A) a souvisejících rozměrů (B) (Mackie, 2015).

V závěru autorka (Mackie, 2015) došla k výsledkům, že z odhadovaných 25 otisků rukou bylo sedm žen a třináct mužů, u pěti jedinců se pohlaví nepodařilo odhadnout. Autorka neprokázala zvýšený pohlavní dimorfismus v rámci analýzy poměrů délek jednotlivých prstů, na rozdíl od tvrzení Snowa (Snow, 2013).

Mackie (Mackie, 2015) podotýká, že je možné, že jeden člověk vytvořil více otisků, není tedy možné určit, zda mezi autory bylo více žen nebo mužů pouze na základě počtu otisků ruky, další omezení spatřuje ve velikosti a reprezentativnosti zkoumaného vzorku vůči celé populaci.

Významným omezením zmíněných metod zůstává fakt, že existuje populační specifita ve velikosti a tvaru rukou, která neumožňuje tyto metody spolehlivě aplikovat napříč různými populacemi. Předmětem diskuzí zůstává i samotná možnost aplikace výše popsaných metod na soubor vzdálený od recentních populací v čase (Bruzek a Murail, 2006; Brůžek et al., 2012; Galeta et al., 2014).

Co se týče laterality otisků, je zřídka zpochybňována a dokazuje existenci otisků jak levých, tak i pravých rukou, doložených ve všech obdobích. Stejně tak nebývá předmětem sporů, že velmi malé otisky na stěnách jeskyní patřily zřejmě dětem (Brůžek et al., 2012). Honoré (Honoré et al., 2016) však ve své studii poukazuje na velmi malé otisky pětiprstých autopodií na stěnách jeskyní, jedná se zřejmě o první doklad ne-lidských (*non-human*) otisků „rukou“, dříve identifikovaných jako ruce dětské (Obrázek 28). Předmětem diskuzí zůstávají pokusy o odhad pohlaví u dospělých tvůrců tohoto umění.



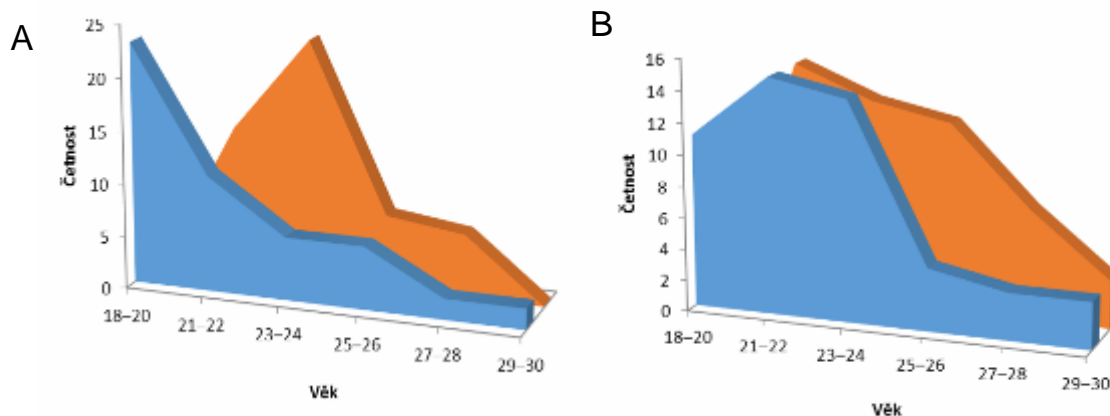
Obrázek 28. Doklad velmi malých pětiprstých otisků z lokality WadiSūra II (Egypt) (Honoré, 2016).

4 MATERIÁL

Materiálem pro tuto práci byly otisky rukou ze dvou souborů: současné francouzské a současné české populace. Francouzský soubor tvořilo 50 mužů a 50 žen ve věku od 19 do 28 let. Otisky rukou Francouzů jsme převzali, materiál byl nasbírán ve Francii Jerémym Maestraccim (Maestracci, 2007), na průběh sběru dat jsme nedohlíželi. Český soubor tvořily otisky rukou Čechů ve věku 18 až 30 let, se stejným počtem mužů a žen jako u francouzského souboru. Data pro český soubor byla nasbírána nově (Tabulka 3) (Obrázek 29).

Tabulka 3. Věkové složení českého a francouzského souboru.

Věk	CZ			FR		
	Ženy	Muži	Celkem	Ženy	Muži	Celkem
18–20	23	11	34	0	0	0
21–22	11	15	26	14	15	29
23–24	6	14	20	23	13	36
25–26	6	4	10	7	12	19
27–28	2	3	5	6	7	13
29–30	2	3	5	0	3	3
Celkem	50	50	100	50	50	100



Obrázek 29. Věkové rozložení žen (A) a mužů (B) pro FR soubor (oranžově) a CZ soubor (modře).

U každého probanda (z francouzské i české populace) jsme měli k dispozici údaje o pohlaví, věku, výšce postavy, hmotnosti a stranové preferenci ruky (Tabulka 4 a 5). Na základě krátkého dotazníku (Příloha 1) jsme ze souboru později vyloučili jedince s patologiemi rukou. Data byla sbírána anonymně, probandy byli převážně studenti Západočeské univerzity v Plzni ve věku od 18 do 30 let.

Tabulka 4. Přehled základních parametrů obou souborů.

Soubor	Pohlaví	Věk			
		Min	Max	Průměr	SD
CZ	Ženy	19,0	29,0	21,7	2,9
	Muži	19,0	30,0	22,9	2,7
FR	Ženy	20,8	27,1	23,3	1,6
	Muži	20,8	28,5	23,8	2,2

Soubor	Pohlaví	Výška (cm)			
		Min	Max	Průměr	SD
CZ	Ženy	156,0	179,0	167,4	5,6
	Muži	166,0	200,0	181,1	6,9
FR	Ženy	149,0	178,0	164,7	5,3
	Muži	165,0	192,0	178,4	7,1

Soubor	Pohlaví	Váha (kg)			
		Min	Max	Průměr	SD
CZ	Ženy	46,0	98,0	61,6	9,9
	Muži	59,0	110,0	77,6	12,2
FR	Ženy	45,0	94,0	60,8	10,7
	Muži	54,0	101,0	73,1	8,7

Soubor	Pohlaví	BMI			
		Min	Max	Průměr	SD
CZ	Ženy	15,9	32,7	22,0	3,3
	Muži	17,2	35,7	23,7	3,5
FR	Ženy	17,4	34,2	22,4	3,6
	Muži	18,1	27,8	22,9	2,1

Tabulka 5. Absolutní a relativní četnost preference ruky u obou souborů.

Soubor	Pohlaví	N	Pravorukost		Levorukost		Bez stranové preference	
			Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)
CZ	F	50	47	94	3	6	0	0
	M	50	45	90	5	10	0	0
	Celkem	100	92	92	8	8	0	0
FR	F	50	42	84	7	14	1	2
	M	50	46	92	4	8	0	0
	Celkem	100	88	88	11	11	1	1

5 METODY

5.1 Sběr dat

U Každého jedince souboru jsme změřili základní antropometrické charakteristiky, výšku postavy a hmotnost. Výšku postavy jsme měřili pomocí antropometru s přesností na 0,5 cm a hmotnost pomocí osobní váhy Exacta s přesností na 100 g. Z naměřených dat byl vypočten BMI (*body mass index*), nejčastěji využíván u dospělé populace pro reprezentaci tělesné plnosti, a to na základě rovnice

$$BMI \left[\frac{kg}{m^2} \right] = \frac{m}{v^2}$$

kde m značí hmotnost a v výšku postavy (Knußmann et al., 1988).

Výškou postavy rozumíme vzdálenost vertexu od země v postavení zády ke zdi, dotýkající se jí patami, hýžděmi a lopatkami, hledíc přímo před sebe s hlavou v rovnovážné poloze. Vertex je pak definován jako bod, ležící nejkraniálněji na temeni lebky, pokud se hlava nachází v orientační rovině. Antropometr je pak postaven před špičky nohou kolmo k zemi (Obrázek 30). Probandi se vážili oblečení (byly požádání o sundání bundy a odložení ostatních těžkých položek a obuvi) (Knußmann et al., 1988).

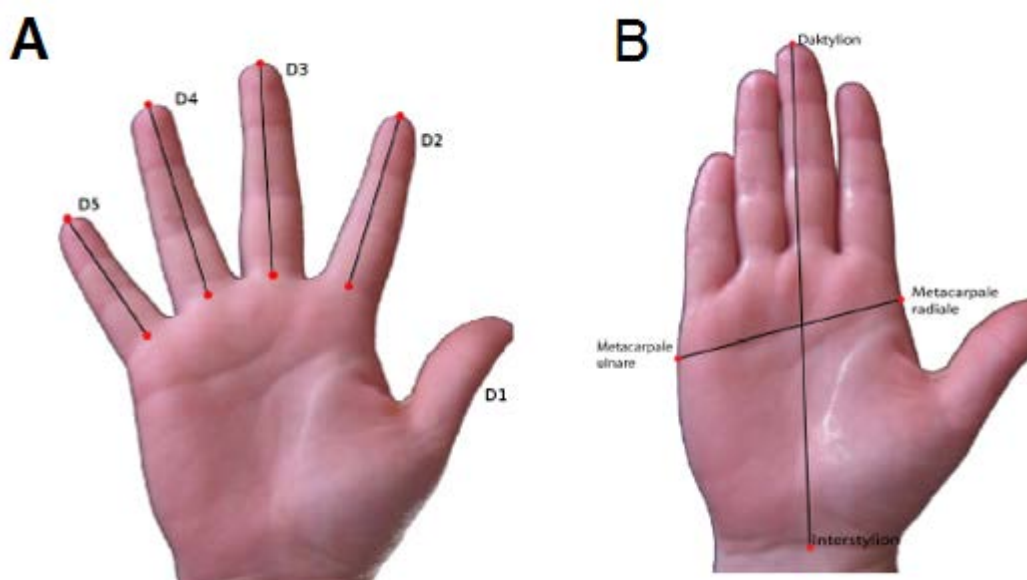


Obrázek 30. Poloha při měření tělesné výšky (Kopecký et al., 2013).

Na závěr byly u každého probanda sejmuty otisky levé i pravé ruky pomocí kopírky. Ruce byly snímány ve standardizované poloze s prsty mírně roztaženými a ruka byla zlehka položena na střed skla (Maestracci, 2007).

5.2 Rozměry ruky

U každého jedince jsme měřili šest lineárních rozměrů otisků ruky pomocí digitálního posuvného měřidla s přesností na 0,01 mm, a to délku a šířku otisků ruky a délky otisků druhého až pátého prstu (D2 až D5). U deseti jedinců jsme snímali výše zmíněné rozměry (délky D2 až D5, šířku a délku ruky) přímo z levé a pravé ruky (pomocí téhož digitálního posuvného měřidla s přesností na 0,01 mm) (Obrázek 31) (Maestracci, 2007).



Obrázek 31. Poloha rukou pro měření rozměrů přímo na ruce: měření délky a šířky (B) a jednotlivých délek druhého až pátého prstu (A) (Maestracci, 2007).

Délkou ruky/otisku ruky rozumíme vzdálenost mezi distální flexní rýhou zápěstí a špičkou třetího prstu (D3) (Galeta et al., 2014; Knußmann et al., 1988; Snow, 2013). Délky jednotlivých prstů/otisků prstů (D2 až D5) byly měřeny od nejproximálnější flexní rýhy při bazi každého prstu po špičku (distální konec) téhož prstu (Galeta et al., 2014; Maestracci, 2007;

Manning a Taylor, 2001; Snow, 2013). Šířka ruky/otisku ruky je pak maximální vzdálenost mezi měrnými body *metacarpale ulnare* a *metacarpale radiale* (Knußmann et al., 1988; Maestracci, 2007) (Obrázek 32).



Obrázek 32. Morfometrické body a rozměry na ruce.

5.3 Statistické metody

5.3.1 Intra- a inter-observační chyba

Intra-observační chybu (tj. chybu opakovaných měření jednoho pozorovatele) jsme zjistili pomocí naměření všech šesti rozměrů otisků ruky u 20 jedinců českého souboru s odstupem jednoho týdne. Systematickou chybu jsme měřili pomocí průměrného rozdílu MD (*Mean Difference*) mezi jednotlivými měřeními v milimetrech (tj. stabilní odchylky dané chybou nástroje, chyby v postupu apod.). Dále jsme hodnotili

náhodnou chybu při měření pomocí procentuální směrodatné odchylky SD%, vypočítané jako poměr SD vůči průměrné hodnotě proměnné. Absolutní chybu jsme pozorovali jako průměrný procentuální absolutní rozdíl MAD% (*Mean Percentage Absolute Difference*), zachycující podíl průměrného absolutního rozdílu mezi prvním a druhým měřením vůči průměrné hodnotě proměnné. Stanovili jsme prahovou hodnotu MAD=5% jako hranici akceptovatelné chyby měření (Galeta et al., 2014; Sladek et al., 2010). S pomocí vypočtení $\pm 95\%$ limitů shody LA (*Limits of Agreement*), které jsou $\pm 1,96$ směrodatné odchylky SD od průměru, a průměrného procentuálního rozdílu MD%, který je poměrem rozdílu mezi měřeními a průměrnou hodnotou dané proměnné, jsme zkonstruovali graf podle Blanda a Altmana (Bland a Altman, 1986), abychom mohli vizuálně ověřit, zda se naměřené odchylky pohybují v přijatelných mezích. Na ose x jsou zaneseny průměrné absolutní hodnoty měření, na ose y procentuální rozdíl mezi prvním a druhým měřením (M1-M2). Napříč grafem jsou vedeny spojnice trendu průměrného procentuálního rozdílu MD% a horní a dolní limit shody $\pm 95\%$ LA. Pokud se většina hodnot MD% vyskytuje v oblasti mezi $-1,96$ SD a $1,96$ SD, pak jsou oba testované přístupy zaměnitelné a pozorovanou chybu hodnotíme jako přijatelnou.

Inter-observační chybu (tj. chybu měření mezi dvěma pozorovateli) jsme hodnotili pomocí zmíněných kritérií. Porovnali jsme všech šest rozměrů na otiscích levé i pravé ruky jedinců z celého francouzského souboru (N=100) naměřeného nezávisle na sobě dvěma pozorovateli, tedy MJ a Maestraccim (Maestracci, 2007).

