

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra antropologie a genetiky člověka

Studijní program:

Biologie

Studijní obor:

Antropologie a genetiky člověka



**Variabilita a vývojové změny obličeje člověka ve věku 3-15 let:
longitudinální a transverzální přístup**

**Variability and developmental changes of human face
between 3 and 15 years: longitudinal and transversal approach**

Diplomová práce

Bc. Miroslava Moštková

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

Praha, 2018

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 7. 8. 2018

Podpis

Poděkování:

Mé poděkování patří doc. RNDr. Janě Velemínské, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnovala. Také bych touto formou ráda poděkovala RNDr. Matúši Maciakovi, Ph.D. z Katedry pravděpodobnosti a matematické statistiky MFF UK a Mgr. Jánovi Dupejovi za statistické konzultace. Mé poděkování patří též Mgr. Evě Hoffmannové, Mgr. Karolíně Kočandrlové a kolektivu laboratoře 3D zobrazovacích a analytických metod za jejich podporu během vypracovávání diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce bylo zhodnocení věkových rozdílů v morfologii obličeje jedinců od 3 do 15 let na základě využití 3D faciálních modelů a transversálního přístupu. Z důvodu nesprávného využití transversálních dat k hodnocení růstu se druhá část diplomové práce zabývala porovnáním transversálního a longitudinálního přístupu výzkumu. Longitudinální sledování vývojových změn obličeje lze považovat za reálný růst.

Transverzální databáze obsahovala 397 3D faciálních modelů chlapců a 442 3D faciálních modelů dívek. Došlo k využití tří dříve publikovaných longitudinálních databází, které byly rozděleny do následujících věkových intervalů: 3 – 6 let (12 chlapců, 14 dívek), 6 – 12 let (15 chlapců, 18 dívek), 12 – 15 let (23 chlapců, 22 dívek). K analýze 3D faciálních modelů byly použity metody geometrické morfometrie (Coherent point drift – Dense correspondance analýza, Per vertex T-test a Analýza hlavních komponent). K vizualizaci výsledků bylo využito superprojekčních barevných map, map signifikancí a jejich proložení.

Při využití ročních po sobě jdoucích věkových intervalů u transversálního souboru nebylo možné sledovat návaznost rozdílů v morfologii obličeje mezi věkovými kategoriemi, které lze sledovat u reálného růstu. Díky využití širších intervalů došlo ke zvýšení vizuální podobnosti výsledků obou souborů. Větší vizuální podobnosti transversálních výsledků s longitudinálními je dosaženo při hodnocení formy. Tato podobnost je dána kontaminací velikostí, přes 88 % celkové variability formy zodpovídá právě za věkové rozdíly ve velikosti.

Klíčová slova: kraniofaciální vývoj, 3D faciální modely, transversální studie, longitudinální studie, porovnání transversální a longitudinální studie, geometrická morfometrie

Abstract

The intent of this thesis is to evaluate the differences in facial morphology of children between 3 and 15 years of age based on 3D facial models and cross-sectional data. Due to improper use of cross-sectional data for studying growth, the next part of the thesis is focused on the comparison of cross-sectional and longitudinal approaches in research. The longitudinal observation of facial developmental changes can be considered as actual growth.

The cross-sectional database contains 839 3D facial models (397 boys, 442 girls). Three previously published longitudinal databases were used for comparison. Their age intervals were as follows: 3 to 6 years (12 boys, 14 girls), 6 to 12 years (15 boys, 18 girls), 12 to 15 years (23 boys, 22 girls). Geometric morphometric methods were used to analyse facial models (Coherent Point Drift – Dense Correspondance Analysis, Per Vertex T-Test and Principal Component Analysis). The results were visualized using superimposition colour maps, shell distance significance maps and their interlacing.

When annual consecutive age intervals were used for cross-sectional data, we could not observe the fluency of differences in facial morphology between age categories, which we can observe during actual growth. When wider age intervals were used for cross-sectional data, results were more visually similar to actual growth. The cross-sectional data was visually more similar to longitudinal data when the form was studied. This similarity is caused by size contamination, more than 88 % of total variance when studying form is responsible for age differences in size.

Key words: craniofacial growth, 3D facial models, cross-sectional data, longitudinal data, comparison of cross-sectional and longitudinal data, geometric morphometry

Obsah

1. Úvod	9
2. Teoretický úvod	10
2.1. Typy studií	11
2.1.1. Longitudinální studie	11
2.1.2. Transverzální studie	11
2.2. Kraniofaciální růstu	12
2.2.1. Kostní tkáň	13
2.2.2. Neurokranium	13
2.2.3. Splanchnokranium	14
2.2.4. Dentice	16
2.3. Morfologické změny obličeje	17
2.3.1. Oblast čela	20
2.3.2. Oblast očí	21
2.3.3. Oblast nosu	21
2.3.4. Oblast úst	22
2.3.5. Oblast brady	23
3. Cíle práce	25
4. Materiál	26
5. Metody	28
5.1. Sběr a příprava dat	28
5.2. Analýza dat	28
5.2.1. Coherent point drift – Dense correspondance analýza	28
5.2.2. Analýza hlavních komponent	30
5.2.3. Metoda superprojekce	30
5.2.4. Per vertex T-test	31
6. Výsledky	34
6.1. Hodnocení transverzálního souboru	34
6.1.1. Hodnocení rozdílů formy a tvaru od 3 do 15 let po ročních intervalech	34
6.1.1.1. Hodnocení rozdílů formy a tvaru u chlapců	35
6.1.1.2. Hodnocení rozdílů formy a tvaru u dívek	42

6.1.2. Hodnocení rozdílů formy a tvaru od 3 do 15 let s využitím širších intervalů	49
6.1.2.1.Hodnocení rozdílů formy a tvaru 3 a 6letých chlapců	49
6.1.2.2.Hodnocení rozdílů formy a tvaru 6 a 9letých chlapců	51
6.1.2.3.Hodnocení změn formy a tvaru 9 a 12letých chlapců	54
6.1.2.4.Hodnocení změn formy a tvaru 12 a 15letých chlapců	56
6.1.2.5.Hodnocení rozdílů formy a tvaru 3 a 6letých dívek	59
6.1.2.6.Hodnocení rozdílů formy a tvaru 6 a 9letých dívek	62
6.1.2.7.Hodnocení změn formy a tvaru 9 a 12letých dívek	64
6.1.2.8.Hodnocení změn formy a tvaru 12 a 15letých dívek	66
6.1.3. Variabilita formy a tvaru obličeje u dětí od 3 do 15 let	69
6.1.3.1.Variabilita formy u chlapců	69
6.1.3.2.Variabilita tvaru u chlapců	74
6.1.3.3.Variabilita formy u dívek	77
6.1.3.4.Variabilita tvaru u dívek	81
6.2.Porovnání transversálního a longitudinálních souborů	86
6.2.1. Porovnání rozdílů formy a tvaru u transversálního a longitudinálních souborů od 3 do 15 let po ročních intervalech	86
6.2.1.1.Porovnání rozdílů formy a tvaru u chlapců	86
6.2.1.2.Porovnání rozdílů formy a tvaru u dívek	95
6.2.2. Porovnání rozdílů formy a tvaru u transversálního a longitudinálních souborů od 3 do 15 let s využitím širších a vzdálenějších intervalů.....	103
6.2.2.1.Porovnání rozdílů formy a tvaru u chlapců	103
6.2.2.2.Porovnání rozdílů formy a tvaru u dívek	110
7. Diskuze	117
7.1.Variabilita formy a tvaru	119
7.2.Vhodnost využití ročních intervalů	120
7.3.Vhodnost využití širších intervalů	121
8. Závěr	127
9. Seznam literatury	128

Seznam zkratek

3D	trojrozměrný
BMI	Index tělesné hmotnosti
CPD	metoda Coherent point drift
DCA	Dense correspondance analýza
PC	hlavní komponenta
PCA	analýza hlavních komponent

1. Úvod

Finální vzhled lidského obličejce vzniká souhrou vývoje různých struktur – kostí, svalů, měkkých tkání. Ve svých elementárních prvcích jsou si lidské tváře velice podobné, ovšem každý obličej má svá specifika. Díky těmto specifikům je každá tvář jedinečná a je možné ji rozpoznat od jiných (Enlow & Hans, 1996; Prag & Neave, 1997). Povrch obličejce má charakter trojrozměrné struktury, jeho proporce, jednotlivé oblasti a významné body prodělávají během ontogenetického vývoje výrazné změny. U oblasti očí, nosu, úst i tváří pozorujeme růst v odlišných směrech, tyto změny se později fixují (Enlow & Hans, 1996; Krimmel et al., 2015; Souccar & Kau, 2012).

Pochopení standartního růstu hlavy a správných vztahů mezi jednotlivými oblastmi obličejce je důležité pro správné a včasné rozpoznání abnormálního růstu (Enlow & Hans, 1996; Farkas & Posnick, 1992; Koudelová et al., 2015). Takové informace je možné využít v klinické a biomedicínské praxi při určování diagnózy. Následně je možné poznatky aplikovat při výběru a plánování léčby, popřípadě k hodnocení klinických výsledků chirurgické (Dadáková et al., 2016; Kau et al., 2006; Primožič et al., 2013) či nechirurgické léčby v oblastech hlavy a krku (Elnagar et al., 2017; McDonagh et al., 2001).

K výzkumu byly a jsou využívány dvoudimenzionální technologie snímání (Bergman et al., 2014; Bishara et al., 1998), v posledních 20 letech se ovšem začaly využívat i trojrozměrné technologie (Jana Koudelová et al., 2015; Weinberg et al., 2016). Ze získaných dat jsou tvořeny normativní databáze, které poskytují referenční informace o růstu obličejce. Aby tyto informace byly validní, je nutné dodržovat určitá pravidla při tvorbě databází (Dean et al., 2000; Kesterke et al., 2016; Kolar & Salter, 1997; Weinberg et al., 2016).

Při studiu vývojových změn obličejce je využíváno dvou přístupů, transverzálního a longitudinálního. Transverzální data bývají často nesprávně využita pro hodnocení růstu (Ferrario et al., 2003; Krimmel et al., 2015; Nute & Moss, 2000). Pomocí transverzální studie lze sledovat jen rozdíly mezi danými věkovými kategoriemi, k popisu reálného růstu je možné využít longitudinální data. Proto je nutné porovnat věkové rozdíly v morfologii obličejce s informacemi o reálném růstu a změnách tvaru obličejce (Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015; Tošovská, 2016)

2. Teoretický úvod

Tato práce se zabývá sledováním věkových rozdílů v morfologii obličeje nezletilých osob v období 3 až 15 let, ke studiu jsou využita transversální data. Transverzální data bývají často nesprávně využita k hodnocení růstu, který nelze pomocí těchto dat přesně vyjádřit. Pomocí transversální studie lze sledovat jen rozdíly mezi danými věkovými kategoriemi a růst tak přibližně modelovat. K popisu reálného růstu je možné využít pouze longitudinální data, kdy sledujeme opakovaně tytéž jedince v posuzovaném časovém období. V této práci byly porovnány výsledky obou přístupů. Tento druh studie je tudíž velmi cenný především ve forenzní praxi či pro biomedicínské účely.

V posledním půl století se vývoj obličeje studoval hlavně pro využití v biomedicínské či forenzní praxi (maxilofaciální operace, ortodoncie, obličejové rekonstrukce, identifikace) (De Greef et al., 2009; Ferrario et al., 1998). Ačkoliv je velké množství literatury o kraniofaciálním růstu, většina je založena na studiích využívající dvoudimenzionální techniku (RTG, fotografie) (Bishara et al., 1998; Ursi et al., 1993). Povrch obličeje má charakter trojrozměrné struktury, jednotlivé části a landmarky mají svou určitou polohu (x, y, z), která se během ontogenetického vývoje mění pohybem v prostoru. Dvoudimenzionální měření růstu není vhodné. Díky využití 3D metod měření lze lépe pochopit vývoj obličeje jako celek (Souccar & Kau, 2012). Až v posledních 20 letech se soustřeďuje pozornost na vývoj měkkých tkání s využitím 3D technologií (Incrapera et al., 2010; Kesterke et al., 2016; Koudelová et al., 2015b).

I v lékařské praxi se stává sledování růstu obličeje díky využití neinvazivních metod 3D skenování obličeje a rychlému zpracování dat mnohem dostupnější. 3D metody faciálního skenování se nyní využívají například při získávání dat pro vytvoření normativních databází (Kesterke et al., 2016; Weinberg et al., 2016; Yamada et al., 2002). Pro vytvoření normativní databáze s referenčními informacemi je nutné vytvořit dostatečně obsáhlou transversální databázi, v lepším případě longitudinální databázi, která by měla obsahovat informace o jedincích daného věku, pohlaví a populace (Dean et al., 2000; Kesterke et al., 2016; Weinberg et al., 2016). Na základě získaných informací je možné vytvořit například průměrné obličeje, které lze využít při superprojekci. Superprojekcí je možné porovnávat tvar oblastí obličeje, které se jinými metodami porovnat nedají, jako například: plnost horního rtu a tváří (Bugajghis et al., 2013). Díky 3D metodám skenování je mimo jiné možné sledovat longitudinální změny při růstu (Kau et al., 2008; Koudelová et al., 2015b) a hodnotit

klinické výsledky chirurgické (Dadáková et al., 2016; Kau et al., 2006; Primožič et al., 2013).

2.1. Typy studií

2.1.1. Longitudinální studie

Podstatou longitudinální studie je zkoumání určitého jevu během delší časové periody. Lze tak sledovat **vývojové změny**, které se projevují v dlouhodobém vývoji (Cairns & Cairns, 2002). Dochází k pravidelnému studování stejné skupiny jedinců po určitém časovém intervalu. Longitudinální růstové studie poskytují informace o reálném růstu, individuálních variacích růstu (načasování, rychlost) (Kolar & Salter, 1997; Koudelová et al., 2015b).

Tento druh studií má však své nevýhody, například je během nich sledován menší vzorek jedinců. Také jsou takové studie finančně a časově velice náročné (sledování jedince od narození až do 18 – 20 let) (Cairns & Cairns, 2002; Kolar & Salter, 1997). Z tohoto hlediska může být někdy výhodnější využívat pro výzkum transverzální data nebo analyzovat jen určité věkové intervaly z celkového růstového období (Kau et al., 2008; Kolar & Salter, 1997; Koudelová et al., 2015b).

2.1.2. Transverzální studie

Transverzální studie poskytuje okamžitý pohled na morfologické variace v dané věkové kategorii populace. Jsou díky ní porovnány **věkové rozdíly**. Porovnáním průměrů antropometrických proměnných jednotlivých věkových skupin lze zjistit trend morfologických změn u populace (Kesterke et al., 2016; Kolar & Salter, 1997; Průcha & Veteška, 2012).

Při sběru dat pro transverzální studii dochází pouze k jednomu měření vybrané skupiny jedinců, a to během krátké časové periody. Pro získání statisticky významných dat je důležité, aby minimální počet jedinců v každé věkové kategorii byl alespoň 25-30 žen a 25-30 mužů, v případě zkoumání vysoce heterogenní populace je zapotřebí minimálně 50 jedinců na kategorii (Kolar & Salter, 1997). Tento typ studií lze dokončit mnohem rychleji než longitudinální, nevýhodou však může být, že každý jedinec je měřen pouze jednou, není tedy sledován individuální růst a získaná data nereprezentují celkový vývojový proces. Při zkoumání různě starých skupin nám sledovaný trend slouží pouze jako odhad tohoto biologického procesu, i přesto jsou výsledky dostatečné pro využití v biomedicínské praxi (Hennessy & Moss, 2001).

Data transverzální studie ovlivňují tvar růstové křivky, někteří jedinci totiž dospívají dříve/později než je jejich chronologický věk, některé morfologické změny se tak mohou projevit v jiném věku než předpokládaném. Díky velkému počtu jedinců ve skupině narůstá větší pravděpodobnost vytvoření chyby. Při porovnávání několika věkových skupin se tato chyba může projevit jako extrémní zvětšení nebo zmenšení obličeje jako celku nebo jeho části, následně se stav opět normalizuje. Lepšího popisu růstu a vývoje obličeje je dosaženo daty z longitudinální studie. Avšak validita longitudinálních studií, které trvají déle než 10 let, může být zpochybněna, kvůli měnícím se socioekonomickým a environmentálním faktorům (Kolar & Salter, 1997; Šmahel, 2001).

2.2. Kraniofaciální růst

Informace o standartním růstu hlavy a pochopení správného vztahu mezi jednotlivými oblastmi obličeje je zásadní pro včasné rozpoznání abnormálního růstu obličeje. Znalosti získané z antropometrických dat a analýz lze tedy využít při určování diagnózy a následně při výběru a plánování léčby (Enlow & Hans, 1996; Farkas & Posnick, 1992).

Během postnatální ontogeneze můžeme sledovat změny velikosti, tvaru a proporcí, a to ve výškových rozměrech ve vertikální rovině, šířkových rozměrech v transverzální rovině a hloubkových rozměrech v anterioposteriorní rovině (Farkas et al., 1992b; Souccar & Kau, 2012). Nejdříve ukončují růst transverzální rozměry obličeje, proto u nich sledujeme nejmenší změny, dosahují 80 % své finální velikosti již v 6 letech. Jako poslední je ukončen růst vertikálních rozměrů, jejich růst je nejintenzivnější a v 6 letech dosahují přes 70 % své finální velikosti. Intenzivní růst hloubkových rozměrů můžeme sledovat během pubertální akcelerace (Farkas et al., 1992b; Ferrario et al., 2003; Šmahel, 2001; Snodell et al., 1993)

Novorozenec disponuje vzhledem k postkranialnímu skeletu velkou lebkou. U obličejové části pozorujeme intenzivnější růst, jedná se až o 70% zvětšení, zatímco u mozkové části sledujeme pouze 30% zvětšení. Potvrzuje nám to poměr objemů obličejové části k mozkové, v 1. roce je tento poměr 1:3,64, v 6 letech 1:3,05, ve 12 letech 1:2,56 a v 18 letech 1:2,20 (Trenouth & Joshi, 2006). Po 6. až 7. roce se začíná měnit dětská forma obličeje, od 11 let se na výsledném vzhledu obličeje začíná projevovat pohlavní dimorfismus (Enlow & Hans, 1996; Ferrario et al., 1998). Zevní tvar obličeje je udáván strukturou kostní tkáně, svalů a strukturou dodatkových orgánů jako jsou slinné

žlázy a tuková vrstva. Velký vliv na tvarovou změnu obličeje má také erupce dentice s růstem čelisti, rozvoj paranasálních sinů a dalších funkčních celků (Čihák, 2002).

2.2.1. Kostní tkáň

Vývoj lebky je kombinací morfogeneze a růstu tří hlavních modulů – splachnokrania, lebeční klenby a báze (dohromady tvoří neurokranium) (Sperber, 2010). Rozlišujeme tři základní způsoby kostního růstu: kartilagózní z chrupavky, suturální z vaziva a apoziční z periostu a endostu. Suterální růst je sekundární a pasivní odpověď, kost svým posunem a rozšířením přizpůsobuje tvar rostoucí struktury, jako je například mozek nebo oční koule. Apoziční růst je sekundární a aktivní děj, stejně jako suturální růst reaguje na podněty z okolí. Kartilagózní růst je primární aktivní typ, a to z důvodu přímé hormonální regulace přes hypofýzu a hypotalamus CNS (např. Enlow & Hans, 1996; Šmahel, 2001).

Rozlišujeme tři druhy skeletálního růstu. Prvním je kraniální (neurální), díky kterému je už v 6 letech dosaženo již 90 % finální velikosti znaku. Neurální typ růstu je podmíněn růstovými změnami mozku a smyslových orgánů a nemá na něj vliv pubertální spurt. Typickým příkladem oblastí, které se mění díky neurálnímu růstu je mozkovna a orbity. Dalším typem skeletálního růstu je faciální typ, který pozorujeme v horní části obličeje (nasozygomaticomaxilární komplex) a zadní části báze lebny. V 6 letech dosahují tyto oblasti 80 % finální velikosti. Vliv pubertálního spurtu na faciální typ růstu je minimální nebo žádný. Třetím typem růstu je obecný skeletální typ, který je možné sledovat při růstu dolní čelisti. V 6 letech dosahují znaky rostoucí obecným skeletálním typem růstu 70 % své finální velikosti, sledujeme také výrazný vliv pubertálního spurtu na růst (Enlow & Hans, 1996; Šmahel, 2001).

2.2.2. Neurokranium

První část neurokrania – lebeční báze se vyvinula z neurální lišty nejdříve jako chrupavčité pouzdro mozku a smyslových orgánů. To však nestačilo vzrůstajícímu objemu mozku, došlo k rozevření na dorzální straně a uložení pod spodinu mozkovou. Má příčné a podélné klenutí. Lebeční báze je složena z kostí (nebo jejich částí) vytvořených chondrogení osifikací – báze, laterální části a část šupiny kosti týlní, pyramidy a bradavkové výběžky kostí spánkových, kost klínová, kost čichová a dolní skořepa nosní (Bourekas et al., 1994; Čihák, 2011; Enlow & Hans, 1996).

Jedno z možných členění lebeční báze je na dvě části, zadní postselární a přední preselární část, která svým růstem působí na změny tvaru a velikosti splachnokrania (Nie, 2005). Zvětšování báze lebeční je zajištěno růstem ze sychondros v oblastech

mezi přední, střední a zadní jámou lebeční (další možné členění lebeční báze) (Horáčková, 2007). Otvory lebeční báze a vyvýšeniny oddělující lebeční jámy jsou během růstu posouvány kortikálním driftem. Také dochází k resorpci v oblasti paranasálních sinů, které se tak zvětšují, jejich konečné velikosti je však dosaženo až v dospělosti (Enlow & Hans, 1996; Šmahel, 2001). V 5 až 6 letech dochází k zániku a ukončení růstu sychondros přední části lební báze (Goodrich, 2005). Ve 13 až 14 letech dochází k ukončení růstu střední jámy lební (Bastir et al., 2006). Délka zadní jámy lební ukončuje růst v intervalu mezi 18. a 20. rokem v místě sphenookcipitální sychondrosy (Čihák, 2011; Šmahel, 2001). Růst v této oblasti je ukončen rychleji než ve faciální oblasti (Bastir et al., 2006).

Klenba lebeční neboli desmokranium se vyvinulo z paraxiálního mesodermu jako nové ochranné pouzdro pro zvětšující se mozek. K osifikaci dochází z vaziva desmogenní osifikací. Lebeční klenbu tvoří čelní kost, kosti temenní, ze stran šupiny kostí spánkových a zezadu týlní kost (dále kost nosní, kost slzní, vnitřní lamela křídlového výběžku kosti klínové) (Bourekas et al., 1994; Horáčková, 2007; Sperber, 2010). Postnatální růst je zabezpečován translací. Dochází k pasivnímu posunu kostí podél rostoucího mozku, v suturách (*sutura coronalis*, *sutura sagittalis*, *sutura squamosa*, *sutura lambdoidea* a *sutura frontalis*), tak vzniká tenze a na okrajích kostí začne osteogeneze (Bourekas et al., 1994; Enlow & Hans, 1996).

2.2.3. Splachnokranium

Obličejová část lebky nazývaná splachnokranium se nachází na ventrální části lebky a je odvozena z chrupavčitých žaberních oblouků, které mají základ v neurální liště. Další část je tvořena kostmi vznikající desmogenní osifikací – kosti lící, horní čelist, kost patrová, dolní čelist. Mezi kosti vzniklé chondrogenní osifikací žaberních oblouků řadíme sluchové kůstky, bodcovitý výběžek kosti spánkové, jazyčku (Čihák, 2011; Sperber, 2010). Růst v oblasti splachnokrania můžeme sledovat v několika oblastech.

Nasozygomaticomaxilární komplex

Růst v oblasti nasozygomaticomaxilárního komplexu je v první řadě zajištěn růstem z cirkummaxilárního systému sutur a také významnou apozicí a remodelací. Do cirkummaxilárního systému sutur patří sutura zygomaticofrontální,

zygomaticotemporální, zygomaticomaxilární, frontomaxilární a sutury v oblasti nosu a orbit (Čihák, 2011; Šmahel, 2001).

Kombinací růstu chrupavčitého nosního septa a měkkých tkání, jako jsou obličejové svaly a sliznice, dochází k sekundárnímu pasivnímu růstu v suturách. Výsledkem je anteroinferiorní posun horní části splanchnokrania vůči lebeční bázi. Tento proces probíhá současně s apozicí na *tuber maxillae*, zadní straně jařmové kosti a zadním okraji alveolárního výběžku, kde také díky apozici dochází k růstu výběžku do výšky. Díky resorpci na přední ploše horní čelisti se zvyšuje prominence nosních kůstek. Také dochází k rozšiřování horní čelisti, a to apozicí na jejich laterálních stranách a resorpcí v dutině nosní. Změny v oblasti alveolárních výběžků jsou spojeny s erupcí dentice, na zadních okrajích alveolárního výběžku dochází k apoziční produkci kostní tkáně, tvoří se prostor trvalé stoličky. Tvrdé patro je zároveň apozičně posouváno dolů na straně orální, na nasální straně dochází k resorpci a jeho růst do délky je zabezpečen transverzální patrovou suturou. Dále také spojením apoziční na laterálních stranách maxily a jařmového oblouku s resorpcí na vnitřní straně jařmového oblouku a v dutině nosní dochází k růstu šířkových rozměrů splanchnokrania. Nosní dutina spolu s čelistními sinami je posouvána resorpcí anterioinferiorním směrem. Růst orbity je zprostředkován V- principem a translací ze sutur. Očnice je nucena ustupovat resorpci ze strany přední jámy lebeční, nosní dutiny a čelistního sinu, na vnitřní straně orbity dochází k apozici, sledujeme posun anteriorním směrem. Inferiorním směrem je posun menší než u nosní dutiny. Obecně můžeme říct, že v apozičně resorpční oblasti dochází k apozici na zadní ploše celé oblasti a resorpci na přední straně maxily a jařmové kosti. I když jednotlivé složky splanchnokrania mění různými směry svou polohu, celá struktura je posouvána anterioinferiorně (Enlow & Hans, 1996; Šmahel, 2001).

Mandibula

Tvarové změny mandibuly můžeme sledovat v několika jejích partiích. Například délka je zajišťována růstem ramene z mandibulárních kondylů a růstová rotace mandibuly je určena směrem růstu (závislost na svalové stimulaci *musculus pterygoideus lateralis* a *musculus masseter*) (Raadsheer et al., 1996; Šmahel, 2001). U délkových rozměrů ramen mandibuly sledujeme největší růstové změny splanchnokrania (Mizoguchi et al., 2013). Zadní okraj ramene, kde dochází k apozici, zabezpečuje růst mandibuly do šířky. Zároveň je rameno z přední strany resorbováno a dochází k prodloužení těla mandibuly (vznik prostoru pro erupci stálých molárů) (Šmahel, 2001).

Díky apozici v různých úrovních zadního okraje ramene mandibuly dochází během života jedince ke změnám úhlů v goniovém úhlu (zmenšení) (Liebgott, 2011). Goniový úhel u novorozenců má okolo 140 °, u dospělých jedinců se pohybuje okolo 120 ° až 125 °, ve stáří se opět zvětšuje. Apozicí na alveolárním výběžku můžeme sledovat růst těla mandibuly do výšky. Dále na těle mandibuly dochází k resorpci v oblasti supramentální konkavity a apozici na bradovém výběžku. Spojením těchto procesů dochází k rozevírání oblouku mandibuly a posunu dopředu, u chlapců je tento děj během puberty výraznější (Čihák, 2011; Liebgott, 2011; Šmahel, 2001).

Nejvyšší rychlost růstu neurokrania pozorujeme v 12 měsících, velikost neurokrania se zdvojnásobuje, poté se rychlost zpomaluje (Krimmel et al., 2015). Načasování dospívání jednotlivých částí lebky je různé. Nejdříve svůj růst ukončuje střední část lebeční báze (7 – 8 let), následuje střední část neurokrania (9 – 10 let), laterální části lebeční báze (11 – 12 let) a obličejová část s mandibulou (15 – 16 let) (Bastir et al., 2006). Po 15. roce lze sledovat některé intersexuální rozdíly, například u chlapců je sledován mírný růst horní části obličeje, ale u dívek již tato část obličeje neroste. Markantnější rozdíl v růstu vidíme u dolní čelisti, kdy dívčí dolní čelist roste už jen mírně, zatímco u chlapců se její velikost zvětší jednou tolik, co za období puberty (Šmahel, 2001). Postnatálně se nejvíce a nejdéle mění výškové parametry lebky (v některých případech u mužů i do 30 let), naopak šířkové parametry ukončují svůj vývoj dříve a mění se tedy nejméně (Ferrario et al., 2003; Šmahel, 2001).

2.2.4. Dentice

Erupce dentice je v přímém vztahu s růstem horní a dolní čelisti, a tedy i celkovým vzhledem obličeje. Zuby jsou uloženy vklíněním do zubních lůžek v oblasti horního a dolního alveolárního výběžku (Liebgott, 2011; Vargová & Páč, 2008). V první generaci se vyvíjí zuby dočasné v následujícím počtu: 8 řezáků, 4 špičáky a 8 stoliček. Postupně dochází k nahrazení této generace generací zubů trvalých v celkovém počtu 32 zubů: 8 řezáků, 4 špičáky, 8 třenových zubů a 12 stoliček (Vargová & Páč, 2008).

Korunky zubů se vytvářejí už během prenatálního vývoje a jsou uloženy v čelistech novorozence, k tvorbě zubního lůžka dochází až po prořezání zubu. Erupce dočasných zubů začíná v půl roce života jedince, kdy se nejdříve prořezávají řezáky dolní čelisti. Vývoj dočasných zubů je ukončen ve dvou a půl letech jedince (Tab. 1 – A). Prořezávání trvalé dentice začíná mezi 6. až 8. rokem (Tab. 1 – B) (Vargová & Páč, 2008), na dolní

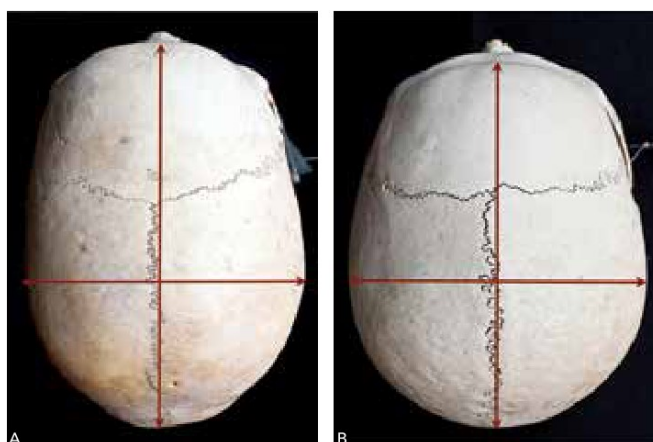
čelisti dochází k dřívějšímu prořezání zubů a u dívek dokonce dojde k prořezávání dříve než u chlapců (Leroy et al., 2003).

Tab.: 1 Erupce dentice: A. Dočasný chrup; B. Trvalý chrup (převzato z Vargová & Páč, 2008).

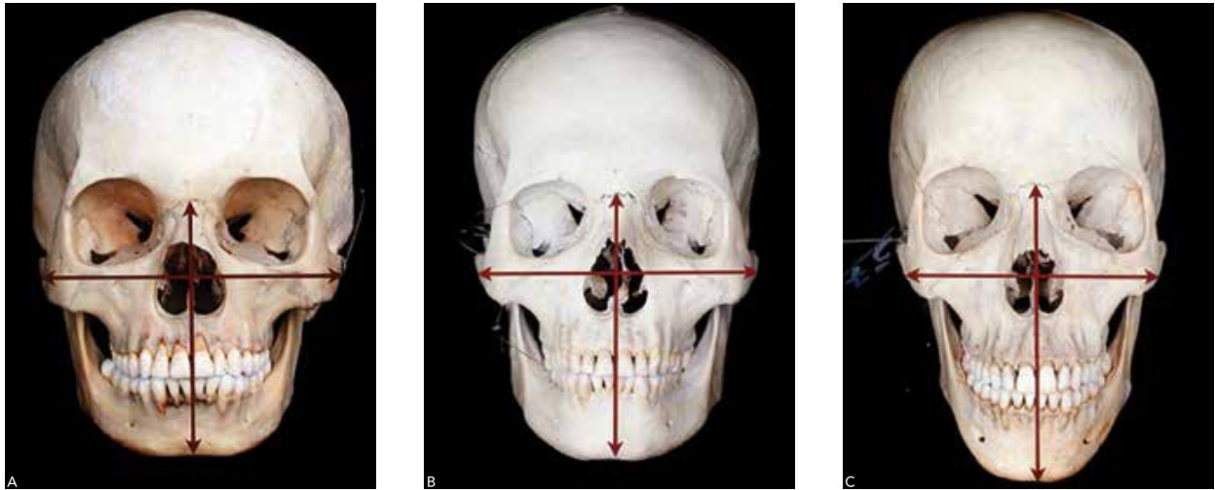
A. Dočasný chrup		B. Trvalý chrup	
Zub	Měsíce	Zub	Roky
první řezák	6-8	první řezák	7-8
druhý řezák	8-12	druhý řezák	8-9
špičák	16-20	špičák	11-13
první stolička	12-16	první premolár	9-11
druhá stolička	20-36	druhý premolár	11-13
		první stolička	6-7
		druhá stolička	12-14
		třetí stolička	17-?

