



Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Katedra antropologie a genetiky člověka



**Vývojové změny obličeje v období  
pubertálního spurtu ve vztahu k  
identifikacím nezletilých a juvenilních  
osob**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Bc. Jana Špačková**

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jana Velemínská, Ph.D.

Praha 2012



**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Praze, 27. 8. 2012

Jana Špačková



**Poděkování:**

Za odborné konzultace, cenné rady a připomínky bych chtěla poděkovat především své školitelce RNDr. Janě Velemínské, PhD. Poděkování patří též Mgr. Pavle Zedníkové-Malé za cenné rady z oblasti forenzní praxe a dále celému kolektivu 3D laboratoře zobrazovacích technik.

Práce vznikla za podpory výzkumného záměru GAUK č. 674812.

# Obsah

<b>ABSTRAKT .....</b>	<b>6</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>2 TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
2.1 HODNOCENÍ OBLIČEJE Z HLEDISKA FOREZNÍ ANTROPOLOGIE .....	10
2.1.1 Individuální identifikace .....	10
2.1.1.1 Metodologie identifikace dle obličeje .....	10
2.1.1.1.1 Morfoskopické analýzy .....	11
2.1.1.1.2 Morfometrické analýzy .....	12
2.1.1.1.3 Superprojekční analýzy .....	13
2.1.2 Odhad věku a progrese vývoje obličeje .....	14
2.1.2.1 Odhad věku .....	15
2.1.2.1.1 Subjektivní posouzení věku.....	15
2.1.2.1.2 Metody odhadu věku dle obličeje.....	16
2.1.2.2 Věková progrese lidského obličeje (tzv. aging) .....	17
2.1.3 Rekonstrukce obličeje dle lebky .....	19
2.2 ONTOGENETICKÝ VÝVOJ OBLIČEJE .....	21
2.2.1 Obecné zákonitosti ontogenetického vývoje.....	21
2.2.2 Kraniofaciální růst .....	22
2.2.2.1 Neurokranium .....	23
2.2.2.2 Splanchokranium .....	24
2.2.3 Morfologický vývoj obličeje.....	26
2.2.3.1 Základní proporční charakteristiky .....	26
2.2.3.2 Růst a vývoj obličeje v období puberty s ohledem na pohlavní dimorfismus .....	27
<b>3 CÍL PRÁCE.....</b>	<b>31</b>
<b>4 MATERIÁL.....</b>	<b>32</b>
<b>5 METODIKA.....</b>	<b>33</b>
5.1 SBĚR A ÚPRAVA DAT .....	33
5.2 VLASTNÍ HODNOCENÍ – METODY GEOMETRICKÉ MORFOMETRIE .....	34
5.2.1 Dense correspondence analýza (DCA) .....	34
5.2.2 Analýza hlavních komponent (PCA) .....	36
5.2.3 Superprojekce dvou modelů (tzv. shell-to-shell deviation maps) .....	36
5.3 STATISTICKÉ HODNOCENÍ .....	37
5.3.1 Suťový graf (tzv. scree plot) .....	37
5.3.2 Dvouvýběrové testy .....	37
<b>6 VÝSLEDKY .....</b>	<b>39</b>
6.1 HODNOCENÍ TVARU A VELIKOSTI OBLIČEJE CHLAPCŮ .....	40
6.1.1 Hodnocení variability formy obličeje chlapců.....	40
6.1.2 Hodnocení variability tvaru obličeje chlapců.....	45
6.1.3 Hodnocení změn morfologie obličeje v průběhu růstu u chlapců .....	52
6.2 HODNOCENÍ TVARU A VELIKOSTI OBLIČEJE DÍVEK .....	57
6.2.1 Hodnocení variability formy obličeje dívek.....	57
6.2.2 Hodnocení variability tvaru obličeje dívek .....	64
6.2.3 Hodnocení změn morfologie obličeje v průběhu růstu u dívek .....	70
6.3 HODNOCENÍ POHLAVNÍHO DIMORFISMU.....	75
6.3.1 Pohlavní dimorfismus z hlediska variability formy a tvaru obličeje.....	75
6.3.2 Hodnocení konkrétních mezipohlavních rozdílů v morfologii obličeje.....	79



<b>7</b>	<b>DISKUSE</b> .....	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>89</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>90</b>



## Abstrakt

Stále častěji se ve forenzní praxi setkáváme s nezletilými pachateli, pohřešovanými osobami dětského věku či se zneužíváním mladistvých v porno-průmyslu. Tato práce je zaměřena na hodnocení vnější morfologie obličeje na základě longitudinálních dat v období pubertálního spurtu za účelem zpřesnění identifikace nezletilých osob. Materiálem byly 3D povrchové faciální modely 21 dívek a 23 chlapců. Průměrný věk na začátku studie byl 12,4 let pro dívky a 12,3 pro chlapce. Snímání byli v ročních intervalech celkem třikrát, tzn. 12 – 14 let. Modely byly hodnoceny na základě metod geometrické morfometrie. Konkrétně byla využita metoda superprojekce průměrných modelů, Dense correspondence analysis a analýza hlavních komponent (PCA). Růst obličeje včetně jeho alometrických změn byl sledován s ohledem na jeho variabilitu a pohlavní dimorfismus.

Ve sledovaném věkovém intervalu byla zaznamenána větší variabilita formy obličeje (tj. velikost plus tvar) než samotného tvaru. Statisticky signifikantní rozdíly ve formě obličeje byly prokázány mezi všemi věkovými kategoriemi i v rámci pohlaví. Po odstranění vlivu velikosti byly významné rozdíly prokázány u všech věkových kategorií chlapců, u dívek pouze mezi 12 až 14letými. Intersexuální rozdíly ve tvaru obličeje v žádné věkové kategorii zaznamenány nebyly. Z hlediska průměrných změn v morfologii obličeje jsme s přibývajícím věkem zaznamenali celkové prodlužování obličeje, oblast tváří se oplošťuje a v souvislosti se zvýrazněním nadočnicových oblouků dochází k hlubšímu uložení očí. S prodlužováním obličeje souvisí prodlužování a zvýraznění prominence nosu a brady. U chlapců docházelo k výraznějším změnám než u dívek, a to především v oblasti nosu a rtů.

Předpokládáme že, standardizace růstových a tvarových změn v období puberty bude podkladem pro celou řadu identifikačních technik v rámci forenzní praxe, především z hlediska predikce vzhledu dlouhodobě pohřešovaných osob nebo při rekonstrukcích obličeje na základě lebky.

**Klíčová slova:** kraniofaciální vývoj, longitudinální, puberta, geometrická morfometrie, PCA



## Abstract

Forensic practise has seen a great increase in past few years in the extension of juvenile offenders, missing child and child abuse, especially in connection with pedo-pornographic material. This thesis focused on specification juvenile identification from facial morphology based on evaluation of longitudinal data during the pubertal spurt. The material was 3D facial surface images of 21 girls and 23 boys), mean age at the begining of the study was 12.4 years for girls and 12.3 for boys. They were scanned annually during three years, ei. 12 – 14 year. The 3D facial images were evaluated using the methods of geometric morphometrics. Specifically, the superimposition of two average models, Dense correspondence analysis and PCA. The facial growth including allometric changes were observed with respect to its variability and sexual dimorphism.

The results suggest that the variability of facial form (shape and size) was larger than variability of facial shape. Statistically significant differences in the form of the face were found among all age groups within and between sexes. After elimination of size there were significant differences within all age group of boys, in girls only between 12 and 14 years. No significant sexual dimorphism of any age group was occured. In terms of average changes of facial morphology with increasing age there were a general elongation of the face, flattening of the cheeks, the eye fissures became deeper in relation to more prominence of eyebrow ridges. The increase in nose prominence as well as downward projection of chin were connected with the general elongation of the face. Generally the sufrage changes were larger in boys than in girls especially in nose and lips.

We suppose that standardization of size and shape changes in facial morphology during puberty will be useful in identification techniques within forensic practice, especially with regard to aging of missing child and facial reconstructions from human skeletal remains.

**Key words:** craniofacial growth, longitudinal, puberty, geometric morphometrics, PCA



# 1 Úvod

Lidský obličej je ojedinělou strukturou, jež o svém nositeli poskytuje celou řadu informací – o pohlaví, věku, etnické příslušnosti, emocionálním rozpoložení, zdraví. Pro každého jedince je zcela unikátní. Dokonce ani obličej jednovaječných dvojčat není zcela identický (Kau et al., 2005). Obličej je studován v rámci celé řady oborů počínaje biomedicínskými obory, psychologíí či v rámci forezních věd.

Vnímání a rozpoznávání druhých na základě obličeje je základní biologickou a sociální vlastností každého jedince. Rozpoznávání obličeje je založeno na dvou základních charakteristikách, trojrozměrném tvaru a jeho textury (Caharel et al., 2009). Trojrozměrný tvar lidského obličeje je dán především tvarem lebky, která je vůbec nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím výsledný tvar obličeje. Tento složitý komplex 22 kostí poskytuje základní podklad, se kterým souvisí veškeré měkké a tvrdé tkáně, představované především chrupavkami nosu, svaly a tukem (Wilkinson, 2004). Povrch je pak tvořen kůží, její texturou a pigmentací. Rozdílnost ve tvaru a množství těchto tkání společně s dalšími rysy poskytují základní informace o lidském obličejí. Jemné rozdíly v těchto ukazatelích jsou výsledkem jedinečnosti lidského obličeje (Bruce a Young, 1998).

Schopnost rozpoznat obličej je řízena specializovanou částí mozku, která se vyvinula na základě evolučního tlaku, jenž nutil jedince, aby automaticky identifikoval příbuzné a známé a odlišil je tak od nepřátel. Tento proces rozpoznání různých obličejů uskutečňujeme denně, aniž bychom se nad tím pozastavili. Náš mozek tuto činnost vykonává zcela automaticky. To, co se může zdát jako zdánlivě snadný proces, stává se těžko napodobitelným či aplikovatelným v jiných oblastech – především z hlediska identifikací jedinců v rámci forezních věd (Evison a Bruegge, 2010).

Za posledních 20 let se nejvíce rozvíjejícím oborem forezních věd stává identifikace jedinců na základě vnějších charakteristik obličeje (Cattaneo, 2007), v rámci nichž lze dále rozlišit tři oblasti - fotokomparační metody, rekonstrukce přibližné podoby jedince na základě lebky a odhad věku jedince dle vnější morfologie obličeje. Rozvoj fotokomparačních metod, tedy identifikací na základě fotografie, záznamu videa či 3D modelu člověka, jež směřují k potvrzení či vyvrácení identity pachatele, oběti trestného činu či pohřešované osoby, bezesporu souvisí se stále se zvyšujícím počtem bezpečnostních kamer zachycujících pachatele přímo při činu (např. Vanesis, 1996, Yoshino et al., 2000, 2002, 2005; Goos et al., 2005, De Angelis et al., 2009). Odhad věku





je významný například z hlediska možného potvrzení či vyvrácení zletilosti daného jedince a s tím související trestní odpovědnosti či naopak nutné právní ochrany jako obětí trestné činnosti dospělých osob např. z hlediska potírání dětské pornografie. V posledních letech totiž dochází ke značnému rozvoji této trestné činnosti, a to především v souvislosti s rozvojem počítačových technologií a s tím souvisejícím zneužíváním internetových zdrojů (např. Kleinhans, 2004; Cattaneo et al., 2009). Rekonstrukce obličeje podle lebky je pak poslední z možností jak identifikovat jedince, pokud se žádné jiné relevantní důkazy nezachovaly.

V rámci fotokomparačních metod je nutná především znalost a klasifikace vnějších znaků obličeje, variabilita tvaru jednotlivých partií i obličeje jako celku. Z hlediska rekonstrukcí je pak stěžejní znalost anatomie a morfologie měkkých tkání obličeje a jejich změny v rámci jednotlivých věkových kategorií a v rámci pohlaví. Zdaleka nejobtížnější a zároveň nejvíce diskutabilní je oblast odhadu věku.

Diplomová práce je zaměřena na hodnocení vnější morfologie obličeje nedospělých osob za účelem zpřesnění identifikačních metod. S využitím moderních metod geometrické morfometrie a s ohledem na požadavky forenzní praxe je práce zaměřena jak na variabilitu (forenzní identifikace), tak na průměrné vývojové změny obličeje jako celku, či jednotlivých partií ve vztahu k jejich tvaru.

Předpokládáme, že výstupy této práce přispějí nejen ve forenzní praxi v souvislosti s identifikacemi nezletilých osob, predikci vzhledu pohřešovaných osob, rekonstrukcích přibližné podoby obličeje, ale též v biomedicínských oborech, plastické chirurgii či ortodontii, při plánování léčby.



## 2 Teoretická část

### 2.1 Hodnocení obličeje z hlediska forenzní antropologie

Obličej jedince lze z pohledu forenzní praxe v zásadě hodnotit několika způsoby. Prvním je tzv. individuální identifikace, která umožní potvrzení či vyvrácení identity daného konkrétního jedince. Dalším způsobem, jak hodnotit obličej, je z hlediska jeho pohlaví, věku či etnické příslušnosti (Aeria et al. 2010). V neposlední řadě jsou z hlediska identifikací jedinců důležité rekonstrukce obličeje podle lebky.

#### 2.1.1 Individuální identifikace

Identifikace obecně souvisí s vývojem filozofického myšlení, logiky a matematiky a je odvozena z pojmu identita (Porada, 2001). Identita (lat. *identitas*, odvozené od slova *idem* – stejný), neboli totožnost, se používá tehdy, když porovnáváné pojmy, objekty apod., jsou záměnné takovým způsobem, že mezi ně můžeme klást znaménko rovnosti. Chápeme ji tedy jako totožnost něčeho s něčím anebo se sebou samým (Rak et al., 2008). Pojem identifikace (z latiny: *identidem facere* - ztotožňovat) je zjištění nebo stanovení totožnosti, shodnosti, identifikování, ztotožnění (Malina, 2007).

Rozpoznávání obličeje je přirozenou vlastností člověka, jež mu umožňuje identifikovat nebo verifikovat identitu osoby druhé. Verifikace neboli autentizace je termín pro potvrzení identity jedné a téže osoby (Smeets et al., 2010). Jedná se o proces přiřazování podstatných a charakteristických znaků, vlastností a projevů známých u jednoho objektu objektu druhému za účelem vyhodnotit, zda je první objekt s druhým totožný či nikoliv (Porada, 2001). Naproti tomu identifikace umožňuje zjistit neznámou identitu osoby porovnáváním s definovanou databází. Tato klasifikace má vztah k tzv. individuální identifikaci objektu, která je charakteristická právě pro kriminalistiku (Smeets et al., 2010).

##### 2.1.1.1 Metodologie identifikace dle obličeje

V souvislosti s rozvojem bezpečnostních kamer existuje celá řada materiálu (fotografií či videozáznamů), jež zachycující pachatele či jejich oběti přímo při trestném činu. V souvislosti s tím se zvyšuje potřeba zpřesnění metod identifikací jedinců na základě těchto materiálů, neboť při dokazování trestní odpovědnosti vyžadují soudci jasný



důkaz o tom, zda se osoba na fotografii či videu shoduje s osobou podezřelou. Na rozdíl od daktyloskopie či identifikace na základě DNA, jsou fotokomparace poněkud problematičtější (Evison a Bruegge, 2010). Snímky jsou často velmi nízké kvality s nezřetelnými hranicemi jednotlivých rysů, rozdílného rozlišení a zaostření, vliv má i povaha a kvalita světla. Problémem je též poloha hlavy a různé výrazy tváře (Davis et al., 2010), nicméně specifikace vnější morfologie obličeje je pro tyto potřeby zcela klíčová (Ritz-Timme et al., 2011).

Současné poznatky týkající se identifikací osob na základě vnějších charakteristik obličeje jsou založené především na analýzách morfoskopických, morfometrických a superprojekcích (např. Yoshino et al., 2000; Porter a Doran, 2000; Fraser et al., 2003). Platí, že každá z těchto metod poskytuje poněkud odlišné informace o lidském obličeji. Všechny metody však v zásadě poskytují informace vedoucí k potvrzení či vyvrácení identity pachatele, obětí trestných činů či pohřešovaných osob (Clement a Marks, 2005).

#### ***2.1.1.1 Morfoskopické analýzy***

Jedná se o metody, které jsou založené na přímém rozpoznávání a popisu vnějších znaků obličeje charakteristických pro každého jednotlivce. Opírají o hodnocení morfoskopických znaků, tedy takových, které nelze vyjádřit měřením. Klasifikují a třídí se podle určitých zón obličeje (Ventura et al., 2004). Často poskytují lepší představu o vztahu znaku k okolí než absolutní metrický údaj. K jejich charakterizaci se využívá hodnocení slovními výrazy, jež jsou předem dohodnuté a přesně definované (Fetter et al., 1967). Často je však vyšetřování zatíženo subjektivním pohledem kriminalisty (Vanesis, 1996). Z tohoto důvodu je vhodné sestavovat databáze obsahující přesné popisy morfoskopických znaků obličeje (Ritz-Timme et al., 2011).

Do morfoskopických metod lze zařadit i hodnocení specifických (individuálních) znaků. Jedná se o znaky, jež jsou v populaci málo frekventované nebo jsou pro jedince zcela unikátní. Tyto znaky mají vůbec nevyšší identifikační hodnotu (Musil et al., 2004). Lze je rozdělit na znaky vrozené (mateřská znaménka, pihy, různé anomálie obličeje) a znaky získané během života (jizvy, piercing, tetování, znaky vzniklé v souvislosti s lékařskými zákroky či chorobami) (Taylor, 2001). Při posuzování specifických znaků je vždy nutné brát v potaz to, že v mnohých případech se snaží pachatel maskovat vzhled

různými kosmetickými úpravami - umělými znaménky, barvením vlasů, apod. (Porter a Doran, 2000).

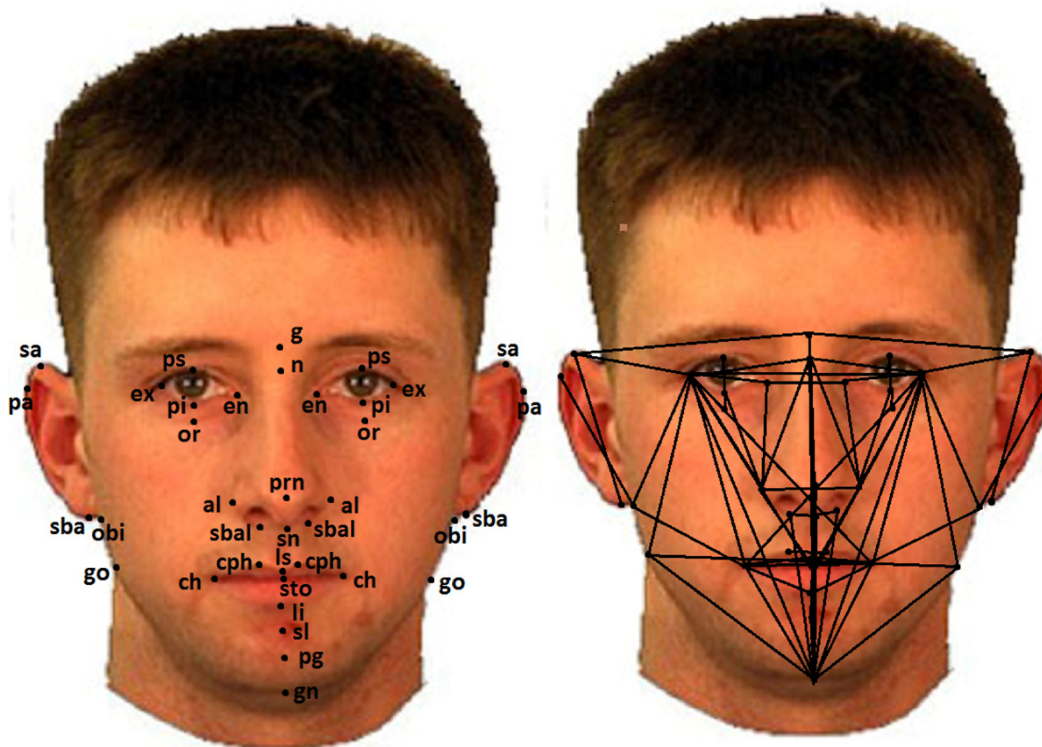
Morfoskopických a specifických znaků lze využít především při sestavování portrétu – tzv. identiktu (Roeflose et al., 2008), jež slouží jako prvotní screeningová metoda umožňující vyloučit či potvrdit míru shody. Popis vnějších znaků tedy slouží jako předběžná metoda identifikace. K vyslovení definitivního závěru je třeba použití i jiných metod jako jsou morfometrické analýzy či superprojekce.

#### **2.1.1.1.2 Morfometrické analýzy**

Základním pojmem z hlediska metrických analýz je tzv. landmark. Je to přesně definovaný anatomický bod, který je shodně identifikován na všech objektech daného souboru (Zeldich et al., 2004). Takové body musí být rozpoznány nezávisle na sobě několika pozorovateli s naprostou přesností (Fetter et al., 1967).

Tradiční (klasická) morfometrie zabývající se měřením vzdáleností a úhlů charakterizovanými těmito body na těle člověka se nazývá antropometrie a umožňuje kvantitativní popis dané části těla. Farkas (1994) vytvořil komplexní přehled antropometrických bodů obličeje. Výhodou klasické antropometrie je měření přímo na obličeji člověka, čímž je zachována podstata obličeje jako trojrozměrné struktury. Naopak nedostatkem je její časová náročnost, nutnost spolupráce osoby, jež je měřena, a především dostatečné zkušenosti a znalosti anatomie obličeje (Aeria et al., 2010). V současné době je, v souvislosti se vrůstajícím počtem fotografií či videozáznamů obličeje pachatele/oběti, její využití v rámci forenzní praxe velmi omezeno, neboť je nahrazována především metodami nepřímými.

Řešení některých předchozích nedostatků poskytuje nepřímá antropometrie, kterou lze charakterizovat jako analýzu rozměrů, indexů, úhlů a proporcí obličeje získaných přímo z fotografie (obr. 2.1.) (Iscan, 1993). Metoda je rychlá, nevyžaduje fyzický kontakt a snímky je možné archivovat. Na druhou stranu dochází při transformaci trojrozměrné struktury na dvojrozměrnou ke ztrátě důležitých informací. Klíčovou podmínkou spolehlivé metrické analýzy je především kvalita snímku (rozlišení, povaha světla, poloha hlavy, výrazy obličeje). I přes vysokou kvalitu některých fotografií, je umístění a následné hodnocení landmarků problematické a má řadu omezení (Kleinberg et al., 2007).



**Obr. 2.1.** Morfometrická analýza obličeje dle fotografie – hodnocení na základě landmarků (vlevo), které se vzájemně pospojují a hodnotí se lineární vzdálenosti, vzájemné poměry a indexy (vpravo) (převzato podle Kleinberg a Siebert, 2012).

### **2.1.1.1.3 Superprojekční analýzy**

Superprojekce jsou založené na překrývání dvou fotografií či videosnímků přes sebe za účelem potvrzení či vyvrácení identity vyšetřovaného (Iscan, 1993). Nejčastěji se ke srovnání využívá landmarků, na jejichž základě se do sebe dva snímky promítají. Výběr vhodných landmarků má zásadní dopad na výsledek celé analýzy (Yoshino et al., 2000; 2002). Superprojekce lze rozdělit do dvou kategorií: 2D-2D metody, založené na porovnávání dvou fotografií (např. pachatel vs. podezřelý) a 3D-2D komparace, kdy porovnáváme fotografii pachatele s trojrozměrným modelem podezřelého (De Angelis et al., 2009).

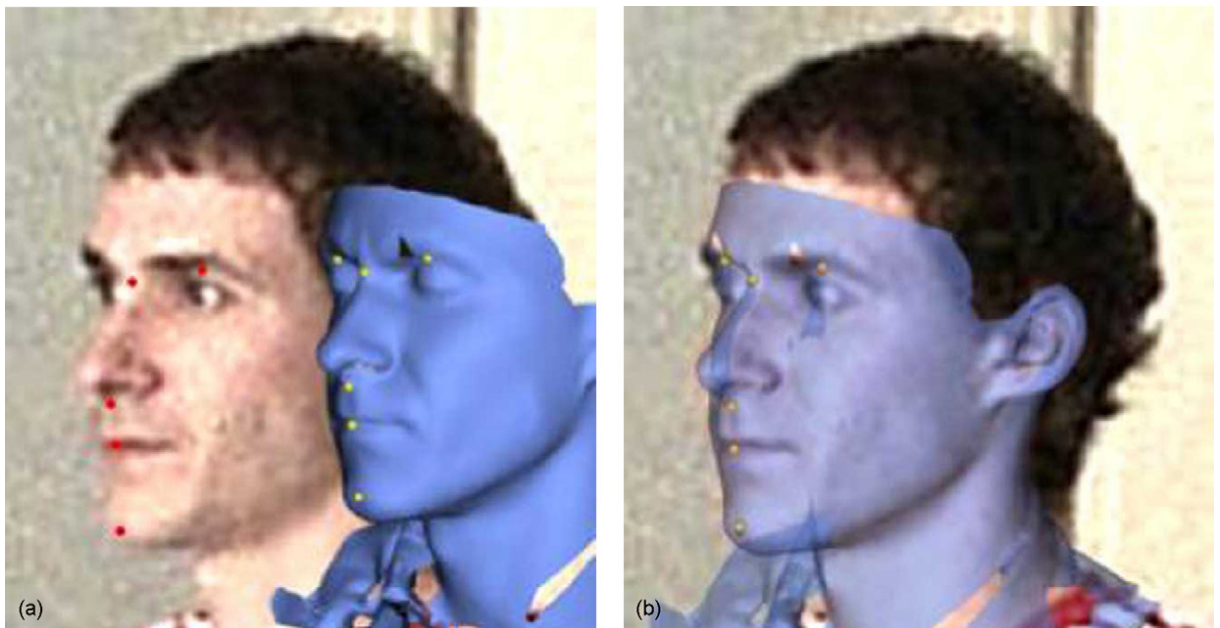
#### 2D -2D superprojekce

Jedná se o méně přesnou metodu identifikace, jelikož vyžaduje, aby byly oba obličeje na snímku ve stejné poloze. Často se tak k projekci využívá jen určitá část obličeje (Iscan, 1993). Někdy je vhodnější využít i méně kvalitních snímků, které však zachycují obličeje ve stejné poloze. V tomto případě se však hodnotí spíše morfoskopické

charakteristiky, jako jsou proporce jednotlivých partií, spíše než měření vzdáleností a úhlů na základě landmarků. Těch se využívá v případech, kdy jsou obličejové zobrazení čelně a dosahují takové kvality, že je možné jejich přesné umístění (Vanesis a Brierley, 1996).

### 2D-3D superprojekce

Principem je promítnutí trojrozměrného modelu podezřelého do dvojrozměrné fotografie či snímku pořízeného videokamerou (Clement a Marks, 2005). Pro objektivní analýzu se musí nejprve 3D model upravit na velikost originálního snímku, posunout a přeorientovat. K tomuto účelu byl vyvinut software, který automaticky provede adjustaci 3D modelu do fotografie (Yoshino et al., 2003). Identifikace se poté provede na základě výběru vhodných charakteristik obličejové – morfoskopických či morfometrických (De Angelis et al., 2009). Příklad pozitivní identifikace je uveden na obr. 2.2.



**Obr. 2.2.** Fotografie pachatele společně s 3D modelem podezřelého (a). Superprojekce 2D fotografie a 3D modelu na základě shodných landmarků (b) (převzato podle De Angelis et al., 2006).

### **2.1.2 Odhad věku a progresu vývoje obličejové**

Potřeba po zpřesnění technik odhadu věku nikdy nebyla větší než za posledních 20 let. Je to z dvojího důvodu. Prvním je zvyšující se počet neidentifikovaných těl lidských obětí a druhým je vzestup případů vyžadujících odhad věku u žijících osob v souvislosti



s nejasným datem narození. Oba tyto případy úzce souvisí s volným pohybem osob, jak legálním tak ilegálním, jež v posledních letech značně narůstá (Ritz-Timme et al., 2000). Znalost progresu růstu obličeje (tzv. aging) je pak klíčová v odhadu či modelování pravděpodobného vzhledu dlouhodobě pohřešovaných osob.

#### 2.1.2.1 Odhad věku

Metody, které lze k odhadu věku využít, se liší podle toho, na kterou cílovou skupinu jsou zaměřeny - jiné budou v období růstu a jiné pro dospělého člověka. Nejběžněji využívané metody odhadu věku žijících nedospělých osob jsou založeny na hodnocení rentgenových snímků ruky a zápěstí (postup osifikace jednotlivých kostí), hodnocení mineralizace a prořezávání zubů dle panoramatických snímků a hodnocení fyzických parametrů daného jedince, především stupně sexuální maturace (Schmelting et al., 2001).

Je třeba zdůraznit, že všechny tyto metody jsou zaměřeny na hodnocení proměn biologických vlastností jedince, které jsou odrazem věku biologického, nikoliv věku chronologického (kalendářního). Mezi oběma parametry mohou existovat jisté diskrepance, které ovlivňují přesnost i spolehlivost odhadu. Čím více metod odhadu věku se použije, tím je odhad věku přesnější (Santoro et al., 2009).

Existuje celá řada technik či metod odhadu věku podle obličeje, každá však využívá poněkud odlišný způsob hodnocení. V současnosti tak neexistuje žádná standardizovaná metoda odhadu věku dle vnější morfologie obličeje.

##### 2.1.2.1.1 Subjektivní posouzení věku

Odhad věku jedince dle obličeje je do značné míry zatížen subjektivním hodnocením, což potvrzuje celá řada studií. Bylo prokázáno, že důležitou roli v přesnosti odhadu hraje věk hodnotících (např. George a Hole, 1995). Mladší věková kategorie (16-25 let) je v odhadu více přesná než starší (51-60 let). Odhad je přesnější, pokud se věk vyšetřované osoby blíží věku hodnotitele (George a Hole, 1998). Značný vliv na přesnost má též věk vyšetřovaných (např. Wilner a Rowe, 2001; Moyses a Brédart, 2012). Vůbec nejpřesněji je věk odhadován u dětských obličejů (Sörqvist a Eriksson, 2007). Existuje tedy pozitivní korelace mezi chronologickým věkem a rozsahem chyb při odhadu věku. Etnická příslušnost hodnotících, respektive hodnocených, taktéž ovlivňuje přesnost odhadu. Přesnější je odhad u osob stejné národnosti (Dehon a Brédart, 2001).



Z výše zmíněných poznatků vyplývá potřeba po objektivním hodnocení obličeje z hlediska odhadu věku či z hlediska predikce jeho vzhledu.

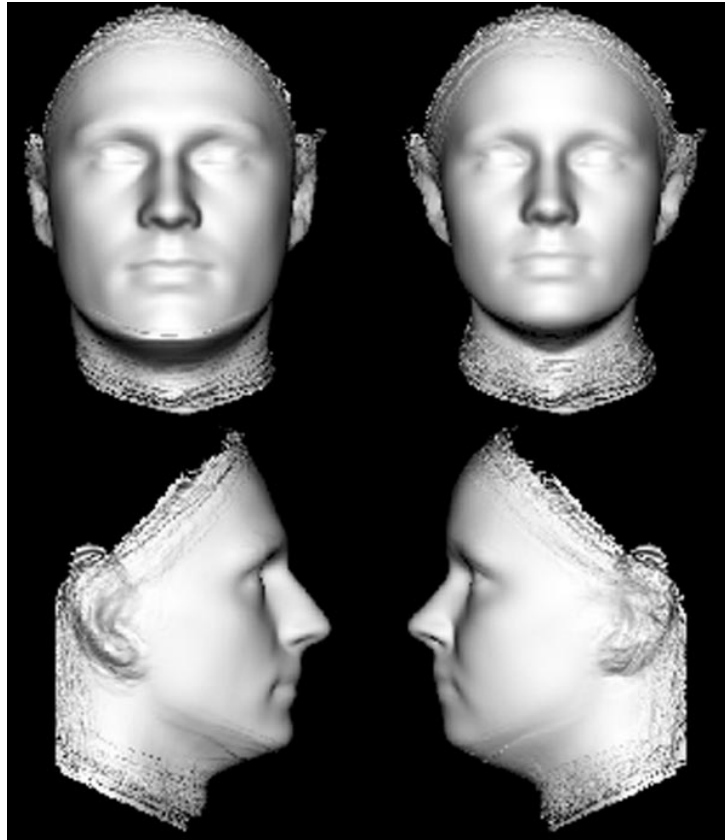
### ***2.1.2.1.2 Metody odhadu věku dle obličeje***

Jak již bylo zmíněno výše, existuje celá řada studií, které se s větší či menší mírou spolehlivosti zabývaly studiem odhadu věku podle fotografie či videosnímku. Jedná se obecně o metody, které jsou založené na automatickém rozpoznání obličeje, jež je následně na základě specifických algoritmů statisticky hodnocen.

V posledních letech se z tohoto hlediska uplatňují především tzv. metody neuronových sítí. Princip je ten, že se daná neuronová síť na základě specifického algoritmu „naučí“ podle určité předlohy (např. žena, konkrétní věková kategorie) rozpoznávat charakteristické vlastnosti a znaky daného objektu. Při aplikaci takto „vyškolené“ neuronové sítě na soubor neznámých objektů je dokáže automaticky identifikovat (např. Rowley et al., 1998; Lu et al., 2006).

Další z možností rozpoznání a kategorizace obličejů jsou metody, jejichž základem je hodnocení hlavních komponent (PCA) a to buď z hlediska hodnocení obličeje jako celku či jeho jednotlivých partií (např. Lanitis et al, 2002, Wu et al., 2010). Tato metoda se opírá o existenci tzv. eigenvektorů či hlavních komponent, tedy vzájemně kolmých rozměrů, které statisticky hodnotí tvarové proměnné a vyjadřují tak určitou změnu v dané oblasti (podrobněji v kapitole č. 5.2.2.). Je tedy třeba výběru takových komponent, které specificky charakterizují danou cílovou skupinu (věk či pohlaví) a tím ji odlišují od ostatních skupin (např. Wild et al., 2000; Aishwarya a Marcus. 2010). Příklad komponent, jež jsou důležitými identifikátory pohlaví, je uveden na obr. 2.3.