5.3.2 Hodnocení míry pohlavního dimorfizmu

Míru projevu pohlavního dimorfizmu jsme hodnotili vnitropopulačně porovnáním parametrů proměnných mezi skupinami mužů a žen uvnitř obou souborů i mezipopulačně mezi skupinami českých a francouzských žen a mezi českými a francouzskými muži. Jedná se zároveň o testování splnění předpokladů pro diskriminační analýzu. Pro testování hypotéz jsme stanovili obvyklou hladinu statistické významnosti na $\alpha=0,05$.

Pomocí Cohenova d jsme zkoumali velikost účinku rozdílů průměrů mezi skupinami, tedy to, jak silně se pohlavní dimorfismus projevuje. Cohenovo d se počítá jako

$$\frac{M1 - M2}{\frac{SD1+SD2}{2}}$$

Tedy jako rozdíl průměrů $M1$ a $M2$ dělený průměrem směrodatných odchylek $SD1$ a $SD2$. Hodnoty Cohenova d větší než $\pm 0,5$ ($1/2$ SD) znamenají nějaký praktický význam, hodnoty větší než $\pm 0,8$ ($8/10$ SD) představují již velký vliv (Cohen, 1988; Wolf, 1986).

Na základě bivariačního Pearsonova korelačního koeficientu r jsme zhodnotili sílu a případný směr vzájemného vlivu mezi proměnnými. Porovnávali jsme jak vztahy mezi jednotlivými rozměry, tak souvislosti s dalšími parametry jedince jako jeho pohlaví, váha, výška, BMI a preference ruky. Pearsonovo r nabývá hodnot od -1 do 1 , přičemž 0 vypovídá o žádném a ± 1 o maximálním negativním či pozitivním vlivu. Tabelární přehled hodnot je rozdělen do dvou trojúhelníkovitých oblastí, jejichž hranice prochází z levého horního do pravého dolního rohu tabulky. Horní trojúhelník představuje hodnoty r a spodní pak statistickou významnost p .

Normální rozdělení hodnot získaných proměnných jsme statisticky prozkoumali pomocí parametrického Shapiro-Wilkova testu a v případě signifikantního výsledku ho doplnili neparametrickým jednovýběrovým Kolmogorov-Smirnovovým testem (v obou případech je testována nulová hypotéza, že jednorozměrná proměnná pochází z populace s normálním rozdělením hodnot).

Parametrickým Levenovým testem jsme ověřili hypotézu, že výběry mužů a žen pocházejí z populace se shodným rozptylem. Analýzou rozptylu se také zabývá ANOVA s jednoduchým tříděním (One-Way ANalysis Of VARiance), která testuje hypotézu, že oba výběry pocházejí z populace se shodnými průměry proměnných s použitím posouzení, zda

rozptyl hodnot mezi skupinami je menší než rozptyl hodnot uvnitř skupin. Předpokladem pro metodu ANOVA je normální rozdělení hodnot proměnných uvnitř skupin a homoskedascita mezi skupinami. Testy shody průměrů nám podávají informaci o statistické významnosti rozdílu průměrných hodnot sledovaných proměnných mezi skupinami pohlaví, tedy zda se pohlavní dimorfismus projevuje na pozorovatelné a významné hladině (Hendl, 2012; Zar, 1999).

Zaměřili jsme se také na vnitropopulační a mezipopulační variabilitu v míře projevu pohlavního dimorfizmu v rozdílech mezi rozměry otisků u levé a pravé ruky. Párovým t-testem jsme porovnali průměry rozměrů otisků mezi oběma stranami uvnitř každé skupiny pohlaví a pomocí korelace jsme pozorovali sílu a směr projevu lineárního jejich vztahu. Následně jsme pomocí ANOVA porovnali průměrné rozdíly mezi muži a ženami uvnitř obou souborů, a také zvlášť mezi skupinami žen a mezi skupinami mužů napříč soubory.

5.3.3 Diskriminační analýza

Pro klasifikaci jedinců do skupin žen a mužů jsme vytvořili diskriminační funkce pro český i francouzský soubor. Diskriminační rovnice měla podobu

$$DS = a + b_1HPL + b_2HPB + b_3D2 + b_4D3 + b_5D4 + b_6D5$$

kde DS je diskriminační skóre, a je konstanta a b je koeficient proměnné. Dosazením hodnot proměnných, koeficientů a konstanty jsme získali pro každého jedince jeho diskriminační skóre, podle kterého jsme ho klasifikovali jako ženu, bylo-li DS nižší než dělicí bod, který měl hodnotu 0, nebo jako muže, pokud bylo DS vyšší než dělicí bod. Hodnocení správné klasifikace jsme zjistili s mírou posteriorní pravděpodobnosti (1) větší než 0,5 a (2) větší než 0,95 pro více striktní přístup.

Sestavili jsme diskriminační funkce pro český (DF_{CZ}) a francouzský (DF_{FR}) soubor s použitím všech šesti rozměrů obou rukou dohromady, i pro

každou ruku zvlášť (DF_{CZ} DX a SIN a DF_{FR} DX a SIN). Sledovali jsme hodnotu Wilksovo *lambda*, indikující vliv použitých proměnných na vysvětlení pozorovaného rozdílu mezi pohlavími.

Úspěšnost klasifikace jsme statisticky ověřili pomocí metody křížové validace *leave-one-out*.

5.3.4 Spolehlivost diskriminačních funkcí

Spolehlivost (externí validitu) vytvořených diskriminačních funkcí jsme ověřili vždy na druhém souboru, než na kterém byly vytvořeny. Tedy do diskriminační funkce vytvořené pomocí dat českého souboru jsme dosadili proměnné francouzského souboru (naměřené MJ) a naopak. Na francouzském i českém souboru jsme ověřili i spolehlivost publikovaných diskriminačních funkcí vytvořených na americkém souboru pro pravou (DF_{USA} DX) a levou (DF_{USA} SIN) ruku zvlášť (Snow, 2006) a pro obě ruce dohromady (DF_{USA}). Americké diskriminační funkce nevyužívaly proměnné šířky ruky HPB (Snow, 2013).

5.3.5 Použitý software

Ke statistickému zpracování dat jsme použili Office Excel 2013 (Microsoft, 2013) a SPSS Statistics 12 (IBM, 2013).

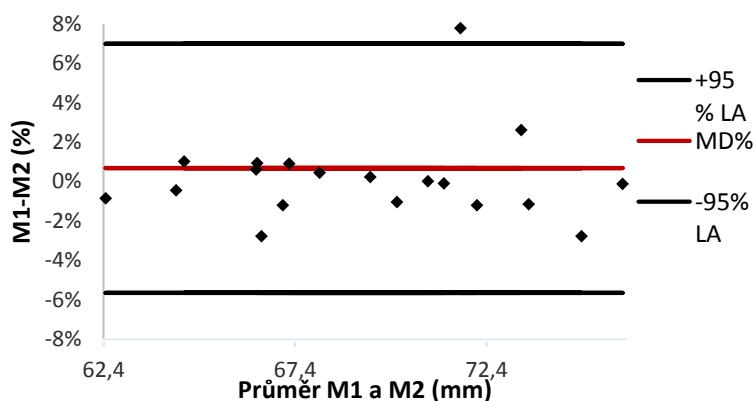
6 VÝSLEDKY

6.1 Intra- a inter-observační chyba

Výsledky hodnocení intra- i inter-observační chyby jsou zobrazeny v tabulce (Tabulka 4).

Velice nízké, kolísavé hodnoty MD% s průměrem -0,1 % dokládají zanedbatelnou systematickou intra-observační chybu bez indikátorů směrového trendu. Náhodnou chybu reprezentovanou procentuální směrodatnou odchylkou rozdílu mezi měřeními SD% ve výši 1,5 % lze považovat také za velice nízkou. Průměrný procentuální absolutní rozdíl (MAD%) jako ukazatel celkové chyby se pohyboval v rozmezí od 0,3 % (délka levé ruky) až po 1,9 % (pravý D5), což vypovídá o přijatelné míře chyby měření a dobře reprodukovatelné metodě.

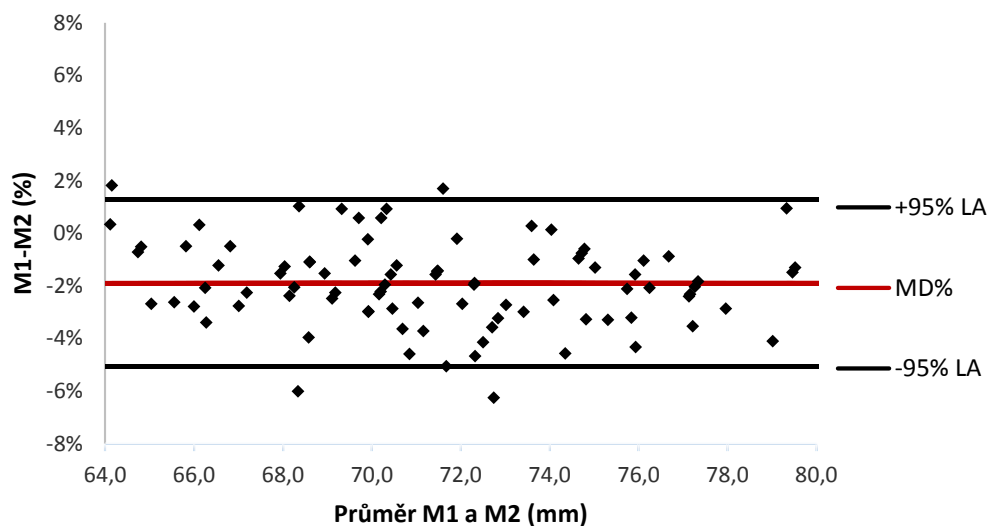
Při sledování systematické inter-observační chyby je možné pozorovat až na jednu výjimku záporný trend s průměrnou hodnotou -0,8 %. Hodnota náhodné chyby SD% rozdílu měření dosahovala v průměru 1,6 %. Celková chyba MAD% dosahovala hodnot od 1 % (délka pravé ruky a pravý D3) po 2,1 % (levý D2). Toto rozmezí je přijatelné pro hodnocení chyby měření mezi dvěma pozorovateli. Mezi proměnné nejvíce zatížené chybou měření patří u intra-observační i inter-observační chyby délka levého D2 (Obrázek 33 a Obrázek 34).



Obrázek 33. Bland-Altmanův graf intra-observační chyby pro délku otisku druhého prstu levé strany (D2 SIN).

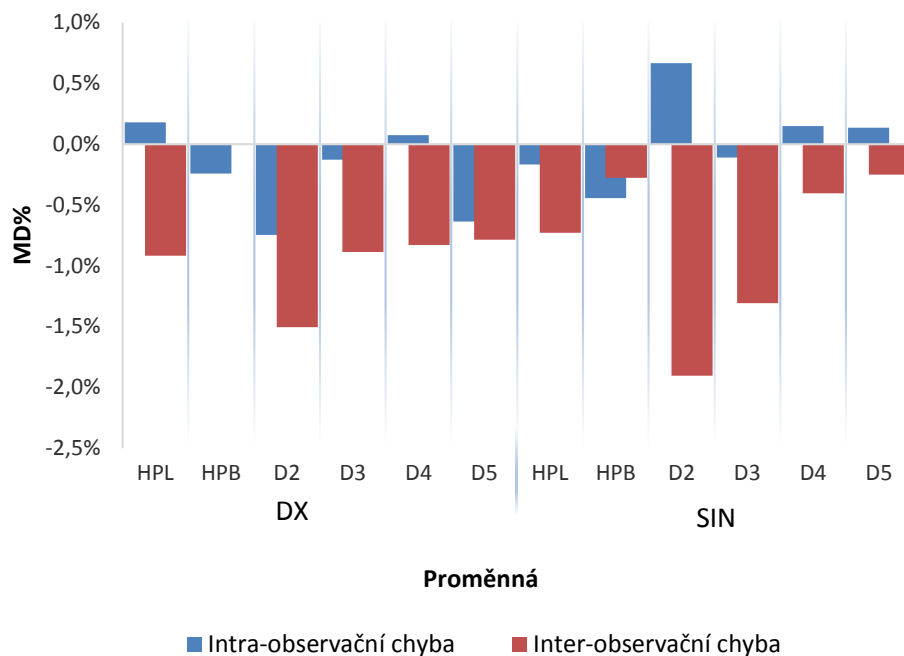
Tabulka 4. Výsledky hodnocení intr- a inter-observační chyby měření.

Proměnná	Strana	Intra-obs. chyba			Inter-obs. chyba		
		MD%	SD%	MAD%	MD%	SD%	MAD%
HPL	DX	0,2	0,4	0,4	-0,9	1,0	1,0
HPB		-0,2	1,2	0,9	0,0	1,8	1,4
D2		-0,7	1,6	1,4	-1,5	1,8	1,8
D3		-0,1	2,0	1,2	-0,9	0,8	1,0
D4		0,1	1,8	1,4	-0,8	1,7	1,4
D5		-0,6	2,4	1,9	-0,8	1,8	1,5
		-0,3	1,6	1,2	-0,8	1,5	1,4
HPL	SIN	-0,2	0,3	0,3	-0,7	0,9	1,0
HPB		-0,4	0,7	0,7	-0,3	1,9	1,6
D2		0,7	3,2	1,8	-1,9	1,6	2,1
D3		-0,1	0,7	0,5	-1,3	1,0	1,4
D4		0,1	1,2	0,8	-0,4	2,5	1,5
D5		0,1	2,1	1,6	-0,3	2,2	1,6
		0,0	1,4	1,0	-0,8	1,7	1,6
		-0,1	1,5	1,1	-0,8	1,6	1,5



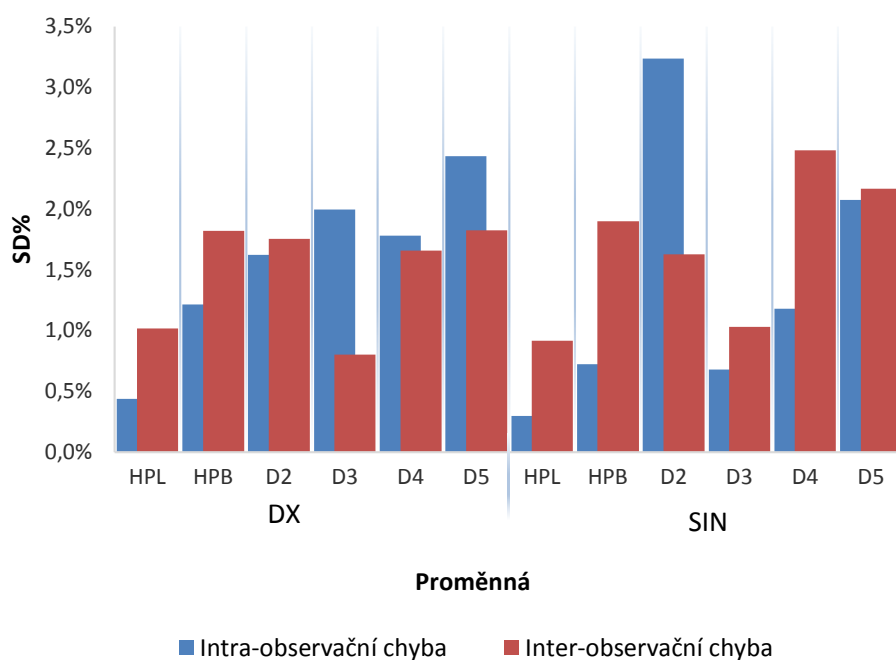
Obrázek 34. Bland-Altmanův graf pro inter-observační chybu pro délku otisku druhého prstu na levé ruce (D2 SIN).