2.3. Morfologické změny obličeje

Proporce a tvar lidského obličeje prodělávají během vývoje výrazné změny. Oblasti očí, uší, úst, nosu i tváří vykazují odlišné směry růstu, tyto změny se časem fixují (Enlow & Hans, 1996; Krimmel et al., 2015). Tvar obličeje je ovlivněn celkovým tvarem hlavy jedince. Podle cefalického indexu lze jedince rozdělit na dolichocefalní, brachycefalní a mesocefalní typ (Obr. 1). Pokud bychom brali v úvahu pouze tvar splanchnokrania, je možné na základě šířko-délkových rozměrů obličeje spočítat obličejový index a následně určit zda je obličej euryprosopního, mesoprosopního a leptoprosopního typu (Obr. 2) (Choi et al., 2017; Enlow & Hans, 1996; Franco et al., 2013; Vojdani et al., 2009).



Obr. 1: Cefalický index: poměr maximální šířky (Eu – Eu) a délky (G-Op) *crania*. Dolichocefalním typ lebky (A) má podlouhlý a úzký tvar, zatímco brachycefalní typ (B) je krátký a široký. Podle hodnoty cefalického indexu lze lebky dělit od ultradolichocefalického až na ultrabrachycefalický typ (převzato z Franco et al., 2013).



Obr. 2: Obličejový index: poměr výšky obličeje (N-Gn) a bizygomatické šířky. Euryprosopní typ obličeje (A) je krátký a široký, leptoprosopní (C) je vysoký a úzký, mesoprosopní (B). Podle výsledku obličejového indexu lze obličej hodnotit od hypereuryprosopního až po hyperleptoprosopní typ (převzato z Franco et al., 2013).

Mezi typické vlastnosti lidské hlavy patří vertikálně orientovaný obličej zasunutý pod mozkovnu, prominující čelo, široký a plochý obličej, supraorbitální okraj očníce anteriorněji než infraorbitální, malá interorbitální vzdálenost, prominující nos, vytvořená subspinální konkavita, malá čelistní prognacie, vytvořená supramentální konkavita a bradový výběžek, vertikálně orientovaná větev mandibuly, prominující *processus mastoideus*, hranaté jařmové kosti, hlavní růst ve směru vertikálním (Šmahel, 2001). V porovnání se ženami mají muži ve všech věkových kategoriích obličej uložen více anterioinferiorním směrem, mají více vystouplé čelo, více prominující nos, jejich goniové úhly jsou v nižší pozici a více do stran, ústa jsou větší. Ženy mají vystouplejší lící kosti s tvářemi a linie vlasů zasahuje více do čela (Ferrario et al., 2003).

V prvních 12 měsících života dochází například k dosažení 12,5 % z celkové délky nosu a až 61,5 % celkové velikosti oční orbity, růst je v tomto období velice intenzivní. V prvním roce života dojde k téměř zdvojnásobení velikosti neurokrania, to samozřejmě ovlivňuje i růst ostatních struktur (Krimmel et al., 2015).

Už v dětství je pozorován vliv pohlavního dimorfismu na vývoj obličeje (např. Bulygina et al., 2006; Möller et al., 2012; Tutkuvienė et al., 2016). Chlapci mezi 3 a 6 lety mají větší obličejové rozměry než dívky (Bulygina et al., 2006; Möller et al., 2012). Do 6 let je růst u dívek nepatrně intenzivnější (Kočandrlová, 2017). V období od 6 let do dospělosti sledujeme zvětšení formy obličeje až o 40 %. Tato změna je sledována u obou pohlaví, má však odlišný vzorec růstu u dívek a u chlapců

(Ferrario et al., 1998; Krimmel et al., 2015). Průměrná rychlost růstu ve věku od 5 do 10 let činí u obou pohlaví 3 až 4 mm za rok (Nute & Moss, 2000).

Na odlišném vzorci vývoje obličeje se podepisuje dřívější nástup pubertálního spurtu u dívek. Obličeje dívek a chlapců ve věku od 8 do 12 let jsou si velmi podobné, rozdíly jsou sledovány spíše ve velikosti než tvaru (Bugajghis et al., 2013; Enlow & Hans, 1996; Tošovská, 2016). V prepubertálním období je obličej chlapců větší, ovšem u dívek je více vyvinutý tvar obličeje (Bulygina et al., 2006).

Růst obličeje dívek můžeme rozdělit do tří period (6 – 11 let, 11 – 15 let a 15 let – dospělost). Rychlost lineárního růstu se snižuje při přechodu do druhé periody. Ve 13 letech se růst u dívek zpomaluje a při přechodu do třetí je rychlost růstu téměř nulová (Bulygina et al., 2006; Enlow & Hans, 1996; Ferrario et al., 1998; Koudelová et al., 2015).

Růst obličeje chlapců je od 6. roku do dospělosti nepřetržitý (Ferrario et al., 1998). Od 6 do 15 let je intenzivnější růst pozorován u chlapců. Mužský obličej má ve všech věkových kategoriích větší velikost než ženský (Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015; Tošovská, 2016). Největší rozdíl velikosti lze sledovat na výšce obličeje a nejmenší v rozměrech střední části obličeje (Ferrario et al., 2003; Nute & Moss, 2000; Tošovská, 2016).

Růst v období od 12 do 14 let je pozitivní v oblastech nosu a úst (anterioinferiorní směr růstu). Pozice očí u chlapců se díky více prominujícím nadočnicovým obloukům prohlubuje, u dívek se oči zdají být větší. Dále se zvětšují vertikální rozměry obličeje a v oblasti tváří dochází ke zploštění – díky tomu se profil obličeje jeví plošší. Pokud vezmeme v potaz i růst měkkých tkání nosu, konvexita obličeje se zvětšuje (Kau et al., 2008; Koudelová et al., 2015b; Toma et al., 2008). Růst měkkých tkání mužského obličeje pokračuje i po ukončení skeletálního růstu, tím se ještě více zvětšuje objem obličeje. Dívky ve věku od 14 do 15 let mají skoro kompletně dokončený růst obličeje (93 % celkového vzrůstu), zatímco chlapcům obličej stále dorůstá (je naplněno pouze 84 % celkové velikosti) (Ferrario et al., 1998).

Postnatálně se nejdéle vyvíjejí výškové parametry hlavy včetně obličeje (Ferrario et al., 2003; Koudelová et al., 2015b). Ve věku od 5 do 9 let dochází k významným výrazným změnám jak v šířkových, tak i ve výškových rozměrech obličeje (Primožič et al., 2016). Toto tvrzení podporuje i Ferrario et al. (2003), ve věkové skupině od 6 do 7 let dosáhla výška obličeje u chlapců 73 % celkové velikosti a u děvčat 77 %.

Naopak šířkové a hloubkové parametry obličeje dosáhly u obou pohlaví v tomto věku již 84 – 90 % celkové velikosti znaku (Ferrario et al. 2003). Největší rychlost růstu ve věku 5 až 10 let byla sledována na celkové výšce obličeje, přírůstek byl v průměru 4 mm za rok jak u chlapců, tak u dívek (Nute & Moss, 2000). Šířkové a délkové rozměry jsou během celého sledovaného období (3 až 15 let) větší u chlapců (Ferrario et al., 2003; Kau et al., 2008; Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Nute & Moss, 2000; Tošovská, 2016).

2.3.1. Oblast čela

Novorozenecké čelo se v porovnání s obličejovou částí jeví jako velké a široké. Pozdější vertikální růst obličeje čelo zdánlivě opticky zužuje. Z počátku je čelo prominující a nakloněné dopředu. Během růstu nasozygomaticomaxilární komplexu dochází k jeho ústupu (Enlow & Hans, 1996; Ferrario et al., 2003).

Růst výšky čela je pozorován během celého období od 3 do 6 let (Farkas et al., 1992a; Kočandrlová, 2017). V 6 letech dochází u chlapců k naplnění 92 % celkové výšky čela, u dívek sledujeme skoro 90 %. Růst výšky obličeje je ukončeno u obou pohlaví ve 13 letech (Farkas et al., 1992a).

Již v 5 letech sledujeme 83,7 % finální šířky čela. (Farkas et al., 1992a). Ve věku od 5 do 10 let se šířka horní třetiny obličeje mění jen minimálně (Nute & Moss, 2000). Od 6 do 12 let pozorujeme shodné přírůstky u obou pohlaví (Farkas et al., 1992a; Tošovská, 2016).

Ve věku od 3 do 6 let můžeme pozorovat zejména tyto tvarové změny: zužování a oplošťování čela jako celku (Enlow & Hans, 1996; Kočandrlová, 2017). Od 6 let můžeme také sledovat změny tvaru čela způsobené zvětšováním frontálních sinů. V 10 až 12 letech dochází k naplnění jejich finální velikost již z 80 % a svůj růst ukončují po pubertě. Větší změny tohoto charakteru pozorujeme u chlapců (McCarthy, 1990; Towbin, 1982).

Zužování a oplošťování čela pokračuje i během období od 6 do 12 let. Také se zvyšuje prominence nadočnicových oblouků (Ferrario et al., 2003; Tošovská, 2016). U 95 % chlapců ve věku 11 let pozorujeme ploché čelo. Spojením již zmíněného procesu růstu frontálních sinů a růstu střední jámy lební (posun přední jámy lební) dochází ke změně tvaru a v 15 letech pozorujeme ploché čelo jen u 25 % chlapců (Whitaker et al., 1986). U chlapců ve věku od 9 do 15 let jsou nadočnicové oblouky více

prominentní než u dívek. Od 12 let se tvar nadočnicových oblouků dívek nemění (Koudelová et al., 2015a; Tošovská, 2016).

2.3.2. Oblast očí

V intervalu od narození do 18 měsíců je růst očnice výrazný a pak do 7 let sledujeme pravidelný roční přírůstek 0,1 až 0,3 mm (Krimmel et al., 2015). V období mezi 4 a 5 lety je u obou pohlaví dosaženo již 70 % finální velikosti oční orbity, v 5 letech je to téměř 80 % (Bentley et al., 2002; Sforza et al., 2009). Tvar měkké tkáně v oblasti očí nesou známky pohlavního dimorfismu již od narození, například ve velikosti. U chlapců sledujeme větší velikost očí a jejich okolí, a to po celou dobu růstu (Bentley et al., 2002; Sforza et al., 2009).

Růstem nasozygomaticomaxilární komplexu s kořenem nosu dochází ke zvětšování vzdálenosti vnitřních koutků (Farkas et al., 1992c; Krimmel et al., 2015). Už v 5 letech dochází k dosažení 93,3 % finální vzdálenosti vnitřních koutků (Farkas et al., 1992c).

Díky růstu sousedících oblastí se oči ve věku od 6 do 12 let zdají být posazeny relativně hlouběji. V oblasti očí není během toho období zaznamenán výrazný růst (Sforza et al., 2009; Tošovská, 2016). Ve věkovém období od 6 do 12 let dochází u obou pohlaví k posunu očí více dopředu (při sledování tvarových změn), tato změna je zapříčiněna zvyšováním konvexity obličejce (Tošovská, 2016)

Od 12 do 15 let se pozice očí u chlapců díky více prominujícím nadočnicovým obloukům dále prohlubuje. U dívek k této změně již nedochází, proto se oči zdají být větší (Kau et al., 2008; Koudelová et al., 2015a). Růst v oblasti očí je ukončen u dívek ve 13 letech a u chlapců až okolo 15 let (Bugajhis et al., 2013; Farkas et al., 1992c).

2.3.3. Oblast nosu

Novorozenecký kořen nosu není výrazný, jeho tvar se začíná formovat až ve 4 letech, u dospělého jedince má kořen nosu konvexní charakter (Taylor, 2001). Chlapci mají během celého období větší nos než dívky (Sforza et al., 2011). V prvních 12 měsících jsou zaznamenávány přírůstky o velikosti až 4,3 mm, růst je akcelerovaný. Po 1. Roce je průměrný přírůstek za rok už jen 1 mm. Tyto změny sledujeme do 7 let (Krimmel et al., 2015). Ve věku od 3 do 7 let sledujeme rychlejší přírůstky ve všech směrech u dívek, ovšem dívčí rozměry nosu i tak zůstávají menší (Sforza et al., 2011). Od 3 do 6 let se zvyšuje prominence nosu (Farkas et al., 1992d; Kočandrová, 2017; Tutkuvienne et al., 2016). Díky zvyšování prominence nosu se u obličejce zvyšuje konvexitá (Bishara et al., 1998).

Oblast nosu je vysoce ovlivněna interindividuální variabilitou a pohlavním dimorfismem. Růst měkkých tkání nosu ovlivněný pubertálním spurtem začíná dříve u dívek. Nejrychleji se zvětšuje délka nosu, během svého růstu zdvojnásobuje svou velikost. Nejméně se mění šířka nosu (Sforza et al., 2011)

Nástup akcelerace růstu délky nosu se u různých studií liší. Podle Tošovské (2016) dochází u dívek k urychlení růstu od 9 let a u chlapců od 10 let. Podobných výsledků bylo dosaženo ve studii Nute & Moss (2000), vyšší přírůstky byly sledovány u chlapců mezi 9 a 10 lety, u dívek byl přírůstek pravidelný. Mezi 11. a 12. rokem pozoroval růstové urychlení Nanda et al. (1990). Ve studii Prah-Andersen et al. (1995) nebylo zaznamenáno žádné urychlení u dívek a u chlapců byly větší změny sledovány až po 12. roce.

Po 1. roce života je dosaženo již 79,5 % finální šířky nosu (Farkas et al., 1992d). Ve věku mezi 6 a 12 lety je urychlení růstu šířky nosu zaznamenáno u obou pohlaví v 10 letech (Tošovská, 2016). Ve studii Sforza et al. (2011) pozorovaly urychlení růstu po 12. roce.

Nasolabiální rozměry mají ve věku 8 až 12 let podobnou velikost u dívek i chlapců, až na *philtrum*, to je širší u chlapců (Bugajghis et al., 2013). S přibývajícím věkem můžeme také sledovat zmenšování nasolabiálního úhlu. U dívek je v 15 letech nasolabiální úhel větší než u chlapců. Vliv na to má tvar jejich nosu, který směřuje více nahoru, stejně se posouvá i horní ret (Toma et al., 2009).

Finální délky a šířky nosu je u dívek dosaženo mezi 12 a 14 lety, u chlapců mezi 14 a 15 lety (Farkas et al., 1992d). U dívek většina rozměrů dosáhne finální velikosti již v 15 letech, u chlapců nos nedosáhne dospělé velikosti v některých rozměrech ani v 18 letech (Nanda et al., 1990).

2.3.4. Oblast úst

Ústa patří mezi nejproměnlivější oblast obličeje. Během postnatálního vývoje prodělávají zřetelné změny, také dochází k projevu pohlavního dimorfismu (Sforza et al., 2010). V oblasti úst jsou zaznamenány výrazné změny velikosti již od 4 let. Mění se protruze červeně rtů (Kočandřlová, 2017; Tutkuvienne et al., 2016).

Při růstu oblasti rtů dochází k nejvýraznějším změnám v rozměrech šířky a výšky rtů (Sforza et al., 2010). Již v 6 letech pozorujeme 50% projev finální velikosti celkového objemu rtů. Horní ret dokonce nabývá 66 % své finální velikosti. Celková výška rtů dosahuje 88% velikost ze své finální podoby (Ferrario et al., 2000). Vlivem erupce

trvalých horních a dolních řezáků se ve věkovém intervalu 5 až 7 let zvyšuje prominence rtů (Krimmel et al., 2015; Primožič et al., 2016).

Objem rtů roste více v pubertě než v dětství. Urychlení růstu v oblasti rtů je u obou pohlaví sledováno v 10 letech (Sforza et al., 2010; Tošovská, 2016). V intervalu od 6 do 12 let jsou největší růstové změny sledovány v oblasti červeně horního rtu a plochy dolního rtu. (Tošovská, 2016).

Horní ret je u dívek ve věku 8 až 12 let plnější a více v protruzi než u chlapců (Bugajghis et al., 2013). Do 15 let je dosažena finální velikost horního rtu u obou pohlaví (Nanda et al., 1990). Celková výška a šířka rtu jsou u chlapců větší než u dívek (Sforza et al., 2010). Horní ret je ve věku od 12 do 15 let více prominentní u chlapců. Prominence dolního rtu je v 12 až 13 letech vyšší u dívek. Poté se situace mění a od 14 let pozorujeme vyšší prominenci dolního rtu u chlapců (Koudelová et al., 2015a). Ve 13 až 14 letech u dívek a 15 až 18 letech u chlapců dochází k 95% naplnění finální hodnoty skoro všech rozměrů úst (Ferrario et al., 2000; Sforza et al., 2010).

2.3.5. Oblast brady

Růstová rychlost změn v oblasti brady ve věkovém intervalu od 24 měsíců do 8 let postupně klesá (Krimmel et al., 2015). Růst v anterioinferiorním směru (zvyšování prominence brady a prodlužování dolní části obličeje) pozorujeme během celého věkového období od 3 do 15 let (Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Krimmel et al., 2015; Tošovská, 2016). Růst v této oblasti neprobíhá kontinuálně, dochází k akceleraci růstu při erupci dentice od 5 do 7 let (Primožič et al., 2016).

Pozitivní změny ve velikosti dolní třetiny obličeje jsou považovány za nejvýraznější znak ovlivněný pohlavním dimorfismem. U děvčat rostou všechny tři části obličeje podobným tempem (Ferrario et al., 1998). Šířka mandibuly se od 5 do 10 let zvětšuje v průměru o 1 až 3 mm za rok u dívek a 3 až 5 mm za rok u chlapců. Chlapecká brada je v tomto období celkově širší, delší a více prominuje než u dívek. V 10 letech se vyrovnává rozdíl v prominenci mezi pohlavími, protože mezi 9 a 10 lety je u dívek zaznamenáno zvýšení prominence brady (Nute & Moss, 2000). Porovnání průměrných obličejů dívek a chlapců ve věku 8 až 12 let ukázalo, že dívky mají výraznější tvar brady (Bugajghis et al., 2013).

V 9 letech dochází k urychlení růstu u dívek a v 10 letech u chlapců (Tošovská, 2016). Podle Prah-Andersen et al. (1995) se růst v oblasti brady u dívek

zpomaluje již v 9 letech, naopak u chlapců je ve 14 letech pozorována akcelerace růstu této oblasti.

Mezi 12 a 15 lety se vlivem růstu dolní mandibuly prodlužuje dolní třetina obličeje (Bulygina et al., 2006; Koudelová et al., 2015b). U dívek je růst dolní čelisti ukončen ve věku od 13 do 14 let, u chlapců až ve věkovém intervalu 15 až 17 let. Oblast brady se tak díky delšímu růstovému intervalu u chlapců stává výraznější (Snodell et al., 1993).

3. Cíle práce

Diplomová práce se zabývá sledováním věkových rozdílů v morfologii obličeje u dětí ve věku od 3 do 15 let s využitím souboru transverzálních dat, která bývají často nesprávně využívána pro hodnocení růstu. Průměrné trendy a v čase měnící se faciální morfologie byly porovnány s opravdovým růstem a změnami tvaru obličeje na základě dříve publikovaných longitudinálních dat (Kočandrllová, 2017; Koudelová et al., 2015; Tošovská, 2016).

Na základě literární rešerše byly stanoveny následující dílčí cíle a hypotézy:

Cíle práce:

- a) Sledovat věkové rozdíly v morfologii obličeje (forma a tvar) v rozmezí 3-15 let na základě transverzálních dat
 1. Zhodnotit věkové rozdíly průměrné formy a tvaru obličeje v ročních i tříletých věkových intervalech (3-6, 6-9, 9-12, 12-15 let), zvláště u chlapců a dívek, transverzální studie
 2. Sledovat variabilitu obličeje a její věkové rozdíly na základě transverzálních dat
 3. Vytvořit trajektorie věkových rozdílů obličeje na základě transverzálních dat
- b) Porovnání výsledků transverzálního a longitudinálního přístupu analýzy dat

Hypotézy:

1. Roční po sobě jdoucí věkové intervaly jsou pro hodnocení věkových rozdílů obličeje na základě transverzálních dat nevhodné
2. Morfologie věkových rozdílů obličeje bude odpovídat reálným longitudinálním vývojovým změnám obličeje více po normalizaci velikosti

4. Materiál

V rámci studia ontogenetického vývoje obličeje Laboratoře 3D zobrazovacích a analytických metod na Katedře antropologie a genetiky člověka Univerzity Karlovy je od roku 2009 tvořena databáze 3D virtuálních faciálních modelů dětí a dospělých. Databáze se každým rokem rozšiřuje, a to jak o data transversální tak i longitudinální.

Tato práce využívá dat pořízených mezi lety 2009 a 2017 v Praze a Středočeském kraji: MŠ Anny Drabíkové (Anny Drabíkové 536/2, 149 00 Praha 4), MŠ Hrabáková (Hrabáková 2000/15, 148 00 Praha 4), MŠ Jažlovická (Jažlovická 2119/1, 149 00 Praha 4), MŠ Kolovraty (K Poště 448/11, 103 00 Praha-Kolovraty), MŠ Radotín (nám. Osvoboditelů 44/15, 153 00 Radotín), MŠ Na Smetance (Na Smetance 505/1, 120 00 Praha 2), Fakultní MŠ při Pedagogické fakultě Univerzity Karlovy (Na Výšinách 1075, 17000 Praha 7), ZŠ Jungmannovy sady Mělník (Tyršova 93/26, 276 01 Mělník), ZŠ Pošepného v Praze (Pošepného náměstí 2022, 148 00 Praha 4), Gymnázium Kladno (nám. Edvarda Beneše 1573, 272 01 Kladno), Gymnázium Nad Štolou (Nad Štolou 1510/1, 170 00 Praha 7).

Sběr dat pro transversální studii probíhal několikrát ročně. Pro sběr dat byly získány informované souhlasy podepsané zákonným zástupcem, a to pro každého skenovaného a měřeného jedince. Pro diplomovou práci byla využita pouze data získaná od jedinců české národnosti bez zjevných patologií a traumat v obličeji nebo hlavy. Dále byli vyřazeni jedinci s vysokým BMI (Body Mass Index), kvůli ovlivnění tloušťky měkké faciální tkáně (Ferrario et al., 2004; Lee et al., 2012; Onis, 2006).

Pro transversální studii bylo celkem využito 839 3D faciálních modelů (397 chlapců, 442 dívek). Rozložení jedinců do věkových skupin je zobrazeno v tabulce níže (Tab. 2). Rozložení do věkových kategorií bylo následující – kategorie 3 let odpovídá jedincům mezi 3,00 až 3,99 lety včetně. Do kategorie 4 let byli zahrnuti jedinci mezi 4,00 a 4,99 lety včetně a stejný postup byl zvolen i pro ostatní věkové kategorie.

Tab. 2: Počet 3D faciálních modelů v jednotlivých věkových kategoriích.

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Celkem
Dívky	23	46	47	60	31	26	27	26	27	32	31	29	37	442
Chlapci	28	41	30	43	27	30	25	29	26	38	31	24	25	397

Při sběru dat pro longitudinální studii docházelo k jednomu pravidelnému ročnímu skenování. Byly využity tři longitudinální soubory. V prvním souboru byly použity 3D faciální modely 12 chlapců a 14 dívek (celkem 85 3D faciálních skenů) ve věku od 3 do 6 let. Do kategorie 3 let byli zahrnuti jedinci mezi 3,00 a 3,99 lety včetně, stejný

postup byl zvolen pro ostatní věkové kategorie longitudinálních souborů (Kočandřlová, 2017).

Druhý longitudinální soubor obsahoval 3D faciální skeny 15 chlapců a 18 dívek (dohromady 202 3D faciálních skenů) ve věku od 6 do 12 let (Tošovská, 2016).

Do třetího longitudinálního souboru bylo zařazeno 23 chlapců a 22 dívek (dohromady 180 3D faciálních skenů) ve věkovém intervalu od 12 do 15 let (Koudelová et al., 2015b). Některé časové řady nejsou kompletní, a to z důvodu absence dítěte ve škole.

5. Metody

5.1. Sběr a příprava dat

K pořizování 3D virtuálních faciálních modelů byl využit vícekamerový optický skener Vectra3D (Canfield Scientific, Inc.), jedná se o neinvazivní metodu. Využití neinvazivních 3D technologií je velice výhodné, růst je třídimensionální záležitost a měl by být zkoumán ve všech směrech, aby nedošlo ke ztrátě esenciálních informací (Ferrario et al., 1998; Krimmel et al., 2015). Při snímání byly vytvořeny 4 fotografie, které se pomocí softwaru Mirror Software (Canfield Scientific, Inc.) automaticky složily a byl vytvořen 3D virtuální model obličeje i s texturou. Samotné snímání trvalo 2 ms. Každý jedinec byl skenován vsedě, čelem ke skeneru. Jejich hlava byla v přirozené poloze a v obličeji zaujali neutrální výraz, vlasy byly sepnuty čelenkou.

Každý 3D model, tvořený polygonovou sítí s různým počtem trojúhelníků a vertexů (vrcholů), byl exportován a upravován v programu Rapidform XOS 2006 (Inus Technology, Inc.). Došlo k odstranění nepotřebných částí skenu jako je obast krku, uší a zbytky vlasů. Po zarovnání povrchových chyb a zaplnění otvorů byl každý 3D model decimován, došlo k zredukování počtu trojúhelníků na přibližný počet 26 000 (Obr. 3).

5.2. Analýza dat

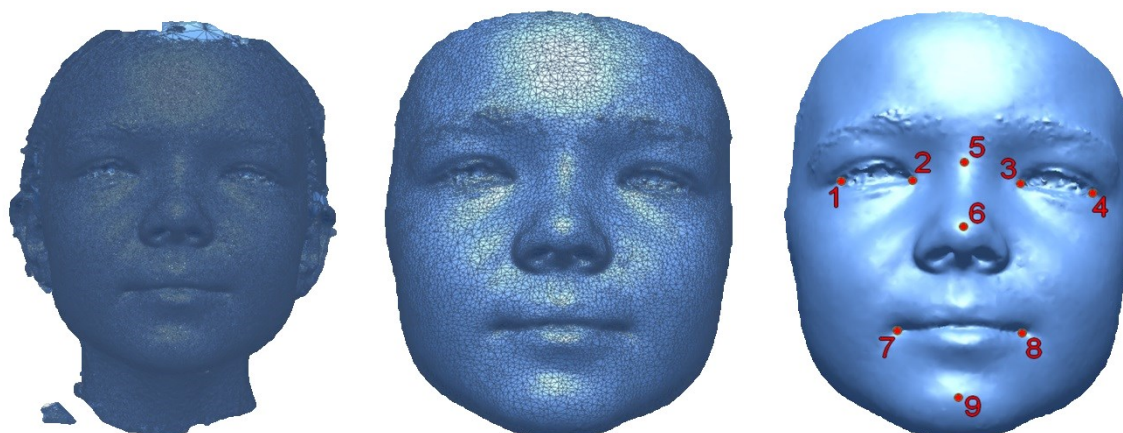
Pro analýzu dat byl využit software Morphome3cs II, vyvíjený Skupinou počítačové grafiky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy ve spolupráci s Katedrou antropologie a genetiky člověka Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. Software využívá metod geometrické morfometrie, umožňuje pořizovat landmarková a křivková data, dále je také možné provést statistické hodnocení a vizualizovat výsledky analýz povrchových či objemových dat (Krajíček et al., 2012; Velemínská et al., 2012).

5.2.1. Coherent point drift – Dense correspondance analýza

Před samotným hodnocením dat je nutné sjednotit vlastnosti 3D modelů – dosáhnout stejného počtu trojúhelníků a vrcholů. Pro tento účel je využívána upravená metoda DCA: Coherent point drift – Dense correspondance analýza (CPD – DCA), která umožňuje nerigidní registraci dat (Dupej et al., 2014).

Pro sjednocení 3D modelů bylo nejdříve nutné nanést ve stejném pořadí 9 referenčních landmarků (Obr. 3, Tab. 3) (Hutton et al., 2001), které byly naneseny

v oblasti očí, nosu a úst. Individuální průměrná chyba nanášení landmarků byla 0,31 mm, interindividuální 0,58 mm (von Cramon-Taubadel et al., 2007).



Obr. 3: Úprava modelu v programu Rapidform XOS 2006.

Tab. 3: Definice referenčních bodů podle Ferrario et al., 2003.

landmark	definice
1. Exocanthion dx	bod na vnějším koutku pravé oční štěrbiny v místě setkání očních víček
2. Endocanthion dx	bod na vnitřním koutku pravé oční štěrbiny v místě setkání očních víček
3. Endocanthion sin	bod na vnitřním koutku levé oční štěrbiny v místě setkání očních víček
4. Exocanthion sin	bod na vnějším koutku levé oční štěrbiny v místě setkání očních víček
5. Nasion	bod v mediální rovině kořene nosu v místě nasofrontálního švu
6. Pronasale	bod ležící na hrotu nosu nejvíce vpředu
7. Chelion dx	bod na pravém koutku úst v místě setkání červení obou rtů
8. Chelion sin	bod na levém koutku úst v místě setkání červení obou rtů
9. Pogonion	bod ležící na srůstu dolní čelisti nejvíce vpředu

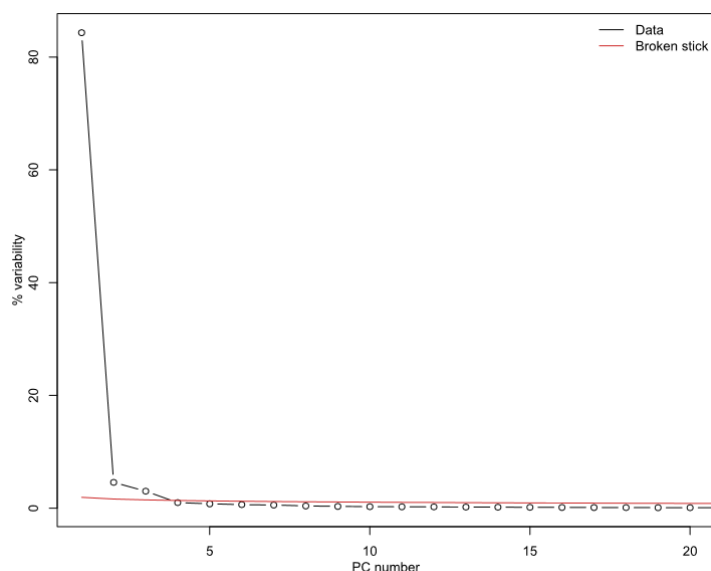
Využitím generalizované Prokrustovské analýzy (GPA) byly na sebe zarovnány 3D modely, a to tak, aby vzdálenost mezi odpovídajícími referenčními landmarky byla minimální (Adams et al., 2004). Landmarky už v následujících analýzách nebyly využívány. Byl zvolen libovolný base mesh, tedy vzor topologie 3D modelu pro ostatní 3D modely (floating meshes). Následně byla provedena Coherent point drift metoda (CPD) a díky ní byly zdeformovány celé povrchy ostatních modelů podle povrchu base mesh (Myronenko & Song, 2010). Využitím metody CPD – DCA dochází k mnohem přesnějšímu porovnání povrchů. Tato metoda na rozdíl od DCA nezávisí jen na homologických landmarcích, deformace floating meshes je provedena zarovnáním vertexů trojúhelníků v nejbližším bodě k povrchu base mesh (Dupej et al., 2014).

5.2.2. Analýza hlavních komponent

Pro sledování variability souboru a možnosti redukce rozměrnosti dat (snížení počtu znaků) byla využita analýza hlavních komponent (PCA), jedná se o multivariační analýzu (Abdi & Williams, 2010). Principem analýzy hlavních komponent je lineární transformace původních znaků na nově nekorelované proměnné tzv. hlavní komponenty (Urbanová & Králík, 2009). Počet hlavních komponent je vysoký a každá vykazuje svou míru variability tzv. rozptyl, přičemž jsou komponenty řazeny sestupně podle klesajícího rozptylu. Největší míra variability je zachycena u první hlavní komponenty, další hlavní komponenty vysvětlují variabilitu, která nebyla obsažena v předchozích komponentách (Meloun & Milítký, 2004).

Byly využity pouze takové hlavní komponenty, které vykazují dostatečné množství informací přispívající k rozlišení mezi objekty. Celkovou variabilitu souboru, znázorněnou pomocí procentuálního podílu jednotlivých komponent, lze posuzovat na sutinovém grafu – Graf 1. Do dalších analýz byly zahrnuty pouze komponenty umístěné nad dělicí čarou (broken stick), nevýznamné hlavní komponenty se nacházejí pod ní (Kanyongo, 2005). Pro statistickou vizualizaci variability skupiny byl využit graf PC skóre (scatter plot).

Graf 1 – Sutinový graf.