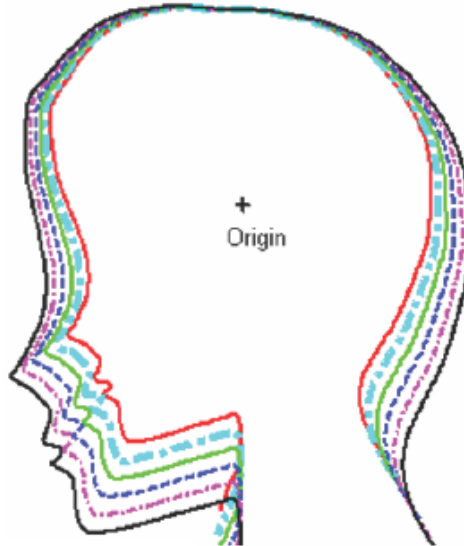


**Obr. 2.3.** Ukázka dvou komponent na průměrných obličejích, které jsou důležitými identifikátory pohlaví. Horní řada představuje krajní hodnoty první komponenty (celkový tvar obličeje). Dolní řada ukazuje šestou komponentu (tvar a velikost nosu), která je v identifikaci pohlaví též významná (převzato podle Wild et al., 2000).

#### 2.1.2.2 Věková progresse lidského obličeje (tzv. aging)

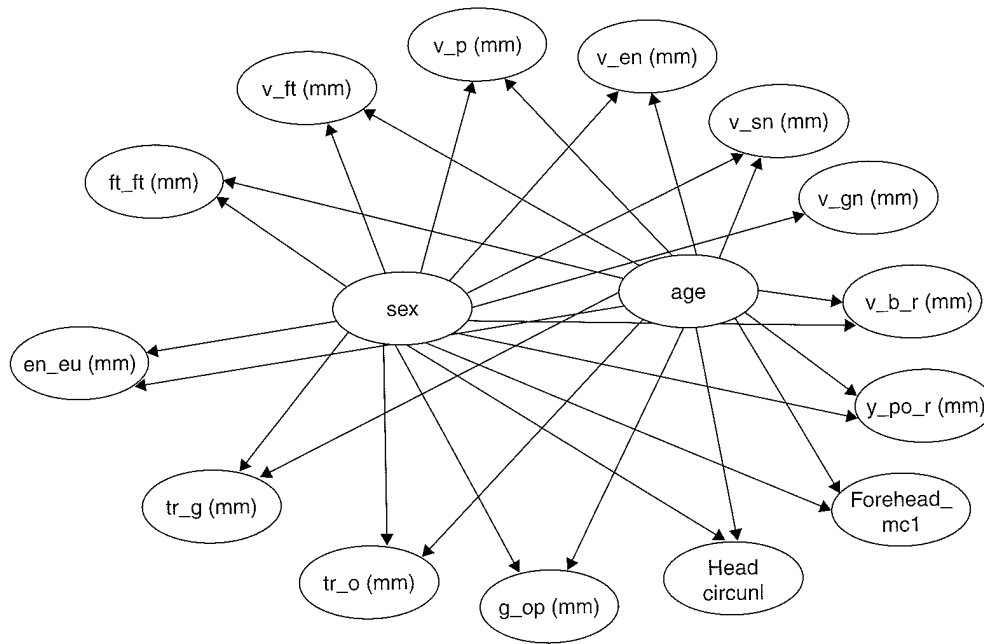
Člověk prochází v průběhu života specifickými změnami v morfologii obličeje, které zahrnují procesy růstu, vývoje a stárnutí. Znalost těchto změn usnadňuje identifikaci především z hlediska predikce vzhledu u pohřešovaných osob (Taylor, 2001). Obecně lze tyto změny charakterizovat jako změny tvaru a textury obličeje. Změny tvaru jsou charakteristické především pro fázi růstu a vývoje (tedy do dosažení dospělosti), jsou více stabilní a tedy lépe predikovatelné. V pozdějších fázích pak dochází hlavně ke změnám textury obličeje spojené s řadou involučních změn, jako jsou např. ztráta elasticity kůže či úbytek svalové hmoty - tyto procesy jsou výrazně ovlivněny působením vnějších podmínek, jako jsou např. sluneční záření, kouření, nedostatek spánku, stres a obecně životospráva (Mark et al., 1980; O'Hare, 1999; Taiser et al., 2000).

Z hlediska modelování obličeje nedospělého jedince je tedy zásadní jeho tvar. Jedním z prvních modelů, které predikují vzhled jedince, navrhli Pittenger a Shaw (1975a). Jedná se o tzv. kardioidální model (*cardioidal strain*), který lze popsat jako geometrickou transformaci obličeje (obr. 2.4.).



**Obr. 2.4.** Kardioidální model. Pro nejnižší hladinu (červěně) je charakteristické prominující čelo, malá brada směřující dolů, nos proporcionálně níže. S rostoucím věkem dochází k ustupování čela, zvětšování prominence brady a nos se posouvá proporcionálně více nahoru (zpracováno podle Pittenger a Shaw, 1975a).

Další možností odhadu je využití tzv. Bayesovských sítí, které jsou základem pro pravděpodobnostní modely. Vychází z pravděpodobnosti výskytu konkrétních jevů u konkrétní skupiny a vzájemných vztahů mezi nimi. Z tohoto hlediska je tedy vhodná extrakce a popis charakteristických znaků pro tu kterou skupinu a tvorba normativních databází (obr. 2.5.). S využitím těchto znalostí lze na základě fotografie pohřešovaného modelovat jeho pravděpodobnou podobu (Vargas a Sucar, 2005; Ramanathan a Chellappa, 2006).



**Obr. 2.5.** Model Bayesovské sítě, který podmiňuje výběr 14 pravděpodobných znaků (rozměrů obličeje a hlavy) v závislosti na pohlaví a věku (převzato podle Vargas a Sucar, 2005).

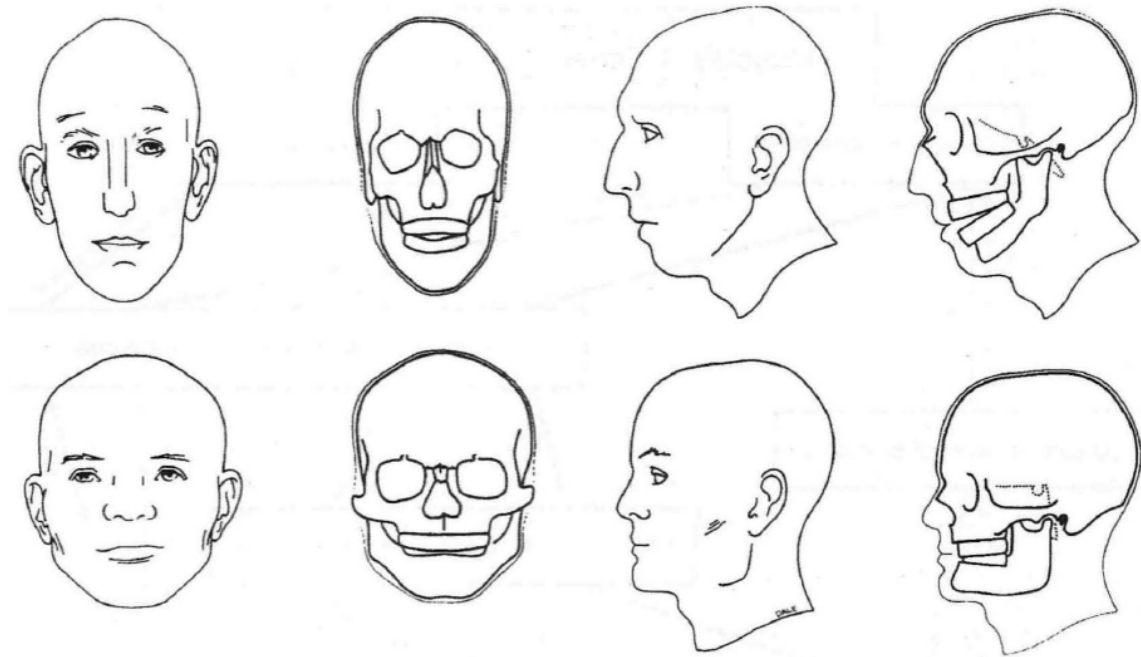
Zásadním problémem v případě modelování pravděpodobné podoby jedince je, že se každý obličej vyvíjí poněkud odlišně a má různé růstové vzory. Charakter růstu jednoho jedince neodpovídá růstovým vzorům jedince druhého. Z tohoto důvodu je nutné jisté sjednocení a vytvoření obecného (standardizovaného) vzorce pro jednotlivé věkové kategorie (Geng et al., 2006). Problémem většiny studií je, že algoritmy jsou vytvářeny na 2D datech a tedy nemohou zachytit tvar i texturu zároveň.

Pro tyto účely je hodnocení růstu a vývoje obličeje prostřednictvím jejich trojrozměrných modelů, navíc na longitudinálních datech, více než vhodné.

### 2.1.3 Rekonstrukce obličeje dle lebky

Rekonstrukce (aproximace) přibližné podoby jedince na základě lebky je využívána jako poslední možnost, v případě, kdy byly veškeré ostatní techniky identifikace jedince neúspěšné. Cílem je pokus o získání přibližného tvaru obličeje jako celku a jeho jednotlivých charakteristických částí na základě tvaru lebky. Tato technika nemůže nikdy dosáhnout přesné rekonstrukce podoby, nicméně pro potřeby forezní praxe je i získání přibližné podoby cennou informací, která může být nápomocna v identifikaci jedince (Clement a Marks, 2005).

Základním předpokladem, ze kterého tato technika vychází, je úzká korelace mezi měkkými tkáněmi obličeje a jejich skeletálním podkladem (Halazonetis, 2007). Existují dva základní typy tvaru lebky, ke kterým je nutno v případě rekonstrukce obličeje přihlížet. Jedná se o dolichocefalní (dlouhý a úzký) a brachycefalní (krátký a široký) typ, oba vedoucí k odlišným typům a tvarům obličeje. Dolichocefalní obličej má blíže a zároveň hlouběji uložené oči, delší a více prominující nos s kořenem výše postaveným, více ubíhající čelo, méně prominující oblast lícních kostí, retrognátní profil (dolní čelist je posunuta více dozadu). Celkově je profil spíše konvexní. Naproti tomu brachycefalní obličej se vyznačuje širšíma a více vystouplýma očima, kratším a více zaobleným nosem, svisleji postaveným čelem. Lícní kosti více prominují a profil je celkově více konkávní (Enlow a Hans, 2008) (obr. 2.6.).



**Obr. 2.6.** Dolichocefální (horní řada) a brachycefalní (dolní řada) typ lebky (převzato podle Enlow a Hans 2008).

Klíčová je též znalost tloušťky měkkých tkání v jednotlivých oblastech obličeje vztažená na pohlaví a na jednotlivé věkové kategorie a tvorba normativních databází, jež tyto informace obsahují (např. Utsono et al., 2010). Cenné jsou i znalosti o variabilitě tvaru jednotlivých segmentů obličeje i obličeje jako celku (např. Toma et al., 2011).



Pro všechny výše zmíněné metody je nutná znalost ontogenetického vývoje obličeje, růstu kostěného podkladu a celkově jeho morfologických znaků.

## 2.2 Ontogenetický vývoj obličeje

V rámci ontogenetického vývoje člověka lze obecně rozlišit několik vývojových period, které mají vlastní růstové tempo a specifiku vývoje (Lébl a Krásničanová, 1996). Tato práce je více zaměřena pouze na jedno období (období dospívání, puberty), nicméně pro pochopení složitého procesu růstu a vývoje je nutná znalost změn, jež toto období přesahují.

### 2.2.1 Obecné zákonitosti ontogenetického vývoje

Ontogenezi (z řečtiny znamená *ontogenesis* „vznik a vývoj skutečnosti“) lze charakterizovat jako individuální vývoj jedince od oplození po smrt. Zahrnuje sled časově a prostorově programovaných morfologických a funkčních procesů, jimiž z výchozí jediné buňky (oplozeného vajíčka) vzniká dospělý organismus (Malina et al., 2007).

Hlavními mechanismy ontogeneze jsou růst (změna velikosti), vývoj (změna tvaru) a alometrie (změna tvaru v závislosti na změně velikosti), která hraje nejen v rámci kraniofaciálního vývoje významnou roli. Platí, že všechny tyto mechanismy jsou geneticky zakódovány, ale zároveň jsou i pod vlivem epigenetických faktorů a faktorů vnějšího prostředí (např.; Hernandez et al., 1997; Gonzales et al., 2011).

Z genetických vlivů je míněna endogenně zakódovaná schopnost buněk růstové zóny se ve vymezeném období opakovaně dělit. Mezi environmentální vlivy řadíme především výživu, která jako jeden z nejdůležitějších faktorů reguluje růst (Nijhout, 2003). Dalšími faktory jsou klima, nadmořská výška, stupeň urbanizace, socioekonomický status, zdravotní stav a psychosociální faktory (stres). Na pomezí mezi těmito dvěma faktory leží vlivy endokrinní. Z hlediska růstové zóny je endokrinní působení, zprostředkované hormony, vlivem exogenním. Hormony jako všechny proteiny jsou však strukturou kódovanou bezprostředně z DNA. Jejich hladiny jsou kontrolovány řadou zpětných vazeb a ovlivňovány vnějšími faktory. Lze proto endokrinní vlivy považovat za vlivy epigenetické (Šmahel, 2001; Enlow and Hans, 2008).



Morfologie obličeje je tak výsledkem souhry celé řady faktorů, které způsobují ve svém důsledku variabilitu i populační specifičnost obličejových proměnných ve vazbě na věk (Lébl a Krasničanová, 1996).

### 2.2.2 Kraniofaciální růst

Základem vývojových ontogenetických změn lidského obličeje je růst jeho kostěného podkladu, který je rovněž ovlivněn růstem mozkové části lebky. Funkční propojení kostí v jeden celek, způsobuje jejich vzájemnou tvarovou závislost, kdy změny v jedné oblasti vyvolávají kompenzační změny v oblastech sousedních. Takové změny probíhají u jednotlivých struktur v různých obdobích různě rychle. Veškeré proporční, tvarové a posiční změny jsou výsledkem velikosti růstu, směrem a dobou jeho trvání.

Obecně se lebka skládá ze třech částí, které jsou odlišné z hlediska embryogeneze, způsobu osifikace a dynamiky růstu (Morriss-Kay, 2001; McBratney-Owen et al., 2008). Jedná se o obličejovou část lebky (*splanchocranium*), lebeční klenbu a lebeční bazi (dohromady spadající pod *neurocranium*).

Obličejová část lebky a lebeční klenba mají svůj původ v mezenchymu neurální lišty a osifikují ve vazivu (desmogenně). Baze lebky má mesodermální původ a osifikuje v chrupavce (chondrogenně) (Sperber, 1989). Z hlediska dynamiky lze rozlišit tři typy růstu – kraniofaciální, faciální a skeletální. Kraniofaciální (neurální) typ, který je podmíněn růstem mozku a smyslových orgánů, je charakteristický pro růst mozkovny a orbity. Probíhá především v prvních letech života (v 6 letech je dosaženo 90% konečné velikosti daného znaku) a pubertální spurt je minimální nebo chybí. Faciální typ růstu převažuje též v prvních letech (v 6 letech znaky dosahují 80% konečné velikosti) a pubertální spurt je v tomto období mírný. Tímto způsobem rostou především dimenze horního obličeje a zadní části lebeční baze. Posledním typem je růst skeletální s výrazným pubertálním spurtem a mírnějším růstem v dětství (v 6 letech je dosaženo 70% konečné velikosti). Tímto typem roste dolní čelist (zpracováno podle Šmahel, 2001; Enlow a Hans, 2008). Rozdílnost v dynamice růstu vysvětluje různou sílu vlivu alometrie na jednotlivé partie kraniofaciálního komplexu od narození po dospělost – např. 50 až 70% variability tvaru obličejové části lebky lze vysvětlit alometrickým růstem, zatímco u baze lebeční je to 4 – 40% (Gonzales et al., (2011).



### 2.2.2.1 Neurokranium

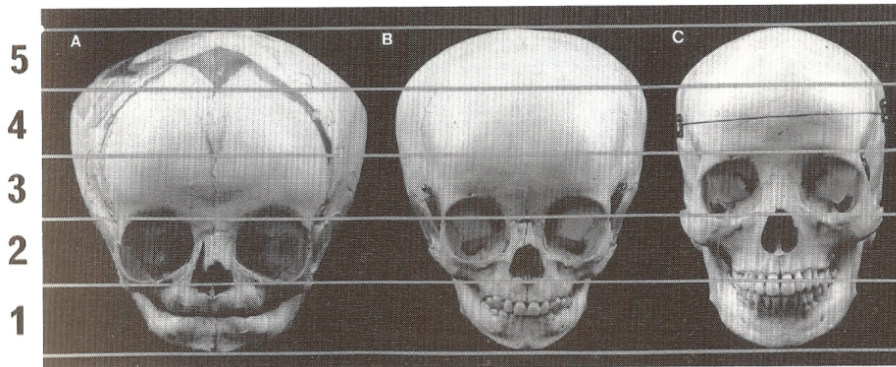
Neurokranium neboli mozková část lebky, se skládá z lebeční klenby (*calva*, *calvaria*) a lebeční baze (*basis cranii*).

Lebeční klenba poskytuje ochranu centru vyšší nervové činnosti mozku a smyslovým orgánům. Je příčně a podélně klenutá. Skládá se z šupiny čelní kosti, dvou kostí temenních a spánkových a šupiny týlní kosti. Roste především translací, tedy pasivním posunem kostí podle rostoucího mozku (Schumacher, 1984), její velikost je tedy v úzké korelaci s velikostí mozku, který je již u novorozenců větší u chlapců a větší zůstává až do dospělosti (Dekaban a Sadowsky 1978; Joffe et al., 2004; Bulygina et al., 2006). Konečné velikosti výšky klenby lebeční je dosaženo ve 12 – 13 letech (Bastir et al., 2006).

Lebeční base spojuje mozkovou část s částí obličejovou a jsou spolu v úzké souvislosti (Björk, 1955). Lze ji rozdělit na tři části, jež vznikly působením tlaku frontálního, temporálního a týlního laloku mozku společně s mozečkem. Jsou to přední (anteriorní), střední (mediální) a zadní (posteriorní) jáma lební (Schwartz, 2007).

Z vnější strany je s bazí lební svými kondyly kloubně spojena mandibula, úzce s ní souvisí i nasozygomatokomaxilární komplex, který nasedá na přední jámu lební. Baze lební ovlivňuje mimo jiné i šířku dýchacích cest, konfiguraci patra a maxilárního oblouku. Lebeční baze je tedy konstrukčním základem pro růst a vývoj ostatních partií lebky, což svědčí o morfologickém a vývojovém konzervatismu ve srovnání s jinými regiony lebky (např. Lieberman, 1995; Gkantidis a Halazonetis, 2011).

Obecně dosahují struktury spjaté s lebeční bazí dospělé velikosti dříve než struktury obličejové části lebky (Buschang et al., 1983). Konkrétně přední jáma v 5 – 6 letech (např. Sgouros et al., 1999; Goodrich, 2005), mediální baze lební ve 14 – 15 letech (Bastir et al., 2006), přičemž její délka zůstává po celou dobu pubertálního spurtu nezměněna, zatímco délka zadní baze zaznamenává signifikantní zvýšení. Konečné délky zadní jámy lební je dosaženo až v dospělosti (Arat et al., 2001).



**Obr. 2.7.** Čelní pohledy lebky demonstrující změny obličejové a mozkové části lebky v průběhu ontogeneze. Na snímku (A) je lebka novorozence; snímek (B) představuje dětskou lebku s kompletní dočasnou denticí; snímek (C) zobrazuje dospělou lebku s kompletní trvalou denticí (převzato podle Sarnat, 1983).

#### 2.2.2.2 Splanchokranium

Splanchokranium, neboli obličejová část, je původně tvořeno žaberními oblouky, jež byly původně chrupavčité a až na výjimky (jazyka, středoušní kůstky, processus styloideus) byly u člověka redukovány. Později s nimi splynuly krycí kosti a desmogenní osifikace převládla. Patří sem párové horní čelisti, kosti lícní, kosti patrové a nepárová dolní čelist (např. Čihák, 2001). Z hlediska kraniofaciálního vývoje je významný především růst nasozygomaticomaxilárního komplexu a mandibuly.

Růst nasozygomaticomaxilárního komplexu probíhá především z cirkummaxilárního systému sutur a je provázen výraznou apozicí, hlavně na hrbolech maxily (*tuber maxillae*), a remodelací. Tím je zajištěn posun horního obličeje vzhledem k basi ve směru anterioinferiorním. Apozicí roste do výšky též alveolární výběžek, což je spojeno především s prořezáváním dentice. Do šířky roste maxila apozicí na laterálních stranách provázené resorpcí v dutině nosní (Enlow a Hans, 1996).

Přední plocha maxily je resorpční, proto se s věkem nezvětšuje protruze horní čelisti. Nosní kůstky, které jsou značně aposiční prominují více v dospělosti než v dětství (Šmahel, 2001). Tvrdé patro se posunuje dolů, čímž se zvětšuje nosní dutina, a to resorpcí na nosní straně a apozicí na orální straně. Tento posun je též spojen s růstem chrupavky nosní přepážky (Dixon et al., 1997). Obecně je růst nosní dutiny a s ní souvisejících struktur ve vztahu s rozvojem dýchacích cest. Celkově vyšší tělesná hmotnost mužů (především z hlediska vyššího podílu svalové hmoty) vyžaduje vyšší energetické nároky (Henry a Rees, 1991). Větší nosní a orofaryngeální dutina u mužů tedy souvisí

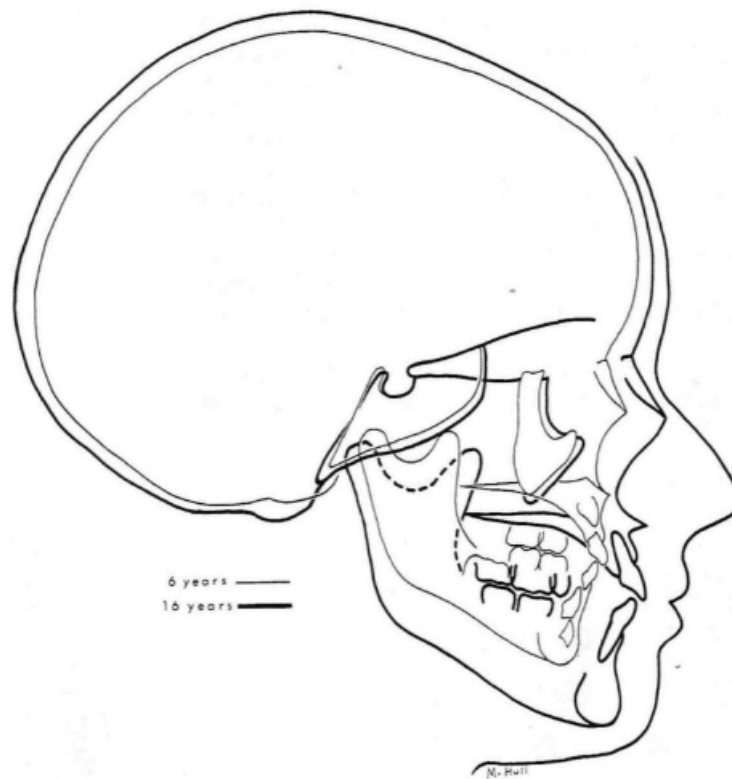




s fyziologickou potřebou po vyšším příjmu kyslíku (Rosas a Bastir, 2002). S růstem nosní dutiny do šířky a do výšky zároveň dochází k posunu orbity směrem dolů. Dno orbity je tak v dospělosti vzhledem ke dnu nosní dutiny výše než v dětství (Šmahel, 2001). Obecně má vývoj paranasálních dutin vliv na zvětšování čelní a obličejové krajiny a podílí se tak na výsledném formování skeletu obličeje (O'Higgins et al. 2006).

Růst mandibuly vychází primárně z mandibulárních kondylů (Sadowsky, 1998). Růstem kloubní chrupavky dochází k prodlužování ramene mandibuly dozadu a nahoru a její úhel se od narození zmenšuje. Tento proces podporuje současná aposice v úhlu kosti. Aposice na zadním okraji ramene se současnou resorpcí na přední hraně, za současného vytváření brady, posouvá celou čelist dopředu (Schumacher, 1989). V období puberty je toto posunutí výraznější u chlapců než u dívek (Van Diepenbeek et al., 2009). U chlapců tak dochází ke zmenšování úhlu mandibuly oproti dívkám (West a McNamara, 1999; Jakob a Buschang, 2011). Růst dolní čelisti je u chlapců ukončen ve 20 letech (Snodell et al., 1993). S prodlužováním ramene dochází ke zvětšování těla mandibuly a vytváří se prostor pro erupci stálých molárů (Šmahel, 2001). Směr růstu čelisti je též ovlivněn žvýkacími svaly, jež se na čelist upínají, především pak *musculus pterygoideus lateralis* a *musculus masseter* (Raadsheer et al., 1995).

Obecnou vlastností lidského krania je intenzivní růst mozkovny v prvních letech života, zatímco splanchokranium v souvislosti s prořezáváním stálých zubů, rozvojem žvýkacího svalstva a zvětšováním paranasálních dutin roste více později. Vedle odpovídajících proporčních změn prodělává lebka některé další strukturální změny. Jedná se především o posteriorotaci klenby mozkovny, zmenšování strmosti čela, zmenšování protruse maxily v důsledku menšího růstu do délky v porovnání s mandibulou (Enlow a Hans, 2008). Celkově vykazují v průběhu růstu největší zvětšení, relativně k dospělému, vertikální dimenze a to především horní výška obličeje (Snodell et al., 1993; Ferrario et al., 1998, 1999). Z hlediska tvarových změn dochází k nejvýraznějším rozdílům u dimenzí dolního obličeje, reprezentovaných alveolárním výběžkem maxily a mandibulou (Rosas a Bastir, 2002; Bastir a Rosas, 2004) – obr. 2.8.



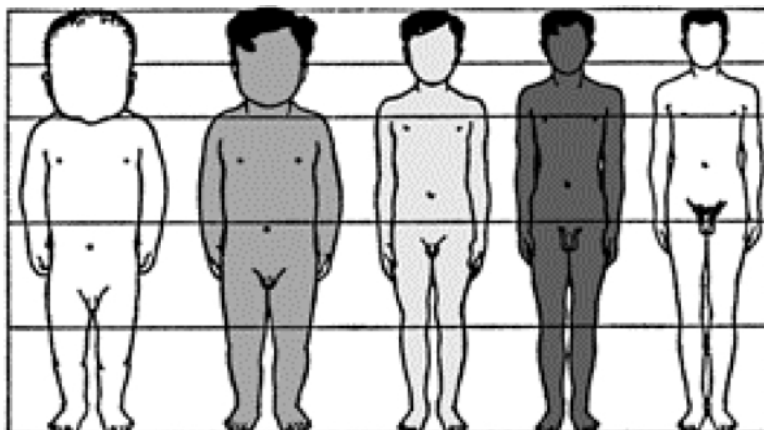
**Obr. 2.8.** Superprojekce lebky 6letého a 16letého jedince na základě base lební (konkrétně *sella turcica*) demonstruje relativně malé změny tvaru a velikosti neurokrania oproti obličejové části lebky, která s věkem výrazně mění tvar především v oblasti dolního obličejové a zároveň se s věkem posouvá více dopředu a dolu (převzato podle Enlow a Hans, 1996).

### 2.2.3 Morfologický vývoj obličejové

V průběhu života podléhá člověk změnám v růstu a vývoji tvaru a proporcí. Platí, že čím je člověk starší, tím více se jeho proporce fixují. Vše je výsledkem fenotypu jedince, který se vyvíjí v závislosti na kvalitativních a kvantitativních faktorech prostředí (Bogin a Rios, 2003). Růst měkkých tkání obličejové zpravidla kopíruje skeletální podklad (Halozenetis, 2007). Pro pochopení morfologického vývoje obličejové je tedy nezbytná znalost kraniofaciálního vývoje (viz kapitola 2.2.2).

#### 2.2.3.1 Základní proporční charakteristiky

Co se týče celkových proporcí, lebeční klenba dosahuje asi poloviční velikosti oproti stavu v dospělosti. Výška hlavy novorozence činí přibližně 1/4 délky těla, zatímco u dospělého pouze 1/8 (obr. 2.9.) (Fetter et al. 1967).



**Obr. 2.9.** Změny tělesných proporcí (převzato podle Bogina a Riöse, 2003).

Pro vnější morfologii obličeje novorozence je typická celkově malá obličejová část a vysoké klenuté čelo, které tvoří zhruba  $1/2$  obličejové části novorozence. Vzájemný poměr obličejové a mozkové části lidské tváře z předního pohledu se v průběhu ontogeneze výrazně mění a stabilizuje se v dospělosti na poměru přibližně  $2/3$  pro obličejovou část a  $1/3$  pro oblast čela. V období od 2,5 roku do 6 až 7 let si proporcionalita obličeje zachová dětský ráz. Dolní část obličeje zůstává drobná, tváře jsou zaoblené, nos je krátký a široký, rty plné, brada malá. V období pozdního dětství do puberty se celkově ztenčuje tuková podkožní vrstva, čímž více vyniká skeletální podklad, čelo je klenutější, tváře se oplošťují (Enlow a Hans, 1996). Největší morfologické změny profilu nastávají dříve u dívek (10 – 15 let) než u chlapců (15 – 25 let). S věkem dochází ke zvyšování konvexity obličeje, což úzce souvisí se zvyšující se prominencí nosu vzhledem k okolním tkáním (Bishara et al. 1998).

Obecně platí, že šířkové rozměry obličeje rostou postnatálně nejméně a nejdříve ukončí růst, výškové parametry rostou nejvíce a růst končí jako poslední. Hloubkové charakteristiky obličeje zaujímají střední postavení (Šmahel, 2001).

### 2.2.3.2 Růst a vývoj obličeje v období puberty s ohledem na pohlavní dimorfismus

Dynamika růstu a vývoje obličeje není pro obě pohlaví a po celou dobu ontogenetického vývoje shodná. Je známou skutečností, že existuje pozitivní korelace mezi celkovým růstem těla a růstem obličeje, respektive jeho skeletálním podkladem (Fishman,



1979). Lze tedy očekávat, že v rámci pubertálního růstového urychlení bude docházet k výraznějším změnám i v morfologii obličeje. Obecně dochází k nástupu puberty o 2 roky dříve u dívek než u chlapců (Marschall a Tanner, 1969, 1970), což je patrné mimo jiné i v odlišném nástupu a dynamice růstu jednotlivých partií obličeje. Tento trend potvrzuje řada studií, např. Prah-Andersen et al., 1995; Ferrario et al., 1999; Kau a Richmond, 2008; Jacob a Buschang, 2011.

Obecně platí, že s ohledem na velikost jsou všechny dimenze obličeje po celé období růstu větší u chlapců (např. Bláha a Vignerová 1999; Ferrario et al. 1998; Sforza et al. 2009, 2010). Jedinou výjimkou je věková kategorie 11 a 12 let, kdy je výška horního obličeje větší u dívek, což souvisí s dřívějším nástupem pubertálního urychlení (např. Ursi et al., 1993; Ferrario et al., 1998). Po 13. roce se růst obličeje dívek zpomaluje, ale nadále je výrazný u chlapců. To vede k ještě většímu zdůraznění velikostních rozdílů mezi pohlavími (Nanda et al., 1990; Ferrario et al., 1998; 1999; Bulygina et al., 2006). Tvarové charakteristiky měkkých tkání obličeje jsou naopak do 12 roků shodné (Bugajghis et al., 2011), některé studie udávají 13. rok (např. Bishara et al., 1984; Enlow, 1996).

Fink et al. (2005) udává, že veškeré charakteristiky obličeje jsou výsledkem dvou faktorů, a to hladinami steroidních hormonů v prenatalním období a vlastní chromozomální výbavou. Vliv zvýšených hladin pohlavních hormonů v průběhu puberty pak jen prohlubuje intersexuální rozdíly v morfologii obličeje. Pod vlivem testosteronu dochází u chlapců k celkovému prodlužování obličeje, laterálnímu růstu lícních kostí, výrazněji roste mandibula a brada, dopředu rostou nadočnicové oblouky, což má za následek relativně hlouběji uložené oči, celkově se tvar obličeje stává více robustním. Naopak estrogen způsobuje gracilnější tvar obličeje, méně robustní čelisti a plnější rty (Farkas, 1981; Enlow a Hans, 2008; Toma et al., 2008).

### Oblast očí

Pozice a rozměry měkkých tkání oční krajiny, mezi které řadíme především vzdálenosti vnějších a vnitřních koutků a výšku a šířku orbity, podléhají podle předpokladu sexuálnímu dimorfismu a s věkem dochází k jejich zvětšování. Výjimkou jsou výšky očních štěrbin, které jsou u obou pohlaví ve všech sledovaných věkových kategoriích stejné (Ferrario et al., 2001; Sforza et al., 2009). V souvislosti s výrazným rozvojem



nadočnicových oblouků u chlapců jsou oči relativně hlouběji uloženy, zatímco u dívek se zdají být relativně větší (Enlow a Hans, 2008; Kau a Richmond, 2008).

### Oblast nosu

Nejvíce variabilní, nejen z hlediska rozdílů mezi pohlavími, je oblast nosu. Ta je celkově interindividuálně vysoce variabilní a je tak význačným identifikačním znakem (Bergman, 1999). Oblast nosu je v úzké souvislosti s ostatními topografickými oblastmi obličeje, jež ovlivňuje (Enlow a Hans, 2008). Zatímco u dívek je rychlost růstu v období puberty konstantní nebo se snižuje, u chlapců dochází k výrazným změnám, především po 12. roce (Genekov et al., 1990; Prah-Anderson et al., 1995). Zvětšování nosu u chlapců je odrazem fyziologicky vyšší potřeby příjmu kyslíku z důvodu energetických nároků potřebných pro narůstající tělesné rozměry, především pak svalovou tkáň (Rosas a Bastir, 2002). Celkově dochází k prodlužování délky a šířky nosu. Šířka nosu, ohraničená nosními křídly, dosahuje u chlapců konečné velikosti ve 14 letech. Délka v 15 letech (Farkas, 1994), Hoffelder et al. (2007) uvádí konečnou délku v 16 letech, Van der Heiden et al. (2008) dokonce v 17 letech. U dívek je konečných velikostí dosaženo dříve, a to ve 13 letech (Farkas, 1994). Van der Heiden et al. (2008) tuto hranici pro ženské pohlaví posouvá až na 15. rok. Dívky mají oproti chlapcům špičku nosu směřující více nahoru, s čímž souvisí i posun horního rtu stejným směrem. Tento trend dokládají odlišné nasolabiální úhly, které se s věkem zmenšují. V 15 letech jsou jeho hodnoty větší pro dívky ( $100 - 110^\circ$ ) než pro chlapce ( $90 - 100^\circ$ ) (Toma et al., 2009).

