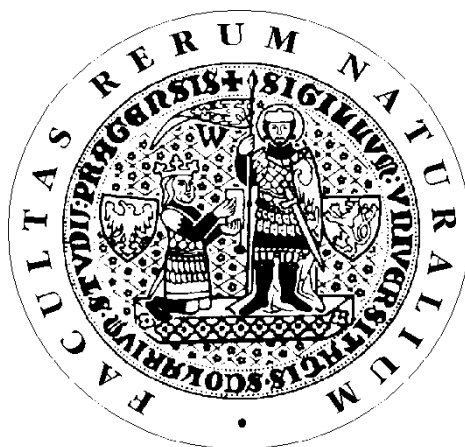


Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Katedra antropologie a genetiky člověka



HODNOCENÍ VARIABILITY TVARU OBLIČEJE U SOUČASNÉ ČESKÉ POPULACE

Bc. Dana Šmahelová

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jana Velemínská, PhD.

Diplomová práce
Praha 2010

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím citované literatury.

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat za vedení mé diplomové práce RNDr. Janě Velemínské, PhD., za pomoc a cenné rady při zpracování této práce. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Věře Pivoňkové, která mi mj. umožnila získat dostatek materiálu pro mou práci, která vznikla za podpory grantu Fakulty humanitních studií. Rovněž velice děkuji celé své rodině a přátelům za všestrannou podporu a poskytnuté zázemí.

ABSTRAKT

Lidský obličej je jedním z prvků, v němž se odráží rozmanitost a individualita jedince, což je dáno především jeho tvarovou různorodostí. Tato diplomová práce se zaměřuje zejména na hodnocení variability tvaru obličeje a jeho pohlavního dimorfismu. Podkladem pro studii se stal soubor 50 žen průměrného věku 21,6 roků a 50 mužů s průměrným věkem 21,1 roků. Data byla dále zpracována s využitím metod geometrické morfometrie.

Hlavním výstupem jsou průměrné povrchové modely mužů a žen využitelné v biomedicínské či forenzní antropologii. Variabilita obličeje sledovaného souboru je dána především velikostními a výško-šířkovými poměry tvaru obličeje včetně znaků, které vykazují výrazný pohlavní dimorfismus.

Čelo mužů je mírně ubíhající s výrazně rozvinutými nadobočními oblouky a glabelární oblastí. Je patrná hlubší pozice očí v očnici. Muži mají dále široký rovný nos s ostřejším přechodem čelní kosti v nosní kosti. Muži mají celkově větší relativně užší obličej s lehce vystouplými lícními kostmi, menším množstvím měkké tkáně tváří a naopak mohutnější oblast dolního obličeje s výraznější svalovinou obklopující ústní dutinu, která přechází v širokou mírně prominující bradu.

Klíčová slova: obličej; geometrická morfometrie; pohlavní dimorfismus; Dense correspondence models analysis; PCA; FESA

ABSTRACT

Human face is one of the elements in which humans' variability and individuality is reflected. This is especially due to a face variability of shape. The aim of this thesis is to evaluate variability of human's face and its sexual dimorphism. The base for the study is a set of 50 females with average age 21,6 and 50 males with average age 21,1. The data set was processed using the methods of geometric morphometrics.

The main outcome is an average surface model of males and females which could be used in biomedical and forensic anthropology. In this data set, variability of face is set by differences of size, height and width including characteristics which shows significant sexual dimorphism.

The male's forehead is slightly arched with markedly developed superciliary and the area of glabella. There is deeper position of eyes in an eye socket. Males are also likely to have a wide and flat nose with sharper transition of frontal bone (*os frontale*) into nasal bones (*os nasale*). Generally, males have bigger and relatively more narrow face with slightly prominent zygomatic bones (*os zygomaticum*). Males also have less volume of face soft tissues. On the other hand, males have more massive area of low face with more highlighted musculature around oral cavity which become into a wide prominent chin.

Key words: face; geometric morphometry; sexual dimorphism; Dense correspondence models analysis; PCA; FESA

OBSAH

1. ÚVOD A CÍLE	7
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1. OBLIČEJ	10
2.1.1. Definice a popis obličeje	10
2.1.1.1. Anatomie obličejové části lebky	11
2.1.1.3. Růst a vývoj obličeje	12
2.1.1.2. Tvar obličeje	16
2.1.1.4. Intersexuální rozdíly tvaru a velikosti obličeje	20
2.2. METODY HODNOCENÍ TVARU OBLIČEJE	22
2.2.1. Historický aspekt	23
2.2.2. Klasická morfometrie	24
2.2.3. Geometrická morfometrie	26
2.2.3.1. Superpoziční metody	28
2.2.3.2. Deformační metody	29
2.2.3.3. Metody založené na lineární vzdálenosti	30
3. MATERIÁL A METODIKA	32
3.1. MATERIÁL	32
3.2. METODIKA	32
3.2.1. Snímání tvaru a textury obličeje	32
3.2.2. Zpracování dat metodami geometrické morfometrie	37
3.2.2.1. Metoda Dense correspondence models analysis	38
3.2.2.2. Analýza hlavních komponent (Principal components analysis, PCA)	40
3.2.2.3. Metoda konečných prvků (Finite-element scaling analysis, FESA)	41
4. VÝSLEDKY	43
4.1. POSOUZENÍ TVAROVÝCH ZMĚN OBLIČEJE ZA VYUŽITÍ PCA	43
4.2. HODNOCENÍ POHLAVNÍHO DIMORFISMU OBLIČEJE	52
4.2.1. Posouzení sexuálních rozdílů pomocí PCA	52
4.2.2. Posouzení průměrného pohlavního dimorfismu obličeje pomocí metody FESA	54
4.2.2.1. Pohlavní dimorfismus velikosti dílčích jednotek obličeje	55
4.2.2.2. Pohlavní dimorfismus tvaru (deformačních rozdílů) dílčích jednotek obličeje	58
5. DISKUSE	60
6. ZÁVĚR	65
7. SEZNAM LITERATURY	67

1. ÚVOD A CÍLE

Na světě neexistují dvě detailně se shodující lidské tváře, dokonce ani v případě jednovaječných dvojčat. Každý obličej je unikátní, a proto patří mezi nejdůležitější rozlišovací společenské nástroje. Jedná se o část těla, která nám o daném jedinci současně poskytuje celou řadu informací týkajících se věku, pohlaví, kultury, popř. příslušnosti k etnické skupině, zdraví, emocionálního rozpoložení. Dokážeme rozpoznávat stovky tváří rodinných příslušníků, přátel, kolegů nebo známých osobností a to na základě význačných obličejových prvků a parametrů.

Celkový tvar obličeje patří k jedné z nejvýznamnějších charakteristik každého jednotlivce. Lidský obličej, jak již bylo zmíněno, má nezastupitelnou pozici v celkovém vnímání jedince. Proto se jeho studiem zabývali odborníci již v dávné historii. V současné době existuje velké množství metod, které umožňují hodnotit obličej jako celek, popř. jsou cíleně zaměřeny na jeho určité specifické partie (oblast nosu, ucha, rtů, patra atd.).

Popis tvaru obličeje má široké uplatnění nejen v běžné praxi, ale zaujímá důležité místo v celé řadě vědeckých oborů. V oblasti forenzní antropologie je jedním ze základních prvků nezbytných pro identifikaci jednotlivců, zejména lidských ostatků. Podle popisu obličeje lze sestavit přibližný model, na jehož základě může být dopadena hledaná osoba. Speciálními metodami je možné srovnat například lebku s obličejem pohřešované osoby. K tomu slouží zejména superprojekce, promítnutí jednoho snímku do snímku srovnávaného objektu. Metoda superprojekce umožňuje identifikaci na základě porovnání dříve pořízené fotografie s jiným snímkem (fotografií, RTG snímkem, lebkou oběti). Za účelem identifikace jedince vzniklo vědecké umění obličejových rekonstrukcí, které jsou založené na modelaci obličeje na základě lebky (Gerasimov, 1971; Taylor, 2001). Umělecké a sochařské rekonstrukční techniky se využívají při rozpoznávání během forenzních identifikačních šetřeních po celém světě, v současné době jsou však stále častěji nahrazovány softwary přímo vyvinutými pro faciální rekonstrukce.

V biomedicínkách oborech probíhá měření a modelace obličeje zejm. za účelem kvantitativního stanovení rozdílů mezi jednotlivci v rámci dané věkové skupiny, popř. mezi celými věkovými skupinami. Jeden z hlavních důvodů, proč provádět měření

v oblasti obličeje, je sestavení norem, na jejichž základě lze např. diagnostikovat možné vývojové kraniofaciální vady, sledovat a predikovat průběh kraniofaciálního růstu apod. (Velemínská et al., 2003, 2007). Růst kraniofaciálního komplexu není konstantní (Šmahel, 2001). V jednotlivých etapách ontogenetického vývoje, proto lze rozpoznat odchylky od normálu, na jejichž základě může být včas zahájena léčba. Metrické sledování pacientů s vadou slouží též k tomu, aby bylo možné kontrolovat výsledky aplikované léčby např. při maxilofaciálních nebo ortodontických vadách. Mozková a obličejová morfogeneze spolu úzce souvisí, proto se tvarové odchylky obličeje mohou stát důležitým ukazatelem různých neurologických poruch (Hennessy et al., 2005).

Obličejové charakteristiky mohou být využity k dalším různorodým výzkumům, např. k hodnocení variability obličeje ve vztahu k behaviorálním a psychologickým aspektům (Kotrčová et al., 2006; Blažek and Trnka, 2008), k posouzení atraktivity tváře (Sforza et al., 2007; Komori et al., 2009) apod. V neposlední řadě nelze opomenout výrazné uplatnění při srovnání odlišností v morfologii a fyziognomii obličeje mezi etnickými skupinami v rámci sociokulturní antropologie.

Tato diplomová práce se zaměřuje na hodnocení variability tvaru obličeje české populace se zřetelem na pohlavní dimorfismus. Odborné publikace týkající se klasického morfometrického zpracování obličejových rozměrů hlavy české populace (Bláha and Vignerová, 1999) však postrádají informace týkající se celkové geometrie a tvaru obličeje. Nejčastěji se setkáváme s výstupy omezenými na průměrné hodnoty jednotlivých dimenzí obličeje či indexů včetně dalších základních statistických ukazatelů. Geometrická morfometrie, jejíž některé pokročilé trojrozměrné metody jsem v práci použila, tento nedostatek informací odstraňuje. Práce je založena na hodnocení celého povrchu obličeje, nikoliv pouze na množině vytypovaných landmarků či křivek (Singh et al., 2004, 2005). Tuto možnou ztrátu informací jsme vyřešili použitím metody Dense correspondence models analysis, která byla pro hodnocení tvaru povrchu obličeje přímo vyvinuta (Hutton et al., 2001).

Cíle diplomové práce:

1. Popsat variabilitu tvaru obličeje české populace za využití metod geometrické morfometrie.
2. Stanovit stupeň pohlavního dimorfismu u dospělé české populace.
3. Zjistit průměrný tvar mužského a ženského obličeje pro využití v oblasti forezní a biomedicínské antropologie.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. OBLIČEJ

2.1.1. Definice a popis obličeje

Lidský obličej představuje pojem, jenž většina lidí běžně používá, který však nemá jednotnou definici. V literatuře jich lze nalézt velké množství, a to od laických až po vědecké. Bývá například definován jako přední část hlavy od čela po bradu nebo jako přední část hlavy člověka, kde se nacházejí oči, nos, ústa, brada, tváře a čelo (Katsikitis, 2003; Clement and Marks, 2005). Waters (1992) definoval obličej jako čelní část hlavy od báze brady po hranici vlasů a jako přední polovinu hlavy z laterálního pohledu.

Při kvantitativních obličejových analýzách se vychází z reprodukovatelných definic kefalometrických bodů a rozměrů, jež poskytuje antropologická a ortodontická odborná literatura. Ferrario et al. (1992) definoval obličejový profil jako linii mezi profilem submentální (podbradové) měkké tkáně, prodloužením mandibulárního okraje a průsečíkem čelního profilu se spojnicí s očním koutkem. Dále může být profil popsán jako vnější linie měkké tkáně, která je kolmá ku Camperově horizontále (spojnice předního nosního trnu a otvoru zevního zvukovodu) a prochází měkkou tkání nasionu (Vanco et al., 1995). Tyto dvě definice se považují za základy pro antropometrická měření, ale obě jsou závislé na identifikaci anatomických bodů měkké tkáně, tzv. landmarků, které není vždy snadné opakovaně lokalizovat (Clement and Marks, 2005).

Můžeme rozlišit dva typy obličejů, mezi nimiž základní rozdíl vyplývá především z rozměrů obličejové výšky. Morfologický obličej je dán velikostí morfologické výšky, kterou lze definovat jako přímou vzdálenost mezi bodem nasionem (N; bod v mediánní rovině na kořenu nosu v místě nasofrontálního švu) a gnathionem (Gn; bod ležící v mediánní rovině na dolním okraji mandibuly nejvíce dole). Morfologický obličej nebere v úvahu čelo, ale jen tu část, která je podložena kostní obličejovou částí lebky. Morfologická výška v poměru s obličejovou šířkou umožňuje charakterizovat tvar obličejové stavby jako tzv. výško-šířkový index obličeje. Morfologická výška je jedním ze základních antropometrických rozměrů, často bývá kombinována s výškou

fyziognomickou, což je přímá vzdálenost mezi bodem trichionem (Tr; bod ležící v mediánní rovině na vlasové linii) a gnathionem neboli vzdálenost vlasové hranice ve střední čáře od dolního okraje brady. Fyziognomický obličej tedy zahrnuje čelo (součást neurokrania) a obličejovou část lebky (zpracováno dle Fetter et al., 1967; Farkas, 1994; Kolar and Salter, 1997).

2.1.1.1. Anatomie obličejové části lebky

Anatomie obličeje zahrnuje kostěný základ a měkké tkáně. Tyto struktury tvoří funkční celek, který je zvláště u člověka individuálně charakteristický.

Lebka (*cranium*) se anatomicky dělí na neurokranium (pouzdro kolem mozku a smyslových orgánů) a splanchnokranium (zahrnuje obličejový skelet, včetně čelistí, tvrdého patra a jazyky). Podklad obličejové části tvoří splanchnokranium, přičemž na celkové morfologii obličeje se podílí rovněž kosti neurokrania, především kost čelní (*os frontale*) a kost nosní (*os nasale*). Ke splanchnokraniumu řadíme horní čelist (*maxilla*), dolní čelist (*mandibula*), kost patrovou (*os palatinum*), kost lícni (*os zygomaticum*), jazyčku (*os hyoideum*) a tři sluchové kůstky (*malleus, incus, stapes*).

Splanchnokranium (*viscerocranium*) je u člověka diferencováno na základě osifikace pěti žaberních oblouků. Základem dolní čelisti, horní čelisti, kovádlíčky (*incus*) a kladívka (*malleus*) je první žaberní oblouk (mandibulární). Třmínek (*stapes*) a část jazyky se vyvíjejí z druhého žaberního oblouku (hyoidního). Zbytek jazyky se diferencuje z třetího žaberního oblouku. Ze čtvrtého až pátého žaberního oblouku se vyvíjí hyalinní a elastické chrupavky laryngu.

Nedílnou součástí stavby obličeje jsou svaly a další měkké tkáně. Svaly, které jsou součástí obličeje, řadíme do anatomické skupiny svalů *mm. capitis* (svaly hlavy). Na hlavě rozlišujeme svaly, které jsou spojeny s různými orgány (např. svaly jazyka a oční koule), a dále pak svaly mimické a žvýkací.

Ke svalům žvýkacím, které jsou derivátem 1. žaberního oblouku, patří sval spánkový (*musculus temporalis*), zevní sval žvýkací (*m. masseter*), *m. pterygoideus medialis et lateralis*. Na celkovém výrazu obličeje se podílejí svaly mimické vznikající z 2. žaberního

oblouku. Tuto skupinu lze rozdělit dle funkčních celků na svaly kolem štěrbiny ústní, kolem očních víček, svaly na nose, na klenbě lebeční, svaly ušního boltce a hlubokou vrstvu mimického svalstva. Svaly mimické, s výjimkou hluboké vrstvy, leží na povrchu a upínají se do kůže, kterou pohybují, čímž mj. umožňují vyjádření emočního rozpoložení. Nejvýznamnějším svalem hluboké vrstvy mimického svalstva je *m. buccinator*, jenž tvoří podklad tváří. Prostor mezi povrchem *m. buccinator* a okrajem *m. masseter* vyplňuje tukové těleso, které podle množství uloženého tuku určuje zaoblenost tváří (zpracováno dle Čihák, 1987; Vacek, 1992; Norton, 2007).

2.1.1.3. Růst a vývoj obličeje

Růst měkkých tkání obličeje zpravidla kopíruje kosterní podklad (Šmahel, 2001). Základem vývojových změn probíhajících v krajině lidského obličeje v průběhu jeho ontogenetického vývoje je tedy růst celého kosterního podkladu obličejové i mozkové části lebky (tzv. kraniofaciální růst). V prvních letech života je růst mozkovny (neurocranium) velice intenzivní, zatímco obličejová část (splanchnocranium) v souvislosti s prořezáváním stálých zubů roste více později (Šmahel, 2001; Penin et al., 2002).

Vývojová ontogeneze kraniofaciálního komplexu závisí primárně na následujících třech elementech. Jedná se o genetické faktory (dědičný genotyp, exprese genetických mechanismů), o faktory týkající se prostředí (vnější faktory: nutriční a biochemická interakce, fyzikální jevy - teplota, tlak, hydratace atd.) a funkční faktory (vnější a vnitřní mechanismy svalové činnosti, prostor vyplněný dutinami a orgány, růstová expanze a retardace) (Sperber, 2001).

Během nejranějšího plodového života probíhá kraniofaciální a mozková morfogeneze jednotným procesem, kdy hlavní vývojová linie obličeje a mozku začíná v 6. až 9. týdnu těhotenství nezávisle na pohlaví (Hennessy et al., 2005). Postupně po 10. týdnu se začíná vyměšovat gonádový (pohlavní) hormon, který upravuje tuto dráhu a zodpovídá za pohlavní dimorfii tváře a mozku. Pokud by nedošlo k tomuto vyměšování, tělo a nervový systém bude stále pokračovat ve vývinu zejména v ženském chování (Breedlove, 1992). V období od 6. – 9. týdne do 16. – 19. týdne dochází ke svislému růstu přední oblasti horního a středního obličeje (frontonazální oblasti), ke zmenšování frontonazální

prominence, k primárnímu formování (utváření) patra. Růst lebeční báze a předního obličej se stává nezávislý, stejně tak vývoj mozkovny a obličej ve vertikálním směru. Během tohoto období obličej roste vpřed rychleji než mozek (Diewert et al., 1993; Kjaer, 1995; Waddington et al., 1999; Lieberman et al., 2000; Cohen, 2002; Hennessy et al., 2002). Kraniofaciální oblast se nepřestává vyvíjet ani v pozdějších fázích těhotenství, v kojeneckém období, dětství a dospívání až do dosažení dospělé formy (Enlow and Hans, 1996; Hennessy et al., 2002).

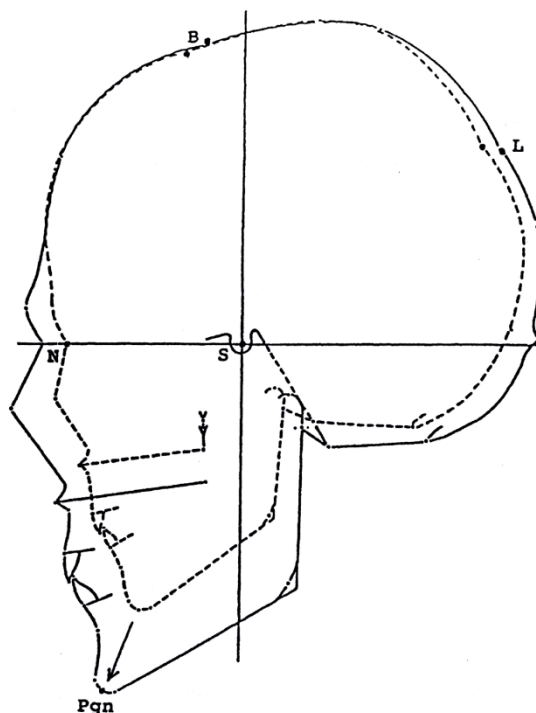
Postnatální kraniofaciální vývoj probíhá v několika fázích ontogeneze a rozeznáváme tři typy skeletálního růstu: 1) kranialní (neurální), kdy je v 6 letech dosaženo více než 90% konečné velikosti znaku a pubertální růst chybí nebo je minimální, 2) faciální, kdy je v 6 letech dosaženo více než 80% konečné velikosti znaku a pubertální spurt je mírný a 3) obecně skeletální, kdy v 6 letech je dosaženo více než 70% konečné velikosti a pubertální spurt je výrazný. V lidské lebce převažuje zejména růst neurální, kterým roste mozkovna a orbita, a růst faciální, jenž je charakteristický pro růst délky zadní lebeční báze a oblasti horního obličej (zygomatikomaxilární komplex). Obecně skeletální typ růstu vykazují parametry dolní čelisti (Šmahel, 2001).

Ve věkovém intervalu 5 až 10 let Nute and Moss (2000) zaznamenali největší intersexuální rozdíly mezi výškou obličej a nejmenší v rámci rozměrů středního obličej. Výška obličej chlapců byla o 7 až 9 mm větší ve většině věkových skupin než u dívek. Šířka středního obličej vykazovala podobnost mezi pohlavími, u chlapců byla v průměru o 1 až 3 mm širší. Prominence středního obličej také ukázala velmi malý mezipohlavní rozdíl. Tyto výsledky korespondují s dalšími studii (Farkas, 1981; Bishara et al., 1995) s tím rozdílem, že hodnoty mnoha rozměrů dosahovaly větších hodnot než u těchto studií, kde se jednalo o kranioometrii lebky a do měření nebyly zahrnuty měkké tkáně.

Ve věkové skupině 12 – 13 let většina děvčat procházela pubertálním růstovým spurtem, který se projevil zejména u svislých obličejových rozměrů, jenž překonaly mužský růst ve stejném směru (Ursi et al., 1993). Zatímco ženy prakticky ukončily svůj kraniofaciální růst měkké tkáně v této věkové skupině (Nanda et al., 1990; Ursi et al., 1993; Bishara et al., 1997; Ferrario et al., 2000), muži pak pokračovali ve svém růstu dokonce i po 30. roku

věku života (Nanda et al., 1990; Foley and Mamandras, 1992; Bishara et al., 1997; Ferrario et al., 2000).

Obecně platí, že šířkové rozměry obličeje rostou postnatálně nejméně a mají nejdříve ukončený růst, zatímco výškové parametry rostou nejvíce a růst ukončují jako poslední. Po 15. roku věku u dívek horní obličej již neroste a dolní čelist pouze minimálně, u chlapců horní obličej ještě vykazuje mírný růst, ale mandibula vyrostе téměř stejně jako v období puberty. Změny na splanchnokraniu (obr. 2.1) vyplývají z velikosti růstu jednotlivých dimenzí. Protože maxila roste do délky (hloubky) podstatně méně než dolní čelist, málo se zvětšuje její protruse (Šmahel, 2001). Maxilární a mandibulární růst tvrdé a měkké tkáně jsou v nesouladu u obou pohlaví. Z toho vyplývá, že během dospívání měkká tkáň v oblasti dolní čelisti roste méně než oblast v blízkosti báze nosu. Zajímavostí zůstává, že se horní ret, především v oblasti prohlubně horního rtu, mění více než ret spodní, přestože by se mohlo očekávat, že se budou tloušťky rtů měnit stejně intenzivně (Ferrario et al., 2000; Smith and Bushang, 2002).