5.2.3. Metoda superprojekce

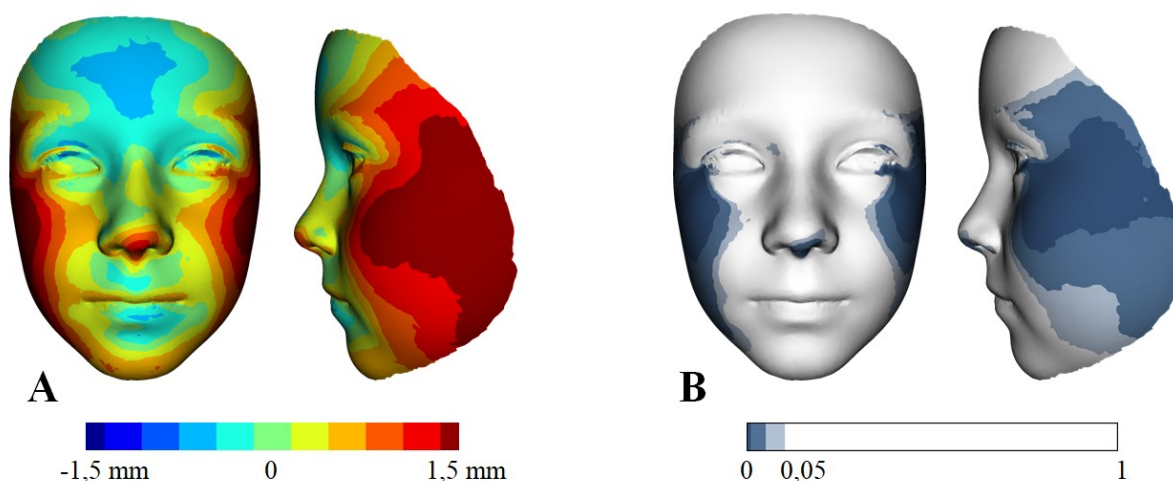
Jedná se o superprojekční metodu, kterou lze provést v programu Morphome3cs II. Výsledkem jsou mapy zobrazující rozdíl v průměrném růstu směrem kolmo na povrch

(Claes et al., 2014). Jedná se o analýzu, při které dochází k hodnocení velikostních a tvarových rozdílů průměrných obličejů porovnávaných skupin. Rozdíl je zobrazen na base mesh v podobě barevných map. Pozitivní rozdíl je zobrazován ve škále teplých barev a znázorňuje místa, která jsou v protruzi. Negativní rozdíl sledujeme ve škále studených barev a zobrazuje nám oblasti, které jsou v retruzi. Zelená barva nám znázorňuje oblasti, kde není sledován rozdíl mezi sledovanými skupinami (Obr. 4 – A).

5.2.4. Per vertex T-test

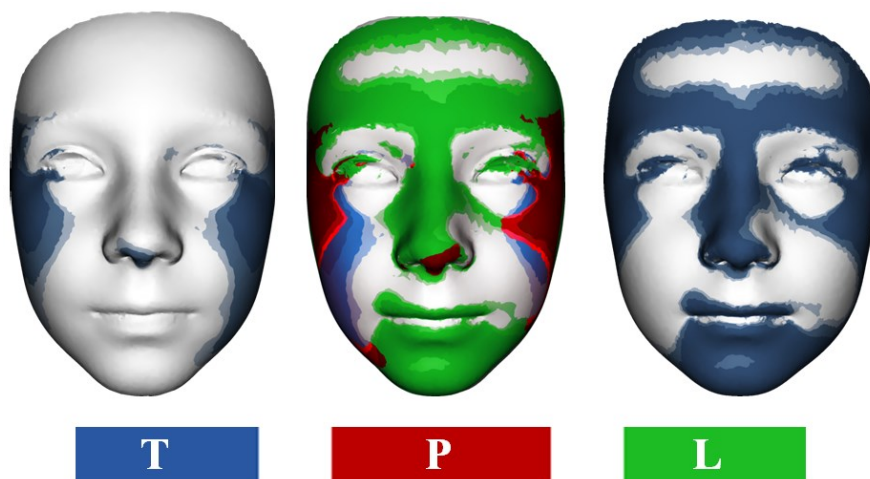
V programu Morphome3cs II je možné využít superprojekční metodu per vertex T-test, kterou lze vizualizovat výsledky dvouvýběrového T-testu počítaného přes vertexy (vrcholy) tvořící 3D model (Koudelová et al., 2015). Metoda je založená na Hotellingově T-testu, který hodnotí celkový tvar obličeje, per vertex T-test je upraven tak, aby došlo k zhodnocení rozdílu mezi všemi homologními vrcholy 3D modelu (Dadáková et al., 2016).

Výsledek je zobrazen jako barevná mapa signifikance, odstíny modré znázorňují odlišné p-hodnoty (Obr. 4 – B). Hodnota menší než 0,001 je znázorněna nejtmaším odstínem modré, zde je rozdíl statisticky významný. Střední odstín znázorňuje oblast s p-hodnotou mezi 0,001 a 0,01. Nejsvětlejší odstín modré barvy vyznačuje oblast p-hodnoty mezi 0,01 a 0,05. Bíle zbarvené oblasti mají hodnotu větší než 0,05 a nevykazují statistickou významnost.



Obr. 4: A – Ukázka zobrazení barevné mapy růstu směrem kolmo na povrch hodnotící formu u dívek ve věku 7 a 8 let; B – barevná mapa signifikance zobrazující statisticky významné oblasti formy obličeje u 7 a 8 letých dívek transverzálního souboru.

Pro potřeby přímého porovnání transversálního a longitudinálních souborů bylo na základě konzultace se statistiky z MFF UK (10. 5. 2018, RNDr. Matúš Maciak, Ph.D.) využito proložení jejich map signifikancí v programu Adobe Photoshop CC. Nejedná se však o statistickou analýzu v pravém slova smyslu, ale pouze o vizuální porovnání výsledků získaných různými statistickými přístupy u různých typů dat (porovnání map signifikancí vytvořených nepárovými analýzami u transversálního souboru a map signifikancí vytvořených s využitím párových analýz u longitudinálních souborů, přičemž každý z těchto testů má jinou sílu. Vizualizace slouží pro zvýraznění statisticky významných oblastí, které jsou shodné u transversálního a longitudinálních souborů, a obarveny byly odstíny červené barvy (Obr. 5). V kapitole zabývající se interpretací výsledků budou tyto oblasti pro zjednodušení nazývány jako shodné, jsou však shodné jen v umístění a v tom, že zvýrazňují statistickou signifikanci u obou souborů. Původní statisticky významné oblasti transversálního souboru jsou obarveny odstíny modré barvy, u longitudinálních souborů byly využity odstíny zelené barvy.



Obr. 5: Na prolnutí map signifikancí (uprostřed) 7 a 8 letých dívek transversálního (vlevo) a longitudinálních souboru (vpravo) sledujeme červeně obarvená místa, která odpovídají statisticky významným oblastem jak u transversálního tak u longitudinálních souborů.

Longitudinální soubory zohledňují skutečný růst popř. skutečné věkové změny tvaru obličeje, plocha statisticky významných oblastí by zde měla být z hlediska statistiky větší. Kvůli náročnosti sběru materiálu je ve věkových skupinách longitudinálního souboru méně jedinců než v souboru transversálním. V případě vysoké variability tohoto souboru se statistická signifikance změny ovšem nemusí projevit, proto je v některých věkových kategoriích možné sledovat menší statisticky významné oblasti obličeje, které mohou ale nemusí být shodné s oblastmi obličeje u transversálních dat.

U transverzálního souboru bychom vzhledem k větší variabilitě souboru měli sledovat menší plochy statisticky významných rozdílů, ovšem díky vysokému počtu jedinců v tomto souboru se plocha statisticky významných rozdílů zvětšuje (ústní sdělení, konzultace 6. 3. 2017 Mgr. Ján Dupej).

Díky transverzálnímu souboru jsou v datech zahrnuty také populační rozdíly (sledují se v každém věku jiní jedinci, a tak je vyšší variabilita souboru, sledován byl vyšší počet jedinců), které u longitudinálních souborů s nižším počtem jedinců není možné zcela zachytit. Proto rozdíly, které pozorujeme u transverzálního souboru, můžeme sledovat ve stejných oblastech i u výsledků longitudinálního souboru. Plochy statisticky významných změn longitudinálních souborů se tedy mohou podobat plochám rozdílů transverzálního souboru, opačně už to tak platit nemusí (ústní sdělení, konzultace 10. 5. 2018 RNDr. Matúš Maciak, Ph.D.).

Shodné oblasti u obou souborů je možné následně porovnat se superprojekčními mapami, tak zjistíme zda má průnik statisticky významných oblastí obou souborů stejný směr a velikost.

6. Výsledky

Kvůli přehlednosti je následující kapitola rozdělena na dvě části. První část se dělí na několik podkapitol věnujících se hodnocení variability, rozdílům ve formě a tvaru obličeje mezi věkovými kategoriemi u transverzálního souboru chlapců a dívek. Druhá část výsledků tvoří již samotné srovnání vlastních výstupů transverzální a dříve publikovaných longitudinálních studií.

6.1. Hodnocení transverzálního souboru

První podkapitola se zabývá hodnocením rozdílů formy a tvaru obličeje po ročních intervalech u transverzálního souboru, zvláště u chlapců a dívek. Došlo k porovnání vždy dvou po sobě jdoucích kategorií: 3 a 4 let, 4 a 5 let, ..., 13 a 14 let, 14 a 15 let. K vizualizaci výsledků jsou využity superprojekční mapy a dále mapy signifikance. Vizualizace jsou orientovány v *norma frontalis* a *norma lateralis*.

Ve druhé podkapitole je věnována pozornost rozdílům formy a tvaru obličeje v širších věkových intervalech u transverzálního souboru, pro každé pohlaví zvláště. Došlo k porovnání následujících věkových kategorií: 3letí a průměrní 6letí jedinci, průměrní 6letí a průměrní 9letí, průměrní 9letí a průměrní 12letí, průměrní 12letí a 15letí jedinci. Rozdíly jsou popsány stejným způsobem jako v první podkapitole.

Třetí podkapitola se zaměřuje na interpretaci výsledků analýzy hlavních komponent. Hodnocena je variabilita formy a tvaru obličeje u jednotlivých kategorií jak u chlapců, tak i u dívek. K zobrazení výsledků jsou použity grafy PC skóre s 95% konfidenčními elipsami, každý bod zobrazený v grafu představuje jednoho jedince a jeho umístění uvnitř variability celého souboru. Čím jsou od sebe jednotlivé body vzdálenější, tím jsou daní jedinci odlišnější.

6.1.1. Hodnocení rozdílů formy a tvaru od 3 do 15 let po ročních intervalech

Při hodnocení každého ročního intervalu došlo k porovnání průměrného obličeje mladších jedinců oproti průměrnému obličejí starších jedinců. Výsledky jsou zobrazeny pomocí superprojekčních map. Měřítko bylo nastaveno pro formu od -1,5 mm do 1,5 mm, při využití 10 odstínů barev. Při hodnocení tvaru byl nastaven interval od -0,03 do 0,03 a bylo využito 1000 odstínů barev. Hladina významnosti rozdílů je znázorněna na mapách signifikance. Z důvodu lepší názornosti rozdílů jsou zde, oproti nadcházejícím podkapitolám, hodnoceny všechny věkové kategorie najednou.

6.1.1.1. Hodnocení rozdílů formy a tvaru u chlapců

Na obrázcích č. 6 a 7 můžeme vidět rozdíly ve velikosti směrem kolmo na povrch zobrazené v ročních intervalech pro transversální soubor chlapců ve věku od 3 do 15 let. Při postupném pohledu na všechna porovnání ročních intervalů reprezentovaná superprojekčními mapami sledujeme ve stejných oblastech nepravidelné střídání pozitivních, negativních či žádných rozdílů velikosti. Například při porovnání 8 a 9letých jedinců pozorujeme výrazný pozitivní rozdíl velikosti celého obličeje a následně při porovnání 9 a 10letých chlapců sledujeme negativní rozdíl velikosti.

Celkovou velikost obličeje můžeme hodnotit jako postupně se zvětšující s věkem. Ovšem u chlapců v 9 letech můžeme označit celkovou velikost obličeje jako extrémně vyšší než u 10letých chlapců, při jejich porovnání sledujeme redukci velikosti na celé ploše obličeje. Potvrzuje nám to porovnání 8letých a 9letých jedinců, kdy zaznamenáváme výrazné zvýšení velikosti, které je ovšem větší než porovnání velikostí neextrémních průměrných obličejů 10letých a 11letých jedinců.

U chlapců ve věku 3 až 7 let má oblast čela stabilní velikost, sledované rozdíly jsou pozitivního charakteru a jsou malé. V období mezi 7 a 8 lety se ve střední části čela objevuje oblast malých negativních rozdílů. K výrazným pozitivním rozdílům velikosti dochází mezi 8 a 9 lety, a to až o 1,5 mm a více. V 10 až 12 letech se stav naprosto mění a sledujeme redukci na celé oblasti čela, kdy pouze mezi 10 a 11 lety se velikost čela nemění. Ve věkovém období od 13 do 15 let sledujeme opět pozitivní rozdíl velikosti. Statisticky významné rozdíly sledujeme pouze mezi 8 a 9 lety a 12 a 13 lety, ostatní popsané rozdíly postrádají statistickou významnost.

V oblasti očí sledujeme střídavě rozdíly velikosti během celého zkoumaného období, místy jsou tyto rozdíly statisticky významné. Nejvýraznější statisticky významné rozdíly velikosti pozitivního charakteru probíhají mezi 3 až 5 lety a 6 a 7 lety v oblasti dolních víček. Dále sledujeme statisticky významný rozdíl mezi 4 a 5 lety v oblasti horních víček, kde dochází k redukci.

Nos patří k oblastem, ve kterých dochází k největším rozdílům velikosti. Mezi 3 a 6 lety pozorujeme statisticky významný rozdíl velikosti až o 1,5 mm. Mezi 6 a 8 lety už statisticky významný rozdíl velikosti nesledujeme. Velikost mezi 6 a 7 lety se výrazně nemění. Při porovnání 8 a 9letých jedinců sledujeme nejvýraznější rozdíl prominence nosu a to o 1,5 mm, tento rozdíl je statisticky významný. V dalším roce pozorujeme naprosto opačný výsledek, dochází k redukci. O další rok později

(mezi 10 a 11 lety) dochází opět k výraznému pozitivnímu zvětšení, prominence se zvětšuje až do 14 let. Od 14 do 15 let už nesledujeme výrazné rozdíly v oblasti nosu.

Nejvýraznější signifikantní rozdíly pozitivního charakteru v oblasti úst pozorujeme mezi 4 a 5 lety, 10 a 11 lety a 12 a 13 lety. U chlapců sledujeme redukcí velikosti v oblasti úst pouze mezi věkovými kategoriemi 9 a 10letých a 11 a 12letých jedinců, jedná se však o rozdíly postrádající statistickou významnost.

Rozdíly velikosti sledované v krajině brady jsou statisticky významné ve všech věkových kategoriích, s výjimkou porovnání věkových kategorií od 9 do 11 let a 14 a 15letých jedinců. Díky rozdílům velikosti v oblasti brady sledujeme prodlužování a rozšiřování obličeje. Nejvýraznější pozitivní rozdíly velikosti můžeme pozorovat při porovnání kategorií od 4 do 6 let, dále u porovnání 8 a 9 letých a 13 a 14 letých jedinců. Při porovnání 9 a 10letých jedinců můžeme pozorovat redukcí velikosti v celé oblasti, tento rozdíl však postrádá statistickou významnost.

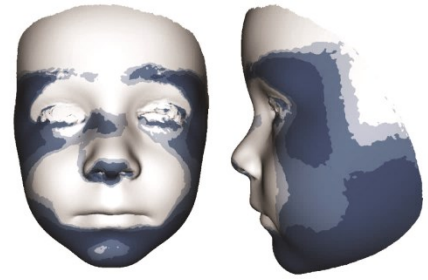
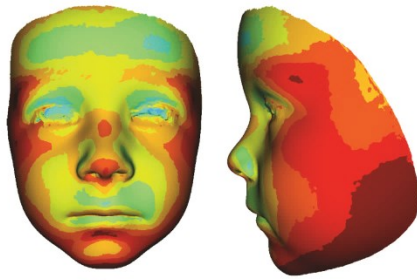
Díky pozitivním rozdílům velikosti v oblasti tváří dochází ke zvětšování šířkových rozměrů obličeje. Výrazný pozitivní rozdíl signifikantního charakteru sledujeme vždy ob rok při porovnání 3 a 4letých, 5 a 6letých a 7 a 8 letých jedinců. Nejvýraznější pozitivní rozdíl pozorujeme při porovnání 8 a 9 letých chlapců. Redukcí velikosti sledujeme při porovnání 4 a 5 letých a 10 a 11letých jedinců na předních plochách tváří a mezi 9 a 10 lety v celé oblasti tváří.

Vzhledem k nenávaznosti rozdílů formy, která je u opravdového růstu předpokládána, je sledování věkových rozdílů mezi ročními věkovými kategoriemi nevhodné. Variabilita transverzálního souboru příliš ovlivňuje výsledek.

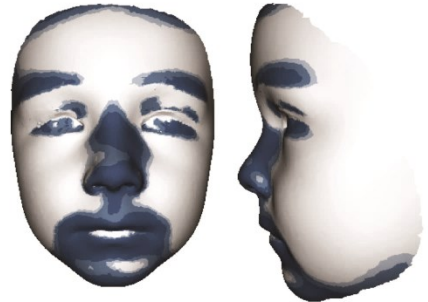
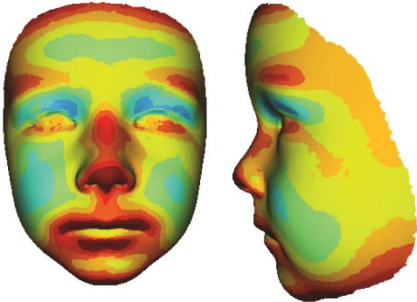
Obr. 6: Barevné mapy vizualizující rozdíly formy u chlapců transverzálního souboru ve věku od 3 do 9 let (po levé straně) a mapy signifikance (po pravé straně).

Obr. 7: Barevné mapy vizualizující rozdíly formy u chlapců transverzálního souboru ve věku od 9 do 15 let (po levé straně) a mapy signifikance (po pravé straně).

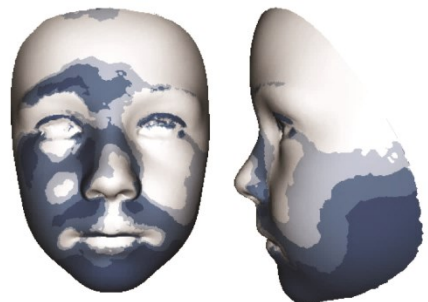
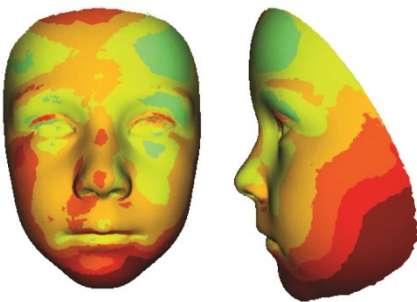
3 a 4 roky



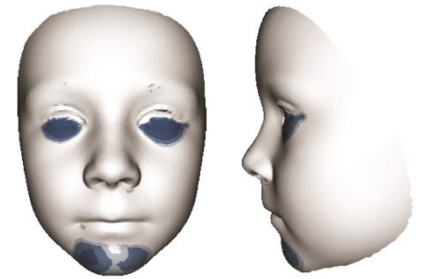
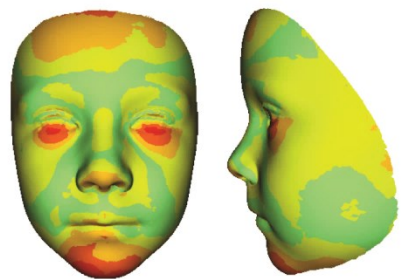
4 a 5 let



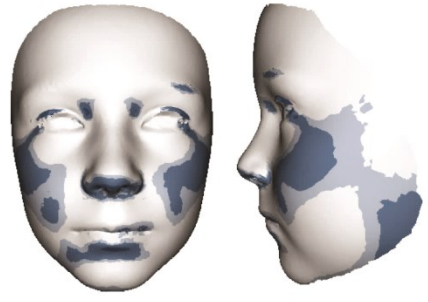
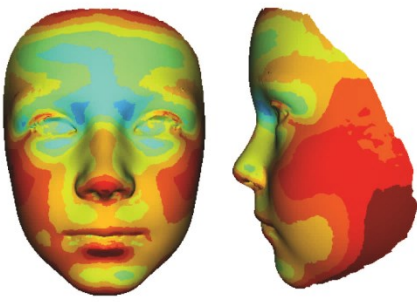
5 a 6 let



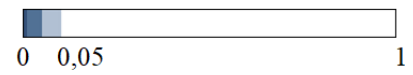
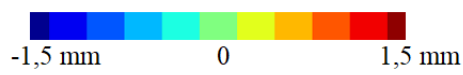
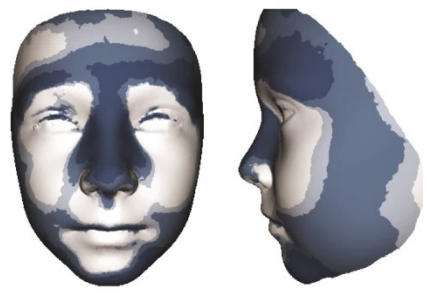
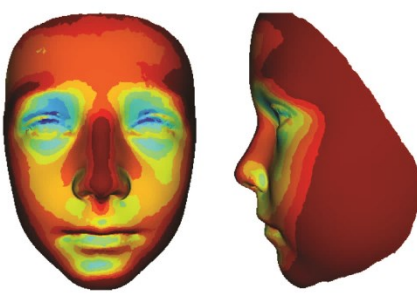
6 a 7 let



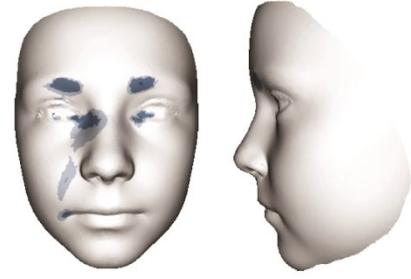
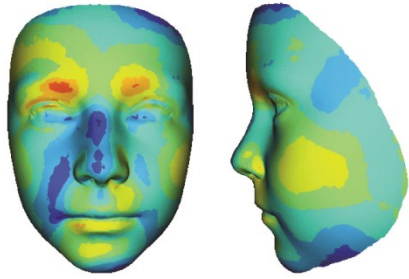
7 a 8 let



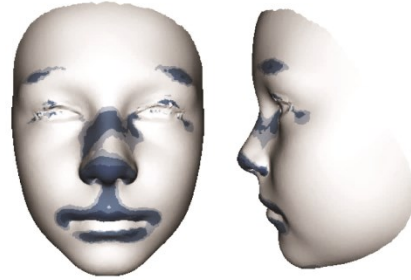
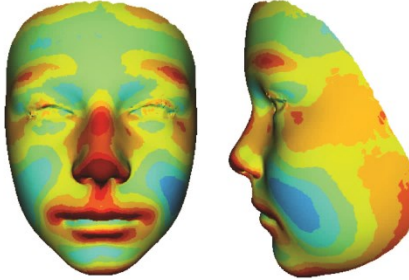
8 a 9 let



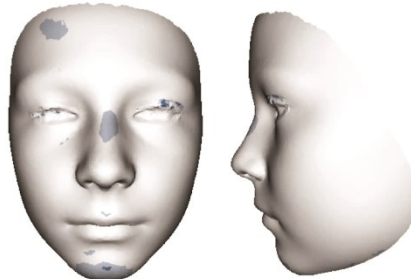
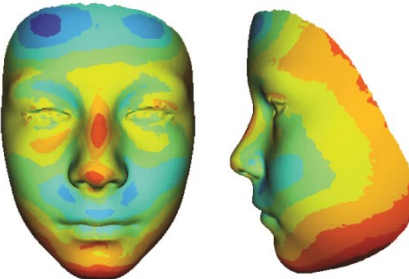
9 a 10 let



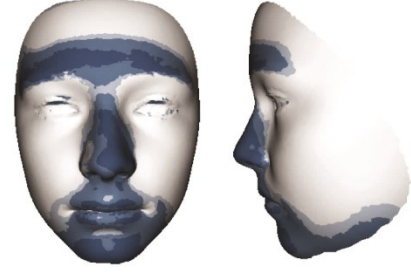
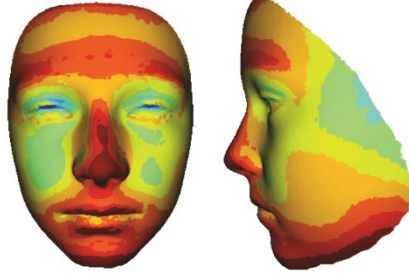
10 a 11 let



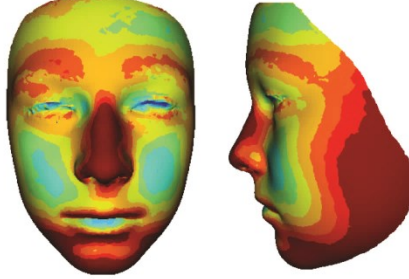
11 a 12 let



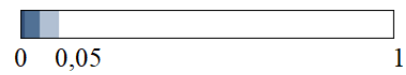
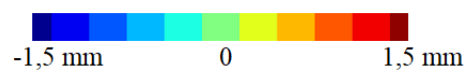
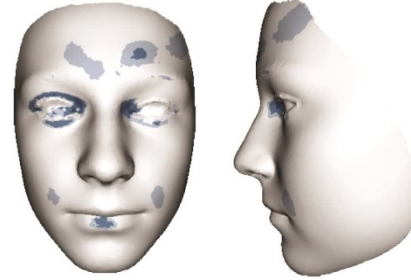
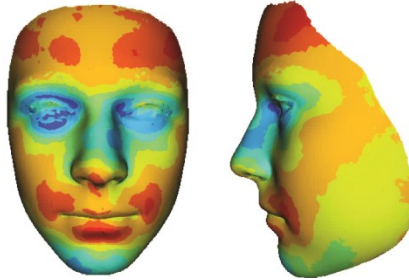
12 a 13 let



13 a 14 let



14 a 15 let



Porovnání tvarových rozdílů obličeje chlapců ve věku od 3 do 15 let je zobrazeno na obrázcích č. 8 a 9. V každé věkové kategorii můžeme sledovat pozitivní tvarové rozdíly, a to v různých oblastech. Výrazné pozitivní tvarové rozdíly pozorujeme při porovnání 4 a 5letých chlapců v oblasti úst a nosu, 5 a 7letých jedinců v oblasti brady, 6 a 7letých jedinců na dolních víčkách, 8 a 9letých jedinců na kořeni a hřbetu nosu, a také při porovnání 10 a 11letých jedinců v oblast nosu a horního rtu.

Nejvýraznější rozdíly sledujeme ve věkových kategoriích mezi 12 a 15 lety, kdy při porovnání 12 a 13letých jedinců je v teplých barvách zvýrazněna v celé délce střední část obličeje, a v dalším porovnání už sledujeme odstíny zelené a teplých barev po celé ploše obličeje. Mezi 14 a 15 lety se k převažujícím teplým odstínům přidávají studené odstíny v oblasti očí a brady.

Negativní rozdíly tvaru jsou shledávány jako nejrozsáhlejší statisticky významné plochy. Negativní tvarové rozdíly sledujeme při porovnáních mezi 4 a 5 lety v oblasti tváří, mezi 5 a 6 lety laterální plochy čela, mezi 10 a 11 lety oblasti tváří a mezi 12 a 13 lety celé laterální plochy obličeje.

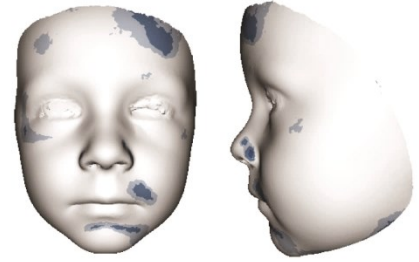
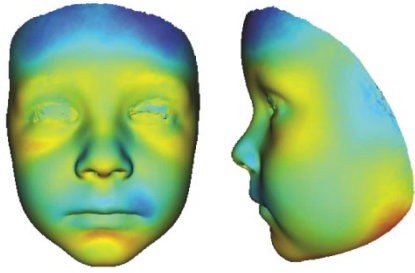
Ve věkovém rozmezí 3 až 8 let sledujeme oplošťování čela a prodlužování obličeje, od 4 do 6 let se zvyšuje prominence střední části obličeje. Od 10 do 13 let dochází k redukci tváří a zužování obličeje. Od 12 do 14 let je sledováno zvětšování prominence střední části obličeje a dále prodlužování obličeje, které se mezi 14 a 15 lety zastavuje.

Sledované tvarové rozdíly na sebe nenavazují tak, jak bychom předpokládali u opravdového růstu. Porovnání ročních po sobě jdoucích intervalů není vhodné. Výsledek je ovlivněn vysokou variabilitou transverzálního souboru.

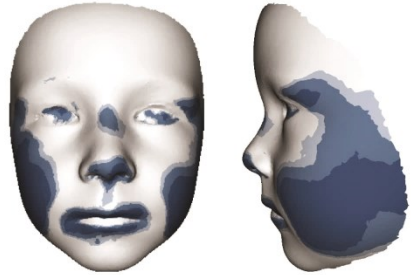
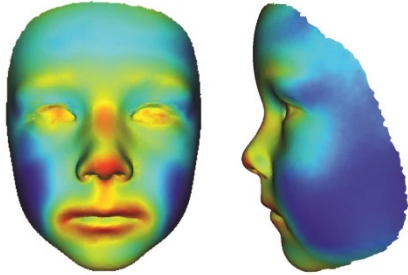
Obr. 8: Barevné mapy vizualizující rozdíly tvaru u chlapců transverzálního souboru ve věku od 3 do 9 let (po levé straně) a mapy signifikance (po pravé straně).

Obr. 9: Barevné mapy vizualizující rozdíly tvaru u chlapců transverzálního souboru ve věku od 9 do 15 let (po levé straně) a mapy signifikance (po pravé straně).