### Oblast úst

Rozměry úst a rtů podléhají výrazným změnám během postnatálního vývoje člověka, sexuální dimorfismus je též výrazný (Sforza et al. 2010). Nejvíce jsou patrné změny v prominenci horního a dolního rtu. Platí, že více prominuje ret horní a to výrazněji u chlapců (Fernández-Riveiro et al., 2002). Výjimkou je větší prominace dolního rtu ve 12 letech u dívek (Hoffelder et al., 2007). Výrazné změny prodělávají i výška horního a dolního rtu a šířka rtů. Oba výškové rozměry rtů rostou až do období adolescence (16 až 17 let). Růst objemu rtů je výraznější v dětství a pubertě než v dospělosti. Výrazné jsou přírůstky především v obdobích mezi 8. a 9. rokem a 14. a 15. rokem u chlapců. U dívek je



nárůst nejvýraznější mezi 9. až 13. rokem života (Sforza et al., 2010; Hoffelder et al., 2007) způsobem zvýšenou hladinou estrogenu (Fink et al., 2005).

Obecně dochází v tomto období u chlapců k vertikálnímu růstu čela, k relativnímu prohloubení v oblasti očí a tváří, výraznější prominenci nosu, horního rtu a brady. Dolní ret roste relativně mírně. U dívek je nejvíce patrné prodloužení nosu a růst horního rtu, růst brady je rovněž patrný, tváře se relativně prohlubují. Celkově jsou patrné pozitivní změny v oblasti nosu, laterálních částí nadočnicových oblouků, brady a celkově ve vertikálním zvětšení obličeje. Naopak negativní změny nastaly v oblasti očí a tváří. Celkově dochází k větším změnám u chlapců. Lze také vyzorovat odlišný nástup jednotlivých změn (Kau a Richmond, 2008; Toma et al., 2011). S ohledem na pohlavní dimorfismus se na konci puberty (ve věkové kategorii 15 let) nejvíce liší oblasti očí a tváří a to ve prospěch větší prominence u dívek, zatímco chlapci mají více prominující oblast nosu a úst (Toma et al., 2008). Intersexuální variabilita obličeje je výsledkem odlišné rychlosti a délky růstu v období puberty a trvající až do období adolescence, kdy se růst zastavuje (Ursi et al., 1993; Rosas a Bastir, 2002).



### 3 Cíl práce

Diplomová práce je zaměřena na věkový interval 12 až 14 let, tedy na hranici blížíící se věku trestní odpovědnosti. Dané věkové kategorie byly sledovány v sekvenci longitudinálních dat. Hodnoceny byly změny tvaru a velikosti jednotlivých partií obličeje i obličeje jako celku. Byly hodnoceny jednotlivé věkové kategorie a dále jejich intersexuální difference.

Cíle práce:

1. Zhodnotit variabilitu tvaru a formy obličeje v rámci sledovaných věkových kategorií (zvlášť u chlapců a u dívek).
2. Zhodnotit průměrné velikostní změny v rámci sledovaného období po ročních intervalech, tj. 12-13 a 12-14 let.
3. Zhodnocení pohlavního dimorfismu v rámci sledovaného období.
4. Statisticky zhodnotit míru podobnosti/rozdílnosti mezi jednotlivými skupinami.

## 4 Materiál

Tato diplomová práce je součástí longitudinální studie českých dětí, započaté v roce 2009, jejímž cílem je sběr trojrozměrných modelů obličeje dětí a mládeže od 6 do 18 let věku a následná longitudinální analýza změn velikosti a tvaru obličeje české populace. Skenování obličeje probíhá na ZŠ Pošepného a na Gymnáziu Kladno.

V této práci je longitudinálně hodnocena věková kategorie 12 až 14 let. Jedná se o jedince české národnosti, bez zjevných obličejových vad. Měřili jsme též výšku a váhu jedinců, ze které se následně vypočítal BMI (Body Mass Index). Jedinci s vysokým BMI nebyli do této práce zahrnuti, neboť mají, mimo jiné, vyšší vrstvu podkožního tuku a tím i celkově vyšší vrstvy měkkých tkání obličeje (Neeley a Gonzales, 2007). Hodnotili jsme pouze kompletní časové řady pro každého jedince. Z důvodu nepřítomnosti v době skenování (nemoc, návštěva lékaře apod.) byli tedy někteří jedinci též vyřazeni. Tabulka 4.1. shrnuje počty jedinců na začátku studie a též v každém roce skenování.

Z původního vzorku 63 dětí bylo do práce zahrnuto celkem 44 dětí (23 chlapců, 21 dívek) o průměrném věku 12,3 let pro chlapce a 12,4 let pro dívky na začátku skenování.

**Tabulka 4.1.** Počet jedinců v průběhu skenování

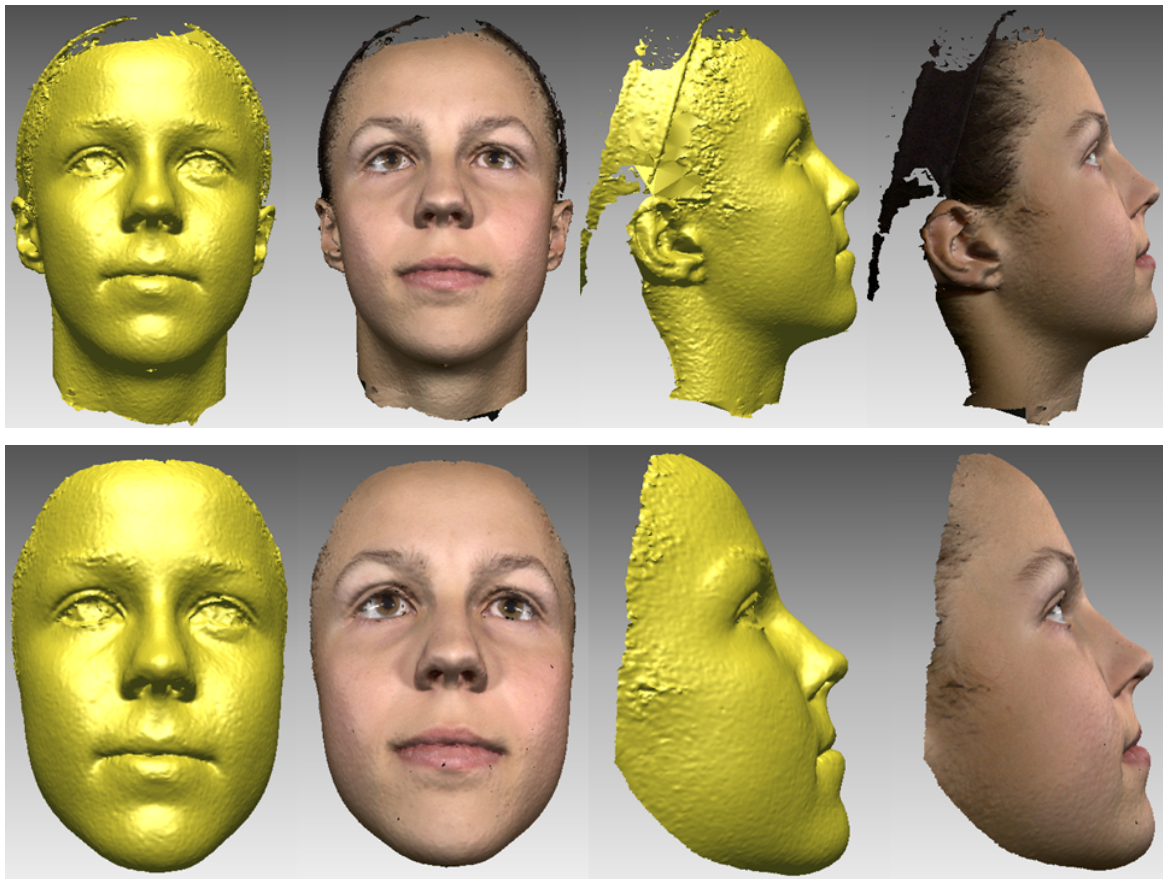
	Počet jedinců				
	na začátku	1. rok	2. rok	3. rok	na konci
chlapci	32	30	25	27	23
dívky	31	28	26	23	21
celkem	63	58	52	50	44



## 5 Metodika

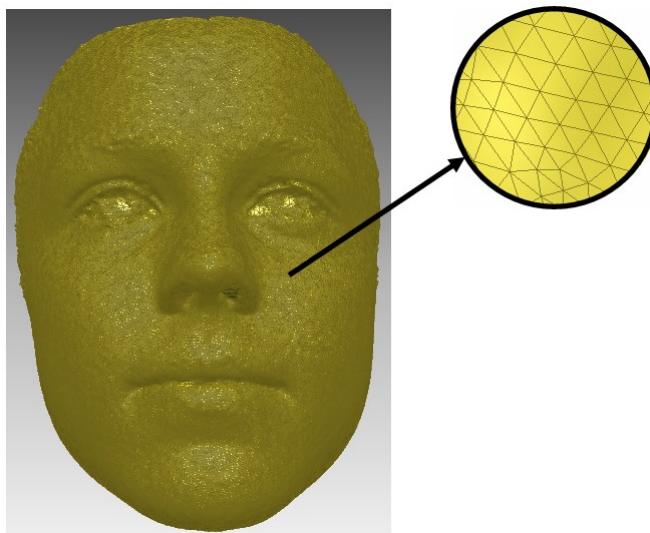
### 5.1 Sběr a úprava dat

Obličeje byly snímány pomocí vícekamerového bezkontaktního skeneru Vectra3D. Princip skenování je čistě optický, tudíž pro jedince zcela bezpečný. Jedinci byli snímáni z frontálního pohledu vsedě. Byli požádáni o neutrální výraz obličeje, hlava byla orientována v přirozené poloze (NHP – natural head position). Doba snímání obličeje je velmi rychlá (2 milisekundy). Výstupem je trojrozměrný model zachycující nejenom povrch, ale i jeho texturu. Takto získaný trojrozměrný model je poté exportován v požadovaném formátu do programu RapidForm XOS 2006, INUS Technology, kde je následně upravován před dalšími analýzami. Úprava spočívá v manuálním odstranění šumu z důvodů drobných nerovností povrchu, zaplnění otvorů, odstranění rušivých a nepodstatných elementů (vlasy, uši, krk) – obr. 5.1.



**Obr. 5.1.** Trojrozměrný model obličeje (povrchový model a textura) před (nahore) a po úpravě (dole).

Z matematického hlediska je 3D model shluk obrovského počtu polygonů (trojúhelníků) vytvářejících dohromady síť (mesh) s určitým počtem spojnic a bodů – obr. 5.2.



**Obr. 5.2.** Polygonová síť.

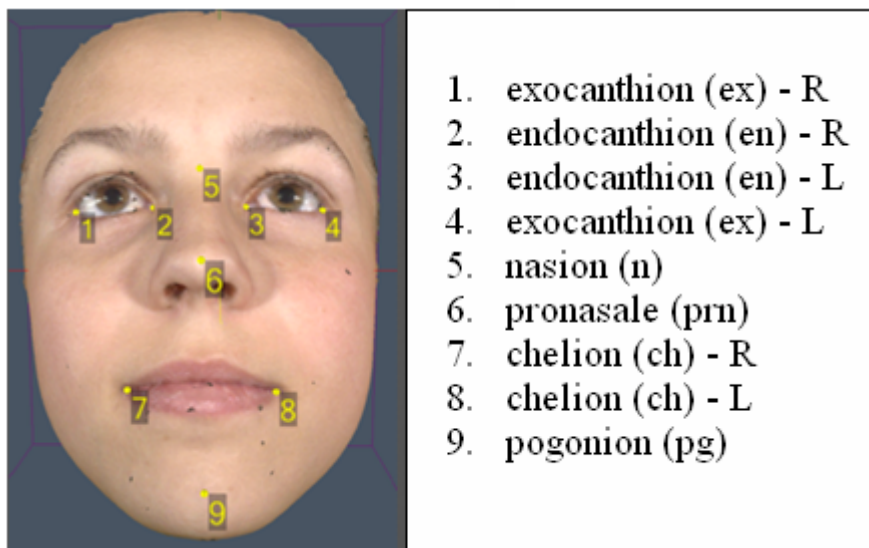
## 5.2 Vlastní hodnocení – metody geometrické morfometrie

Vlastní hodnocení dat probíhalo v programech Morphome3cs a RapidForm XOS 2006. Tyto softwary umožňují hodnocení povrchových modelů obličejů na základě specifických metod geometrické morfometrie. Tyto metody zahrnují komplexní soubor mnohorozměrných statistických technik.

### 5.2.1 Dense correspondence analýza (DCA)

Dense correspondence analýza je základní analýzou, která musí být provedena před vlastním hodnocením dat z důvodu sjednocení vlastností všech 3D modelů. Jak již bylo zmíněno výše, povrchový model je shlukem polygonů s určitým počtem spojnic a bodů, které však nejsou homologní. Cílem je získání shodného počtu bodů a trojúhelníků pro všechny modely. Za tímto účelem navrhl Hutton (2001) využití 9 tzv. referenčních landmarků (obr. 5.3., tabulka 5.1.), které se manuálně umístí na všechny modely. DCA algoritmus umožní přepočítání všech bodů podle zvoleného základního modelu (referenčního, tzv. *base mesh*), ke kterému se ostatní modely na základě korespondujících referenčních landmarků zarovnají. Principem tohoto zarovnání je tzv. generalizovaná Prokrustovská analýza (GPA), která umožní posun, rotaci či překlopení všech modelů

k modelu základnímu. V dalším kroku jsou všechny modely transformovány metodou TPS (tzv. Thin Plate Splines) do průměrné konfigurace za použití interpolace. V konečné fázi jsou všechny modely přepočítány na stejný počet bodů. Každý z vrcholů polygonu poté představuje jeden bod – souřadnici.



**Obr. 5.3.** Referenční landmarky využití v rámci Dense correspondence analýzy.

**Tabulka 5.1.** Definice referenčních landmarků

Název landmarku	Zkratka	Definice
exocanthion	ex	bod na vnějším koutku oční štěrby v místě styku obou víček
endocanthion	en	bod na vnitřním koutku oční štěrby v místě styku obou víček
nasion	n	bod v mediální rovině kořene nosu v místě nasofrontálního švu
pronasale	prn	nejvíce anteriorně směřující bod na hrotu nosu
chelion	ch	bod na vnějším koutku úst v místě styku hranice červeně horního a dolního rtu
pogonion	pg	nejvíce anteriorně směřující bod v mediální rovině brady

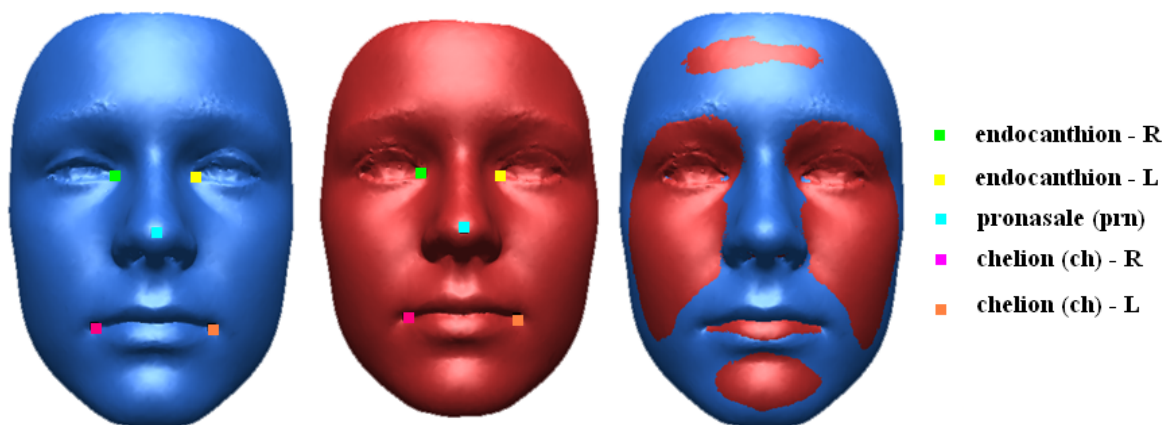
(zpracováno podle Farkas, 1994)

### 5.2.2 Analýza hlavních komponent (PCA)

Analýza hlavních komponent je multivariační (mnohorozměrnou) analýzou sloužící ke kvantifikaci variability. Cílem analýzy je především zjednodušení popisu skupiny vzájemně lineárně závislých či korelovaných znaků. Metodu lze popsat jako lineární transformaci původních znaků na nové, nekorelované proměnné, tzv. hlavní komponenty. Každá hlavní komponenta představuje lineární kombinaci původních znaků. Její hlavní charakteristikou je její míra variability (tedy rozptyl). Komponenty jsou seřazeny dle důležitosti, tj. dle klesajícího rozptylu (PC1 představuje největší část rozptylu původních dat; PC2 představuje největší část rozptylu neobsaženého v PC1; atd.). 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. Většina informace o variabilitě původních dat je soustředěna do první komponenty. Platí pravidlo, že má-li nějaký původní znak malý či dokonce nulový rozptyl, není schopen přispívat k rozlišení mezi objekty (Meloun a Militký, 2004; Zeldich, 2004). Obě tyto analýzy probíhají v programu Morphome3cs, který mimo jiné umožňuje vytvořit průměrné modely (obličej) pro konkrétní skupinu. Tyto modely lze dále hodnotit specifickými metodami – např. na základě superprojekce a programu RapidForm.

### 5.2.3 Superprojekce dvou modelů (tzv. shell-to-shell deviation maps)

Jedná se o kvantitativní analýzu velikostních změn mezi dvěma konkrétními modely (obličej). Principem superprojekce je tzv. ICP algoritmus (iterative-closest-point algorithm), který je obecně široce využíván k registraci dvou 3D modelů. Algoritmus na vstupu získává dvě mračna bodů (tzv. point clouds), což jsou v podstatě vrcholy trojúhelníků polygonových sítí, pro která určí hrubý odhad vzájemné transformace. Poté dochází k iterativnímu přepočítávání transformace mezi mračny bodů pomocí opakovaného generování korespondujících párů bodů (Besl a McKay, 1992). V případě registrace dvou modelů obličej je z důvodu snadnější transformace manuálně umístěno 5 referenčních landmarků na oba modely (obr. 5.4.).



Obr. 5.4. Superprojekce dvou konkrétních obličejů.

### 5.3 Statistické hodnocení

Statistické hodnocení dat probíhalo v programech PAST (suťový graf) a Morhpome3cs (dvouvýběrové testy).

#### 5.3.1 Suťový graf (tzv. scree plot)

Suťový graf zobrazuje příspěvky jednotlivých komponent na celkovou variabilitu souboru. Slouží k určení počtu komponent, které je vhodné interpretovat. Vynáší se proti sobě stoupající komponenta a klesající hodnota vlastního čísla dané komponenty, jež je vyjádřena v procentech jejího příspěvku na celkovou variabilitu. Bodem, kde dochází k největší změně tvaru křivky (tzv. inflexní bod), prochází dělicí čára. Ta znázorňuje komponenty, které nejvíce ovlivňují variabilitu. Komponenty nacházející se pod touto čarou lze považovat za nesignifikantní (Hammer, 1999 – 2012). Statisticky tedy budou hodnoceny pouze ty komponenty, které lze považovat v rámci dané skupiny za signifikantní.

#### 5.3.2 Dvouvýběrové testy

Dvouvýběrové testy slouží k testování dvou populací založené na porovnávání dvou konkrétních vzorků. Základní členění je na párové a nepárové. Párové testy srovnávají skupiny objektů, mezi kterými existuje vazba, data tedy pocházejí z objektů, které byly podrobeny dvěma měřeními. Předpokládají normální rozložení dat v jednotlivých testovaných množinách. Naopak nepárové testy porovnávají data, tvořená dvěma nezávislými výběry, která pocházejí ze dvou různých skupin jedinců. Základním



testem pro srovnání dvou rozložení dat je t-test, jehož alternativou pro mnohorozměrné analýzy je tzv. Hotellingův  $T^2$ -test (Haruštiaková et al., 2012).

K testování rozdílnosti mezi jednotlivými věkovými kategoriemi v rámci pohlaví (závislá data) byl využit parametrický Hotellingův párový test. Nejprve však bylo nutné testovat normalitu rozložení dat jednotlivých množin, v našem případě podle neparametrického testu normality (Székely-Rizzo, 2005). Rozdíly mezi chlapci a dívkami, pro každou věkovou kategorii zvlášť (nezávislá data), jsme testovali pomocí nepárového dvouvýběrového permutačního testu, který je založený na počítačových simulacích (permutacích) - tzv. princip Monte Carlo. Jedná se o neparametrický test, který nevyžaduje předpoklad normálního rozdělení (Zvára, 2006).

Ve všech případech byla data testována na 5% hladině významnosti.

## 6 Výsledky

Pro přehlednost jsou výsledky členěny do několika kapitol. V prvních dvou kapitolách jsou shrnuty výsledky tvarových a průměrných velikostních změn obličeje v průběhu růstu, zvlášť pro chlapce a zvlášť pro dívky, ve věkovém intervalu 12 – 14 let. Třetí kapitola sumarizuje výsledky z hlediska pohlavního dimorfismu tvaru, formy a průměrných velikostních změn vždy v konkrétní věkové kategorii, tj. 12, 13, 14 let.

Variabilita změn obličeje byla hodnocena prostřednictvím analýzy hlavních komponent (PCA) v programu Morphome3cs. Hodnocení lze provést dvěma způsoby: velikost obličeje je zachována – hodnocení variability formy; velikost je odfiltrována – hodnocení variability tvaru. Provedeny byly obě varianty. Program umožňuje automaticky spočítat míru variability daného souboru, reprezentovanou jednotlivými komponentami a jejich procentuálními příspěvky k vysvětlení celkové variability souboru. Na základě konstrukce průměrného obličeje je též umožněna vizualizace konkrétních tvarových změn v rámci jednotlivých komponent. Tyto analýzy byly doplněny grafy PCA skóre, kde každý bod grafu představuje konkrétního jedince a lze tak vidět jeho umístění v rámci variability celého souboru (čím dále od sebe dva jedinci v rámci konkrétní komponenty jsou, tím více jsou tvarově odlišní). Pro větší přehlednost o rozložení jednotlivých skupin byly využity elipsy (tzv. confidence ellipsoid), které zahrnují rozptyl všech bodů (jedinců) v rámci jedné skupiny. Tyto elipsy jsou nastaveny tak, že 85% všech jedinců se nachází uvnitř konkrétní elipsy. Ke každému grafu se též vztahují sekvence obličejů (z frontálního pohledu a z profilu), které představují středovou hodnotu a oba extrémy variability v rámci konkrétní komponenty. Hodnoceny byly pouze ty sekvence obličejů, kde byl příspěvek konkrétní komponenty vyšší než 5%. Shrnuty jsou též základní statistické ukazatele dvouvýběrových testů.

Kromě hodnocení variability formy a tvaru obličeje jsme sledovali průměrné rozdíly mezi jednotlivými soubory, získané pomocí DCA. Tato hodnocení probíhala v programu RapidForm na základě superprojekce průměrných obličejů. Na výsledných barevných mapách pak sledujeme, které části obličeje a v jaké intenzitě se liší velikostí či tvarem.

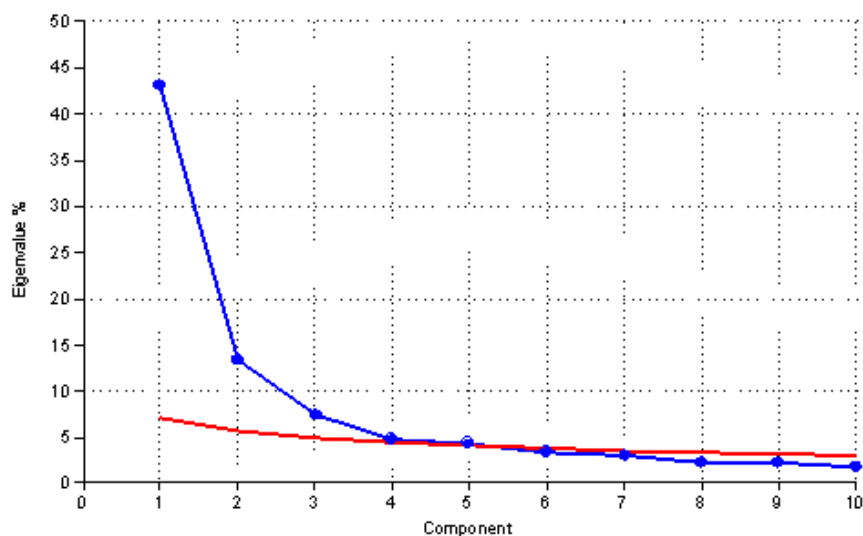
## 6.1 Hodnocení tvaru a velikosti obličeje chlapců

### 6.1.1 Hodnocení variability formy obličeje chlapců

Variabilita formy obličeje 12 až 14letých chlapců byla sledována na základě PCA s cílem nalézt komponentu, která odpovídá věkovým změnám formy obličeje. Zároveň jsme statisticky hodnotili, zda lze jednotlivce v konkrétních věkových kategoriích od sebe odlišit na základě nejvýznamnějších komponent. Tabulka 6.1. shrnuje procentuální příspěvky 10 hlavních komponent, jejichž součet představuje 85,12% celkové variability. Na základě suťového grafu 6.1., který hodnotí důležitost příspěvků těchto komponent, bylo dále statisticky hodnoceno prvních 5 komponent (**72,77%** celkové variability). Změny formy obličeje v rámci jednotlivých komponent byly vizualizovány pouze u těch, které přispívají na celkovou variabilitu více jak 5%, tzn. u prvních tří komponent.

**Tabulka 6.1.** Přehled 10 hlavních komponent podléjících se na celkové variabilitě formy obličeje chlapců

PC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
variabilita (%)	43,12	13,36	7,36	4,72	4,21	3,27	3,04	2,22	2,16	1,66

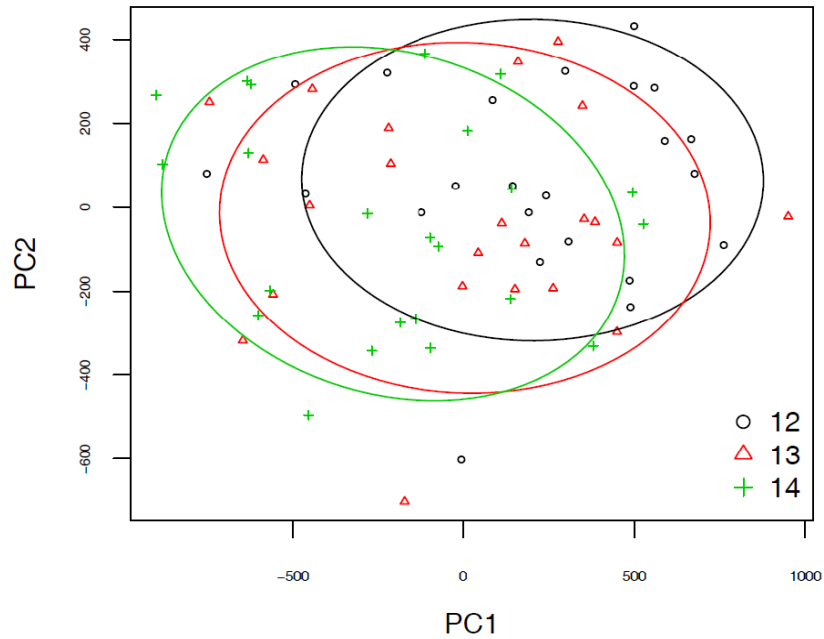


**Graf 6.1.** Suťový graf 10 hlavních komponent.

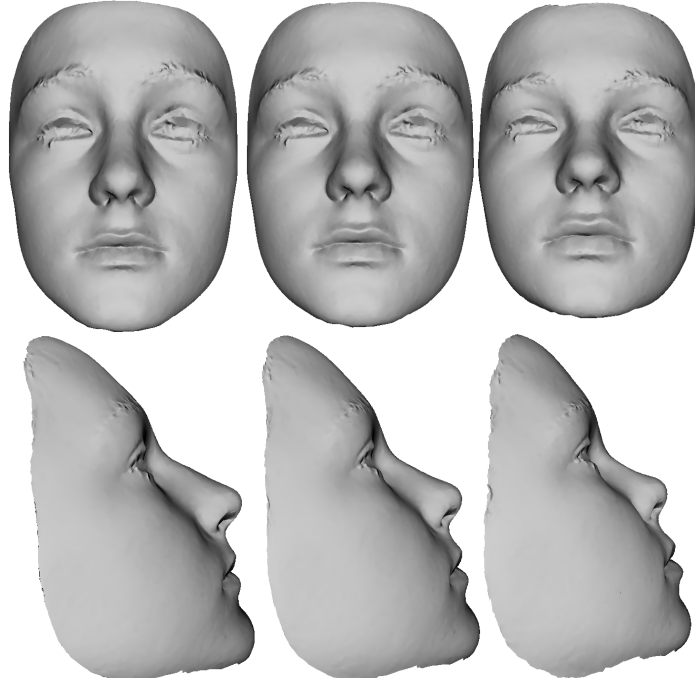
Podle grafu závislosti PC1 a PC2 (graf 6.2.) vyplývá, že právě první komponenta charakterizuje věkové změny formy obličeje. Vlevo (negativní hodnota PC1) se častěji nacházejí jedinci ve 14 letech, naopak více vpravo (pozitivní hodnota PC1) jedinci ve 12 letech. Věkovým změnám tedy odpovídá první hlavní komponenta, která vysvětluje



43,12% variability sledovaného souboru chlapců. Pohybujeme-li v programu Morphome3cs kurzorem po ose PC1 zprava doleva bude se měnit obličej od nejvíce kladné hodnoty po nejvíce zápornou hodnotu PC1.



**Graf 6.2.** Závislost PC1 a PC2 podléjící se na variabilitě formy obličeje chlapců.

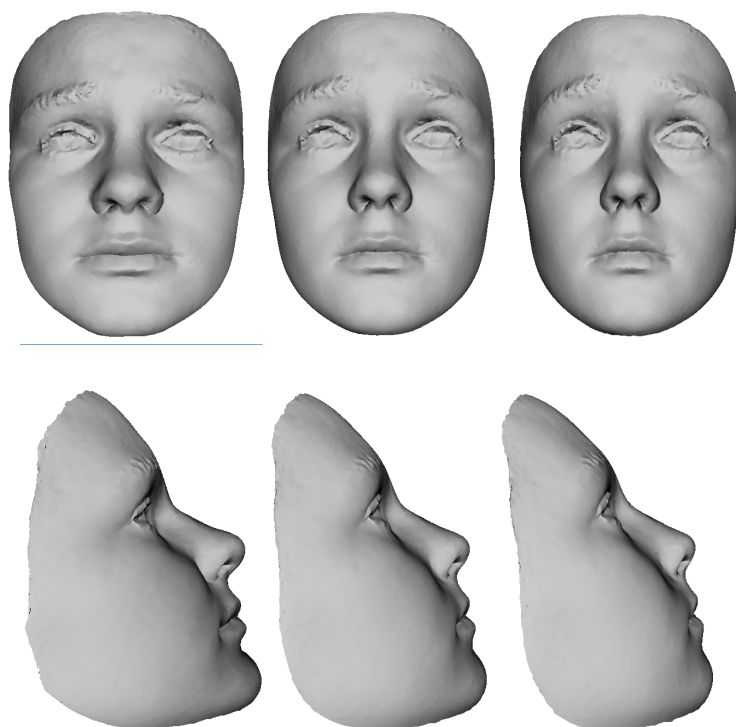


**Obr. 6.1.** Změny formy obličeje chlapců vyjádřené PC1. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě hlavní komponenty.

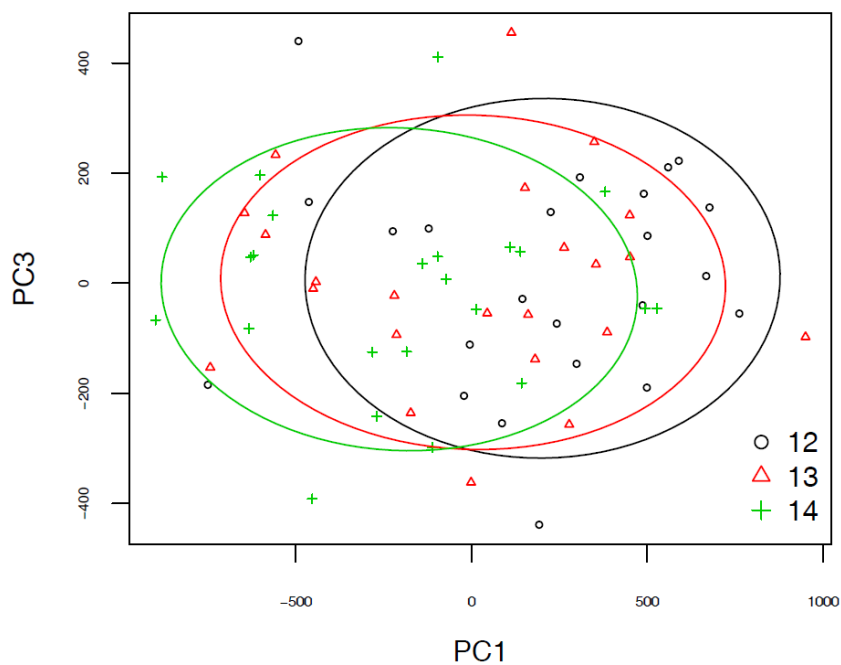


První hlavní komponenta (obr. 6.1.) zahrnuje 41,12% variability a zodpovídá především za velikostní změny obličejů, který se s věkem zároveň prodlužuje (zprava doleva). Z frontálního pohledu lze s rostoucím věkem pozorovat především celkové prodlužování obličejů a to jak v oblasti horního obličejů (čelo – počínaje kořenem nosu a krajina kolem očí), tak dolního obličejů včetně prodlužování a zužování brady. Celkově jsou pak obličejů mladších chlapců relativně širší. Obličejů dvanáctiletých chlapců mají z frontálního pohledu vyšší dolní ret. Naopak z profilu je patrné snižování prominence obou rtů s narůstajícím věkem. Celkově je pak z laterálního pohledu vidět nejvýraznější zvyšování prominencí nosu a brady s rostoucím věkem. Nos se též celkově prodlužuje a mění tvar z konkávního na rovný až slabě konvexní. Dále je patrný úbytek měkké tkáně v oblasti tváří, kulaté tváře se s věkem oplošťují.