Obr. 2.1. Velikostní a tvarová proměna lebky dětské (5 let) (přerušovaná čára) v lebku dospělou (plná čára) u mužů (převzato dle Šmahel, 2001).

Průběh kraniofaciálního růstu se tedy značně odlišuje u mužského a ženského obličej. Z řady studií vyplývá (Bishara et al., 1984; Genecov et al., 1990; Farkas and Posnick, 1992), že růst obličej pokračuje u mužů i v dalších letech, kdy u žen je již ukončen. Rozdíly u žen byly méně evidentní, patrně si ženy zachovávají více z jejich dětského vzhledu ve tvaru než muži. U mužů dochází k dalšímu růstu měkké tkáně, přičemž kosterní růst již pomalu ustává (Enlow, 1990).

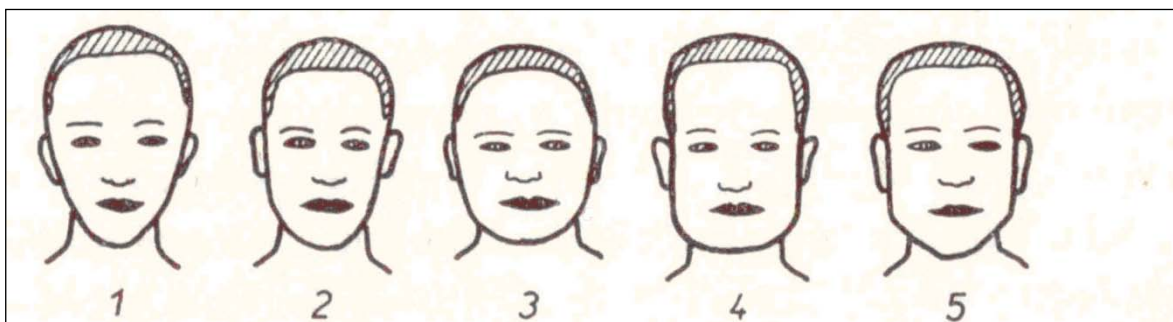
Některé charakteristiky se naopak s věkem nemění. Například konstantní zůstává směr růstu brady vzhledem k přední bázi, dále pak sklon roviny patra a výrazněji se nemění ani vertikální proporcionalita obličej (Šmahel, 2001). V dospělosti přetrvává růst okraje chrupavčitých částí nosu a boltce ucha. Zvětšuje se prominence nosu a brady a jejich vzájemná vzdálenost se zmenšuje, ústa v obličej klesají (obr. 2.2.). U starého člověka se objevují propadlé oči způsobené resorpcí tukové tkáně očních a zviditelňují se žilky pod tenkou oční pokožkou projevující se tmavými kruhy kolem očí. Poklesáváním oblasti oční se můžou také začít vytvářet charakteristické váčky (Neave, 1998).



Obr. 2.2. S věkem související změny mužského (nahore) a ženského (dole) dospělého obličej (dle Neave, 1998).

2.1.1.2. Tvar obličeje

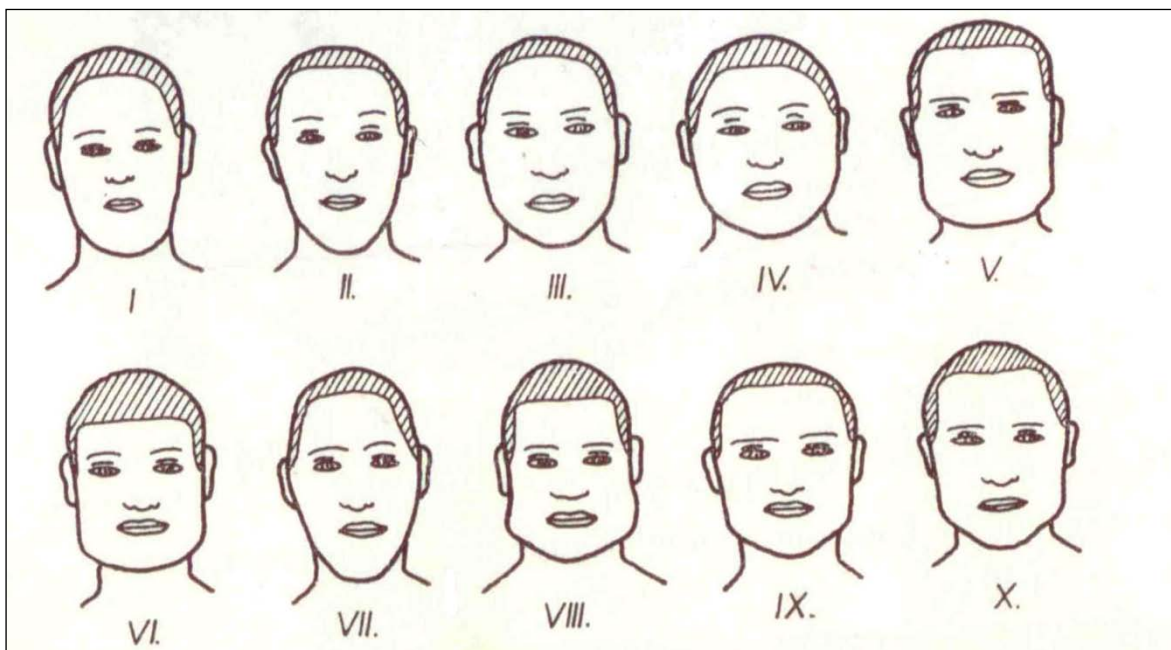
Podle učebnic z 60. let minulého století existuje celá řada hledisek, na jejichž základě lze rozeznávat různé typy obličeje. Můžeme například rozlišit pět nejčastějších obrysů fyziognomického obličeje (obr. 2.3.): 1. zašpicatělý, 2. oválný, 3. kulatý, 4. čtyřhranný, 5. pětiúhelníkový (Fetter et al., 1967).



Obr. 2.3. Základní typy obličeje (dle Fetter et al., 1967).

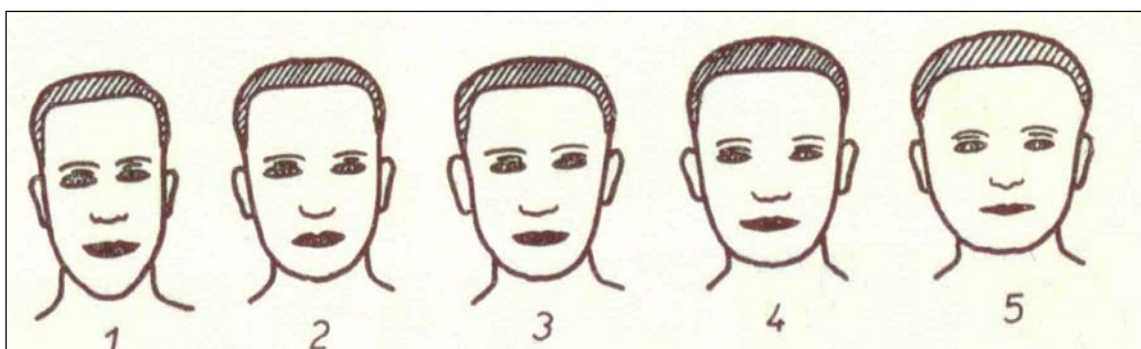
Většina antropologických publikací rozlišuje 10 základních typů tvaru obličeje (např. Blažek and Trnka, 2008) (viz obr. 2.4.):

- I. eliptický – největší šířka je přibližně v krajně jařmových kostí
- II. oválný – zužující se k bradě
- III. oválný – zužující se k temeni
- IV. kulatý – krátký obličej s rovnoměrně zaokrouhlenou jak horní, tak dolní částí
- V. obdélníkový
- VI. čtvercový – od obdélníkového se liší menší relativní výškou
- VII. romboidní – je charakterizován zúžením jak horní, tak i dolní části; největší šířka je v krajně jařmových kostí
- VIII. trapezoidní – liší se od obdélníkovitého tím, že brada vystupuje dopředu, přičemž dostaneme kontury připomínající pětiúhelník; vyznačuje se značným rozšířením dolních partií obličeje
- IX. obráceně trapezoidní – brada opět vystupuje dopředu, největší rozšíření je však v horní části hlavy
- X. pětiúhelníkový



Obr. 2.4. Schéma obrysu obličeje podle H. Pöchové (převzato z Fetter et al., 1967).

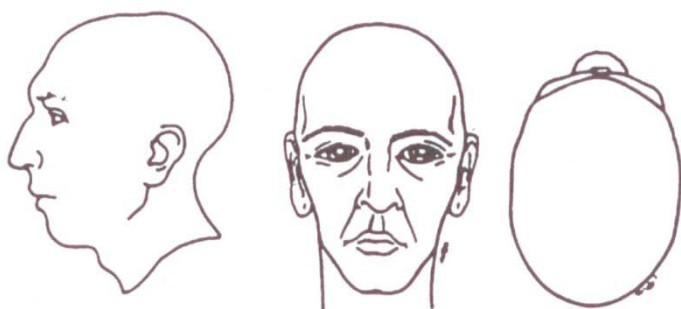
Při posuzování tvaru obličeje bývá důležitým indikátorem jeho výško-širokový poměr. Výška obličeje se udává při somatoskopickém pozorování jako velmi vysoká, vysoká, střední, nízká a velmi nízká vzhledem k poměrům celé hlavy a hlavně ve vztahu k šířce obličeje. Tu hodnotíme podobným způsobem relativně k výšce obličeje jako velmi úzkou, úzkou, střední, širokou a velmi širokou (obr. 2.5.).



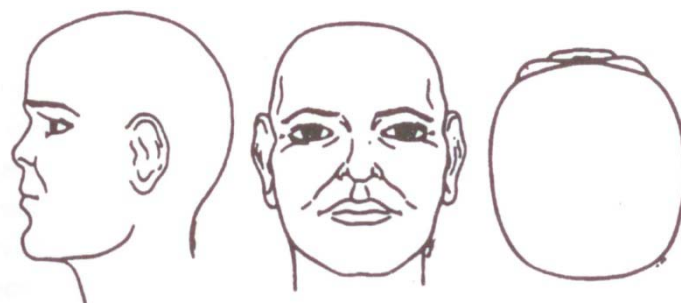
Obr. 2.5. Vzájemný poměr výšky a šířky obličeje (dle Fetter et al., 1967).

Z parametrů lebky vychází další možné rozdělení, a to na dlouholebý a krátkolebý obličej (Enlow and Hans, 1996). Dlouholebý obličej má uzavřené a hluboko posazené oči, užší, delší a více vyčnívající „orlí“ nos, který má často výrazný kořen. Z profilu je patrné ubíhající čelo, méně prominující lící kosti a dozadu posunutá dolní čelist. Pro krátkolebý obličej jsou typické široce posazené a vystouplé oči, nos s nevýrazným kořenem a s širší,

kratší a zaoblenější špičkou. Celkový profil obličeje je buď rovný anebo vyklenutější se svislým čelem a s více vyčnívajícími lícními kostmi (obr. 2.6).



A.

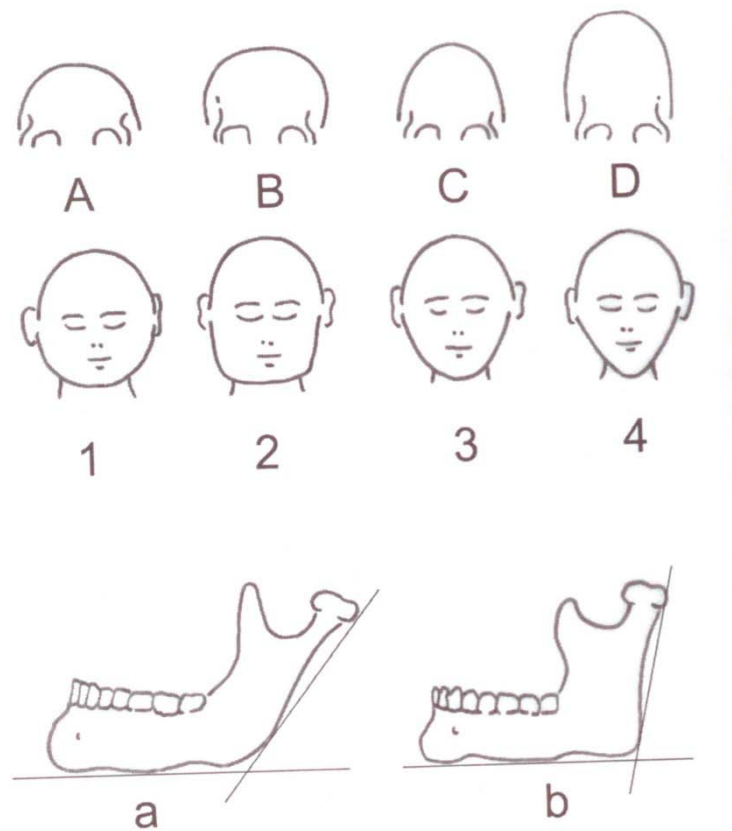


B.

Obr. 2.6. Typy obličeje: dlouholebý (A); krátkolebý (B) (upraveno dle Enlow and Hans, 1996).

Klasifikací se také zabývali Fedosyutkin and Nainys (1993), kteří popsali čtyři typy tvarů obličeje: kulatý, čtvercový, oválný a trojúhelníkový. Tyto tvary jsou stanoveny pomocí příčného oblouku lebky, který může být: polokulovitý, pětiúhelníkový, oválný, obdélníkový (obr. 2.7.). Tvar spodní části obličeje kopíruje obrys dolní čelisti. Pokud goniový úhel činí více než 125° a svalový výběžek (processus coronoideus) je vysoký, pak dolní část obličeje bude pravděpodobně užší, tj. tvarová varianta oválného nebo trojúhelníkového obličeje. Pokud je goniový úhel menší než 125° a svalový výběžek je široký a malý, potom tvar obličeje bude patrně širší, jako například kulatý či obdélníkový. Vlasová linie je mikroskopicky vidět jako přechod z hladkého povrchu čelní kosti v mírně hrbolatý povrch. Obličej a jeho tvar byl a stále je studován z hlediska rekonstrukčních metod tvaru obličeje podle lebky (Gerasimov, 1971; Neave, 1998; Taylor, 2001). Gerasimov (1971) zjistil, že pokud lícní kosti jsou ploché, pak lícní sval je umístěn více

frontálně na povrchu lící kosti; když jsou lící kosti silněji tvarovány, lící sval se nachází více laterálně na povrchu lící kosti.



Obr. 2.7. Tvary obličeje. Polokulovitý (A), pětiúhelníkový (B), oválný (C), obdélníkový (D) obloukový tvar. Kulatý (1), čtvercový (2), oválný (3) a trojúhelníkový (4) tvar obličeje. Tupý (a) a ostrý (b) goniový úhel (dle Fedosyutkin and Nainys, 1993).

2.1.1.4. Intersexuální rozdíly tvaru a velikosti obličeje

Sexuální dimorfismus člověka můžeme definovat jako rozdílnost v morfologických, fyziologických, hormonálních, psychických a behaviorálních znacích či vlastnostech mezi mužem a ženou. Rozumíme jím také fyzické rozdíly mezi mužskými a ženskými jedinci utvářející se jako důsledek pohlavního dozrávání. Znaky pohlavní dvojtvárnosti se formují pod vlivem pohlavních hormonů (především testosteronu u mužů a estrogenů u žen), jejichž sekrece se zvyšuje od období puberty.

Obecně lze říci, že muži mají robustnější kraniální i faciální znaky, výraznější svalové úpony, zejména na dolní čelisti, více vystupující krajinu glabely, silněji vyvinuté nadočnicové oblouky, hluboce zaříznutý kořen nosu, hranatý obrys brady. Ženy mívají více kolmé nebo zaoblené čelo, s výraznými čelními hrboly, mají plynulejší frontonasální přechod a slabší svalové úpony (zpracováno dle Borovanský, 1936; Fetter et al., 1967; Blažek and Trnka, 2008).

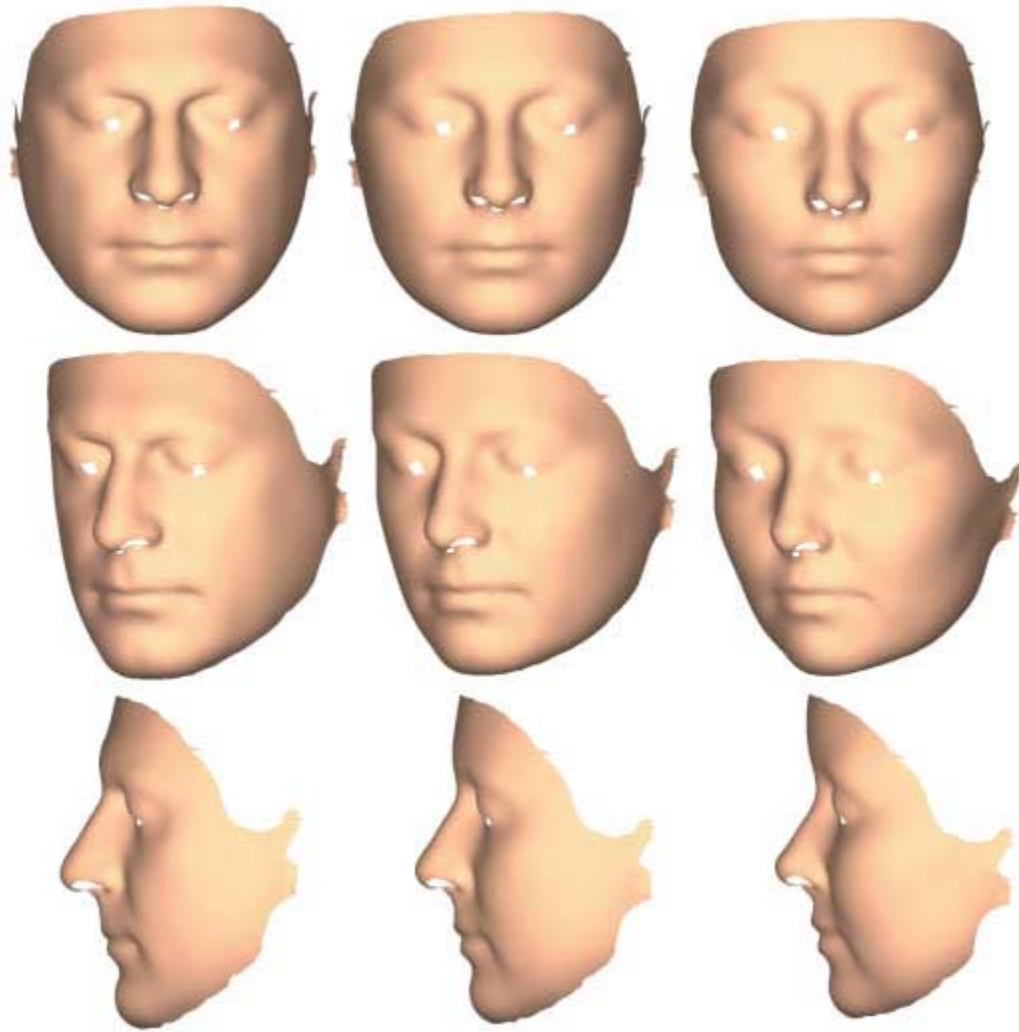
Mužské a ženské obličeje se tedy tvarově a velikostně odlišují. Pohlavní rozdíly se projevují více v obličejové velikosti než ve tvaru (Ferrario et al., 1998, 2000). Ženský obličej je širší a při pohledu ze strany plošší (Hennessy et al., 2002). Naproti tomu Ferrario et al. (1998) tvrdí, že muži mají širší, větší a hlubší obličeje než ženy. Tento rozpor vyplývá z rozdílného použití metod v obou studiích, kdy Ferrario et al. (1998) použil metodu fotogrammetrii a vypočítal lineární vzdálenosti a poměry. Zatímco Hennessy et al. (2002) použil 3D-laserové povrchové snímání a vyhodnocení provedl prostřednictvím metod geometrické morfometrie, kterou můžeme považovat za přesnější pro určení pohlavních rozdílů kraniofaciálního tvaru.

Mužské čelo vystupuje dopředu zejména v tzv. glabelární oblasti jako výraznější nadočnicový oblouk (Blažek and Trnka, 2008). V důsledku tvaru nadočnicové části čela se mužské oči jeví jako zapadlejší. Oči žen jsou umístěné více laterálně a směřují více dopředu, nos mají menší, užší a nepříliš prominující (Hennessy et al., 2002). Velikost mužského nosu koreluje s větší velikostí plic a dýchacích cest. Nos roste ve shodě s nárůsty plicního objemu (Enlow and Hans, 1996). Je umístěný vzhledem k obličejí více

dole a je vystouplejší (Ferrario et al., 2000). Dosahuje větších délek a má rozšířenější nosní křídélka, zatímco ženský nos má spíše tendence k malým rozměrům a hrot nosu směřuje nahoru (Blažek and Trnka, 2008). Lícni kosti žen jsou více prominující v porovnání s muži (Ferrario et al., 1999). Je to dáno tím, že hřbet ženského nosu výrazně nevystupuje, a proto se také oči nezdají být uložené příliš hluboko. Nejvýraznější tvarové rozdíly zaznamenala dolní třetina obličeje, která byla u mužů větší a více směřující dopředu a dolů (Ferrario et al., 1999). Ženská ústa jsou plnější, vzdálenost mezi horním a dolním okrajem rtů dosahuje větších rozměrů.

Většina těchto rozdílů vede k závěru, že ženská tvář je plošší, jemnější a inklinuje k parametrům krátkolebého obličeje. Kdežto mužský obličej je hrubší, nepravidelný, hlubší a přibližuje se spíše k dlouholebému obličej (Wilkinson, 2004).

Na obr. 2.8. jsou znázorněny základní prvky projevu pohlavního dimorfismu v důsledku změn v ženský a mužský obličej. Následující popis bude ve směru nárůstu femininních znaků. U žen probíhají následující změny: přemístění oblasti horního rtu a jeho prohlubně posteriorně (dozadu) a superiorně (nahoru); zúžení nosu podél jeho délky, posunutí posteriorně za současného přemístění hrotu (špičky) nosu, proto je nos kratší; lícni kosti více vyčnívají; brada se redukuje a posouvá superiorně a posteriorně; mandibula se zmenšuje v relativní délce; mediální okraje očnice se posouvají superiorně a posteriorně, zatímco horní postranní okraje se posouvají laterálně; mediální část čela se přemísťuje anteriorně a expanduje laterálně a postranní části jsou posouvány anteriorně, ale bez laterální expanze (Hennessy et al., 2005).



Obr. 2.8. Prokrustovský průměr (střední sloupec) rovnoměrně posouváný v obou směrech po mužské-ženské ose v ženském (pravý sloupec) a v mužském (levý sloupec) směru (dle Hennessy et al., 2005).