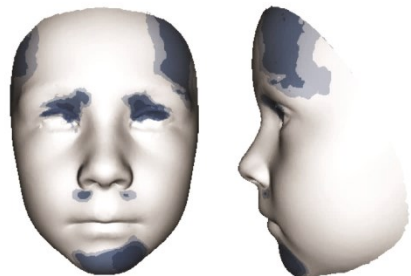
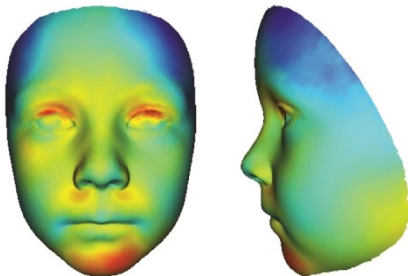
3 a 4 roky



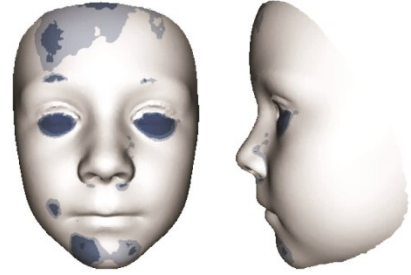
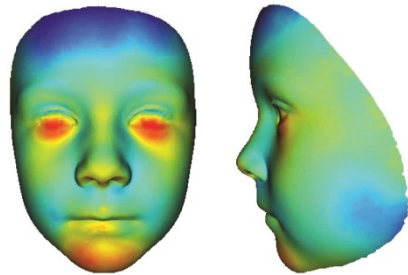
4 a 5 let



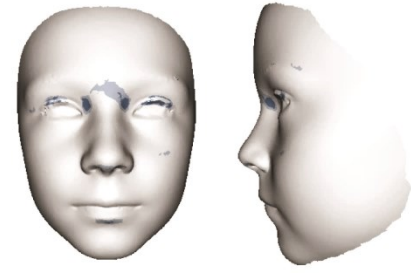
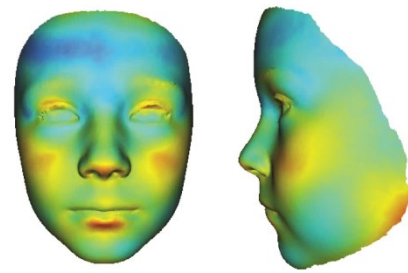
5 a 6 let



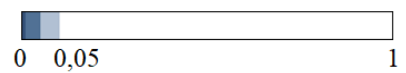
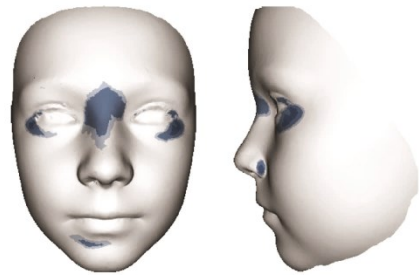
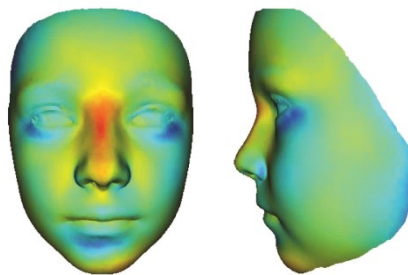
6 a 7 let



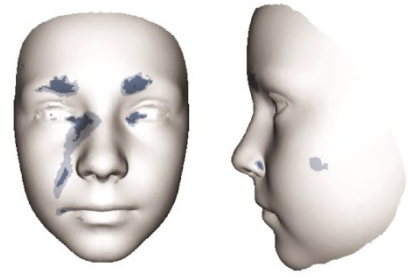
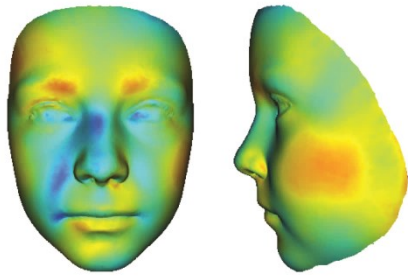
7 a 8 let



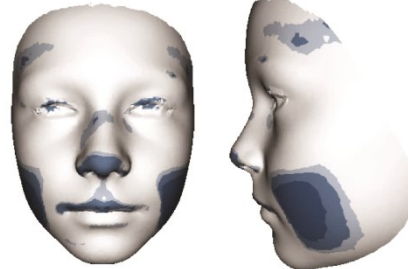
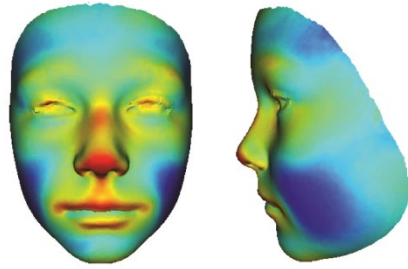
8 a 9 let



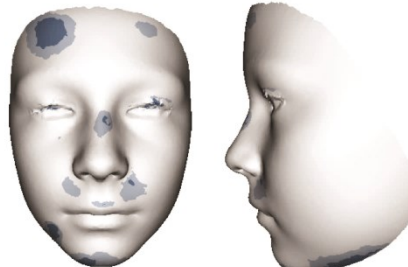
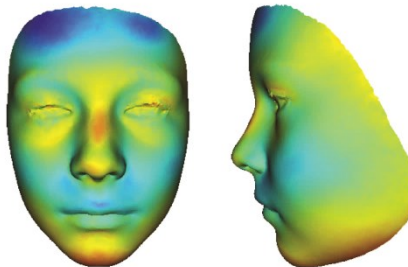
9 a 10 let



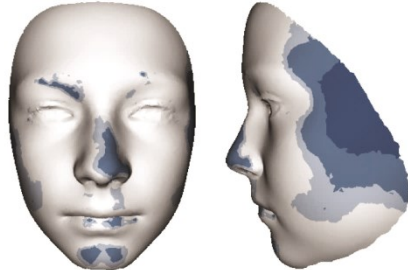
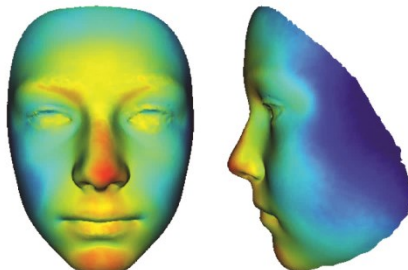
10 a 11 let



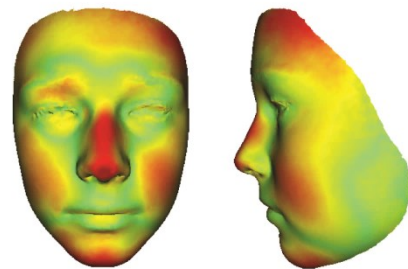
11 a 12 let



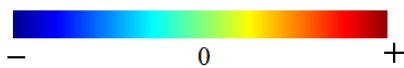
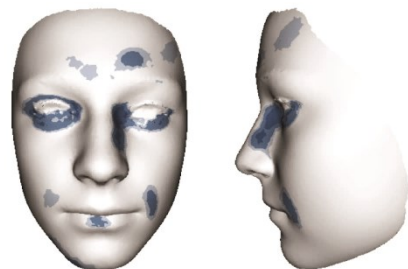
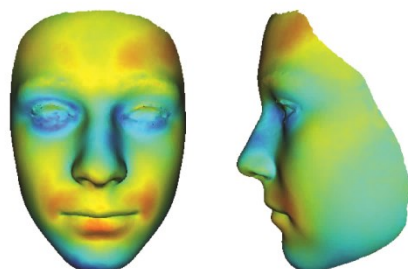
12 a 13 let



13 a 14 let



14 a 15 let



6.1.1.2. Hodnocení rozdílů formy a tvaru u dívek

Obrázky č. 10 a 11 popisuje rozdíly velikosti směrem kolmo na povrch u transversálního souboru dívek ve věkovém intervalu od 3 do 15 let. Stejně jako u chlapců, zde sledujeme nepravidelné střídání pozitivních, negativních a žádných rozdílů velikosti ve stejných oblastech – tyto rozdíly velikosti na sebe nenavazují. Nejlépe je možné tuto nepravidelnost sledovat v oblasti nosu, kdy při porovnání věkových kategorií od 3 do 7 let sledujeme střídavě intenzivní pozitivní rozdíl velikosti s méně intenzivními. Od 8 do 9 let zůstává rozdíl velikosti stejný, dochází dokonce i k redukci. Při porovnání věkových kategorií od 9 do 13 let můžeme pozorovat pozitivní rozdíly velikosti. Mezi 12 a 13 lety dochází dokonce k signifikantnímu rozdílu velikosti na celé ploše nosu. V následujícím porovnání se situace ovšem obrací a sledujeme negativní a místy signifikantní rozdíly ve velikosti. Mezi 14 a 15 lety dochází opět ke zvětšování velikosti nosu.

Celková velikost obličeje se postupně zvětšuje. Jen dívky v 9 letech můžeme označit jako celkově menší než dívky v 8 letech. Při porovnání 8 a 9 letých věkových skupin pozorujeme totiž u 9 letých významnou redukci celkové velikosti obličeje. Ovšem při dalším porovnání 9 s 10 letými věkových skupin zaznamenáváme u starších dívek významné zvýšení velikosti, které se jeví vyšší než při porovnání 7 a 8 letých dívek (ty můžeme označit za neextrémní).

Při porovnání věkových kategorií od 3 do 7 let má oblast čela dívek stabilní velikost, pozorujeme malé rozdíly pozitivního charakteru. Jen při porovnání 4 a 5letých dívek sledujeme v oblasti čela redukci, která ovšem postrádá statistickou významnost. Od 7 do 11 let dochází ke snižování velikosti této oblasti, proces redukce velikosti postrádá statistickou významnost. Mezi 9 a 10 lety je redukce přerušena signifikantním zvětšením velikosti. Při porovnání věkových skupin od 10 do 15 let sledujeme střídavě zástavu zvětšování a zvětšování velikosti, tyto rozdíly nejsou signifikantní, pouze mezi 12 a 13 lety dochází ke statisticky významnému zvětšení nadobčnicových oblouků. V období od 3 do 14 let můžeme také sledovat zvětšování šířkových rozměrů čela. Vysokou statistickou významnost při rozšiřování čela sledujeme při porovnání 3 až 5letých, 7 a 8letých a 12 a 13 letých věkových kategorií. Mezi 8 a 9 lety dochází k redukci šířkových rozměrů čela.

Oblast očí řadíme opět k těm, ve kterých sledujeme často nepravidelné rozdíly velikosti, místy jsou tyto události statisticky významné. Nejvýraznější statisticky

signifikantní rozdíly pozorujeme při porovnání věkových kategorií 4 a 5letých a 6 a 7letých dívek, kdy sledujeme zvětšování velikosti dolních víček.

Nejvýraznější rozdíly sledujeme v oblasti nosu. Do 7 let sledujeme pozitivní rozdíl velikosti, k největším signifikantním zvětšením velikosti dochází mezi 4 a 5 lety a 6 a 7 lety. Mezi 8 a 9 lety dochází k redukci velikosti, tato situace postrádá statistickou významnost. Při porovnání věkových kategorií od 9 do 13 let sledujeme u dívek pozitivní rozdíly v této oblasti, místy jsou rozdíly ve velikosti statisticky významné. Mezi 13 a 14 lety je v celé centrální části obličeje sledována redukce, místy je statisticky signifikantní. Tato redukce může být důsledkem extrémní velikosti 13 letých dívek, což nám vysvětluje extrémní zvětšení oblasti nosu při porovnání průměrných obličejů 12 a 13 letých dívek a extrémní zmenšení při porovnání 13 a 14 letých dívek. Při zhodnocení rozdílů ve velikosti 14 letých s 15 letými dívkami, sledujeme u 15 letých pozitivní rozdíly v oblasti nosu, tyto rozdíly nejsou už tak výrazné jako u 13 letých jedinců, což vylučuje extrémní velikost této oblasti u 14 letých dívek.

Za nejvýraznější rozdíly statisticky významného charakteru v oblasti úst můžeme označit pozitivní rozdíly velikosti mezi 4 a 5 lety a 6 a 7 lety. U dolního rtu sledujeme pozitivní rozdíly při porovnání 3 a 4letých a 11 a 12letých dívek. Signifikantní redukci velikosti sledujeme mezi 10 a 11 lety a 13 a 14 lety. Negativní rozdíly sledované při porovnání 8 a 9letých dívek postrádají statistickou významnost.

K statisticky signifikantním zvyšováním velikosti v krajině brady dochází při následujících porovnáních: 3 a 4 roky, 4 a 5 let, 6 a 7 let, 9 a 10 let, 11 a 12 let a 12 a 13 let. Díky těmto rozdílům sledujeme prodlužování obličeje. Mezi 7 a 8 lety pozorujeme významné zvětšování šířkových rozměrů dolní části obličeje.

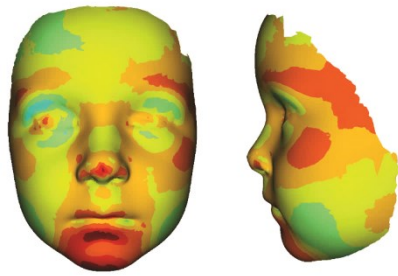
Rozdíl velikosti tváří přispívá ke zvětšování šířkových rozměrů, toto zvětšování sledujeme u všech věkových skupin kromě porovnání 8 a 9letých a 14 a 15 letých dívek. Mezi statisticky významné řadíme rozdíly mezi 4 a 5 lety a 6 a 7 lety. U přední plochy tváří pozorujeme redukci pouze mezi 4 a 5 lety, 8 a 9 lety a 13 a 14 lety.

Sledované rozdíly formy v morfologii obličeje dívek jsou nepravidelné a nenavazují na sebe. U opravdového růstu je návaznost a pravidelnost předpokladem. Zobrazené hodnocení věkových rozdílů formy je nevhodné.

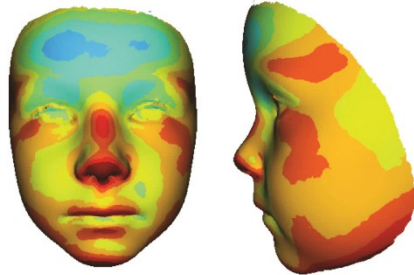
Obr. 10: Barevné mapy vizualizující rozdíly formy u dívek transversálního souboru ve věku od 3 do 9 let (po levé straně) a mapy signifikance (po pravé straně).

Obr. 11: Barevné mapy vizualizující rozdíly formy u dívek transversálního souboru ve věku od 9 do 15 let (po levé straně) a mapy signifikance (po pravé straně).

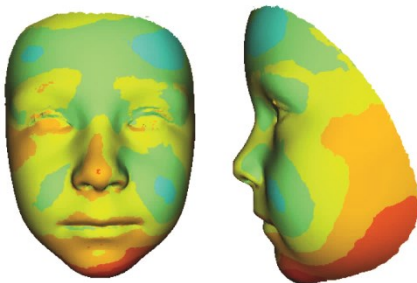
3 a 4 roky



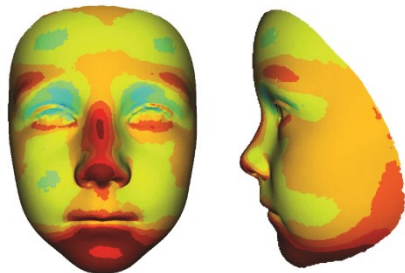
4 a 5 let



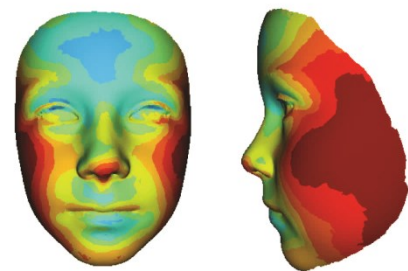
5 a 6 let



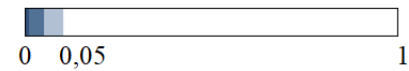
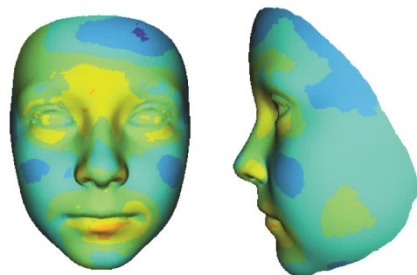
6 a 7 let



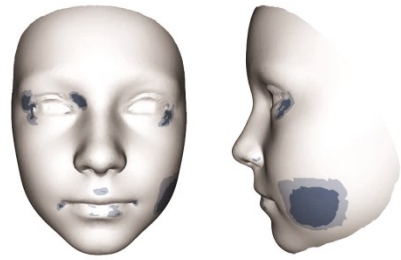
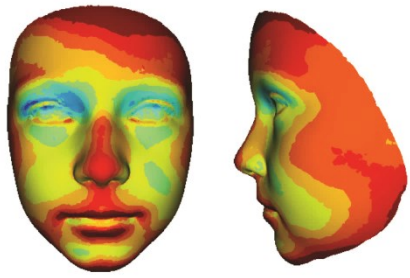
7 a 8 let



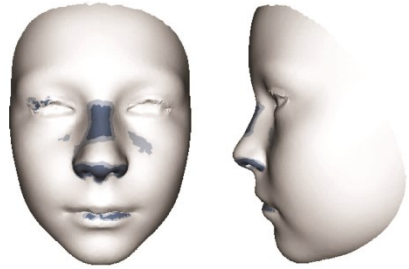
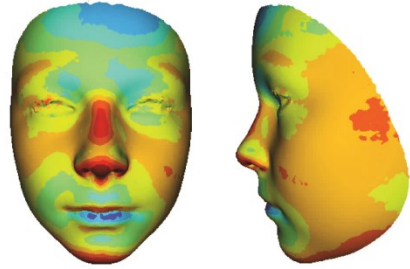
8 a 9 let



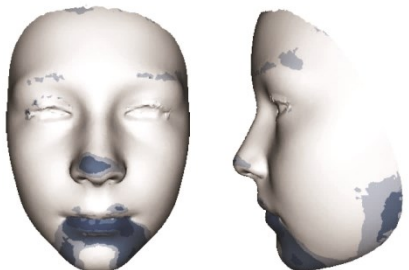
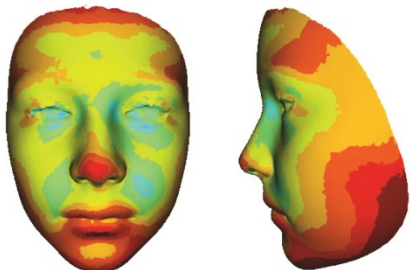
9 a 10 let



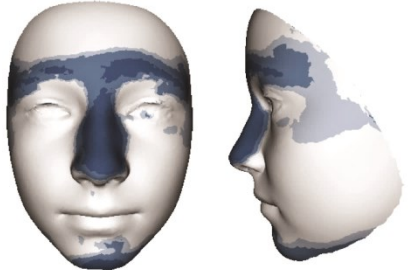
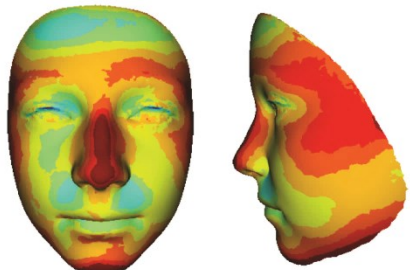
10 a 11 let



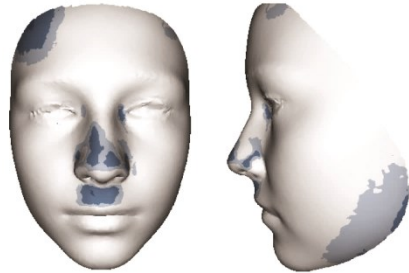
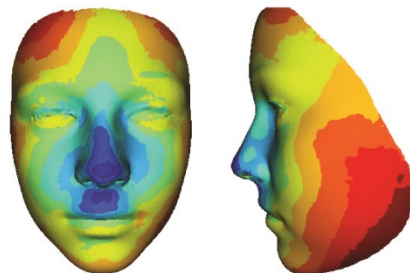
11 a 12 let



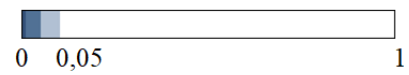
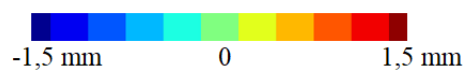
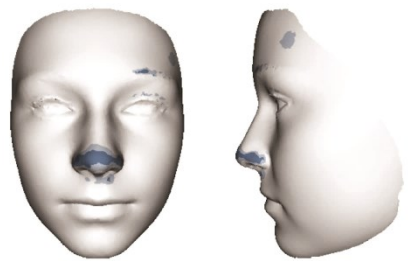
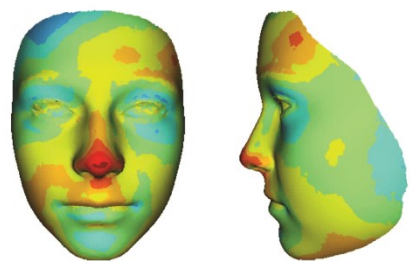
12 a 13 let



13 a 14 let



14 a 15 let



Na obrázcích č. 12 a 13 je zobrazeno porovnání tvarových rozdílů obličeje dívek ve věku od 3 do 15 let. Při pohledu na řadu barevných map převažují zelené odstíny zvýrazňující oblasti, které zůstávají stejné. Pozitivní rozdíly tvaru sledujeme ve všech věkových kategoriích, mezi statisticky významné řadíme rozdíly v oblasti brady mezi 3 a 4 lety, na hřebeni a hrotu nosu mezi 4 a 5 lety, oblast brady a nosu mezi 6 a 7 lety, tváří mezi 7 a 8 lety a oblasti nosu mezi 12 a 13 lety a 14 a 15 lety.

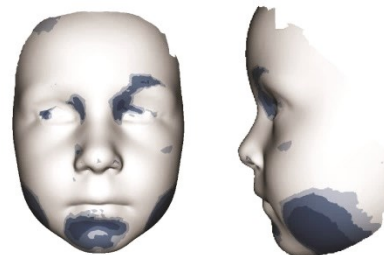
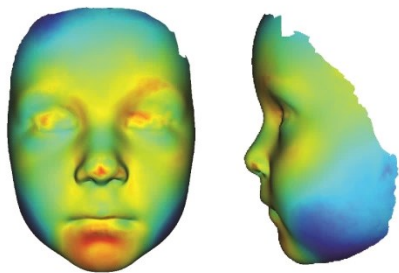
Stejně jako u chlapců jsou oblasti, ve kterých sledujeme negativní rozdíly tvaru, shledávány za nejzrůslehlejší statisticky signifikantní plochy. Při porovnání věkových kategorií od 3 do 8 let můžeme sledovat místy statisticky signifikantní ústup a zužování čela. Také dochází ke statisticky významnému oplošťování tváří mezi 4 a 5 lety, 6 a 7 lety 12 a 13 lety. Mezi 13 a 14 lety sledujeme statisticky signifikantní negativní rozdíl ve tvaru centrální části obličeje, zde se jedná o výše zmíněnou extrémní velikost centrální části obličeje u 13 letých dívek, ukazuje se tedy, že zde má významnou roli i tvar.

Tvarové rozdíly v morfologii obličeje dívek jsou nepravidelné a nenavazují na sebe. U opravdového růstu předpokládáme návaznost a pravidelnost změn, proto je hodnocení věkových rozdílů formy na základě po sobě jdoucích věkových kategorií nevhodné. Variabilita transverzálního souboru je příliš vysoká.

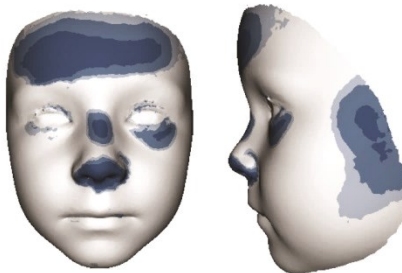
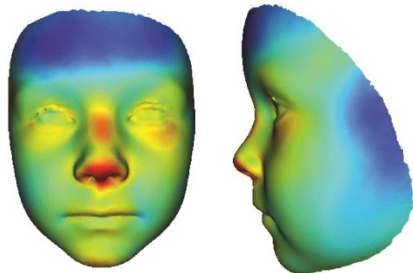
Obr. 12: Barevné mapy vizualizující rozdíly tvaru u dívek transverzálního souboru ve věku od 3 do 9 let (po levé straně) a mapy signifikance (po pravé straně).

Obr. 13: Barevné mapy vizualizující rozdíly tvaru u dívek transverzálního souboru ve věku od 9 do 15 let (po levé straně) a mapy signifikance (po pravé straně).

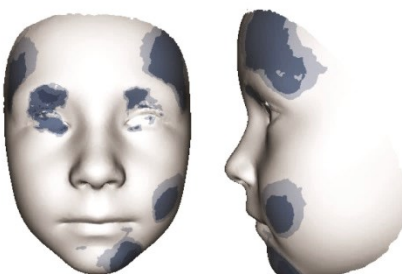
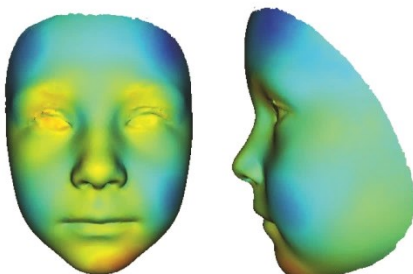
3 a 4 roky



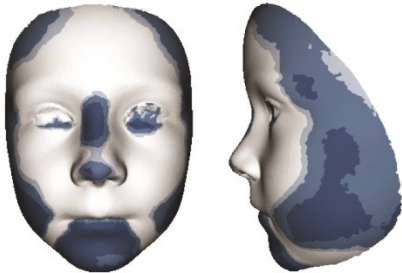
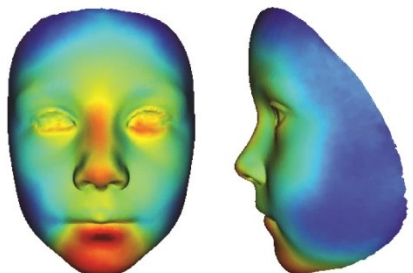
4 a 5 let



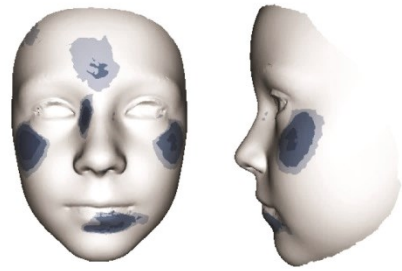
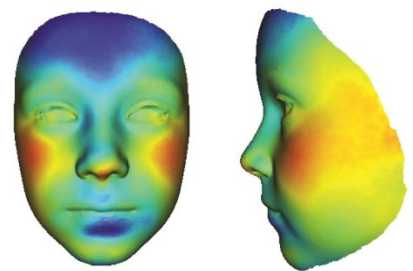
5 a 6 let



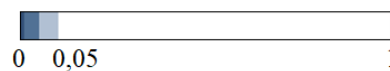
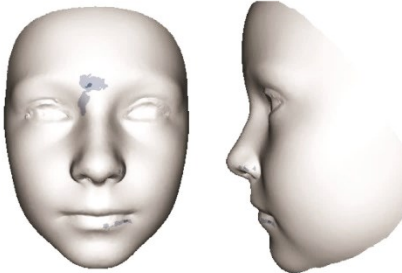
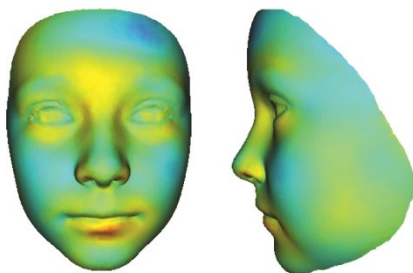
6 a 7 let



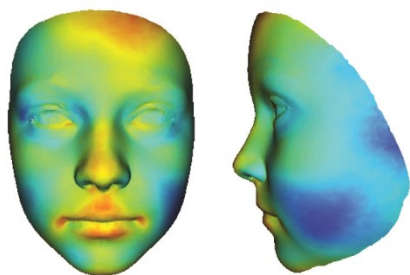
7 a 8 let



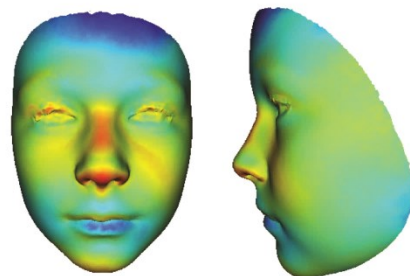
8 a 9 let



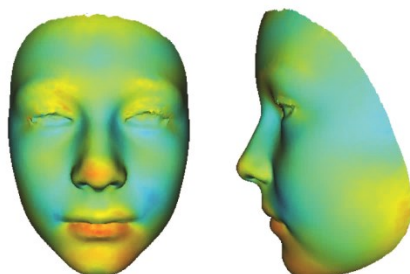
9 a 10 let



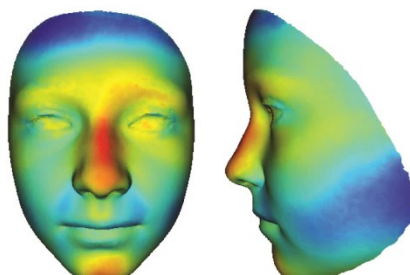
10 a 11 let



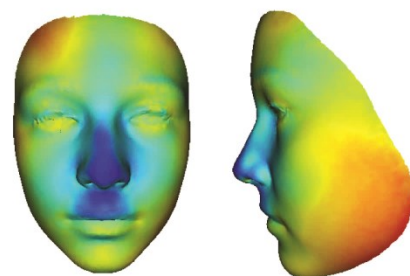
11 a 12 let



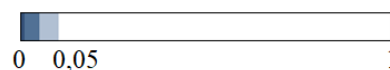
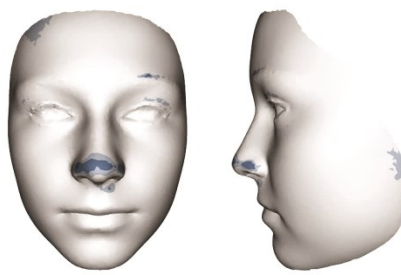
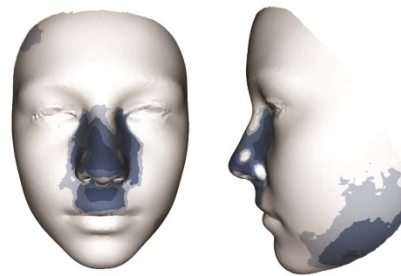
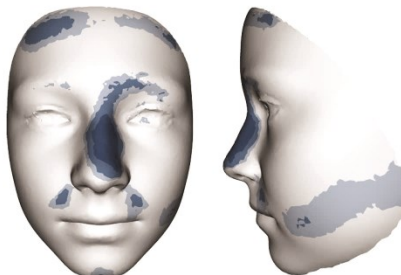
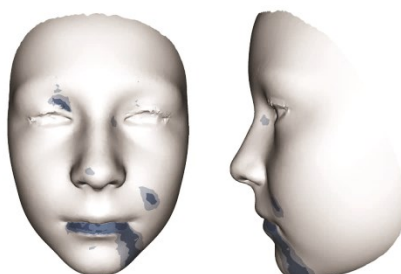
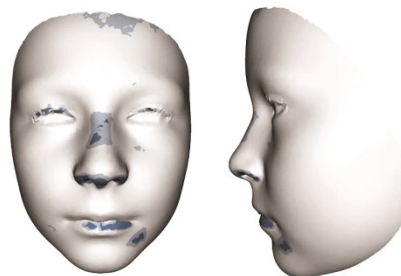
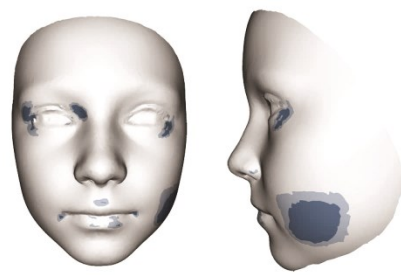
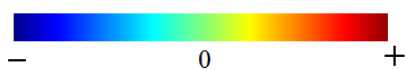
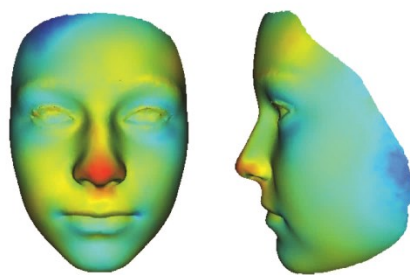
12 a 13 let



13 a 14 let



14 a 15 let



6.1.2. Hodnocení rozdílů formy a tvaru od 3 do 15 let s využitím širších intervalů

Tato podkapitola se věnuje hodnocení rozdílů formy a tvaru u chlapců a dívek za využití širších věkových kategorií. Věkové intervaly transverzálních dat byly tvořeny s ohledem na longitudinální data, která byla k dispozici. Díky využití širších intervalů bylo dosaženo vyššího počtu jedinců v porovnávaných skupinách. Porovnány byly následující věkové kategorie: 3letí jedinci; 5 až 7letí jedinci, jejichž věkový průměr byl 6 let; 8 až 10letí, věkový průměr 9 let; 11 až 13letí, věkový průměr 12 let; 15letí jedinci. Věkové kategorie 3letých a 15letých obsahovaly méně jedinců.

K vizualizaci jsou využity superprojekční mapy a mapy signifikance, hodnocení je shodné jako u předcházející podkapitoly (6.1.1. Hodnocení změn formy a tvaru od 3 do 15 let po ročních intervalech). Pro hodnocení formy byla nastavena škála v intervalu od -4 mm do 4 mm, při využití 16 odstínů barev (rozdíl odpovídá 0,5 mm). Pro hodnocení tvaru byla nastavena škála od -0,03 do 0,03 a 1000 odstínů barev.

6.1.2.1. Hodnocení rozdílů formy a tvaru 3 a 6letých chlapců

Superprojekční mapa ukazuje rozdíly ve formě morfologie obličeje mezi věkovými kategoriemi 3letých a průměrných 6letých chlapců transverzálního souboru (Obr. 14). Dále bude průměrná věková kategorie nazývána jen svým průměrným věkem. Oblasti zabarvené zelenou barvou, v okolí očí a čela, nevykazují věkové rozdíly. Modré oblasti vykazující negativní rozdíly formy se vyskytují pouze na některých částech čela a v oblasti horních víček. Ve škálách teplých barev, od žluté po červenou, sledujeme pozitivní rozdíly ve formě v krajině brady, na laterální ploše tváří, spánků a na hrotu nosu. Nejintenzivnější rozdíly sledujeme v dolní části bradové krajiny a na hrotu nosu.

U 6letých jedinců pozorujeme trendy naznačující oplošťování čela, intenzivní prodlužování a v menší míře rozšiřování obličeje, také dochází ke zvětšení prominence nosu se zvyšujícím se věkem.

V laterálních oblastech čela a oblastech nadočnicových oblouků sledujeme známky rozdílů ve formě v rozmezí od 0,5 mm do 2,5 mm, tyto rozdíly vykazují statistickou signifikanci. Frontální oblast krajiny čelní z větší míry nevykazuje žádné rozdíly až na lokální ostrůvky, kde dochází k redukci formy o -0,5 mm.

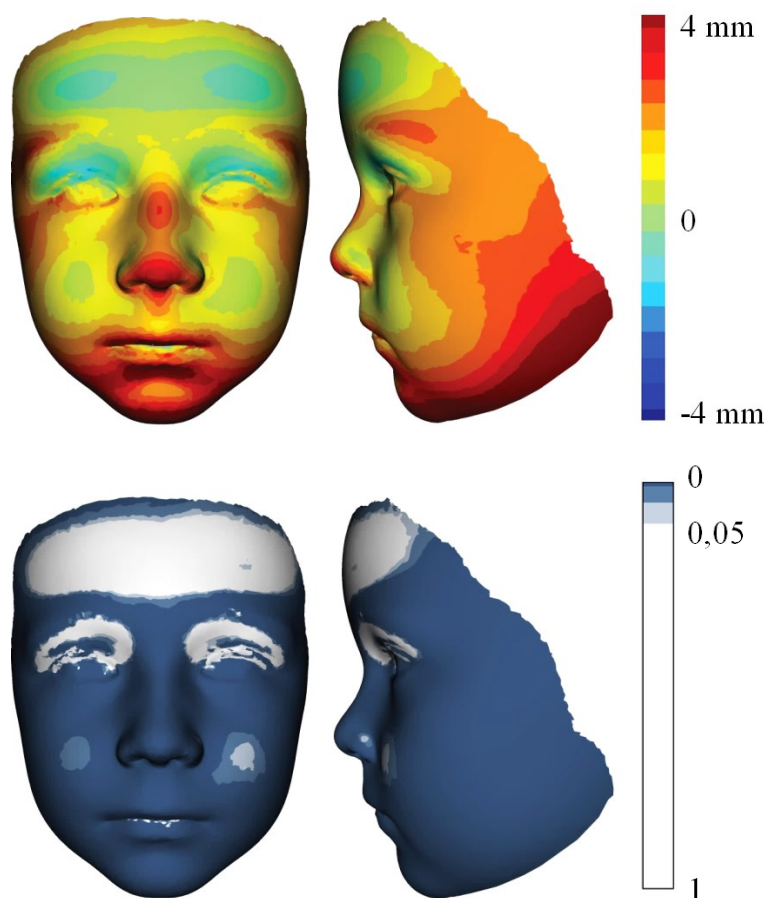
Rozdíly ve formě v krajině oční jsou statisticky významné, a to konkrétně v oblastech horního očního víčka, kde dochází k redukci velikosti až o -1 mm, a v oblastech dolního víčka, u kterého sledujeme rozdíl ve velikosti až 2 mm.