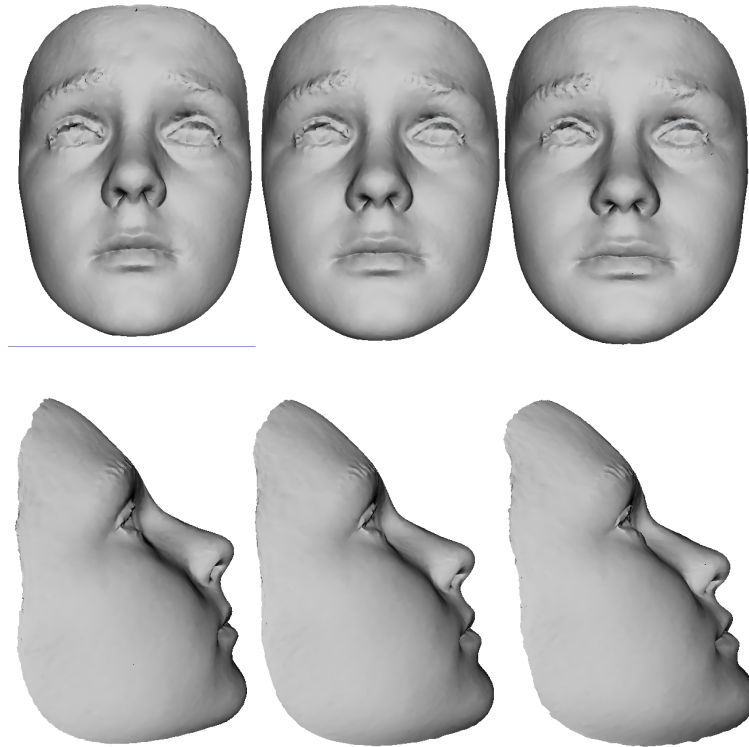
Druhá hlavní komponenta (obr. 6.2.) zodpovídá za 13,36% variability formy obličejů. Z frontálního pohledu je směrem k negativním hodnotám komponenty nejvíce patrný celkový nárůst šířkových rozměrů obličejů. Toto rozšiřování je patrné i v oblasti očních štěrbin, kořene i hrotu nosu a rtů. Z laterálního pohledu lze zaznamenat zvětšování nadočnicových oblouků, díky čemuž se zdají být oči relativně hlouběji posazené. Rovina čela se vzhledem k rovině obličejů více napřimuje (stává se více kolmá). Výrazné je též zvětšování prominencí nosu, špička nosu naopak směřuje více dolů. Zvyšuje se též prominencí horního rtu, s čímž souvisí snižování nasolabiálního úhlu, které je též patrné.



**Obr. 6.2.** Změny formy obličeje chlapců vyjádřené PC2. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.



**Graf 6.3.** Závislost PC1 na PC3 podléající se na variabilitě formy obličeje chlapců.



**Obr. 6.3.** Změny formy obličeje chlapců vyjádřené PC3. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

Graf 6.3. znázorňuje závislost PC3 na první komponentě. Z grafu lze vyčíst, že variabilita reprezentovaná těmito dvěma komponentami se s rostoucím věkem snižuje. Největší variabilitu vykazují 12 letí jedinci.

Třetí hlavní komponenta (obr. 6.3.) zodpovídá za 7,39% variability. Z frontálního pohledu jsou patrné změny v šířkových rozměrech obličeje (nejvíce patrné v oblasti kolem hrotu nosu a v oblasti rtů) a to ve směru zužování z pozitivních k negativním hodnotám komponenty. Z profilu lze pozorovat přechod z konkávního na více konvexní obličej (negativní hodnota komponenty), což se nejvýrazněji projevuje v oblasti nosu. Úzké obličeje mají nos s oblým kořenem, rovným hřbetem a špičkou nosu směřující superiorně. Dochází tak i ke zvyšování nasolabiálního úhlu. Mírně se též mění prominence brady, která se k negativním hodnotám snižuje.

Statisticky bylo hodnoceno celkem 5 hlavních komponent a to vždy mezi jednotlivými věkovými kategoriemi, tzn. 12-13, 13-14 a 12-14. Cílem bylo zhodnotit, zda se od sebe tyto skupiny signifikantně liší z hlediska formy obličeje. U všech testovaných



skupin bylo na základě neparametrického testu normality (Székely-Rizzo, 2005) prokázáno normální rozložení dat a tudíž mohl být využit parametrický Hotellingův párový test. Výsledky shrnuje tabulka 6.2.

**Tabulka 6.2.** Statistická analýza formy obličeje chlapců mezi jednotlivými věkovými kategoriemi

věkové kategorie	12 vs 13	13 vs 14	12 vs 14
p-value	0.0001943	0.0001016	2.75e-08

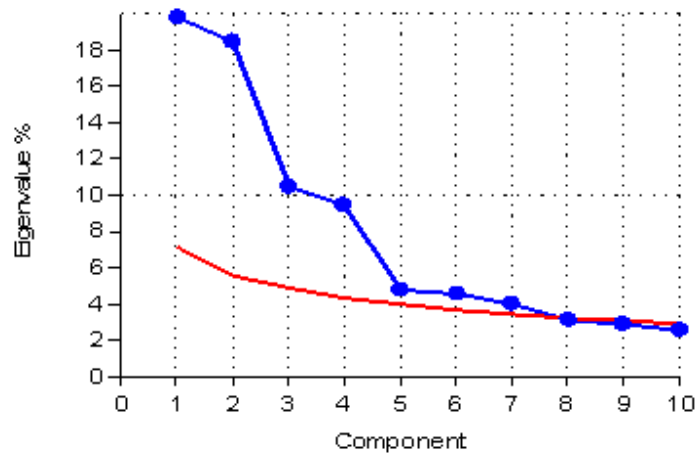
Forma obličeje chlapců se tedy v průběhu růstu ve sledovaném období významně mění, což je potvrzeno i na základě statistického hodnocení.

### 6.1.2 Hodnocení variability tvaru obličeje chlapců

Variabilita tvaru obličeje 12 až 14letých chlapců byla sledována na základě PCA. Cílem bylo zhodnotit, k jakým tvarovým změnám v morfologii obličeje dochází v průběhu růstu a zda je lze od sebe statisticky odlišit. Tabulka 6.3. ukazuje příspěvky deseti hlavních komponent, jejichž příspěvek na celkovou variabilitu tvaru u sledovaného souboru jedinců činí 79,96%. Znázornění těchto komponent do suťového grafu (6.4.), ukázalo, že na celkovém tvaru obličeje se nejvýznamněji podílí prvních 8 komponent, které zodpovídají za **74,60%** celkové variability. Ty byly dále statisticky hodnoceny. Vizualizovány byly opět pouze ty komponenty, které přispívají více než 5%, tzn. první čtyři.

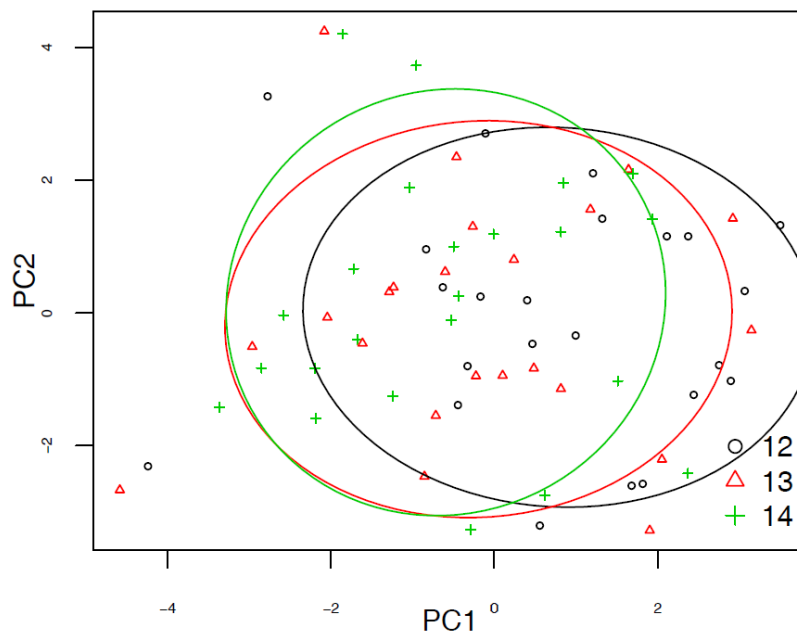
**Tabulka 6.3.** Přehled 10 hlavních komponent podléjících se na celkové variabilitě tvaru obličeje chlapců

PC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
variabilita (%)	19,75	18,44	10,46	9,49	4,79	4,55	3,97	3,15	2,85	2,51

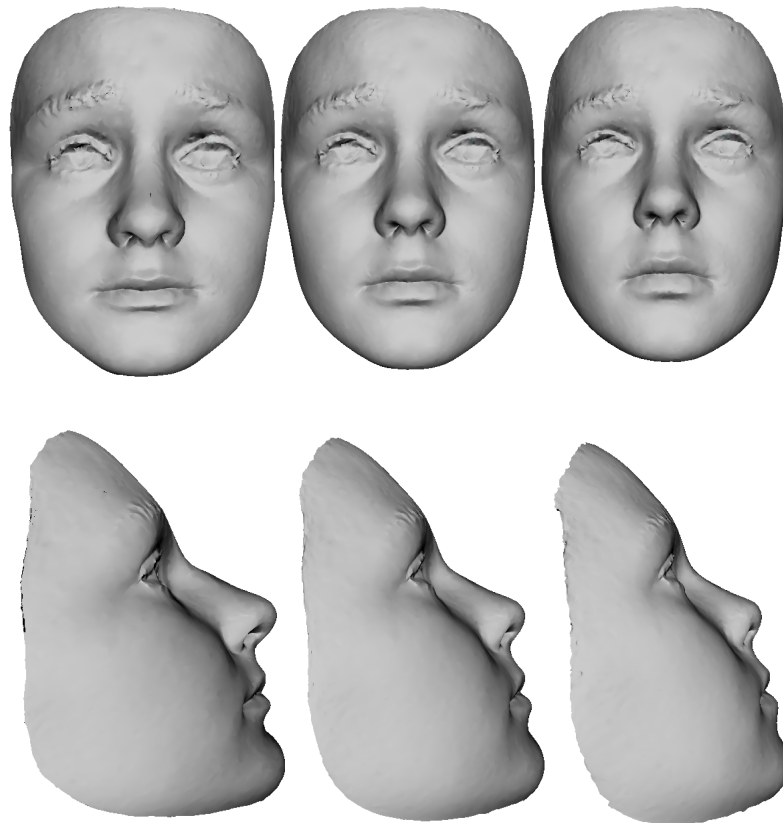


**Graf 6.4.** Suťový graf 10 hlavních komponent.

Graf 6.5. představuje závislost prvních dvou komponent. Rozložení konkrétních jedinců ve všech věkových kategoriích poukazuje na to, že se s vzrůstajícím věkem mění i tvar obličeje. Vlevo (negativní hodnota PC1) se častěji nacházejí jedinci ve 14 letech, naopak více vpravo (pozitivní hodnota PC1) jedinci ve 12 letech. Oproti variabilitě formy obličeje charakterizovanou stejnými komponentami, jsou však tvarové rozdíly mezi kategoriemi méně výrazné (jednotlivé elipsy se více překrývají).



**Graf 6.5.** Závislost PC1 na PC2 podléající se na variabilitě tvaru obličeje chlapců.

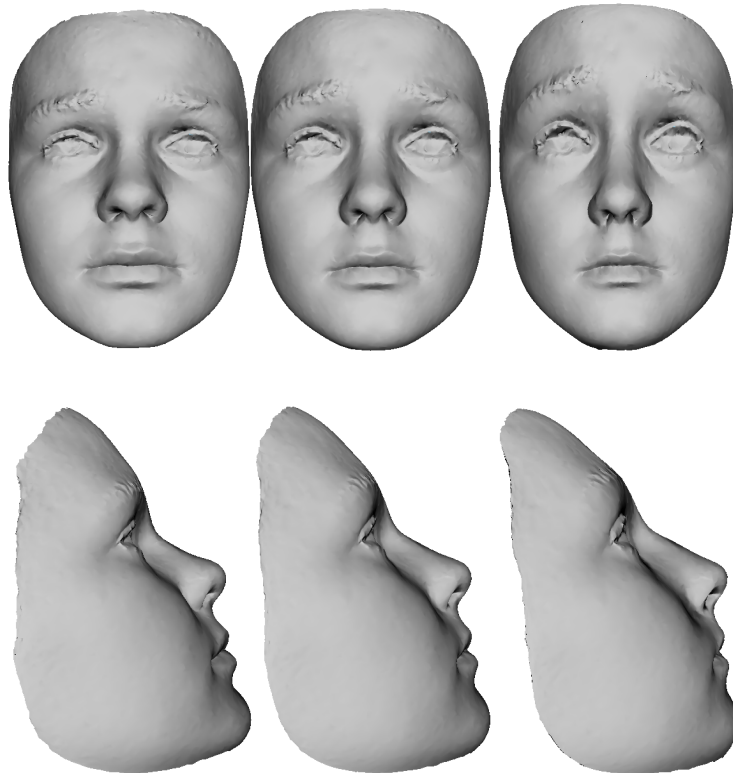


**Obr. 6.4.** Změny tvaru obličeje chlapců vyjádřené PC1. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

První komponenta (obr. 6.4.) zahrnuje 19,75% z celkové variability a zodpovídá především za tvarové změny spojené s celkovým relativním rozšiřováním obličeje se stoupajícím věkem (zprava doleva). Z frontálního pohledu jsou nejvíce patrné změny v oblasti nosu (rozšiřování hřbetu nosu a nosních křídel). S vrůstající šířkou rtů se mění též šířka a tvar philtra a zároveň se snižuje výška horního i dolního rtu. Tvar brady se mění ze zakulacené na ostřejší. Výrazné tvarové změny lze pozorovat z laterálního pohledu a to především z hlediska zvyšování prominence nosu a brady. Tvarové změny oblasti nosu jsou spojené s odlišným směřováním hrotu nosu, který se posouvá se stoupajícím věkem více inferiorně, čímž se snižuje i nasolabiální úhel. Zvyšuje se prominencí dolního rtu, která společně se zvyšující prominencí brady výrazně snižuje sublabiální úhel. Brada prominuje směrem dopředu (anteriorně).

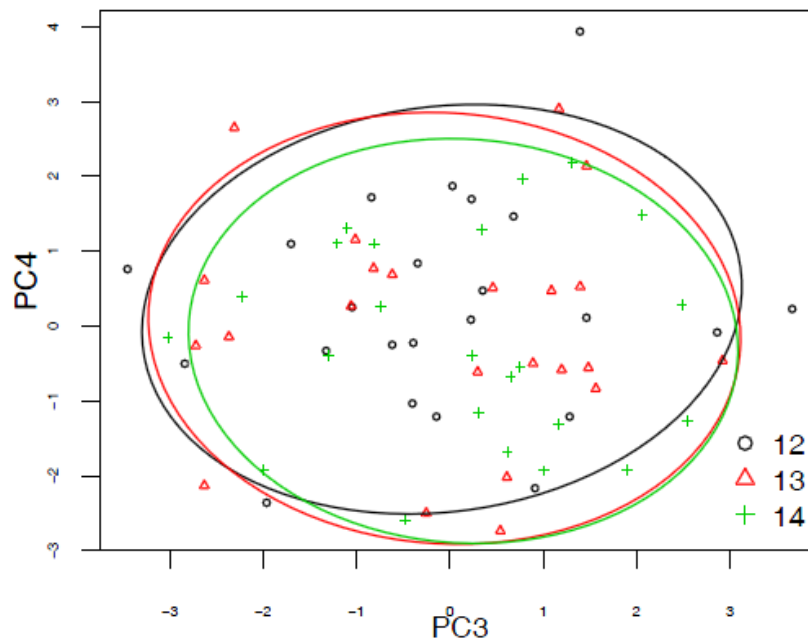
Druhá komponenta (obr. 6.5.) zodpovídá za 18,44% celkové variability. Způsobuje tvarové změny především v oblasti horního obličeje, který se výrazně mění i proporcionálně. Z frontálního pohledu je od negativních k pozitivním hodnotám patrné

zvyšování oblasti čela (od kořene nosu výš), ale zároveň dochází ke snižování oblasti očních. Zároveň dochází k posunu nadočnicových oblouků směrem dolů. Oční štěrby se snižují a rozšiřují. Rozšiřuje se též oblast kořene nosu, méně výrazně pak oblast nosních křídel. Mění se též tvar rtů, především pak rtu horního, který se stává celkově plnějším. Z profilu je v souvislosti s posunem nadočnicových oblouků směrem dolů zřetelný i relativní posun očí hlouběji do očnice. Mění se i tvar hrotu nosu a nosních křídel. Oba rty zvyšují svoji prominenci, více pak dolní. Brada směřuje více anteriorně.



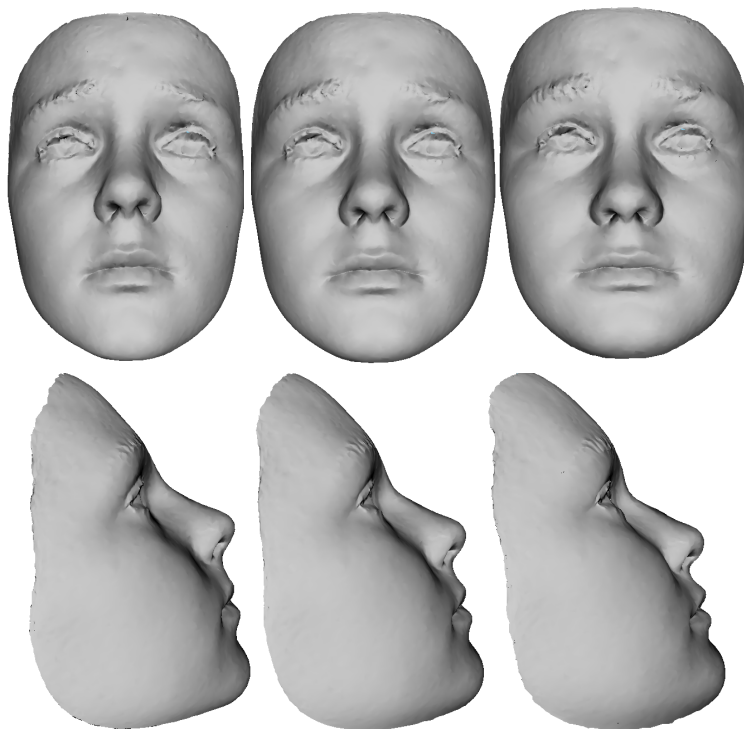
**Obr. 6.5.** Změny tvaru obličeje chlapců vyjádřené PC2. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.





**Graf 6.6.** Závislost PC3 a PC4 podlející se na variabilitě tvaru obličeje chlapců.

Závislost PC3 a PC4 (graf 6.6.) poukazuje na to, že v rámci těchto komponent je variabilita tvaru nejmenší u 14letých chlapců. Zároveň však tyto komponenty nejsou schopny výrazně odlišit tvarové změny obličeje charakteristické pro konkrétní věkovou kategorii. Rozložení jedinců vykazuje rovnoměrný rozptyl. Konkrétní tvarové změny obličeje, za které zodpovídají tyto dvě komponenty, jsou vizualizovány dále.

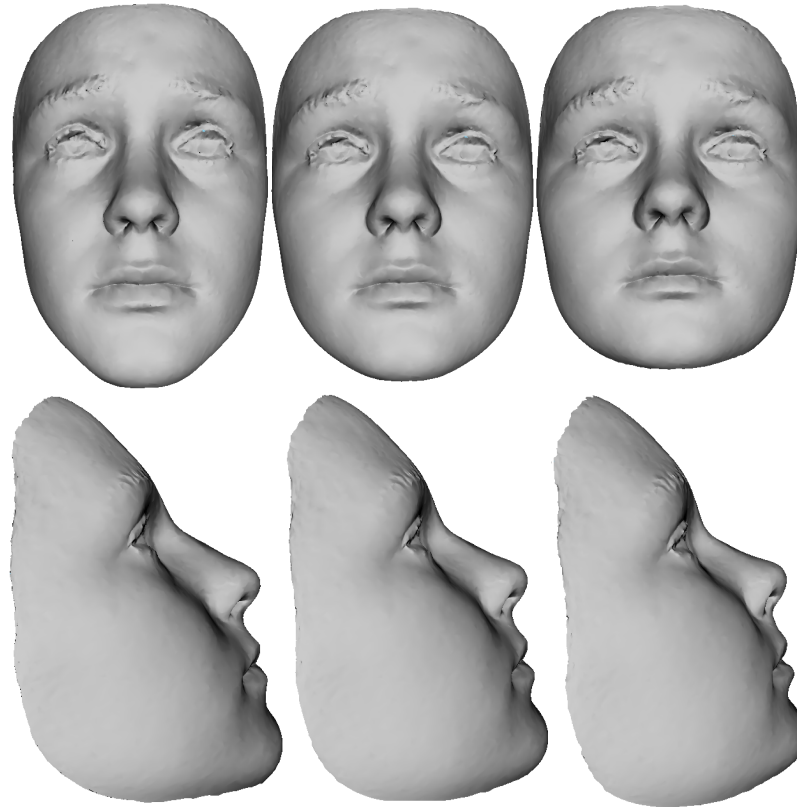


**Obr. 6.6.** Změny tvaru obličeje chlapců vyjádřené PC3. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

Třetí komponenta (obr. 6.6.) se podílí z 10,46% na celkové variabilitě a je spojená především s tvarovými změnami oblasti nosu a úst, spojenými s rozšiřováním, respektive zužováním obličeje. Z frontálního pohledu jsou zprava doleva patrné změny v oblasti nosních křídel a nosních dírek, které se zprava doleva zužují. Totéž je patrné v oblasti úst, kde zároveň dochází k relativnímu zvětšování výšky horního i dolního rtu. Z profilu lze celkově pozorovat přechod z mírně konkávního na mírně konvexní obličej. Oči se zdají být hlouběji uložené, což souvisí se zvyšováním prominence nadočnicových oblouků a též výšky kořene nosu. Tvar hrotu nosu je více konvexní. Směrem doleva se též zvyšuje nasolabiální úhel, stejně tak úhel sublabiální.

Čtvrtá komponenta (obr. 6.7.) zodpovídá za 9,49% celkové variability. Charakterizuje tvarové změny v oblasti dolního obličeje, především brady. V rámci pozitivních hodnot dané komponenty je obličej nižší a relativně širší, což se výrazně mění směrem k negativním hodnotám. S tím souvisí i změny tvaru brady, která se mění z kratší zaoblené na delší hranatější. Z profilu je patrné odlišné směřování její prominence od anteriorní po inferiorní, což se odráží i ve zvětšování sublabiálního úhlu. Z profilu je dále

patrné zvětšování nosu, což má za následek i změny jeho tvaru, především v oblasti kořene nosu a hrotu nosu, který směřuje více inferiorně. Horní ret zvyšuje svoji prominenci, naopak dolní ret se stává plnějším.



**Obr. 6.7.** Změny tvaru obličeje chlapců vyjádřené PC4. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

Některé z vizualizovaných sérií obličejů, charakterizujících konkrétní komponenty, se zdají být vertikálně kratší/delší v případě obou extrémů dané komponenty. Příkladem mohou být obličeje na obr. 6.7., kdy obličej napravo je z frontálního pohledu kratší než nalevo, ačkoliv je velikost odfiltrována. To platí i u všech dalších hodnocení variability tvaru obličeje. Jedním z pravděpodobných důvodů může být zkreslení způsobené převodem trojrozměrného modelu na dvojrozměrný pod odlišným úhlem.

Statisticky bylo hodnoceno celkem 8 hlavních komponent a to vždy mezi jednotlivými věkovými kategoriemi, tzn. 12-13, 13-14 a 12-14. Cílem bylo zhodnotit, zda se od sebe jednotlivé věkové kategorie liší na základě tvaru obličeje. Neparametrický test

normality rozložení dat (Székely-Rizzo, 2005) prokázal normální rozložení dat u všech kategorií, které tedy mohly být dále statisticky hodnoceny. Výsledky shrnuje tabulka 6.4.

**Tabulka 6.4.** Statistická analýza tvaru obličeje chlapců mezi jednotlivými věkovými kategoriemi

věkové kategorie	12 vs 13	13 vs 14	12 vs 14
p-value	0.01349	0.0001301	9.399e-05

Tvar obličeje chlapců se tedy v průběhu růstu ve sledovaném období významně mění, což je potvrzeno i na základě statistického hodnocení.

### 6.1.3 Hodnocení změn morfologie obličeje v průběhu růstu u chlapců

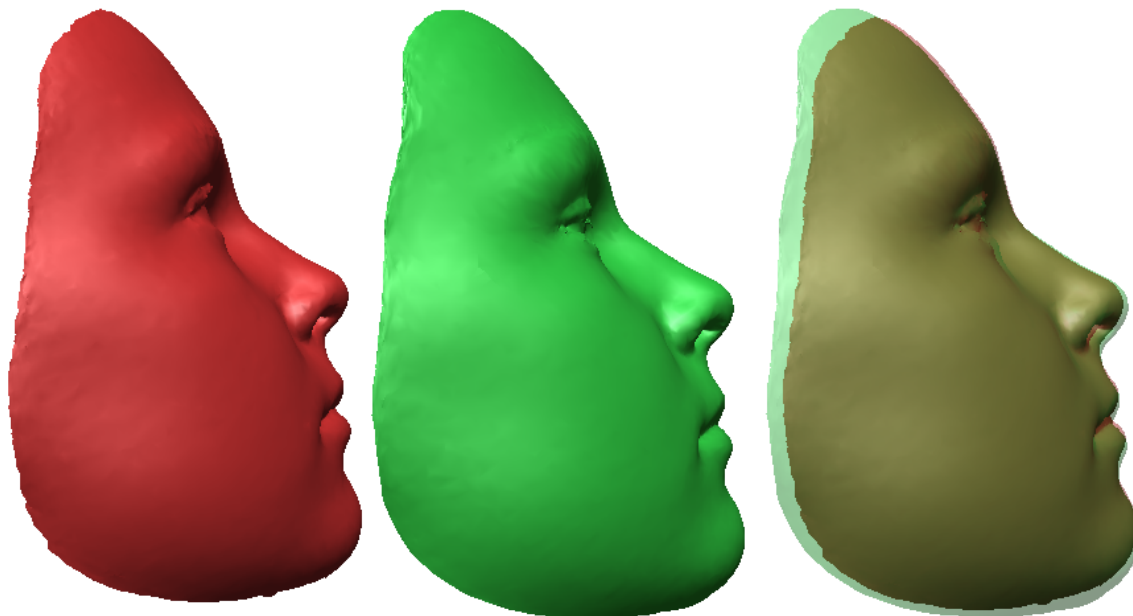
Změny v morfologii obličeje v průběhu růstu byly hodnoceny na základě superprojekce vždy dvou kompozitních (průměrných) obličejů - tzn. 12 vs. 13 let a 12 vs. 14 let. Program RapidForm umožňuje vizualizovat oblasti změn mezi dvěma modely (tj. pozitivní a negativní změny) prostřednictvím barevných map. Tyto změny jsou udávány v milimetrech, kdy každý odstín představuje určitou velikostní změnu. Obecně modré oblasti jsou oblasti negativních změn, červené pozitivní. Každá dvojice obličejů je vždy doplněna histogramem těchto barev a lze tedy přímo odečítat, k jakým velikostním změnám v té které oblasti došlo. Černé oblasti jsou takové, kde je vzdálenost mezi oběma modely +/- 0,3 mm a považujeme je za místa, kde nedošlo k žádným podstatným změnám, z hlediska růstu obličeje je lze považovat za neutrální. Tabulka 6.5. shrnuje podíl pozitivních, negativních a neutrálních změn mezi dvěma průměrnými obličejí daných věkových skupin. Je vidět, že podíl neutrálních změn se s věkem snižuje, naopak narůstají oblasti pozitivních i negativních změn, což mimo jiné svědčí i o tvarových změnách obličeje, které růst doprovází.

**Tabulka 6.5.** Celkový podíl pozitivních, neutrálních a negativních změn mezi dvěma modely obličeje

Věkový interval (roky)	Podíl změn (%)		
	pozitivních	neutrálních	negativních
12 – 13	40,0	38,9	20,8
12 - 14	51,8	20,4	27,2

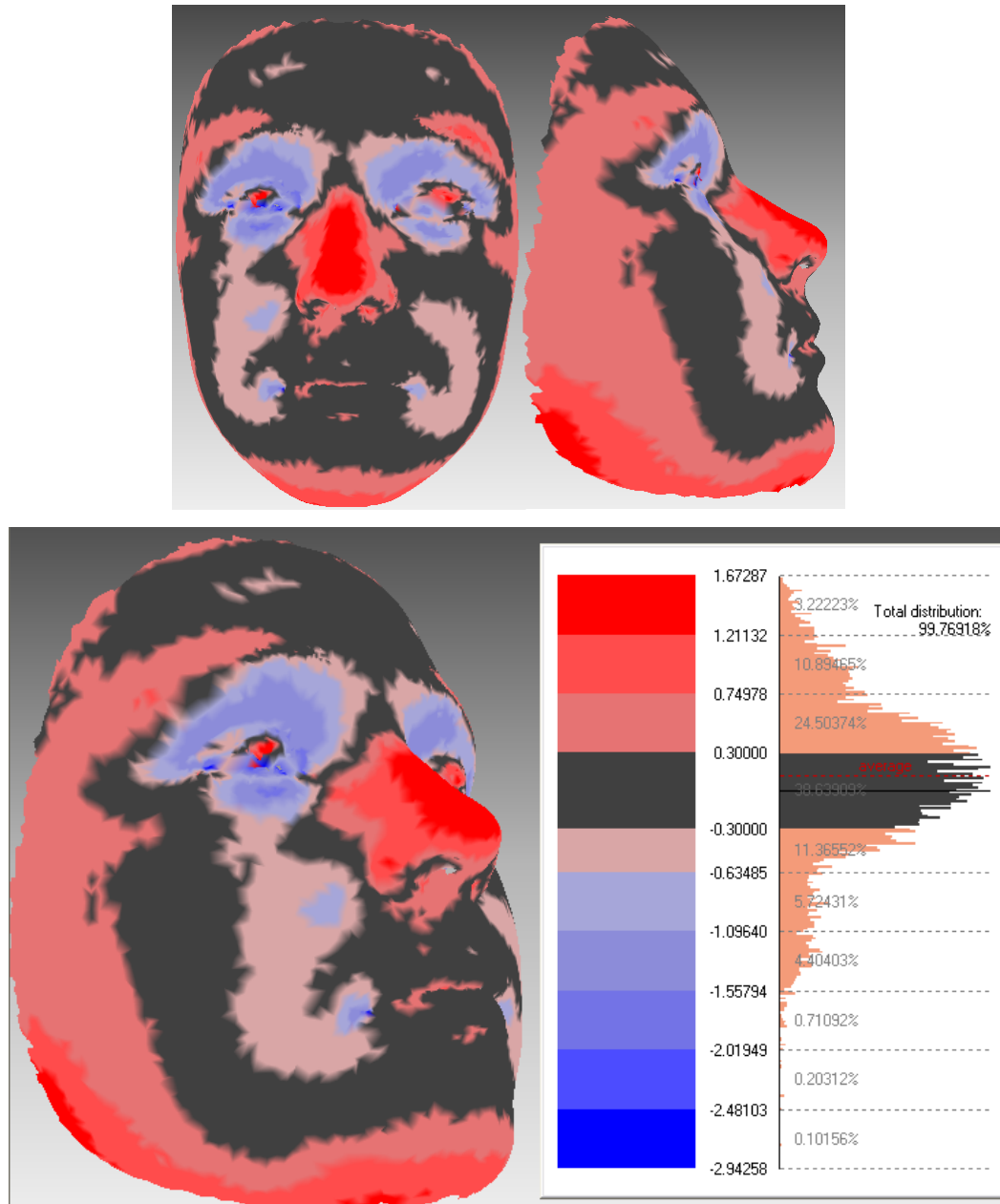
Obr. 6.8. znázorňuje, k jakým průměrným změnám v morfologie obličeje dochází v průběhu jednoho roku a to na základě kompozitního obličeje všech 12letých a všech 13letých chlapců. Při jejich superprojekci jsou patrné i konkrétní změny, které nastaly.

Jedná se o celkové prodlužování obličeje, zvyšování prominence nosu a prodlužování brady. Čelo se prodlužuje a více oplošťuje.



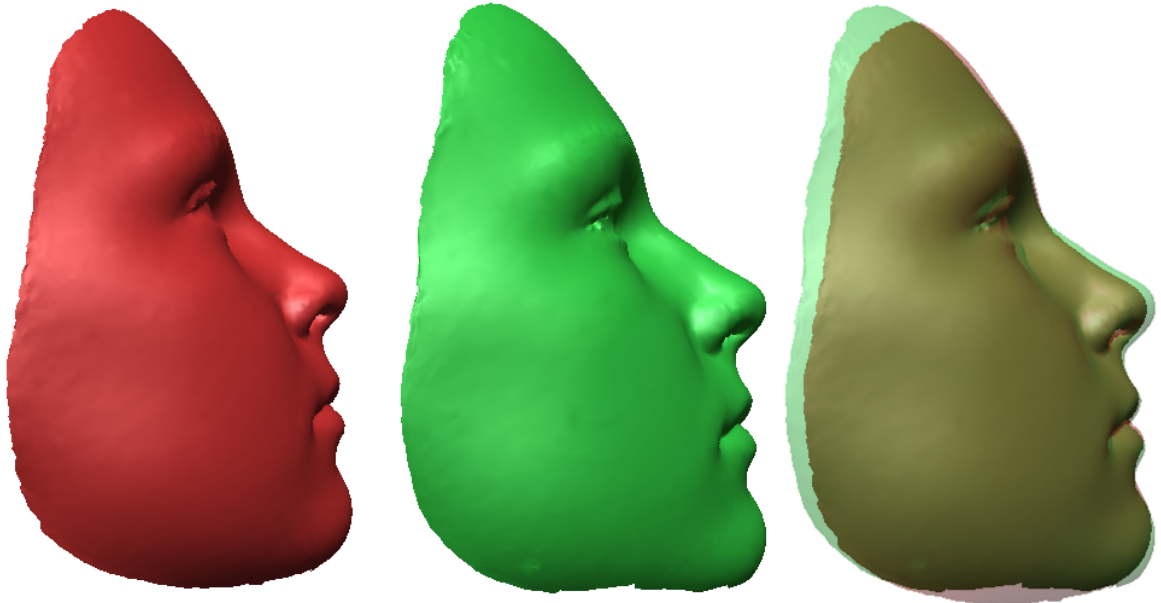
**Obr. 6.8.** Průměrný obličej všech 12letých (vlevo) a 13letých (uprostřed) chlapců a jejich supeprojekce (vpravo).