2.2. METODY HODNOCENÍ TVARU OBLIČEJE

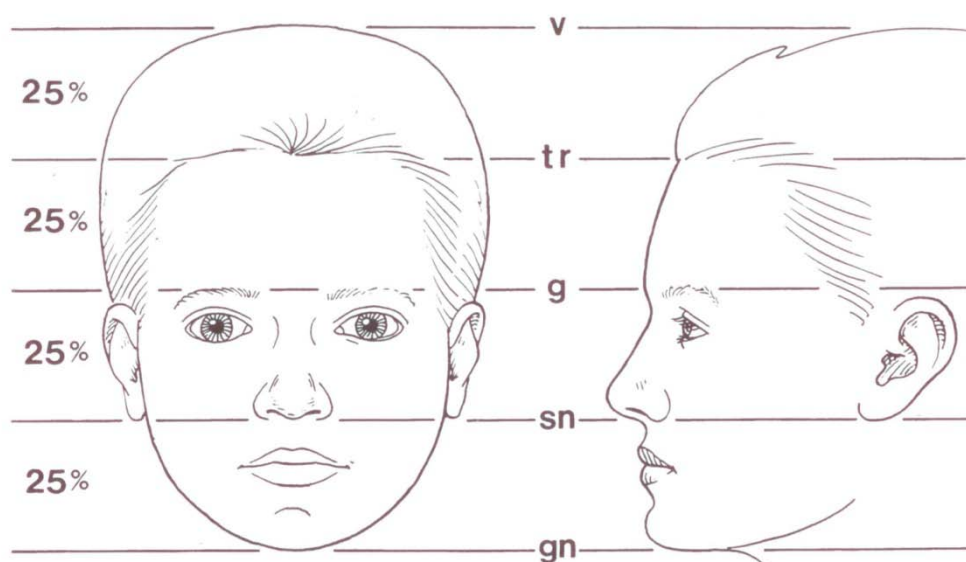
Hodnocení velikosti, tvaru a variability obličeje v různých geografických oblastech a v odlišných časových etapách je významné z mnoha důvodů. Potřebujeme znát průměrné hodnoty, ale i variabilitu jednotlivých oblastí obličeje z hlediska medicíny pro potřeby pediatrie, včasnou diagnostiku některých syndromů, k hodnocení správného vývoje obličeje např. vzhledem k zranění kraniofaciálního komplexu, ortodontické léčbě, maxilofaciální chirurgii. Další význam spočívá v porovnávání obličejů za účelem identifikaci delikventů, k rozpoznání pohřešovaných, pro potvrzení nebo vyvrácení tvrzení

týkající se identity (totožnosti). K účelu kvantitativního stanovení velikosti a tvaru obličeje se využívá metod klasické a geometrické morfometrie.

2.2.1. Historický aspekt

Zájem o hodnocení lidského těla, resp. obličeje z proporcionálního hlediska sahá do daleké historie. Egypťští umělci 3 tisíce let před našim letopočtem vytvořili propracované systémy rozměrů, které využívali zejména při přípravě sarkofágů faraonů a příslušníků vyšších kast. V antickém Řecku a Římě také umělci využívali číselné principy a pravidla týkajících se rozměrů, avšak na rozdíl od Egypťanů byly jejich metrické systémy více zjednodušené.

Využívání proporciálních kritérií bylo znovu oživeno během renesance umělci jako Leonardo Da Vinci, Albrecht Dürer, Cenino Cennini a dalšími. Vytvořili rozsáhlý systém jednoduchých rozměrů lidského těla, zejména hlavy a obličeje. Leonardo Da Vinci ve skutečnosti experimentoval s mnoha pravidly popisujícími tvar lidského obličeje (obr. 2.8.). Je důležité si uvědomit, že tyto principy a rozměry byly vymyšleny umělci, nebyly určeny k prezentaci typické nebo dokonce normální kraniofaciální morfologie. Hlavní změna v přístupu ke kraniofaciální morfologii nastala v polovině 17. století, kdy Johann Sigismund Elsholtz prováděl systematická měření živého člověka a jako první použil termín antropometrie v jeho moderním slova smyslu (Kolar and Salter, 1997).



Obr. 2.8. Kombinace neoklasických principů z prací Da Vinciho, Dürera, Cenniniho, Francesca a Pacioliho (upraveno dle Kolar and Salter, 1997).

V 19. století si odborníci uvědomovali zmatek způsobený používáním různých systémů a snažili se, nepřítli úspěšně, o jejich standardizaci (sjednocení). Byly tak vytvořeny dvě oddělené soupeřící školy antropometrie, francouzská s hlavním představitelem Paulem Brocem a německá s antropologem Rudolfem Martinem, jehož „Lehrbuch der anthropologie“ je stále standardní základní doporučovanou učebnicí pro antropology.

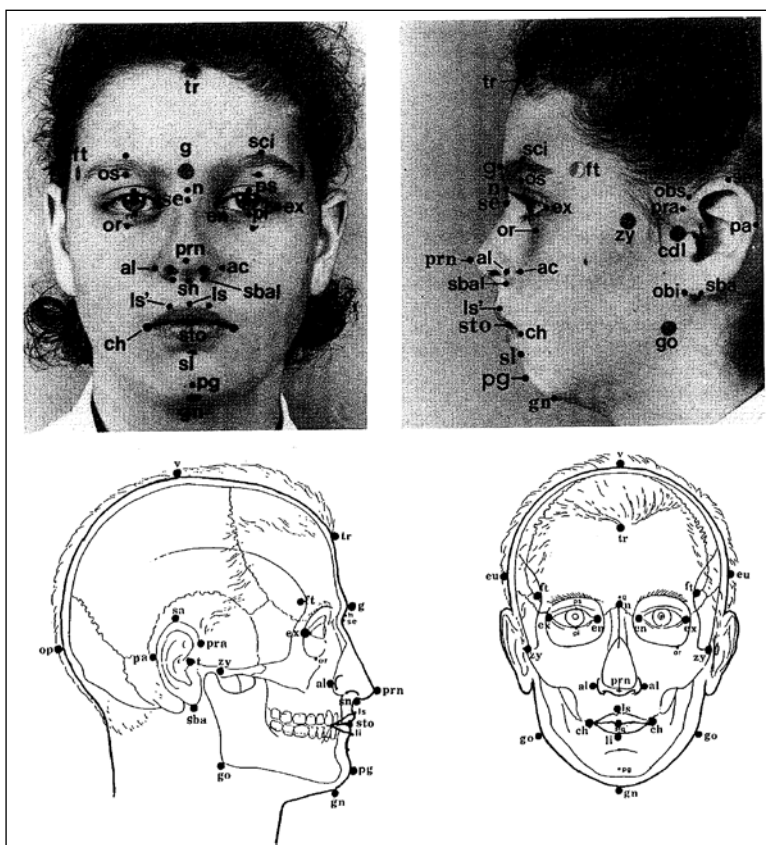
V roce 1946 antropolog W. M. Krogman testoval techniku, kterou by bylo možné využít ve forenzní praxi. Ve spolupráci se sochařem se pokusil o rekonstrukci obličeje mrtvoly, jejíž tvář byla známá jemu, nikoliv umělci. Zjistil, že výsledná podoba v podstatě odpovídá původní podobě tváře, proto ji doporučil mezi techniky používané v tehdejší soudní praxi (Krogman, 1948).

Jeden z prvních významných klinických výzkumů v souvislosti s kraniofaciální antropometrií se uskutečnil na Karlově Univerzitě v Praze roku 1960 jako součást rozsáhlé dlouhodobé studie dětí s rozštěpem rtu a patra. Dr. František Burian inicioval vytvoření kraniofaciálních norem objektivního hodnocení pro sledování kraniofaciálních odchylek pacientů s rozštěpovými vadami před a po léčbě (Burian, 1966). V kolektivu dalších odborníků provedli detailní růstovou studii a zaznamenali růst a vývoj těchto dětí se zvláštním důrazem na rozštěp rtu/patra (Burian et al., 1964; Hajnis and Fakras, 1965, 1969).

2.2.2. Klasická morfometrie

Metody klasické morfometrie vycházejí z lokalizace kranio-metrických bodů (tzv. landmarků), což jsou body na lebce, které mohou být jednoznačně definovány a opakovaně lokalizovány s vysokou přesností. Přehled těchto význačných bodů a jejich vymezení shrnuje řada publikací (např. Martin and Saller, 1957; Fetter et al., 1967; Farkas, 1994; Kolar and Salter, 1997; Kuželka, 1999). Landmarky mohou mít shodný název, ale různou anatomickou lokalizaci (např. bod porion). Proto je rozdělujeme do dvou skupin. První jsou landmarky umístěné na kostech a druhou skupinu tvoří landmarky lokalizované na povrchu měkkých tkáních (obr. 2.9.).

Jejich lokalizace je často odvozena od znaků s vývojovým, funkčním, strukturálním nebo evolučním významem. Bývají to otvory pro nervy a cévy (př. foramen ovale), křížení švů (př. bod nasion) a nejrůznější výběžky. Landmarky nezahrnují informaci o zakřivení, prostoru a o povrchu mezi nimi (Richtsmeier et al., 2002). Bookstein (1991) stanovil tři skupiny význačných bodů, a sice body typu I - na styku tří struktur (např. na styku lebečních švů), body typu II, jakožto maxima nejrůznějších zakřivení lokálních struktur (např. na vrcholcích kostěných výběžků) a koncové body typu III (př. body nejvzdálenější od jiného určitého bodu, koncové body největších délek, šířek atd.). K bodům řadíme i tzv. semilandmarky, kdy křivku rozdělíme na několik úseků stejně vzdálených nebo pod stejným úhlem. Pokud jsou body mezi objekty homologické, můžeme zkoumat ontogenetické i evoluční hledisko jejich vzniku. Přímý výzkum je umožněn jejich lokalizací ve dvou- (koordináty x, y) či trojrozměrném (koordináty x, y, z) prostoru pomocí souřadnicové sítě. Souřadnice pak umožní statistické zpracování.



Obr. 2.9. Kraniofaciální povrchové landmarky hlavy a obličeje z frontálního a laterálního pohledu (nahore). Landmarky byly vyznačeny na kůži před získáním obrázků. Schematické kresby (dole) ukazují povrchové landmarky ve vztahu k pod nimi ležící kostře (dle Farkas, 1994).

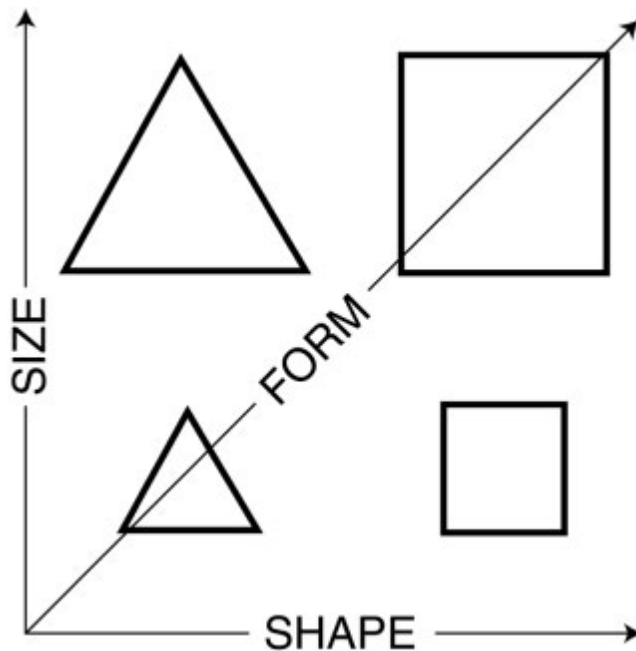
Klasické metody umožňují získávat hodnoty lineárních rozměrů, popř. úhlů. Hodnotí se délky (např. délka obličeje: basion - prosthion), šířky (např. šířka obličeje: zygion - zygion), výšky (např. morfologická výška obličeje: nasion - gnathion), obloukové míry (např. čelní podélný oblouk: nasion \cap bregma). Zjištění co největšího počtu obloukových a tětíkových měr umožňuje pozdější rekonstrukci tvaru a rozměrů obličeje, popřípadě ho podle husté sítě změřených bodů celý nakreslit. Dále lze goniometrem, resp. mandibulometrem měřit úhly (např. celkový profilový úhel obličeje: mezi nasion - prosthion a frankfurtskou horizontálou). Absolutní míry nepodávají dostatečnou představu o tvaru obličeje, proto se pro porovnání několika jedinců či průměrů jednotlivých populací vypočítávají indexy na základě dvou či více rozměrů. Velikost indexu udává, v jakém relativním vztahu jsou k sobě srovnávané míry (např. výško-šířkový index obličeje) (dle Fetter et al., 1967; Kuželka, 1999).

2.2.3. Geometrická morfometrie

Geometrické morfometrické metody si našly široké uplatnění v biologických přírodních vědách, zvláště antropologii, oboru se silnou historií měření, ale také i např. v paleontologii, paleoarcheologii či medicíně. Polemika vyvstává nad tím, kterou metodu zvolit jako nejlepší pro kvantifikaci morfologických rozdílů mezi tvary a pro vytvoření relevantních statistických závěrů o daných rozdílech. S možností zkoumat tvar v trojrozměrném prostoru souvisí i některé nevýhody, neboť na mnoha biologických objektech lze určit jen velmi omezené množství význačných bodů. Byla snaha nalézt metodu vícerozměrné statistické analýzy, která umožní studovat změny v poloze určitých bodů na objektu, a to přímo, ne pomocí délek, indexů či koeficientů.

Morfometrie zahrnuje kvantitativní studium „formy“, která sestává z velikosti a tvaru objektu (Richtsmeier et al., 2002), neboli forma je kombinací velikosti a tvaru (obr. 2.11.). Ačkoliv pojmu velikost každý rozumí, neexistuje přesná a jednoznačná definice ani pro velikost, ani pro tvar. Izometrií obvykle rozumíme, že tvar objektu nekoreluje s jeho velikostí. Ve statistických alometrických testech by isometrie představovala nulovou hypotézu. Izometrická změna velikosti znamená, že všechny objekty mají

standardizovanou velikost, protože jejich centroidová velikost je rovna jedné. Naopak při alometrii je změna tvaru následována odpovídající změnou velikosti. Rozlišujeme tři různé typy alometrie, a to ontogenetickou (ontogenetické změny tvaru korelují s ontogenetickým růstem velikosti), statickou (variace tvaru korelovala s variací ve velikosti mezi jednotlivci v příslušném vývojovém stupni) a evoluční (evoluční změna tvaru koreluje s velikostní změnou) (Zelditch et al., 2004).



Obr. 2.11. Změna formy je výsledkem kombinace změn ve velikosti a tvaru (dle Richtsmeier et al., 2002).

Geometrická morfometrie znamená kvalitativně zcela nový přístup ke studiu tvaru organismů. Definice geometrické morfometrie zahrnuje soubor metod pro získání, zpracování a analýzu tvarových proměnných, které zachycují geometrické informace o objektech (Slice, 2005). Zahrnuje kvantitativní studium formy, velikosti nebo tvaru, resp. umožňuje kvantitativní studium křivek a množin landmarků (Richtsmeier et al., 2002). Můžeme tedy rozlišit dva přístupy, jednak analýzu obrysů a křivek, jednak metody vycházející z význačných bodů.

Metody analyzující křivky zpravidla přiřazují naměřeným hodnotám určitou funkci menšího počtu popisných proměnných. Výhodou je jisté vyhlazení obrysu a tím i snížení vlivu chyb při digitalizaci. Příkladem může být *Fourierova analýza*, která je založena na

měření vzdálenosti křivky od určitého bodu uvnitř křivky (význačný bod, nebo centroid). Tyto vzdálenosti jsou měřeny v pravidelných intervalech, určených úhlem θ , který nabývá hodnot od 0 po 2π . Jestliže bychom uzavřenou křivku v počátečním bodě otevřeli a rozvinuli, dostali bychom složitou soustavu vln, kterou lze rozložit na sérii sinových a kosinových vln o různé amplitudě a frekvenci, které by opětovným složením daly více či méně věrný obraz originální struktury (Zima et al., 2004).

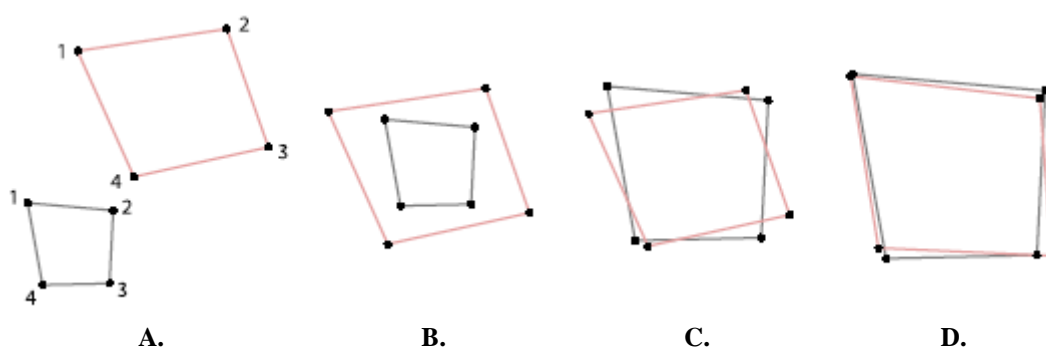
Metody vycházející z význačných bodů představují základ morfometrických metod. Lze je rozdělit na superpoziční (např. Booksteinova a Prokrustovská transformace), deformační (např. TPS, FESA) a metody založené na lineárních vzdálenostech (např. EDMA).

2.2.3.1. Superpoziční metody

Naměřená data v sobě obsahují informace, které nesouvisí s tvarem zkoumaného objektu. Jsou jimi orientace, poloha a rozměry jednotlivých objektů. Prvním krokem při analýze tvaru je tudíž převést všechny objekty do stejné polohy, orientace a na jednotnou velikost. Všechny superpoziční metody zahrnují tři základní kroky. Jedná se o stanovení jedné z průměrných forem zkoumaných tvarů za výchozí a její označení jako referenčního objektu; posun a rotace jiné formy tak, že odpovídá referenčnímu objektu v souladu s daným kritériem a poslední krok představuje studium (záznam) velikosti a směru rozdílů mezi formami v každém landmarku (Richtsmeier et al., 2002).

Pro takovouto standardizaci bylo představeno několik metod (Bookstein, 1991). Pro Booksteinovu transformaci je stěžejní určit tzv. základní čáru, neboli baseline, což je dimenze, která je interindividuálně co nejméně variabilní, je v porovnání s celkovou velikostí hodnocené oblasti co největší a neprodělavá během zkoumaného období intenzivní vývoj (např. délka přední baze lební SN u teleRTG snímků hlavy) (Velemínská et al., 2006). Celý postup si lze nejlépe představit na nejjednodušší konfiguraci tří bodů. Trojúhelník ABC je potom posunut, rotován a jeho velikost je izometricky změněna tak, že bod A prochází počátkem a má tedy souřadnice $[0,0]$ a bod B má souřadnice $[1,0]$. Pokud konfigurace obsahuje více bodů, lze ji tímto způsobem převést na systém trojúhelníků, které budou sdílet společnou základní čáru a budou se lišit vždy třetím z vrcholů. Souřadnice těchto bodů, transformované popsáním způsobem, se nazývají tvarové (Booksteinovy) koordináty (Zima et al., 2004).

Na zkoumání tvaru pomocí význačných bodů je založena také Prokrustovská transformace, která se objevuje na přelomu 60. a 70. let 20. století. Opět vychází ze superpoziční techniky, kdy pomocí rotace, posunu a celkové změny velikosti lze dosáhnout takové konfigurace význačných bodů dvou a více objektů, aby byla optimalizována jistá míra shody. Prokrustovská analýza je metoda nejmenších čtverců vzdáleností homologních landmarků. Při této metodě jsou po vyřazení polohy, velikosti a rotace objekty překryty přes sebe tak, aby vzdálenosti jejich homologních landmarků od sebe byly co nejmenší (obr. 2.12.). Lépe řečeno, aby součet kvadrátů těchto vzdáleností byl co nejmenší (Zelditch et al., 2004).



Obr. 2.12. Prokrustovská transformace – výchozí objekty (A); posun (B); změna velikosti (C); rotace (D) (upraveno dle Mitteroecker and Gunz, 2009).

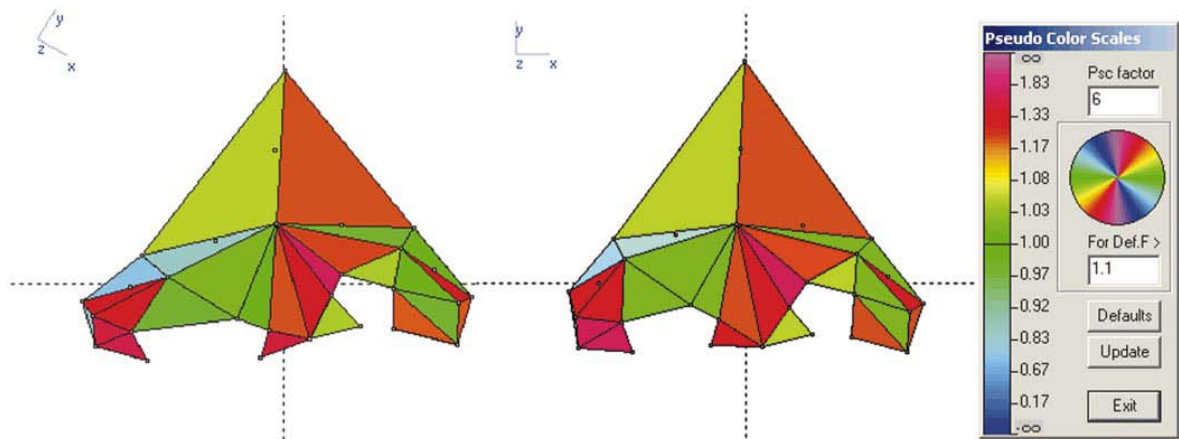
2.2.3.2. Deformační metody

Základem deformačních metod je označení jedné formy jako referenční (základní), srovnávaný jako cílový objekt. Poté následuje deformování tohoto objektu tak, že se po deformaci přesně ztotožňuje s cílovým objektem. Nakonec je nutné zhodnotit deformaci za účelem zjištění rozdílů jednotlivých forem.

Nejpůvodnější je metoda tenkých ohebných pásků (thin plate spline, TPS) zavedená do morfometrie Booksteinem (1991). Hlavní myšlenkou je umístit síť souřadnic na zobrazený referenční objekt a pak ji tvarovat spolu s obrázkem, dokud není dosaženo shody s objektem srovnávaným. Rozdíly mezi nimi jsou pak ukázány ve formě deformací původně pravoúhlé sítě. Metoda TPS zobrazuje i změny, které se dějí v prostoru mezi landmarky. Analýza relativních deformací (thin plate spline relative warps, TPSRW) pak

umožňuje srovnat více než dva objekty najednou (Macholán, 1999; Richtsmeier et al., 2002; Slice, 2005). Metodu tenkých ohebných pásků využívá ve své studii např. Komori et al. (2009) zabývající se vlivem průměrnosti a pohlavního dimorfismu na odhadu atraktivity obličeje.

Základem metody konečných prvků (finite-element scaling analysis, FESA) je rozdělení sledovaného objektu na dostatečně velký počet jednoduchých geometrických útvarů. Na obr. 2.13. jsou objekty rozděleny na různě velké trojúhelníky. Samotná analýza spočívá ve sledování transformace těchto útvarů. FESA může být použita pro znázornění vývojových změn ve smyslu alometrie (změna proporcionality související se změnou velikosti) a anizotropie (s tvarovou změnou) (viz metodika práce, kapitola 3.2.2.3).



Obr. 2.13. FESA znázorňující velikostní změny u pacientů s jednostranným rozštěpem rtu a patra. Model vlevo ukazuje velikostní změny mapované do průměrné nosní konfigurace před léčbou, zatímco napravo jsou znázorněny stejné změny mapované do průměrné nosní konfigurace po léčbě (dle Singh et al., 2005).

2.2.3.3. Metody založené na lineární vzdálenosti

Další možností morfometrie jsou metody založené na lineární vzdálenosti, kdy se srovnává lineární vzdálenost spojující pár landmarků na jedné formě s odpovídající lineární vzdáleností formy druhé.