Jedno z míst s nejintenzivnějším pozitivním rozdílem u 3letých a 6letých chlapců je oblast hrotu nosu. Sledujeme signifikantně významný rozdíl ve smyslu zvětšení prominence až o 3,5 mm. Také hřbet nosu signifikantně zvyšuje svou prominenci v intervalu od 2 do 3 mm. Oblast glabely zaznamenává statisticky významný rozdíl až o 1 mm.

V krajině horního rtu sledujeme statisticky významné rozdíly v rozmezí od 1 mm do 1,5 mm, červec horního rtu se posouvá směrem dolů až o 4 mm, stejně tak spodní část dolního rtu.

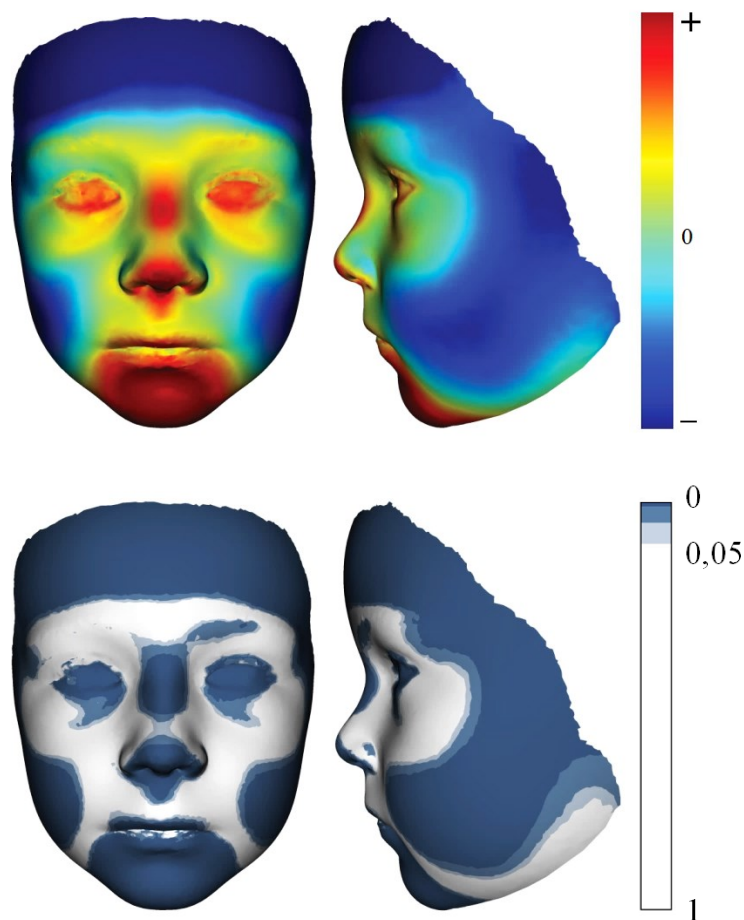
V krajině brady dochází k významným statistickým rozdílům ve velikosti. Sledované rozdíly mají velikost v intervalu od 2,5 až 4 mm, největší posun je zaznamenán kaudálním směrem.

Statisticky významný rozdíl sledujeme i na laterálních plochách tváří. V jejich dolní části pozorujeme větší rozdíl ve formě (2,5 – 3,5 mm) plynule navazující na rozdíly v oblasti brady, tyto rozdíly odpovídají růstu dolní čelisti. Přední plochy tváří se zvětšují pouze o 0,5 až 1,5 mm, statistická signifikance těchto rozdílů ve formě je menší.



Obr. 14: Barevná mapa vizualizující rozdíly ve formě obličeje u chlapců mezi věkovými kategoriemi 3letých a průměrných 6letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

Tvarové rozdíly obličeje u transversálního souboru chlapců mezi 3 lety a průměrnými 6 lety můžeme sledovat na obrázku č. 15. Pozitivní rozdíly v tvaru pozorujeme v oční krajině, nadočnicových obloucích, oblasti nosu, rtů a nejintenzivnější rozdíl je sledován v bradové krajině. Intenzivní negativní tvarové rozdíly byly zaznamenány v krajině čelní a přecházejí do oblasti tváří. Oblasti statisticky významných rozdílů tvaru jsou následující: krajina čela přecházející laterálně do krajiny tváří, oblast očí, hřbet nosu, hrot nosu a rty s bradou.

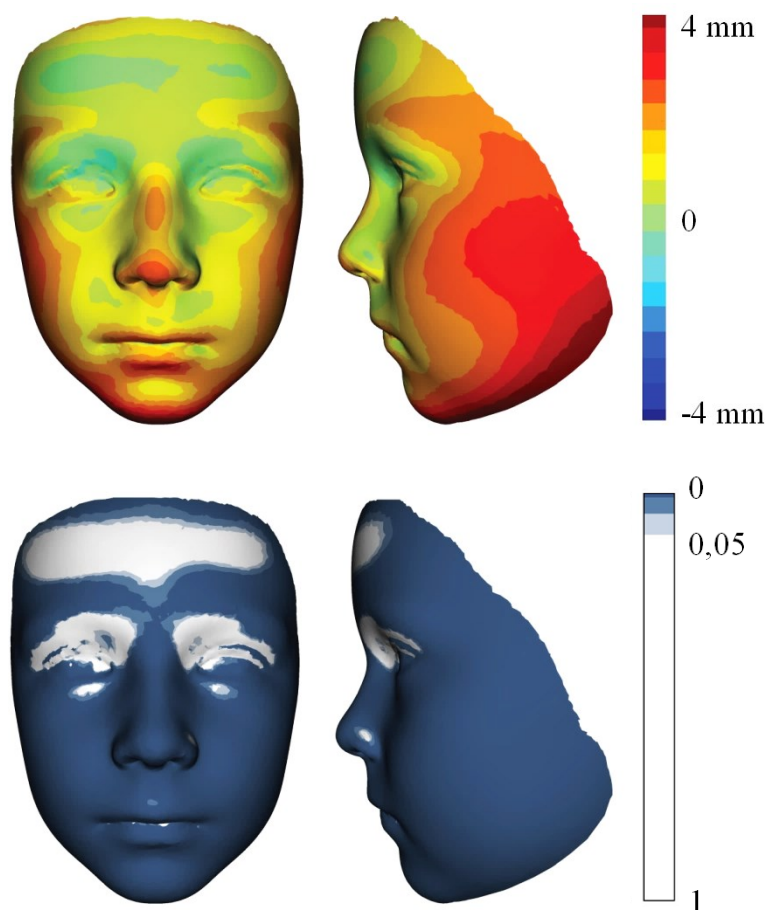


Obr. 15: Barevná mapa vizualizující rozdíly v tvaru obličeje u chlapců mezi věkovými kategoriemi 3letých a průměrných 6letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

6.1.2.2. Hodnocení rozdílů formy a tvaru 6 a 9letých chlapců

Obrázek č. 16 popisuje rozdíly velikosti směrem kolmo na povrch u transversálního souboru chlapců mezi průměrnými věkovými kategoriemi 6letých a 9letých jedinců. Dále budou průměrné věkové kategorie nazývány jen svým průměrným věkem. U zeleně zabarvených oblastí nesledujeme žádný rozdíl ve velikosti, to znamená, že u 9letých chlapců zůstává velikost krajiny čela, nadočnicových oblouků a očí stejná jako u 6letých.

V oblasti studených odstínů barev popisujících retruzi sledujeme rozdíl pouze ve frontální oblasti čela a horních víček očí. Místa zabarvené do odstínů teplých barev, které zaznamenávají pozitivní rozdíly formy, jsou pozorována na krajině tváří a spánků, oblasti nosu a v bradové krajině, kde dochází k nejintenzivnějším rozdílům.



Obr. 16: Barevná mapa vizualizující rozdíly ve formě obličeje u chlapců mezi věkovými kategoriemi průměrných 6letých a průměrných 9letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

U 9letých chlapců pozorujeme mírné oplošťování čela a intenzivní prodlužování a rozšiřování obličeje. Také stále dochází ke zvětšování prominence nosu. Tyto rozdíly navazují na situaci sledovanou v porovnání 3letých a průměrných 6letých chlapců.

Laterální oblasti čela a laterální oblasti nadočnicových oblouků statisticky významně zvětšily svou velikost o 1 až 2 mm. Pozorované oplošťování frontální části čela a mediálních oblastí nadočnicových oblouků se pohybuje v rozmezí -0,5 až 0 mm, tyto rozdíly nejsou signifikantní.

Rozdíly sledované v krajině oční jsou statisticky významné pouze v oblasti dolních očních víček, kde dochází k rozdílu ve velikosti až o 1,5 mm. V menší míře dochází

k redukci velikosti v oblasti horních víček (až o -0,5 mm), místy se jedná o signifikantní změnu.

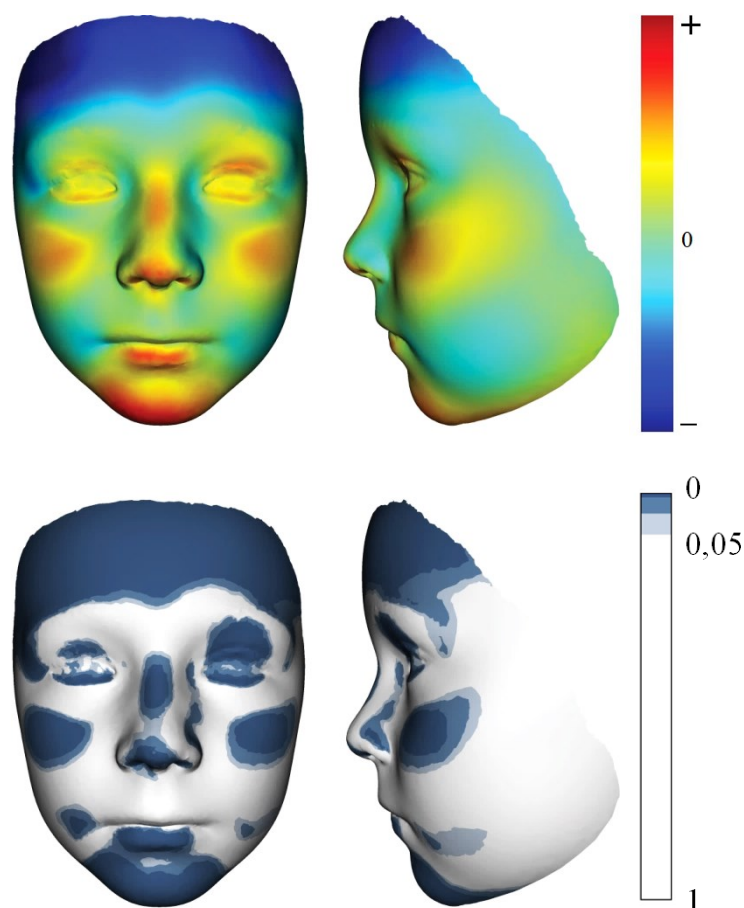
V 9 letech stále pozorujeme statisticky významný rozdíl v prominenci nosu, rozdíl je však o 1 mm menší než u porovnání 3letých a 6letých chlapců. V oblasti hřebene a hrotu nosu je zaznamenán rozdíl ve velikosti od 1 do 2,5 mm, kdy maximální rozdíl sledujeme pouze na hrotu nosu.

Horní ret vykazuje signifikantní rozdíly v rozmezí od 0,5 do 1 mm, oblast červeně horního rtu dokonce rozdíl až 2,5 mm kaudálním směrem. Stejně statisticky významné rozdíly jsou sledovány i u dolního rtu.

Velikostní rozdíly sledované v krajině brady patří v této kategorii k nejrozsáhlejším. Kaudálním směrem dochází ke zvětšení až o 4 mm a v celé oblasti se jedná o statisticky významné rozdíly.

Na rozdíly probíhající v oblasti brady navazují signifikantní velikostní rozdíly laterální plochy tváří v rozmezí 2 až 4 mm. Frontální oblast tváří se zvětšuje pouze o 0,5 až 1 mm, jedná se o statisticky významné rozdíly.

V další části budou popsány tvarové rozdíly u transversálního souboru chlapců mezi průměrnými věkovými kategoriemi 6letých a 9letých jedinců (Obr. 17). Pozitivní tvarové rozdíly jsou sledovány ve frontální části tváří, na hřebeni a hrotu nosu, v oblasti očí (nejvíce u horních a dolních víček) a k nejintenzivnějším rozdílům dochází v oblasti dolního rtu a brady. Popsané pozitivní tvarové rozdíly jsou statisticky významné. Dochází také k signifikantnímu mírnému oplošťování v některých oblastech tváří a k statisticky významnému ustupování krajiny čelní.



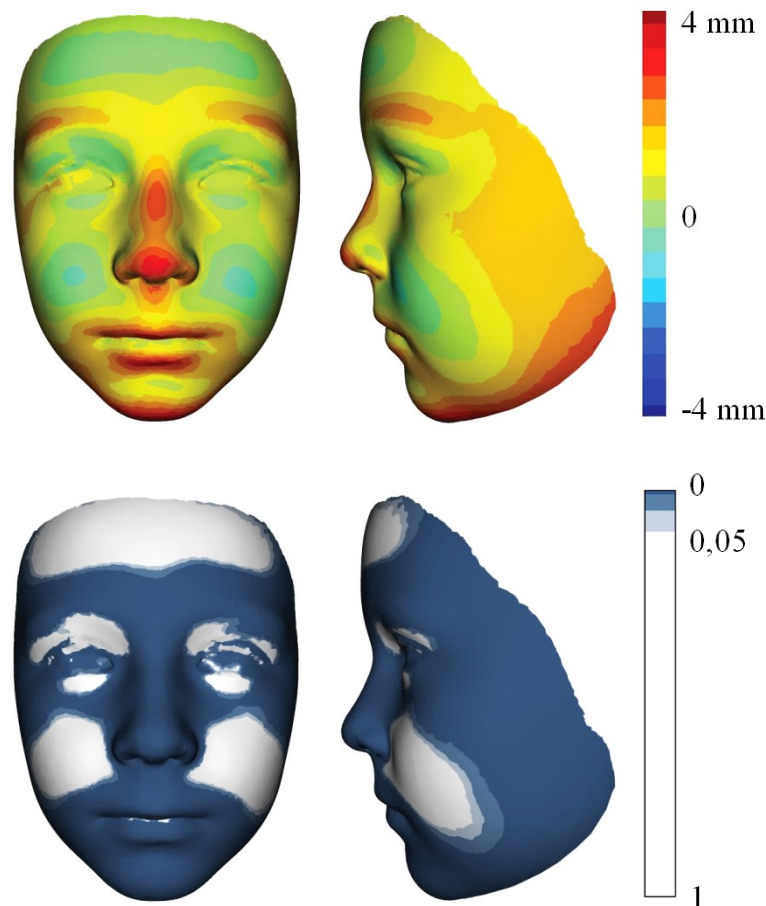
Obr. 17: Barevná mapa vizualizující změny tvaru obličeje u chlapců mezi věkovými kategoriemi průměrných 6letých a průměrných 9letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

6.1.2.3. Hodnocení změn formy a tvaru 9 a 12letých chlapců

Na superprojekčních mapách hodnotící formu (Obr. 18) sledujeme porovnání transverzálního souboru chlapců v průměrných věkových kategoriích 9letých a 12letých jedinců. Dále budou průměrné věkové kategorie nazývány jen svým průměrným věkem.

U 12letých jedinců nepozorujeme žádnou změnu ve velikosti v krajině čela, očí a předních plochách tváří. V tomto věku také dochází k retruzi, a to v oblastech přední plochy tváří. Protruzi je možné sledovat na hřbetu a hrotu nosu, dále v čelní krajině přes nadočnicové oblouky do laterální plochy tváří a v krajině brady a úst.

U 12letých chlapců sledujeme mírné oplošťování tváří, nadále se prodlužuje a mírně rozšiřuje obličej. Pokračuje také zvětšování prominence nosu. Rozdíly ve velikosti navazují na rozdíly popsané při porovnání průměrných 6letých a průměrných 9letých chlapců.



Obr. 18: Barevná mapa vizualizující změny formy obličeje u chlapců mezi věkovými kategoriemi průměrných 9letých a průměrných 12letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

Ve 12 letech se krajina čela již nemění. Pozorujeme statisticky významné zvětšování o 1 až 2 mm v oblasti nadočnicových oblouků.

Ustaluje se také velikost horních a dolních očních víček, kde nedochází k žádným statisticky významným rozdílům.

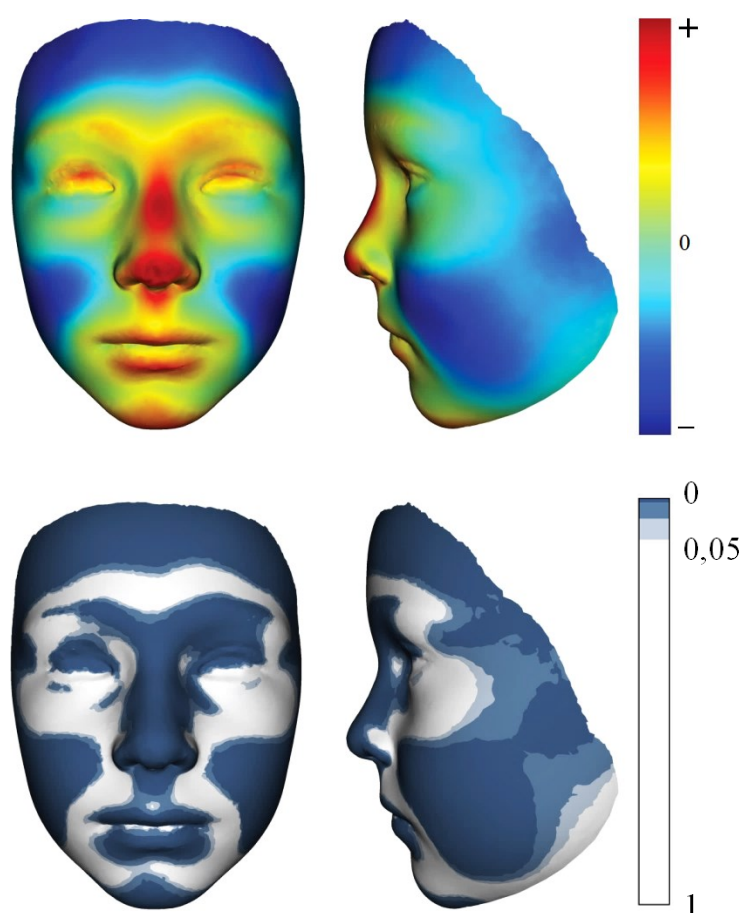
Nadále pokračuje statisticky významné zvětšování prominence nosu u starších jedinců. Na hřbetě a hrotu nosu je sledovaný rozdíl v rozmezí 2 až 2,5 mm.

U starších jedinců sledujeme v oblasti horního rtu signifikantní rozdíly v rozmezí od 0 mm do 1 mm. V oblasti červeně horního rtu je zaznamenán rozdíl kaudálním směrem až o 2,5 mm. Oblast červeně dolního rtu se signifikantně zvětšuje o 1 mm a u dolního rtu je zaznamenán rozdíl v rozmezí od 1,5 mm do 2,5 mm.

Krajina brady je stále oblastí, ve které dochází u starších jedinců k nejrozsáhlejším a nejintenzivnějším rozdílům. Sledovaný rozdíl má statistickou významnost. V kaudálním směru je pozorován rozdíl o velikosti až 3,5 mm.

Na přední ploše tváří je sledován rozdíl v rozmezí od -0,5 do 0,5 mm. U 12 letých chlapců zde dochází k mírné retruzi, nejedná se o statisticky významný rozdíl. V oblasti laterální plochy tváří je sledován signifikantní rozdíl od 1 mm do 2 mm, kdy větší rozdíl sledujeme v kaudální části.

Porovnání tvarových rozdílů u chlapců transverzálního souboru v průměrných věkových kategoriích 9letých a 12letých jedinců jsou zobrazeny na obrázku č.Obr. 19. Pozitivní tvarové rozdíly pozorujeme v oblasti nadočnicových oblouků, rtů a brady. Nejintenzivnější rozdíl sledujeme v oblasti nosu. Popsané pozitivní rozdíly jsou statisticky významné. Je zaznamenáno statisticky významné oplošťování krajiny čelní a tváří.



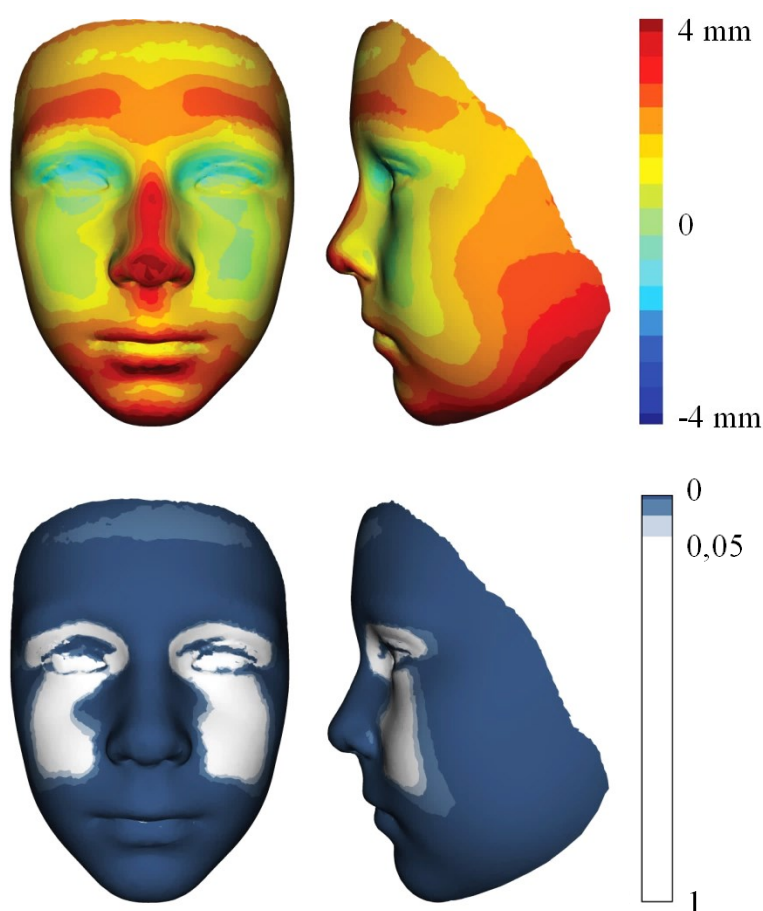
Obr. 19: Barevná mapa vizualizující změny tvaru obličeje u chlapců mezi věkovými kategoriemi průměrných 9letých a průměrných 12letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

6.1.2.4. Hodnocení změn formy a tvaru 12 a 15letých chlapců

Superprojekční mapa zobrazuje rozdíly formy u chlapců transverzálního souboru průměrných 12letých jedinců a 15letých jedinců (Obr. 20). Dále bude průměrná věková

kategorie nazývána jen svým průměrným věkem. K retruzi u 15letých chlapců dochází pouze v oblastech horních víček. U starších jedinců není pozorován velikostní rozdíl na některých menších místech v oblastech tváří a dolních víček, velikost je shodná s povrchem obličejů 12letých chlapců. Pozitivní rozdíly ve formě můžeme sledovat ve všech zbylých oblastech: čelo, nadočnicové oblouky, laterální plocha tváří, nos, ústa, krajina brady.

V 15 letech je pozorováno intenzivní prodlužování a rozšiřování obličeje. K méně výrazným rozdílům dochází v oblasti tváří. K největšímu sledovanému rozdílu v prominenci nosu za celé sledované věkové období dochází u chlapců právě v 15 letech.



Obr. 20: Barevná mapa vizualizující změny formy obličeje u chlapců mezi věkovými kategoriemi průměrných 12letých a 15letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

Můžeme sledovat, že u 15letých jedinců dochází k výraznému zvětšení oblasti čela a hlavně nadočnicových oblouků. Tyto rozdíly jsou statisticky významné a pohybují se v rozmezí od 1 mm do 2,5 mm.

V oblasti očí nedochází u starších jedinců k extrémním rozdílům. Pouze horní víčka vykazují statisticky významný rozdíl ve velikosti o -1 mm, ostatní rozdíly postrádají statistickou významnost a pohybují se v intervalu od -1 do 0,5 mm.

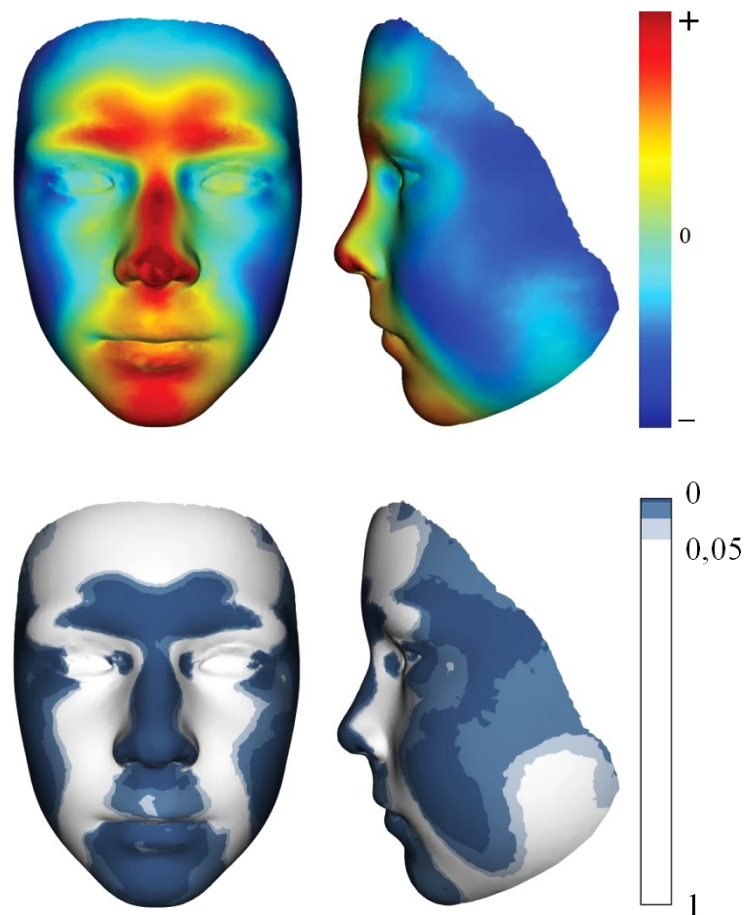
V oblasti nosu sledujeme u 15letých chlapců signifikantní rozdíly, a to konkrétně na hřbetu nosu v rozmezí od 2 až 3,5 mm a na hrotu nosu od 3 po 4 mm.

U horního rtu sledujeme statisticky významný rozdíl v prominenci v intervalu od 1 do 3 mm. Extrémy sledujeme v oblasti *philtrum* a u červeně horního rtu (rozdíl kaudálním směrem). V oblasti červeně dolního rtu je zobrazen statisticky významný rozdíl o 1 mm a v krajně dolního rtu pozorujeme signifikantní rozdíl v intervalu od 2,5 mm do 4 mm.

U starších jedinců můžeme podél celé dolní čelisti sledovat statisticky výrazné rozdíly ve velikosti až do 4 mm.

Oblast předních ploch tváří se zvětšuje v rozmezí od 0 do 1 mm, tyto rozdíly nemají statistickou významnost. Laterální plocha tváří se statisticky významně zvětšuje o 1,5 až 3,5 mm.

Porovnání tvarových rozdílů mezi průměrnými 12letými jedinci a 15letými jedinci je zaznamenáno na obrázku č. 21. Pozitivní tvarové rozdíly sledujeme u starších jedinců v mediální části čela a nadočnicových oblouků, v krajně brady a úst. Největší pozitivní tvarové rozdíly pozorujeme v oblasti nosu. Popsané pozitivní tvarové rozdíly jsou statisticky významné. Ke statisticky významným negativním rozdílům ve tvaru dochází v oblastech spánků a laterálních plochách tváří.

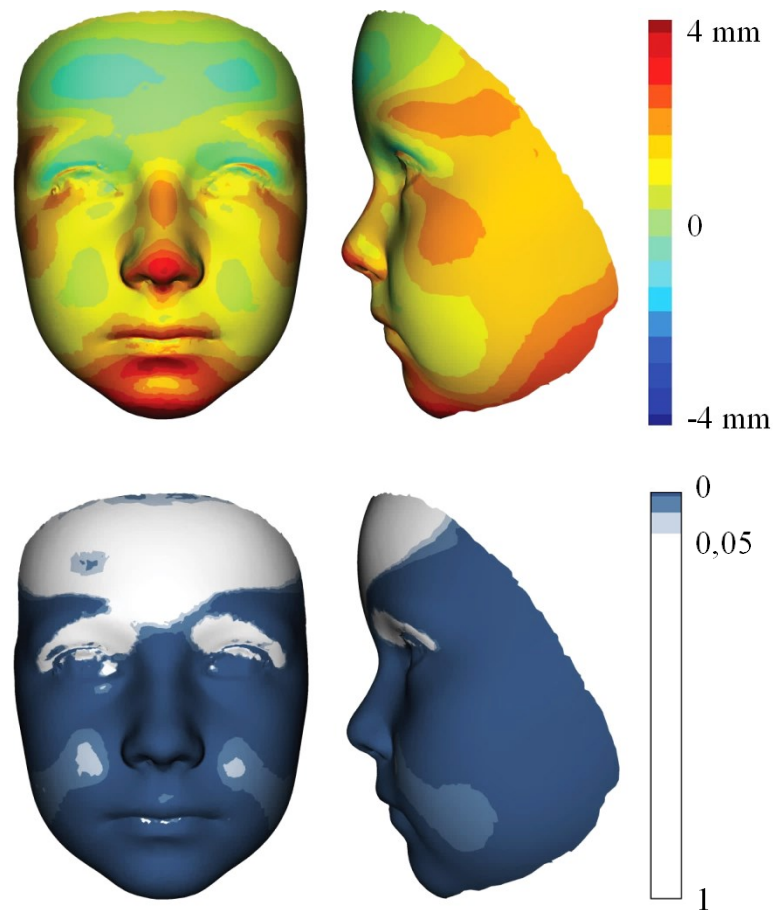


Obr. 21: Barevná mapa vizualizující změny tvaru obličeje u chlapců mezi věkovými kategoriemi průměrných 12letých a 15 letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

6.1.2.5. Hodnocení změn formy a tvaru 3 a 6letých dívek

Na superprojekční mapě můžeme sledovat rozdíly ve formě obličeje dívek transverzálního souboru (Obr. 22). Rozdíly jsou pozorovány mezi věkovými kategoriemi 3letých a průměrných 6letých jedinců. Dále bude průměrná věková kategorie nazývána jen svým průměrným věkem. U starších jedinců došlo k retruzi v oblasti čela a horních víček. Oblasti se stejnou velikostí u obou kategorií jsou krajina čelní a oblast očí, dále také krajina tváří. U 6letých dívek došlo k protruzi v oblastech spánků, tváří, nosu a krajíně brady. K nejintenzivnějším pozitivním rozdílům dochází v oblasti hrotu nosu a v kaudální části bradové krajiny.

U 6letých dívek sledujeme zvětšování prominence nosu, výrazné prodlužování a v menší míře rozšiřování obličeje, také pozorujeme oplošťování čela.



Obr. 22: Barevná mapa vizualizující změny formy obličeje u dívek mezi věkovými kategoriemi 3 letých a průměrných 6letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

Ve frontální oblasti krajiny čelní dochází u 6letých dívek ke zvětšování povrchu v intervalu od -0,5 do 0,5 mm. Tyto rozdíly postrádají statistickou významnost. Ovšem u laterálních stran krajiny čelní a v oblasti nadočnicových oblouků můžeme sledovat statisticky významné rozdíly, a to v intervalu 0,5 až 2 mm.

U 6letých dívek můžeme sledovat statisticky významné rozdíly v oblasti dolních víček, kde dochází ke zvětšení povrchu od 0,5 do 2 mm. U horních víček je zobrazen statisticky nevýznamný rozdíl ve velikosti v rozmezí od -0,5 do 1 mm.