V grafu (Obrázek 35) můžeme sledovat průměrné hodnoty MD%, které nám nenaznačují vliv systematické chyby na proces měření jedním pozorovatelem. V případě systematické inter-observační chyby pozorujeme mírně záporný trend.



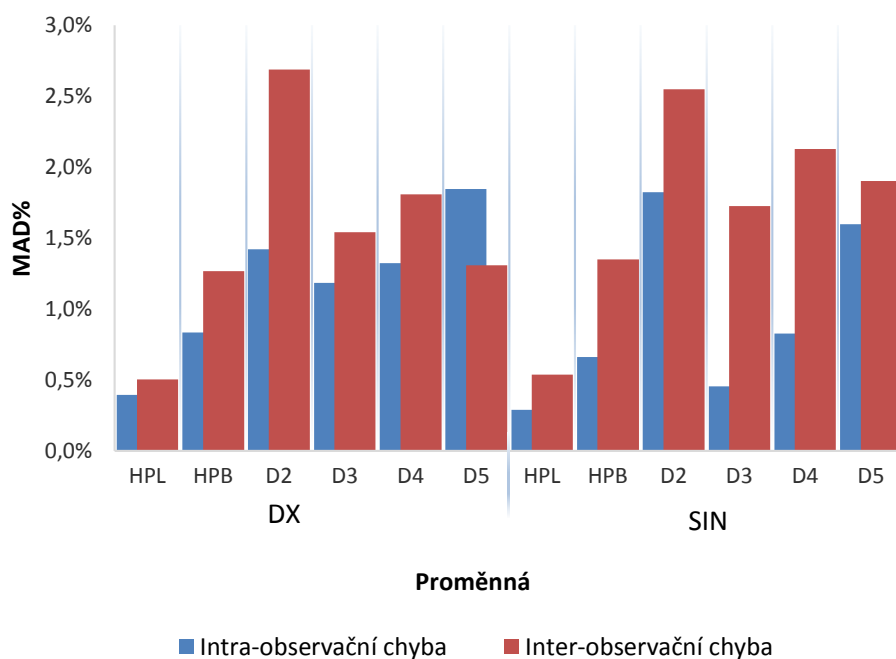
Obrázek 35. Systematická chyba MD% intra- a inter-observační chyby.

Náhodná chyba SD% (Obrázek 36) je u intra-observační chyby až na délku levého otisku D2 výraznější u měření rozměrů pravé ruky. Vyrovnanější hodnoty pak sledujeme u obou rukou v případě inter-observační chyby.



Obrázek 36. Náhodná chyba SD% intra- a inter-observační chyby.

Celková intra- a inter-observační chyba je v přehledu vidět na Obrázek 37. Při pozorování chyby jednoho pozorovatele sledujeme vyšší hodnoty celkové chyby u pravé ruky. Nejvyšší MAD% = 1,8 % jsme zaznamenali u pravého D5 a levého D2, nejnižší pak u délky levé ruky MAD% = 0,3 a pravé ruky MAD% = 0,4 %. Srovnání MAD% pro celkovou inter-observační chybu ukazuje největší hodnoty 2,7 % u pravého D2 a 2,5 % u levého D2. Mezi proměnné s nejnižší celkovou chybou měření patří délka otisku celé ruky s MAD% = 0,5 %.



Obrázek 37. Přehled průměrného procentuálního absolutního rozdílu (MAD%) při sledování intra a inter-observační chyby měření.

Možnost sejmutí rozměrů posuvným měřidlem přímo z ruky respondenta jsme podrobili ověření míry chyby mezi dvěma metodami, stejným postupem jako při zjišťování intra- a inter-observační chyby. Přehled výsledků, kdy bylo osm jedinců podrobena přímému sejmutí všech rozměrů na ruce, přináší Tabulka 5, kde MAD% dosahuje maximálně hodnoty 3,3 %.

Tabulka 5. Přehled ověření chyb mezi dvěma metodami, sejmutím rozměrů přímo na ruce respondenta a z kopie ruky (otisku ruky).

Proměnná	Strana	MD%	SD%	MAD%
HPL	DX	0,5	1,6	1,4
HPB		1,9	3,1	2,6
D2		-1,6	1,2	1,7
D3		-2,1	1,5	2,3
D4		0,7	2,1	1,9
D5		-0,3	2,7	1,9
HPL	SIN	0,2	0,4	0,3
HPB		1,0	1,7	1,7
D2		-0,1	4,0	3,2
D3		0,2	5,3	3,3
D4		0,5	2,5	2,2
D5		0,6	3,3	2,8

6.2 Hodnocení míry pohlavního dimorfizmu

Výsledky zjištění Pearsonova korelačního koeficientu jsou uvedeny v přílohách pro český (Příloha 2) a francouzský soubor (Příloha 3). Nejvyšší $r=0,97$ jsme zaregistrovali mezi pravým a levým D3, další hodnoty r lehce přes 0,9 pak vykazovaly oboustranně kombinace délky otisku D3 a délky ruky či D2. Obdobné výsledky jsme zaznamenali i u francouzského souboru, kde nejvyšší $r=0,95$ hodnotilo také vztah mezi levým a pravým D3, hodnot r přesahujících 0,9 bylo v tomto případě mírně více. Největší hodnoty korelace rozměrů otisků ruky s dalšími parametry souboru jsme mohli sledovat mezi výškou jedince a délkou otisku ruky ($r=0,83$ pro HPL DX a $r=0,84$ pro HPL SIN v českém souboru; $r=0,88$ pro HPL oboustranně ve francouzském souboru).

Výsledky statistického ověření normálního rozdělení hodnot proměnných (Shapiro-Wilkův test) pro každou ruku zvlášť (Tabulka 6) ukázaly, že všechny proměnné u skupin žen i mužů obou souborů jsou normálně rozdělené s výjimkou pravého D4 u českých mužů. Neparametrická alternativa (Kolmogorov-Smirnovův test) však toto podezření nepodpořila. U sloučených skupin, kde jsme porovnávali

soubory s proměnnými levé i pravé ruky dohromady, se předpoklad narušení normality projevil i v neparametrické variantě testu.

Tabulka 6. Výsledky testů normálního rozdělení hodnot proměnných.

Soubor	Proměnná	Strana	Ženy (n=50)		Muži (n=50)		Levene	
			Shapiro-Wilk	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Kolmogorov-Smirnov	<i>p</i>	
CZ	HPL	DX	0,77	0,20	0,69	0,20	0,932	
			HPB	0,67	0,20	0,34	0,20	0,093
			D2	0,4	0,20	0,48	0,20	0,602
			D3	0,13	0,20	0,26	0,20	0,697
			D4	0,32	0,20	0,04	0,20	0,763
			D5	0,37	0,20	0,88	0,20	0,282
	HPL	SIN	0,71	0,20	0,52	0,20	0,511	
			HPB	0,83	0,20	0,52	0,20	0,121
			D2	0,38	0,20	0,18	0,20	0,715
			D3	0,34	0,20	0,51	0,20	0,667
			D4	0,23	0,20	0,10	0,20	0,667
			D5	0,16	0,20	0,55	0,20	0,326
	HPL	-	0,46	0,20	0,74	0,20	0,560	
			HPB	0,55	0,20	0,31	0,20	0,031
			D2	0,11	0,06	0,09	0,20	0,544
			D3	0,10	0,13	0,24	0,20	0,544
			D4	0,08	0,07	0,00	0,02	0,643
			D5	0,07	0,20	0,36	0,20	0,125
FR	HPL	DX	0,86	0,20	0,32	0,20	0,000	
			HPB	0,75	0,20	0,69	0,20	0,011
			D2	0,71	0,20	0,89	0,20	0,005
			D3	0,5	0,20	0,45	0,20	0,009
			D4	0,91	0,20	0,66	0,20	0,027
			D5	0,68	0,20	0,13	0,10	0,005
	HPL	SIN	0,83	0,20	0,40	0,20	0,020	
			HPB	0,33	0,20	0,99	0,20	0,008
			D2	0,41	0,20	0,16	0,20	0,049
			D3	0,27	0,10	0,92	0,20	0,007
			D4	0,82	0,20	0,90	0,20	0,087
			D5	0,83	0,20	0,99	0,20	0,109
	HPL	-	0,99	0,20	0,09	0,20	0,000	
			HPB	0,51	0,20	0,83	0,20	0,000
			D2	0,19	0,04	0,26	0,20	0,001
			D3	0,10	0,17	0,46	0,20	0,000
			D4	0,59	0,20	0,76	0,20	0,005
			D5	0,57	0,20	0,76	0,20	0,002

V českém souboru můžeme vzhledem k Levenovu testu potvrdit shodu rozptylů mezi skupinami, v případě francouzského souboru však můžeme pozorovat až na délku levého D4 a D5 nehomogenitu rozptylů.

Tabulka 7. Souhrnná statistika rozměrů (mm) s výsledky porovnání průměrů.

Soubor	Proměnná	Strana	Ženy (n=50)				Muži (n=50)				ANOVA		C. d ^a	
			Min	Max	Průměr	SD	Min	Max	Průměr	SD	F	p		
CZ	HPL	DX	155	193	173	8	175	209	189	7	122	0,000	-2,2	
			HPB	71	87	79	4	78	95	87	4	104	0,000	-2,1
			D2	58	77	67	4	66	83	73	3	56	0,000	-1,5
			D3	67	83	74	4	72	94	81	4	86	0,000	-1,9
			D4	60	78	68	4	69	88	75	4	75	0,000	-1,7
			D5	50	66	57	4	55	69	62	3	49	0,000	-1,4
	HPL	SIN	154	191	171	8	173	202	188	7	131	0,000	-2,3	
			HPB	69	86	78	4	75	96	86	5	98	0,000	-2,0
			D2	57	77	67	4	66	81	73	4	51	0,000	-1,4
			D3	64	84	73	4	74	89	81	4	83	0,000	-1,8
			D4	61	78	68	4	69	85	75	4	95	0,000	-1,9
			D5	49	63	56	4	54	69	62	3	71	0,000	-1,7
	HPL	-	155	192	172	8	174	205	189	7	253	0,000	-2,2	
			HPB	70	86	79	4	76	96	87	4	201	0,000	-2,0
			D2	58	77	67	4	66	82	73	4	108	0,000	-1,5
D3			65	84	73	4	73	91	81	4	171	0,000	-1,8	
D4			60	78	68	4	69	86	75	4	170	0,000	-1,8	
D5			50	65	56	4	55	69	62	3	118	0,000	-1,5	
FR	HPL	DX	159	209	177	12	162	209	184	11	133	0,000	-0,6	
			HPB	73	98	82	5	74	99	87	6	151	0,000	-0,9
			D2	62	84	69	4	65	83	73	5	53	0,000	-0,8
			D3	68	94	77	5	70	90	80	5	91	0,000	-0,7
			D4	62	84	71	5	65	86	75	5	78	0,000	-0,8
			D5	52	70	59	4	51	73	62	5	62	0,000	-0,6
	HPL	SIN	156	208	176	11	162	208	184	11	132	0,000	-0,6	
			HPB	74	97	82	5	74	98	85	6	130	0,000	-0,7
			D2	61	82	70	5	64	82	73	5	50	0,000	-0,7
			D3	67	93	77	5	70	91	80	5	81	0,000	-0,6
			D4	62	84	71	5	66	87	75	5	88	0,000	-0,8
			D5	52	69	59	4	50	74	62	5	61	0,000	-0,6
	HPL	-	158	208	177	11	162	209	184	11	268	0,000	-0,6	
			HPB	73	97	82	5	74	99	86	6	279	0,000	-0,8
			D2	61	83	70	5	65	83	73	5	104	0,000	-0,7
D3			68	93	77	5	70	91	80	5	173	0,000	-0,7	
D4			62	84	71	5	65	87	75	5	168	0,000	-0,8	
D5			52	69	59	4	51	73	62	5	124	0,000	-0,6	

C.d – Cohenovo d

^a d=[průměr žen]-[průměr mužů]

U sloučených skupin levé a pravé strany se rozdílné rozptyly projevily u všech rozměrů ve francouzském souboru, v českém souboru pouze u šířky otisku ruky, bylo by proto vhodné se při případných pochybnostech opírat i o neparametrickou variantu porovnání průměrů.

Při porovnání průměrů jednotlivých proměnných skupiny žen oproti skupině mužů vykazují všechny s výraznou statistickou významností ($p < 0,001$, ANOVA) rozdíly mezi pohlavími (Tabulka 7), přičemž muži mají větší průměrné hodnoty než ženy. Síla tohoto jevu reflektovaná Cohenovým d se u českého souboru pohybuje od -1,4 do -2,3, u francouzského souboru je pak efekt slabší s hodnotami od -0,6 do -0,9.

Tabulka 8. Výsledky mezipopulačního porovnání průměrů skupin žen a mužů.