Konkrétní změny jednotlivých partií obličeje lze poté vidět na obr. 6.9. Jedná se o superprojekce průměrného 13 do průměrného 12letého obličeje. Hodnoceny tedy byly změny 13 vůči 12letému průměrnému chlapci. K pozitivním změnám došlo v laterálních částech nadočnicových oblouků ( $\emptyset$  0,98 mm), dále oblasti nosu, především hřbetu ( $\emptyset$  1,67 mm). Nos se celkově zvětšuje, prodlužuje a rozšiřuje. Naopak oblast kořene zůstává nezměněna. Prodlužuje se též oblast brady a to více směrem inferiorním ( $\emptyset$  0,98 mm), než anteriorním ( $\emptyset$  0,52 mm), tedy ve směru zvyšující se prominence. Z profilu jsou pozitivní změny patrné v laterálních částech obličeje ( $\emptyset$  0,52 – 1,67 mm), což poukazuje na jeho celkové rozšiřování. Naopak v oblasti tváří dochází k mírným negativním změnám ( $\emptyset$  - 0,40mm), což nasvědčuje na mírné oplošťování tváří se vzrůstajícím věkem. Výrazné negativní změny jsou pak patrné celkově v oblasti očnic ( $\emptyset$  -1,33 mm) a dále v oblasti koutků rtů ( -1,00 mm). Oblast čela, lícních kostí a oblast rtů zůstává naopak nezměněna, či dochází k minimálním změnám.



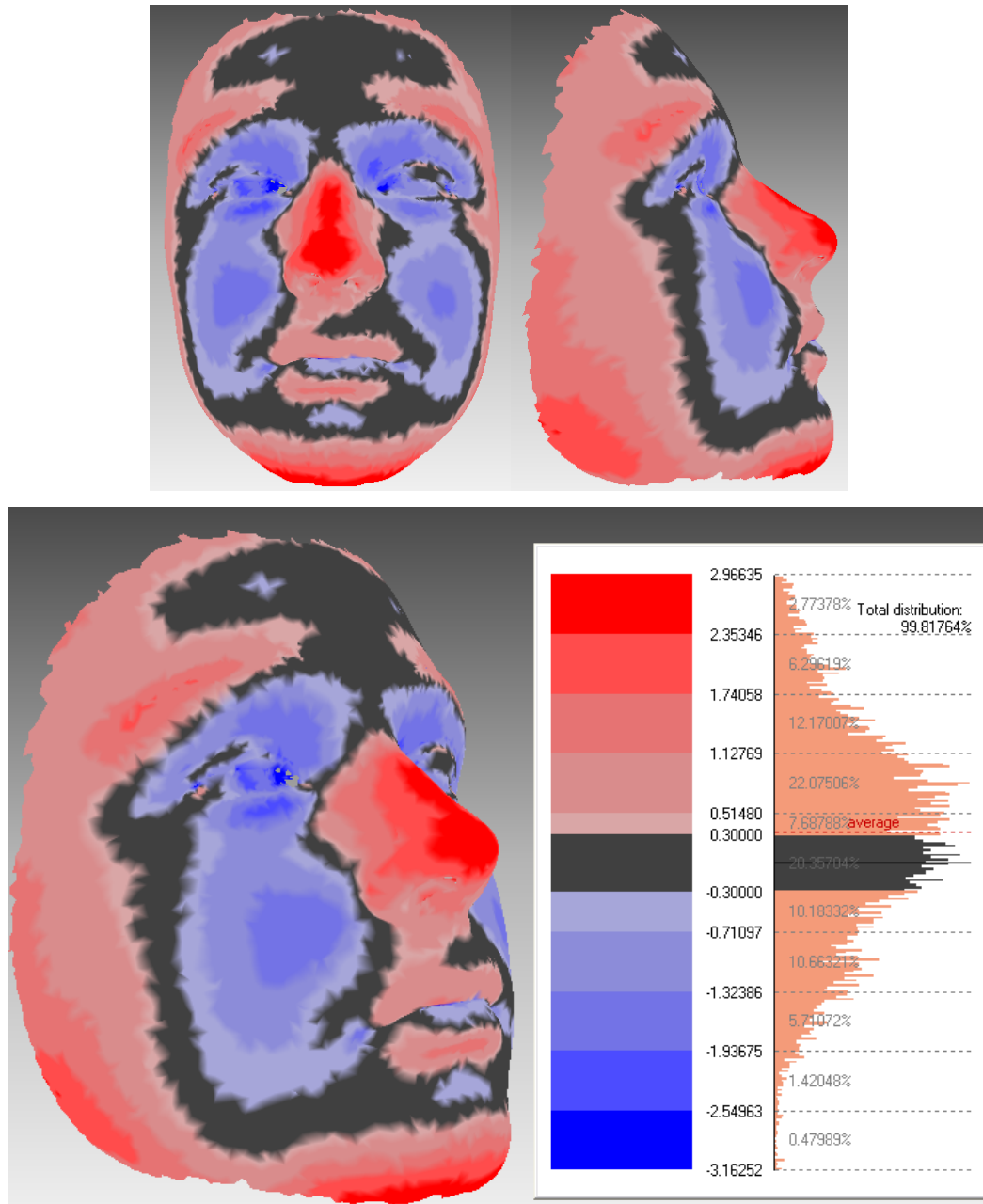
**Obr. 6.9.** Superprojekce průměrného 13letého do průměrného 12letého obličeje chlapců.

Na dalším obrázku (6.10.) lze sledovat, k jakým průměrným změnám v morfologii obličeje dochází v průběhu dvouletého intervalu. Porovnáním průměrných obličejů 12 a 14letých chlapců a jejich superprojekcí je patrné výrazné zvyšování prominence nosu a brady s rostoucím věkem a naopak více ustupující oblast čela oproti rovině obličeje.



**Obr. 6.10.** Průměrný obličej všech 12letých (vlevo) a 14letých (uprostřed) chlapců a jejich supeprojekce (vpravo).

Konkrétní změny jednotlivých partií obličeje lze poté vidět na obr. 6.11. Jedná se o superprojekci průměrného 14 do průměrného 12letého obličeje. Hodnoceny tedy byly změny 14 vůči 12letému průměrnému chlapci. K pozitivním změnám došlo v laterálních částech čela ( $\emptyset$  0,82 mm), v laterálních částech nadočnicových oblouků ( $\emptyset$  1,43 mm) a celkově se zvětšují laterální části obličeje ( $\emptyset$  0,80 – 2,0 mm), což poukazuje na jeho rozšiřování. Nejvýraznějších nárůst za toto období prodělává oblast nosu a to především po celé délce hřbetu a dále hrot nosu a oblasti nosních křídel ( $\emptyset$  2,96 mm). Nos se tak celkově hlavně prodlužuje. Oblast kořene zůstává nezměněna. Co se týká oblasti rtů, dochází k pozitivním změnám rtu horního ( $\emptyset$  0,82 mm). U dolního rtu dochází k úbytku v oblasti červeně rtů ( $\emptyset$  -0,42 mm) a naopak více se zvětšuje oblast pod ní ( $\emptyset$  0,80 mm), což nasvědčuje spíše tomu, že se celkově oblast rtů v souvislosti s prodlužováním obličeje (a především oblasti brady) posouvá více inferiorně. Brada roste nejvíce na svém hrotu ( $\emptyset$  2,96 mm), čímž se v průběhu růstu výrazně mění i její tvar ze spíše zakulaceného na špičatý. K nejvýraznějším negativním změnám dochází v oblasti očnic a oblasti tváří. Úbytek tkáně těsně v oblasti očí (nejvýrazněji se prohlubují vnitřní koutky očí,  $\emptyset$  -3,16 mm) souvisí se zvyšující se prominencí nadočnicových oblouků. Výrazný je úbytek měkké tkáně v oblasti tváří ( $\emptyset$  -1,63 mm), které se tak s věkem více oplošťují. Nezměněna zůstává oblast nad kořenem nosu a střední část čela.



Obr. 6.11. Superprojece průměrného 14letého do průměrného 12letého obličeje chlapců.



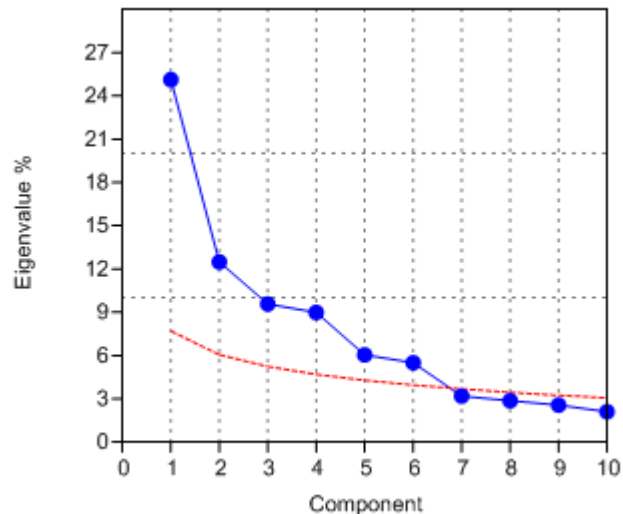
## 6.2 Hodnocení tvaru a velikosti obličeje dívek

### 6.2.1 Hodnocení variability formy obličeje dívek

Variabilita formy obličeje 12 až 14letých dívek byla sledována na základě PCA s cílem nalézt komponentu, která odpovídá věkovým změnám formy obličeje. Zároveň jsme statisticky hodnotili, zda lze v konkrétních věkových kategoriích od sebe odlišit jednotlivé jedince na základě nejvýznamnějších komponent. Tabulka 6.6. shrnuje procentuální příspěvky 10 hlavních komponent, jejichž součet představuje 86,98% celkové variability. Na základě suťového grafu 6.7., bylo dále statisticky hodnoceno prvních 6 komponent (**78,27%**). Změny formy obličeje v rámci jednotlivých komponent byly vizualizovány pouze u těch, které přispívají na celkovou variabilitu více než 5%, tzn. u prvních čtyř komponent.

**Tabulka 6.6.** Přehled 10 hlavních komponent podléjících se na celkové variabilitě formy obličeje dívek

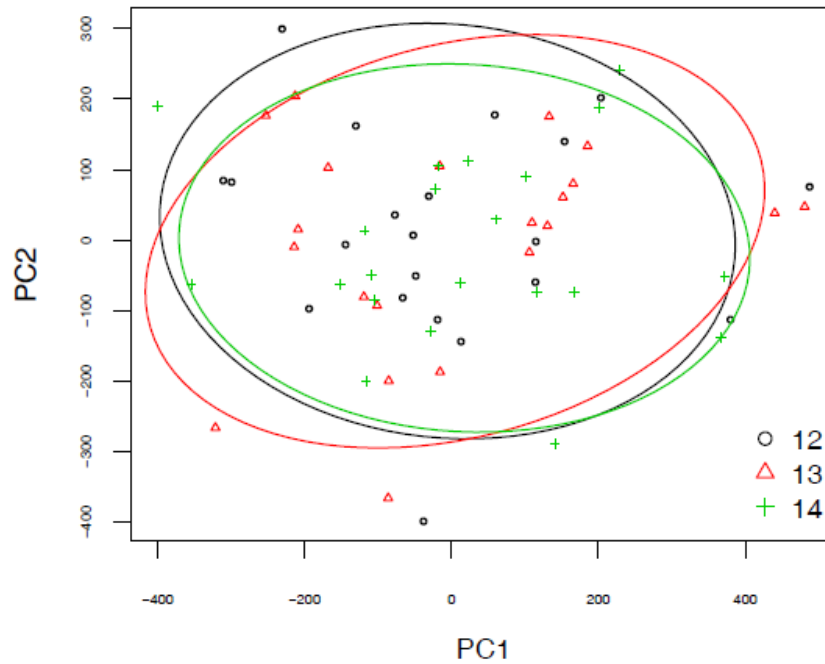
PC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
variabilita (%)	31,37	19,27	12,23	6,21	4,74	4,45	2,99	2,72	1,58	1,42



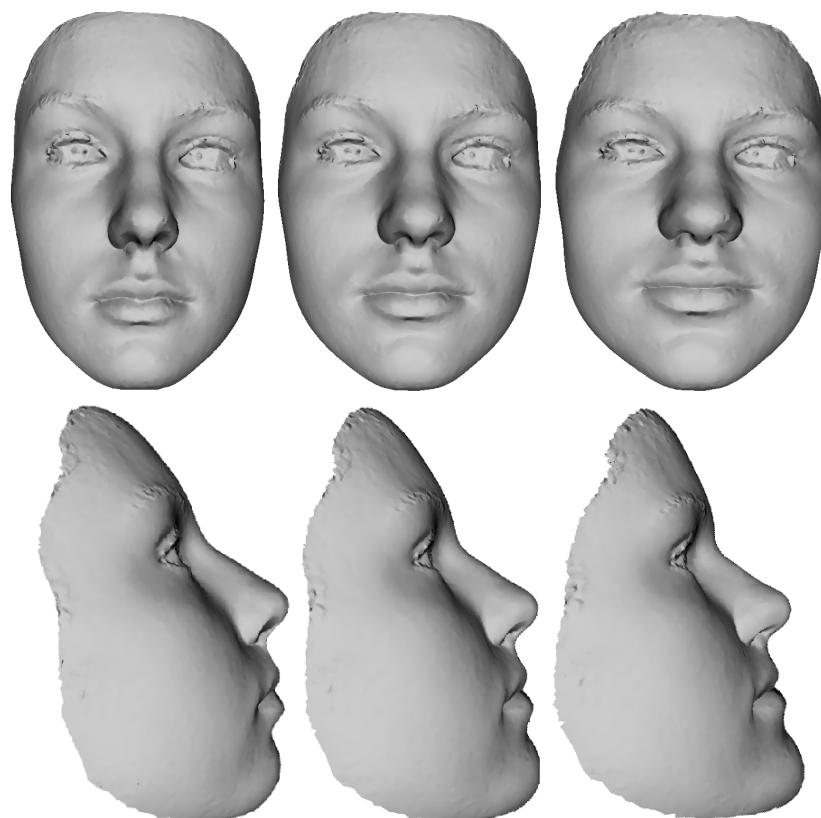
**Graf 6.7.** Suťový graf 10 hlavních komponent.

Rozložení konkrétních jedinců ve všech věkových kategoriích z hlediska první komponenty (graf 6.8.) nenapovídá tomu, že by dokázala rozlišit formu obličeje mezi jednotlivými věkovými kategoriemi (všechny tři elipsy se z velké části překrývají). V rámci druhé komponenty lze vidět mírný posun 12letých dívek směrem ke kladným

hodnotám (nahoru) a 14letých k záporným (dolů). Spíše se však zdá, že se forma obličeje dívek s věkem v rozmezí 12-14 let výrazně nemění. Pohybujeme-li kurzorem v programu Morphome3cs po ose konkrétní komponenty, bude se měnit i forma obličeje a to od nejvíce negativních hodnot (vlevo) po nejvíce pozitivní (vpravo). Takto budou uspořádány i všechny vizualizované obličeje, charakterizující jednotlivé komponenty.



**Graf 6.8.** Závislost PC1 a PC2 podléjící se na variabilitě formy obličeje dívek.

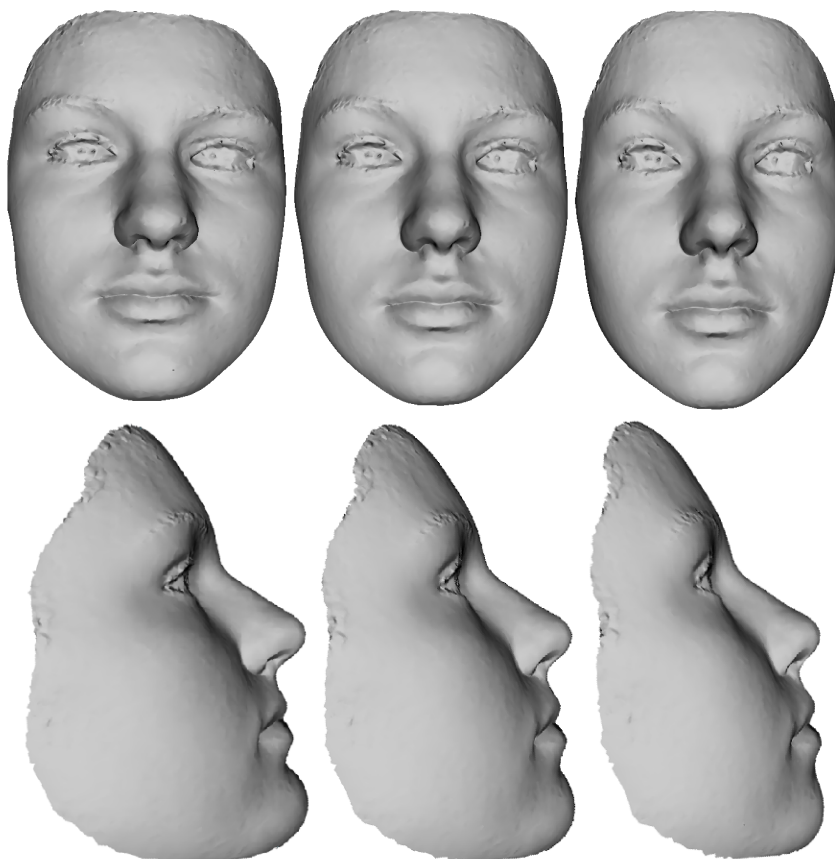


**Obr. 6.12.** Změny formy obličeje dívek vyjádřené PC1. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě hlavní komponenty.

Na celkové variabilitě formy obličeje se nejvíce podílí první hlavní komponenta (obr. 6.12.), která zahrnuje 31,27% variability daného souboru. Lze ji nazvat komponentou šířkových rozměrů obličeje a jeho konvexity, neboť ovlivňuje jak výslednou formu obličeje, tak jednotlivé části a to ve směru zužování od nejvíce kladných hodnot (vpravo) po nejvíce záporné (vlevo). Dochází i k mírnému prodlužování obličeje ve vertikálním směru. Z frontálního pohledu je patrné zužování očních štěrbin, které je zároveň provázeno relativním zvyšováním celé očnice. Mění se též všechny rozměry nosu, nejvýraznější je zužování hřbetu a nosních křídel. Šířka rtů společně s philtrem se též zmenšuje, výška obou rtů zůstává zachována. Tvar brady je zachován. Obecně se zužováním obličeje zvyšuje jeho konvexita, tedy směrem k negativním hodnotám komponenty.

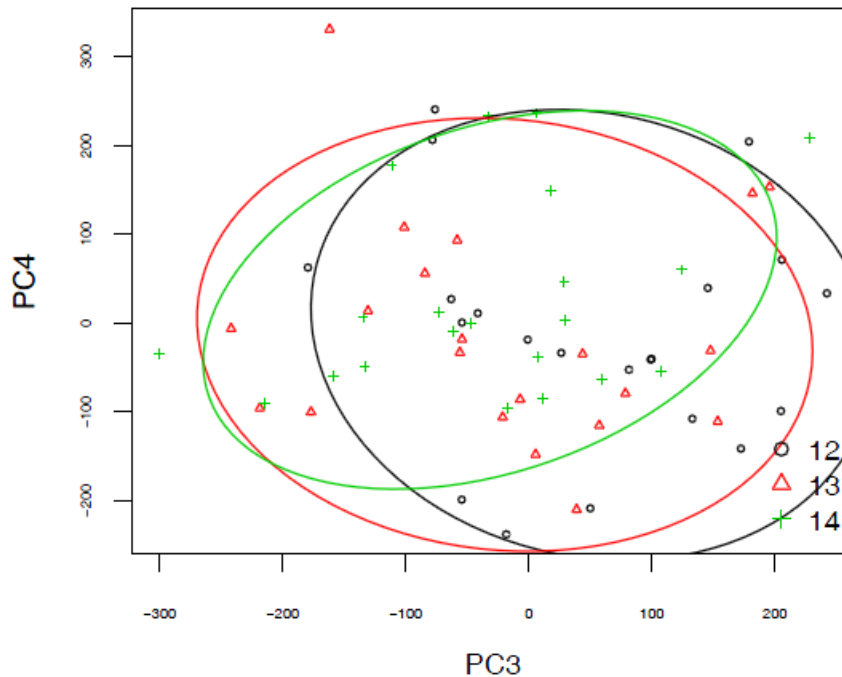
Druhá hlavní komponenta (obr. 6.13.) odpovídá za 19,27% variability formy obličeje. Z frontálního pohledu jsou patrné především změny v oblasti horního obličeje. Směrem k negativním hodnotám komponenty lze pozorovat rozšiřování a zároveň relativní snižování oblasti čela (od kořene nosu). Dále je patrné rozšiřování v oblasti spánkových

kostí. Mění se i šířka očních štěrbin, které se zároveň stávají užšími. Kořen nosu se též rozšiřuje. Mírně se rozšiřuje oblast nosních křídel, naopak rozměry rtů se téměř nemění. Z profilu lze zaznamenat narůstající prominenci nadočnicových oblouků. Mění se směr prominence brady od inferiorního po anteriorní, s čímž úzce souvisí snižování sublabiálního úhlu.



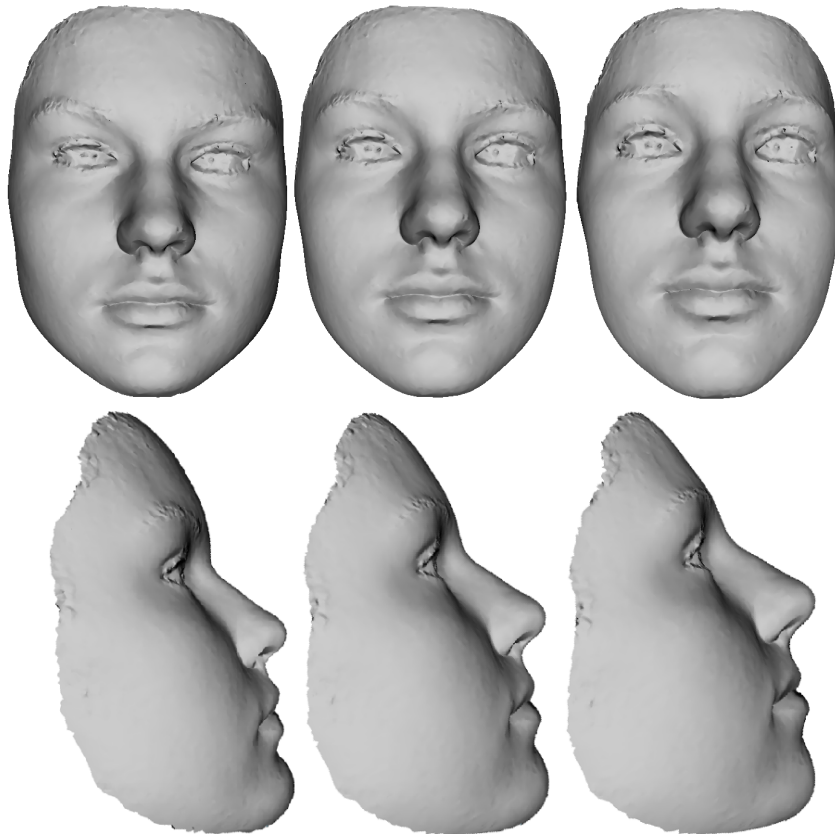
**Obr. 6.13.** Změny formy obličeje dívek vyjádřené PC2. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

Variabilita formy obličeje reprezentovaná třetí a čtvrtou komponentou (graf 6.9.), je nejmenší pro 14leté dívky. Zároveň je v rámci třetí komponenty patrné mírné odlišné rozložení jednotlivců ve 12 (více vpravo) a 14 letech (více vlevo a nahoře).



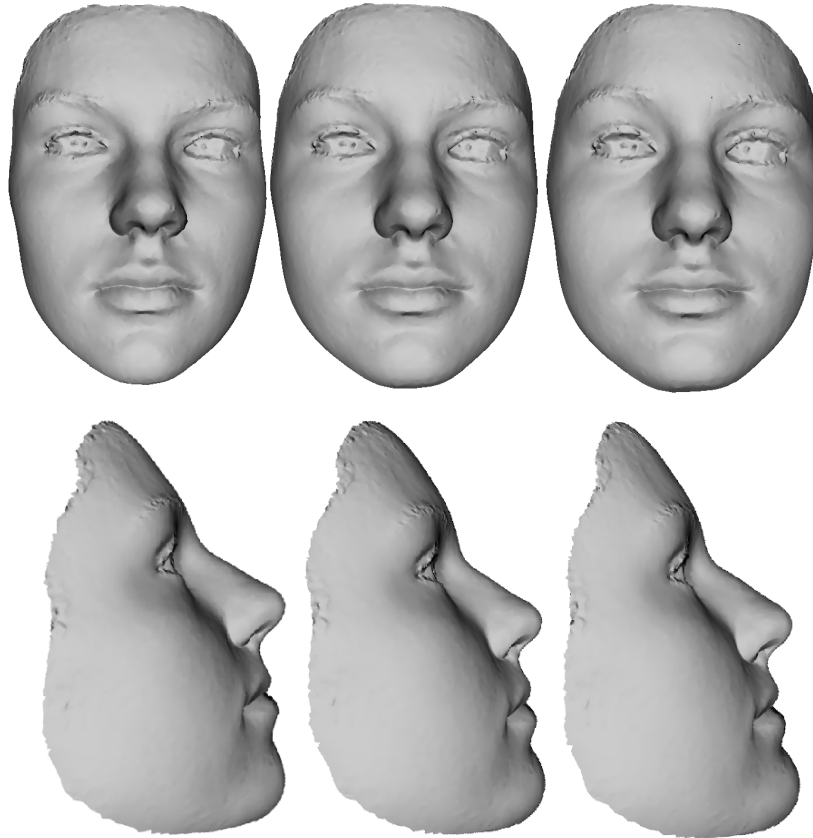
**Graf 6.9.** Graf závislosti PC3 a PC4 podléjící se na variabilitě formy obličeje dívek.

Třetí komponenta (obr. 6.14.) zodpovídá za 12,23% celkové variability. Tato komponenta charakterizuje především změny v celkové proporcionalitě obličeje. Mění se poměr horního obličeje (od kořene nosu) vůči střednímu a dolnímu. Zprava doleva dochází k celkovému zkracování obličeje (od kořene nosu po bradu), ale oblast čela se naopak výrazně zvyšuje. Mění se též poloha obočí, jehož vnitřní okraje směřují více inferiorně. Dále dochází též ke snižování a rozšiřování očních štěrbin. Výrazné změny formy obličeje jsou patrné také z laterálního pohledu, kdy lze pozorovat přechod od celkově konvexního obličeje po konkávní. Výrazně se mění sklon čela vůči rovině obličeje, který se směrem doleva více vertikalizuje. Prominence brady spojená se snižování sublabiálního úhlu je též patrná.



**Obr. 6.14.** Změny formy obličeje dívek vyjádřené PC3. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

Čtvrtá komponenta (obr. 6.15.), podílející se z 6,21% na celkové variabilitě formy charakterizuje celkové zkracování a zužování obličeje směrem k negativním hodnotám (doleva). Zužování je patrné především v oblasti lícních kostí a dolní čelisti. Brada se tak více prodlužuje a zužuje. Z profilu je pak patrné mírné zvětšování nasolabiálního a sublabiálního úhlu. Prominence brady se snižuje.



**Obr. 6.15.** Změny formy obličeje vyjádřené PC4. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

Statisticky bylo hodnoceno celkem 6 hlavních komponent a to vždy mezi jednotlivými věkovými kategoriemi, tzn. 12-13, 13-14 a 12-14. Cílem bylo zhodnotit, zda se od sebe jednotlivé věkové kategorie liší na základě formy obličeje. Neparametrický test normality rozložení dat (Székely-Rizzo, 2005) prokázal normální rozložení dat u všech kategorií a ty mohly být tedy následně statisticky hodnoceny. Výsledky shrnuje tabulka 6.7.

**Tabulka 6.7.** Statistická analýza formy obličeje dívek mezi jednotlivými věkovými kategoriemi

věkové kategorie	12 vs 13	13 vs 14	12 vs 14
p-value	0.0003241	0.0334	1.829e-05

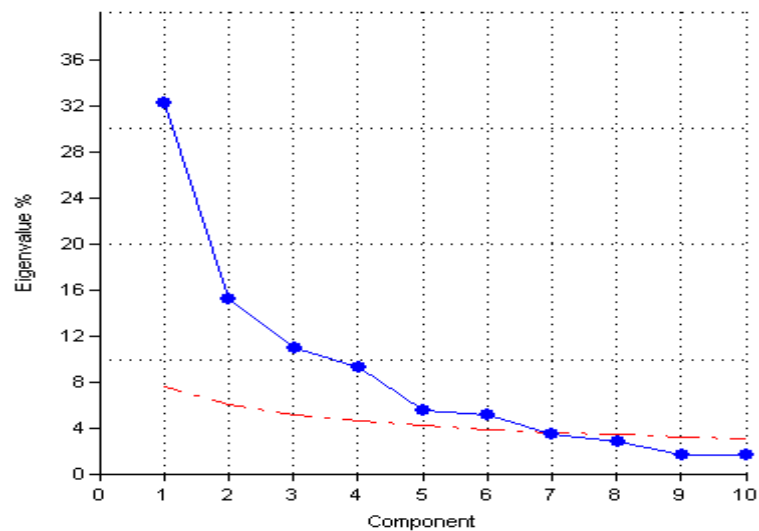
Forma obličeje se tedy v průběhu růstu mezi jednotlivými věkovými kategoriemi signifikantně mění, a to méně výrazně v rozmezí 13-14 let než v rozmezí 12-13 let.

## 6.2.2 Hodnocení variability tvaru obličeje dívek

Variabilita tvaru obličeje 12 až 14letých dívek byla sledována na základě PCA. Cílem bylo zhodnotit, k jakým tvarovým změnám v morfologii obličeje dochází v průběhu růstu a zda je lze od sebe statisticky odlišit. Tabulka 6.8. ukazuje příspěvky deseti hlavních komponent, jejichž příspěvek na celkovou variabilitu tvaru u sledovaného souboru jedinců činí 87,78%. Výnosem těchto komponent do suťového grafu (6.10.), se ukázalo, že na celkový tvar obličeje nejvýznamněji přispívá prvních 7 komponent, které zodpovídají za **81,59%** celkové variability. Ty byly dále statisticky hodnoceny. V tomto případě byly vizualizovány pouze 4 komponenty, ač příspěvek více jak 5% splňují ještě další dvě komponenty, jejich vliv je v porovnání s předchozími 4 méně výrazný.

**Tabulka 6.8.** Přehled 10 hlavních komponent podílejících se na celkové variabilitě tvaru obličeje dívek

PC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
variabilita (%)	32,13	15,22	10,89	9,32	5,49	5,10	3,44	2,84	1,74	1,61

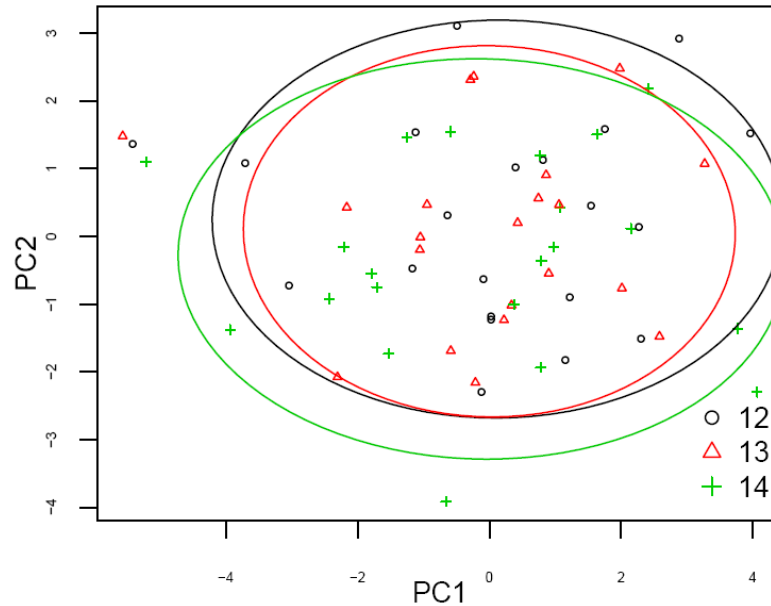


**Graf 6.10.** Suťový graf 10 hlavních komponent.

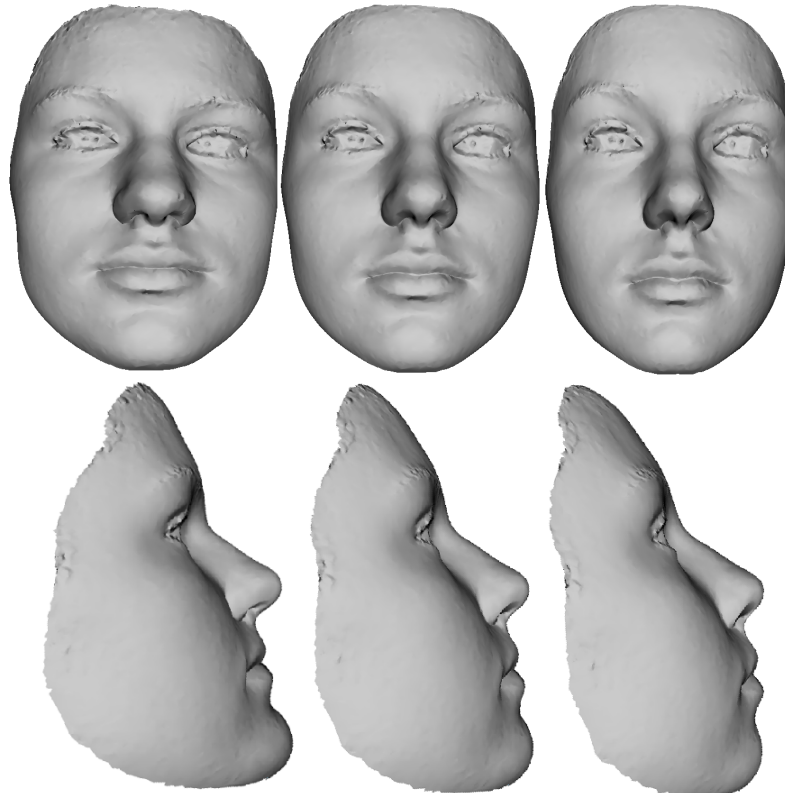
Graf 6.11. představuje závislost prvních dvou komponent na variabilitě tvaru obličeje. Rozložení konkrétních jedinců ve všech věkových kategoriích vykazuje rovnoměrné rozmístění v rámci jednotlivých kategorií. Nejmenší variabilita je patrná u 13letých dívek. V rámci druhé komponenty lze pak pozorovat mírně odlišné rozložení 12letých (směrem k pozitivním hodnotám komponenty) a 14letých dívek (negativní



hodnoty). Konkrétní tvarové změny obličeje, za které zodpovídají tyto dvě komponenty, jsou vizualizovány na obr. 6.16. a obr. 6.17.