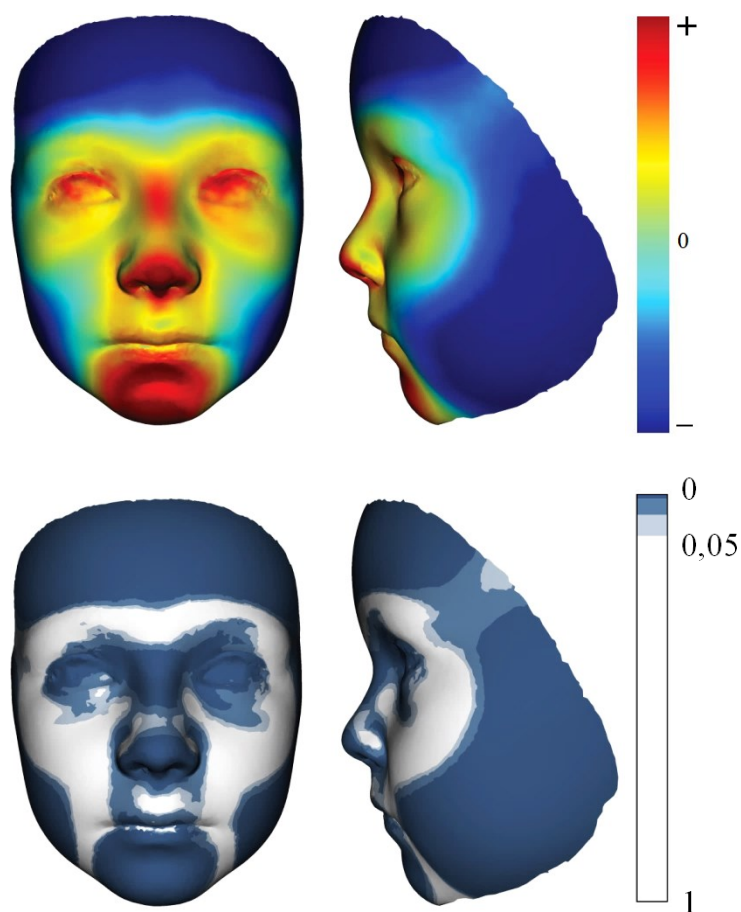
Krajina nosu je oblastí, kde dochází u 6letých dívek k signifikantním rozdílům. Na hřbetu nosu sledujeme zvětšování až o 2 mm a na hrotu nosu dokonce až o 3,5 mm.

V oblasti horního rtu 6letých dívek jsou zaznamenány statisticky významné rozdíly v intervalu od 0,5 mm do 1,5 mm. Červeně horního rtu se posouvá kaudálním směrem až o 3 mm. U červeně dolního rtu sledujeme rozdíl ve velikosti až 2 mm, opět v kaudálním směru. A u dolního rtu pozorujeme statisticky významné rozdíly ve velikosti do 3,5 mm.

V krajině brady dochází u dívek v 6 letech, stejně jako u chlapců, k signifikantním rozdílům ve velikosti. Můžeme pozorovat rozdíly orientované převážně v kaudálním směru v intervalu od 1,5 mm do 4 mm.

Ke statisticky významným rozdílům dochází i v laterální ploše tváří, kde se rozdíly ve velikosti pohybují v rozmezí od 1 do 2 mm. Tyto rozdíly plynule navazují na rozdíly v bradové krajině a odpovídají růstu dolní čelisti. Na přední ploše tváří sledujeme rozdíly ve velikosti pouze od 0,5 do 1 mm, statistická významnost je nižší.

Porovnání tvarových rozdílů obličeje dívek transverzálního souboru ve věku 3 let a průměrném věku 6 let je zobrazeno na obrázku č. 23. K pozitivním tvarovým rozdílům dochází v oblasti očí, nosu, úst a brady, tyto rozdíly jsou statisticky signifikantní. Výrazné a statisticky významné negativní tvarové rozdíly jsou sledovány v oblasti čela a postupně přechází do tváří.

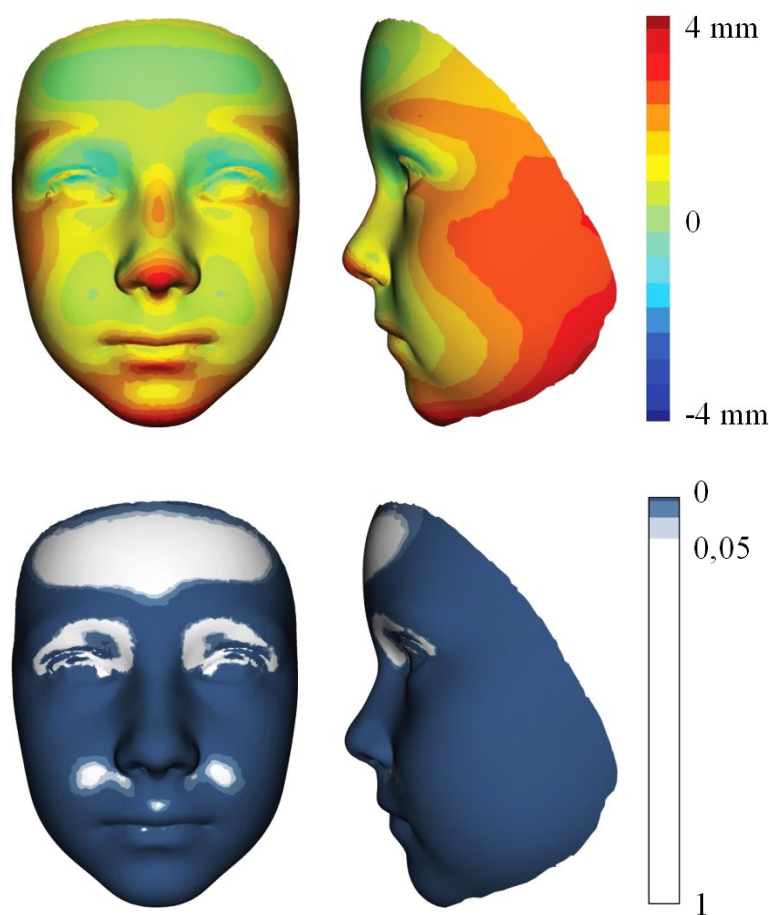


Obr. 23: Barevná mapa vizualizující změny tvaru obličeje u dívek mezi věkovými kategoriemi 3 letých a průměrných 6letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

6.1.2.6. Hodnocení změn formy a tvaru 6 a 9letých dívek

Na obrázku č. 24 můžeme vidět velikostní rozdíly obličejů dívek transverzálního souboru zobrazené díky superprojekční mapě. Je vizualizováno porovnání průměrných věkových kategorií 6letých a 9letých dívek. Dále budou průměrné věkové kategorie nazývány jen svým průměrným věkem. U starších jedinců pozorujeme retruzi pouze v oblastech horních víček. U 9letých dívek nesledujeme žádné velikostní rozdíly ve frontální části čela a tváří. V oblastech tváří, nosu, brady dochází k protruzi.

Obličej 9letých dívek se intenzivně prodlužuje a rozšiřuje, také sledujeme, vzhledem k okolnímu růstu, mírné oplošťování čela. Změny navazují na situaci popsanou u předešlého porovnání 3letých a průměrných 6letých dívek.



Obr. 24: Barevná mapa vizualizující změny formy obličejů u dívek mezi věkovými kategoriemi průměrných 6letých a průměrných 9letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

Rozdíly ve velikosti obličejů 9letých dívek na přední části čela postrádají statistickou významnost, pohybují se v rozmezí od 0 do 1 mm. Zatímco na laterálních

stranách krajiny čelní můžeme sledovat statisticky významné rozdíly v intervalu od 1 mm do 2 mm.

Na horních víčkách je zaznamenán rozdíl v intervalu od -0,5 do 0 mm, oblasti v záporných hodnotách mají statistickou významnost. V krajině dolních víček sledujeme již statisticky významné rozdíly v rozmezí od 0,5 do 2 mm.

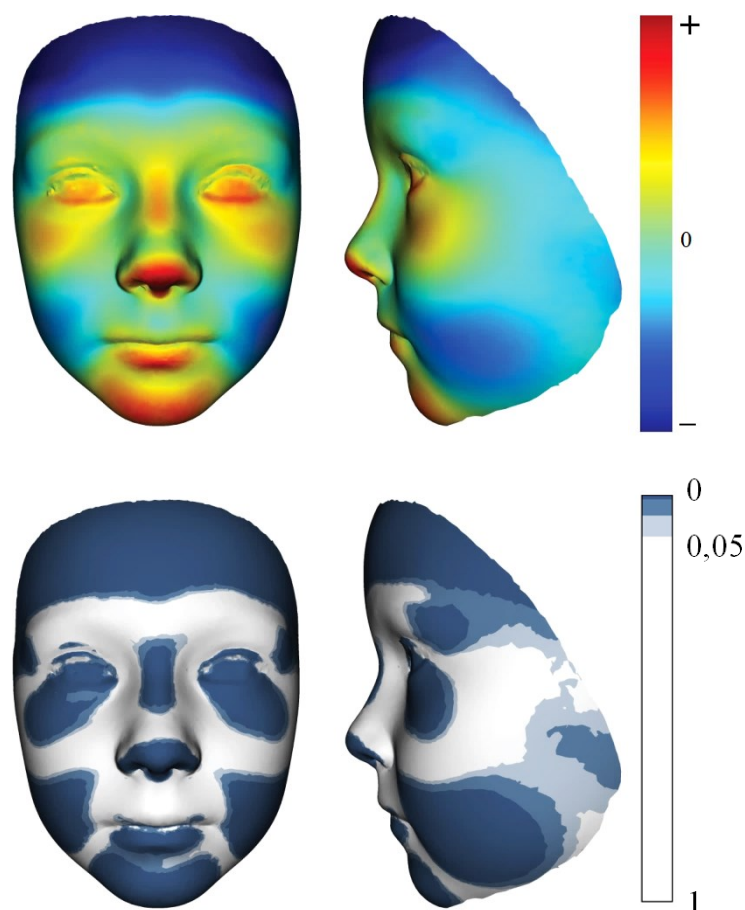
U 9letých dívek sledujeme statisticky významný rozdíl ve velikosti (1 - 2 mm) na hřbetě nosu. Na hrotu nosu je zaznamenán statisticky významný rozdíl ve velikosti až 3 mm (o 0,5 mm méně než u mladší věkové kategorie).

V krajině horního rtu sledujeme u 9letých dívek malé velikostní rozdíly v intervalu od 0,5 do 1 mm. Červeně horního rtu vykazuje signifikantní rozdíly ve velikosti v kaudálním směru do 2,5 mm. U červeně dolního rtu sledujeme statisticky významný rozdíl v rozmezí od 0,5 do 1,5 mm a dolní ret se signifikantně zvětšuje až do 3 mm.

Rozdíly sledované v krajině brady jsou statisticky významné a pohybují se v rozmezí od 1 do 4 mm, směr největší změny je u 9 letých dívek kaudální.

Na procesy, které probíhají v oblasti brady, navazují signifikantně výrazné rozdíly ve velikosti odehrávající se na laterální oblasti tváří. V těchto místech sledujeme rozdíl o velikosti až 3 mm. Na přední ploše tváří pozorujeme velikostní rozdíl v rozmezí od 0 až 1 mm. Z větší části se jedná o signifikantní rozdíly.

V následujícím odstavci budou popsány tvarové změny u obličeje dívek transverzálního souboru (Obr. 25). Porovnány byly průměrné věkové kategorie 6letých a 9letých dívek. Pozitivní tvarové rozdíly můžeme sledovat v oblastech očí, lící, hřbetu a hrotu nosu, dolního rtu a brady, jedná se o statisticky významné rozdíly. Nejintenzivnější pozitivní tvarový rozdíl je sledován v oblasti hrotu nosu. Dále můžeme pozorovat signifikantní ustupování čela a oplošťování dolní poloviny plochy tváří, opět se jedná o signifikantní rozdíly.



Obr. 25: Barevná mapa vizualizující změny tvaru obličeje u dívek mezi věkovými kategoriemi průměrných 6letých a průměrných 9letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

6.1.2.7. Hodnocení změn formy a tvaru 9 a 12letých dívek

Na superprojekčních mapách je zaznamenáno porovnání průměrných obličejů dívek transverzálního souboru v průměrném věku 9 a 12 let (Obr. 26). Dále budou průměrné věkové kategorie nazývány jen svým průměrným věkem. U dívek ve 12 letech dochází k retruzi jen na malé oblasti v krajině horních víček. Ke změně nedochází na malé oblasti předních ploch tváří a oblastí očí. Krajiny spánků, tváří, nosu a brady jsou oblasti, kde došlo k protruzi.

U dívek ve věku 12 let je zaznamenáno mírné oplošťování tváří, výrazně se zvyšuje prominence nosu a dochází k prodlužování a rozšiřování obličeje.

V krajině čela jsou zaznamenány nejvýraznější rozdíly v laterálních oblastech a také se zvětšují nadočnicové oblouky, rozdíl je signifikantní a pohybuje se v rozmezí od 1 do 2,5 mm. Na přední ploše čela pozorujeme jen minimální rozdíl v intervalu od 0 do 1 mm, rozdíl postrádá statistickou významnost.

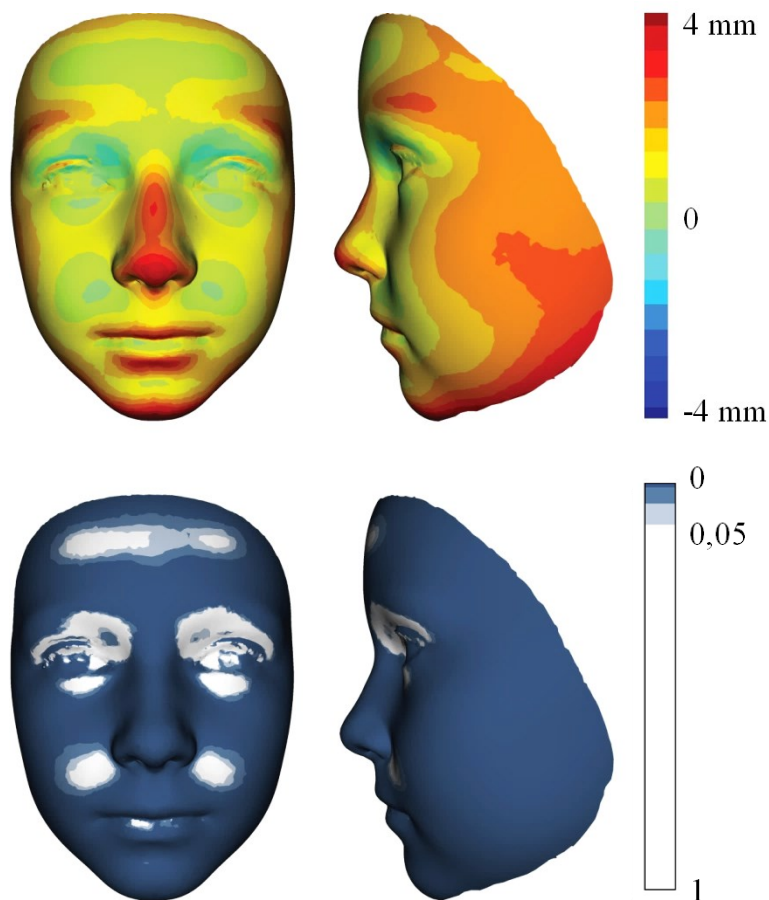
Ve 12 letech dochází k ustálení velikosti v oblasti horních a dolních víček, místy pozorujeme mírnou redukci (-0,5 mm).

U 12letých dívek sledujeme statisticky významné zvětšování prominence nosu. Na hřbetě nosu je sledován rozdíl ve velikosti až o 3 mm, zatímco na hrotu nosu se jedná až o 3,5 mm.

Krajina horního rtu se signifikantně zvětšuje o 1 až 1,5 mm, červec horního rtu o 2,5 mm kaudálním směrem. V oblasti červec dolního rtu sledujeme statisticky významný rozdíl ve velikosti mezi 0,5 až 1,5 mm. U dolního rtu je zaznamenán statisticky významný rozdíl v rozmezí od 1 do 3 mm.

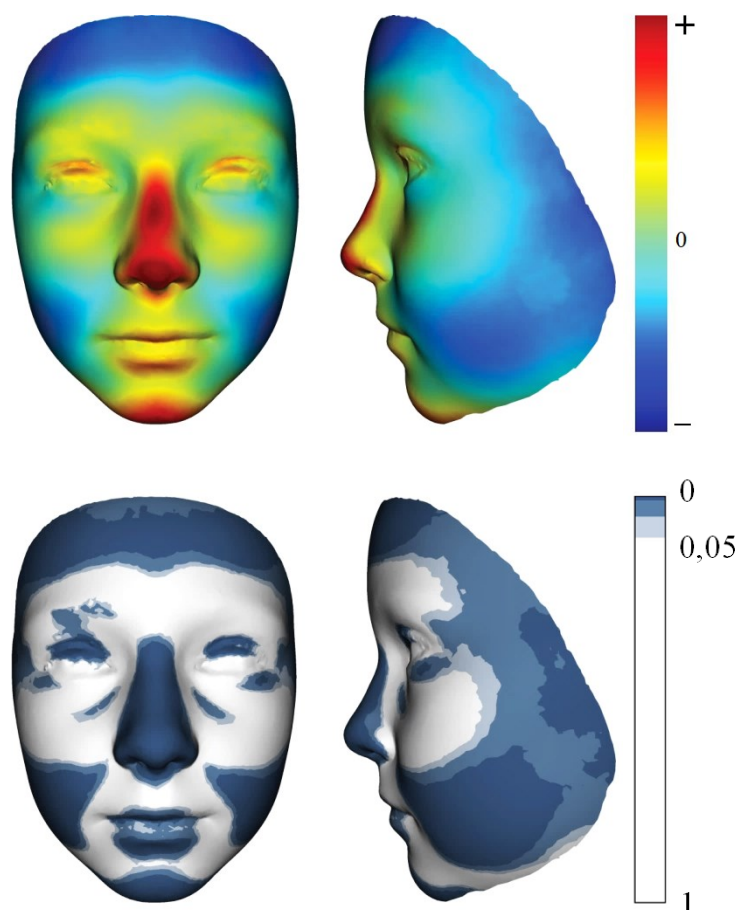
Bradová krajina je u starších jedinců opět shledána za jednu z nejrozsáhlejších oblastí intenzivních rozdílů. Dochází zde k statisticky významnému zvětšení v intervalu od 0,5 do 4 mm, největší rozdíl je sledován v kaudálním směru.

Přední plocha tváří se u dívek 12 let věku zvětšuje jen v rozmezí od 0 do 1 mm. Kromě míst, kde nedochází k žádnému rozdílu, jsou rozdíly ve velikosti statisticky signifikantní. V oblasti laterální plochy tváří je sledován signifikantní rozdíl od 1,5 mm do 3 mm, kdy větší rozdíl sledujeme v kaudální části.



Obr. 26: Barevná mapa vizualizující změny formy obličeje u dívek mezi věkovými kategoriemi průměrných 9letých a průměrných 12letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

Porovnání tvarových změn obličeje průměrných 9letých a 12letých dívek transverzálního souboru jedinců je zobrazeno na obrázku č. 27. Výrazné pozitivní rozdíly sledujeme na horních víčkách, bradě a k nejintenzivnějším rozdílům dochází na hřbetě a hrotu nosu. Pozorujeme ustupování čela a oplošťování tváří. Popsané rozdíly jsou statisticky významné.



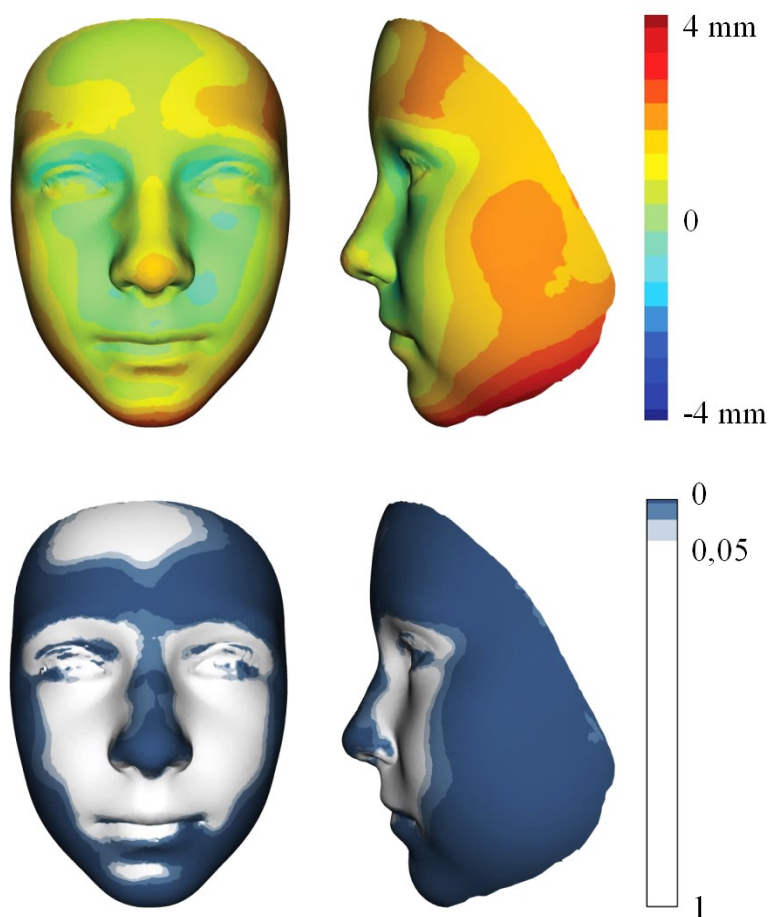
Obr. 27: Barevná mapa vizualizující změny tvaru obličeje u dívek mezi věkovými kategoriemi průměrných 9letých a průměrných 12letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

6.1.2.8. Hodnocení změn formy a tvaru 12 a 15letých dívek

Superprojekční mapa zobrazuje rozdíly ve formě obličeje průměrných 12letých dívek a 15letých dívek transverzálního souboru (Obr. 28). Dále bude průměrná věková kategorie nazývána jen svým průměrným věkem. U 15letých dívek dochází k retruzi v krajině očí a tváří. V krajině očí a tváří jsou také oblasti, kde není zaznamenán žádný rozdíl. Pozitivní rozdíly formy můžeme sledovat v oblastech čela, nosu, brady a tváří.

U dívek v 15 letech můžeme ještě sledovat prodlužování a rozšiřování obličeje, intenzita je stále vysoká, ovšem menší než u předešlých věkových kategorií. Prominence

nosu se zvyšuje již jen mírně. V centrální části obličeje (bez nosu) již nezaznamenáváme významné změny ve velikosti.



Obr. 28: Barevná mapa vizualizující změny formy obličeje u dívek mezi věkovými kategoriemi průměrných 12letých a 15 letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

Na přední části čela je u 15letých dívek zobrazen rozdíl ve velikosti v rozmezí od 0,5 do 1 mm, který postrádá statistickou významnost. Laterální oblasti čela dosahují signifikantního zvětšení až 2 mm.

U 15letých dívek již nezaznamenáváme v oblasti očí výrazné rozdíly, jejich velikost se ustaluje, pouze v některých částech horních víček dochází ke statisticky významné retruzi o -0,5 mm.

V krajině nosu dochází u dívek v 15 letech k signifikantnímu rozdílu v intervalu od 0,5 do 1,5 mm, kdy největší rozdíl je sledován na hrotu nosu. Oproti předchozím věkovým kategoriím, zde sledujeme zatím nejmenší rozdíly ve velikosti.

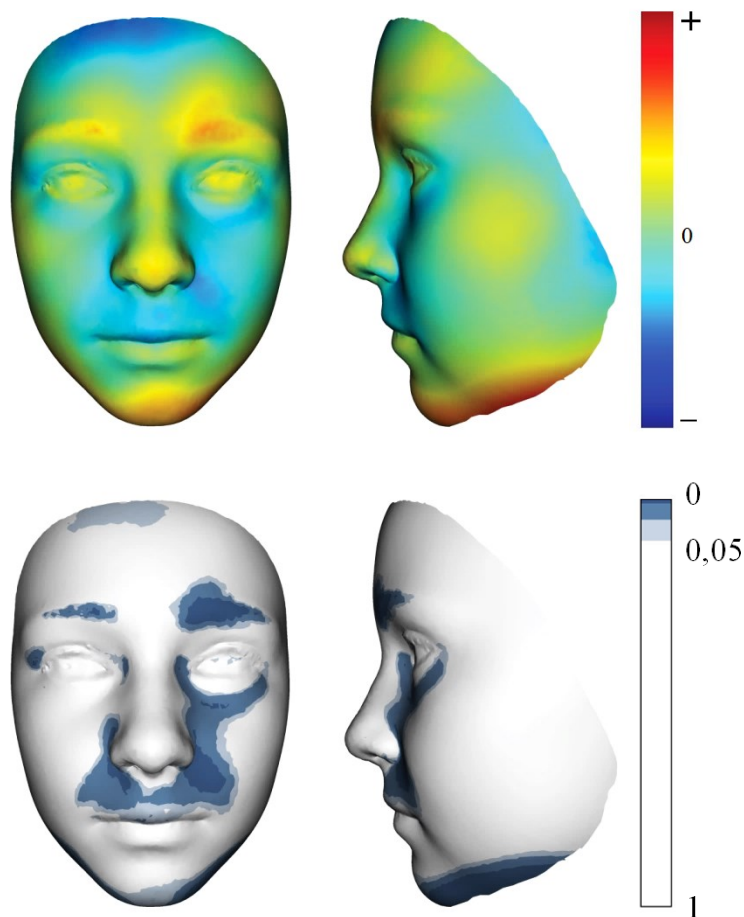
Oblast horního rtu se již u 15letých dívek z větší části nezvětšuje, pouze v krajině bližší červeni je zaznamenán pozitivní rozdíl o 0,5 mm, stejně jako u červeně rtu horního

a dolního. Tyto rozdíly postrádají statistickou významnost. V oblasti dolního rtu je zaznamenán velikostní rozdíl až o 1,5 mm, tento rozdíl je statisticky významný.

Podél celé dolní čelisti jsou pozorovány statisticky výrazné rozdíly ve velikosti až do 3,5 mm.

Velikost předních ploch tváří se také ustaluje, pouze v některých oblastech sledujeme velikostní rozdíly v intervalu -0,5 až 0,5 mm, které postrádají statistickou významnost. Laterální plocha tváří se statisticky významně zvětšuje o 1 až 2 mm.

Při porovnání průměrných 12letých dívek a 15letých dívek sledujeme následující tvarové rozdíly (Obr. 29). Pozitivní rozdíly můžeme pozorovat na hrotu nosu, statisticky významné rozdíly jsou v oblasti nadočnicových oblouků a na bradě. Mezi oblastmi se statisticky významným negativním rozdílem tvaru můžeme zařadit oblast horního rtu a části čela.



Obr. 29: Barevná mapa vizualizující změny tvaru obličeje u dívek mezi věkovými kategoriemi průměrných 12letých a 15 letých jedinců (nahore) a mapa signifikance (dole).

6.1.3. Variabilita formy a tvaru obličeje u dětí od 3 do 15 let

V této podkapitole je hodnocena variabilita formy a tvaru obličeje nejdříve u chlapců a poté u dívek. Využitím sutinového grafu byly určeny hlavní komponenty obsahující dostatečné množství informací, které mají vliv při rozlišení mezi objekty. Grafem PC skóre byla znázorněna závislost jednotlivých hlavních komponent, dále na něm můžeme sledovat 95% konfidenční elipsy, které zachycují variabilitu v dané skupině a byly pomocí nich znázorněny dané sledované věkové kategorie: 3 roky, 5-7 let, 8-10 let, 11-13 let, 15 let (např. Graf č.:3). Zobrazení bylo provedeno pro vyjádření pouze prvních dvou hlavních komponent, další hlavní komponenty byly vizualizovány pouze v případě, že přispívaly minimálně 10% do celkové variability. Vliv významných hlavních komponent na rozdíly ve formě a tvaru byl promítnut na *base mesh*. Modrým zbarvením byly znázorněny nejvíce negativní hodnoty hlavní komponenty. Šedé zbarvení odpovídá nulové hodnotě hlavních komponent a červeným zbarvením je zvýrazněna pozitivní hodnota dané hlavní komponenty (např. Obr. 30).

6.1.3.1. Variabilita formy u chlapců

V tabulce č. 4 můžeme sledovat podíl prvních deseti komponent (PC1 – PC10) na celkové variabilitě formy obličeje u chlapců od 3 do 15 let. Významně se na variabilitě formy podílejí první tři hlavní komponenty, jak můžeme sledovat na sutinovém grafu 2. Dohromady se podílejí na 91,95 % celkové variability, přičemž větší podíl má první hlavní komponenta (PC1), druhá hlavní komponenta (PC2) nedosahuje ani 5 %.

Na grafu PC skóre byly vizualizovány pouze první dvě hlavní komponenty vysvětlující 88,92% celkové variability formy u chlapců (Graf 3). Můžeme sledovat, že PC1 nám charakterizuje věkové a velikostní rozdíly formy obličeje u chlapců – záporná hodnota PC1 (vlevo) odpovídá nejmladším jedincům, kladná hodnota PC1 (vpravo) odpovídá umístění starších jedinců. PC1 má nejvyšší podíl na variabilitě formy také z důvodu, že věkový interval sledované skupiny je velký. Variabilita vysvětlená PC2 není závislá na věku, extrémů dosahuje pouze ve věkovém intervalu 8-10 let.

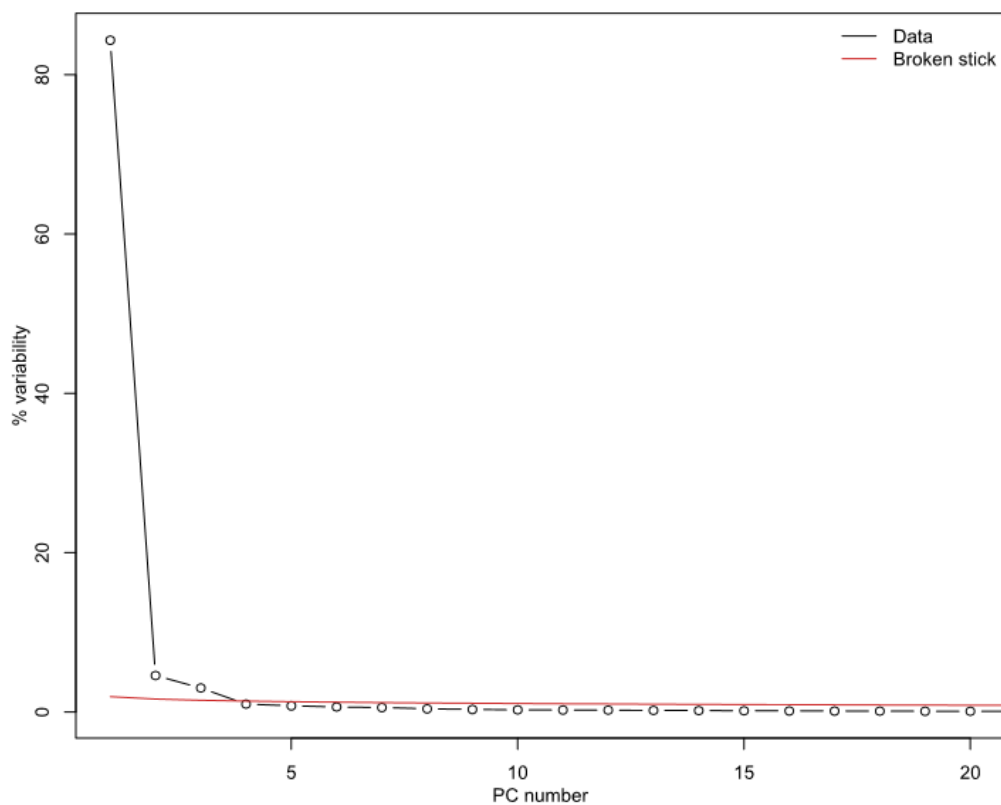
Do 7 let se variabilita formy jeví menší, tento výsledek může být důsledkem menšího počtu jedinců ve věkové kategorii 3 let, v 5-7 letech (skupina s vyšším počtem jedinců) je ovšem variabilita formy opět menší než u starších kategorií. Od 8 let se

variabilita formy zvyšuje. Variabilita formy je vysoká i v 15 letech, zde může být výsledek opět ovlivněn malým počtem jedinců ve skupině.

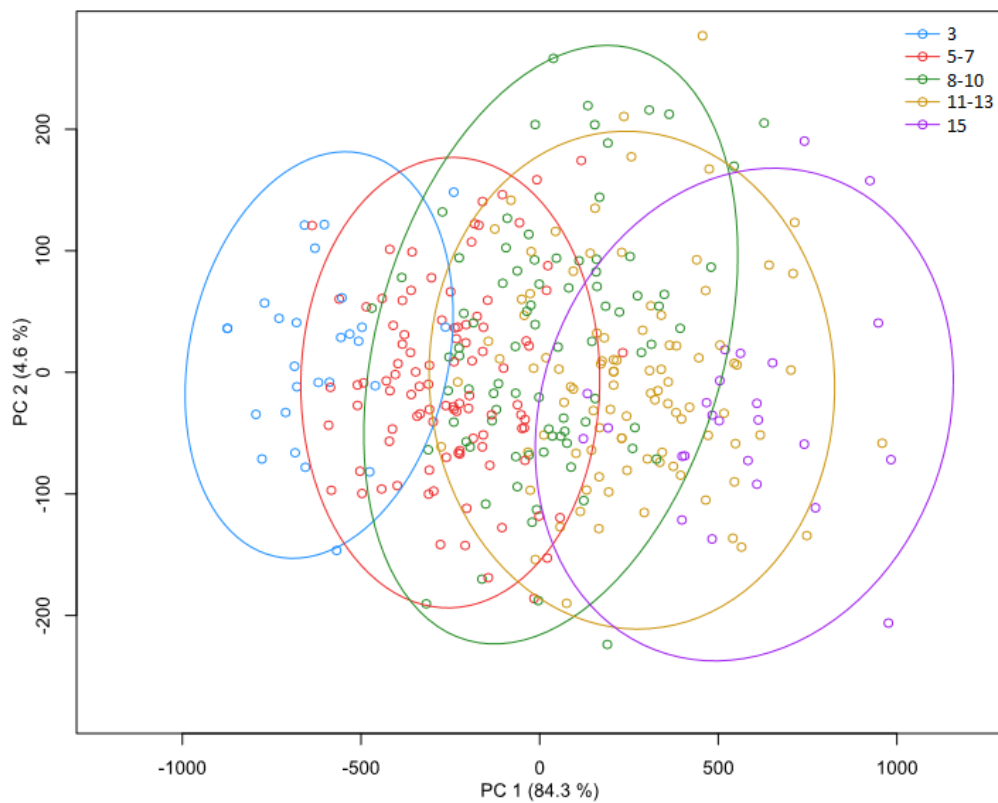
Tab. 4: Procentuální rozložení variability formy obličeje chlapců od 3 do 15 let do 10 hlavních komponent.