Analýza matic eukleidovských vzdáleností (EDMA) srovnává lineární vzdálenost spojující pár landmarků na jedné formě s odpovídající lineární vzdáleností formy druhé

(Richtsmeier et al., 2002). Geometrie objektu je tak popsána maticí kombinací všech lineárních vzdáleností mezi jednotlivými landmarky, která je srovnávána s identickou maticí na objektech druhé skupiny. EDMA využívá dvoj- nebo trojrozměrných souřadnic landmarků. Umožňuje popsat formu a tvar, přičemž se nemění souřadnicový systém. Jinými slovy lze říci, že popis tvaru a velikosti nezávisí na výběru souřadnic a nedochází ke změně současných parametrů při posunu, rotaci a překlopení (Cole, 1998).

3. MATERIÁL A METODIKA

3.1. MATERIÁL

Pro vypracování této práce byly použity 3D snímky obličeje celkem 100 jedinců současné české populace. Jednalo se o 50 mužů průměrného věku 21,1 let a 50 žen s průměrným věkem 21,6 roků. Většinu představovali studenti a studentky Přírodovědecké fakulty UK a Fakulty humanitních studií UK. Do souboru byli zahrnuti pouze probandi české národnosti bez obličejových vad.

Snímky byly pořizovány v období od října 2007 do prosince 2008 za podpory Grantové agentury České republiky (GAČR) č. 406/07/0705. Jednalo se o grantový projekt Fakulty humanitních studií UK, na kterém spolupracovala s katedrou antropologie a genetiky PřF UK.

Tabulka 3.1. Počet žen v jednotlivých věkových kategoriích

Věková kategorie	19	20	21	22	23	24	25	31	35	celkem
Počet jedinců	1	18	11	13	3	1	1	1	1	50

Tabulka 3.2. Počet mužů v jednotlivých věkových kategoriích

Věková kategorie	19	20	21	22	23	24	26	27	32	celkem
Počet jedinců	9	20	4	7	6	1	1	1	1	50

3.2. METODIKA

3.2.1. Snímání tvaru a textury obličeje

Obličeje byly snímány prostřednictvím přístroje InSpeck 3D digitizéru (obr. 3.1.) a programu InSpeck FAPS. InSpeck 3D digitizér řadíme mezi bezkontaktní skenery. Dokáže

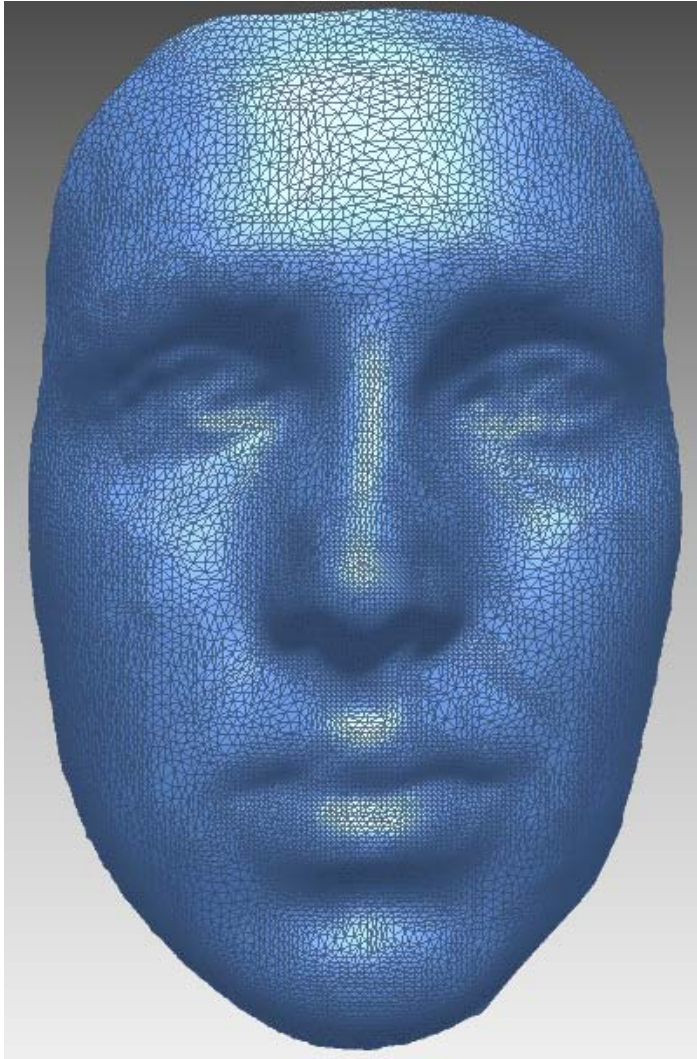
během několika vteřin zachytit 3D tvar lidského obličeje a je založený na technologii bílého halogenového světla, které je pro člověka zcela bezpečné.

Snímaný jedinec seděl na speciální židli s opěradlem pro stabilizaci hlavy ve vzdálenosti 110 cm od kamery a výška očí se nacházela v úrovni projektoru. Muži museli být předem oholeni. Dále byly z obličeje odstraněny vlasy (pomocí čelenky, popř. šátku) a ozdoby (např. náušnice, piercingy apod.). Poté již proband držel neutrální, uvolněný výraz s otevřenými očima. Dolní čelist se snažil zachovat v relaxované poloze, kdy se dotýkají rty, nikoliv zuby. Nakonec za naprostého zatemnění mohlo proběhnout samotné snímání, jenž trvalo několik vteřin.



Obr. 3.1. Přístroj InSpeck 3D digitizér (<http://www.inspeck.com/>).

Následovalo exportování snímků do požadovaného formátu (.wrl) s využitím programu InSpeck EM. Snímáním jsme získali síť polygonů (obr. 3.2.), které se skládají z jednotlivých dílčích trojúhelníků (faces). Každý trojúhelník tvoří 3 hrany (edge) a 3 vrcholy (vertex).



Obr. 3.2. Polygonová síť pokrývající povrch obličeje.

Úprava snímků probíhá v programu RapidForm XOS, který zahrnuje 9 ploch pro manipulaci se skenem: SCAN, POLYGON, COLOR, CURVE, SURFACE, ISPECT, FEATURE, EXCHANGE, 3D IMAGING. Jelikož v mé práci využívám pro získání výsledků pouze čelních pohledů, veškeré úpravy probíhaly pouze na ploše POLYGON.

Při snímání textury obličeje paprsky dopadají kolmo na frontální části obličeje, proto dochází ke značnému zkreslení v laterálních oblastech, které bylo nutné odstranit. Proto jsem úpravu snímků vždy začínala ořezáváním těchto okrajových částí obličejů, kdy jsem využila možnosti detailního zvětšení za účelem odstranění trojúhelníků, jenž narušovaly celistvost povrchu. Ořezání představovalo nejdelší fázi z celého procesu úprav. Poté již následovalo čištění, zaplnění otvůrků a na úplný závěr vyhlazení snímků. Na následujících

obrázcích (obr. 3.3. – obr. 3.6.) lze vidět rozdíl mezi snímky, které vznikly bezprostředně po skenování, a těmi po úpravě v programu RapidForm XOS.

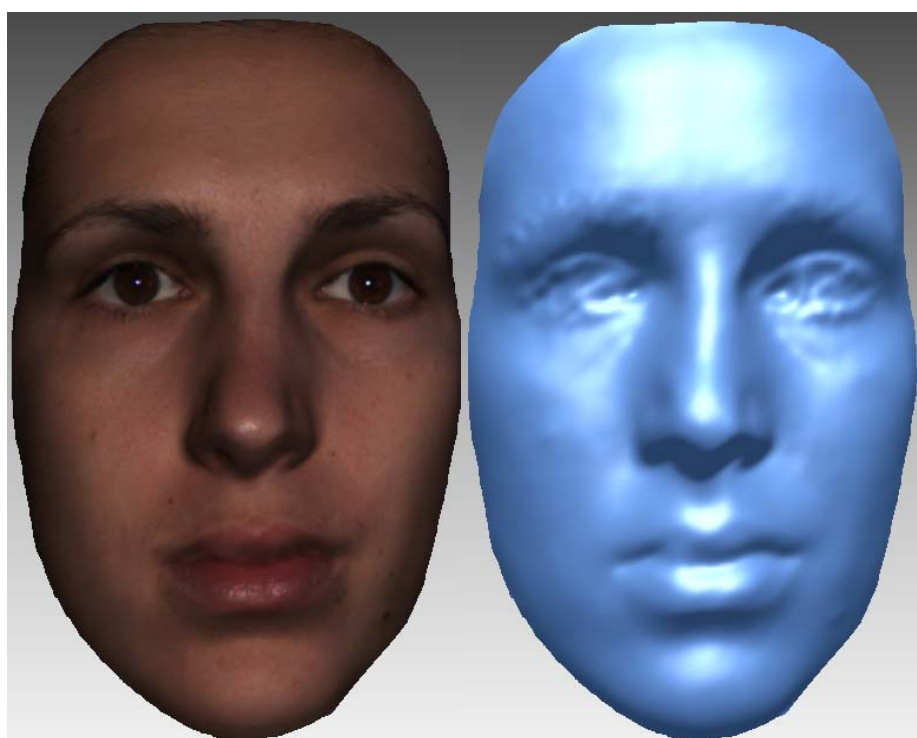
Pro možnost další manipulace se snímky v programu MorphoStudio v 3.02 bylo nutné jednotlivé obličejové decimovat, tedy zmenšit jejich velikost na přibližnou hodnotu okolo 3,5 MB a uložit je ve starším formátu (.wrl 97).



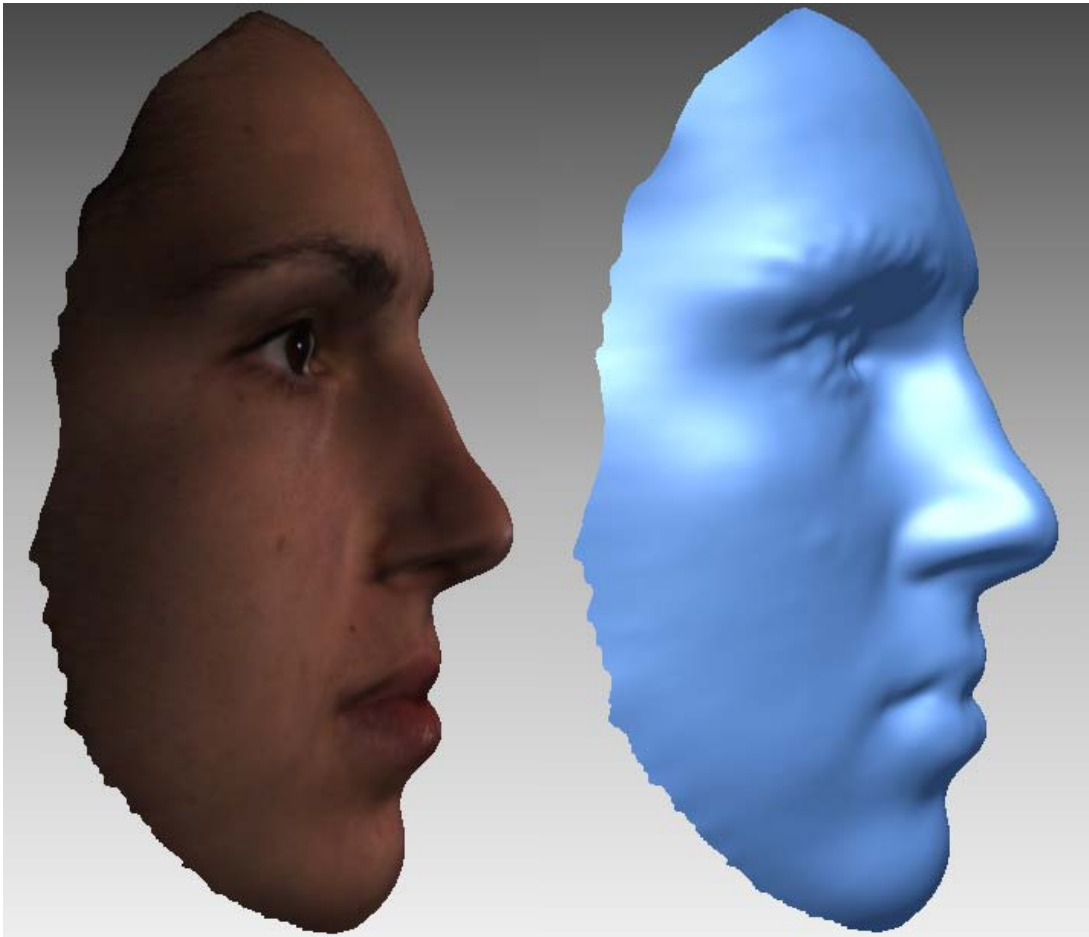
Obr. 3.3. Neupravený 3D snímek obličeje, frontální pohled (vlevo textura, vpravo povrchový model).



Obr. 3.4. Neupravený 3D snímek obličeje, laterální pohled (vlevo textura, vpravo povrchový model).



Obr. 3.5. Upravený 3D snímek obličeje, frontální pohled (vlevo textura, vpravo povrchový model).



Obr. 3.6. Upravený 3D snímek obličeje, laterální pohled (vlevo textura, vpravo povrchový model).

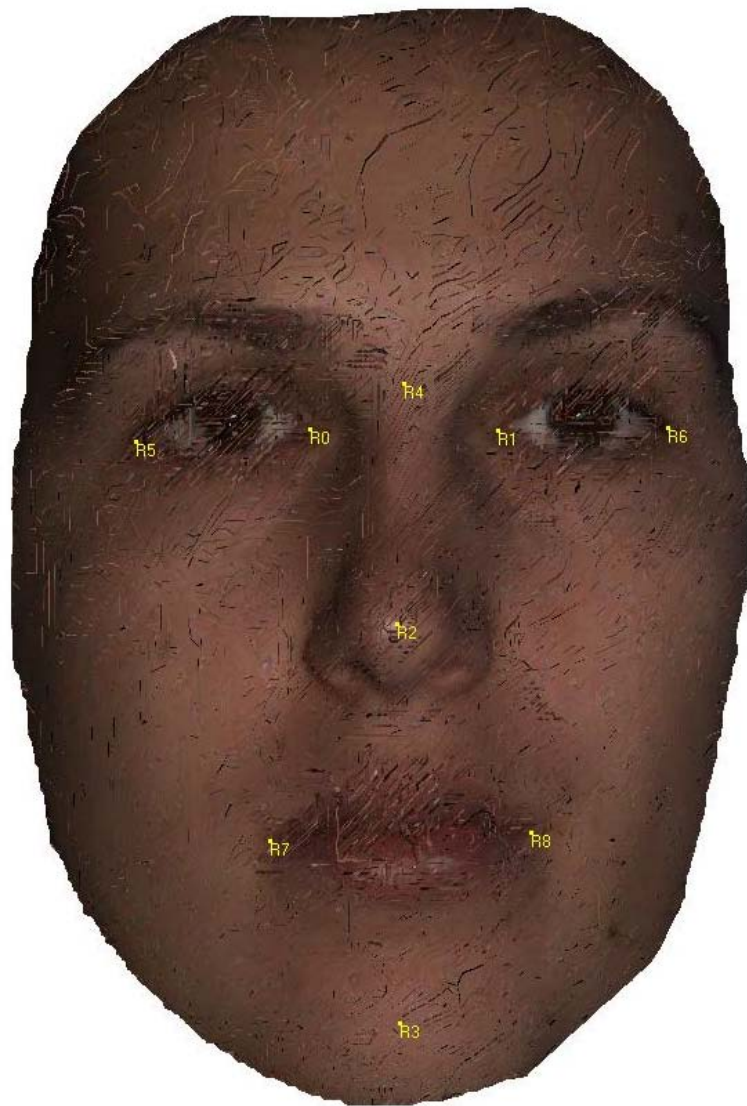
3.2.2. Zpracování dat metodami geometrické morfometrie

Práce s daty probíhala v programu MorphoStudio v 3.02 (MFS). Jedná se o software, který se skládá z několika dílčích programů. Byl vyvinut pro potřeby především biomedicínské antropologie a to pro hodnocení RTG snímků a 3D povrchových modelů, pro srovnání patologie versus norma, pro srovnání konfigurace obličeje před a po zvolené terapii.. Dílčí program D3d slouží pro analýzu povrchových modelů, které ačkoli zaznamenávají vždy stejnou morfologickou jednotku (v našem případě frontální sken obličeje), obsahují rozdílný počet dílčích trojúhelníků (faces). V programu se načítají snímky ve wrl formátu a pomocí metody Dense correspondence models analysis (Hutton et.al., 2001) jsou přepočítány na stejný počet faces. Poté již lze analyzovat data na základě geometricko-morfometrických metod či dalších metod mnohorozměrné statistiky (např. PCA a FESA).

3.2.2.1. Metoda Dense correspondence models analysis

Hutton et al. (2001) optimalizoval počet referenčních landmarků, které je zapotřebí manuálně lokalizovat na všech analyzovaných modelech obličejů pro přepočítání modelů pomocí metody Dense correspondence models analysis na stejný počet trojúhelníků, tedy i vertexů neboli jednotlivých landmarků. Jeden model (tzn. také jeho počet faces), je vybrán jako základní (referenční), na všech modelech je digitalizováno právě 9 landmarků (obr. 3.7., tab. 3.3.), tj. vzájemně korespondujících bodů, na základě kterých je přepočítána poloha celé polygonové sítě povrchových bodů jednotlivých modelů. Výpočet je založen na generalizované Prokrustovské analýze, pomocí které je vypočítána průměrná poloha referenčních landmarků. Každý povrchový model všech jedinců je transformován metodou TPS do průměrné (konsenzuální) konfigurace devíti výchozích landmarků. Takto získáme přesné uspořádání vybraných landmarků. Pomocí interpolace je ke každému vertexu výchozí sítě u každé z ostatních polygonových sítí přiřazen v prostoru nejbližší se nacházející vertex. Všem bodům základního modelu tak byl přiřazen identický počet korespondujících bodů na základě jejich interpolace. Všechny body (neboli vertexy polygonové sítě) mohou být dále považovány za landmarky.

Povrch všech modelů po provedení této metody tvořilo 13 629 landmarků, 26 675 trojúhelníků a 40 302 jejich spojnic.



Obr. 3.7. Referenční landmarky použité v rámci metody Dense correspondence models analysis.

Tabulka 3.3. Seznam použitých referenčních landmarků

Označení na obr. 3.7.	Zkratka	Landmark	Definice
R0, R1	En ₁ , En ₂	Endocanthion	Bod vnitřního koutku oční štěrbinu při styku horního a dolního víčka, měkký landmark lokalizovaný laterálně na kostním landmarku
R2	Prn	Pronasale	Nejvíce vyčnívající bod na špičce nosu, nejlépe identifikovatelný z laterálního pohledu
R3	Pg	Pogonion	Nejvíce anteriorně směřující (prominující) bod na bradě, lokalizovaný na povrchu kůže před identickým kostním landmarkem dolní čelisti
R4	N	Nasion	Bod v mediální rovině na kořenu nosu v místě nasofrontálního švu, měkký a kostní nasion jsou identické
R5, R6	Ex ₁ , Ex ₂	Exocanthion (ectocanthion)	Bod vnějšího koutku oční štěrbinu při styku horního a dolního víčka, měkký landmark lokalizovaný mírně mediálně na kostním landmarku
R7, R8	Ch ₁ , Ch ₂	Cheilion	Bod na vnějším koutku úst v místě styku hranice červeně horního a dolního rtu

(zpracováno dle Farkas, 1994)

3.2.2.2. Analýza hlavních komponent (Principal components analysis, PCA)

V roce 1901 metodu PCA poprvé popsal Karel Pearson, avšak praktické výpočetní algoritmy byly prezentovány až v roce 1933 H. Hotellingem. Analýza hlavních komponent patří do skupiny tzv. faktorových analýz. Její hlavní smysl spočívá ve snížení původního počtu proměnných na menší počet transformovaných proměnných (tzv. hlavních komponent), které jsou lineárními kombinacemi původních proměnných (Zima et al., 2004). Faktorová analýza je tedy v podstatě metodou transformace pozorovaných

proměnných na nové proměnné, jejichž počet je redukován tak, aby tyto nové proměnné obsahovaly co největší část variability proměnných původních. Faktory tedy můžeme považovat za proměnné, které v sobě kondenzují značnou část variability původních proměnných. Veličiny přiřazené těmto faktorům mají být vysoce závislé a počet faktorů co nejmenší.

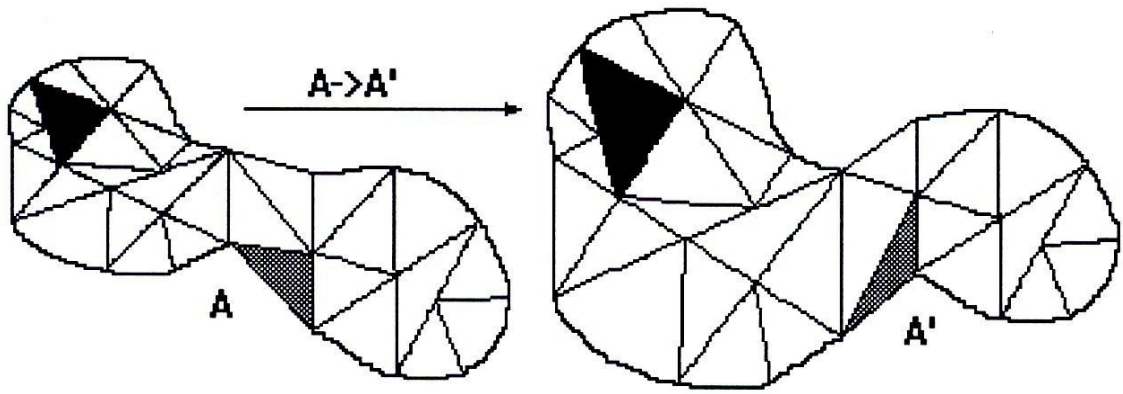
Míra variability původního souboru objektů je vyjádřena pomocí tzv. eigenvalues, které jsou přiřazeny ke každé komponentě. Jejich konkrétní hodnota je důležitá pro procentuální vyjádření míry variability

Principem metody je otočení (rotace) prostoru tak, že výsledné proměnné jsou uspořádány podle svého významu, v rámci variability daného souboru. První komponenta charakterizuje vztah mezi landmarky, který představuje největší procentuální část variability, kterou lze zjistit u sledovaného souboru a za použití vypočítaného modelu PCA. Druhá proměnná představuje znak s druhou největší variabilitou atd. (Zelditch et al., 2004).