**Graf 6.11.** Závislost PC1 a PC2 podléjící se na variabilitě tvaru obličeje dívek.

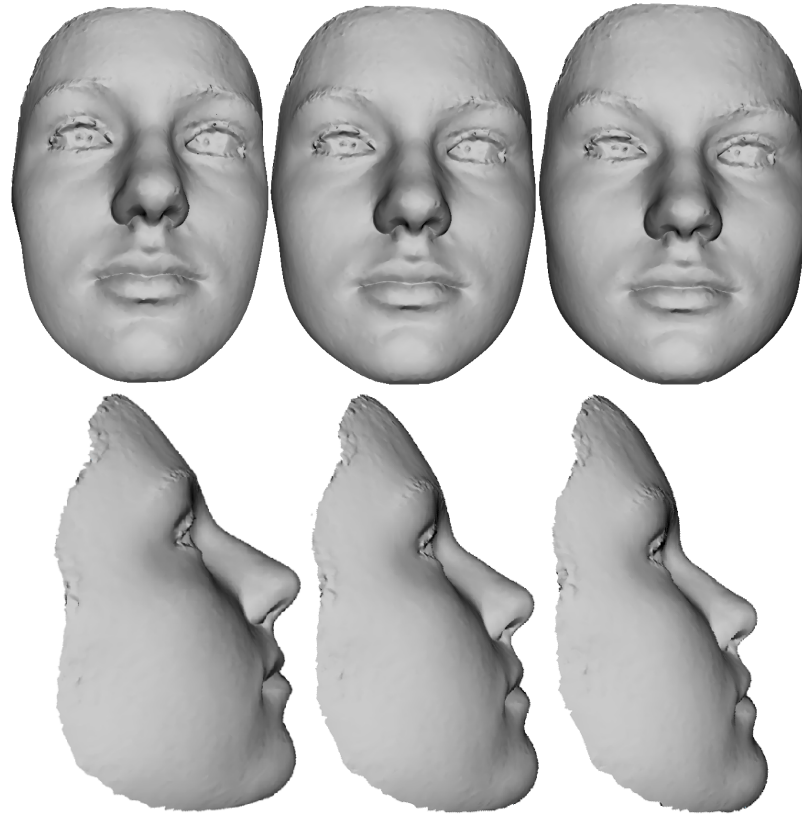


**Obr. 6.16.** Změny tvaru obličeje dívek vyjádřené PC1. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty

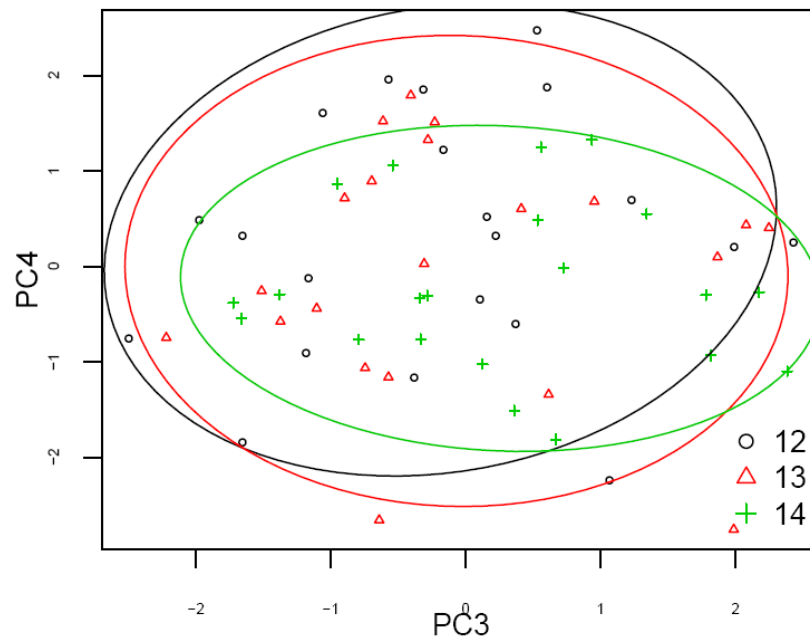


První komponenta (obr. 6.16.) zahrnuje 32,13% z celkové variability a zodpovídá především za tvarové změny spojené s celkovým rozšiřováním obličeje a se zvyšující se konvexitou směrem k negativním hodnotám komponenty. Mění se i celkový tvar obličeje z oválného na více hranatý. Z frontálního pohledu jsou nejvíce patrné změny v oblasti nosu - rozšiřování hřbetu nosu a nosních křídel. Snižuje se oblast očníce a s ní se i rozšiřují a zužují oční štěrby. Tvarově se mění i ústa, která se s vzrůstající šířkou zároveň více snižují. Výrazné tvarové změny lze pozorovat z laterálního pohledu a to především z hlediska zvyšování prominencí nosu a brady. Mění se i sklon čela. Čím širší obličej, tím se čelo stává více klenutým. Směrem k negativním hodnotám se snižuje prominencí horního rtu vůči dolnímu. Brada výrazně promínuje anteriorním směrem, čímž je celkově ovlivněna konvexitá obličeje.

Druhá komponenta (obr. 6.17.) zodpovídá za 15,22% celkové variability. Způsobuje tvarové změny především v oblasti horního obličeje, který se výrazně mění i proporcionálně. Z frontálního pohledu je zprava doleva patrné snižování oblasti čela (od kořene nosu výš), naopak oblast očníce se zvyšuje. V souvislosti s tím dochází i ke změně tvaru nadočnicových oblouků, respektive jejich sklonu, který směřuje více superiorně. Z profilu jsou patrné změny obličeje, jež odráží celkové zvyšování konvexitá obličeje. Jedná se o výrazně ubíhající čelo, zvyšující se oblast kořene nosu a především výrazně zvyšující prominenci nosu. Mění se i směřování hrotu nosu směrem superiorním. Zvyšuje se též prominencí dolního rtu. Směřování brady se mění z inferiorního na anteriorní.

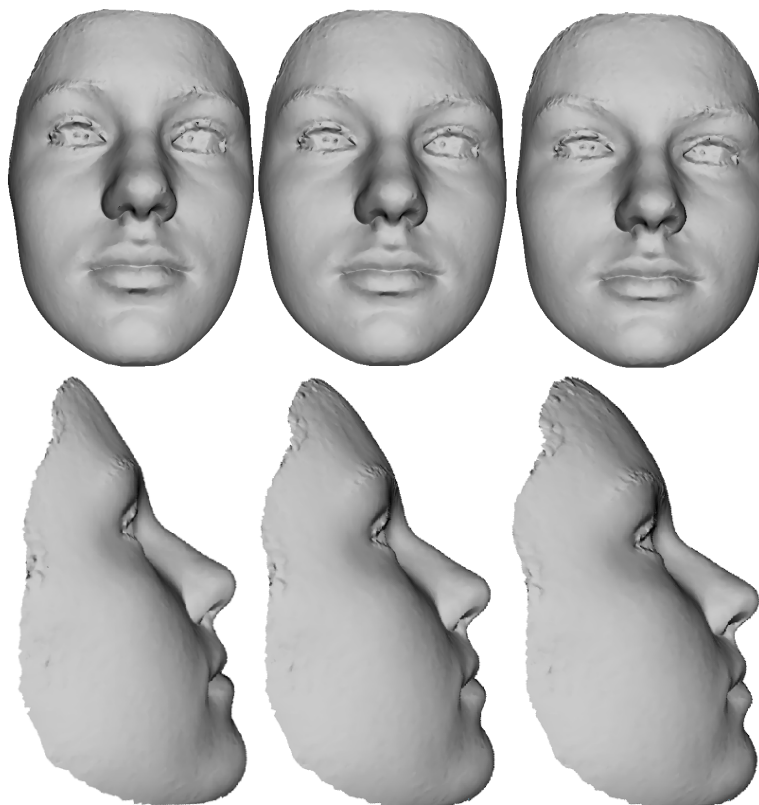


**Obr. 6.17.** Změny tvaru obličeje dívek vyjádřené PC2. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.



**Graf 6.12.** Závislost PC3 a PC4 podléjící se na variabilitě tvaru obličeje dívek.

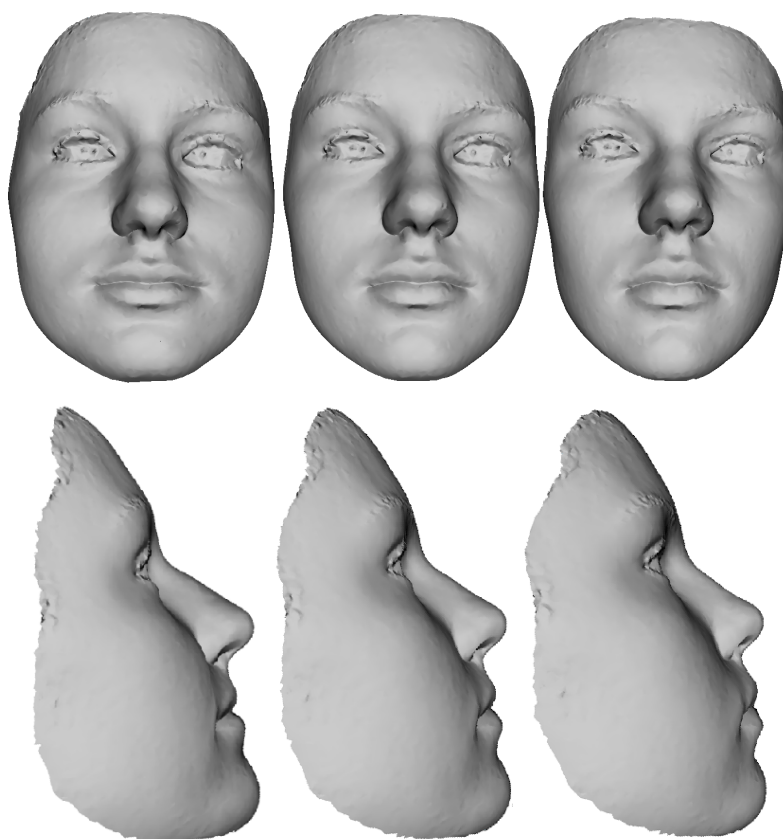
Na grafu závislosti PC3 a PC4 (graf 6.12.) lze vidět, že v rámci těchto komponent je variabilita tvaru obličeje nejmenší ve 14 letech. Zároveň však tyto komponenty nejsou schopny odlišit tvarové změny obličeje charakteristické pro konkrétní věkovou kategorii. Konkrétní tvarové změny obličeje, za které zodpovídají tyto dvě komponenty, jsou vizualizovány dále.



**Obr. 6.18.** Změny tvaru obličeje dívek vyjádřené PC3. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

Třetí komponenta (obr. 6.18.) se podílí z 10,89% na celkové variabilitě a je spojena především s tvarovými změnami oblasti čela a očnic. Čelo se směrem k negativním hodnotám komponenty výrazně snižuje, naopak oblast očnic, a tím i očních štěrbin, se zvyšuje. Mění se tak i celková proporcionalita jednotlivých partií obličeje. Celkově je též obličej vlevo relativně vyšší a užší. Z profilu je patrná změna klenutí čela, které se směrem k negativním hodnotám více sklání. Zvyšuje se tak i nasofrontální úhel. V souvislosti s těmito aspekty, se zdají být oči více vystouplé z očnice.

Čtvrtá komponenta (obr. 6.19.) zodpovídá za 9,32% celkové variability. Směrem k negativním hodnotám komponenty dochází k zužování čela. Naopak se rozšiřuje oblast středního obličeje, podmíněná především změnou tvaru lícních kostí. Rozšiřuje se i oblast dolního obličeje, s čímž souvisí tvarová změny brady, která se tak stává více hranatou. Z profilu je patrné celkové zmenšování nosu, který se zároveň mění z mírně konvexního na rovný. Odlišné je i směřování špičky brady, která se směrem doleva posouvá více anteriorně.



**Obr. 6.19.** Změny tvaru obličeje dívek vyjádřené PC4. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

Statisticky bylo hodnoceno celkem 7 hlavních komponent a to vždy mezi jednotlivými věkovými kategoriemi, tzn. 12-13, 13-14 a 12-14. Cílem bylo zhodnotit, zda se od sebe jednotlivé věkové kategorie liší na základě tvaru obličeje. Neparametrický test normality rozložení dat prokázal normální rozložení u všech kategorií, které tedy mohly být dále statisticky hodnoceny. Výsledky shrnuje tabulka 6.9.

**Tabulka 6.9.** Statistická analýza tvaru obličeje dívek mezi jednotlivými věkovými kategoriemi

věkové kategorie	12 vs 13	13 vs 14	12 vs 14
p-value	0.1299	0.4712	0.02484

Statisticky významný rozdíl ve tvaru obličeje dívek byl prokázán pouze mezi 12 a 14letými dívkami.

### 6.2.3 Hodnocení změn morfologie obličeje v průběhu růstu u dívek

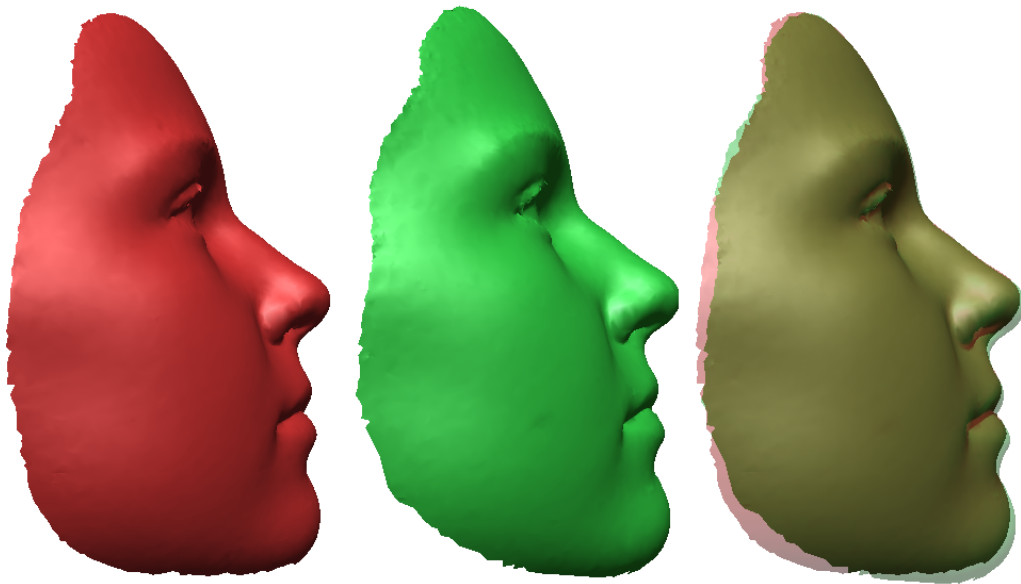
Změny v morfologii obličeje v průběhu růstu byly hodnoceny na základě superprojekce vždy dvou kompozitních (průměrných) obličejů - tzn. 12 vs. 13 let a 12 vs. 14 let. Hodnocení probíhalo v programu RapidForm.

Tabulka 6.10. shrnuje podíl pozitivních, negativních a neutrálních změn mezi dvěma průměrnými obličejí daných věkových skupin. Je vidět, že podíl neutrálních změn se s věkem snižuje, naopak narůstají oblasti pozitivních i negativních změn, což mimo jiné svědčí i o tvarových změnách obličeje, které růst doprovází.

**Tabulka 6.10.** Celkový podíl pozitivních, neutrálních a negativních změn mezi dvěma modely obličeje

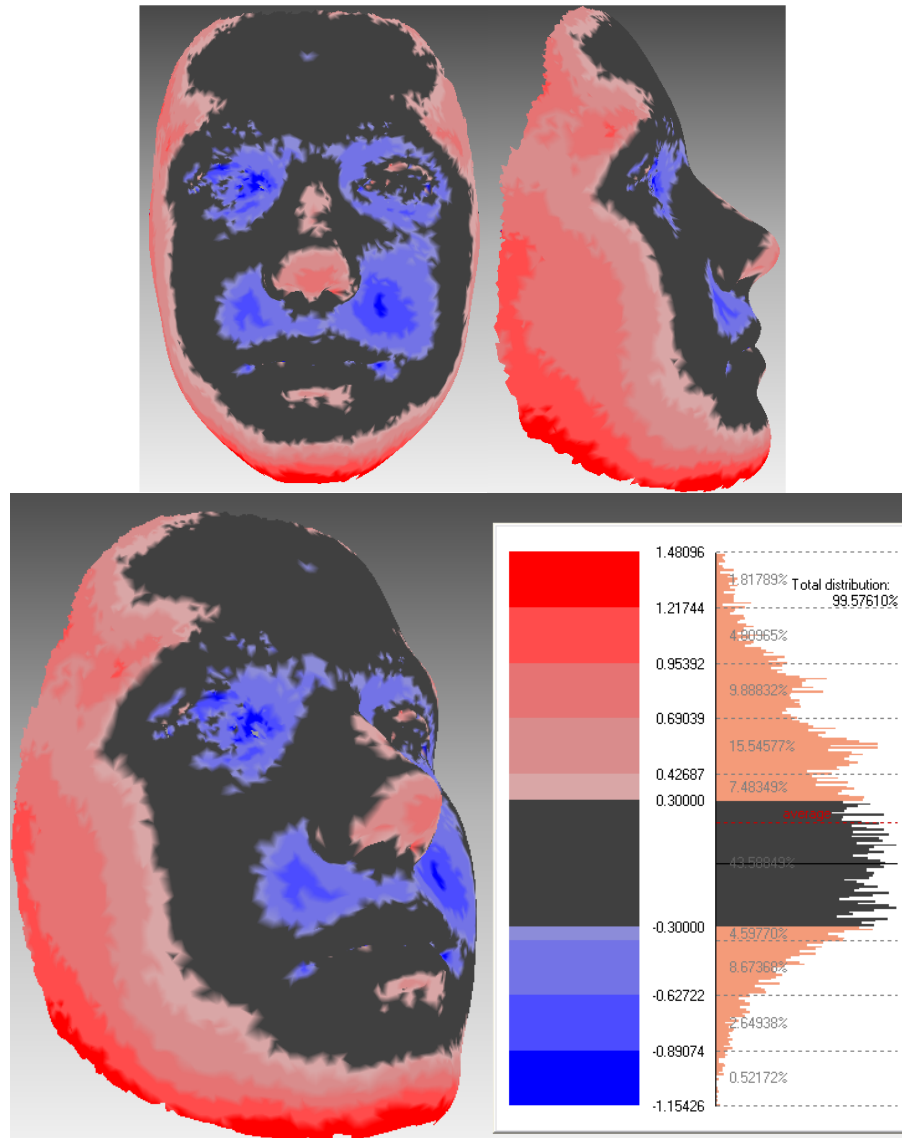
Věkový interval (roky)	Podíl změn (%)		
	pozitivních	neutrálních	negativních
12 – 13	40,6	43,6	15,7
12 - 14	47,3	28,6	21,7

Na obr. 6.20. lze vidět, k jakým průměrným změnám v morfologii obličeje dochází v průběhu jednoho roku a to na základě kompozitního obličeje všech 12letých a všech 13letých dívek. Při jejich superprojekci jsou patrné i konkrétní změny, které nastaly. Jedná se o celkové prodlužování obličeje, především jeho střední a dolní části, což se projevuje hlavně v prodlužování nosu a brady. Zvyšuje se i prominence obou rtů.



**Obr. 6.20.** Průměrný obličej všech 12letých (vlevo) a 13letých (uprostřed) dívek a jejich supeprojekce (vpravo).

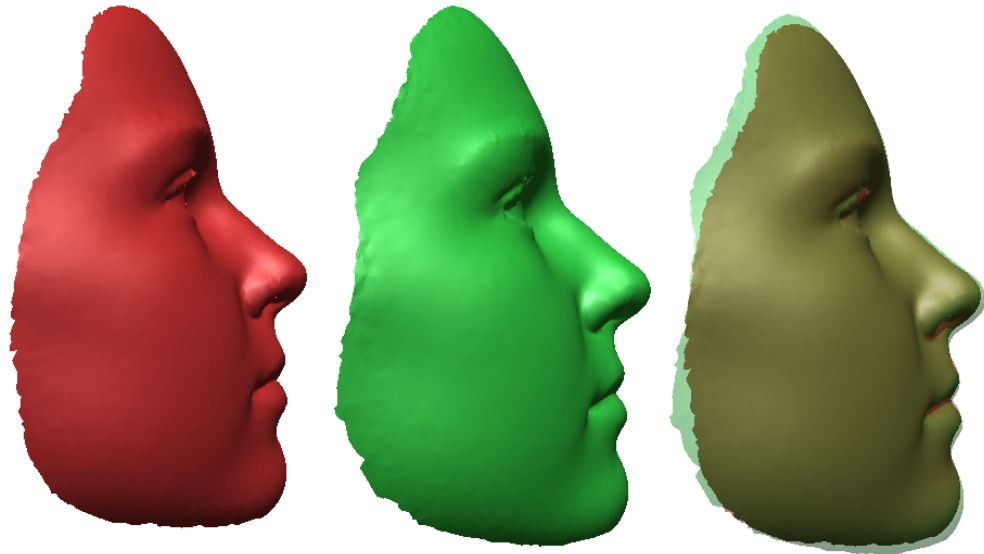
Konkrétní změny jednotlivých partií obličeje lze poté vidět na obr. 6.21. Jedná se o superprojekci průměrného 13 do průměrného 12letého obličeje. Hodnoceny tedy byly změny 13 vůči 12letému. Celkově je patrný nárůst v laterálních částech celého obličeje, což nasvědčuje jeho rozšiřování. Z profilu lze vidět, že zvětšování narůstá dorsálním směrem ( $\emptyset$  0,29 – 1,48 mm). Z frontálního pohledu lze dále vidět nárůst v laterálních částech nadočnicových oblouků ( $\emptyset$  0,82 mm). Mírné pozitivní změny jsou patrné v oblasti hřbetu ( $\emptyset$  0,29), větší lze vidět na hrotu nosu ( $\emptyset$  0,82 mm), což poukazuje na jeho prodlužování. Mírně se zvětšuje dolní ret od hranice červeně rtů směrem inferiorně ( $\emptyset$  0,29 mm). K výrazným změnám dochází v oblasti brady ve prospěch jejího prodlužování inferiorním směrem ( $\emptyset$  0,55 – 1,48 mm). Výrazné negativní změny jsou pak patrné celkově v oblasti očí ( $\emptyset$  -0,89 mm), v oblasti nasolabiální rýhy a od ní směrem k hornímu rtu ( $\emptyset$  -1,15 až -0,59 mm). Oblast čela, lícních kostí a rtů zůstává naopak nezměněna nebo dochází k minimálním změnám.



**Obr. 6.21.** Superprojekce průměrného 13letého do průměrného 12letého obličejové dívky.

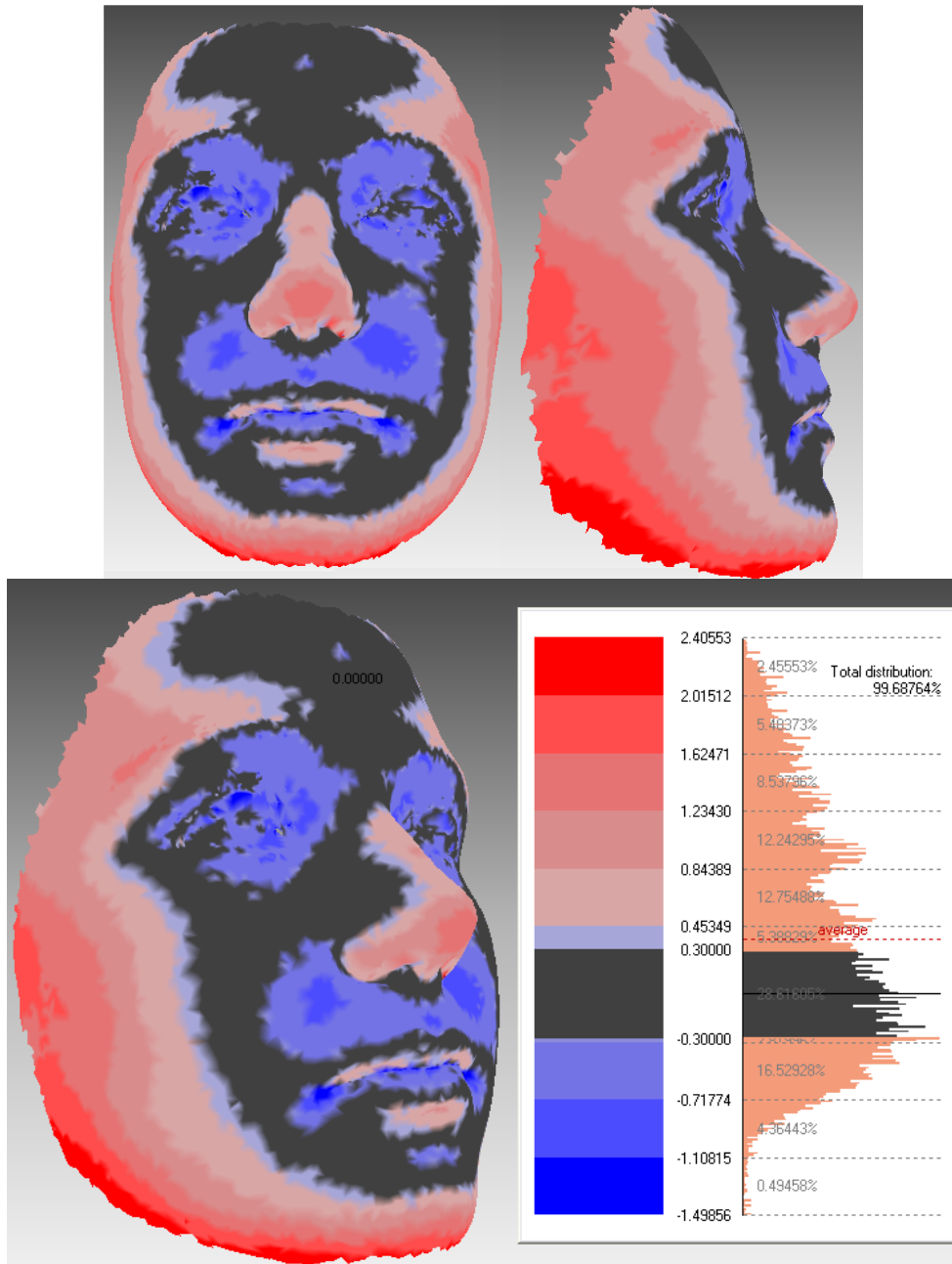
Na obr. 6.22. lze vidět, k jakým průměrným změnám v morfologii obličejové dochází v průběhu dvouletého intervalu. Porovnáním průměrných obličejů 12 a 14letých dívek a jejich superprojekcí. Je patrné celkové prodlužování obličejové a dále zvyšování prominence nosu (oblasti hrotu) a brady s rostoucím věkem. Dochází též k nárůstu prominence dolního rtu.





**Obr. 6.22.** Průměrný obličej všech 12letých (vlevo) a 14letých (uprostřed) dívek a jejich supeprojekce (vpravo).

Konkrétní změny jednotlivých partií obličejje lze poté vidět na obr. 6.23. Jedná se o superprojekci průměrného 14 do průměrného 12letého obličejje. Hodnoceny tedy byly změny 14 vůči 12letému. Celkově je patrné rozšiřování a prodlužování obličejje, jež je reprezentováno především nárůstem brady inferiorním směrem ( $\emptyset$  2,41). Rozšiřování vychází z laterálních částí obličejje ( $\emptyset$  1,42 – 1,82 mm). Z frontálního pohledu je dále patrné zvětšování laterálních částí nadočnicových oblouků ( $\emptyset$  1,04 mm). K pozitivním změnám ve směru nárůstu dochází v oblasti hřbetu nosu ( $\emptyset$  0,64 mm) a hrotu společně s oblastí kolem nosních dírek ( $\emptyset$  1,43 mm). Mírně se zvětšuje červec horního rtu ( $\emptyset$  0,64 mm) a oblast pod rtem dolním ( $\emptyset$  0,62 mm). Výrazné negativní změny jsou pak patrné celkově v oblasti očních ( $\emptyset$  -1,50 mm), v oblasti nasolabiální rýhy a od ní směrem k hornímu rtu ( $\emptyset$  -0,91 až -0,59 mm) a v oblasti koutků úst ( $\emptyset$  -1,50 mm) a červeně dolního rtu ( $\emptyset$  -0,71 mm). Oblast čela a lícních kostí zůstává nezměněna, či dochází k minimálním změnám.



Obr. 6.23 Superprojekce průměrného 14letého do průměrného 12letého obličeje dívek.

## 6.3 Hodnocení pohlavního dimorfismu

Pohlavní dimorfismus obličejů byl hodnocen z hlediska variability formy a tvaru a na základě superprojekce průměrného obličejů dívek a chlapců vždy v konkrétní věkové kategorii. Pro přehlednost jsou výsledky jednotlivých analýz uspořádány pro všechny věkové kategorie dohromady, což umožňuje lépe sledovat rozdíly, které nastaly v průběhu sledovaného období.

### 6.3.1 Pohlavní dimorfismus z hlediska variability formy a tvaru obličejů

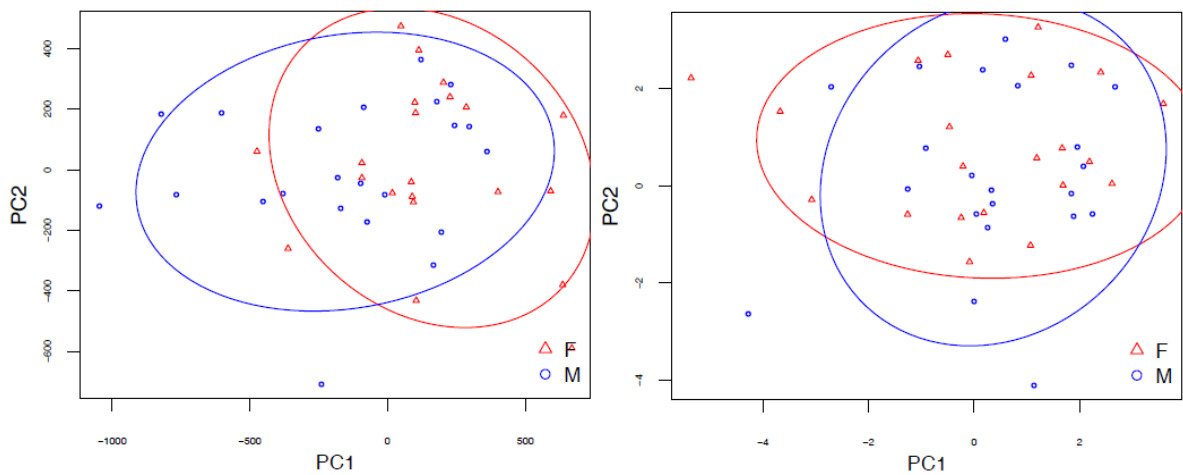
Variabilita tvaru a formy obličejů z hlediska pohlavního dimorfismu byla hodnocena na základě grafů PCA analýzy s cílem nalézt komponentu, která charakterizuje morfologii obličejů typickou pro dané pohlaví a dokáže je tak od sebe odlišit. Tabulka 6.11. shrnuje procentuální příspěvky 10 hlavních komponent na variabilitu tvaru a formy obličejů v konkrétních věkových kategoriích. Součtem příspěvků prvních dvou komponent v případě variability formy, je vidět, že přispívají téměř z 50% na celkovou variabilitu.

**Tabulka 6.11.** Přehled 10 hlavních komponent podílejících se na celkové variabilitě tvaru a formy obličejů v konkrétních věkových kategoriích (udávány v %)

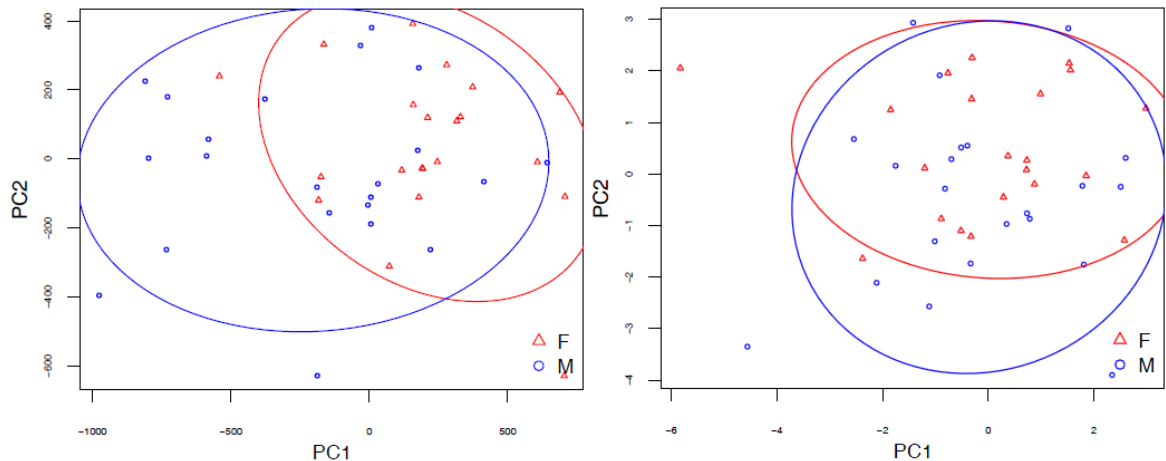
	PC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	forma	35,63	15,47	9,59	5,84	4,33	4,24	3,18	2,99	2,23	1,65
	tvar	22,09	15,59	11,59	7,62	6,69	4,59	4,43	3,96	2,26	2,22
13	forma	38,25	11,28	8,04	6,66	4,67	3,78	3,53	2,81	2,49	1,98
	tvar	18,70	15,72	11,23	8,30	6,40	4,81	4,02	3,56	3,25	2,88
14	forma	40,76	13,85	7,85	5,67	4,05	3,87	2,66	2,53	2,00	1,56
	tvar	24,66	13,12	11,90	7,55	6,24	4,41	3,89	2,98	2,81	2,18

Z grafů závislosti prvních dvou komponent (graf 6.13., 6.14., 6.15.) je podle rozložení konkrétních jedinců patrné, že první dvě komponenty dokázali více či méně jedince na základě formy obličejů diferencovat na pohlaví. Ukázalo se, že konkrétně první komponenta nejvýznamněji přispívá k rozdělení jedinců dle pohlaví. Míra diferenciac jedinců na základě PC1 se s vzrůstajícím věkem zvyšuje - průnik obou elips je nejmenší za celé sledované období v případě 14letých jedinců. Z vizualizace obou extrémů první komponenty, jež byla provedena právě pro 14leté jedince, lze vidět nejvíce maskulinní formu obličejů (negativní hodnota PC1) a naopak nejvíce femininní v případě pozitivní hodnoty komponenty (obr. 6.24.). Vizualizace změn formy obličejů v rámci PC1 pro zbylé

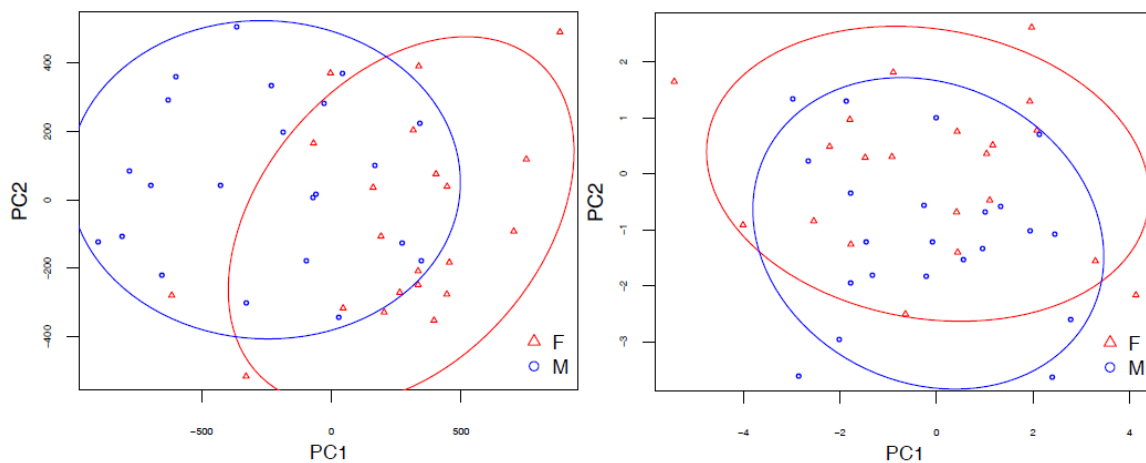
dvě věkové kategorie je uvedena v příloze. Naopak rozložení jedinců z hlediska tvarové variability vyjádřené první komponentou nepoukázalo na diferenciaci jedinců dle pohlaví. Mírně odlišný trend vykazuje druhá komponenta, kdy se s vzrůstajícím věkem dívky posouvají více k pozitivním hodnotám této komponenty. I přesto jsou však jedinci rozloženi v rámci těchto komponent rovnoměrněji než v případě variability formy vyjádřené stejnými komponentami. Z hlediska tvaru obličeje jsou si tedy obě pohlaví více podobná a nelze je od sebe jednoznačně rozlišit.