Proměnná	Strana	Ženy CZ (n=50) - Ženy FR (n=50)			Muži CZ (n=50) - Muži FR (n=50)		
		ANOVA		Cohenovo d	ANOVA		Cohenovo d
		F	p		F	p	
HPL	DX	0,6	0,459	-0,4	0,0	0,947	0,6
HPB		0,4	0,543	-0,4	3,7	0,058	0,1
D2		2,3	0,134	-0,5	2,3	0,129	0,0
D3		2,5	0,118	-0,5	2,6	0,112	0,1
D4		3,2	0,078	-0,4	3,2	0,077	0,0
D5	0,3	0,578	-0,4	4,0	0,048	0,0	
HPL	SIN	0,0	0,994	-0,4	0,1	0,783	0,5
HPB		2,9	0,093	-0,4	2,5	0,115	0,2
D2		2,2	0,140	-0,4	2,3	0,131	0,0
D3		2,4	0,127	-0,5	2,8	0,097	0,1
D4		6,9	0,010	-0,4	5,3	0,023	0,0
D5	5,3	0,023	-0,4	4,1	0,044	0,0	
HPL	-	0,3	0,604	-0,4	0,0	0,887	0,6
HPB		2,7	0,105	-0,4	6,1	0,014	0,1
D2		4,5	0,034	-0,4	4,7	0,031	0,0
D3		4,9	0,028	-0,5	5,4	0,021	0,1
D4		9,7	0,002	-0,4	8,4	0,004	0,0
D5	4,1	0,044	-0,4	8,2	0,005	0,0	

Porovnání průměrů mezi soubory ukazuje, že české ženy mají průměrně menší hodnoty rozměrů než francouzské ženy. Oproti tomu, u mužů jsme rozdíl mezi soubory zaznamenali minimální. O pozorovaném trendu více vypovídá ANOVA porovnávající ženy a muže mezi soubory (Tabulka 8), kde vidíme, že mezi muži sice existují statisticky významné

rozdíly u některých rozměrů, avšak podle Cohenova d se nejedná o praktickou významnost. Mezi ženami Cohenovo d také nepřekračuje hranici praktické významnosti. Zároveň téměř ve všech případech sledujeme statisticky signifikantní rozdíly v rozměrech otisků pátého prstu.

Párový t-test porovnání průměrných rozměrů levé a pravé ruky (Tabulka 9) nám ukázal, že průměry se ve většině případů signifikantně neliší. Výjimku tvoří délka a šířka ruky u žen i mužů v českém souboru, D5 u českých žen a D2 u francouzských mužů. Pozitivní korelace proměnných v rámci porovnávaných párů ($p < 0,001$) se pohybovala od 0,79 (HPB u francouzských žen) do 0,96 (HPL a D3 u českých žen).

Tabulka 9. Výsledky párového t-testu a korelace mezi proměnnými v párech levé a pravé strany.

Soubor	Pohlaví	Páry proměnných	p	r	
CZ	Ženy	HPL DX - HPL SIN	0,000	0,96	
		HPB DX - HPB SIN	0,001	0,83	
		D2 DX - D2 SIN	0,766	0,89	
		D3 DX - D3 SIN	0,149	0,96	
		D4 DX - D4 SIN	0,140	0,84	
		D5 DX - D5 SIN	0,000	0,88	
	Muži	HPL DX - HPL SIN	0,009	0,92	
		HPB DX - HPB SIN	0,003	0,88	
		D2 DX - D2 SIN	0,469	0,88	
		D3 DX - D3 SIN	0,111	0,92	
		D4 DX - D4 SIN	0,502	0,84	
		D5 DX - D5 SIN	0,893	0,83	
	FR	Ženy	HPL DX - HPL SIN	0,197	0,93
			HPB DX - HPB SIN	0,185	0,79
D2 DX - D2 SIN			0,458	0,91	
D3 DX - D3 SIN			0,244	0,93	
D4 DX - D4 SIN			0,778	0,88	
D5 DX - D5 SIN		0,584	0,78		
Muži		HPL DX - HPL SIN	0,207	0,95	
		HPB DX - HPB SIN	0,000	0,91	
		D2 DX - D2 SIN	0,454	0,91	
		D3 DX - D3 SIN	0,212	0,95	
	D4 DX - D4 SIN	0,843	0,83		
D5 DX - D5 SIN	0,840	0,93			

Z přehledu vnitro- i mezipopulačního srovnání průměrných rozdílů rozměrů mezi levou a pravou stranou (Tabulka 10) je patrné, že panuje

mírný rozdíl mezi poměry délek D5 viditelný mezi ženami a muži v českém souboru, znatelný i mezi skupinami žen napříč soubory. Francouzští muži mají statisticky významně větší rozdíl mezi pravým a levým D2 oproti francouzským ženám i českým mužům.

Tabulka 10. Porovnání průměrných rozdílů mezi rozměry pravé a levé ruky (DX-SIN) napříč soubory mezi oběma skupinami podle pohlaví (č. ženy vs. fr. ženy v levém horním kvadrantu; č. muži vs. fr. muži v pravém dolním kvadrantu) a mezi skupinami uvnitř souborů (č. ženy vs. č. muži – v pravém horním kvadrantu; fr. ženy vs. fr. muži).

Proměnná	Pohlaví	Ženy FR			Muži CZ		
		ANOVA		Cohenovo <i>d</i>	ANOVA		Cohenovo <i>d</i>
		F	<i>p</i>		F	<i>p</i>	
HPL	Ženy CZ	1,9	0,174	0,4	0,3	0,577	-0,8
HPB		0,6	0,443	0,3	0,1	0,753	-0,7
D2		0,0	0,830	-0,1	0,1	0,778	-2,1
D3		1,4	0,237	0,3	0,1	0,743	-1,6
D4		0,1	0,816	0,0	0,3	0,592	-1,5
D5	5,6	0,021	0,5	8,4	0,005	-1,0	
HPL	Muži FR	0,8	0,370	1,0	0,0	0,877	-0,7
HPB		0,0	0,828	1,0	0,5	0,504	-0,6
D2		12,3	0,001	8,5	7,6	0,007	0,8
D3		0,4	0,554	3,2	3,0	0,086	-2,6
D4		3,1	0,080	2,0	0,3	0,596	-6,4
D5	0,1	0,794	1,1	0,9	0,339	-9,3	

6.3 Úspěšnost a spolehlivost odhadu pohlaví

Tabulka 12 podává přehled všech koeficientů a testových statistik proměnných použitých v sestavených diskriminačních funkcích včetně publikovaných údajů amerických DF_{USA} (Snow, 2013; Snow, 2006) určených k ověření spolehlivosti. Hodnoty Wilksovo *lambda* nás informují o tom, že zvolené proměnné zakomponované v diskriminačních funkcích vytvořených na českém a francouzském souboru vysvětlují mezi 63 % a 68 % sledované variability mezi pohlavími.

Tabulka 11. Přehled koeficientů a míry vlivu použitých proměnných na diskriminaci pohlaví.

Proměnná	DF _{CZ}			DF _{FR}			DF _{USA}					
	DX	SIN	DX+SIN	DX	SIN	DX+SIN	DX		SIN		DX+SIN	
							Muži	Ženy	Muži	Ženy	Muži	Ženy
HPL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,2	1,9	2,2	1,9	2,2	1,9
HPB	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-
D2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-1,1	-0,8	-1,1	-0,8	-1,1	-0,8
D3	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-2,2	-1,9	-2,2	-1,9	-2,2	-1,9
D4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	2,6	2,4	2,6	2,4	2,6	2,4
D5	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1
Konstanta	-26,1	-25,2	-25,6	-25,0	-25,8	-25,2	-195,6	-166,2	-195,6	-166,2	-195,6	-166,2
Wilksovo λ	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-	-	-

Ze sestavených diskriminačních funkcí vykazuje DF_{FR} SIN, tedy francouzská rovnice s použitím levých rukou, nejvyšší průměrnou úspěšnost 94 % na hladině posteriorní pravděpodobnosti větší než 0,5 (Tabulka 12). Po křížové validaci je úspěšnější DF_{FR} s 93 %.

Nejméně úspěšným klasifikačním modelem je česká funkce s použitím pravých rukou DF_{CZ} DX s průměrným hodnocením 88 %, respektive 85 % po křížové validaci. V naprosté většině případů jsou ženy hodnoceny s vyšší úspěšností než muži s rozdílem až 10 %.

Tabulka 12. Přehled úspěšnosti diskriminačních funkcí s PP > 0,5.

Funkce	Úspěšnost (%)			Úspěšnost po křížové validaci (%)		
	Ženy	Muži	Průměr	Ženy	Muži	Průměr
DF _{CZ} DX	88,0	88,0	88,0	88,0	82,0	85,0
DF _{CZ} SIN	92,0	86,0	89,0	86,0	86,0	86,0
DF _{CZ} DX+SIN	91,0	87,0	89,0	91,0	85,0	88,0
DF _{FR} DX	86,0	88,0	87,0	96,0	88,0	92,0
DF _{FR} SIN	98,0	90,0	94,0	96,0	86,0	91,0
DF _{FR} DX+SIN	97,0	89,0	93,0	97,0	89,0	93,0

Při použití striktního kritéria PP > 0,95 a po křížové validaci jsou správně hodnoceny všechny klasifikované případy (Tabulka 13). Mezi 28 % až 44 % jedinců v rámci jednoho pohlaví však zůstává neidentifikováno kvůli nesplnění podmínky minimální posteriorní pravděpodobnosti.

Tabulka 13. Přehled úspěšnosti diskriminačních funkcí s $PP > 0,95$.

Funkce	Úspěšnost (%)			Neurčeno (%) Ženy/Muži	Úspěšnost po křížové validaci (%)			Neurčeno (%) Ženy/Muži
	Ženy	Muži	Průměr		Ženy	Muži	Průměr	
DF_{CZ} DX	100	100	100	36/34	100	100	100	38/38
DF_{CZ} SIN	100	100	100	38/32	100	100	100	38/32
DF_{CZ} DX+SIN	98	98	98	41/41	100	100	100	40/41
DF_{FR} DX	100	100	100	28/38	100	100	100	30/44
DF_{FR} SIN	100	97	99	28/42	100	100	100	28/42
DF_{FR} DX+SIN	100	98	99	31/42	100	100	100	31/41

Výsledky ověření spolehlivosti diskriminačních funkcí, tedy jejich úspěšnosti při použití na nezávislých souborech, podává Tabulka 14. Při $PP > 0,5$ podává nejlepší výkon česká rovnice DF_{CZ} SIN ověřená na francouzském souboru s průměrnou úspěšností 94 %, která oproti druhé nejúspěšnější DF_{CZ} DX s 93 % vykazuje nižší míru mezipohlavní odchylky správné klasifikace (4 % oproti 10 %).

Se striktnějším přístupem $PP > 0,95$ jsou české rovnice na francouzském souboru schopny klasifikovat správně se stoprocentní úspěšností oproti horšímu výkonu francouzských funkcí na českém souboru, nicméně podíl neidentifikovaných jedinců je vyšší, mezi 30 % až 42 % oproti rozmezí od 24 % do 41 % u francouzských DF.

Ověření amerických diskriminačních funkcí dosahovalo podobných výsledků, ať byly aplikovány na český nebo francouzský soubor. Ženy byly vždy úspěšněji klasifikovány než muži, a to až na 100 % (s $PP > 0,5$), přičemž ale pozorovaná mezipohlavní odchylka dosáhla až 52 %, jelikož správná klasifikace mužů se pohybovala od 46 % do 60 %.

Tabulka 14. Přehled úspěšnosti diskriminačních funkcí při ověření na nezávislých souborech.

Funkce	Ověřeno na souboru	Úspěšnost (%)						Neurčeno (%) Ženy/Muži
		PP > 0,5			PP > 0,95			
		Ženy	Muži	Průměr	Ženy	Muži	Průměr	
DF _{CZ} DX	FR DX	98	88	93	100	100	100	30/38
DF _{CZ} SIN	FR SIN	96	92	94	100	100	100	42/42
DF _{CZ} DX+SIN	FR DX+SIN	96	89	93	100	100	100	38/42
DF _{FR} DX	CZ DX	92	82	87	100	100	100	32/38
DF _{FR} SIN	CZ SIN	96	80	88	100	94	97	24/40
DF _{FR} DX+SIN	CZ DX+SIN	93	82	88	99	97	98	29/41
DF _{USA} DX	CZ DX	96	60	78	-	-	-	-
	FR DX	100	56	78	-	-	-	-
DF _{USA} SIN	CZ SIN	98	46	72	-	-	-	-
	FR SIN	96	54	75	-	-	-	-
DF _{USA} DX+SIN	CZ DX+SIN	97	55	76	-	-	-	-
	FR DX+SIN	99	57	78	-	-	-	-

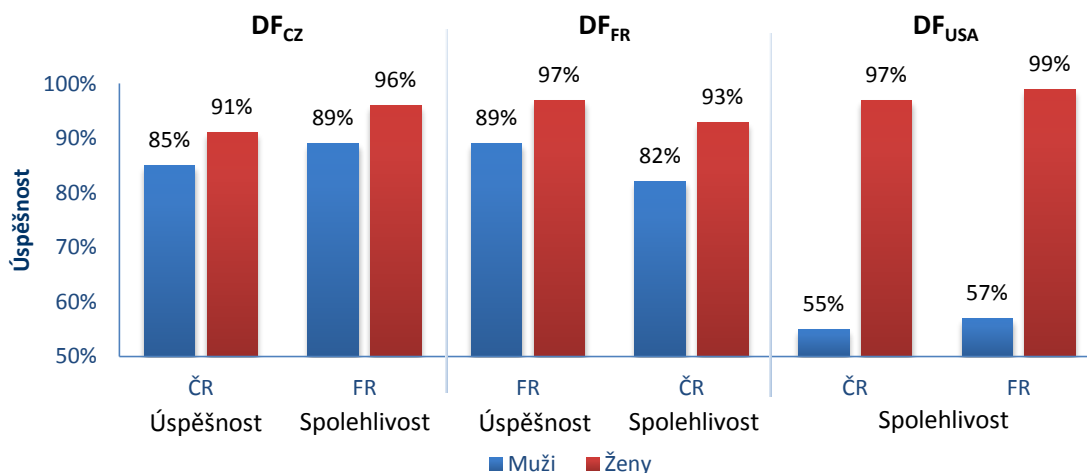
Tabulka 15 uvádí přehled počtu jedinců, kteří byli správně klasifikováni při ověření spolehlivosti všech zkoumaných diskriminačních funkcí. Je patrná téměř totožná míra správné klasifikace u českých a francouzských funkcí a naopak výrazná mezipohlavní odchylka při testování amerických funkcí.