3.2.2.3. Metoda konečných prvků (Finite-element scaling analysis, FESA)

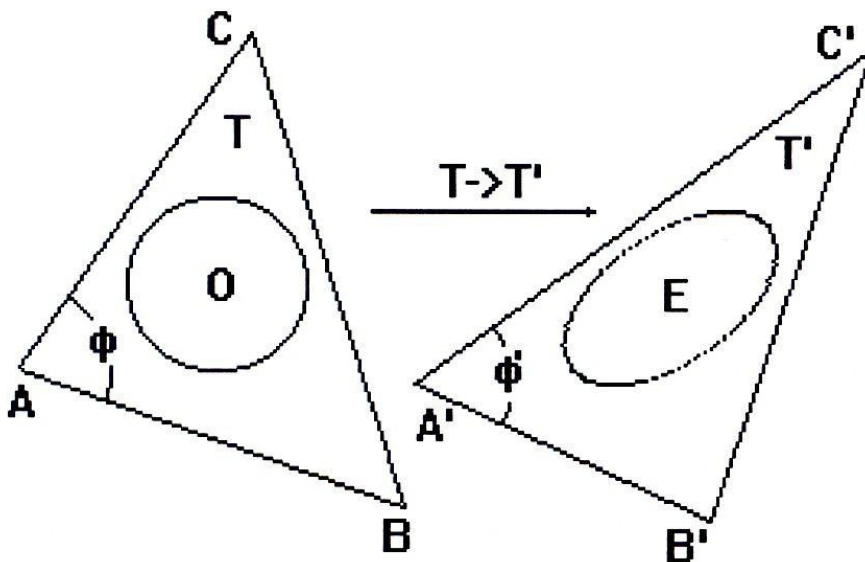
Pro znázornění intersexuálních rozdílů ve velikosti a tvaru byla použita metoda konečných prvků, která zahrnuje křivku funkce interpolace. Rozdíly mohou být graficky zobrazeny jako velikostní změny, tvarové změny nebo velikostně-tvarové změny. Změna tvaru mezi referenčním objektem a konečným (finálním) je zobrazena jako kontinuální deformace, která může být popsána na základě poměrných deformací ve dvou směrech. Pokud se poměrná deformace v obou směrech shoduje, pak výsledná změna tvaru je charakterizována lineárním nárůstem nebo zmenšením velikosti objektu. Pokud dojde ke zvětšení deformace v jednom směru, mění se velikost i tvar (Singh et al., 2004).

Jak již bylo zmíněno metoda konečných prvků spočívá v rozdělení pozorovaného objektu na dostatečně velký počet jednoduchých geometrických útvarů (v našem případě trojúhelníků), u kterých je následně sledována jejich transformace (obr. 3.8.).



Obr. 3.8. Rozdělení sledovaného útvaru na trojúhelníky a jejich transformace (převzato z uživatelské příručky programu MorphoStudio v 3.02).

Poté program pomocí tří faktorů (faktoru plochy, faktoru deformace a hlavní osy deformace) vypočítá poměrnou změnu jednotlivých útvarů (obr. 3.9.).



Obr. 3.9. Transformace původního trojúhelníku v konečný trojúhelník.

Za využití logaritmické lineární interpolace jsou vygenerovány barevné mapy. Poměrná změna je barevně znázorněna ve výchozím objektu (Singh and Thind, 2003). Hodnotu velikostní a tvarové změny zjistíme pomocí barevné škály a číselného vyjádření. Hodnota rovna 1 neznámá žádnou změnu oproti výchozí velikosti. Pokud je hodnota větší než 1, znamená nárůst (např. 1,4 znamená 40% zvětšení). Hodnoty, které jsou menší než 1 představují zmenšení (např. 0,7 znamená 30% zmenšení) (Singh et al., 2004).

4. VÝSLEDKY

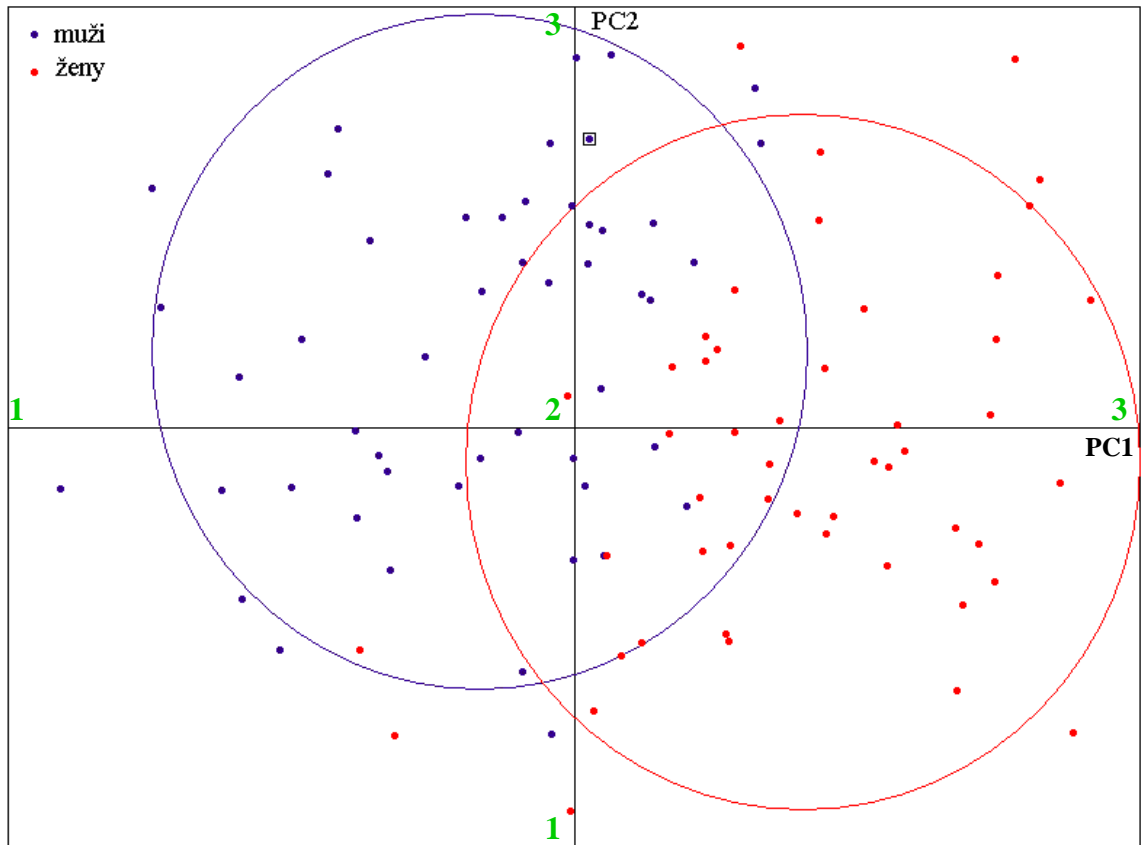
4.1. POSOUZENÍ TVAROVÝCH ZMĚN OBLIČEJE ZA VYUŽITÍ PCA

Analýza hlavních komponent byla použita pro hodnocení tvaru obličeje dospělé české populace a jeho variability. Pomocí softwaru MorphoStudio v 3.02 byl vypočítán model, jehož nejvýznamnější komponenty sumarizuje tab. 4.1. Interpretováno bylo celkem 5 nejvýznamnějších hlavních komponent, které dohromady popisují 74,27 % celkové variability obličeje sledovaného souboru. Tvarové rozdíly nejlépe charakterizují komponenty PC1 a PC2, jenž dohromady zodpovídají za téměř 56 % variability.

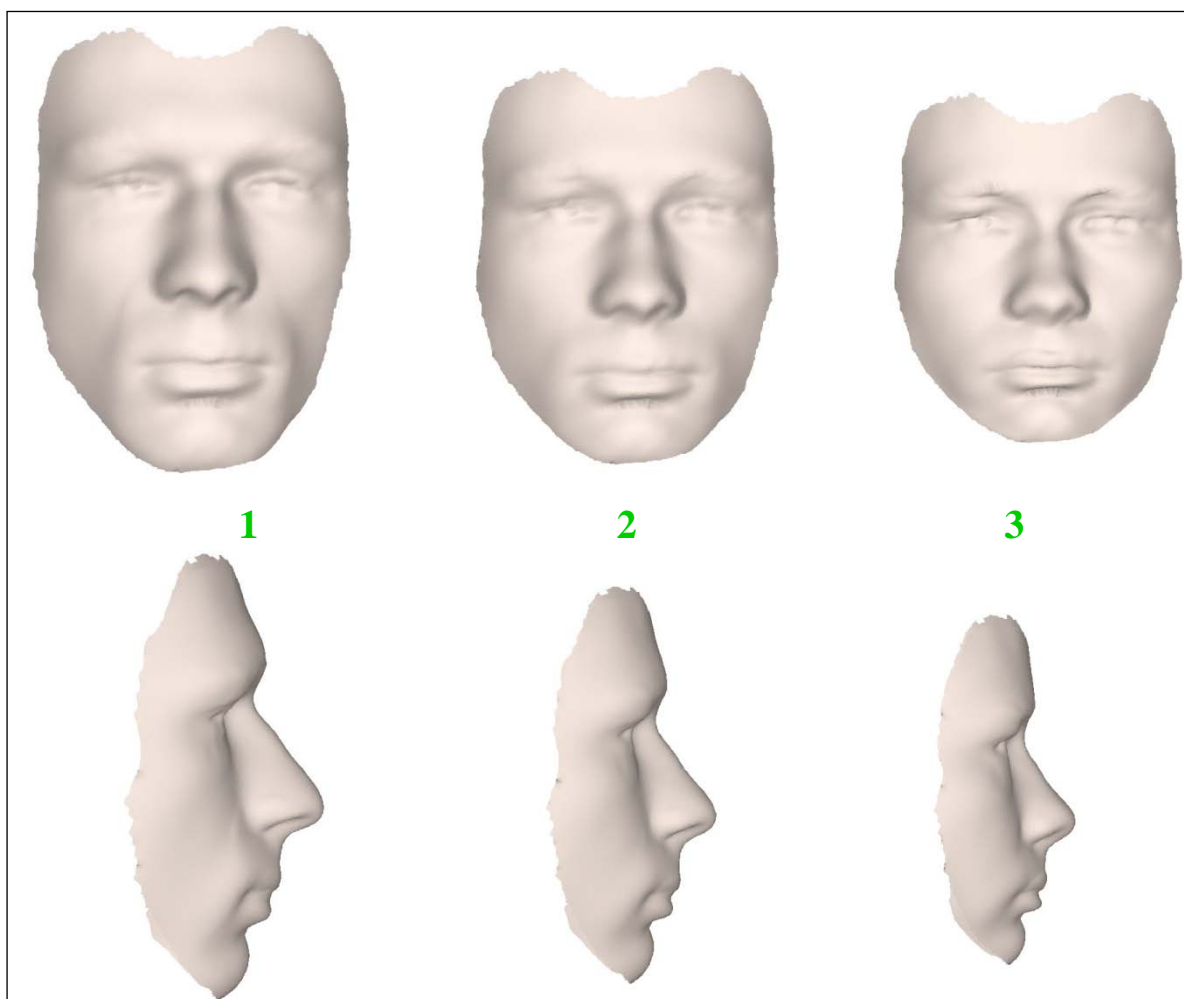
Tabulka 4.1. Přehled hlavních komponent

PC	1	2	3	4	5	6	7
eigenvalue	81369,2039	24863,8559	13608,2204	12443,6247	8754,8033	6662,0569	5745,0939
% variability	42,84	13,10	7,17	6,55	4,61	3,51	3,03

Obrázky 4.1., 4.4., 4.6. představují výsledky PCA analýzy. Jedná se o grafy závislostí mezi komponentami (PC1 a PC2, PC2 a PC3, PC4 a PC5), jež představují největší procentuální části variability, kterou lze na základě zvolené metodiky u sledovaného souboru dospělých mužů a žen popsat. Tyto hlavní grafy jsou doplněny sekvencemi tvarů obličeje ve frontální a laterální projekci, které odpovídají variabilitě obličeje vyjádřené jednotlivými komponentami. Variabilita obličeje v rámci každé z pěti komponent je tak vyjádřena sekvencí celkem 3 tvarů obličeje, které poskytne software při posunu kurzoru po jednotlivých osách grafů hlavních komponent od záporných ke kladným hodnotám (tj. zleva doprava, zdola nahoru). Označení 1 až 3 na obrázcích a v grafech odpovídají nejvyšší negativní (1), nulové (2) a nejvyšší pozitivní (3) hodnotě hlavní komponenty na příslušné ose grafu



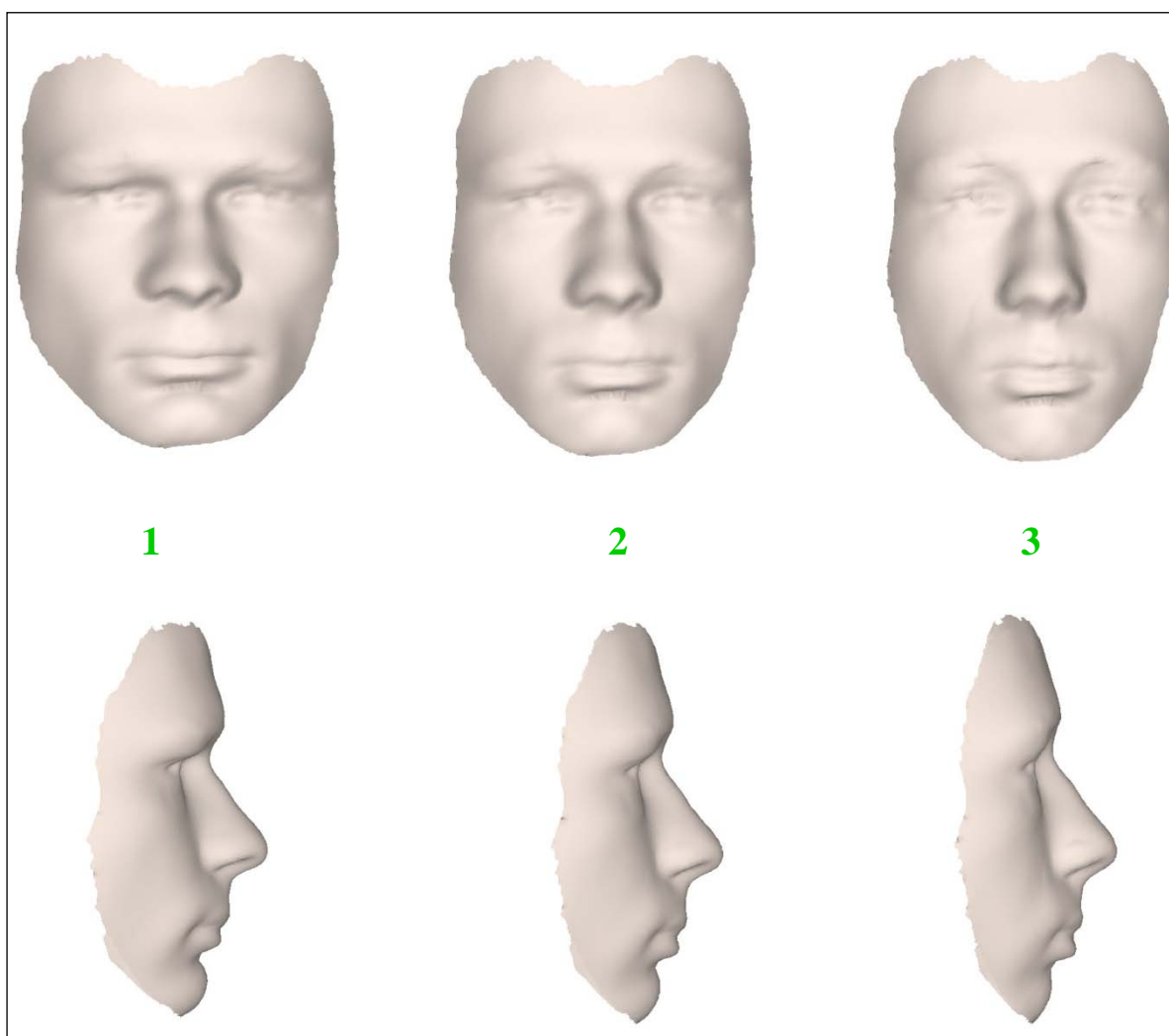
Obr. 4.1. Závislost 1. a 2. hlavní komponenty (PC1, PC2).



Obr. 4. 2. Tvarové změny obličeje, které vyjadřuje první komponenta, PC1 (nahore norma frontalis, dole norma lateralis). Označení 1 až 3 na obrázcích a v grafech odpovídají nejvyšší negativní (1), nulové (2) a nejvyšší pozitivní (3) hodnotě hlavní komponenty nacházející se na příslušné ose grafu.

PC1 (obr. 4.2.) představuje nejvýznamnější hlavní komponentu a zodpovídá za 42,84 % variability. Jedná se o komponentu zahrnující velikost obličeje, kdy záporné hodnoty PC1 odpovídají většímu obličej, směrem ke kladným hodnotám se velikost obličeje zmenšuje a zároveň se i relativně rozšiřuje. Ve směru ke kladným hodnotám se mění oblast glabely, která se stává méně výraznou, pozice čela vzhledem k rovině obličeje se mění z ubíhajícího na kolmé. Dále pak dochází ke značným tvarovým změnám v oblasti nosu, kdy prominující, mírně konvexní nos s ostrým zářezem přechází v jemnější, mírně konkávní tvar nosu. V neposlední řadě nadoboční oblouky jsou směrem ke kladným hodnotám méně klenuté, což je patrné z obou typů pohledů, frontálního i laterálního.

Souhrnně lze tedy na základě komponenty PC1 říci, že obličejové celkově větší jsou zároveň více oválné, mají výraznější nadoboční oblouky, oblast glabely, zářez nosu a ustupující čelo. Nos je zde celkově více prominující, mírně konvexní. Naopak obličejové celkově menší jsou kulatější, s kolmým čelem, méně výraznější oblastí glabely i nadobočních oblouků. Nos má jemnější zářez, prominenci a v některých případech je mírně konkávní.

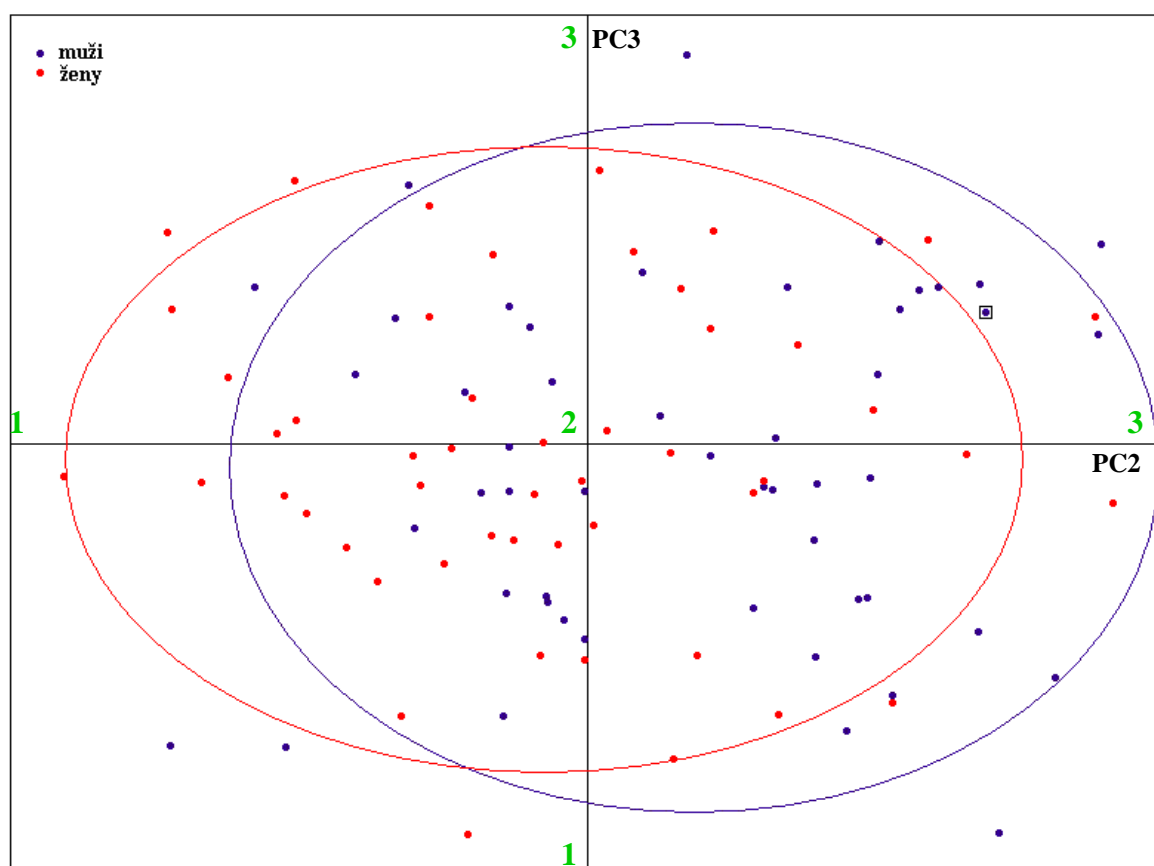


Obr. 4.3. Tvarové změny obličeje, které vyjadřuje druhá komponenta, PC2 (nahore norma frontalis, dole norma lateralis). Označení 1 až 3 na obrázcích a v grafech odpovídají nejvyšší negativní (1), nulové (2) a nejvyšší pozitivní (3) hodnotě hlavní komponenty nacházející se na příslušné ose grafu.

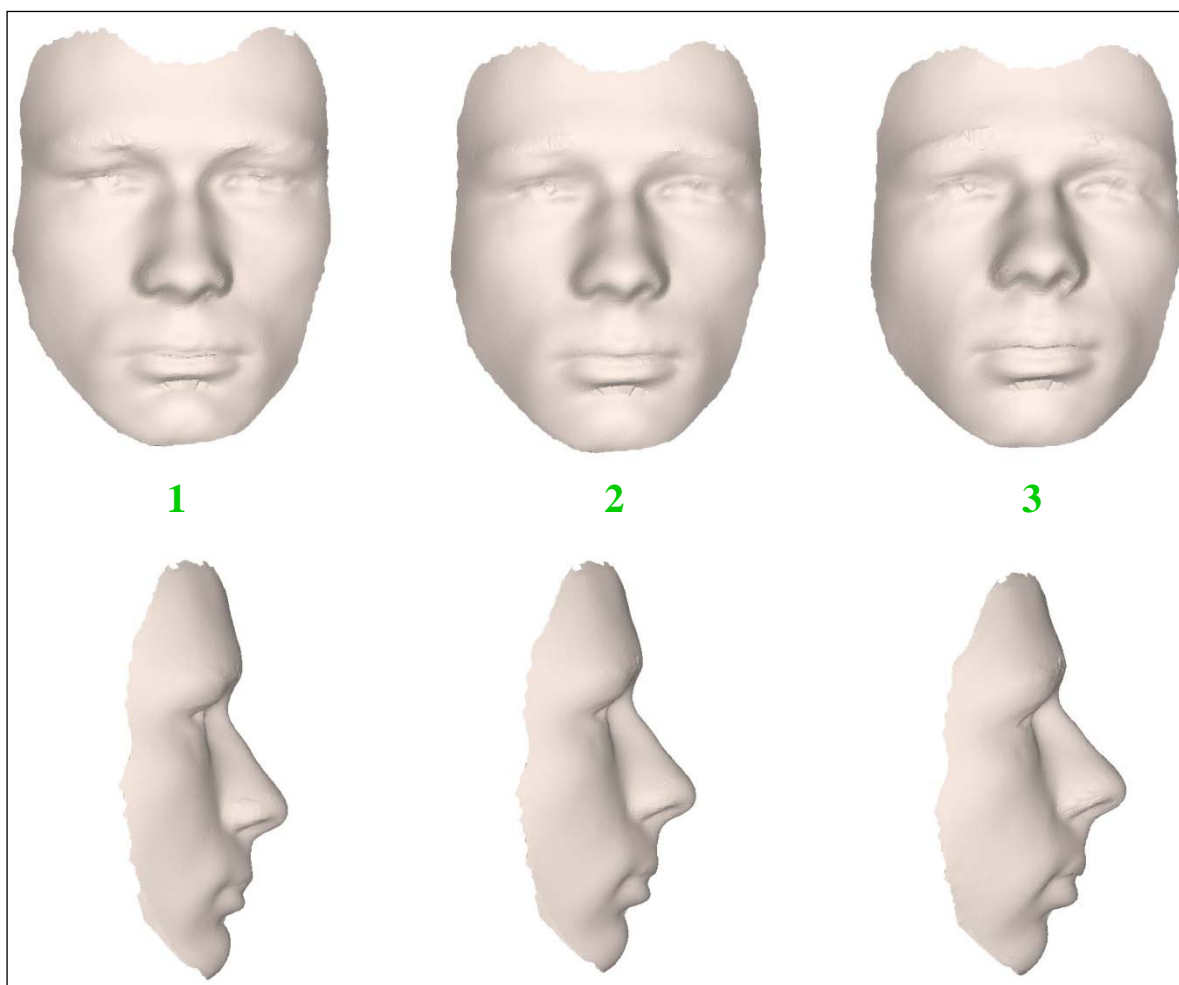
Komponenta PC2 (obr. 4.3.) popisuje 13,10 % variability a je komponentou výškošířkových vztahů obličeje. Nejvýraznější změnou, ke které dochází ve směru od záporných ke kladným hodnotám, je postupné zužování nejen celkového tvaru obličeje, ale

také šířky oční štěrbin, nosu, úst, brady. Dochází ke změnám polohy očnice, kdy oči jsou umístěny hlouběji v očnici, která je zároveň vzhledem k zvětšujícím se hodnotám PC2 vyšší. Zmenšuje se prominence brady, která se posouvá dozadu (posteriorně) a dolu (inferiorně). Sublabiální zářez se stává méně výrazným.