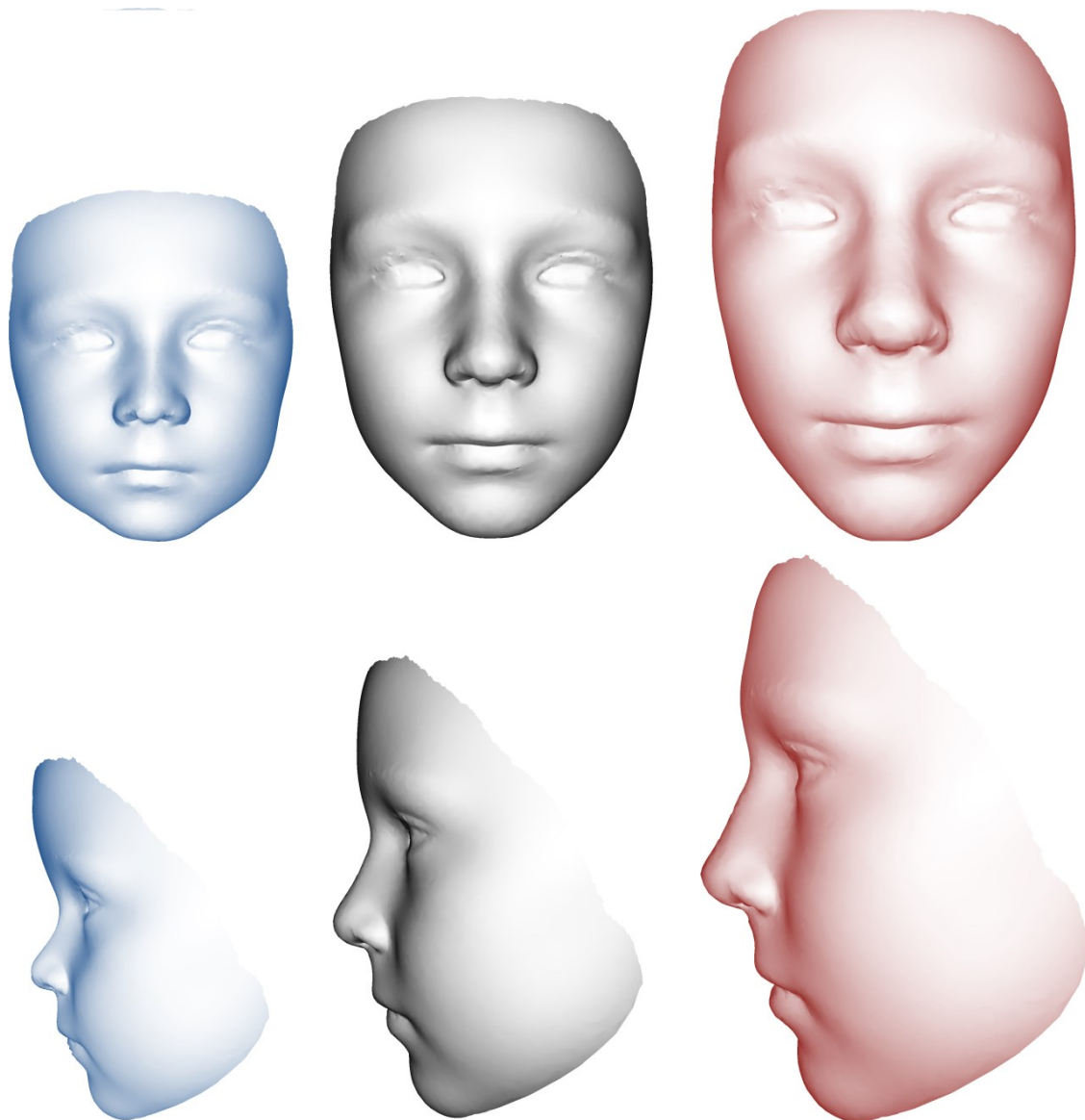
PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Variabilita v %	84,33	4,59	3,03	1,00	0,79	0,64	0,57	0,41	0,33	0,28

Graf 2: Sutinový graf analýzy PCA pro formu obličeje chlapců od 3 do 15 let.



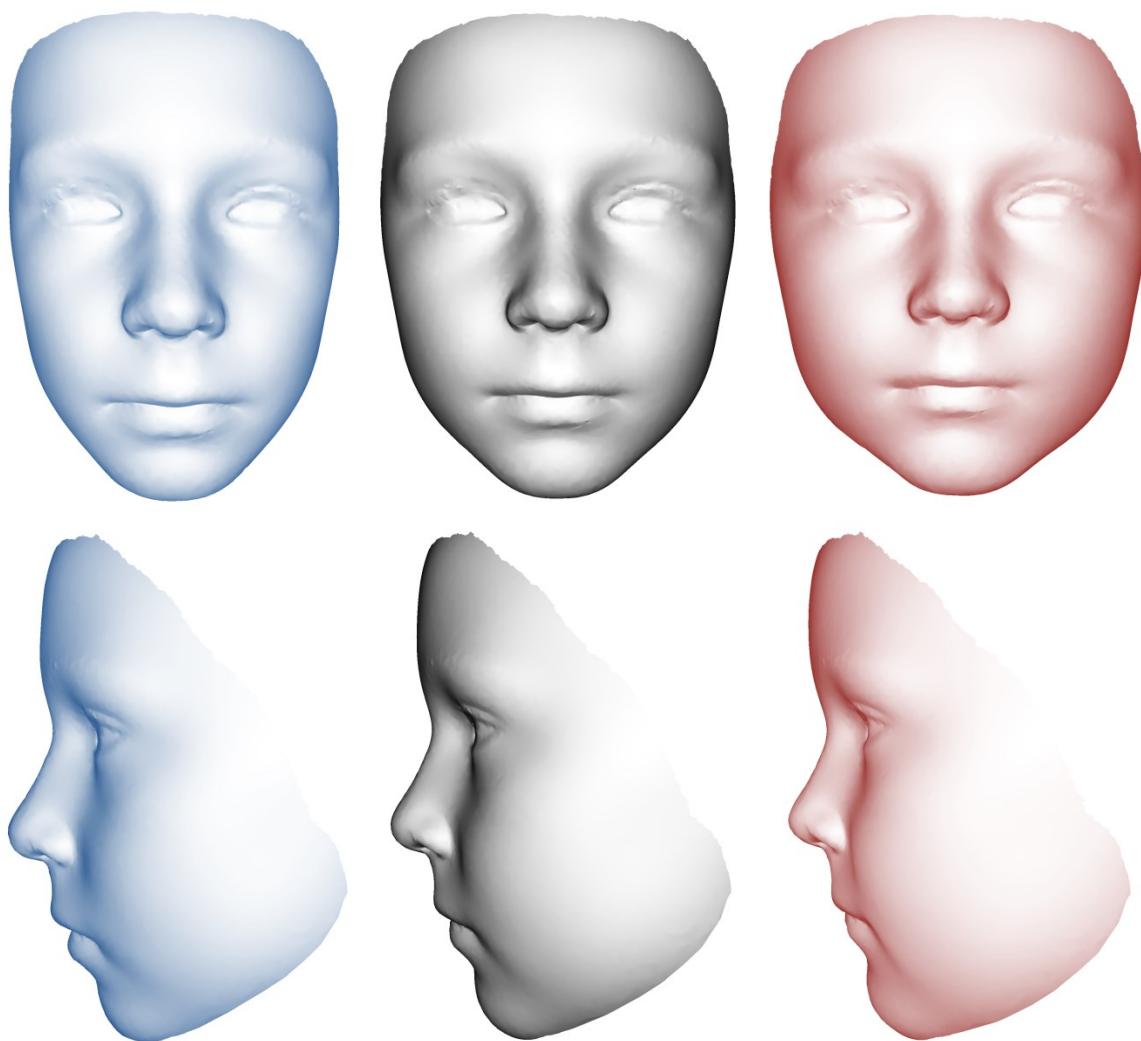
Graf 3: Graf závislosti PC1 a PC2 pro variabilitu formy obličeje chlapců od 3 do 15 let.





Obr. 30: Vizualizace variability formy obličeje chlapců od 3 do 15 let vyjádřená hlavní komponentou PC1. Modrým zabarvením byl zvýrazněn obličej odpovídající nejvíce negativní hodnotě PC1, šedá barva odpovídá nulové hodnotě, červená barva zvýrazňuje obličej odpovídající nejvíce pozitivní hodnotě PC1.

První hlavní komponentou je vysvětleno 84,33 % celkové variability formy obličeje u chlapců od 3 do 15 let (Obr. 30). PC1 z velké části zodpovídá za rozdíly velikosti. Můžeme sledovat, že obličej u chlapců se s věkem zvětšuje a prodlužuje, také se stává konvexnější. Obličej odpovídající nejvíce negativní hodnotě PC1 je nízký, v poměru k jeho výšce je široký a oproti pozitivní hodnotě PC1 je menší. Čelo je vyklenuté, hřbet nosu má konkávní profil, brada je zasunutá více dozadu. Obličej, který odpovídá nejvíce pozitivní hodnotě PC1 je vysoký, v poměru k výšce se jeví jako úzký, tváře oploštěné, hřbet nosu je z profilu rovný, brada více prominuje a prodlužuje dolní čelist. Čelo ustupuje, nadočnicové oblouky jsou výraznější, nos ve větší prominenci, celkově se zvyšuje konvexita obličeje.



Obr. 31: Vizualizace variability formy obličeje chlapců od 3 do 15 let vyjádřená hlavní komponentou PC2.

Druhá hlavní komponenta vysvětluje 4,59 % celkové variability formy u chlapců ve věku od 3 do 15 let (Obr. 31). Můžeme sledovat, že PC2 z velké části zodpovídá za rozdíly šířkových rozměrů obličeje. Obličej sledovaný v minimálních hodnotách PC2 je úzký a více protáhlý, zatímco v maximálních hodnotách PC2 je zobrazený obličej více široký a jeví se nám kulatý. Dále sledujeme změnu konvexity, u záporných hodnot je obličej více konvexní než z kladných hodnot. Obličej odpovídající nejvíce negativní hodnotě PC2 má delší nos než obličej odpovídající kladným hodnotám. Směrem k negativním hodnotám je hrot nosu kulatější. Oblast rtů je zobrazena více v protruzi v negativních hodnotách. S vyšším věkem je u sledovaných jedinců častější záporná hodnota PC2, zároveň se nemění kladná hodnota této komponenty. Obličej je tedy u starších jedinců častěji užší, konvexnější a s delšímnosem.

6.1.3.2. Variabilita tvaru u chlapců

Podíl prvních dvaceti komponent na variabilitě tvaru u chlapců od 3 do 15 let lze sledovat v tabulce č. 5. Významný podíl na celkové variabilitě má prvních třináct komponent (Graf 4). Dohromady se podílejí na 83,5 % celkové variability. Pro potřeby vizualizace byly použity pouze první dvě hlavní komponenty (PC1, PC2) vysvětlující 56,56 % variability tvaru obličeje u chlapců (Graf 5).

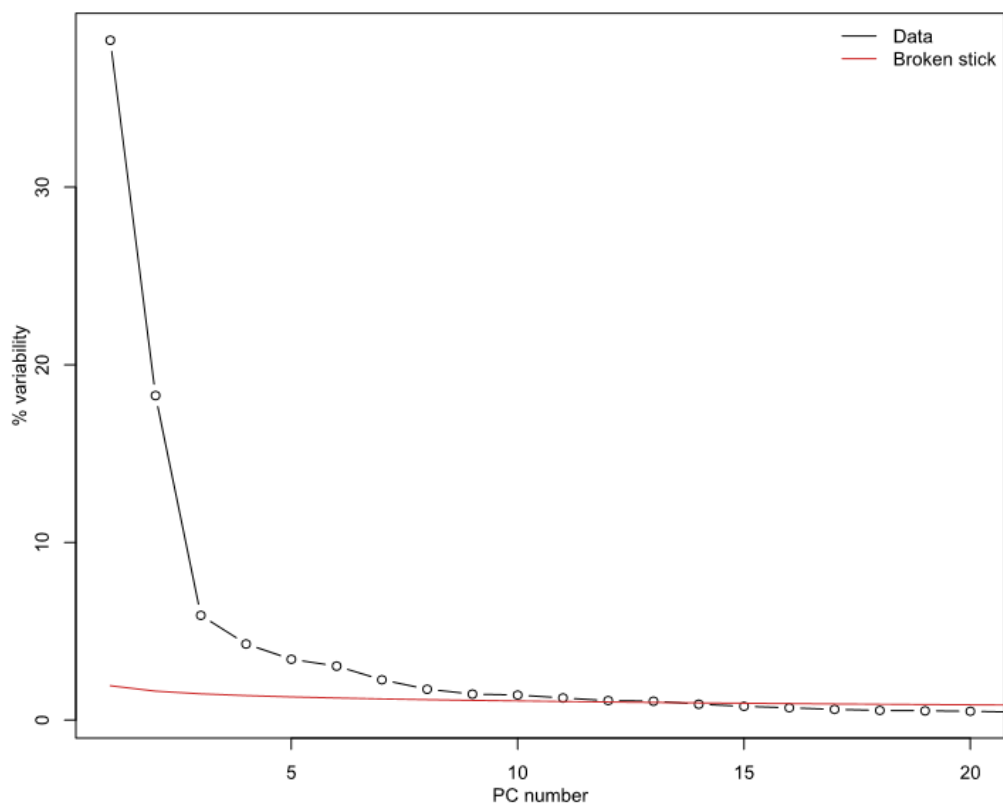
Pomocí první hlavní komponenty (PC1) můžeme sledovat věkové rozdíly. Záporné hodnoty PC1 odpovídají nejmladším jedincům, zatímco kladné hodnoty nejstarším jedincům. Nejnižší variabilitu popsanou PC1 a PC2 můžeme sledovat ve věkové kategorii 15 let. Nejvyšší variabilitu sledujeme u jedinců ve věkové kategorii od 8 do 10 let, poté se variabilita snižuje, tvarové rozdíly jsou u starších jedinců jednotnější.

Tab. 5: Procentuální rozložení variability tvaru obličeje chlapců od 3 do 15 let do 20 hlavních komponent

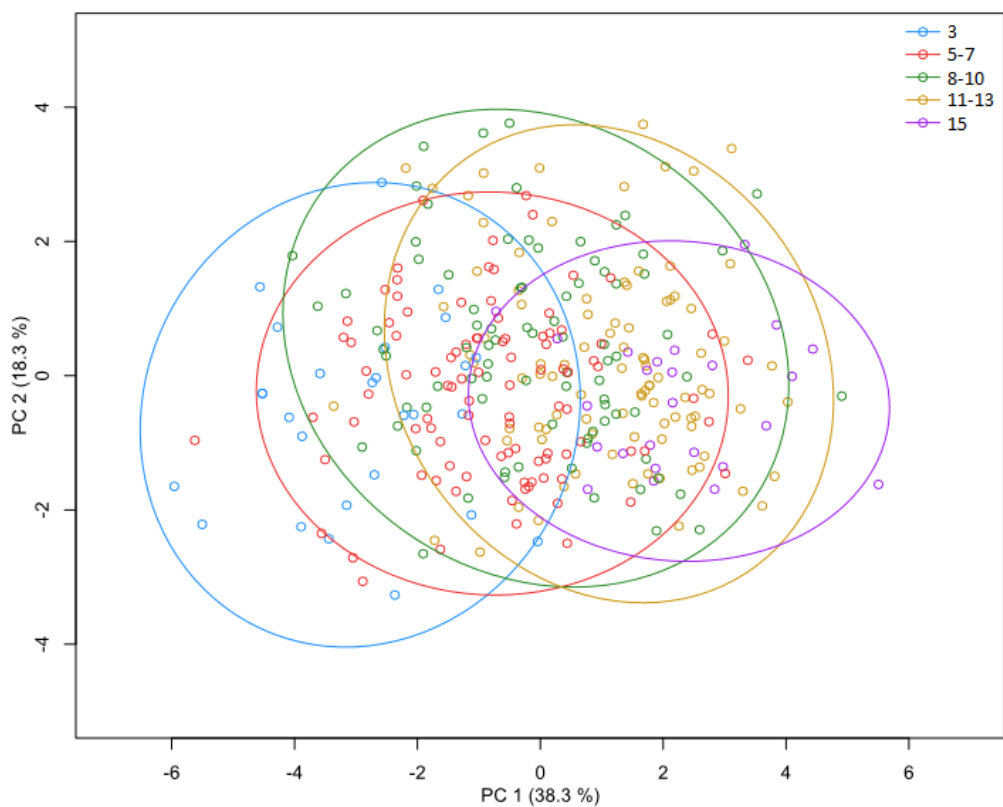
PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Variabilita v %	38,28	18,28	5,90	4,29	3,42	3,04	2,27	1,74	1,46	1,41

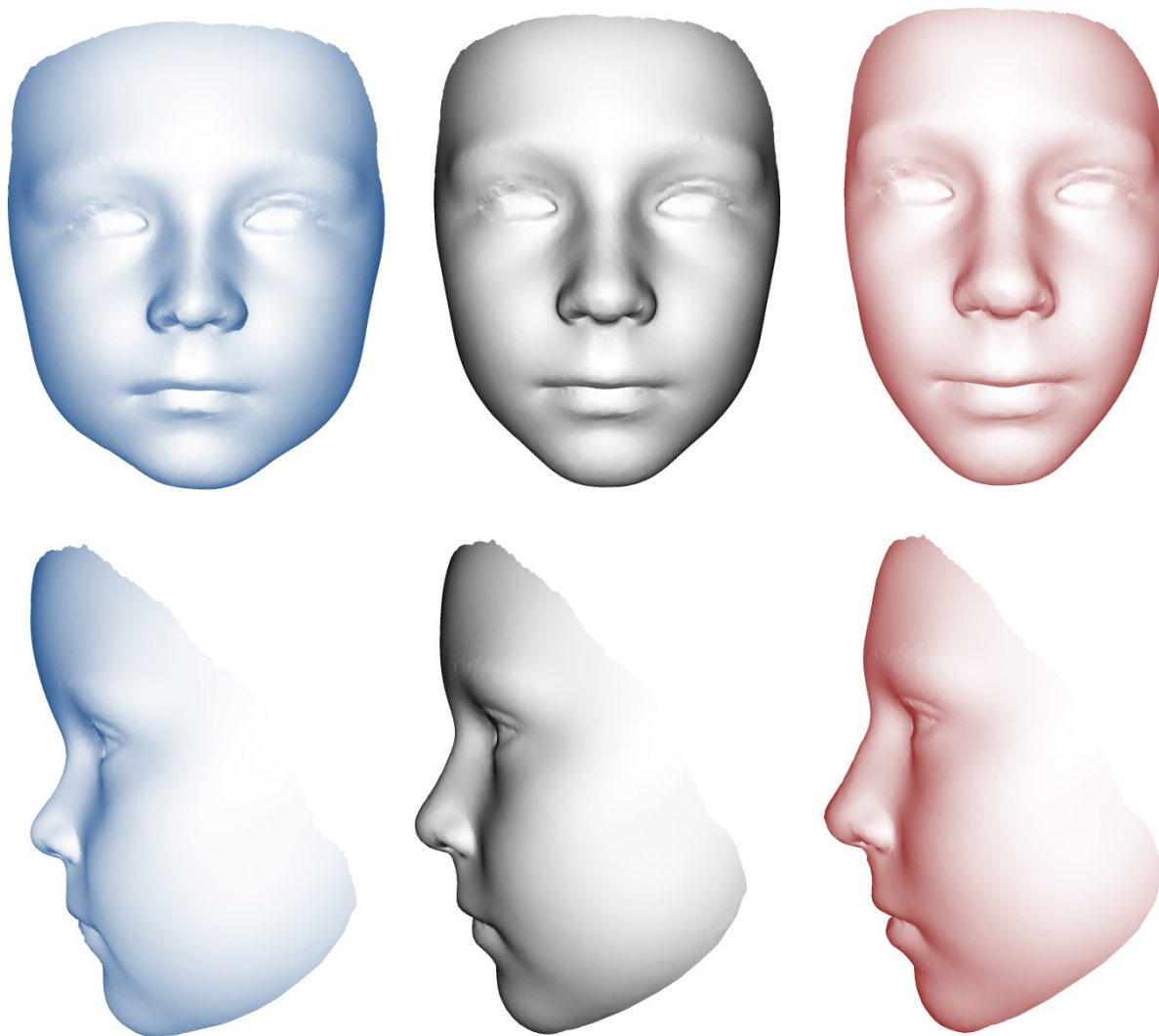
PC	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18	PC19	PC20
Variabilita v %	1,25	1,10	1,06	0,89	0,77	0,69	0,60	0,54	0,52	0,49

Graf 4: Sutinový graf analýzy PCA pro tvar obličeje chlapců od 3 do 15 let.



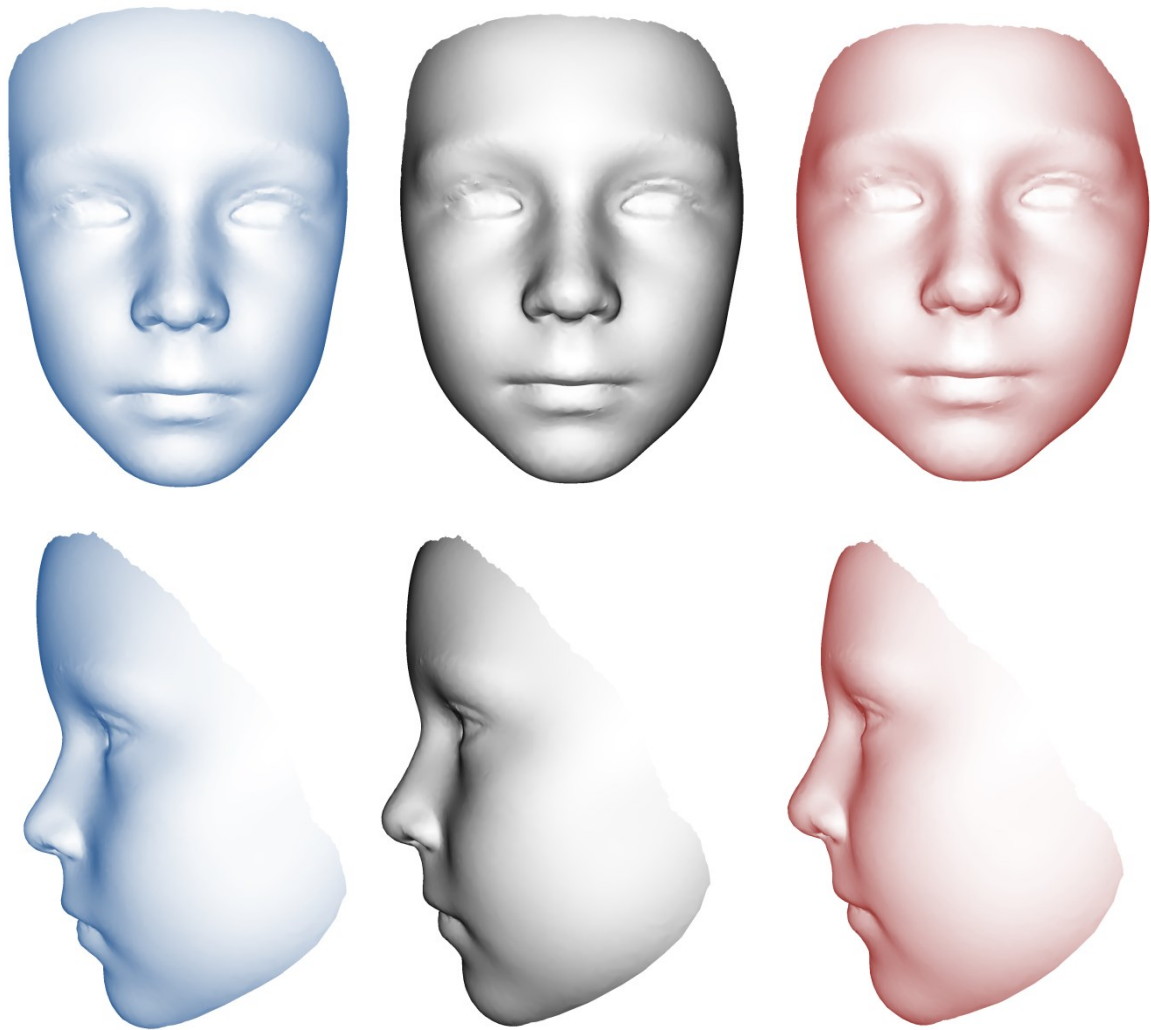
Graf 5: Graf závislosti PC1 a PC2 pro variabilitu tvar obličeje chlapců od 3 do 15 let.





Obr. 32: Vizualizace variability tvaru obličeje chlapců od 3 do 15 let vyjádřená hlavní komponentou PC1.

První hlavní komponenta vysvětluje 38,28 % celkové variability tvaru obličeje u chlapců ve věku od 3 do 15 let (Obr. 32). Se zvyšujícím se věkem sledujeme posun ke kladným hodnotám PC1. Díky PC1 sledujeme tvarové rozdíly hlavně v šířkových a délkových rozměrech. Směrem od negativních hodnot k pozitivním se obličej zužuje a protahuje. Ve stejném směru hodnot PC1 se také stává konvexnější. Následuje popis tvarových rozdílů od negativních hodnot PC1 ke kladným. Pozorujeme prodlužování a zužování čela, také se zvyšujícím se věkem více ustupuje. Dále se zvyšuje prominenci nadočnicových oblouků. Nasofrontální přechod se stává, díky zvyšující se prominenci glabely a nosu, více plynulým. Dochází k prodlužování nosu, zmenšuje se jeho konkávnost a zvyšuje se prominenci. Kořen nosu se rozšiřuje a hrot není tak ostrý. Je zobrazeno prodlužování horního rtu, rozšiřování úst a zvětšování červeně dolního rtu. Také se prodlužuje a zužuje dolní čelist, kdy sledujeme posun bradové oblasti směrem dolů a dozadu.



Obr. 33: Vizualizace variability tvaru obličeje chlapců od 3 do 15 let vyjádřená hlavní komponentou PC2.

Druhá hlavní komponenta zodpovídá za 18,28 % celkové variability tvaru obličeje chlapců transverzálního souboru ve věku od 3 do 15 let (Obr. 33). S věkem se výrazně nemění. Směrem od negativních hodnot PC2 k pozitivním mění obličej tvar z trojúhelníkovitého do oválného. Dochází k zúžení čela a lehkému rozšíření čelistí, dále se zvyšuje prominence lícnicích kostí. Ve stejném směru změny hodnot PC2 sledujeme na laterálním pohledu zvýšení konvexity obličeje, centrální část obličeje se stává více prominentní a ustupuje čelo. Sledujeme také více plynulý nasofrontální přechod, a to díky zvyšující se prominenci glabely a nosu.

6.1.3.3. Variabilita formy u dívek

V tabulce č. 6 lze sledovat podíl prvních deseti komponent (PC1 – PC10) na celkové variabilitě formy obličeje u dívek od 3 do 15 let. Na sutinovém grafu (Graf 6) pozorujeme, že významně se na variabilitě formy podílejí první tři hlavní komponenty (PC1-PC3).

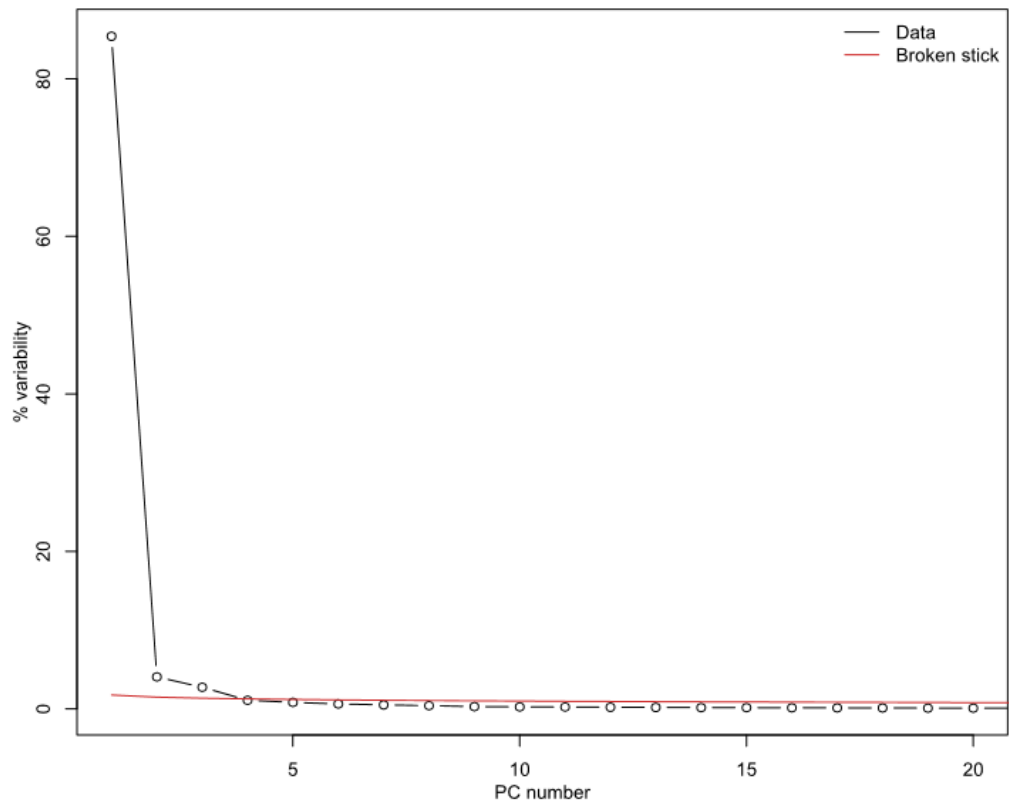
Dohromady se podílejí na 92,23 % celkové variability, větší podíl má však první hlavní komponenta (PC1), druhá hlavní komponenta (PC2) nedosahuje 5 %.

Vizualizovány byly pouze dvě první hlavní komponenty (PC1, PC2) celkově dosahující 89,48% celkové variability formu u dívek (Graf 7). První hlavní komponenta nám charakterizuje věkové a velikostní rozdíly formy obličeje u dívek. Záporná hodnota PC1 (vlevo) popisuje nejmladší jedince, kladná hodnota PC1 (vpravo) popisuje umístění starších jedinců. Na úrovni PC1 přesahuje věková kategorie 11-13 let svou variabilitou věkovou kategorii 15 let. Variabilita vysvětlená PC2 se s věkem nemění, jen ve 3 letech je variabilita, způsobená touto komponentou, menší. Variabilita formy se s věkem zvyšuje, největší variability je dosaženo ve věkové kategorii 8-10 let a 11-13 let. Ve 3 a 15 letech sledujeme nižší variabilitu, to může být dáno nižším počtem jedinců v těchto věkových kategoriích. Věková kategorie 11-13 let má částečně stejnou variabilitu formy jako věková kategorie 15letých jedinců, může se jednat o dřívější ukončení růstu obličeje dívek, také to ale může být způsobeno menším počtem jedinců ve věkové skupině 15letých.

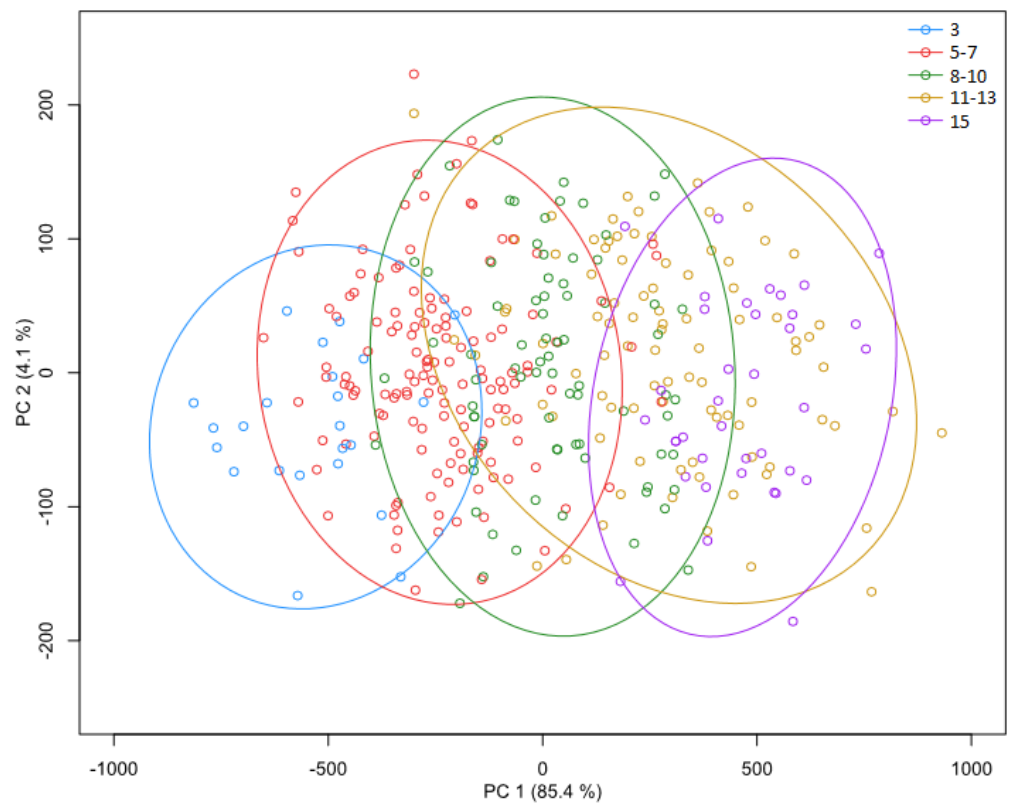
Tab. 6: Procentuální rozložení variability formy obličeje chlapců od 3 do 15 let do 10 hlavních komponent.