Tabulka 15. Přehled správně klasifikovaných jedinců při ověření spolehlivosti diskriminačních funkcí. Hodnoty jsou uvedené ve formě počet jedinců/celkový počet jedinců ve výběru.

Funkce	Ověřeno na souboru	Správně klasifikovaných jedinců s PP > 0,5			Správně klasifikovaných jedinců s PP > 0,95		
		Ženy	Muži	Celkem	Ženy	Muži	Celkem
DF _{CZ} DX	FR DX	49/50	44/50	93/100	35/50	31/50	66/100
DF _{CZ} SIN	FR SIN	48/50	46/50	94/100	29/50	29/50	58/100
DF _{CZ} DX+SIN	FR DX+SIN	96/100	85/100	181/200	62/100	58/100	120/200
DF _{FR} DX	CZ DX	46/50	41/50	87/100	34/50	31/50	65/100
DF _{FR} SIN	CZ SIN	48/50	40/50	88/100	38/50	32/50	70/100
DF _{FR} DX+SIN	CZ DX+SIN	93/100	82/100	175/200	72/100	61/100	133/200
DF _{USA} DX	CZ DX	48/50	30/50	78/100	-	-	-
	FR DX	50/50	28/50	78/100	-	-	-
DF _{USA} SIN	CZ SIN	49/50	23/50	72/100	-	-	-
	FR SIN	48/50	27/50	75/100	-	-	-
DF _{USA} DX+SIN	CZ DX+SIN	97/100	55/100	152/200	-	-	-
	FR DX+SIN	99/100	57/100	156/200	-	-	-

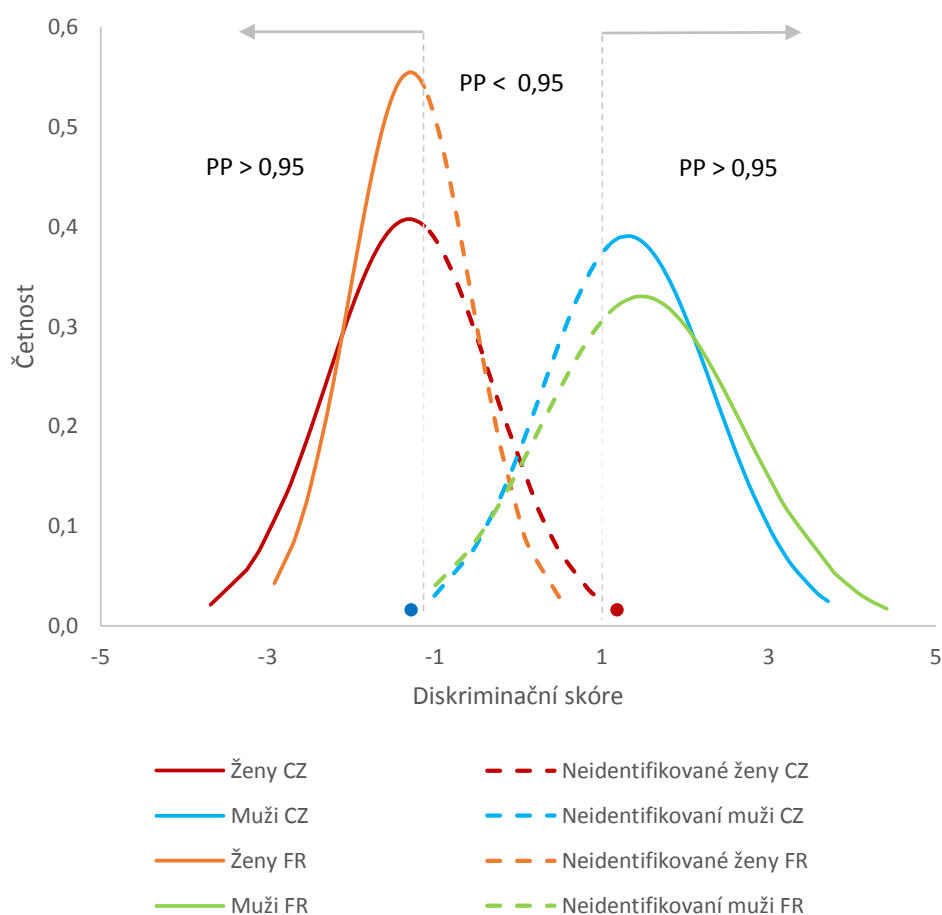
Grafický přehled úspěšnosti a spolehlivosti studovaných diskriminačních funkcí (Obrázek 38) jasně ukazuje, že česká DF_{CZ} DX+SIN funguje lépe na francouzském souboru, že ženy jsou vždy správně klasifikovány ve větší míře než muži a že mezi českým a francouzským

souborem panuje relativně méně mezipopulačních rozdílů, než mezi těmito dvěma a americkým souborem, který vykazuje velikou mezipohlavní odchylku při klasifikaci danou odlišnými parametry souborů.



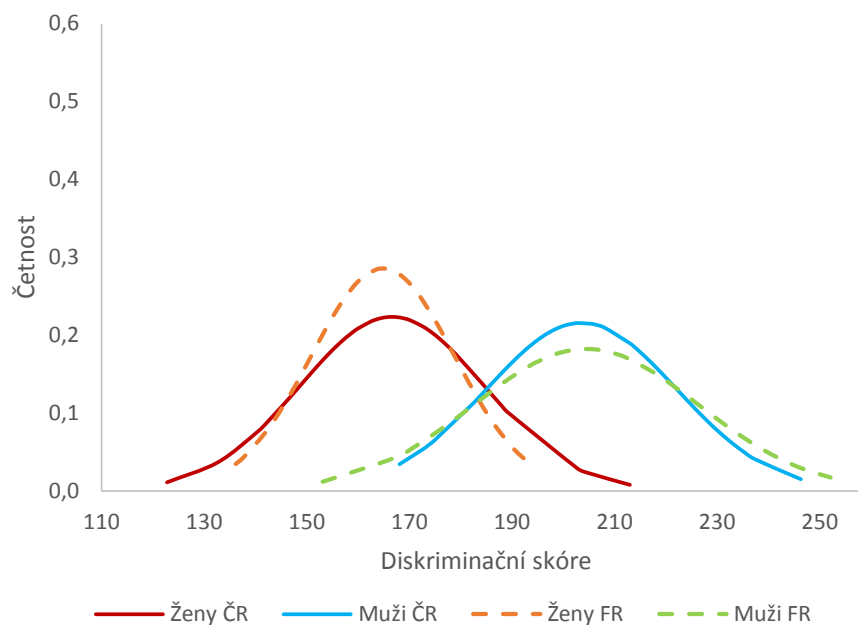
Obrázek 38. Grafický přehled výsledků ověření úspěšnosti (po křížové validaci) a spolehlivosti testovaných sestavených diskriminačních funkcí.

Na grafu úspěšnosti a spolehlivosti $DF_{CZ}DX+SIN$ (Obrázek 39) můžeme sledovat rozdělení hodnot diskriminačního skóre při dosazení hodnot proměnných z českého a francouzského souboru. Zároveň je viditelná oblast překrývajících se hodnot, kde jsou jedinci nesprávně kategorizováni do opačné skupiny, než kam náležejí. Při posouzení výsledků s $PP > 0,95$ vidíme také jedince obou pohlaví a souborů, kteří nemohli být s dostatečnou pravděpodobností klasifikováni a zůstali jako neidentifikovaní.

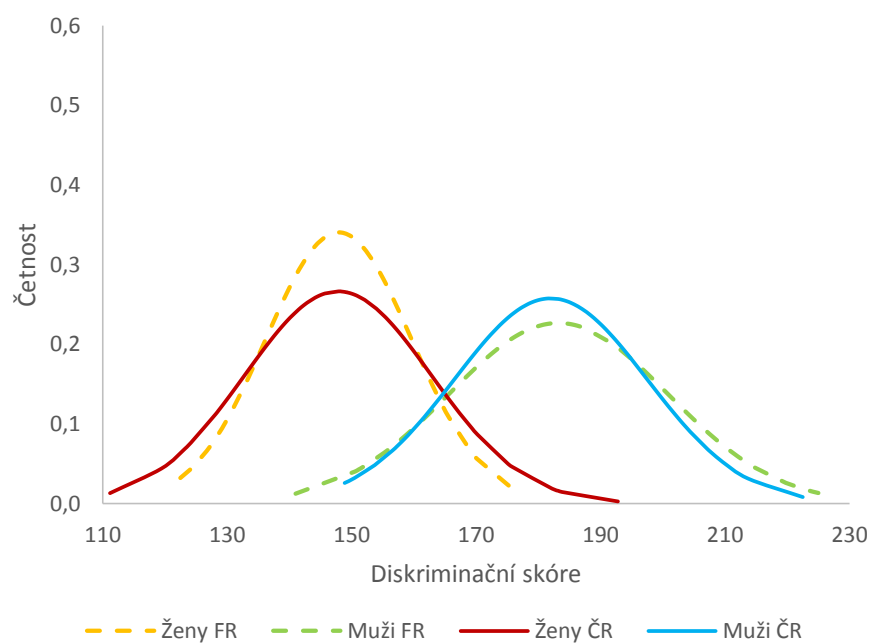


Obrázek 39. Znázornění úspěšnosti DF_{CZ} na českém souboru a její spolehlivosti na francouzském souboru se zobrazením oblastí neidentifikovaných jedinců při prahu správné klasifikace $PP > 0,95$.

Graf rozložení hodnot diskriminačního skóre při testování spolehlivosti amerických funkcí podává Obrázek 40 a Obrázek 41.



Obrázek 40. Grafické vyjádření spolehlivosti diskriminační funkce $DF_{USA} DX$ pro pravou ruku vytvořené na americkém souboru (Snow, 2006) při ověření na českém a francouzském souboru pravých rukou.



Obrázek 41. Grafické vyjádření spolehlivosti diskriminační funkce $DF_{USA} DX+SIN$ vytvořené na americkém souboru (Snow, 2013) při ověření na českém a francouzském souboru.

7 DISKUZE

Výsledky této studie podpořily tvrzení předchozích publikací týkající se pohlavního dimorfizmu ve velikosti rukou. Zároveň ale upozornili na nedostatečný výkon diskriminačních funkcí postavených na základě rozměrů otisků ruky v testovacích souborech při použití přísnějšího kritéria klasifikace s $PP > 0,95$ a na neopominutelný projev mezipopulační variability, kdy aplikování sestavených diskriminačních funkcí na nezávislých souborech dosahuje nepředvídatelných výsledků vzhledem k výrazným velikostním rozdílům mezi populacemi.

Na počátku 21. století došlo k nárůstu publikací věnujících se odhadu pohlaví z otisků ruky ve vztahu k paleolitickým nálezům těchto otisků na stěnách jeskyní po celém světě (Freers, 2001; Gunn, 2006; Chazine a Noury, 2006; Ishak et al., 2012; Mackie, 2015), autoři se zajímali kromě demografického složení tehdejších populací i o genderové rozdělení rolí u minulých populací (Snow, 2013; Wang et al., 2010). Stěžejními publikacemi této práce byly pak studie Snowa (Snow, 2013; Snow, 2006), který se zabýval odhadem pohlaví z fotografií otisků na zdech jeskyní z paleolitických lokalit ve Francii a Španělsku za pomoci diskriminačních funkcí vytvořených s využitím rozměrů délky ruky a délek druhého až pátého prstu na otiscích obou rukou a také s poměrem druhého a čtvrtého prstu v současném americkém souboru a Galety s kolektivem (Galeta et al., 2014), jenž se na základě stejných dat (navíc s rozměrem šířky otisku ruky) získaných Maestraccim (Maestracci, 2007) ze současné francouzské populace ujal ověření spolehlivosti amerického klasifikačního modelu na nezávislém souboru. Snow v předběžné studii (Snow, 2006) se šesti jedinci a později i v práci s větším souborem (Snow, 2013) konstatuje své zjištění, že se na tvorbě jeskynních otisků ženy nejenom podílely, ale že dokonce jejich tvorba převládala nad produkcí mužských otisků ruky. Toto tvrzení však zpochybňují výsledky Galetovy studie (Galeta et al., 2014), jenž pozoroval chabou spolehlivost zkoumané metody.

Snow (Snow, 2006) vytvořil diskriminační funkce pro levou i pravou ruku zvláště i pro obě dohromady na souboru 222 Američanů evropského původu. Deklarovaná úspěšnost jeho metody byla 78,8 % při využití přímých rozměrů a 59,5 % při dosažení poměru délek otisků druhého a čtvrtého prstu, s mezipohlavní odchylkou správné klasifikace 5,7 %, respektive -8,6%. Následná klasifikace paleolitických otisků tak byla nevyhnutelně ovlivněna omezenou úspěšností předvedené metody a je nutné si poukázat na asymetrii úspěšnosti Snowovy metody, se kterou jsou muži častěji než ženy klasifikováni nesprávně, při sledování počtu jedinců v obou kategoriích tak zjistíme, že skupina žen je početnější, ale obsahuje více mužů ohodnocených jako ženy. Tvrzení autora o dominanci žen při tvorbě otisků na stěnách jeskyní proto musíme brát jako silně ovlivněné nevhodnou metodou. Tento fakt navíc zdůrazňují závěry Galety s kolektivem (Galeta et al., 2014), který použil data z francouzského souboru a vypočtením amerických diskriminačních funkcí hodnotících údaje z pravých rukou konstatoval míru správné klasifikace 79 % s využitím přímých rozměrů a pouhých 50 % procent s poměrem druhého a čtvrtého prstu, a to s mezipohlavní odchylkou v prvním případě -42 % (kdy ženy byly nevěrohodně správně klasifikovány ze 100 % a muži pouze z 58%) a ve druhém případě 100 %, jelikož všichni klasifikovaní jedinci byli ohodnoceni jako muži. Uvedené hodnoty ukazují na vysokou míru mezipopulační variability indikovanou tím, že americká funkce podává na nezávislém souboru nevěrohodné hodnoty. Taková metoda nedokáže jedince smysluplně klasifikovat.