Celkově lze tedy na základě komponenty PC2 říci, že širší obličej mají výrazně vyklenuté nadoboční oblouky i oblast glabely. Z laterálního pohledu je u nich ještě patrná značná prominence brady. Naopak profil užších obličejů se oplošťuje, snižuje se vyklenutost glabelární a nadočnicové oblasti, hrot nosu se mírně posouvá nahoru (superiorně) a spodní ret se v důsledku posunu brady a změny sublabiálního zářezu předsunuje a poklesává.



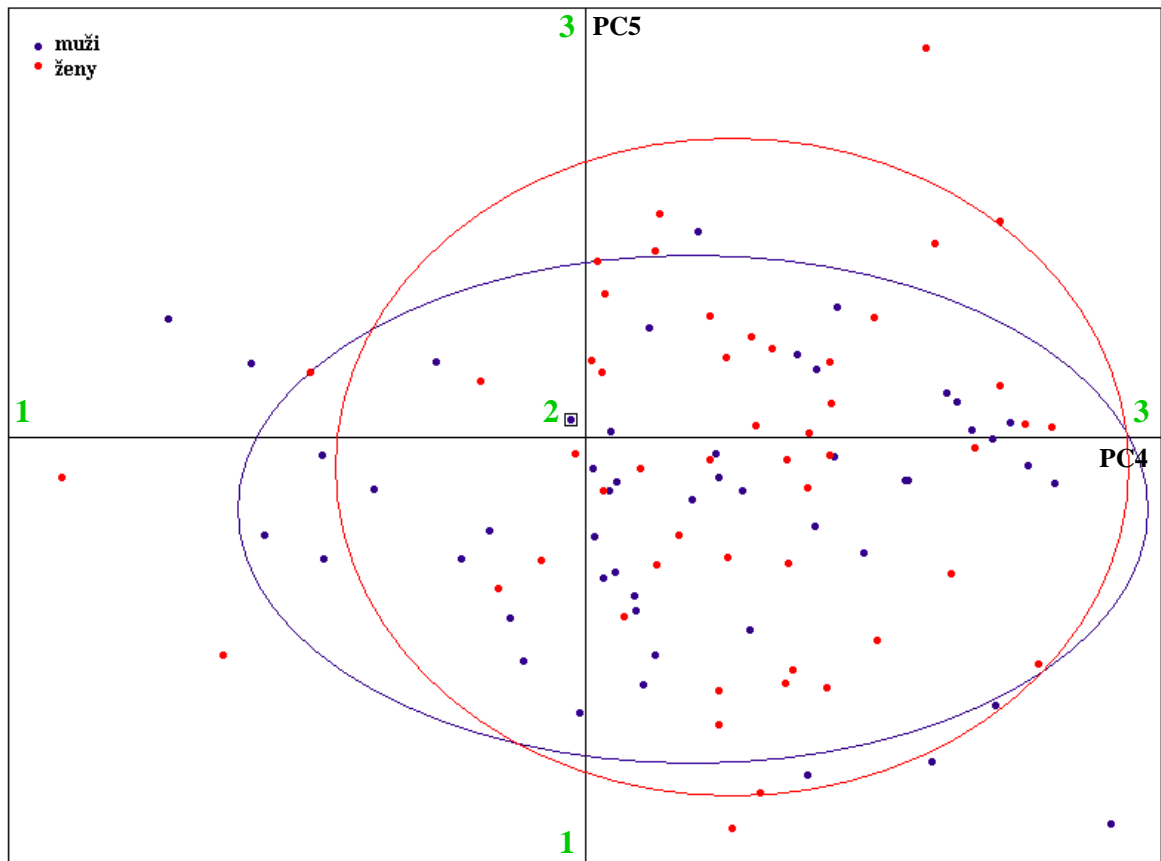
Obr. 4.4. Závislost 2. a 3. hlavní komponenty (PC2, PC3).



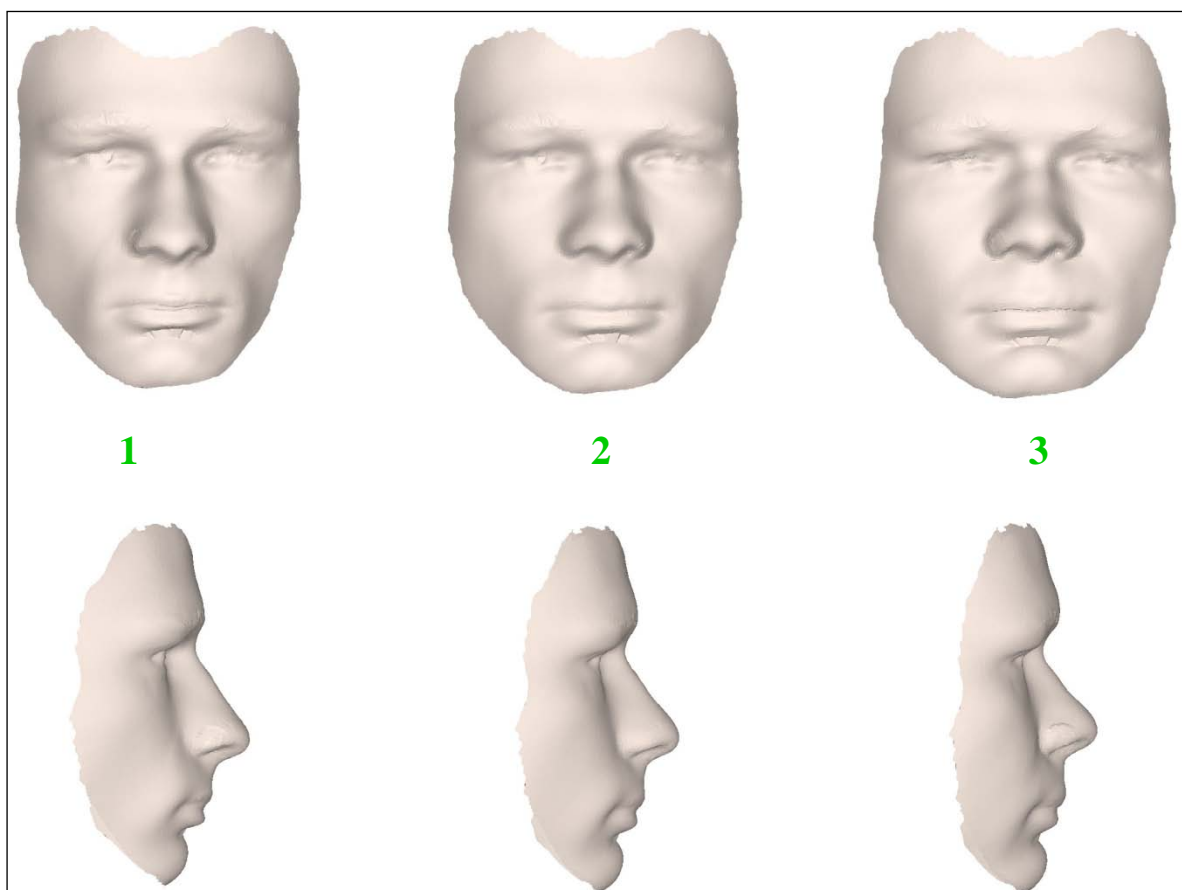
Obr. 4.5. Tvarové změny obličeje, které vyjadřuje třetí komponenta, PC3 (nahore norma frontalis, dole norma lateralis). Označení 1 až 3 na obrázcích a v grafech odpovídají nejvyšší negativní (1), nulové (2) a nejvyšší pozitivní (3) hodnotě hlavní komponenty nacházející se na příslušné ose grafu.

Komponenta PC3 (Obr. 4.5.) zodpovídá za 7,17 % variability a popisuje od záporných směrem ke kladným hodnotám zvětšující se konvexitu profilu obličeje. Obličej se mění ale jak v oblasti čela, tak v oblasti horního i dolního obličeje. Poloha obočí se mění z vodorovné tak, že vnitřní okraje obočí jsou umístěny více nahoře než dolní. Podobnou polohu mají i oční štěrbin, kdy vnější koutky jsou položeny níže než vnitřní. Nos se mění směrem ke kladným hodnotám v silně prominující, špička nosu se posouvá směrem nahoru. Prominující brada s výrazným sublabiálním zářezem se mění v ustupující, zvyšuje se konvexitu obličeje. Této konfiguraci obličeje pravděpodobně odpovídá zvětšený maxilární předkus.

Celkově lze tedy na základě komponenty PC3 říci, že zploštělé obličej mají v mnohem menší míře zastoupenou měkkou tkáň v oblasti dolního obličej. Je patrné, že mají kolmější zakřivení čela, plynulejší nasofrontální přechod, výraznější oblast lících kostí a užší spodní ret. Naproti tomu u konvexního obličej mírně narůstá množství měkké tkáně a obličej se zakulacuje. Zároveň dochází ke značnému předsunutí a vyzvednutí nosu za současného posteriorního zasunutí brady, z čehož vyplývá značná konvexnost obličej.



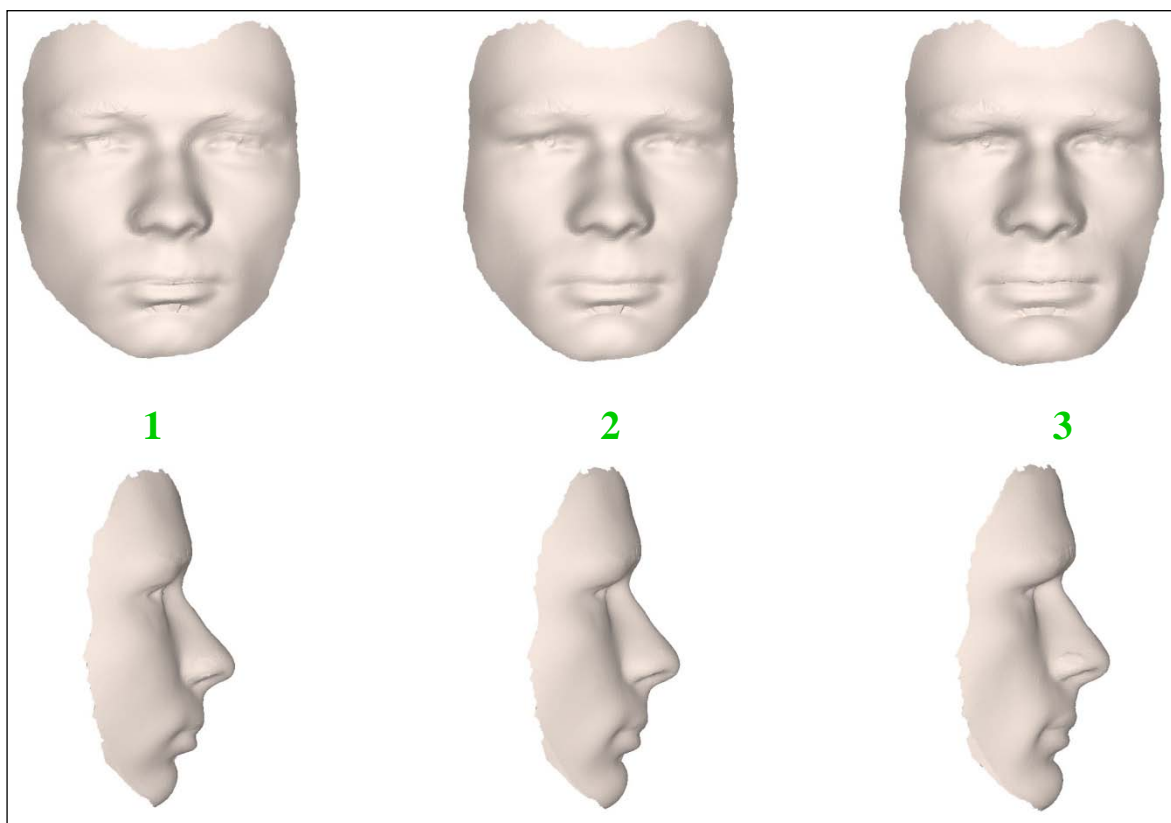
Obr. 4.6. Závislost 4. a 5. hlavní komponenty (PC4, PC5).



Obr. 4.7. Tvarové změny obličeje, které vyjadřuje čtvrtá komponenta, PC4 (nahore norma frontalis, dole norma lateralis). Označení 1 až 3 na obrázcích a v grafech odpovídají nejvyšší negativní (1), nulové (2) a nejvyšší pozitivní (3) hodnotě hlavní komponenty nacházející se na příslušné ose grafu.

Komponenta PC4 (obr. 4.7.) zodpovídá za 6,55 % variability. Popisuje změny ve směru kladných hodnot, kdy se obličej celkově zakulacuje, zároveň dochází k rozšíření meziocní vzdálenosti, nos se mírně rozšiřuje. Prohlubuje se zářez mezi čelní a nosními kostmi, zkracuje se výška nosu. Dolní část obličeje se také rozšiřuje, svalovina v okolí úst se stává méně vystupující.

Celkově lze tedy na základě komponenty PC4 říci, že u širších (kulatějších) obličejů vnitřní část očníce mění svůj tvar a jejich oči jsou méně zapadlé. Mají výrazně vyvinutou oblast glabely, širší nos s nahoru směřující špičkou, přičemž kořen nosu se hluboce zařezává. Naopak užší obličeje mají výraznější oblast lícních kostí a delší rovný nos. Především oblasti měkkých tkání okolo m. masseter mohutní a zvětšují svůj objemu.



Obr. 4. 8. Tvarové změny obličeje, které vyjadřuje pátá komponenta, PC5 (nahore norma frontalis, dole norma lateralis). Označení 1 až 3 na obrázcích a v grafech odpovídají nejvyšší negativní (1), nulové (2) a nejvyšší pozitivní (3) hodnotě hlavní komponenty nacházející se na příslušné ose grafu.

Komponenta PC5 (obr. 4.8.) pokrývá 4,61 % variability. Ve směru od záporných hodnot komponenty došlo k zúžení obličeje, oblast dolní čelisti je však naopak mohutnější. Obličej se celkově mění z jemnějších rysů v hrubší, jako např. oční štěrbina se zužuje, oči se navzájem více přibližují a jsou hlouběji umístěny pod výraznějšími nadobočními oblouky. Oblast brady je širší, více prominující, výrazněji je vytvořena svalovina dolního obličeje.

Celkově lze tedy na základě komponenty PC5 říci, že užší obličeje mají výrazně vyklenutou oblast glabely, více posteriorně uloženou očnici, mohutnější oblast m. masseter a širokou vyčnívající bradu. Naproti tomu širší obličeje mají méně výrazné nadoboční oblouky, oči se jeví méně zapadléjší a v mnohem menší míře je vytvořena svalovina maxilo-mandibulární oblasti.

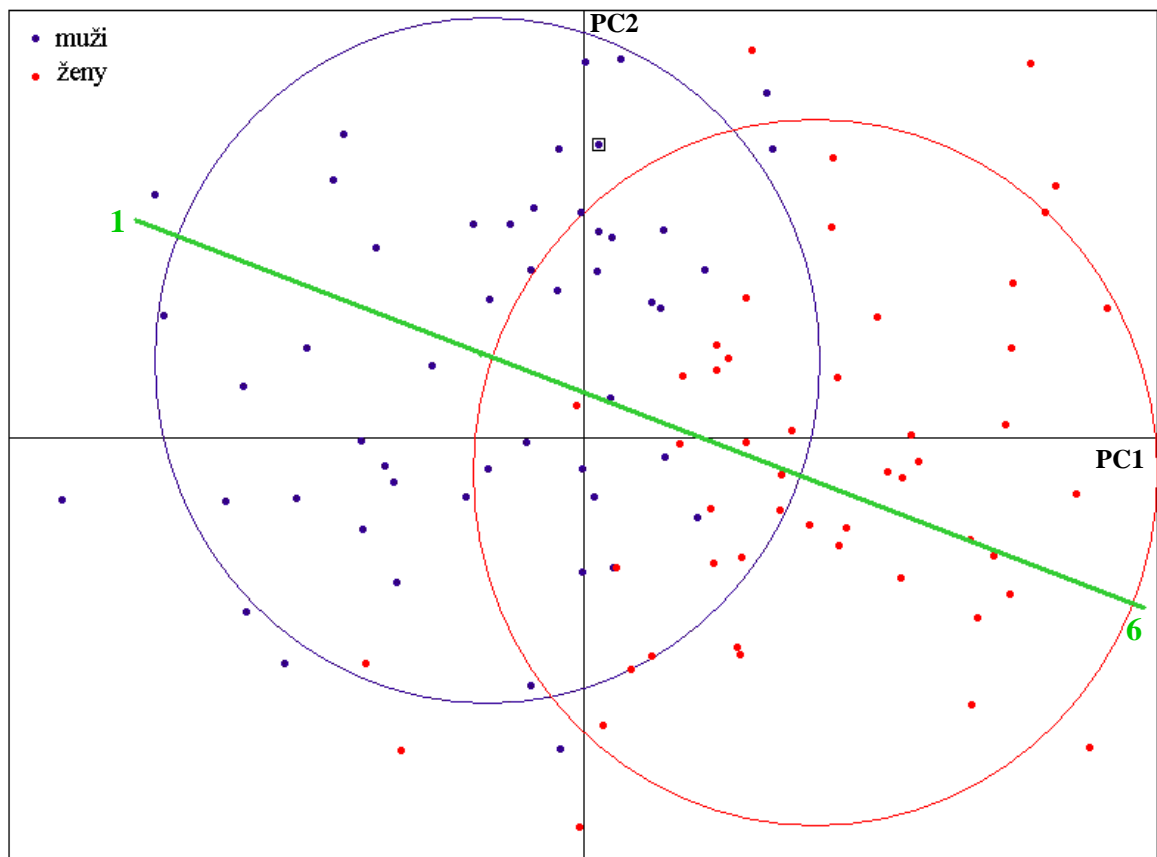
4.2. HODNOCENÍ POHLAVNÍHO DIMORFISMU OBLIČEJE

Stupeň pohlavního dimorfismu byl zjišťován na základě geometricko-morfometrických metod (PCA, FESA).

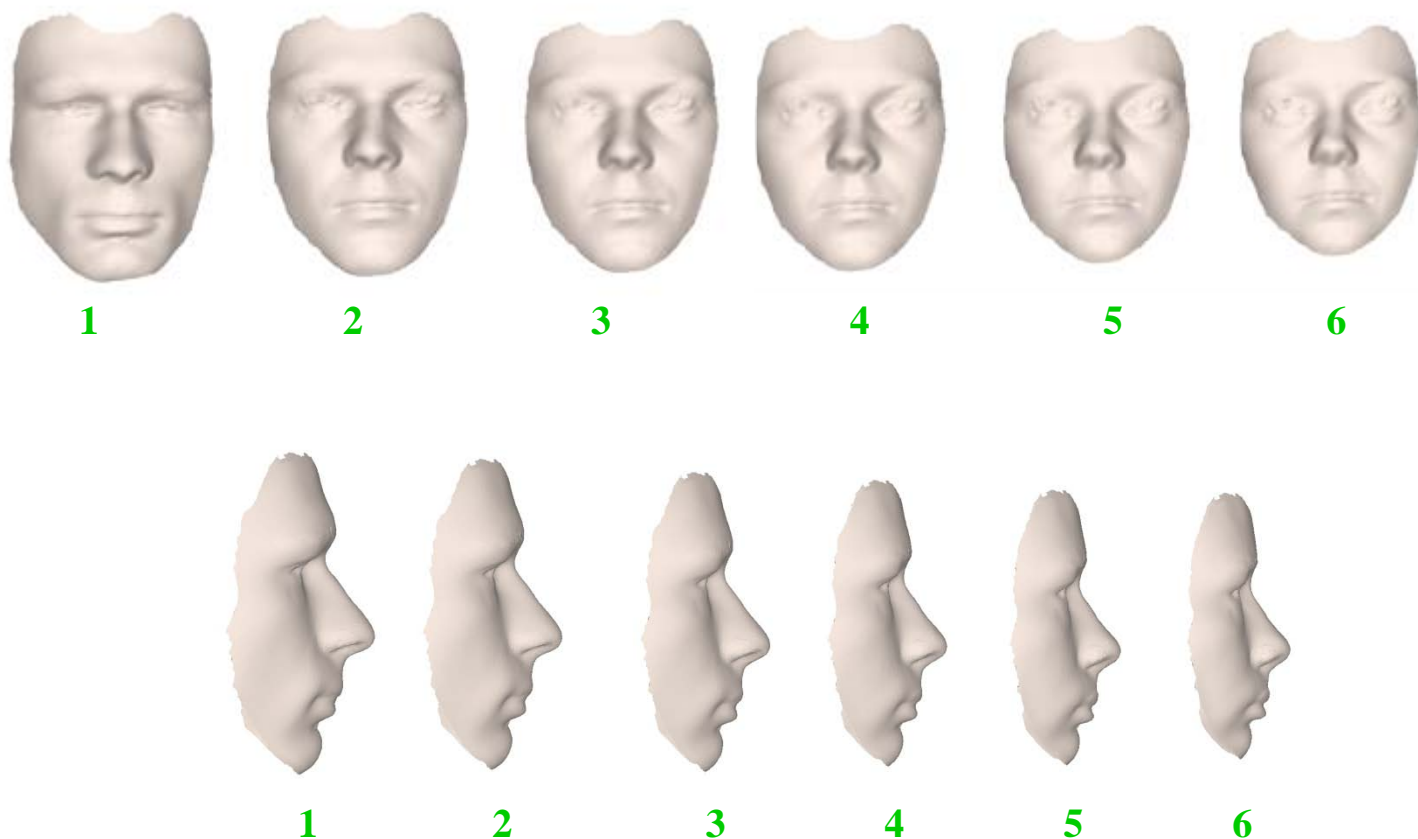
4.2.1. Posouzení sexuálních rozdílů pomocí PCA

K vyhodnocení pohlavních rozdílů byl využit graf vzájemné závislosti mezi hlavními komponentami PC1 a PC2 (obr. 4.1 předešlé kapitoly), které popisují největší část variability, a to 56 % (obr. 4.9.) související s pohlavním dimorfismem. Grafy vzájemných závislostí ostatních komponent pohlavní dimorfismus zkoumaného souboru nevyjadřují.

Spojením centroidů souborů mužů a žen vznikla diagonální osa, ze které lze zaznamenat při posunu z pozice 1 do pozice 6 výrazné změny nejvíce maskulinního obličeje v obličej nejvíce femininní (obr. 4.10.).