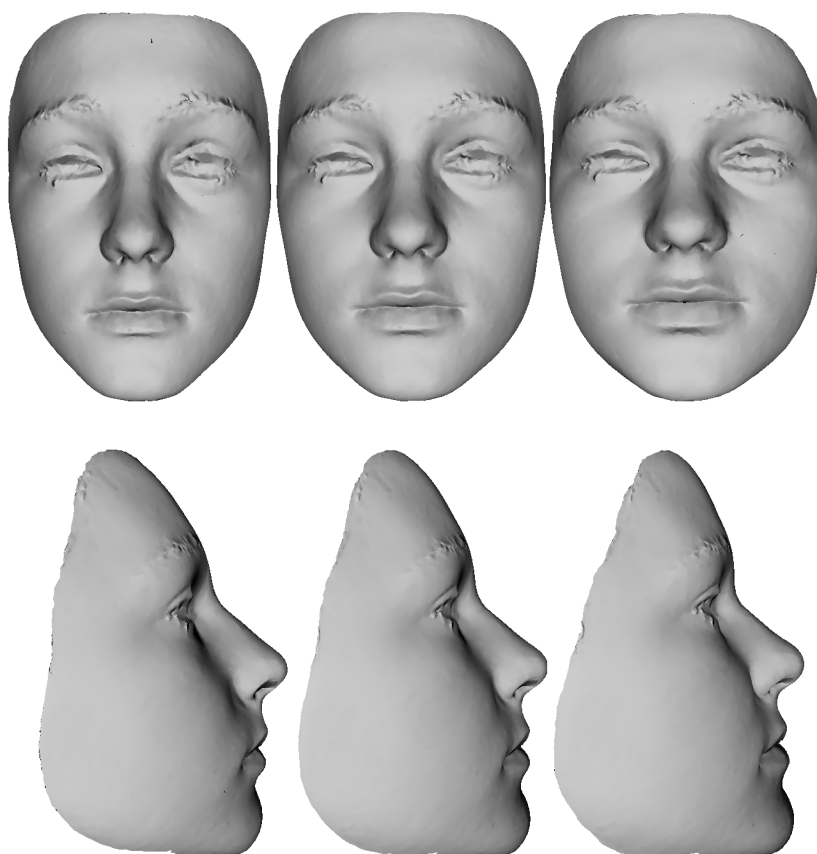
**Graf 6.13.** Graf závislosti PC1 a PC2 v rámci analýzy variability formy (vpravo) a tvaru (vlevo) 12letých jedinců.



**Graf 6.14.** Graf závislosti PC1 a PC2 v rámci analýzy variability formy (vpravo) a tvaru (vlevo) 13letých jedinců.



**Graf 6.15.** Graf závislosti PC1 a PC2 v rámci analýzy variability formy (vpravo) a tvaru (vlevo) 14letých jedinců.



**Obr. 6.24.** Změny formy obličeje 14letých jedinců vyjádřené PC1. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

Na variabilitě formy obličeje 14letých chlapců a dívek se nejvýznamněji podílí první hlavní komponenta, která zodpovídá za 40,76% celkové variability. Nejlépe charakterizuje změnu formy obličeje z dívčí na chlapeckou v rámci této věkové kategorie. Pozitivní hodnotě komponenty tedy odpovídá obličej dívek, který je z frontálního pohledu širší, především v oblasti oční krajiny, tváří, hrotu nosu společně s nosními křídly. Dolní ret je vyšší. Celkově je tvar obličeje ve srovnání s chlapeckým spíše kulatý. Z profilu je u dívek patrný především odlišný sklon čela, které je oproti chlapcům více v celkové rovině obličeje. Se změnou sklonu čela souvisí i přechod v oblasti kořene nosu (nasofrontální přechod), který je plynulejší. Celkově je nos dívek kratší, hrot nosu směřuje více superiorně v porovnání s chlapci a je též více zaoblený. Dolní ret více prominuje u dívek. Brada směřuje anteriorně. Chlapecký obličej je užší a více oválný. Brada se v porovnání s dívkami více zužuje. Oblast nadočnicových oblouků je celkově mohutnější, což společně s vyšším kořenem nosu způsobuje relativně hlouběji posazené oči oproti dívkám. Hřbet nosu je rovný s ostrým hrotem směřujícím spíše inferiorně. Celkově je obličej chlapců více konvexní.

Na základě suťových grafů byly vybrány komponenty, které nejvýznamněji přispívají na celkovou variabilitu formy a tvaru obličeje pro jednotlivé věkové kategorie (viz. příloha). Ty byly dále podrobeny statistickému hodnocení. Testovány byly vždy jedinci v konkrétní kategorii. Cílem bylo nalézt, zda se od sebe jedinci liší na základě tvaru či formy obličeje. Rozdíly mezi chlapci a dívkami jsme testovali pomocí nepárového dvouvýběrového permutačního testu. Výsledky shrnuje tabulka 6.12.

**Tabulka 6.12.** Statistická analýza formy a tvaru obličeje mezi pohlavími v rámci jednotlivých věkových kategorií

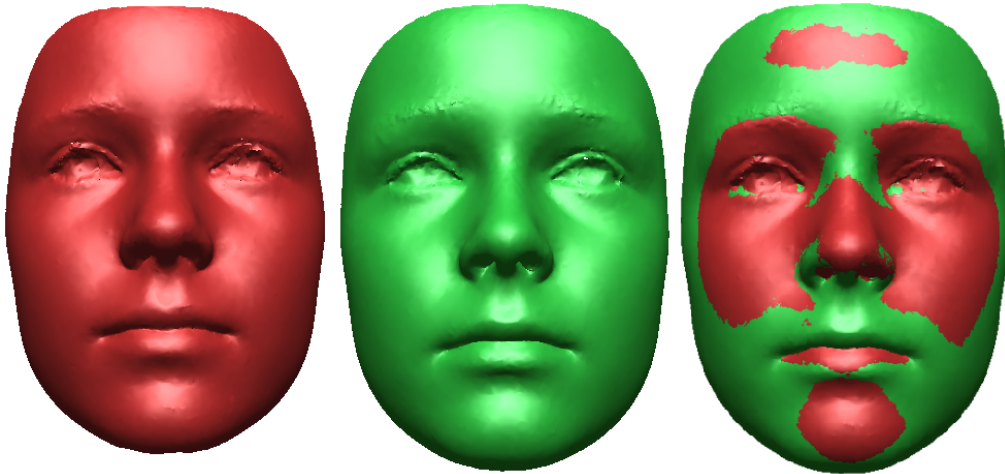
věkové kategorie	12 vs 12	13 vs 13	14 vs 14
p-value (forma)	0.00811	0.008369	0.000149
p-value (tvar)	0.1231	0.2658	0.08840

Z výsledků vyplývá, že z hlediska formy obličeje jsou obě pohlaví statisticky významně odlišitelná ve všech věkových kategoriích. Opačných výsledků bylo dosaženo v případě hodnocení tvaru obličeje. Diferenciace pohlaví na základě vlastního tvaru obličeje tedy není v těchto věkových kategoriích možná.

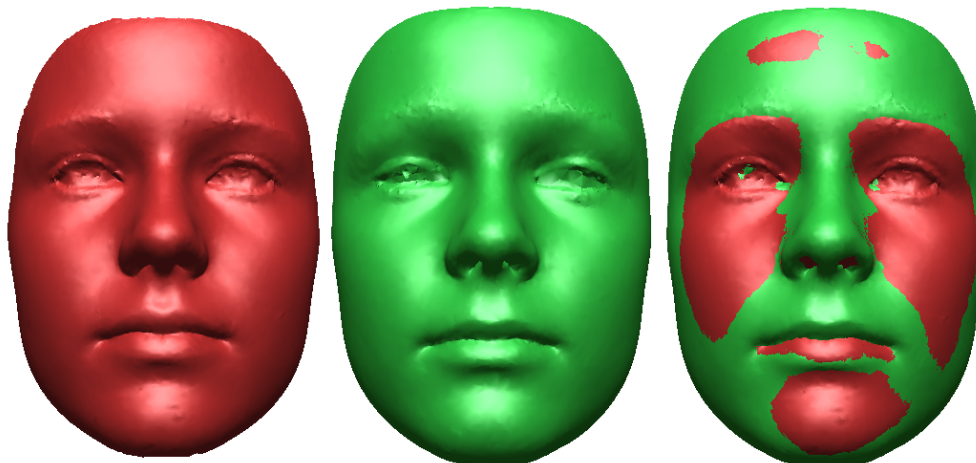
### 6.3.2 Hodnocení konkrétních mezipohlavních rozdílů v morfologii obličeje

Rozdíly mezi obličejem chlapců a dívek byly hodnoceny na základě superpojecí průměrných obličejů v jednotlivých věkových kategoriích v programu RapidForm. Nejprve byly hodnoceny absolutní rozdíly mezi dívkami a chlapci, které byly následně hodnoceny i z hlediska konkrétních velikostních rozdílů.

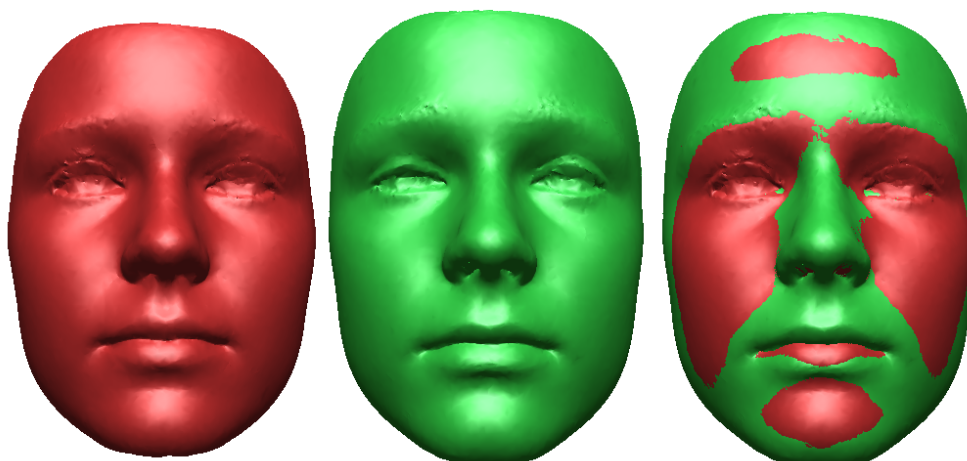
Na obr. 6.25., 6.26. a 6.27. jsou vizualizovány změny, ke kterým dochází při superprojekci průměrného obličeje chlapců do obličeje dívek. Obecně lze u všech věkových kategorií pozorovat vyšší prominenci oblasti očí, tváří, dolního rtu a přední části brady ve prospěch dívek. Centrální oblast čela je též více prominující u dívek, což poukazuje na to, že je více klenuté v porovnání s chlapci téhož věku. Obličej chlapců je naopak delší a širší, celkově vykazuje větší robusticitu. Tvarově odlišný je obličej chlapců především v oblasti čela, které je více hranaté. Obecně pak více prominují oblasti nadočnicových oblouků, oblast nosu (s výjimkou u věkové kategorie 12let) a oblast horního rtu.



**Obr. 6.25.** Průměrný obličej 12letých dívek (vlevo), 12letých chlapců (uprostřed) a jejich vzájemná superprojekce (vpravo).



**Obr. 6.26.** Průměrný obličej 13letých dívek (vlevo), 13letých chlapců (uprostřed) a jejich vzájemná superprojekce (vpravo).



**Obr. 6.27.** Průměrný obličej 14letých dívek (vlevo), 14letých chlapců (uprostřed) a jejich vzájemná superprojekce (vpravo).

Tabulky 6.13. a 6.14. shrnují rozdíly ve velikosti základních částí obličeje mezi chlapci a dívkami pro jednotlivé věkové kategorie. Hodnota pro konkrétní oblast udává, o kolik je větší/menší v porovnání se stejnou oblastí u dívek respektive chlapců mezi konkrétními. Tyto hodnoty byly získány na základě superprojekcí vždy dvou průměrných obličejů. Z tabulek lze vidět, že až na výjimky dochází k prohlubování rozdílů se zvyšujícím věkem.



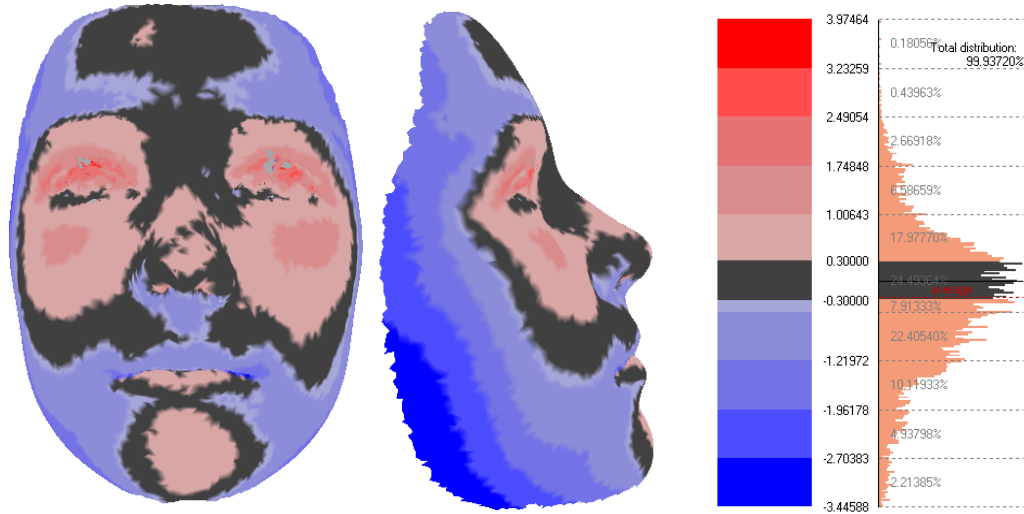
**Tabulka 6.13.** Velikostní rozdíly jednotlivých partií obličeje oproti chlapcům, udávané v mm

<b>DÍVKY</b>			
<b>věk</b>	<b>12 let</b>	<b>13 let</b>	<b>14 let</b>
<b>oblast očí</b>	2,10	2,47	3,20
<b>oblast tváří</b>	1,35	1,48	2,69
<b>oblast horního rtu</b>	0,60	1,09	1,14
<b>oblast brady</b>	0,60	1,18	1,47

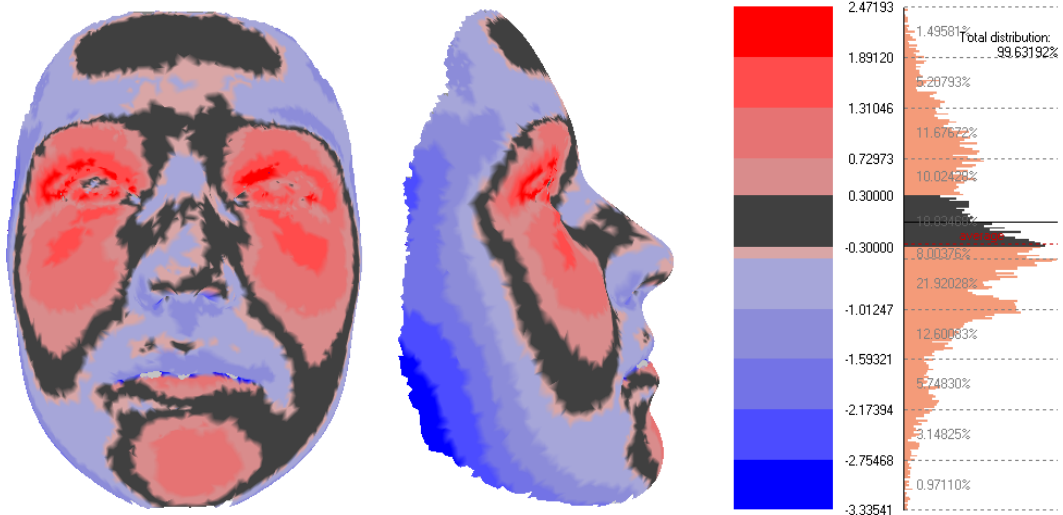
**Tabulka 6.14.** Velikostní rozdíly jednotlivých partií obličeje oproti dívkám, udávané v mm

<b>CHLAPCI</b>			
<b>věk</b>	<b>12 let</b>	<b>13 let</b>	<b>14 let</b>
<b>oblast nadočnicových oblouků</b>	0,89	1,45	1,56
<b>oblast nosu</b>	-0,60	0,70	1,34
<b>oblast horního rtu</b>	0,89	1,25	1,67

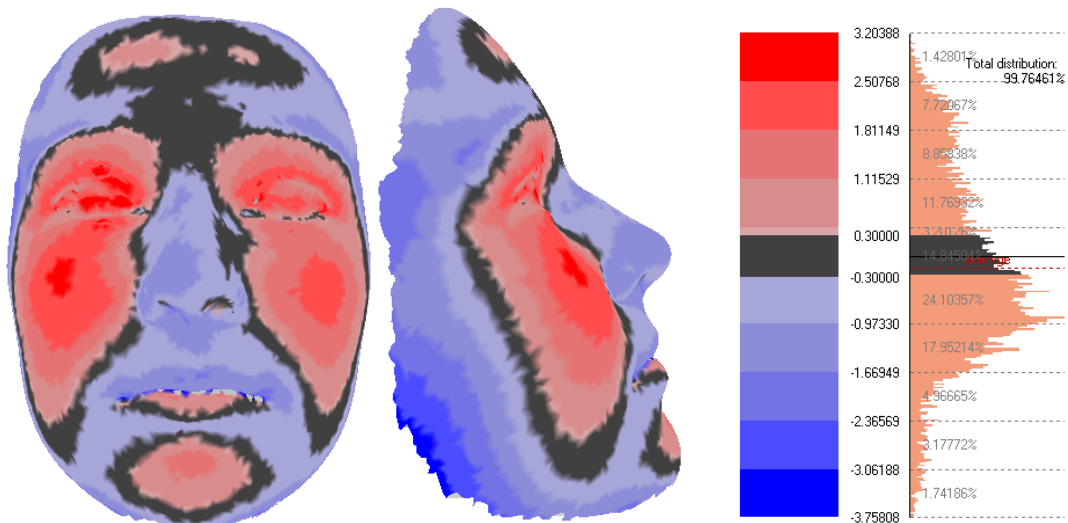
Konkrétní rozdíly mezi jednotlivými partii obličeje byly hodnoceny v programu RapidForm, který umožní na základě barevných map a histogramů jednotlivých odstínů barev poukázat na pozitivní/negativní změny mezi dvěma obličejí (obr. 6.28., 6.29., 6.30.). Tyto změny jsou udávány v milimetrech. Obecně jsou tedy více promiňující oblasti očí, tváří, dolního rtu a brady u dívek všech věkových kategorií. Naopak chlapci vykazují vyšší prominenci v oblasti nadočnicových oblouků, horního rtu a nosu. Jedinou výjimkou je věková kategorie 12let (obr. 6.28.), kde byl nos více prominující u dívek.



Obr. 6.28. Superprojekce průměrného obličeje 12letých chlapců do obličeje 12letých dívek.



Obr. 6.29. Superprojekce průměrného obličeje 13letých chlapců do obličeje 13letých dívek.



Obr. 6.30. Superprojekce průměrného obličeje 14letých chlapců do obličeje 14letých dívek.



## 7 Diskuse

Diplomová práce je zaměřena na hodnocení vnější morfologie obličeje nedospělých osob za účelem zpřesnění identifikačních metod v rámci forezních věd. Jedná se především o fotokomparační metody, rekonstrukce obličeje na základě lebky a odhad věku dle obličeje. Všechny tyto metody vyžadují znalost vnější morfologie obličeje, a to jak z hlediska vývojových změn obličeje jako celku či jednotlivých partií, tak z hlediska jeho variability.

Konkrétně je práce zaměřena na věkový interval 12 až 14 let. Dané věkové kategorie byly sledovány v sekvenci longitudinálních dat a to v rámci jednotlivých věkových kategorií a dále z hlediska jejich intersexuální difference. Hodnoceny byly změny tvaru a velikosti jednotlivých partií obličeje i obličeje jako celku a to na základě metod geometrické morfometrie.

Longitudinální studie hodnotící ontogenetický vývoj obličeje v průběhu růstu mají dlouhou historii a to především z hlediska potřeb řady biomedicínských oborů, jakými jsou např. plastická chirurgie či ortodoncie. Jedná se o studie hodnotící morfologii obličeje na základě klasického měření vzdáleností, úhlů či indexů obličeje a hlavy a to buď přímým měřením probandů (např. Farkas, 1994; Bláha a Vignerová, 1999) či na základě telorentgenových nebo cephalometrických snímků (např. Subtelny, 1959; Bishara et al., 1984; Snodell et al., 1993, Prahl-Andersen et al., 1995; van Diepenbeek et al., 2009; Jakob a Buschang, 2011). Tyto studie bezesporu přinášejí cenné informace o vzájemných vztazích kostěného podkladu a měkkých tkání obličeje v průběhu růstu, nicméně nedokáží zachytit podstatu obličeje jako trojrozměrné struktury a tím i konkrétní směr růstu či vzájemné tvarové charakteristiky obličeje jako celku, popř. jeho jednotlivých partií.

V posledních 20 letech dochází k rozvoji a zdokonalování trojrozměrných faciálních skenerů umožňujících zachytit jak texturu, tak tvar obličeje. Jejich výstupem jsou povrchové modely obličeje. Ty lze hodnotit opět buď klasických měření na základě manuálního umístění landmarků (např. Ferrario et al., 1998, 1999; Sforza et al., 2009, 2010) nebo hodnocením celého povrchu jako celku (např. Hennessy et al., 2005; Božič et al., 2009; Kau et al., 2005, 2008; Toma et al., 2011). Faciální skener využitý v této práci je z hlediska doby snímání velmi rychlý. Během 2 ms umožní zachytit obličej jako celek, výstupem je tedy jediný povrchový model. V tomto ohledu je metodologicky srovnatelná práce Bugaighis et al. (2011). Naopak v celé řadě studií byly využívány skenery, u kterých



je doba snímání 7,5 s, což zvyšuje pravděpodobnost chyb z důvodu pohybu či odlišené exprese obličeje probanda. Výstupem těchto skenerů jsou dva povrchové modely (pravý a levý), které se podle specifického algoritmu spojují, což také ovlivňuje přesnost. Tyto aspekty mohou vést k mírně odlišným výsledkům u jinak srovnatelných studií (např. Kau et al, 2006, 2008; Toma et al., 2011).

### Tvarové a průměrné velikostní změny morfologie obličeje

V této práci byly hodnoceny celé povrchové modely obličeje z hlediska tvarových a průměrných růstových změn na základě analýzy hlavních komponent (PCA) a na základě superprojekcí průměrných modelů obličeje. Po metodologické stránce lze z českých studií částečně srovnávat s prací Velemínská et al. (2012), která však hodnotí variabilitu obličeje dospělé populace. Ze zahraničních studií lze srovnávat např. se studiemi Kau et al (2008), Toma et al. (2011), Bugaighis et al., (2011).

Z hlediska variability formy obličeje, tj. vliv velikosti v rámci PCA analýzy je zachován, dosahovala první komponenta (PC1) 43,92% variability u chlapců a 31,37% u dívek. U chlapců byla tato komponenta spojena především se změnami ve výšce obličeje a zároveň dokázala charakterizovat změny spojené s věkem, tzn. kratší obličeje ve 12 letech, vertikálně delší ve 14 letech. U dívek je naopak tato komponenta spojena s šířkovými změnami a změnami konvexity obličeje, jednotlivé věkové kategorie od sebe nedokáže výrazně diferencovat. Komponenta, jež by odpovídala věkovým změnám, tedy u dívek nalezena nebyla. Tyto výsledky částečně odpovídají studii Toma et al. (2011), kteří hodnotili variabilitu formy obličeje u britských dětí ve věku 15 a půl roku. Popisují 14 hlavních komponent, přičemž nejvýrazněji přispívají první tři (46% z celkové variability). První komponenta (24,2% u chlapců; 21,9% u dívek) souvisí se změnami ve výšce obličeje, druhá komponenta (11,0%; 11,1%) charakterizuje změny v šířce obličeje a třetí komponenta (7,4%; 7,6%) je spojená se změnami prominence nosu. Tyto výsledky jsou v souladu s naší studií, ale pouze u chlapců. U dívek komponenty odpovídají změnám v odlišných partiích obličeje. Důvodem je s největší pravděpodobností odlišný počet probandů, který je několikanásobně nižší v naší studii a též odlišná věková kategorie. Další studie hodnotící morfologii obličeje nedospělých jedinců (7–17 let) na základě PCA je Halazonetis (2007), který hodnotil variabilitu obličeje na 2D snímcích (rtg snímky). První



dvě komponenty zahrnovali 54% celkové variability a souviseli především se změnami v prominenci rtů, nosu a brady (PC1) a celkovou konvexitou (PC2).

V rámci hodnocení variability tvaru, tj. velikost byla odfiltrována, dosahovala první komponenta výrazně nižších hodnot, v porovnání s komponentou v případě formy obličeje u chlapců (19,15%). Naopak u dívek přispívala první komponenta dokonce o něco více než v případě formy (32,13%). Tyto výsledky poukazují na výrazný podíl velikosti na tvar měkkých tkání obličeje, ke kterým dochází u chlapců v průběhu sledovaného období. Naopak u dívek je variabilita tvaru téměř shodná s variabilitou formy, což naznačuje, že k žádným výrazným změnám ve velikosti obličeje nedochází. Dynamika růstu pro obě pohlaví je tedy v tomto období odlišná. Dochází ke zpomalení růstu obličeje dívek a naopak výraznému urychlení u chlapců na počátku sledovaného období v souvislosti s nástupem pubertálního růstového urychlení, které dívky manifestují v průměru o dva roky dříve. Tyto výsledky jsou ve shodě s řadou studií dvojrozměrných (Snodell et al., 1993; Hoffelder et al., 2007; van Diepenbeek et al., 2009; Jacob a Buschang, 2009) i trojrozměrných studií (Ferrario et al., 1998, 1999; Bulygina et al., 2006; Kau et al., 2008)

K porovnání rozdílů ve formě a tvaru mezi jednotlivými věkovými kategoriemi byl využit párový Hotellingův test, který na základě suřového grafu hodnotí vždy nejvýznamnější komponenty. Z hlediska formy obličeje byly prokázány signifikantní rozdíly u všech věkových kategorií u obou pohlaví. Méně výrazné rozdíly byly zaznamenány u dívek mezi věkovou kategorií 13-14 let. Signifikantní tvarové rozdíly byly prokázány u všech věkových kategorií chlapců, u dívek pouze mezi 12 a 14 lety. Tyto výsledky poukazují na to, že i po odfiltrování velikosti dochází v průběhu růstu k tvarovým změnám obličeje. K podobným závěrům došla i studie Bulygina et al. (2006), kteří uvádějí, že velikost (míra) tvarových změn na jednotku velikosti je u obou pohlaví shodná. V souvislosti s poklesem rychlosti růstu u dívek byly tedy i tvarové rozdíly méně výrazné.

Změny v morfologii obličeje v průběhu růstu byly hodnoceny na základě superprojekcí průměrných modelů obličeje vždy konkrétních věkových kategorií. Principem superprojekce je tzv. ICP algoritmus (iterative-closest-point algorithm), který je obecně široce využíván k registraci dvou 3D modelů a umožňuje spolehlivé a přesné hodnocení, jež bylo ověřeno v řadě studií (např. Nute a Moss, 2000; Kau et al., 2005, 2006, 2008; Božič et al., 2009; Gor et al., 2010). Výstupem jsou barevné mapy, které poukazují



na pozitivní či negativní změny povrchu obličeje, a dále histogramy, podle nichž lze přímo odečítat konkrétní velikostní změny mezi dvěma modely.

Obecně jsou změny v morfologii obličeje v průběhu tohoto období podobné pro chlapce i pro dívky, ale přírůstky v jednotlivých segmentech obličeje jsou v celém sledovaném období větší u chlapců, což souvisí s počínající manifestací pubertálního růstového urychlení na počátku tohoto období. U obou pohlaví došlo k nejvýraznějším změnám v oblasti nosu a to v celé jeho délce od bodu nasion až k hrotu, ve směru jeho prodlužování inferiorním a anteriorním směrem. Odrazem směru růstu nosu je i celkový posun horního rtu směrem dolů. Celkově se obličej prodlužuje ve vertikálním směru a to především v jeho dolní třetině, tedy v oblasti dolní čelisti, respektive brady. Tyto poznatky jsou obecně v souladu s řadou studií (Prah-Andersen et al., 1995; Ferrario et al., 1999; Hoffelder et al., 2007; Jakob a Buschang, 2011). V souvislosti se vrůstající prominencí nadočnicových oblouků se oči posouvají relativně hlouběji do očnice. K negativním změnám došlo v oblasti tváří, které se v průběhu růstu více oplošťují. Společně s celkovým prodlužováním obličeje a nárůstem nosu dochází ke zvyšování celkové konvexity obličeje. K těmto závěrům došla i obdobná studie Kau et al., 2008, která taktéž hodnotí změny v morfologii obličeje 12 – 14letých dětí na základě superprojekcí. Mírné odlišnosti, lze nalézt v některých velikostních přírůstcích. Tyto diskrepance jsou pravděpodobně způsobeny tím, že povrchový model obličeje musel být v této studii nejprve sestaven z pravého a levého modelu.

#### Pohlavní dimorfismus obličeje

Existence pohlavního dimorfismu z hlediska morfologie obličeje byla u dospělé populace prokázána v řadě studií (Hennessy et al., 2005; Bulygina et al., 2006; Gor et al., 2010; Velemínská et al., 2012). Mezipohlavní rozdíly jsou výsledkem odlišné dynamiky v průběhu ontogenetického vývoje, která je nejvýraznější právě v období puberty. Dalo se tedy očekávat, že v těchto věkových kategoriích budou intersexuální rozdíly patrné.

Nejprve byl obličej dívek a chlapců hodnocen z hlediska variability tvaru a formy s cílem nalézt komponentu či komponenty, které by dokázaly diskriminovat jedince daných věkových kategorií dle pohlaví. Podle příspěvků prvních dvou komponent na celkovou variabilitu formy a tvaru obličeje (v průměru 51,75% v případě formy a 36,63% v případě tvaru) se dalo očekávat, že právě tyto dvě komponenty dokáží jedince rozlišit.



Z grafů závislosti prvních dvou komponent při sledování variability formy obličeje byl podle rozložení konkrétních jedinců tento předpoklad potvrzen a jako nejvýznamněji diskriminující se ukázala první komponenta. Negativní hodnoty této komponenty odpovídají obličeji chlapců, naopak pozitivní obličeji dívek. Tento předpoklad byl navíc podpořen výsledky permutačního testu, který potvrdil statisticky významné rozdíly u všech věkových kategorií. Tyto výsledky se částečně shodují se studií Velemínská et al. (2012). Zjistili, že příspěvek prvních dvou komponent je 56%, respektive 42,8% v rámci první komponenty. Tato studie však hodnotí pohlavní dimorfismus dospělé populace.

Studie Bugaighis et al. (2011) hodnotili variabilitu tvaru obličeje z hlediska pohlavního dimorfismu u věkové kategorie 8 – 12 let. První dvě komponenty přispívaly pouze 35% a statisticky významné rozdíly prokázány nebyly. Tyto výsledky jsou ve shodě s naší studií. Ačkoliv vykazovala druhá komponenta mírnou tendenci k rozlišení obou skupin, na základě statistického hodnocení, nebyly mezi pohlavími prokázány významné tvarové rozdíly. Ferrario et al. (1999) poukázali na mírné, nikoliv však signifikantní, odlišnosti ve tvaru obličeje chlapců a dívek v období puberty a to v oblasti dolního obličeje, který byl větší a více prominující anteriorním směrem u chlapců. Taktéž Ferrario et al. (1996) či Evison et al. (2010), kteří však hodnotili rozdíly ve tvaru obličeje dospělých osob, neprokázali signifikantní rozdíly mezi pohlavími. Sexuální dimorfismus obličeje je tedy spojen především s velikostí, která hraje ve výsledném tvarování obličeje zásadní roli.