Naše práce je v několika pohledech inovativní, přestože už Galeta s kolektivem (Galeta et al., 2014) ověřoval spolehlivost amerických funkcí (Snow, 2006) na francouzském souboru a vyvodil z toho právoplatně závěry pro bioarcheologickou praxi o nedostatečnosti metody. Jak autor zmiňuje, k americkému souboru nejsou dostupné parametry jedinců jako je výška, váha či BMI, což neumožňuje objektivní posouzení horší úspěšnosti amerických diskriminačních funkcí při použití na francouzském souboru. V případě francouzského souboru však už všechny potřebné

údaje k dispozici byly a po nasbírání i českých dat bylo možné jejich porovnáním dosáhnout lepšího pochopení výsledků. Jelikož jsme pracovali se dvěma nezávislými soubory, otestovali jsme také spolehlivost námi vytvořených diskriminačních funkcí, a to i s prahem posteriorní pravděpodobnosti vyšší než 0,95. Zahrnuli jsme zároveň do výpočtů rozměr šířky otisku ruky, který v amerických funkcích nebyl použit, ale francouzský soubor tyto hodnoty obsahoval. V neposlední řadě jsme sledovali asymetrii rozměrů jednoho jedince mezi oběma rukama, tedy rozdíl rozměrů pravé a levé ruky.

Oproti Snowovi (Snow, 2013; Snow, 2006) jsme navýšili počet proměnných v diskriminačních funkcích na šest společně s šířkou otisku ruky (HPB), vzhledem k tomu, že tento rozměr vykazoval jedny z nejvyšších hodnot Cohenova d ze všech sledovaných proměnných, naznačující největší velikost efektu pro diskriminaci pohlaví. Tato proměnná je navíc zatížena jednou z nejmenších chyb měření jedním i dvěma pozorovateli. Zahrnutí HPB do diskriminační funkce tedy bylo za účelem zvýšení její spolehlivosti, protože jsme zmíněný trend sledovali u českého i francouzského souboru.

Námi prezentované výsledky jsou v případě úspěšnosti francouzské diskriminační funkce v souladu se závěry Galety (Galeta et al., 2014), přestože se objevily rozdíly v procentuálních hodnotách úspěšnosti dané z menší části mírou inter-observační chyby, jelikož všechny rozměry byly z francouzských otisků znovu naměřeny MJ, ale pravděpodobně také kvůli zakomponování šestého rozměru do výpočtu. V našich výsledcích pozorujeme větší mezipohlavní odchylky v úspěšnosti po křížové validaci s $PP > 0,5$ (až do -10 % oproti -4 %), s přísnějším kritériem $PP > 0,95$ jsme ale zaznamenali průměrně nižší poměr neidentifikovaných jedinců (max. 42% oproti 48 %). Další autoři uvádějí obdobnou úroveň hodnocení správné klasifikace diskriminačních funkcí vytvořených na recentních populacích Austrálie, Indie či Egypta, a to mezi 78% a 91 % (Aboul-Hagag et al., 2011; Ishak et al., 2012; Kanchan a Rastogi, 2009).

V případě ověření spolehlivosti českých funkcí (DF_{CZ} DX, SIN a DX+SIN) na francouzském souboru s $PP > 0,5$ po křížové validaci jsme pozorovali vyšší úspěšnost na testovacím než tréninkovém souboru (93 – 94 % oproti 85 – 88 %). Při $PP > 0,95$ až 42 % jedinců nebylo vůbec možné identifikovat s dostatečnou pravděpodobností. Údaj o stoprocentní úspěšnosti českých funkcí testovaných na francouzském souboru tak je v tomto případě velice zavádějící.

Při ověření spolehlivosti amerických funkcí (DF_{USA} DX, SIN a DX+SIN) (Snow, 2013; Snow, 2006) s použitím pěti přímých rozměrů (DF_{USA} DX, SIN a DX+SIN) jsme na francouzském souboru zaznamenali obdobnou hladinu správné klasifikace jako Galeta a kolektiv (Galeta et al., 2014) mezi 75 % a 78 % s odchylkou mezi pohlavími -42 % až -44% (TAB 16). V českém souboru americké funkce dokázaly správně klasifikovat mezi 72 % až 78 % jedinců s odchylkou -36 % až -52 %. Opět se tedy jedná o demonstraci lepší diskriminace francouzských jedinců vzhledem v projevu vyšší míry pohlavního dimorfizmu sledovaných proměnných.

Jak podotkl již Galeta s kolektivem (Galeta et al., 2014), výsledky ověření spolehlivosti amerických funkcí na francouzském souboru a v našem případě i na českém souboru nám ukazují na odlišné průměrné hodnoty velikosti rukou mezi výběry. Vzhledem k tomu, že nejsou k dispozici údaje amerického souboru, týkající se výšky, váhy a BMI, mohli jsme porovnávat pouze české a francouzské jedince. Obecně z porovnání parametrů souborů pomocí ANOVA i výsledků testování úspěšnosti a spolehlivosti diskriminačních funkcí vyplývá, že ve francouzském souboru se pohlavní dimorfizmus projevuje ve větší míře než u českého souboru. Křivka rozdělení hodnot DS (diskriminačního skóre) ukazuje menší rozptyl ve skupině francouzských žen než českých žen (strmější/užší křivka). Francouzské ženy se s ohledem na hodnoty proměnných více vymezují oproti mužům a je tedy mírně snazší (než v českém souboru) tyto dvě skupiny mezi sebou rozlišit. Vzhledem k tomu, že si je jinak český a francouzský soubor velice podobný (co se týče průměrných hodnot proměnných), diskriminační funkce budou dosahovat vyšší úspěšnosti

právě u francouzského souboru s tím, že lépe klasifikované budou ženy. Dělicí bod funkce založené na českém souboru je mírně posunutý vzhledem k dělicímu bodu francouzské funkce blíže ke střední hodnotě skupiny mužů, DF_{CZ} tedy bude tedy klasifikovat správně větší podíl francouzských žen. Dělicí body obou souborů jsou však i tak velice blízko u sebe, nepozorujeme tedy extrémní jev jako při ověření amerických funkcí, kdy

Hodnoty DS českých žen se více překrývají s hodnotami českých mužů, vzhledem k mírně větším rozptylům hodnot (širší křivka), což vede k většímu podílu jedinců, které klasifikujeme nesprávně při $PP > 0,5$ a jsou v oblasti nejistoty. Při striktnějším přístupu s $PP > 0,95$ pak tato oblast zahrnuje jedince, které vůbec nedokážeme s dostatečnou posteriorní pravděpodobností klasifikovat a zůstávají tak jako neidentifikovaní. Úroveň úspěšnosti metody se sice zvýšila, ale na úkor podílu zařaditelných případů. Praktická využitelnost tedy významně klesá. Při $PP > 0,95$ ve francouzském souboru zůstává srovnatelně velký podíl neidentifikovaných jedinců.

Důležitým prvkem předkládané studie bylo porovnání parametrů dvou souborů a důsledky případných rozdílů na možnosti správné klasifikace diskriminačních funkcí. Zjistili jsme, že jedinci z francouzského souboru jsou oproti tomu českému v průměru nižší a že u francouzských žen je tento rozdíl mírně akcentován, navíc v této skupině je možné u výšky sledovat nižší směrodatnou odchylku hodnot výběru. Francouzské ženy tedy svou výškou nepřekračují dělicí bod tolik, jako francouzští muži, z toho bychom mohli usuzovat na důvod vyšší úspěšnosti diskriminačních funkcí s použitím délkových rozměrů otisků ruky této skupiny, jelikož výška s nimi pozitivně koreluje. Nicméně průměrné hodnoty rozměrů otisků ruky jsou v případě francouzských žen vyšší, než je tomu u českých žen, zaznamenali jsme tedy opačný trend, než který jsme očekávali. Tento jev je patrný i z hodnot Cohena d srovnání průměrů rozměrů, jelikož pozorujeme negativní hodnoty (jelikož do rovnice pro výpočet d kritéria dosazujeme za $M1$ průměr českých žen a za $M2$ průměr francouzských

žen, negativní hodnoty informují o vyšším M2). U mužů jsou hodnoty rozměrů otisků ruky vyrovnané Prozkoumáním poměrů úspěšnosti i spolehlivosti diskriminačních funkcí zjistíme, že muži obou souborů jsou klasifikováni přibližně stejně, kdežto francouzské ženy vždy a výrazně lépe a tento fakt se podílí i na průměrném hodnocení celého souboru. Velikost těla a tvar koreluje kromě výživy také s klimatickými podmínkami (Ruff, 2002), což může být dáno vlivem, kvůli kterému se americký a francouzský spolu s českým souborem tolik liší.

Provedením ANOVA u rozměrů otisků ruky a srovnáním výsledků mezi soubory, statisticky významné rozdíly nalzáme spíše u skupin se sloučenými rozměry pravé a levé ruky dohromady, i když s odkazem na nízké hodnoty Cohenova d se nejedná ani v tomto případě o prakticky významný rozdíl. Je hodné poznamenání, že nejčastěji můžeme sledovat rozdíly u otisku pátého prstu, na pravé ruce pouze mezi muži, u levé ruky pak u mužů i žen.

Asymetrii u proměnných (statisticky významně se lišící poměrem levé vůči pravé) nalzáme především u šířky otisku ruky, a to u všech mužů a českých žen, v českém souboru vidíme tendenci k asymetrii také u délky otisku ruky a v případě českých žen i u pátého prstu. Mezi pohlavími uvnitř francouzského souboru a mezi francouzskými a českými muži je také znatelný rozdíl v projevu asymetrie druhého prstu. Pozorovanou asymetrii můžeme pravděpodobně připsat jak mírným individuálním odchylkám, tak intra- a inter-observační chybě při sběru dat, jelikož průměrné procentuální rozdíly mezi rozměry levé a pravé strany dosahovaly od -1,1 % do 1,4 %.

Ukazatel systematické inter-observační chyby MD% s převažujícími zápornými hodnotami vypovídá o možném, ale vzhledem k nízkým hodnotám velice malém, ovlivnění výsledků měření mezi dvěma pozorovateli způsobeném buď chybou měřidla, definicí a vyznačením bodů, kvalitou otisků a jejich měřítkem, deformací snímku otisku či odlišností v postupu snímání rozměrů. Francouzské otisky získané Maestraccim (Brůžek et al., 2012) neobsahují spolu s rukou naskenované

měřítka, nelze tedy zjistit, zda neexistuje systematická chyba při kopírování, způsobená technologickými odchylkami. Vzhledem k nízkým hodnotám se však zřejmě jedná o odlišnost v postupu, při kterém mohl každý pozorovatel držet měřidlo a měřit rozměry odlišným způsobem nebo je pravděpodobná i rozdílná interpretace přesného vymezení krajních bodů definovaných rozměrů.

Obtížná je také otázka záznamu otisků rukou ať už pro účely vytvoření diskriminační funkce nebo kvůli zachycení paleolitických nálezů pro jejich analýzu. Snow (Snow, 2006) pořídil fotografie otisků na stěnách jeskyní, tento přístup ale umožňuje zkreslení optikou objektivu a pozicí fotoaparátu, osvětlením či zaostřením. Tento problém vykompenzoval Wang (Wang et al., 2010) použitím geometrické morfometrie se zachycením většího počtu bodů. Wang svou metodu dokonce navrhuje i pro využití ve forenzní praxi. Další vylepšení metody sběru dat se pokusila přinést Mackie (Mackie, 2015), jež využila postupu fotogrammetrie, pomocí kterého je vytvořeno více snímků jednoho objektu zájmu, které se následně počítačově spojí a vznikne přesná reprezentace reálného objektu.

Při vytváření diskriminačních funkcí Snow (Snow, 2006), Maestracci (Brůžek et al., 2012) a i autoři této studie použili fotokopírku ke snímání rukou. Zde především představuje největší možnost chyb umístění, tlak a případný pohyb rukou na skle zařízení v průběhu několikavteřinového snímání, což ovlivňuje výsledný obraz. Výsledné obrazy se také mohou lišit v závislosti na typu a stáří používaného přístroje intenzitou, tiskovým rozlišením či ostrostí obrazu.

8 ZÁVĚR

Zdokumentováním míry variability ve velikosti otisků rukou napříč dvěma současnými evropskými populacemi (české a francouzské), resp. pomocí dvou nezávislých souborů tvořených otisky rukou sta jedinců pro každou populaci, jsme dokázali sestavit šest diskriminačních funkcí pro odhad pohlaví, jež dovedly (po křížové validaci) správně klasifikovat v nejlepším případě 93 % jedinců, v nejhorším 85 %, a to s posteriorní pravděpodobností (PP) větší než 0,5. Míra mezipohlavní odchylky správné klasifikace dosahovala maximálně 10 %. Při striktnějším přístupu s pravidlem PP vyšší než 0,95 se podařilo správně zařadit vždy všechny hodnocené jedince, ale od 28 do 44 % jedinců v rámci každého pohlaví zůstalo neidentifikovaných.

Při testování spolehlivosti námi sestavených diskriminačních funkcí jsme dosáhli správné klasifikace od 88 do 94 % při PP větší než 0,5 a s mezipohlavní odchylkou správné klasifikace od 4 do 16 %. Při PP vyšší než 0,95 se spolehlivost diskriminačních funkcí zvýšila od 97 do 100 % s odchylkou do 6 % a s 24 až 42 % neidentifikovaných jedinců. Ověření spolehlivosti diskriminačních funkcí vytvořených Snowem (Snow, 2013; Snow, 2006) na americkém souboru vykázalo podíl správné klasifikace od 72 do 78 % s mezipohlavní odchylkou až 52 %.

Co se týče velikosti otisků rukou, skupiny mužů a žen se od sebe v rámci jednotlivých souborů statisticky významně liší. Pozorovaný pohlavní dimorfismus se však neprojevuje do takové míry, aby bylo možné spolehlivě tento jev využít k diskriminaci pohlaví napříč odlišnými populacemi. Pozorované hodnoty nám napovídají, že český a francouzský soubor si jsou vzájemně velice podobné (mezipopulační srovnání výšky, váhy a BMI) mezi francouzským a českým souborem nám potvrzuje, že se ženy navzájem mírně statisticky odlišují pouze výškou, u mužů se jedná o váhu) a klasifikační modely se podobají, avšak při použití amerických rovnic dochází k rapidnímu poklesu spolehlivosti a zvýšení odchylky správné klasifikace jednotlivých pohlaví ve prospěch žen. Fakt, že je

v takovém případě mnohem více mužů klasifikováno nesprávně jako ženy, je dokladem větší podobnosti celého amerického souboru s francouzskými a českými ženami, tedy jejich menších otisků rukou, z čehož můžeme usuzovat na pravděpodobně menší rozměry těla, jak jsme zjistili, výška jedince pozitivně koreluje ($r > 0,8$) především s délkou otisku ruky. Tento rozměr patří mezi ty s největší diskriminační silou. Naznačuje tedy, že primárním diskriminačním faktorem je velikost jedince jako taková, jež se promítá i do velikosti ruky, hlavně její délky.