Obr. 4.9. Graf znázorňující zelenou spojnicí centroidů souborů, která představuje linii intersexuálních rozdílů.



Obr. 4.10. Pohlavní dimorfismus obličeje sledovaného souboru. Tvarové intersexuální rozdíly od nejvíce maskulinní (1) po nejvíce femininní (6) obličej odpovídají pozici na diagonále grafu na obr. 4.9. (nahore norma frontalis, dole norma lateralis).

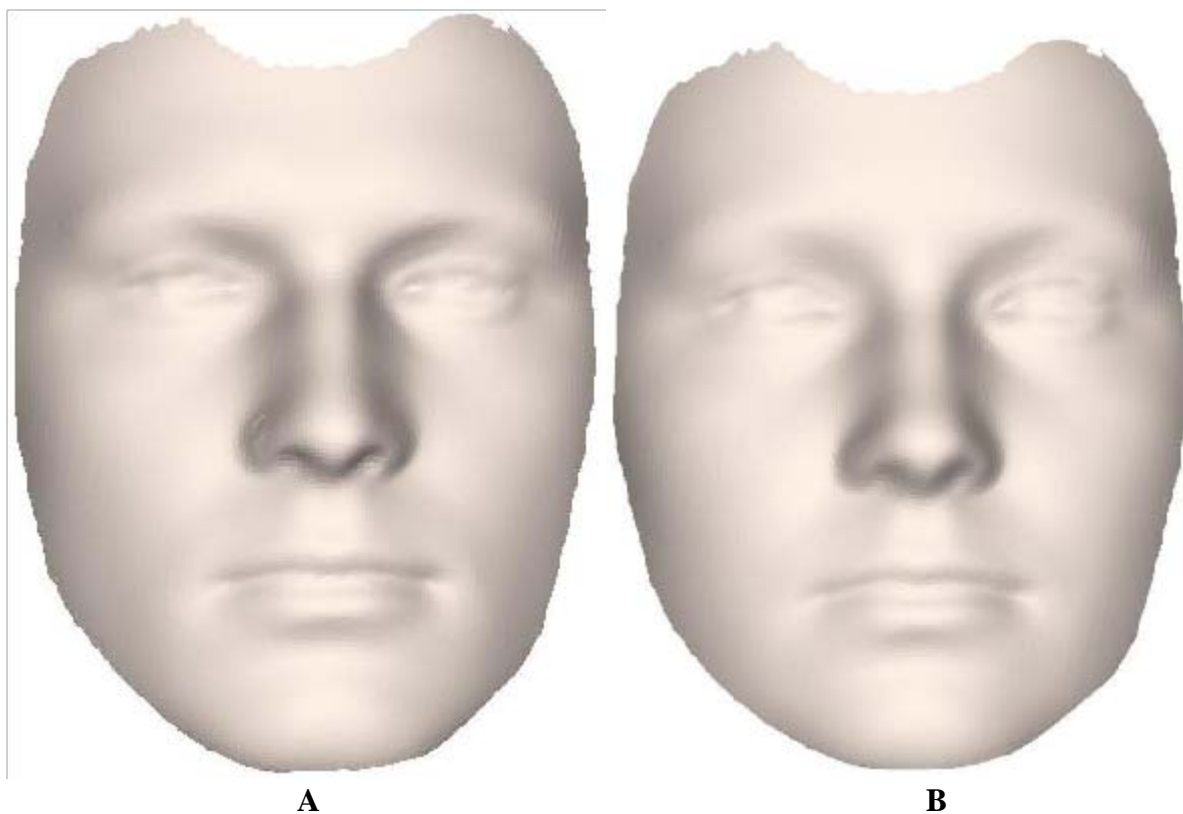
Výše uvedená dokumentace tedy charakterizuje následující rozdíly mezi obličejem dospělých mužů a žen. Čelo mužů je mírně ubíhající s výrazně rozvinutými nadobočními oblouky a glabelární oblastí. Je patrné hluboké tvarování očnice, což může determinovat více zapadlé oči s užší štěrbinou. Muži mají dále široký rovný nos s ostře zaříznutým kořenem, čili nasofrontální přechod není plynulý. Dochází k značnému rozvoji svaloviny dolního obličeje, čímž mužský obličej získává hrubší výraz. Celkově lze říci, že muži mají relativně užší obličej s lehce vystouplými lícními kostmi, menším množstvím měkké tkáně tváří a naopak mohutnou svalovinu obklopující ústní dutinu, která přechází v širokou mírně prominující bradu.

Ženy mají širší trojúhelníkovitý obličej s větším objemem měkké tkáně a s užší bradou, která podmiňuje jeho zašpičatělý tvar. U žen se vytváří kolmé čelo s nevýraznými nadobočnými oblouky, které jen lehce anteriorně vystupují a shora kopírují horní stěnu široké očné. Na nevýraznou oblast glabely plynule navazuje menší krátký nos s mělkým zářezem a superioriorně směřující špičkou. Na kosti ženského obličeje se napojuje větší množství měkkých tkání, především v oblasti lících kostí a tváří obecně. Naopak svalovina dolního obličeje není výrazně rozvinutá a užší, nevýrazně vyčnívající brada uzavírá celkový tvar obličeje.

Změna maskulinního obličeje ve femininní s sebou tedy nese následující změny. Dochází ke zmenšení a současnému relativnímu rozšíření obličeje. Snižuje se prominence nadobočních oblouků, jenž se laterálně posouvají za současného zvětšení vzdálenosti mezi očima. Oční štěrbina se postupně rozšiřuje. Glabelární oblast se oplošťuje a nasofrontální přechod se stává plynulejším. Velikost nosu se zmenšuje a jeho špička směřuje více nahoru. Oblast dolního obličeje se liší především množstvím měkké tkáně a šířkou brady, kdy postupně svalovina ubývá a šířka brady se zmenšuje a více zašpičatňuje.

4.2.2. Posouzení průměrného pohlavního dimorfismu obličeje pomocí metody FESA

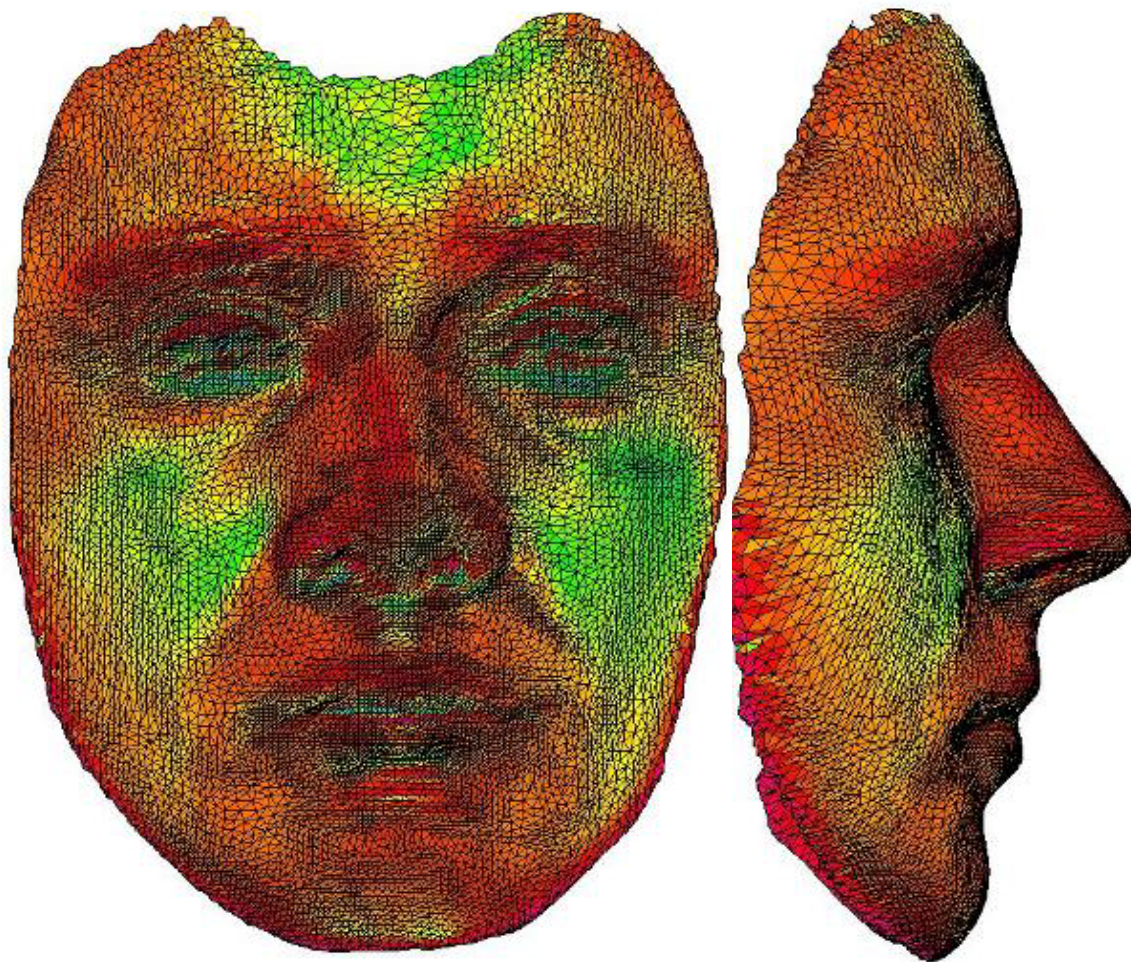
Pro zhodnocení odlišností mezi průměrným ženským a mužským obličejem (obr. 4.11.) byla použita metoda konečných prvků (FESA). Rozdíly mezi průměrnými obličejemi byly rozděleny na rozdíly ve velikosti jednotlivých dílčích povrchů (trojúhelníků) obličeje a také jejich tvaru (podrobněji viz metodika). V obou případech, jak u tvarové tak u velikostní deformace, jako výchozí (referenční) objekt byl použit průměrný ženský obličej, který byl transformován v průměrný mužský obličej.



Obr. 4.11. Průměrný mužský (A) a průměrný ženský (B) obličej.

4.2.2.1. Pohlavní dimorfismus velikosti dílčích jednotek obličeje

Na obr. 4.12. je znázorněn celkový rozdíl velikosti obličeje žen a mužů, který jednoznačně ukazuje na větší velikost mužského obličeje. Tabulka 4.1. shrnuje, jaká procentuální difference velikosti (obsahu) dílčích trojúhelníků odpovídá tomu kterému barevnému znázornění.



Obr. 4.12. Velikostní diference mezi referenčním (ženským) a finálním (mužským) obličejem, kdy barevná škála dílčích povrchových jednotek charakterizuje rozdíl daných segmentů ve velikosti.

Je patrné, že velikostní rozdíly obličeje probíhaly oběma směry. Viditelný pozitivní rozdíl (tj. ve prospěch mužů) je zřetelný v oblasti nosu (resp. kontur nosních dírek), ústní štěrbině a v určitých bodech okrajových částí obličeje. Muži mají tyto oblasti v průměru větší o 60 % až 85 %, kdy např. obrysy nosních dírek zaznamenaly až ~ 85% rozdíl oproti ženám. Poměrně výrazného pozitivního rozdílu dosahuje zejména oblast očních koutků a nadobočních oblouků, kdy některé části vykazují až ~ 59% rozdílu. Kost nosní a obrys horního rtu vykazují výrazný pozitivní rozdíl mezi 25 % až 59 %.

15% až 24% rozdíl velikosti nastal v oblasti nadobočních oblouků, laterálních okrajů čela, nosních křídel, oblasti m. masseter a překvapivě glabelární oblasti. Menší rozdíl ve prospěch mužů se projevil opět v oblasti glabely, která vykazovala v některých částech pouhou 6% diferencí. Obdobně větší byla i převážná část čela, tváří a spodní brady, kdy

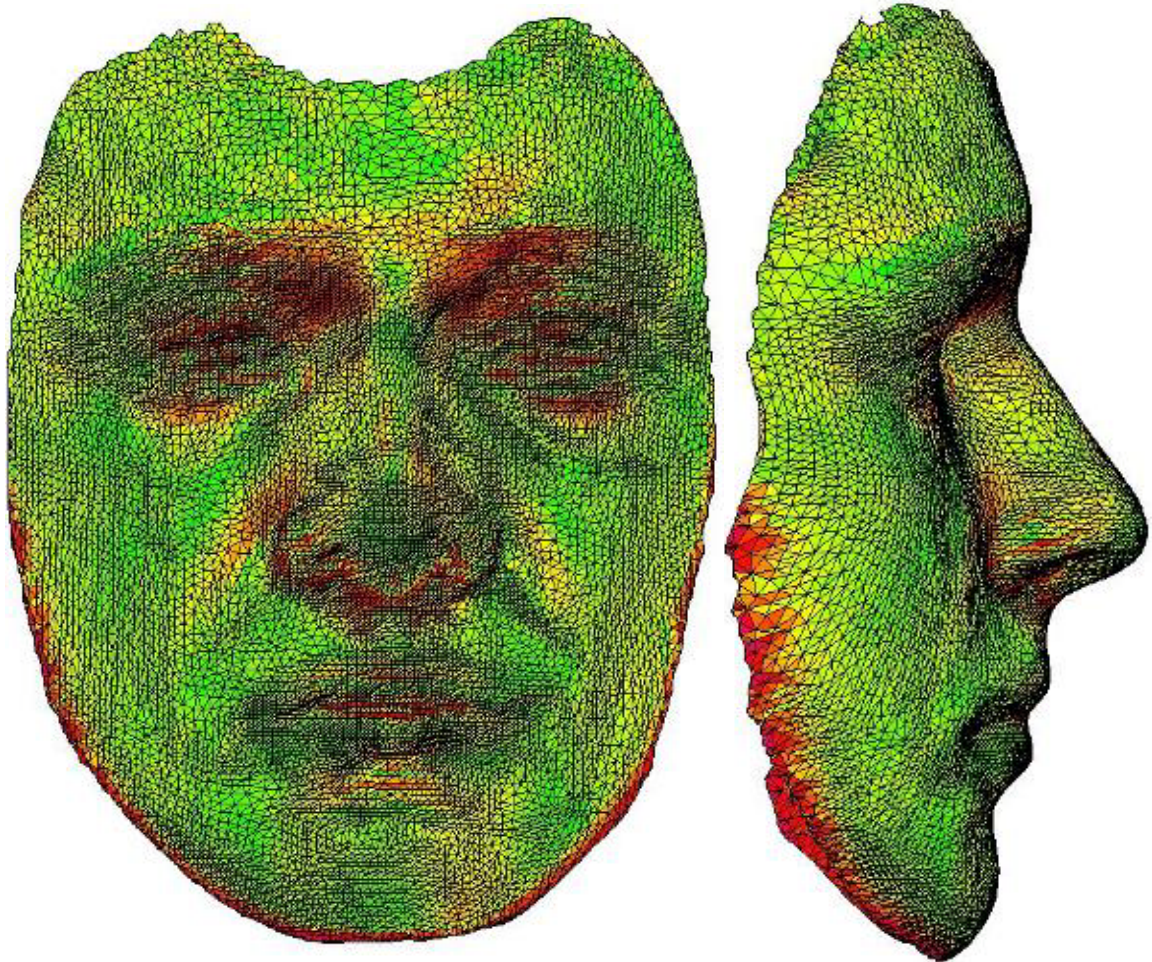
došlo k ~ 20% rozdílu. Téměř žádnou nebo pouze minimální diferencii znázorňuje střední oblast tváří (měkké tkáně napojující se na lícni kosti) a převážná část čela. Velikost spodního okraje nosních dírek a okraje horního rtu zaznamenala u mužů rozdíl 1 % až 19 %, přičemž nejvýraznější rozdíly byly patrné v některých částech očníce (až 40 %).

Tabulka 4.1. Vysvětlení barevné škály, kdy barvy odpovídají procentuálním diferencím velikosti, včetně oblastí obličeje s danými velikostními rozdíly.

Procentuální stupnice (%)	Barevná škála	Oblasti velikostních rozdílů
60 – 80	Tmavě modrá	Vnitřní stěna očníce
81 – 99	Tyrkysová	Vnitřní stěna očníce; spodní kontury nosních dírek; okraj horního rtu
100 – 105	Zelená	Tváře; střední část čela
106 – 114	Žlutá	Tváře; čelo; spodní část brady; glabella
115 – 124	Oranžová	Glabela; laterální okraje čela; nadoboční oblouky; nosní křídla; oblast kruhového svalu ústního; okraje lícních kostí
125 – 159	Červená	Nadočnicové oblouky; oblast kosti nosní; vnitřní koutky očí; kontura horního rtu; okrajové části celého obličeje kromě čela
160 – 185	Růžová	kontury nosních dírek (alare); štěrbina rtů; okrajové části celého obličeje kromě čela

4.2.2.2. Pohlavní dimorfismus tvaru (deformačních rozdílů) dílčích jednotek obličeje

Rozdíly průměrné tvarové proporcionality mužů a žen znázorňuje obr. 4.13. Tabulka 4.2. opět shrnuje procentuální tvarové rozdíly jednotlivých dílčích trojúhelníků a odpovídající barevné znázornění.



Obr. 4.13. Deformační difference mezi referenčním (ženským) a finálním (mužským) obličejem, kdy barevná škála dílčích povrchových jednotek charakterizuje rozdíl daných segmentů ve tvaru (tzv. deformační rozdíly).

Deformační rozdíly nastaly pouze v jednom směru, tzn. že u některých oblastí docházelo pouze k rozdílům v pozitivním směru, nikoliv negativním. Obecně lze říci, že převážná část obličeje neprodělala výraznější deformační rozdíl. Minimální pozitivní tvarové rozdíly (tj. ve prospěch mužů) o 5 % až 9 % nastaly např. ve střední části čela, v malých trojúhelníkových oblastech pod očima, v oblasti linie směřující laterálně dolů od nosních

křídél. Tyto oblasti minimálních diferencí se prolínaly s částmi neprodělávajícími žádný rozdíl a pokrývaly téměř celý obličej.

Největší tvarové rozdíly ve prospěch mužů zaznamenala oblast vnitřní strany očníce, nosních dírek, ústní štěrbiny a některá místa okrajových kontur obličeje (40% až 80% difference). Okrajové části obličeje (ležící na kontuře táhnoucí se od levé lícni kosti přes bradu k pravé lícni kosti), vnitřní horní okraj očníce a oblast pod nosem vykazovaly 20% až 39% diferencí. Rozdíl ve tvaru oproti ženám byl zaznamenán u částí lemujících horní okrajové části očníce, který činil 10 % až 19 %.

Tabulka 4.2. Vysvětlení barevné škály, kdy barvy odpovídají procentuálním deformačním rozdílům dílčí jednotky povrchu, včetně oblastí obličeje s danými tvarovými rozdíly.

Procentuální stupnice (%)	Barevná škála	Oblasti tvarových rozdílů
100 – 104	Zelená	Téměř celý obličej s výjimkou dále uvedených rozdílů
105 – 109	Žlutá	Téměř celý obličej s výjimkou dále uvedených rozdílů
110 – 119	Oranžová	Okrajové části očníce
120 – 139	Červená	Vnitřní horní okraj očníce; subnasální oblast; okrajové části obličeje
140 – 180	Růžová	Střed vnitřní stěny očníce; vnitřní část nosních dírek; štěrbina úst; vnější okrajové kontury obličeje

5. DISKUSE

Práce byla zaměřena na hodnocení variability tvaru obličeje u dospělé české populace. Dále se zabývala posouzením tvaru obličeje s důrazem na pohlavní dimorfismus. Porovnání tvarových rozdílů ženských a mužských obličejů bylo provedeno s využitím moderní metodologie – geometrické morfometrie. Hlavní předností této metody je možnost posoudit tvarovou rozmanitost objektu jako celku, a ne pouze prostřednictvím izolovaných měření vycházející z klasické morfometrie. Proto si geometricko-morfometrické metody získávají stále větší přízeň a zájem odborné antropologické společnosti a zaujímají významnou pozici v biologických vědách (Richtsmeier et al., 2002). V práci byla použita metodologie hodnocení celého povrchu sledované struktury (v našem případě obličeje). Z hlediska srovnávací literatury lze po metodologické stránce srovnávat pouze se zahraniční literaturou, jelikož česká populace byla sledována pouze pomocí klasické morfometrie (např. Bláha and Vignerová, 1999).

Data získaná klasickým měřením rozměrů hlavy zdravých jedinců získané měřením přímým či měřením zdigitalizovaných telorentgenových snímků nachází uplatnění jako normy v mnoha biologických a lékařských disciplínách. Uplatnění lze nalézt při výzkumech zabývajících se původem obyvatelstva a příbuzností jednotlivých národů (Pietrusewsky, 1999), sledováním sekulárních trendů a dlouhodobých změn lineárních rozměrů a charakteristik pozice a tvaru struktur krania během ontogenetického i fylogenetického vývoje (např. Bishara et al., 1984).

V České republice je hodnocení variability obličeje prováděno na základě průřezových a semilongitudiálních studií pro chlapce a dívky od 0 do 16 let, resp. od 6 do 16 let. Prováděla se klasicko-morfometrická měření zejména délkových, šířkových, výškových rozměrů hlavy a obličeje. Bylo mj. zjištěno, že hodnoty indexu facialis (index morfologické výšky obličeje a bizygomatické šířky obličeje), který je vždy vyšší u chlapců, se s věkem u obou pohlaví zvyšují. S věkem roste výrazněji morfologická výška než šířka obličeje, proto se obličej relativně prodlužuje a zužuje. Bizygomatická šířka (vzdálenost nejlaterálnějších bodů na jařmových obloucích) roste proti největší šířce hlavy u obou pohlaví trvale více, přičemž dívky mají obličej k šířce mozkovny vždy širší (Bláha and Vignerová, 1999; Bláha et al., 2006). V této práci při stanovení sexuálních rozdílů na

základě PCA lze vidět, že dospělý mužský obličej je relativně vyšší a užší, zatímco u žen se obličej relativně zkracuje a jeví se jako relativně širší.

Tato práce získává výsledky s využitím metod geometrické morfometrie, které na rozdíl od klasických metod, umožňují porozumět tvaru objektu jako celku, nikoliv nepřímo na základě izolovaných měření. Pro analýzu celkové geometrie objektů je nutné provést metodu Dense correspondence models analysis, kterou podrobně popsal Hutton et al. (2001). K posouzení vývojových změn u pacientů s jednostranným rozštěpem rtu a patra po nasoalveolární modelaci ji využil Singh et al. (2007). V této práci byl na jejím základě vygenerován průměrný mužský a průměrný ženský obličej. Během Dense correspondence models analysis nebyl odstraněn velikostní faktor, tudíž lze hodnotit variabilitu tvaru obličeje se zachováním velikosti.

Hodnocení variability tvaru bylo provedeno na základě analýzy hlavních komponent, kterou ve svých studiích využili např. Hennessy et al., 2002, 2005 nebo Singh et al., 2007. Nejvýznamnější komponenta PC1 podle výsledků diplomové práce zodpovídala za 42,84 % variability a popisovala především velikostní změny obličeje. Vyšší (resp. větší) obličeje mají oválnější tvar s výraznými nadobočními oblouky, vyklenutou oblastí glabely a ubíhajícím čelem. Naproti tomu celkově menší obličeje jsou kulatější s kolmým čelem, nepřítlačnou výraznou glabelou a méně vystupujícími nadobočními oblouky. Komponenta PC2 pokryla 13,10 % variability a popisovala především změny týkající se výšky a šířky obličeje, kdy širší obličeje mají výraznější glabelární oblast, nadoboční oblouky a prominující bradu na rozdíl od obličejů užších. Hennessy et al. (2002) využil PCA pro popsání cerebro-kraniofaciální morfogeneze v souvislosti s pohlavním dimorfismem. Zjistil, že ženský obličej je širší a plošší a oči jsou více laterálně umístěné. Ženy mají menší nos, plnější rty a bradu směřující více dopředu. K popsání pohlavních rozdílů mezi ženami a muži v této diplomové práci bylo také využito komponent PC1 a PC2, které zodpovídaly za téměř 56% variabilitu. Muži mají relativně užší obličej, větší rovný nos a oči umístěné blíže k sobě, což je v souladu s výsledky, které publikoval Hennessy et al. (2002).