Superprojekcí průměrných obličejů v jednotlivých věkových kategoriích byly hodnoceny konkrétní rozdíly ve formě obličeje mezi dívkami a chlapci. Obecně lze u všech věkových kategorií pozorovat vyšší prominenci oblasti očí, tváří, dolního rtu přední části brady ve prospěch dívek. Naopak obličej chlapců je celkově delší a širší s více prominující oblastí nadočnicových oblouků, nosu a horního rtu. Velikostní rozdíly mezi těmito oblastmi se v průběhu sledovaného období dle předpokladu zvětšují. Výjimkou je věková kategorie 12 let, u které více prominuje nos dívek. Vyšší prominenci nosu dívek v této věkové kategorii je ve shodě se studií Genekov et al. (1990). Taktéž Bugaighis et al. (2011) uvedli v této věkové kategorii vyšší prominenci hrotu nosu u dívek. Naopak v rozporu jsou poznatky o prominenci rtů, kdy podle této studie prominovali více oba rty u dívek v porovnání s chlapci, v naší práci však pouze ret dolní. Toma et al. (2008) hodnotil rozdíly v morfologii obličeje u 15 a půl letých jedinců. Výsledky jsou ve shodě s naší studií, výjimkou je opět odlišná prominenci rtů a to ve prospěch vyšší prominenci obou



rtů u chlapců. Nute a Moss (2000) hodnotili rozdíly u 5 – 10letých jedinců. Zjistili vyšší prominenci brady chlapců v nižších věkových kategoriích, která se však v 10 letech vyrovnává s dívkami, což lze vysvětlit počínajícím pubertálním spurtem dívek. Ferrario et al. (1998) prokázali, že chlapci po 12 roce manifestují svůj růst především v oblasti dolní třetiny obličeje. Jednalo se však spíše o vertikální prodlužování této oblasti spíše než zvyšování prominence, což koresponduje i s našimi výsledky. Diskrepance mezi těmito výsledky jsou pravděpodobně ovlivněny odlišným počtem probandů v jednotlivých studiích a též mírně odlišnou metodikou.





## 8 Závěr

Předkládaná práce se zabývá morfologií obličeje nedospělých osob v průběhu růstu (12 až 14 let). Hodnocena byla variabilita tvaru a formy obličeje v rámci pohlaví i z hlediska mezipohlavních rozdílů. Na základě superpojekcí průměrných obličejů konkrétních věkových kategorií a pohlaví byly kvalitativně i kvantitativně hodnoceny rozdíly mezi dílčími skupinami. Výsledky jsou následující:

1. Variabilita formy obličeje (tj. tvar plus velikost) je větší než variabilita tvaru. Velikost je v sledovaném věkovém intervalu důležitým faktorem podílejícím se na morfologii obličeje.
2. Statisticky významné rozdíly formy obličeje byly prokázány mezi všemi věkovými kategoriemi i mezi pohlavími.
3. Rozdíly ve tvaru obličeje byly prokázány mezi všemi věkovými kategoriemi chlapců a mezi 12 a 14letými dívkami.
4. Intersexuální rozdíly ve tvaru obličeje ve všech věkových kategoriích prokázány nebyly. Pouze mírně je naznačena diference ve věkové kategorii 14 let.
5. Změny morfologie obličeje jsou výraznější u chlapců než u dívek po celé sledované období a u všech věkových kategorií.
6. Obecně dochází u obou pohlaví s přibývajícím věkem k celkovému prodlužování obličeje, oblast tváří se oplošťuje a v souvislosti se zvýrazněním nadočnicových oblouků dochází k hlubšímu uložení očí. S prodlužováním obličeje souvisí prodlužování a zvýraznění prominence nosu a brady.
7. Dívky mají v porovnání s chlapci ve všech věkových kategoriích více prominující oblast očí, tváří, dolního rtu přední části brady. Naopak obličej chlapců je celkově delší a širší s více prominující oblastí nadočnicových oblouků, nosu a horního rtu.



## 9 Seznam použité literatury

Aeria G, Claes P, Vandermeulen D, Clement JG. 2010. Targeting specific facial variation for different identification tasks. *Forensic Sci Int* 201:118–124.

Aishwarya P, Marcus P. 2010. Face recognition using multiple eigenface subspaces. *J Eng Technol Res* 2(8):139–143.

Arat M, Köklü A, Özdiler E, Rübendüz M, Erdoğan B. 2001. Craniofacial growth and skeletal maturation: a mixed longitudinal study. *Eur J Orthod* 23:355–361.

Bastir M, Rosas A. 2004. Facial heights: Evolutionary relevance of postnatal ontogeny for facial orientation and skull morphology on humans chimpanzees. *J Hum Evol* 47:359–381.

Bastir M, Rosas A, O'Higgins. 2006. Craniofacial levels and the morphological maturation of the skull. *J Anat* 209:637–654.

Bergman RT. 1999. Cephalometric soft tissue facial analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 116:373–89.

Besl P, McKay N. 1992. A Method for Registration of 3-D Shapes. *IEEE Trans PAMI* 12(2):239–256.

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

Bishara SE, Jakobsen JR, Hession TJ, Treder JE. 1998. Soft tissue profile changes from 5 to 45 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114:698–706.

Björk A. 1955. Cranial base development. *Am J Orthod* 41:198–225.

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.



- Bogin B, Rios L. 2003. Rapid morphological change in living humans: implications for modern human origins. *Comp Biochem Physiol* 136:71–84.
- Božič M, Kau CH, Richmond S, Hren NI, Zhurov A, Udovič M, Melink S, Ovsenik M. 2009. Facial Morphology of Slovenian and Welsh White Populations Using 3-Dimensional Imaging. *Angle Orthod* 79:640–645.
- Bruce V, Young A. 1998. *In the eye of the beholder*. New York: Oxford University Press.
- Bugaighis I, Mattick C, Tiddeman B, Hobson. 2011. Three-dimensional gender differences in facial form of children in the North East of England. *Eur J Orthod* doi: 10.1093/ejo/cjr033.
- Bulygina E, Mitteroecker P, Aiello L. 2006. Ontogeny of Facial Dimorphism and Patterns of Individual Development Within One Human Population. *Am J Phys Anthropol* 131:432–443.
- Buschang P, Baume R, Nass G. 1983. A craniofacial growth maturity gradient for males and females between 4 and 16 years of age. *Am J Phys Anthropol* 61:373–381.
- Caharel S, Jiang F, Blanz V, Rossion B. 2009. Recognizing an individual face: 3D shape contributes earlier than 2D surface reflectance information. *NeuroImage* 47:1809–1818.
- Cattaneo C. 2007. Forensic anthropology: developments of a classical discipline in the new millennium. *Forensic Sci Int* 165:185–193.
- Cattaneo C, Ritz-Timme S, Gabriel P, Gibelli D, Giudici E, Poppa P, Nohrden D, Assmann S, Schmidt R, Grandi M. 2009. The difficult issue of age assesment on pedo-pornographic material. *Forensic Sci Int* 183:e21–e24.
- Clement JG, Marks MK. 2005. *Computer-graphic facial reconstruction*. London: Elsevier Academic Press.
- Čihák R. 2001. *Anatomie 1*. Praha: Grada Publishing.
- Davis JP, Valentine T, Davis RE. 2010. Computer assisted photo-anthropometric analyses of full-face and profile facial images. *Forensic Sci Int* 200:165–176.



De Angelis D, Sala R, Poppa P, Cattaneo C. 2006. Identification of the living, American Academy of Forensic Sciences, Seattle, USA, February 17–24.

De Angelis D, Sala R, Cantatore A, Grandi M, Cattaneo C. 2009. A new computer-assisted technique to aid personal identification. *Int J Legal Med* 123:351–356.

Dehon H, Brédart S. 2001. An “other-race“ effect in age estimation from faces. *Perception* 30:1107–1113.

Dekaban AS, Sadowsky D. 1978. Changes in brain weight during the span of human life: relation of brain weights to body heights and body weights. *Ann Neurol* 4:345–356.

Dixon AD, Hoyte DAN, Rønning O. 1997. *Fundamentals of craniofacial growth*. New York: CRC Press.

Enlow DH. 1996. *Essential of facial growth*. Philadelphia:W.B. Saunders Company.

Enlow DH, Hans MG. 2008. *Essential of facial growth: Second edition*. Philadelphia:W.B. Saunders Company.

Evison M, Dryden I, Fieller N, Mallett X, Morecroft L, Schofield D, Bruegge RV. 2010. Key Parameters of Face Shape Variation in 3D in a Larga Sample. *J Forensic Sci* 55(1):159–62.

Evison M, Bruegge RV. 2010. *Computer-aided forensic facial comparison*. Boca Raton: CRC Press.

Farkas LG. 1981. *Antropometry of the head and face in medicine*. Elsevier, New York.

Farkas L. 1994. *Antropometry of the head and face*. New York: Raven Press.

Fernández-Riveiro P, Suárez-Quintanilla D, Smyth-Chamosa E, Suárez-Cunqueiro M. 2002. Linear photogrammetric analysis of the soft tissue facial profile. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 122:59–66.

Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Serrao G. 1996. Facial free-dimensional morphometry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 109:86–93.



Ferrario VR, Sforza Ch, Poggio CE, Schmitz JH. 1998. Facial Volume Changes During Normal Human Growth and Development. *Anat Rec* 250:480–487.

Ferrario VF, Sforza Ch, Serrao G, Colombo A, Ciusa V. 1999. Soft tissue facial and development as assessed by the three-dimensional computerized mesh diagram analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116:215–26.

Ferrario VF, Sforza Ch, Colombo A, Schmitz JH, Serrao G. 2001. Morphometry of the orbital region: a soft-tissue study from adolescence to mid-adulthood. *Plast Reconstr Surg* 108:285.

Fetter V, Prokopec M, Suchý J, Titlbachová S. 1967. *Antropologie*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd.

Fink B, Grammer K, Mitterocker P, Gunz P, Schaefer K, Bookstein FL, Manning. 2005. Second to fourth digit ratio and face shape. *Proc R Soc B* 272:1995–2001.

Fishman LS. 1979. Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth. *Angle Ortho* 49:181–189.

Fraser NL, Yoshino M, Imaizumi K, Blackwell SA, Thomas CDL, Clement JG. 2003. A Japanese computer-assisted facial identification system successfully identifies non-Japanese faces. *Forensic Sci Int* 135:122–128.

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

Geng X, Zhou Z, Zhang Y, Li G, Dai H. 2006. Learning from Facial Aging Patterns for Automatic Age Estimation. *Proc 14th ACM International Conference on Multimedia* 307–316.

George PA, Hole GJ. 1995. Factors influencing the accuracy of age estimates of unfamiliar faces. *Perception* 24:1059–1073.

George PA, Hole GJ. 1998. The influence of feature-based information in the age processing of unfamiliar faces. *Perception* 27:295–312.



- Gkantidis N, Halazonetis DJ. 2011. Morphological integration between the cranial base and the face children and adults. *J Anat* 218:426–438.
- Gonzales PN, Perez SI, Bernal V. 2011. Ontogenetic Allometry and Cranial Shape Diversification Among Human Populations From South America. *Anat Rec* 294:1864–1874.
- Goodrich JT. 2005. Skull base growth in craniosynostosis. *Child Nerv Syst* 21(10):871–9.
- Goos MIM, Alberink IB, Ruifrok ACC. 2005. 2D/3D image (facial) comparison camera matching. *Forensic Sci Int* 163:10–17.
- Gor T, Kau CH, English J, Lee R, Borbely. 2010. Three-dimensional comparison of facial morphology in white populations in Budapest, Hungary, and Houston, Texas. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:424–32.
- Halazonetis DJ. 2007. Morphometric correlation between facial soft-tissue profile shape and skeletal pattern in children and adolescent. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132:450–7.
- Haruštiaková D, Jarkovský J, Littnerová S, Dušek L. 2012. Vícerozměrné statistické metody v biologii. Brno: Akademičké nakladatelství CERM.
- 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.
- Henry CJK, Rees DG. 1991. New predictive equations for the estimation of basal metabolic rate in tropical peoples. *Eur J Clin Nutr* 45:177–185.
- Hernandez M, Fox CL, GarciaMoro C. 1997. Fuegian cranial morphology: The adaptation to a cold, harsh environment. *Am J Phys Antropol* 103:103–117.
- Hoffelder LB, de Lima EMS, Martinelli FL, Bolognese AM. 2007. Soft-tissue changes during facial growth in skeletal class II. individuals. *Am J Dentofacial Orthop* 131:490–5.



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. 1993. Introduction of techniques for photographic comparison: Potential and problems. In: Iscan MY, Helmer RP, editors. Forensic analysis of the skull. New York: Wiley-Liss. p 57–70.

Jacob HB, Buschang PH. 2011. Vertical craniofacial growth changes in French-Canadians between 10 and 15 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139:797–805.

Joffe TH, Tarantal AF, Rice K, Leland M, Oerke A-K, Rodeck C, Geary M, Hindmarsh P, Wells JCK, Aiello LC. 2004. Fetal and infant head circumference sexual dimorphism in primates. *Am J Phys Anthropol* 126:97–110.

Kau CH, Richmond S, Zhurov AI, Knox, Chestnutt, Hartles F, Playle R. 2005. Reliability of measuring facial morphology with a 3-dimensional laser scanning system. *J Orthod Dentofacial Orthop* 128:424–430.

Kau CH, Zhurov A, Bibb R, Hunter L, Richmond S. 2005. The investigation of the changing facial appearance of identical twins employing a three-dimensional laser imaging system. *Orthod Craniofacial Res* 8:85–90.

Kau CH, Zhurov A, Richmond S, Bibb R, Sugar A, Knox J, Hartles F. 2006. The 3-dimensional Construction of the Average 11-Year-Old Child Face: A Clinical Evaluation and Application. *J Oral Maxillofac Surg* 64:1086–1092.

Kau CH, Richmond S. 2008. Three-dimensional analysis of facial morphology surface changes in untreated children from 12 to 14 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:751–60.

Kleiberg KF, Pharm B, Vanezis P, Burton M. 2007. Failure of anthropometry as a facial identification technique using high-quality photographs. *J Forensic Sci* 52:779–783.



- Kleinberg KF, Siebert JP. 2012. A study of quantitative comparisons of photographs and video images based on landmark derived feature vectors. *Forensic Sci Int* 219(1-3):248–58.
- Kleinhans C. 2004. Virtual child porn: the law and the semiotics of the image. *J Vis Cult* 3:17–34.
- Lanitis A, Taylor CJ, Cootes T. 2002. Toward automatic simulation of aging effects on face images. *IEEE T Pattern Anal* 24(4):442–455.
- Lebl J, Krasničanová H. 1996. *Růst dětí a jeho poruchy*. Praha: Galén.
- Lieberman DE. 1995. Testing hypotheses about recent human evolution from skulls: integrating morphology, function, development and phylogeny. *Curr Anthropol* 36:159–197.
- Lu J, Yuan X, Yahagi T. 2006. A method of face recognition based on fuzzy clustering and parallel neural networks. *Signal Process* 86:2026–2039.
- Malina J et al. 2007. *Slovník pro studenty antropologie I. A-M*. Brno: Akademické nakladatelství CERM.
- Malina J et al. 2007. *Slovník pro studenty antropologie II. N-Ž*. Brno: Akademické nakladatelství CERM.
- Mark LS, Pittenger JB, Hines H, Carello C, Shaw RE, Todd JT. 1980. Wrinkling and head shape as coordinated sources of age level information. *Percept Psychophys* 27:117–124.
- Marschall WA, Tanner JM. 1969. Variations in Pattern of Pubertal Changes in Girls. *Arch Dis Child* 44:291.
- Marschall WA, Tanner JM. 1969. Variations in Pattern of Pubertal Changes in Boys. *Arch Dis Child* 45:13.
- McBratney-Owen B, Iseki S, Bamforth SD, Olsen BR, Morris-Kay GM. 2008. Development and tissue origins of the mammalian cranial base. *Dev Biol* 322:121–132.





Meloun M, Militký J. 2004. Statistické zpracování experimentálních dat. Akademie věd České republiky.

Morriss-Kay GM. 2001. Derivation of the mammalian skull vault. *J Anat* 199:143–151.

Moyse E, Brédart S. 2012. An own-age bias in age estimation of faces. *Eur Rev Appl Psychol* 62:3–7.

Musil J, Konrád Z, Suchánek J. 2004. *Kriminalistika. 2. přepracované a doplněné vydání.* Praha: C. H. Beck.

Nanda R, Meng H, Kapila S, Goorhuis J. 1990. Growth changes in the soft tissue facial profile. *Angle Orthod* 60:177–90.

Neeley WW, Gonzales A. 2007. Obesity in adolescence: Implication in orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:581–8.

Nijhout FH. 2003. The control of growth. *Development* 130:5863–5867.

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

O'Hare PM, Fleischer AB, D'Agostino JR, Feldman SR, Hinds MA, Rasette SA. 1999. Tobacco smoking contributes little to facial wrinkling. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 12:133–139.

O'Higgins P, Bastir M, Kupczik K. 2006. Shaping the human face. *Int Congr* 1296:55–73.

Pittinger JB, Shaw RE. 1975a. Aging faces as viscal-elastic events: Implications for theory of non-rigid shape perception. *J Exp Psychol Human* 1:374–382.

Porada V. 2001. *Kriminalistika.* Brno: CERM.

Porter G, Doran G. 2000. An anatomical and photographic technique for forensic facial identification. *Forensic Sci Int* 114:97–105.

Prahl-Anderson B, Ligthelm-Bakker ASWMR, Wattel E, Nanda R. 1995. Adolescent growth changes in soft tissue profile. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107:476–483.



- Raadsheer MC, Kiliaridis S, Van Eijden MGJ, Van Ginkel FC, Prah-Andersen B. 1996. Masseter muscle thickness in growing individuals and its relation to facial morphology. *Archs Oral Biol* 41:323–332.
- Rak R, Matyáš V, Říha Z. 2008. *Biometrie a identita člověka ve forezních a komerčních aplikacích*. Praha:Grada.
- Ramanathan N, Chellappa R. 2006. Modeling age progression in young faces. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* 1:387–394.
- Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Schütz HW, Kaatsch HJ, Borrman HIM. 2000. Age estimation: The state of the art in relation to the specific demands of forensic practise. *Int J Legal Med* 113:129–136.
- Ritz-Timme S, Gabriel P, Obertová Z, Boguslawski M, Mayer F, Drabik A, Poppa P, De Angelis D, Ciaffi R, Zanotti B, Gibelli D, Cattaneo C. 2011. A new atlas of the evaluation of facial features: advantages, limits, and applicability. *Int J Legal Med* 125(2):301–306.
- Roelofse MM, Steyn M, Becker PJ. 2008. Photo identification: Facial metrical and morphological features in South African males. *Forensic Sci Int* 177:168–175.
- Rosas A, Bastir M. 2002. Thin-plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *Am J Phys Anthropol* 117:236–245.
- Rowley HA, Baluja S, Kanade T. 1998. Neural Network-Based Face Detection. *IEEE T Pattern Anal* 20:23–38.
- Sadowsky PL. 1998. Craniofacial growth and the timing of treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 113:19–23.
- Santoro V, De Donno A, Marrone M, Campobasso CP, Introna F. 2009. Forensic age estimation of living individuals: A retrospective analysis. *Forensic Sci Int* 193:129e1–129e4.
- Sarnat BG. 1983. Normal and abnormal craniofacial growth. *Angle Ortho* 53:263–289.



Sforza Ch, Grandi G, Catti F, Tommasi DG, Ugolini A, Ferrario VF. 2009. Age- and sex-related changes in the soft tissues of the orbital region. *Forensic Sci Int* 185:115e1–115e8.

Sforza Ch, Grandi G, Binelli M, Dolci C, De Menezes M, Ferrario VF. 2010. Age- and sex-related changes in three-dimensional lip morphology. *Forensic Sci Int* 200:182e1–182e7.

Sgouros S, Natarajan K, Hockley A, Goldin JH, Wake M. 1999. Skull base growth in childhood. *Ped Neurol* 31:259–268.

Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G. 2001. Age estimation of living people undergoing criminal proceedings. *Lancet* 358:89–90.

Schumacher GH. 1992. *Anatómia pre stomatológov*. Martin: Vydavateľstvo Osveta.

Schwartz JH. 2007. *Skeleton Keys – An introduction to human skeletal morphology, development, and analysis*. New York: Oxford University Press.

Smeets D, Claes P, Vandermeulen D, Clement JG. 2010. Objective 3D face recognition: Evolution, approaches and challenges. *Forensic Sci Int* 201:125–132.

Snodell SF, Nanda RS, Currier FG. 1993. A longitudinal cephalometric study of transverse and vertical craniofacial growth. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 104:474–83.

Sörqvist P, Eriksson M. 2007. Effects of training on age estimation. *Appl Cognitive Psych* 21:131–135.

Sperber GH. 1989. *Craniofacial Embryology*. London:Wright.

Subtelny JD. 1959. A longitudinal study of soft tissue facial structures and their profile characteristics defined in relation to underlying skeletal structures. *Am J Orthod* 45:381–507.

Székely GJ, Rizzo ML. 2005. A new test for multivariate normality. *J Multivariate Anal* 93:58–80.

Šmahel Z. 2001. *Principy, teorie a metody auxologie*. Praha – Nakladatelství Karolinum.



Taylor KT. 2001. Forensic art and illustration. London, New York, Washington: CRC Press.

Toma AM, Zhurov A, Playle R, Richmond S. 2008. A three-dimensional look for facial differences between males and females in a British-Caucasian sample aged 15½ years old. *Orthod Craniofac Res* 11:180–185.

Toma AM, Zhurov A, Playle R, Ong E, Richmond S. 2009. Reproducibility of facial soft tissue landmarks on 3D laser-scanned facial images. *Orthod Craniofac Res* 12:33–42.

Toma AM, Zhurov A, Playle R, Marshall D, Rosin PL, Richmond S. 2011. The assessment of facial variation in 4747 British school children. *Eur J Orthod* doi: 10.1093/ejo/cjr106.

Ursi WJS, Trotman CA, McNamara KJ, Behrents RG. 1993. Sexual dimorphism in normal cranifacial growth. *Angle Orthod* 63:47–56.

Utsono H, Kageyama T, Uchida K, Yoshino M, Miyazawa H, Inoue K. 2010. Facial soft tissue thickness in Japanese children. *Forensic Sci Int* 199:109e1–109e6.

Van der Heiden P, Korsten-Meijer AG, van der Laan B, Wit HP, Goorhuis-Brouwer SM. 2008. Nasal growth and maturation age in adolescents. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 134(12):1288–1293.

Van Diepenbeek AF, Buschang PH, Prah-Andersen B. 2009. Age-dependent cephalometric standarts as determined by multilevel modeling. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135:79–87.

Vanesis P, Brierley C. 1996. Facial image comparison of crime suspects using video superimposition. *Sci Justice* 36:27–34.

Vargas JE, Sucar LE. 2005. Predicting the most probable facial features using Bayesian networks, mathematical morphology and computer graphics. In: Clement JG, Marks MK, Editors. *Computer-graphic facial reconstruction*. London: Elsevier Academic Press. p129–143.



Velemínská J, Bigoni L, Krajíček V, Borský J, Šmahelová D, Cagáňová V, Peterka M. 2012. Surface facial modelling and allometry in relation to sexual dimorphism. *Homo* 63(2):81–93.

Ventura F, Zacheo A, Ventura A, Pala A. 2004. Computerised anthropomorphic analysis of images: case report. *Forensic Sci Int* 146S:S211–S213.

West KS, McNamara JA. 1999. Changes in the craniofacial complex from adolescence to midadulthood: A cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 115:521–32.

Wild HA, Barrett SE, Spence MJ, O'Toole AJ, Cheng YD, Brooke J. 2000. Recognition and Sex Categorization of Adults' and Children's Faces: Examining Performance in the Absence of Sex-Stereotyped Cues. *J Exp Child Psychol* 77: 269–291.

Wilkinson C. 2004. *Forensic Facial Reconstruction*. Cambridge:Cambridge University Press.

Willner P, Rowe G. 2001. Alcohol servers' estimates of young people's ages. *Drugs Educ Prev Pol* 8:375–383.

Wu J, Smith WPA, Hancock ER. 2010. Facial gender classification using shape-from-shading. *Image Vision Comput* 28:1039–1048.

Yoshino M, Matsuda H, Kubota S, Imaizumi K, Miyasaka S. 2000. Computer-assisted facial image identification system using a 3-D physiognomic range finder. *Forensic Sci Int* 109:225–237.

Yoshino M, Noguchi K, Atsuchi M, Kubota S, Imaizumi K, Thomas CDL, Clement JG. 2002. Individual identification of disguised faces by morphometrical matching. *Forensic Sci Int* 127:97–103.

Yoshino M, Imaizumi K, Tanijiri T, Clement JG. 2003. Automatic adjustment of facial orientation in 3D face image database. *Jpn J Sci Tech Iden* 8:41–47.

Yoshino M, Taniguchi M, Imaizumi K, Miyasaka S, Tanijiri T, Yano H, David C, John T, Clement JG. 2005. A new retrieval system for database of 3D facial images. *Forensic Sci Int* 148:113–120.



Zeldich ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. 2004. Geometric morphometrics for biologists: a primer. New York: Elsevier Academic Press.

Zvára K. 2006. Biostatistika. Praha: Karolinum.

**Internetové zdroje:**

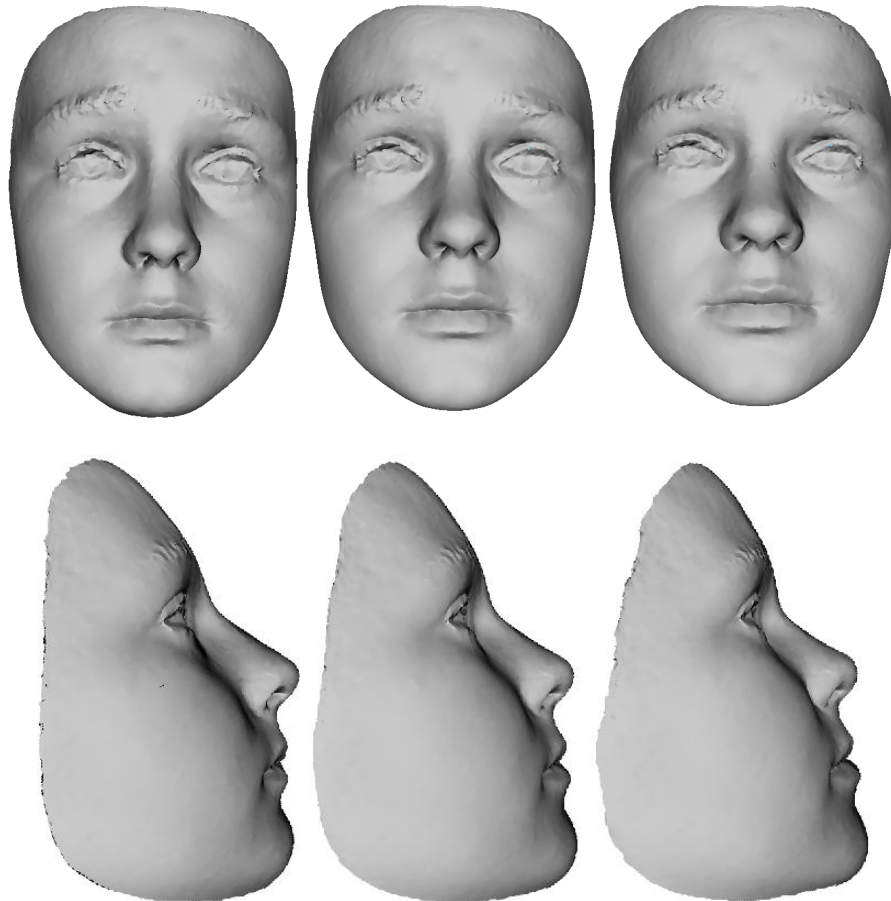
Hammer O, Harper DAT, Ryan PD. 2012. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Version 2.16. Palaeontologia Electronica 4:9.

Taiser MA, Holliday SD, Borman HIM. 2000. Comments on facial aging in law enforcement investigation. Forensic Sci Commun 2:2.

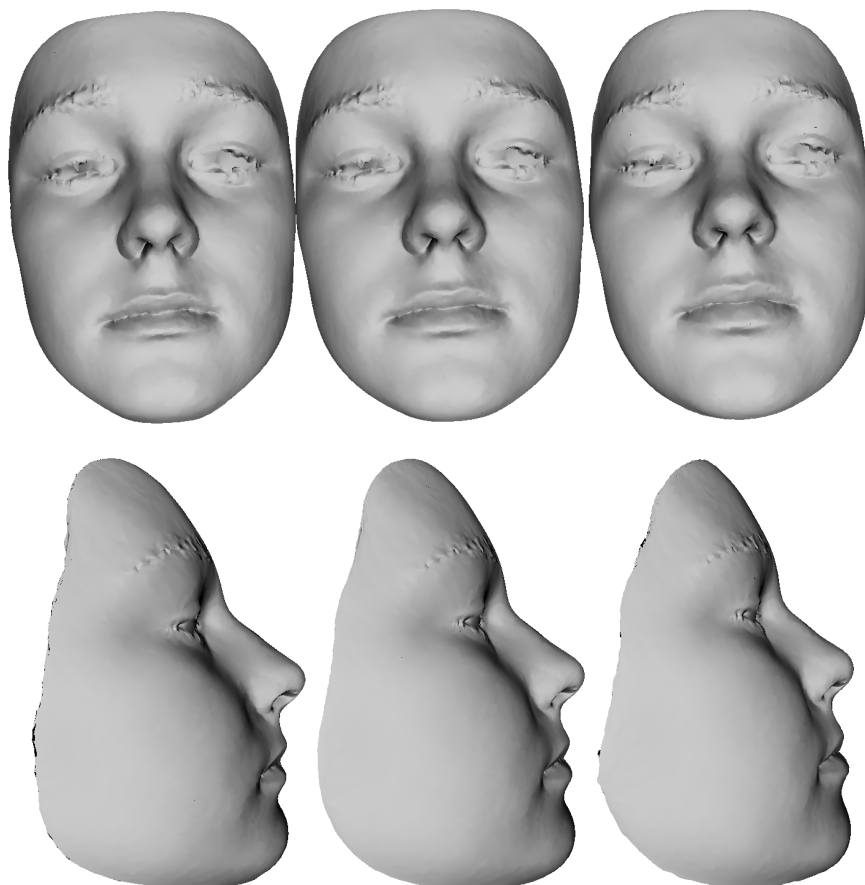
<http://www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/april2000/taister.htm>

**Přílohy:**

**Příloha 1.** Změny formy obličeje 12letých vyjádřené PC1. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

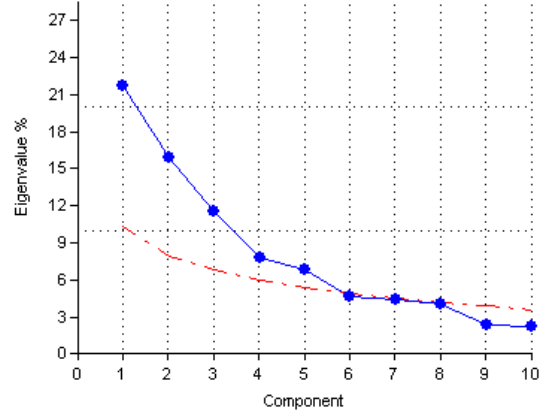
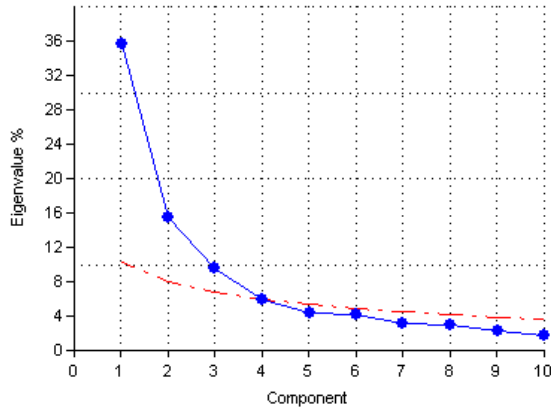


**Příloha 2.** Změny formy obličeje 13letých vyjádřené PC1. Vlevo jsou obličeje odpovídající nejvíce negativní, ve středu nulové a napravo nejvíce pozitivní hodnotě dané komponenty.

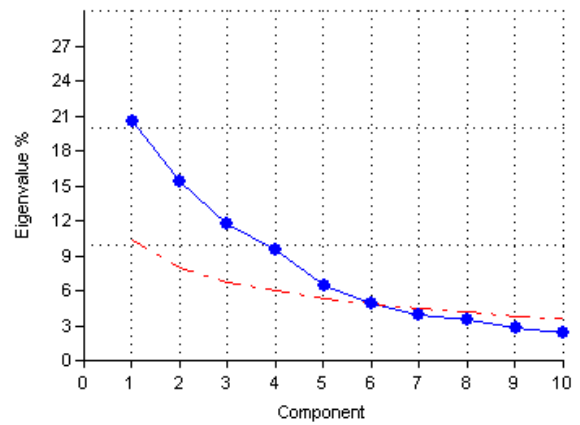
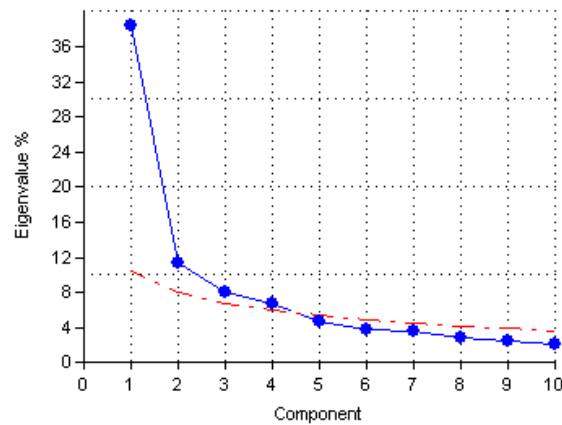




**Příloha 3.** Suťové grafy prvních 10 komponent pro variabilitu formy (vlevo) a tvaru (vpravo) 12letých jedinců



**Příloha 4.** Suťové grafy prvních 10 komponent pro variabilitu formy (vlevo) a tvaru (vpravo) 13letých jedinců.



**Příloha 5.** Suťové grafy prvních 10 komponent pro variabilitu formy (vlevo) a tvaru (vpravo) 14letých jedinců.