Nicméně neznáme konkrétní parametry žádné paleolitické populace, nemůžeme tedy ověřit ani spolehlivost odhadu pohlaví pro otisky rukou na stěnách jeskyní, pro které jsou v představených studiích využity klasifikační modely vytvořené na současných populacích. Vzhledem k výrazné populační specifitě velikosti otisků rukou, kterou jsme pozorovali prostřednictvím výsledků naší práce, nemůžeme použití takovýchto diskriminačních funkcí přesvědčivě doporučit ani k odhadu pohlaví z otisků rukou paleolitických lidí. Naše úsudky o pohlaví zkoumaných jedinců by s použitím takové metody byly neprůkazné a zavádějící. Závěry publikované v různých studiích týkajících se poměru paleolitických „umělců“ a „umělkyň“ je proto třeba brát s velikou ostražitostí a odstupem.

9 CITOVANÉ ZDROJE

- Aboul-Hagag KE, Mohamed SA, Hilal MA, Mohamed EA. 2011. Determination of sex from hand dimensions and index/ring finger length ratio in Upper Egyptians. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*. 1(2):80-86.
- Agnihotri AK, Agnihotri S, Jeebun N, Googoolye K. 2008. Prediction of stature using hand dimensions. *Journal of forensic and legal medicine*. 15(8):479-482.
- Alıcıoğlu B, Yılmaz A, Karakaş HM, Cigalı BS, Çıkmaz S, Uluçam E. 2009. Sex determination by the interarticular distance of metacarpals and phalanges: a digital radiologic study in contemporary Turkish people. *Anatomy*. 3(1).
- Allen JA. 1907. The influence of physical conditions in the genesis of species. *Scientific American*. 63:26247-26248.
- Ambrožová L. 2008. Steven Mithen (2006): Konec doby ledové: dějiny lidstva od r. 20 000 do r. 5000 př. Kr. *AntropoWebzin*. 4(2-3):131-136.
- Auerbach BM, Ruff CB. 2006. Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans. *Journal of human evolution*. 50(2):203-218.
- Barrio PA, Trancho GJ, Sánchez JA. 2006. Metacarpal sexual determination in a Spanish population. *Journal of forensic sciences*. 51(5):990-995.
- Bennett KA. 1981. On the expression of sex dimorphism. *American journal of physical anthropology*. 56(1):59-61.
- Bergman C. 1847. *Über die Verhältnisse der Warmeökonomie der Thiere zu ihrer Grosse*. 595-708 s.

- Betti L, Lycett SJ, von Cramon-Taubadel N, Pearson OM. 2015. Are human hands and feet affected by climate? A test of Allen's rule. *American journal of physical anthropology*. 158(1):132-140.
- Bland JM, Altman D. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The lancet*. 327(8476):307-310.
- Bookstein FL. 1991. *Morphometric Tools for Landmark Data*. Cambridge: Cambridge University Press. 435 s.
- Brunner R, Hefti F, Freuler F, Hasler C, Jundt G, Krieg A, Hinchliffe R. 2015. *Pediatric Orthopedics in Practice*. Berlin, Heidelberg: Springer 529-754 s.
- Bruzek J, Murail P. 2006. Methodology and reliability of sex determination from the skeleton. In: *Forensic anthropology and medicine*. Springer. s. 225-242.
- Brůžek J, Lázničková-Galetová M, Galeta P, Maestracci J. 2012. Les empreintes de mains dans l'art pariétal: possibilités et limites d'interprétations mises en relief par l'anthropologie médico-légale. *L'art pléistocène dans le monde*. 2010-2011.
- Calcagno JM. 1981. On the applicability of sexing human skeletal material by discriminant function analysis. *Journal of Human Evolution*. 10(2):189-198.
- Cardoso HFV, Severino RSS. 2010. The chronology of epiphyseal union in the hand and foot from dry bone observations. *International Journal of Osteoarchaeology*. 20(6):737-746.
- Case DT, Ross AH. 2007. Sex determination from hand and foot bone lengths. *Journal of forensic sciences*. 52(2):264-270.
- Cohen J. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

- Congdon P. 2014. Applied bayesian modelling: John Wiley & Sons. 478 s.
- Čihák R. 2011. Anatomie 1. Praha: Grada. 552 s.
- Dawson C, Ross D, Mallett X. 2011. Sex Determination. In: Forensic Anthropology: 2000 to 2010. Black SM, Ferguson E, editoři. Boca Raton: Taylor & Francis. s. 61-94.
- Dean C. 1990. An introduction to human evolutionary anatomy. London, Amsterdam, Burlington: Academic Press. 608 s.
- Dobrez P. 2013. The Case for Hand Stencils and Prints as Proprio-Performative. Arts. 2(4):273-327.
- Dungl P. 2005. Ortopedie. Praha: Grada. 1273 s.
- Dylevský I, Ježek P. 2003. Základy kineziologie. Praha: ATVS Palestra. 235 s.
- El Morsi DA, Al Hawary AA. 2013. Sex determination by the length of metacarpals and phalanges: X-ray study on Egyptian population. Journal of forensic and legal medicine. 20(1):6-13.
- Falsetti AB. 1995. Sex assessment from metacarpals of the human hand. Journal of Forensic Science. 40(5):774-776.
- Faurie C, Pontier D, Raymond M. 2004. Student athletes claim to have more sexual partners than other students. Evolution and Human Behavior. 25(1):1-8.
- Franciscus RG, Holliday TW. 1992. Hindlimb skeletal allometry in plio-pleistocene hominids with special reference to AL-288-1 (" Lucy"). Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris. 4(1):5-20.
- Freers S. 2001. The hand prints at CA-RIV-114: A forensic and anthropometric study. Am Rock Art Res. 27:319-332.

- Galeta P, Bruzek J, Lázničková-Galetová M. 2014. Is sex estimation from handprints in prehistoric cave art reliable? A view from biological and forensic anthropology. *Journal of Archaeological Science*. 45:141-149.
- Garn SM, Mayor GH, Shaw HA. 1976. Paradoxical bilateral asymmetry in bone size and bone mass in the hand. *American journal of physical anthropology*. 45(2):209-210.
- Garn SM, Nagy JM, Sandusky ST. 1972. Differential sexual dimorphism in bone diameters of subjects of European and African ancestry. *American journal of physical anthropology*. 37(1):127-129.
- Good PI. 2012. *Introduction to statistics through resampling methods and R/S-PLUS*: Wiley. 224 s.
- Grim M, Naňka O, Helekal I. 2014. *Atlas anatomie člověka I.: Končetiny, stěna trupu*. Praha: Grada. 336 s.
- Gunn R. 2006. Hand sizes in rock art: interpreting the measurements of hand stencils and prints. *Rock Art Research: The Journal of the Australian Rock Art Research Association (AURA)*. 23(1):97.
- Habib SR, Kamal NN. 2010. Stature estimation from hand and phalanges lengths of Egyptians. *Journal of forensic and legal medicine*. 17(3):156-160.
- Hendl J. 2012. *Přehled statistických metod*. Praha: Portál. 736 s.
- Holliday TW. 1997. Body proportions in Late Pleistocene Europe and modern human origins. *Journal of Human Evolution*. 32(5):423-447.
- Holliday TW, Ruff CB. 2001. Relative variation in human proximal and distal limb segment lengths. *American journal of physical anthropology*. 116(1):26-33.

- Honoré E, Rakza T, Senut B, Deruelle P, Pouydebat E. 2016. First identification of non-human stencil hands at Wadi Sūra II (Egypt): a morphometric study for new insights into rock art symbolism. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 6:242-247.
- Chazine J-M, Noury A. 2006. Sexual Determination of Hand Stencils at the Masri II Cave (East-Kalimantan/Borneo - Indonesia). *International Newsletter On Rock Art (INORA)*.
- Ibeachu P, Abu E, Didia B. 2011. Anthropometric sexual dimorphism of hand length, breadth and hand indices of University of Port-Harcourt students. *Asian Journal of Medical Sciences*. 3(4):146-150.
- IBM. 2013. IBM SPSS Statistics for Windows.
- Ingrová P, Králík M, Ruttkay-Nedecký B, Kizek R, Zeman T. 2014. Vliv steroidních hormonů na velikost lidské ruky: Pilotní studie. *Slovenská antropológia Bulletin Slovenskej antropologickej spoločnosti pri SAV, Slovenská technická univerzita v Bratislavě*. 17(1):65-77.
- Ishak NI, Hemy N, Franklin D. 2012. Estimation of sex from hand and handprint dimensions in a Western Australian population. *Forensic science international*. 221(1-3):154 e151-156.
- Jasuja O, Singh G. 2004. Estimation of stature from hand and phalange length. *JIAFM*. 26(3):100-106.
- Kanchan T, Krishan K. 2011. Anthropometry of hand in sex determination of dismembered remains - A review of literature. *Journal of forensic and legal medicine*. 18(1):14-17.
- Kanchan T, Rastogi P. 2009. Sex determination from hand dimensions of North and South Indians. *Journal of forensic sciences*. 54(3):546-550.
- Karakostis FA, Zorba E, Moraitis K. 2015. Sexual Dimorphism of Proximal Hand Phalanges. *International Journal of Osteoarchaeology*. 25(5):733-742.

- Katzmarzyk PT, Leonard WR. 1998. Climatic influences on human body size and proportions: ecological adaptations and secular trends. *American journal of physical anthropology*. 106(4):483-503.
- Khanpetch P, Prasitwattanseree S, Case DT, Mahakkanukrauh P. 2012. Determination of sex from the metacarpals in a Thai population. *Forensic science international*. 217(1-3):229 e221-228.
- Klepinger LL. 2006. *Fundamentals of Forensic Anthropology*. New Jersey: John Wiley & Sons. 185 s.
- Knußmann R, Barlett H, Martin R. 1988. *Anthropologie: Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen; zugleich 4. Auflage des Lehrbuchs der Anthropologie, begründet von Rudolf Martin*. 1: Wesen und Methoden der Anthropologie. Wissenschaftstheorie, Geschichte, morphologische Methoden: mit 89 Tabellen. Stuttgart, Jena, New York: Fischer. 742 s.
- Komar DA, Buikstra JE. 2008. *Forensic anthropology: contemporary theory and practice*. Oxford: Oxford University Press. 384 s.
- Koolman J, Röhm K-H. 2012. *Barevný atlas biochemie*. Praha: Grada. 512 s.
- Kopecký M, Krejčovský L, Švarc M. 2013. *Antropometrický instrumentář a metodika měření antropometrických parametrů*. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého.
- Králík M, Katina S, Urbanová P. 2014. Distální část lidské ruky: Studie variability formy a sexuálního dimorfismu metodami geometrické morfometrie. *Anthropologia integra*. 5(2):7-25.
- Krishan K, Kanchan T, Sharma A. 2011. Sex determination from hand and foot dimensions in a North Indian population. *Journal of forensic sciences*. 56(2):453-459.

- Kujanová L. 2012. Tvorba úloh do cvičení z chemie pro žáky základních škol a nižších ročníků středních škol s tematikou forenzní chemie [bakalářská práce]. Olomouc: Univerzita Palackého. 59 s.
- Lazenby R, Smashnuk A. 1999. Osteometric variation in the Inuit second metacarpal: a test of Allen's Rule. *International Journal of Osteoarchaeology*. 9(3):182-188.
- Lewis ME. 2007. *The bioarchaeology of children: perspectives from biological and forensic anthropology*: Cambridge University Press. 268 s.
- Lutchmaya S, Baron-Cohen S, Raggatt P, Knickmeyer R, Manning JT. 2004. 2nd to 4th digit ratios, fetal testosterone and estradiol. *Early human development*. 77(1-2):23-28.
- Mackie ME. 2015. Estimating age and sex: Paleodemographic identification using rock art hand sprays, an application in Johnson County, Wyoming. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 3:333-341.
- Maestracci J. 2007. Reconnaissance du sexe a partir de la morphologie des mains [diplomová práce]. Bordeaux: Université Bordeaux 1.
- Manning JT. 2002. *Digit ratio: A pointer to fertility, behavior, and health*: Rutgers University Press. 173 s.
- Manning JT, Taylor RP. 2001. Second to fourth digit ratio and male ability in sport: implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior*. 22(1):61-69.
- McFadden D, Bracht MS. 2009. Sex and race differences in the relative lengths of metacarpals and metatarsals in human skeletons. *Early human development*. 85(2):117-124.
- McIntyre MH, Cohn BA, Ellison PT. 2006. Sex dimorphism in digital formulae of children. *American journal of physical anthropology*. 129(1):143-150.

Microsoft. 2013. Office Excel. 2007 ed.

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

Otová B. 2008. *Lékařská biologie a genetika: I*. Praha: Karolinum. 123 s.

Ousley SD, Hollinger RE. 2012. The pervasiveness of Daubert. *A Companion to Forensic Anthropology*. 654-665.

Ousley SD, Jantz RL. 2012. Fordisc 3 and Statistical Methods for Estimating Sex and Ancestry. In: *A Comparison to Forensic Anthropology*. Dirkmaat DC, editor. 1 ed: Blackwell Publishing. s. 311-321.

Pettitt P, Castillejo AM, Arias P, Peredo RO, Harrison R. 2014. New views on old hands: the context of stencils in El Castillo and La Garma caves (Cantabria, Spain). *Antiquity*. 88(339):47-63.

Pietrusewsky M. 2008. Metric Analysis of Skeletal Remains: Methods and Applications. In: *Biological anthropology of the human skeleton*. Katzenberg MA, Saunders SR, editoři. Hoboken: John Wiley & Sons. s. 487-532.

Plato C, Wood J, Norris A. 1980. Bilateral asymmetry in bone measurements of the hand and lateral hand dominance. *American journal of physical anthropology*. 52(1):27-31.