Metoda FESA byla popsána a použita ve studiích týkajících se sledování vývoje orofaciální oblasti rozštěpových pacientů autora Singh et al. (2004) a pacientů s malokluzí II. třídy autorů Singh and Thind (2003). V souvislosti s pohlavním dimorfismem není tato analýza využívána ve studiích zahraničních autorů. Výsledky analýzy FESA poskytují názorné barevné mapy, jež zobrazují na první pohled viditelné rozdíly ženského a mužského obličeje. Tyto barevné diagramy jsou doplněny procentuální stupnicí, nezbytnou k vyjádření hodnoty dané velikostní, resp. tvarové změny.

Navzdory předpokladu, že největší rozdíly ve velikosti budou zaznamenány v oblasti glabely a nadobočních oblouků, nejvýznamnější difference nalézáme v oblasti nosu. Linie ohraničující nosní dírky (oblast alare) dokonce vykazovaly rozdíl až ~ 85% proti ženám. Zároveň však kontury spodních okrajů nosních dírek zaznamenaly naopak rozdíl o 1 % až 19 %. Obecně lze říci, že oblast nosu vykazuje spíše pozitivní rozdíl, zejm. podél kosti nosní. Zajímavá je poměrně oblast rtů, kdy kontura horního rtu a ústní štěrbina zaznamenávají výrazný rozdíl (v některých místech až ~80 %) a současně inferiorní okraj horního rtu vykazuje rozdíl pouze 1 % až 19 %. Překvapivě oblasti glabely a některé části nadobočních oblouků prodělaly pouze 15% až 24% diferencí.

Z hlediska deformace nastal největší tvarový rozdíl v oblastech uvnitř očníce, u níž došlo v několika bodech dokonce k 80% rozdílu oproti ženám. Patrně deformační a velikostní difference některých částí očníce zapříčiňují odlišné vyklenutí glabely, které se však v rámci FESA analýzy neprojevilo v takové míře, jak jsme původně předpokládali. Obdobně se výrazně neprojevila ani prominence nadobočních oblouků, u nichž by se také daly očekávat největší velikostně-deformační rozdíly a jejichž vyklenutí je opět spíše ovlivněno tvarem, klenutím a expanzí zejména superiorních stěn očníce.

Pohlavní dimorfismus obličeje

Intersexuální rozdíly hlavy dětí jsou méně patrné, než hlavy dospělých jedinců. Příčinou je delší období růstu zejména během puberty a postpubertálně u chlapců, jehož důsledkem je větší relativní velikost většiny struktur mužského krania. Šmahel et al. (1998) ve své práci uvádí, že intersexuální rozdíly ve velikosti většiny lineárních charakteristik obličeje jsou v dětství obvykle menší než 5 % velikosti znaku, zatímco v dospělosti dosahují 5 % – 10 %

celkové velikosti znaku. Naopak tvarové charakteristiky nevykazují signifikantní intersexuální rozdíly.

Pohlavní dimorfismus velikosti hlavy u dospělých jedinců je výraznější než tvarový. Např. úhlové rozměry, měřené na telerentgenových snímcích nevykazují zdaleka tak výrazný sexuální dimorfismus jako charakteristiky velikosti (Šmahel et al., 1998). Intersexuální rozdíly obličeje se více projevují v jeho velikosti než ve tvaru (Ferrario et al., 1998, 2000). Na základě analýzy hlavních komponent, ve které nejvýznamnější první komponenta PC1 zodpovídá právě za velikostní změny obličeje, můžeme s těmito tezemi souhlasit. Současně to samé potvrzuje provedená metoda konečných prvků, z níž vyplývá, že velikostní rozdíly se projevovaly v mnohem větší míře než deformační rozdíly (ve tvaru).

Ze zahraničních studií byly metody geometrické morfometrie využity ve vztahu k pohlavnímu dimorfismu např. u Hennessy et al., 2002, 2005; Ferrario et al., 1998, 2000, 2003; Nute and Moss, 2000; Enlow and Hans, 1996.

Ženský obličej je širší a z laterálního pohledu plošší (Hennessy et al., 2002). Na základě výsledků z Dense correspondence models analysis a PCA provedených v této práci se zdá, že muži mají vyšší a relativně užší obličej, kdy šířku ženského obličeje ovlivňuje větší objem měkké tkáně, především v oblasti lícnicích kostí a tváří, zatímco muži mají výrazně vyvinutou zejména svalovinu dolního obličeje (oblast žvýkačského svalu). V oblasti středního obličeje jsou šířkové rozdíly minimální. Toto může být v rozporu s tezí, kterou uvedl Ferrario et al. (1998), že muži mají širší, větší a hlubší obličej než ženy. Avšak po srovnání s našimi výsledky z FESA lze souhlasit i s tímto tvrzením, jelikož je z ní patrná celková větší velikost (ve výšce i v šířce) mužského obličeje.

Čelo mužů je ubíhající a vyklenutější v glabelární (~ 20 % diference ve srovnání s ženami) a nadočnicové oblasti, která zaznamenala obdobný rozdíl a v určitých částech i větší (až ~ 59 %). V důsledku této prominence se mužské oči zdají být hlouběji uložené v očníci, jsou také umístěné blíže k sobě a jejich štěrbinu je užší. Naopak ženské oči s širší štěrbinou jsou od sebe více vzdálené. Tyto výsledky jsou ve shodě se studií Hennessy et al. (2005), ve které se střední část ženského čela posouvá dopředu a rozšiřuje se laterálně, z čehož vyplývá jeho kolmější, rovnější tvar a oči vykazují laterálnější umístění a směřují více dopředu. Zřetelný rozdíl velikosti byl zaznamenán v oblasti nosu, v našem případě

dokonce v některých částech až o ~ 80 %. Obecně platí, že mužský nos je větší s rozšířenějšími nosními křídly (Enlow and Hans, 1996), zatímco ženský nos je menší, užší, méně prominující s nahoru směřující špičkou (Hennessy et al., 2002), což se také potvrdilo v našich výsledcích.

Výrazné tvarové rozdíly vykazuje dolní třetina obličeje, která bývá u mužů větší a více směřující dopředu a dolu (Ferrario et al., 1999). U mužů jsme mohli sledovat mohutnější mandibulární oblast, s výrazně klenutou svalovinou kolem ústního otvoru a širší bradou než v případě žen. Obdobně Hennessy et al. (2005) popsal, že se ženská brada zmenšuje a posouvá nahoru a dozadu. V oblasti rtů jsme zaznamenali výrazný pozitivní rozdíl kontury horního rtu a ústní štěrbiny, zároveň došlo k malému negativnímu rozdílu dolního okraje horního rtu u mužů. Vzhledem k tomu, že převládl rozdíl v pozitivním smyslu nad negativním mohli bychom usuzovat, že muži budou mít větší ústa, což je v rozporu s některými studii, podle kterých ženské rty dosahují větších rozměrů a jsou více prominující než u mužů (Enlow and Hans, 1996; Ferrario et al., 2000).

6. ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce se zabývá variabilitou tvaru obličeje u současné dospělé české populace. Je založena na studiu povrchových 3D modelů obličejů 50 žen (průměrný věk: 21,6 let) a 50 mužů (21,1 let). Data byla získána pomocí InSpeck 3D digitizéru a zpracována s využitím metod geometrické morfometrie.

Metoda Dense correspondence models analysis, jenž byla přímo vytvořena pro potřeby geometrické morfometrie, umožnila vygenerovat na základě souboru povrchových modelů průměrný ženský a průměrný mužský obličej. Ty mohou být dále využity ve forenzní a biomedicínké antropologie jako normy např. pro porovnávání s patologicky se vyvíjejícím modelem, pro diagnostiku a predikaci vad faciální oblasti atd.

Pro popis variability tvaru obličeje byla využita analýza hlavních komponent (PCA). Ke zhodnocení bylo použito pět hlavních komponent, které dohromady popsaly 74,27 % variability, přičemž PC1 a PC2 zodpovídaly za 56 % variability. Na základě těchto dvou nejvýznamnějších komponent byly charakterizované především velikostní a výško-šířkové poměry tvaru obličeje včetně znaků, které vykazují výrazný pohlavní dimorfismus.

Pohlavní dimorfismus lidského obličeje byl popsán dvěma způsoby. První způsob vycházel ze vzájemné závislosti dvou nejvýznamnějších komponent PC1 a PC2, kdy v grafu spojení centroidů obou souborů vznikla diagonální osa (maskulinně-femininní), ze které lze odečíst znaky pohlavního dimorfismu. První charakteristický znak se týká čela, které je u žen kolmější a v mnohem menší míře se vyklenují nadoboční oblouky a oblast glabely. Oči u žen jsou laterálněji uloženy se širší šterbinou. Dále mají kratší menší nos vykazujícím plynulejší nasofrontální přechod. Souhrnně lze říci, že ženský obličej se jeví jako relativně širší a menší s nepřilíš vyklenutou bradou.

Druhý způsob spočíval v metodě konečných prvků (FESA), která umožnila popsat velikostní a deformační rozdíly mezi ženami a muži. Výrazněji se pohlavní dimorfismus projevil ve velikosti než ve tvaru. Muži vykazovali zřetelné rozdíly v oblasti nosu (resp. kontur nosních dírek), ústní šterbiny a v určitých bodech okrajových částí obličeje. Oblast

vnitřní strany očníce, nosních dírek, štěrbiny úst a některé body okrajových kontur obličeje vykazovaly největší deformační rozdíly ve prospěch mužů.

Celkově k pohlavnímu dimorfismu lze říci, že muži mají oproti ženám ustupující čelo s vyklenutými nadobočními oblouky a výraznou glabelou, hlouběji umístěné oči v očníci, větší širší nos s ostřejším zářezem mezi nosními kostmi a čelní kostí a mohutnější dolní obličej se značně rozvinutou svalovinou.

7. SEZNAM LITERATURY

Bishara SE, Jakobsen JR, Treder J, Nowak A. 1997. Arch width changes from 6 weeks to 45 years of age. *Am J Orthod Dentofac* 111:401–409.

Bishara SE, Jorgensen GJ, Jakobsen JR. 1995. Changes in facial dimensions assessed from lateral and frontal photographs. Part II-Results and conclusions. *Am J Orthod Dentofac* 108:489–499.

Bishara SE, Peterson LC, Bishara EC. 1984. Changes in facial dimensions and relationships between the ages of 5 and 25 years. *Am J Orthod* 85:238–252.

Bláha P, Vignerová J. 1999. Vývoj tělesných parametrů českých dětí a mládeže se zaměřením na rozměry hlavy (0 - 16 let), Díl 1. Praha: Státní zdravotní ústav.

Bláha P, Vignerová J. 1999. Vývoj tělesných parametrů českých dětí a mládeže se zaměřením na rozměry hlavy (0 - 16 let), Díl 2. Praha: Státní zdravotní ústav.

Bláha P, Krejčovský L, Jiroutová L, Kobzová J, Sedlak P, Brabec M, Riedlová J, Vignerová J. 2006. Somatický vývoj současných českých dětí, semilongitudiální studie (6 - 16 let). Praha: Státní zdravotní ústav.

Blažek V, Trnka R. 2008. Lidský obličej. Praha: Karolinum.

Bookstein FL. 1991. Morphometric tools for landmark data. Cambridge: Cambridge University Press.

Borovanský L. 1936. Pohlavní rozdíly na lebce člověka. Praha: Česká akademie věd a umění.

Burian F. 1966. Plastic surgery in research on the pathological process in the maxillofacial sphere. *Acta Chir Plast* 8:159.

Burian F, Farkas LG, Hajnis K. 1964. The use of anthropology in observation of facial clefts. *Anthropologie* 1:41.

Breedlove SM. 1992. Sexual dimorphism in the vertebrate nervous system. *J Neurosci* 12:4133–4142.

Clement JG, Marks MK. 2005. *Computer-graphic facial reconstruction*. USA: Elsevier Academic Press.

Cohen MM. 2002. Malformations of the craniofacial region. *Am J Med Genet* 115:245–268.

Cole III TM, Richtsmeier JT. 1998. A simple method for visualization of influential landmarks when using euclidean distance matrix analysis.

Čihák R. 1987. *Anatomie I*. Praha: Avicenum.

Diewert VM, Lozanoff S, Choy V. 1993. Computer reconstructions of human embryonic craniofacial morphology showing changes in relations between the face and brain during primary palate formation. *J Cran Genet Dev Bio* 13:193–201.

Enlow DH. 1990. *Facial growth*. Philadelphia: W.B. Saunders.

Enlow DH, Hans MG. 1996. *Essentials of facial growth*. Philadelphia: W.B. Saunders.

Farkas LG. 1981. *Anthropometry of the head and face in medicine*. New York: Elsevier.

Farkas LG. 1994. *Anthropometry of the head and face*. New York: Raven Press.

Farkas LG, Hreczko TA. 1994. Age-related changes in selected linear and angular measurements of the craniofacial complex in healthy North American Caucasians. In: Farkas LG, editors. *Anthropometry of the head and face*. New York: Raven Press. p 89–102.

Farkas LG, Posnick JC. 1992. Growth and development of regional units in the head and face based on anthropometric measurements. *Cleft Palate-Cran J* 29:301–329.

Fedosyutkin BA, Nainys JV. 1993. The relationship of skull morphology to facial features. In: Iscan MY, Helmer RP, editors. *Forensic analysis of the skull*. New York: Wiley-Liss Inc. p 199–213.

Ferrario VF, Sforza C, Miani A, Poggio CE, Schmitz J. 1992. Harmonic analysis and clustering of facial profiles. *Int. J. Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery* 7:171–179.

Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Schmitz JH. 1998. Facial volume changes during normal human growth and development. *Anat Rec* 250:480–487.

Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Ciusa V, Colombo A. 2000. Normal growth and development of the lips: a 3-dimensional study from 6 years to adulthood using a geometric model. *J Anat* 196:415–423.

Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Colombo A, Ciusa V. 1999. Soft tissue facial growth and development as assessed by the three-dimensional computerized mesh diagram analysis. *Am J Orthod Dentofac* 116:215–226.

Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Ciusa V, Dellavia C. 2003. Growth and aging of facial soft tissues: A computerized three-dimensional mesh diagram analysis. *Clin Anat* 16:420–433.

Fetter V, Prokopec M, Suchý J, Titlbachová S. 1967. *Antropologie*. Praha: Academia.

Foley TF, Mamandras AH. 1992. Facial growth in females 14 to 20 years of age. *Am J Orthod Dentofac* 101:248–254.

Genecov JS, Sinclair PM, Dechow PC. 1990. Development of the nose and soft tissue profile. *Angle Orthod* 60:191–198.

Gerasimov MM. 1971. The face finder. New York: Hutchinson. In: Wilkinson C, editor. 2004. Forensic facial reconstruction. New York: Cambridge university press.

Hajnis K, Farkas LG. 1965. A suggested method of anthropometric investigation of cheiloschisis, gnathoschisis, and palatoschisis. *Anthropologie* 2:11.

Hajnis K, Farkas LG. 1969. Anthropological record for congenital developmental defects of the face (especially clefts). *Acta Chir Plast* 11:261.

Hennessy RJ, Kinsella A, Waddington JL. 2002. 3D Laser surface scanning and geometric morphometric analysis of craniofacial shape as an index of cerebro-craniofacial morphogenesis: Initial application to sexual dimorphism. *Society of biological psychiatry* 51:507–514.

Hennessy RJ, McLearnie S, Kinsella A, Waddington JL. 2005. Facial surface analysis by 3D laser scanning and geometric morphometrics in relation to sexual dimorphism in cerebral–craniofacial morphogenesis and cognitive function. *J Anat* 207:283–295.

Hutton TJ, Buxton BF, Hammond P. 2001. Dense surface point distribution models of the human face. In *Proc. IEEE Workshop on Mathematical Methods in Biomedical Image Analysis*. Kauai, Hawaii 153–160.

Iscan MY, Helmer RP. 1993. Forensic analysis of the skull. New York: Wiley-Liss Inc.

Katsikitis M. 2003. The human face measurement and meaning. USA: Kluwer academic publishers.

Kjaer I. 1995. Human prenatal craniofacial development related to brain development under normal and pathological conditions. *Acta Odontol Scand* 53:135–143.

Kolar JC, Salter EM. 1997. Craniofacial anthropometry. Springfield: Thomas.

Komori M, Kawamura S, Ishihara S. 2009. Effect of averageness and sexual dimorphism on the judgment of facial attractiveness. *Elsevier* 49:862–869.

Kotrčová A, Hanušová J, Pivoňková V, Flegr J, Havlíček J. 2006. Přisuzování osobnostních rysů na základě vzhledu obličeje. In: Sikl R, Spok D, Heller D, Voboril D, Lukavský J. 2006. Praha: Sborník z konference Kognice. p 81–84.

Krogman WM. 1948. A handbook of the measurement and interpretation of height and weight in the growing child. Blackwell Publishing. In: Clement JG, Marks MK, editors. 2005. Computer-graphic facial reconstruction. USA: Elsevier Academic Press.

Kuželka V. 1999. Osteometrie. In: Stloukal M, editor. *Antropologie – Příručka pro studium kostry*. Praha: Národní muzeum. p 40–111.

Lele S, Richtsmeier J. 2001. An invariant approach to the statistical analysis of shapes. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC. In: Richtsmeier JT, Delon VB, Lele SR. 2002. The promise of geometric morphometrics. *Yearb Phys Anthropol* 45:63–91.

Lieberman DE, Pearson OM, Mowbray KM. 2000. Basicranial influence on overall cranial shape. *J Hum Evol* 38:291–315.

Macholán M. 1999. Prokrustes, deformace a nová morfometrie. *Vesmír* 78:35–39.

Martin R, Saller K. *Lehrbuch der anthropologie*. Stuttgart: G. Fischer Verlag.

Mitteroecker P, Gunz P. 2009. Advances in geometric morphometrics. *Evol Biol* 36:235–247.

Nanda RS, Meng H, Kapila S, Goorhuis J. 1990. Growth changes in the soft tissue facial profile. *Angle Orthod* 60:177–190.

Neave RAH. 1998. Age changes in the face in adulthood. *Craniofacial identification in forensic medicine*. Sydney: Arnold Publications.

Norton NS. 2007. Netter's head and neck anatomy for dentistry. Philadelphia: Saunders Elsevier.

Nute SJ, Moss JP. 2000. Three-dimensional facial growth studied by optical surface scanning. *Journal of orthodontics* 27:31–38.

Penin X, Berge Ch, Baylac M. 2002. Ontogenetic study of the skull in modern humans and common chimpanzees: Neotenic hypothesis reconsidered with a tridimensional Procrustes analysis. *Am J Phys Anthropol* 118:50–62.

Pietrusewsky M. 1999. A multivariate craniometric study of the inhabitants of the Ryukyu Islands and comparisons with cranial series from Japan, Asia, and the Pacific. *Anthropol Sci* 104:255–281.

Richtsmeier JT, Delon VB, Lele SR. 2002. The promise of geometric morphometrics. *Yearb Phys Antropol* 45:63–91.

Richtsmeier J, Lele S. 1990. Analysis of craniofacial growth in Crouzon syndrome using landmark data. *J Cran Genet Dev Bio* 10:39–62.

Sforza C, Laino A, D'Alessio R, Dellavia C, Grandi G, Ferrario VF. 2007. Three-dimensional facial morphometry of attractive children and normal children in the deciduous and early mixed dentition. *Angle Orthod* 77:1025–1033.

Singh, GD, Levy-Bercowski, D, Santiago, PE. 2005. Three-dimensional nasal changes following nasoalveolar molding in patients with unilateral cleft lip and palate: Geometric morphometrics. *Cleft Palate-Cran J* 42:403–409.

Singh, GD, Levy-Bercowski, D, Yañez, MA, Santiago, PE. 2005. Three-dimensional facial morphology following surgical repair of unilateral cleft lip and palate in patients after nasoalveolar molding. *Cleft Palate-Cran J* 10:161–166.

- Singh GD, Rivera-Robles J, de Jesus-Vinas J. 2004. Longitudinal craniofacial growth patterns in patients with orofacial clefts: geometric morphometrics. *Cleft Palate-Cran J* 41:136–143.
- Singh GD, Thind BS. 2003. Effects of the headgearactivator Teuscher appliance in the treatment of class II division 1 malocclusion: a geometric morphometric study. *Orthod Craniofacial Res* 6:88–95.
- Slice DE. 2005. Modern morphometrics. In: Slice DE, editor. 2005. *Modern morphometrics in physical anthropology*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. p 1–45.
- Smith SL, Bushang PH. 2002. Midsagittal facial soft-tissue growth of French Canadian adolescents. *Am J Hum Biol* 14:457–467.
- Sperber GH. 2001. *Craniofacial development*. BC Decker.
- Stloukal M. 1999. *Antropologie – Příručka pro studium kostry*. Praha: Národní muzeum.
- Šmahel Z. 2001. *Principy, teorie a metody auxologie*. Praha: Karolinum.
- Šmahel Z, Šabík D, Tomanová M, Müllerová Ž. 1998. Basic characteristics of the postnatal development of the human cranium. *Anthropologie* 36:23–249.
- Taylor K. 2001. *Forensic art and illustration*. Boca Raton: CRC Press.
- Ursi WJS, Trotman CA, McNamara JA, Behrents RG. 1993. Sexual dimorphism in normal craniofacial growth. *Angle Orthod* 63:47–56.
- Vacek Z. 1992. *Embryologie pro pediatrii učebnice pro lékařské fakulty*. Praha: Karolinum.

Vanco C, Kasai K, Sergi R, Richards LC, Townsend GC. 1995. Genetic and environmental influences on facial profile. *Aust Dent J* 40:104–109.

Velemínská J, Katina S, Šmahel Z, Sedláčková M. 2006. Analysis of facial skeleton shape in patients with complete unilateral cleft lip and palate: geometric morphometry. *Acta Chir Plast* 1:25–31.

Velemínská J, Šmahel Z, Katina S. 2007. Development prediction of sagittal intermaxillary relations in patients with complete unilateral cleft lip and palate during puberty. *Acta Chir Plast* 49:41–46.

Velemínská J, Šmahel Z, Müllerová Ž. 2003. Facial Growth and Development during the Pubertal Period in Patients with Complete Unilateral Cleft of Lip and Palate. *Acta Chir Plast* 45:22–31.

Waddington JL, Lane A, Larkin C, O'Callaghan E. 1999. The neurodevelopmental basis of schizophrenia: clinical clues from cerebro-craniofacial dysmorphogenesis, and the roots of a lifetime trajectory of disease. *Biol Psychiat* 46:31–39.

Waters K. 1992. A physical model of facial tissue and muscle articulation derived from computer tomography data. *SPIE Visualization in Biomedical Computing* 1808:574–583.

Wilkinson C. 2004. *Forensic facial reconstruction*. New York: Cambridge university press.

Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. 2004. *Geometric morphometrics for biologists*. USA: Elsevier Academic Press.

Zima J, Macholán M, Munclinger P, Piálek J. 2004. *Genetické metody v zoologii*. Praha: Karolinum.

Internetový odkaz:

<http://www.inspeck.com/> [cit. 15. 04. 2009]