Polak M, Trivers R. 1994. The science of symmetry in biology. *Trends in ecology & evolution*. 9(4):122-124.

Pospíšil M. 1974. *Základy dermatoglyfiky*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislavě.

Putz DA, Gaulin SJC, Sporter RJ, McBurney DH. 2004. Sex hormones and finger length. *Evolution and Human Behavior*. 25(3):182-199.

- Rastogi P, Nagesh K, Yoganarasimha K. 2008. Estimation of stature from hand dimensions of north and south Indians. *Legal medicine*. 10(4):185-189.
- Rayan GM, Upton III J. 2014. *Congenital Hand Anomalies and Associated Syndromes*. Berlin: Springer. 500 s.
- 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. *Journal of anatomy*. 212(1):42-48.
- Robinson. 2015. *Mystery Of The Hand Motif In Prehistoric Rock Art Across The World Unraveled*.
- Ruff C. 2002. Variation in human body size and shape. *Annual Review of Anthropology*. 31:211-232.
- Sadler TW. 2011. *Langmanova lékařská embryologie*. Praha: Grada. 414 s.
- Santos F, Guyomarc'h P, Bruzek J. 2014. Statistical sex determination from craniometrics: Comparison of linear discriminant analysis, logistic regression, and support vector machines. *Forensic science international*. 245C:204 e201-204 e208.
- Savage A, Hogarth PJ. 1999. An analysis of temperature-induced fluctuating asymmetry in *Asellus aquaticus* (Linn.). *Hydrobiologia*. 411:139-143.
- Sladek V, Berner M, Galeta P, Friedl L, Kudrnova S. 2010. Technical note: The effect of midshaft location on the error ranges of femoral and tibial cross-sectional parameters. *American journal of physical anthropology*. 141(2):325-332.
- Snow D. 2013. Sexual dimorphism in European Upper Paleolithic cave art. *American Antiquity*. 78(4):746-761.

- Snow DR. 2006. Sexual dimorphism in Upper Palaeolithic hand stencils. *American Antiquity*. 80(308):390-404.
- Svoboda J. 2002. *Paleolit a mezolit: Myšlení, symbolismus a umění*. Brno: Nauma. 80 s.
- Šajnerová A. 2004. Svědectví kamenných nástrojů — využití traseologie v archeologii. *Živa*. 6:245-248.
- Šípek A, Gregor V, Šípek Jr A, Horáček J, Klaschka J, Skibová J, Langhammer P, Petržílková L, Wiesnerová J. 2009. Vrozené vady v České republice v období 1994-2007. *Česká Gynekologie*. 74(1):31-44.
- Thomas TR, Rosén BG, Zahouani H, Blunt L, Mansori ME. 2011. Traceology, quantifying finishing machining and function: A tool and wear mark characterisation study. *Wear*. 271(3-4):553-558.
- Valladas H, Clottes J, Geneste JM, Garcia MA, Arnold M, Cachier H, Tisnérat-Laborde N. 2001. Palaeolithic paintings: evolution of prehistoric cave art. *Nature*. 413(6855):479-479.
- Vančata V. 2013. 7 milionů–50 000 př. Kr.: Od hominidů k modernímu člověku. In: *Civilizace a dějiny*. Bárta M, Kovář M, editoři. Praha: Academia. s. 25-47.
- Vančatová M. 2011. *Nástrojové chování vyšších primátů: od manipulačních aktivit k používání nástrojů [dizertační práce]*. Brno: Masarykova univerzita. 209 s.
- Véle F. 2006. *Kineziologie*. Praha: Triton. 376 s.
- Voracek M. 2009. Why digit ratio (2D:4D) is inappropriate for sex determination in medicolegal investigations. *Forensic science international*. 185(1-3):e29-30.

- Walker PL. 2008. Sexing skulls using discriminant function analysis of visually assessed traits. *American journal of physical anthropology*. 136(1):39-50.
- 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. *Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia: ACM*. s. 1325-1332.
- Weinstein KJ. 2005. Body proportions in ancient Andeans from high and low altitudes. *American journal of physical anthropology*. 128(3):569-585.
- 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. *International Journal of Osteoarchaeology*. 8(3):180-191.
- Wolf FM. 1986. *Meta-analysis: Quantitative methods for research synthesis*: Sage. 72 s.
- Zar JH. 1999. *Biostatistical analysis*: Pearson Education India. 929 s.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. 2004. *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer* Amsterdam: Elsevier Academic Press. 444 s.
- Zrzavý J, Storch D, Mihulka S. 2004. *Jak se dělá evoluce*. Paseka, Praha. 2004.

10 RESUMÉ

The aim of this study was to analyse a rate of between-population variability of sexual dimorphism of handprints size and shape in two recent populations in reaction to an increased amount of publications dedicated to sex estimation using palaeolithic hand stencils found in plenty of caves across the world.

We found that variables such as handprint length, breadth, and length of digit 2 to 5 are sexually dimorphic traits. Performed discriminant function analysis by using these variables to assess sex in modern French and Czech sample, which each consisted of 100 handprints of both hands, was able to correctly classify individuals at 93% at best, and 85% was the lowest rate. With a posterior probability threshold set to 0,95 it was possible to even just classify only about 60 to 70% of individuals, success rate increased up to 100%, though. The main task was to assess reliability rate of created Czech and French discriminant functions as well as validate previously published American functions. Success rate of the two functions of French and Czech sample was fairly alike about 90%, but American functions performed poorly when applied to European data, even though individuals participated in creating this function were of European descent. Reliability in this case dropped drastically due to a huge sex bias, females were classified at 100% or little less, but males could not reach more than 60%.

Such results indicate that existing rate of sexual dimorphism in handprints dimensions is not as high as it will be needed to reliably distinguish sexes in different populations. Due to large populational specificity predominantly given by the size differences, and respecting the fact that there is no usable data regarding any past palaeolithic population it cannot be advised using discriminant function analysis based on handprints dimensions to reliably assess sex of an unknown palaeolithic hand stencil creator.

11 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1. Otisky na stěnách jeskyní (Robinson, 2015).....	1
Obrázek 2. Kostí ruky, pravá ruka z dorzálního pohledu (Grim et al., 2014).	6
Obrázek 3. Kostí ruky, palmární strana pravé ruky (Grim et al., 2014).	7
Obrázek 4. Schéma typů kloubních spojení ruky, dorzální pohled pravé ruky (Dylevský a Ježek, 2003).....	8
Obrázek 5. Svaly ruky a šlachové pochvy, pravá ruka z palmární strany (Grim et al., 2014).	9
Obrázek 6. Svaly ruky a šlachové pochvy, pravá ruka z palmární strany (Grim et al., 2014).	9
Obrázek 7. Srovnání rukou (nahore) a nohou (dole) člověka a ostatních primátů (http://slideplayer.cz/slide/2004312/).	11
Obrázek 8. Ukázka základních typů úchopů (Véle, 2006).....	12
Obrázek 9. Proliferace a apoptóza (Koolman a Röhm, 2012).....	14
Obrázek 10. Ontogeneze horní končetiny v prenatalním vývoji (Čihák, 2011).....	15
Obrázek 11. Syndaktylie porucha rozdělení třetího a čtvrtého prstu pravé ruky (http://yuveo.de/handchirurgie/syndaktylie.html).	18
Obrázek 12. Arachnodaktylie (Marfanův syndrom) (http://slideplayer.cz/slide/2520446/).	19
Obrázek 13. Polydaktylie (https://cs.wikipedia.org/wiki/Polydaktylie).....	20
Obrázek 14. Šest lineárních rozměrů pro MCII (Lazenby a Smashunk, 1999).....	22

Obrázek 15. Geografické umístění studovaných populací (Betti et al., 2015).....	23
Obrázek 16. Manningův index u mužů a žen (https://fingerlengthdigitratio.wordpress.com).....	25
Obrázek 17. Nejstarší datovaný otisk ruky na světě nacházející se v jeskyni Leang Timpuseng v Sulawesi, ostrov na východ od Bornea (Aubert et al., 2014).....	27
Obrázek 18. Znázornění odlehlosti vstupů od výskytu skalního umění (Snow, 2006).	28
Obrázek 19. Zobrazení všech čtyř typů motivů zahrnutých v jeskynních malbách (Brazílie) (http://curitibainenglish.com).....	29
Obrázek 20. Symboly doplňující negativní otisky rukou z jeskyně Tewet, východní Kalimantan (Putney, 2014).....	30
Obrázek 21. Ukázka způsobu zhotovování negativních otisků ruky (http://www.karencarr.com).....	31
Obrázek 22. Pět základních obrazců papilárních linií využívaných kriminalisty k identifikaci otisků prstů (Kujanová, 2012).	32
Obrázek 23. Délky jednotlivých prstů a délka ruky (Snow, 2013).	40
Obrázek 24. Srovnání žen a mužů z paleolitické a recentní populace (Snow, 2013).	41
Obrázek 25. Postup segmentace otisku ruky a následné nanesení POIs za použití Support Vector Machine (Wang, 2010).....	43
Obrázek 26. Negativní otisky rukou z jeskyně GuaMasri II, tmavě jsou označeny otisky přisouzené ženám (18) a světle přisouzené mužům (16) (Nelson, 2006).	44

Obrázek 27. Experimentální otisky rukou (hand spray) a umístění jednotlivých bodů (A) a souvisejících rozměrů (B) (Mackie, 2015).....	45
Obrázek 28. Doklad velmi malých pětiprstých otisků z lokality WadiSūra II (Egypt) (Honoré, 2016).	47
Obrázek 29. Věkové rozložení žen (A) a mužů (B) pro FR soubor (oranžově) a CZ soubor (modře).	48
Obrázek 30. Poloha při měření tělesné výšky (Kopecký et al., 2013).	50
Obrázek 31. Poloha rukou pro měření rozměrů přímo na ruce: měření délky a šířky (B) a jednotlivých délek druhého až pátého prstu (A) (Maestracci, 2007).....	51
Obrázek 32. Morfometrické body a rozměry na ruce.	52
Obrázek 33. Bland-Altmanův graf intra-observační chyby pro délku otisku druhého prstu levé strany (D2 SIN).	57
Obrázek 34. Bland-Altmanův graf pro inter-observační chybu pro délku otisku druhého prstu na levé ruce (D2 SIN).....	58
Obrázek 35. Systematická chyba MD% intra- a inter-observační chyby.	59
Obrázek 36. Náhodná chyba SD% intra- a inter-observační chyby.	59
Obrázek 37. Přehled průměrného procentuálního absolutního rozdílu (MAD%) při sledování intra a inter-observační chyby měření.	60
Obrázek 38. Grafický přehled výsledků ověření úspěšnosti (po křížové validaci) a spolehlivosti testovaných sestavených diskriminačních funkcí.	70
Obrázek 39. Znázornění úspěšnosti DF_{CZ} na českém souboru a její spolehlivosti na francouzském souboru se zobrazením oblastí neidentifikovaných jedinců při prahu správné klasifikace $PP > 0,95$	71

Obrázek 40. Grafické vyjádření spolehlivosti diskriminační funkce DF_{USA} DX pro pravou ruku vytvořené na americkém souboru (Snow, 2006) při ověření na českém a francouzském souboru pravých rukou. 72

Obrázek 41. Grafické vyjádření spolehlivosti diskriminační funkce DF_{USA} DX+SIN vytvořené na americkém souboru (Snow, 2013) při ověření na českém a francouzském souboru. 72

Tabulka 1. Zobrazující počet novorozenců v České republice s vrozenou vadou ruky mezi lety 1994 až 2007 (Šípek et al., 2009). 21

Tabulka 2. Průměrná velikost rukou u Evropanů (převzato z Snow, 2006). 24

Tabulka 3. Věkové složení českého a francouzského souboru. 48

Tabulka 4. Výsledky hodnocení intr- a inter-observační chyby měření. ... 58

Tabulka 5. Přehled ověření chyb mezi dvěma metodami, sejmutím rozměrů přímo na ruce respondenta a z kopie ruky (otisku ruky). 61

Tabulka 6. Výsledky testů normálního rozdělení hodnot proměnných. ... 62

Tabulka 7. Souhrnná statistika rozměrů (mm) s výsledky porovnání průměrů. 63

Tabulka 8. Výsledky mezipopulačního porovnání průměrů skupin žen a mužů. 64

Tabulka 9. Výsledky párového t-testu a korelace mezi proměnnými v párech levé a pravé strany. 65

Tabulka 10. Porovnání průměrných rozdílů mezi rozměry pravé a levé ruky (DX-SIN) napříč soubory mezi oběma skupinami podle pohlaví (č. ženy vs. fr. ženy v levém horním kvadrantu; č. muži vs. fr. muži v pravém dolním

kvadrantu) a mezi skupinami uvnitř souborů (č. ženy vs. č. muži – v pravém horním kvadrantu; fr. ženy vs. fr. muži).	66
Tabulka 11. Přehled koeficientů a míry vlivu použitých proměnných na diskriminaci pohlaví.	67
Tabulka 12. Přehled úspěšnosti diskriminačních funkcí s $PP > 0,5$	67
Tabulka 13. Přehled úspěšnosti diskriminačních funkcí s $PP > 0,95$	68
Tabulka 14. Přehled úspěšnosti diskriminačních funkcí při ověření na nezávislých souborech.	69
Tabulka 15. Přehled správně klasifikovaných jedinců při ověření spolehlivosti diskriminačních funkcí. Hodnoty jsou uvedené ve formě počet jedinců/celkový počet jedinců ve výběru.....	69

12 PŘÍLOHY

Příloha 1. Dotazník předkládaný během výzkumu respondentům.

DOTAZNÍK	
Pro výzkumný projekt: Mezipopulační variabilita ve tvaru a velikosti otisků ruky Období realizace: červen-listopad 2015 Řešitel projektu: Bc. Markéta Jarošová, Katedra antropologie FF ZČU	
DATUM: ČAS: MÍSTO:	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">ČÍSLO RESPONDENTA</p>
Vyplňte údaje do tabulky	
POHLAVÍ (nehodící se škrtněte)	MUŽ ŽENA
VĚK	
DATUM NAROZENÍ (DD.MM.RRRR)	
PREFERENCE RUKY (nehodící se škrtněte)	LEVORUKOST PRAVORUKOST
Tabulku níže prosím nevyplňujte	
VÝŠKA (cm)	
VÁHA (Kg)	
PATOLOGIE/ZRANĚNÍ	