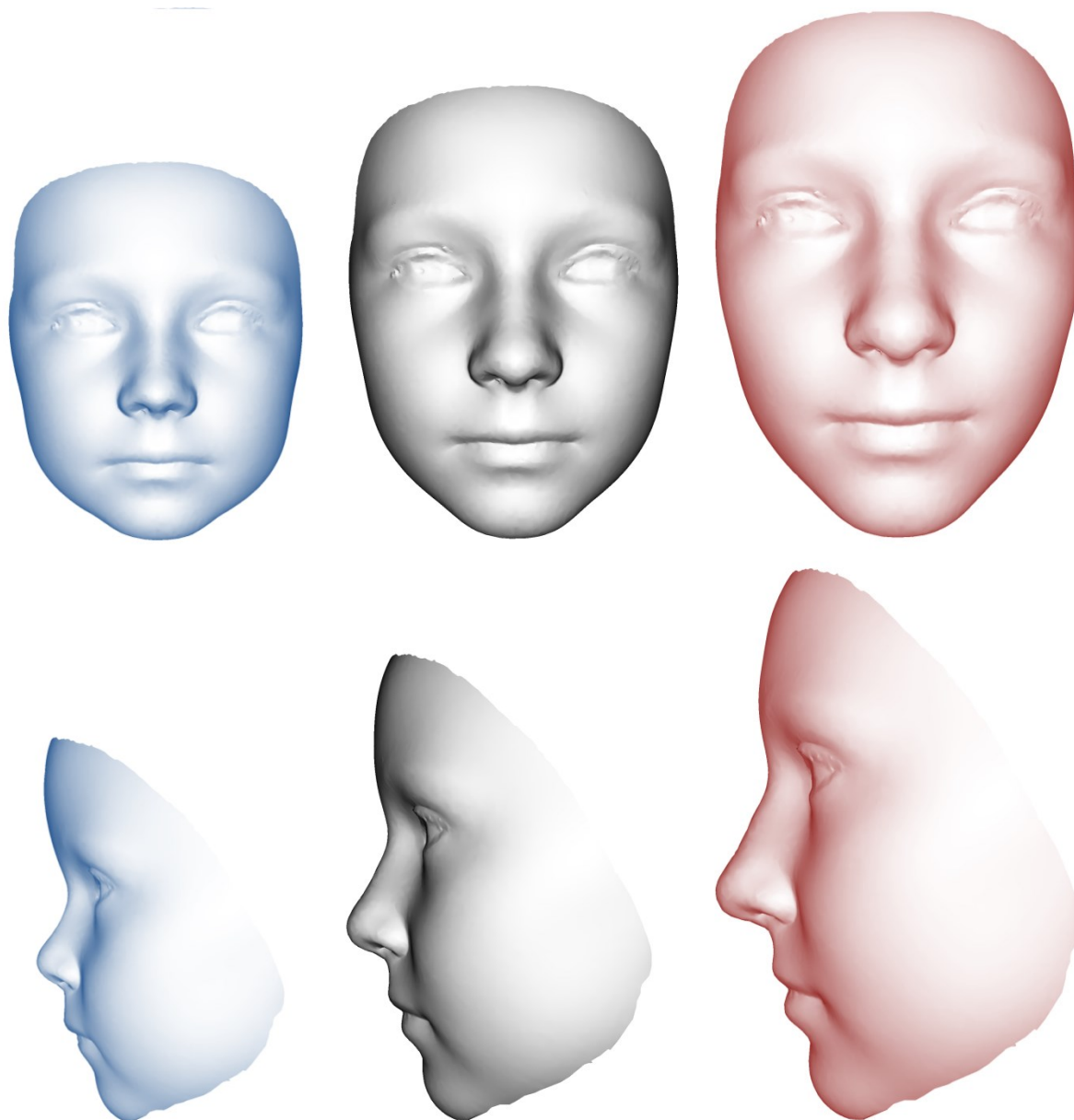
PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Variabilita v %	85,42	4,06	2,75	1,09	0,83	0,63	0,52	0,41	0,29	0,25

Graf 6: Sutinový graf analýzy PCA pro formu obličeje dívek od 3 do 15 let.



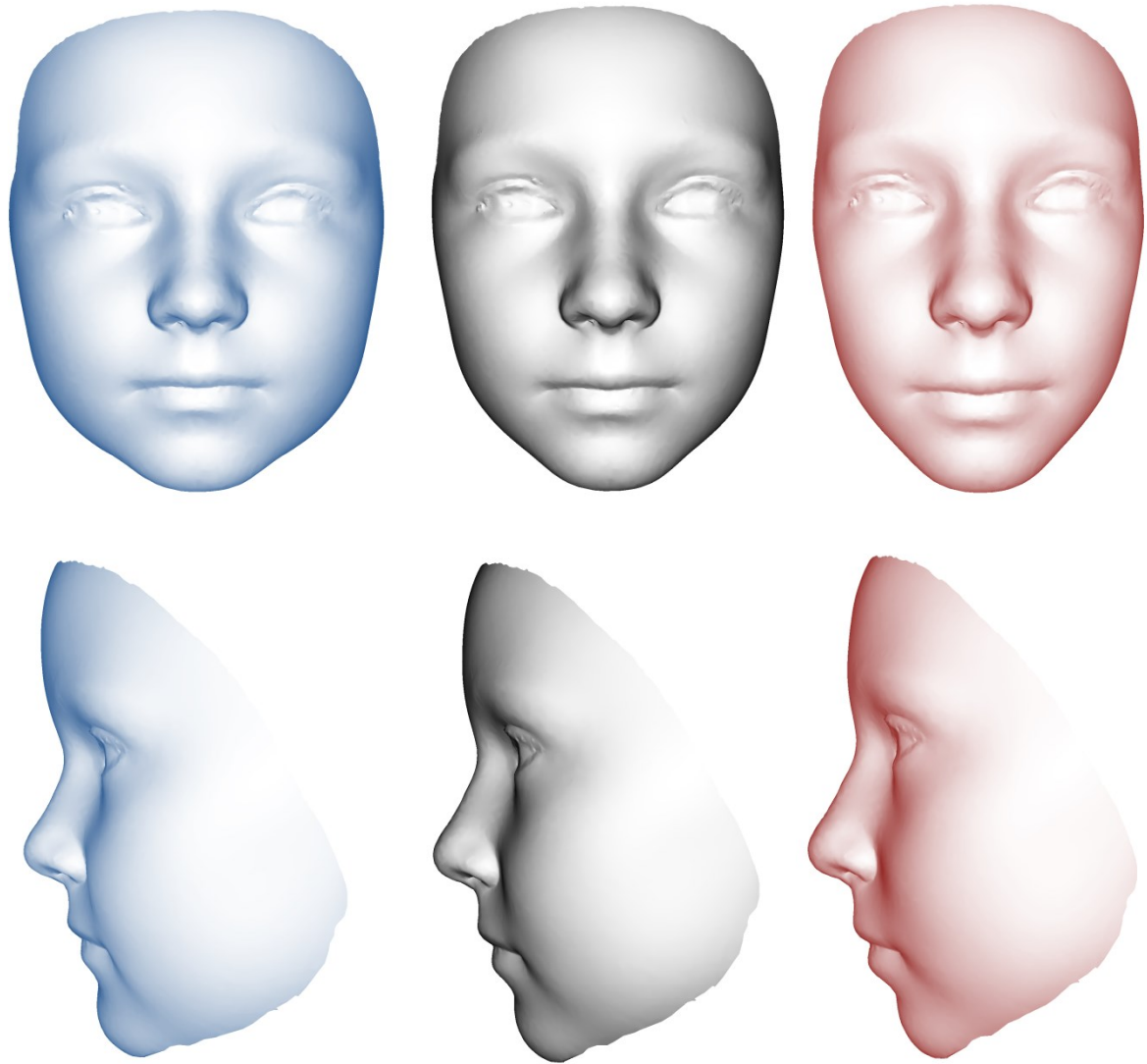
Graf 7: Graf závislosti PC1 a PC2 pro variabilitu formy obličeje dívek od 3 do 15 let.





Obr. 34: Vizualizace variability formy obličeje dívek od 3 do 15 let vyjádřená hlavní komponentou PC1.

První hlavní komponenta vysvětluje 85,42% celkové variability formy obličeje u dívek od 3 do 15 let (Obr. 34). Dívčí obličej se s věkem zvětšuje a protahuje, stává se konvexnějším. Negativní hodnota PC1 odpovídá mladším jedincům a pozitivní starším. PC1 zodpovídá převážně za velikostní rozdíly obličeje. Obličej zobrazující nejvíce negativní hodnoty PC1 je nízký, široký a malý. Dále u tohoto obličeje sledujeme vyklenuté čelo, profil hřbetu nosu má konkávní charakter, brada neprominuje. Obličej popisující nejvíce pozitivní hodnoty PC1 je oproti negativní verzi vysoký, protáhlý, profil hřbetu nosu se vyrovnává a brada je více prominentní. Dále pozorujeme ustupující čelo, nadočnicové oblouky jsou více prominentní a celkově dochází ke zvýšení konvexity obličeje.



Obr. 35: Vizualizace variability formy obličeje dívek od 3 do 15 let vyjádřená hlavní komponentou PC2.

Druhou hlavní komponentou je vysvětleno 4,06 % celkové variability formy u dívek ve věku od 3 do 15 let (Obr. 35). S věkem se výrazně nemění, jen se variabilita zvětšuje směrem k pozitivním hodnotám. Směrem od negativních hodnot k pozitivním se nejvíce mění šířkové rozměry obličeje, a to od širokého k úzkému a protáhlému obličeji. Obličej zobrazující nejvíce kladné hodnoty PC2 je více konvexní, má delší nos, a také ustupující a protáhlejší čelo.

6.1.3.4. Variabilita tvaru u dívek

Tabulka č. 7 popisuje podíl prvních dvaceti komponent na variabilitě tvaru u dívek od 3 do 15 let. Pomocí sutinového grafu byly určeny hlavní komponenty, které mají významný podíl na variabilitě sledované skupiny (Graf 8). Jedná se o první čtrnáct

hlavních komponent (PC1-PC14). Dohromady se podílejí na 84,03 % celkové variability skupiny. Pro potřeby vizualizace byly využity jen první dvě hlavní komponenty (PC1, PC2), které vysvětlují 53,22 % variability tvaru obličeje u dívek (Graf 9).

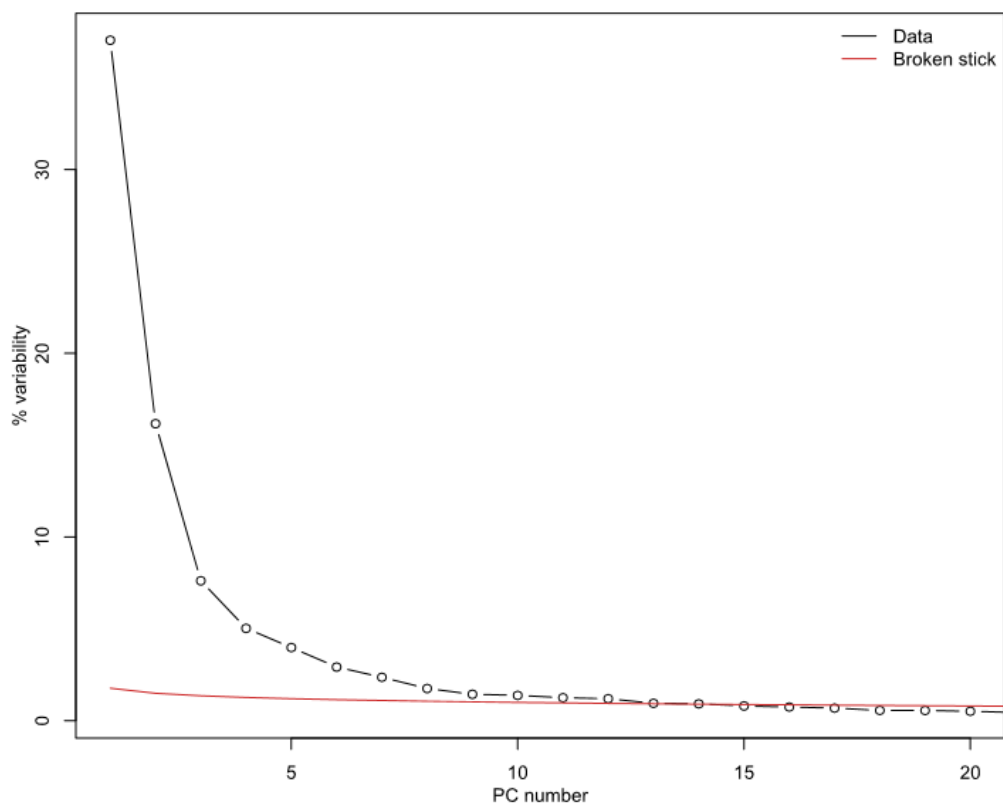
První hlavní komponentou jsou popsány věkové rozdíly. Záporné hodnoty odpovídají nejstarším jedincům, zatímco kladné popisují nejmladší věkovou kategorii. Variabilita vysvětlená PC2 není závislá na věku. Velikost variability tvaru se s věkem nemění, největší variability je dosaženo ve věkové kategorii 8-10 let. Mezi věkovou kategorií 3 let a 5-7 let sledujeme posun, velikost variability je zachována. Variabilita způsobená PC1 a PC2 ve věku 11-13 let je velice podobná variabilitě tvaru v 15 letech, to naznačuje, že dívky dosahují finálního tvaru obličeje v dřívějším věku než chlapci.

Tab. 7: Procentuální rozložení variability tvaru obličeje chlapců od 3 do 15 let do 10 hlavních komponent.

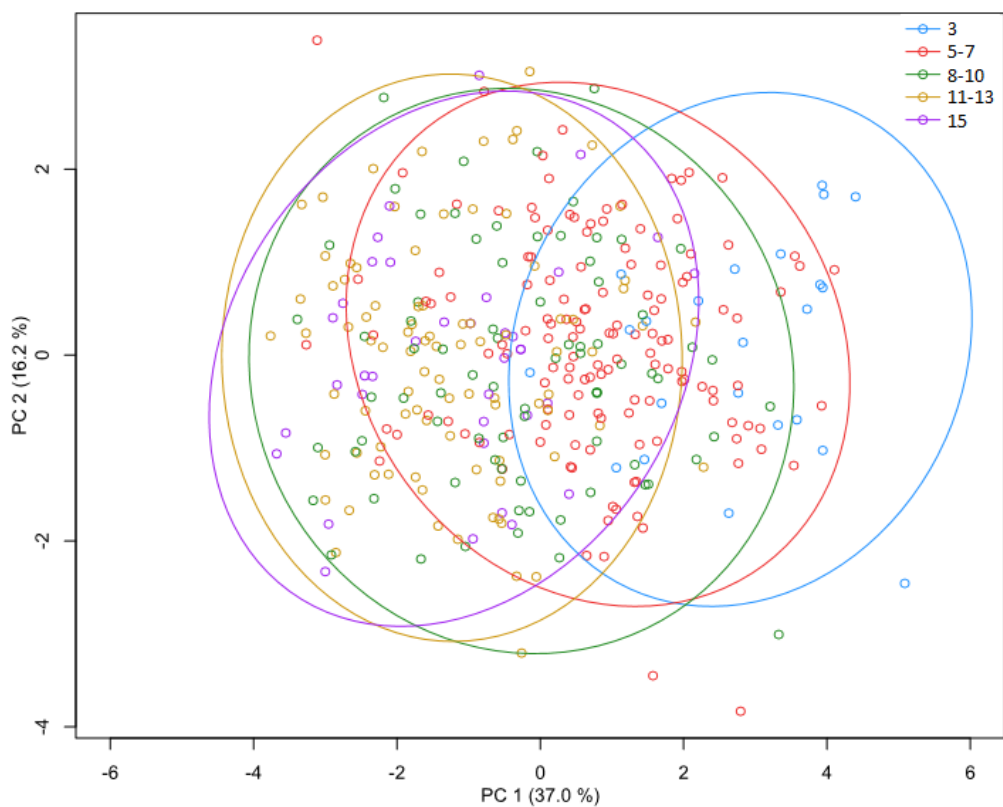
PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Variabilita v %	37,05	16,17	7,62	5,03	3,98	2,92	2,36	1,76	1,44	1,38

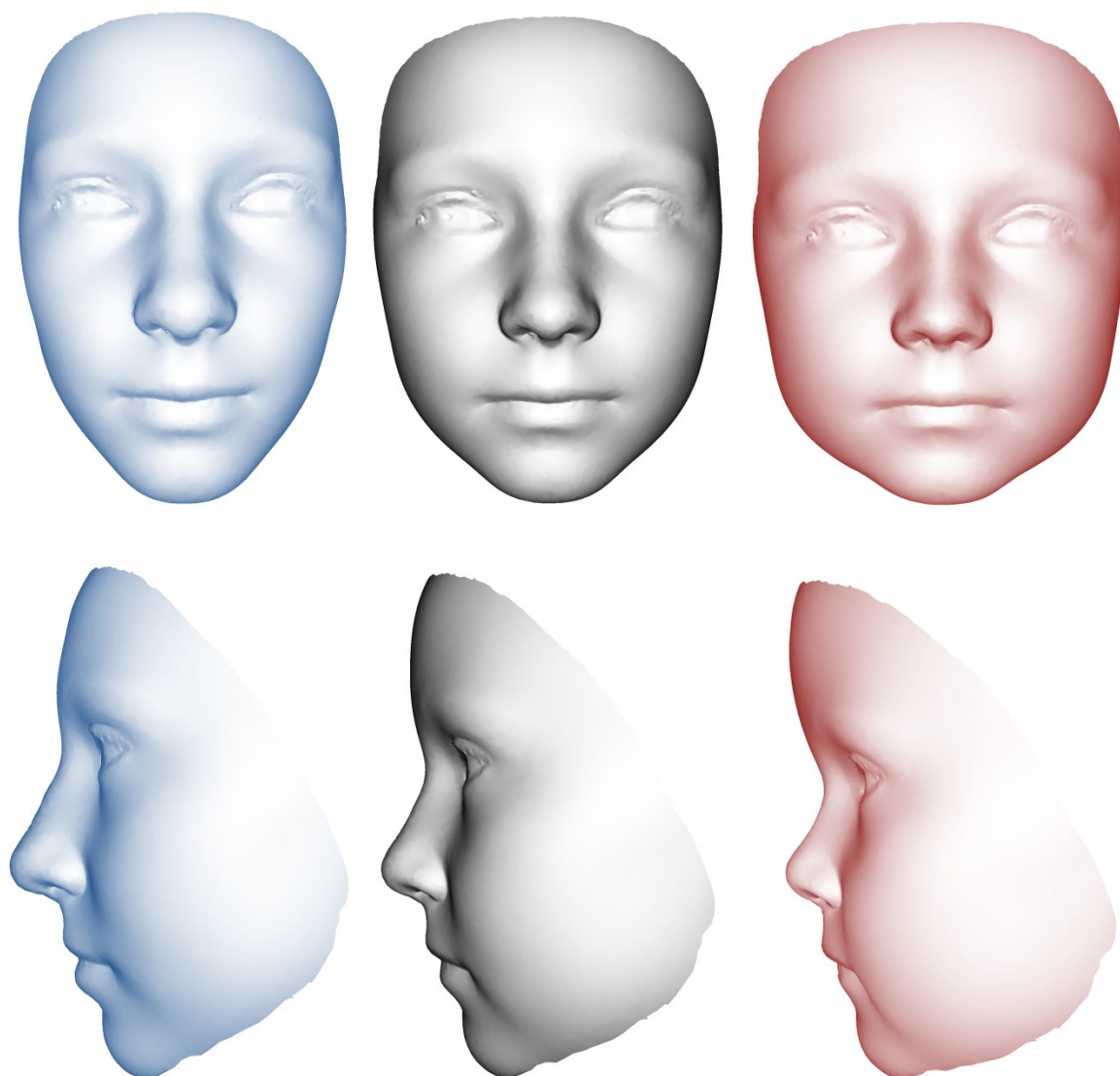
PC	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18	PC19	PC20
Variabilita v %	1,25	1,20	0,95	0,92	0,80	0,74	0,69	0,56	0,55	0,51

Graf 8: Sutinový graf analýzy PCA pro tvar obličeje dívek od 3 do 15 let.



Graf 9: Graf závislosti PC1 a PC2 pro variabilitu tvar obličeje dívek od 3 do 15 let.





Obr. 36: Vizualizace variability tvaru obličeje dívek od 3 do 15 let vyjádřená hlavní komponentou PC1.

Díky první hlavní komponentě je vysvětleno 37,05 % celkové variability tvaru obličeje dívek ve věku od 3 do 15 let (Obr. 36). Se zvyšujícím se věkem je pozorován posun k záporným hodnotám PC2. Ve věkové kategorii 15 let se posun zastavuje a variabilita zůstává podobná variabilitě tvaru věkové kategorie 11-13 let. Na frontálním zobrazení můžeme sledovat rozdíly šířkových a délkových rozměrů obličeje. U nejvíce negativních hodnot PC2 je obličej úzký a dlouhý a u nejvíce pozitivních hodnot PC2 se obličej stává kulatým. Při pohledu na laterální zobrazení zaznamenáváme rozdíl v konvexitě obličeje. Konvexita se zvyšuje ve směru od pozitivních k negativním hodnotám PC2. Následující popis rozdílů tvaru je ve směru od negativních k pozitivním hodnotám PC2. Dochází ke zkracování a rozšiřování čela, stává se více prominentním a nadočnicové oblouky nejsou již tak výrazné. Nasofrontální přechod je ostrý. Nos se zkracuje, není

tak prominentní a jeho profil má konkávní charakter. Také sledujeme zúžení kořene nosu a zostření hrotu. Ústa nejsou tak široká, horní ret je kratší a červec dolního rtu je menší. Dochází k rozšíření dolní čelisti a ke snížení prominence brady.



Obr. 37: Vizualizace variability tvaru obličeje dívek od 3 do 15 let vyjádřená hlavní komponentou PC2.

Druhá hlavní komponenta nám vysvětluje 16,17 % celkové variability tvaru obličeje dívek transverzálního souboru ve věku od 3 do 15 let (Obr. 37). Díky frontálnímu pohledu můžeme pozorovat rozdíly tvaru obličeje od negativních hodnot, kdy se obličej jeví kulatý, k pozitivním hodnotám, kdy má obličej trojúhelníkový tvar. U nejvíce pozitivních hodnot PC2 dochází k většímu rozšíření čela. Na laterálním zobrazení obličeje sledujeme od negativních hodnot snižování konvexity obličeje, zvyšuje se prominence čela a ostrost nasofrontálního úhlu, dochází ke zkracování nosu, a také sledujeme oplošťování tváří.

6.2. Porovnání transversálního a longitudinálních souborů

V první podkapitole je věnována pozornost porovnání hodnocení rozdílů formy a tvaru obličeje po ročních intervalech u transversálního a longitudinálních souborů, a to zvláště u chlapců a dívek. Byly porovnány vždy dva po sobě jdoucí věkové intervaly: 3 a 4 roky, 4 a 5 let, ..., 13 a 14 let, 14 a 15 let. Výsledky byly vizualizovány za využití superprojekčních map, dále map signifikance, kdy dochází k zobrazení výsledků Per vertex T-testu a následně došlo k proložení map signifikance transversálního a longitudinálních souborů. Vizualizace jsou orientovány v *norma frontalis*.

Druhá podkapitola se zaměřuje na porovnání rozdílů formy a tvaru obličeje za využití širších věkových intervalů u transversálního souboru a vzdálenějších věkových kategoriích u longitudinálních souborů, pro každé pohlaví zvláště. Změny jsou popsány stejným způsobem jako v první podkapitole.

6.2.1. Porovnání rozdílů formy a tvaru u transversálního a longitudinálních souborů od 3 do 15 let po ročních intervalech

Pro hodnocení ročních intervalů byly porovnávány průměrné obličeje mladších jedinců s průměrnými obličeji starších jedinců. Výsledky jsou vizualizovány v podobě superprojekčních map popisujících rozdíly formy a tvaru. Pro formu bylo měřítko nastaveno od -1,5 mm do 1,5 mm, a to při využití 10 odstínů barev. Při hodnocení tvaru byl využit interval od -0,03 do 0,03 a 1000 odstínů barev. Pro znázornění hladiny významnosti byly využity mapy signifikance.

Všechna vyjmenovaná zobrazení byla vytvořena zvláště pro transversální a pro longitudinální soubory. Pro potřeby přímého vizuálního porovnání transversálního a longitudinálních souborů bylo využito proložení jejich map signifikancí, jejich proložení. Následně na superprojekčních mapách pozorujeme, zda se shodné oblasti (shoda umístění statisticky významného rozdílu) u transversálního a longitudinálních souborů mění stejným směrem a mírou. Pro lepší sledování rozdílů jsou zde hodnoceny všechny věkové kategorie najednou.

6.2.1.1. Porovnání rozdílů formy a tvaru u chlapců

Na obrázcích č. 38 a 39 sledujeme porovnání rozdílů ve formě u chlapců ve věku od 3 do 15 let transversálního a longitudinálních souborů. Při postupném pohledu na porovnání výsledků všech věkových kategorií pozorujeme nepravidelné, na sebe nenavazující, rozdíly ve formě u transversálního souboru. Větší návaznost změn formy

lze sledovat u longitudinálních souborů, které představují reálný růst souboru stejných jedinců. Shodné oblasti lze sledovat v každé věkové kategorii.

Rozsáhlejší plochy statistické significance pozorujeme u longitudinálních souborů, a to díky nižší variabilitě souboru. U transverzálního souboru sledujeme menší plochu statisticky signifikantních rozdílů. Pouze při porovnání 8 a 9letých jedinců pozorujeme větší signifikantní plochu u transverzálního souboru.

Nejvyšší shodu sledujeme ve 12 až 13 letech. Ovšem při pohledu na superprojekční mapy můžeme vidět jiné rozdíly ve velikosti, například v oblasti čela, u transverzálního souboru je rozdíl o několik řádů vyšší. Podobný rozdíl ve velikosti můžeme v tomto věku sledovat pouze v oblasti nosu.

Nejmenší plochy shody sledujeme v intervalu 9 až 10 let, při pohledu na superprojekční mapy pozorujeme odlišné rozdíly ve formě na celé ploše obličeje.

Ve věku od 3 do 6 let můžeme sledovat podobné trendy pozitivních rozdílů formy v oblasti nosu. Místy sledujeme i shodu v umístění statistické significance obou souborů. Během tohoto věkového intervalu ovšem pozorujeme více odlišností než shod. V intervalu od 4 do 5 let pozorujeme podobné pozitivní rozdíly v oblasti úst a nadočnicových oblouků. V období od 5 do 6 let patří mezi nejshodnější oblasti brada.

Ve věkovém intervalu od 6 do 9 let sledujeme opět odlišné rozdíly ve všech věkových kategoriích. Nejrozsáhlejší shoda je pozorována mezi 8 a 9 lety, ovšem při pohledu na superprojekční mapy sledujeme odlišné rozdíly.

V intervalu od 9 do 12 let pozorujeme největší rozdíly v umístění statistické significance obou souborů. Sledujeme také výrazně odlišné rozdíly ve velikosti.

Od 12 do 15 let můžeme u obou souborů sledovat rozdíly a změny ve formě, které vznikají vlivem nástupu pubertálního spurtu. Největší shoda je zaznamenána mezi 12 a 13 lety, a to v oblasti nadočnicových oblouků, nosu a brady. Velikostní rozdíly jsou však mírně odlišné, nejvýraznější velikostní rozdíl pozorujeme na nose a bradě.

Využití jednoročních intervalů u transverzálního souboru není vhodné. Rozdíly ve formě v jednotlivých porovnáních se u stejných oblastí objevují nepravidelně a s různou intenzitou. Sledované rozdíly ve formě neodpovídají reálnému růstu. Variabilita souboru příliš ovlivňuje výsledky. U longitudinálních souborů lze naopak spolehlivě sledovat růstový trend (forma) obličeje chlapců (např. období nástupu pubertálního spurtu).

Obr. 38: Vizualizace rozdílů formy chlapců od 3 do 9 let transverzálního a longitudinálních souborů za ročních intervalů. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transverzálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transverzálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

Obr. 39: Vizualizace rozdílů formy chlapců od 9 do 15 let transverzálního a longitudinálních souborů za ročních intervalů. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transverzálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transverzálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

TRANSVERZÁLNÍ

LONGITUDINÁLNI

3 a 4 roky



4 a 5 let



5 a 6 let



6 a 7 let



7 a 8 let



8 a 9 let



TRANSVERZÁLNÍ

LONGITUDINÁLNI

9 a 10 let



10 a 11 let



11 a 12 let



12 a 13 let



13 a 14 let



14 a 15 let



Porovnání tvarových rozdílů obličeje chlapců transverzálního a longitudinálních souborů ve věku od 3 do 15 let je vizualizováno na vizualizacích č. 40 a 41. Stejně jako u rozdílů formy i zde můžeme sledovat nepravidelné, na sebe nenavazující, rozdíly v tvaru obličeje chlapců u transverzálního souboru. Návaznost lze lépe pozorovat u longitudinálních souborů. Shodná umístění statistické signifikance rozdílů sledujeme v každé věkové kategorii, mají ale mnohem menší plochu než při pozorování rozdílů ve formě, a to z důvodu odstranění kontaminace velikostí.

U longitudinálních souborů jsou plochy statisticky signifikantní změny rozsáhlejší než plochy rozdílů u transverzálního souboru. Pouze při porovnání 4 a 5letých a 6 a 7letých chlapců pozorujeme opačný jev, to může být způsobeno například snížením variability u transverzálního souboru.

Největší shoda je zaznamenána mezi 13 a 14 lety, nachází se v oblasti nosu, tváří a na bradě. Podobné trendy ve změně tvaru u longitudinálního souboru sledujeme však jen v oblasti nosu, u transverzálního souboru je rozdíl v tvaru intenzivnější.

Nejméně rozsáhlé shody sledujeme v intervalu od 5 do 8 let, shody mají podobu jen malých průniků.

Ve věkovém intervalu od 3 do 9 let pozorujeme naprosto odlišné vizuální výsledky. Při porovnání 4 a 5letých chlapců sledujeme nejvíce rozsáhlou shodu tohoto období, a to v oblasti nosu a tváří, v této oblasti mají rozdíly tvaru podobný charakter.

Od 9 do 15 let se shodné oblasti jeví větší, nejrozsáhlejší můžeme sledovat ve věku od 13 do 14 let v oblasti nosu a tváří. Tato situace byla již popsána výše.

Využití jednoročních intervalů pro studování tvarových rozdílů obličeje chlapců transverzálního souboru není vhodné. Jednotlivé rozdíly na sebe nenavazují a mají různou intenzitu projevu. Variabilita transverzálního souboru je pro využití ročních intervalů příliš velká. U longitudinálních souborů můžeme sledovat mnohem souvislejší změny tvaru, variabilita souboru je menší a dané tvarové změny jsou statisticky signifikantní.

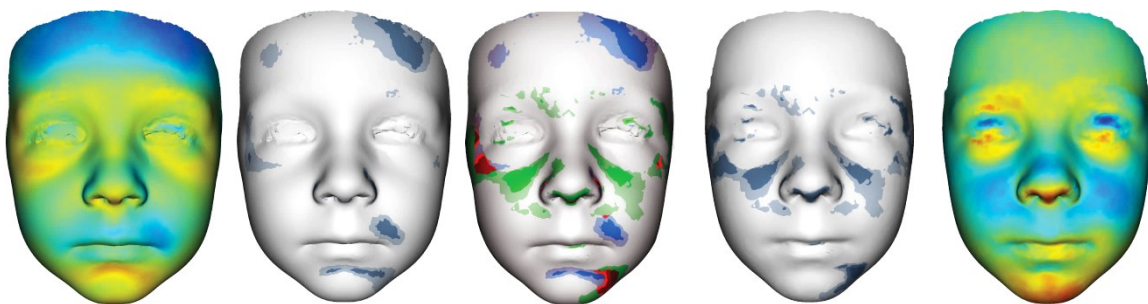
Obr. 40: Vizualizace rozdílů tvaru chlapců od 3 do 9 let transverzálního a longitudinálních souborů za ročních intervalů. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transverzálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transverzálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

Obr. 41: Vizualizace rozdílů tvaru chlapců od 9 do 15 let transverzálního a longitudinálních souborů za ročních intervalů. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transverzálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transverzálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

TRANSVERZÁLNÍ

LONGITUDINÁLNÍ

3 a 4 roky



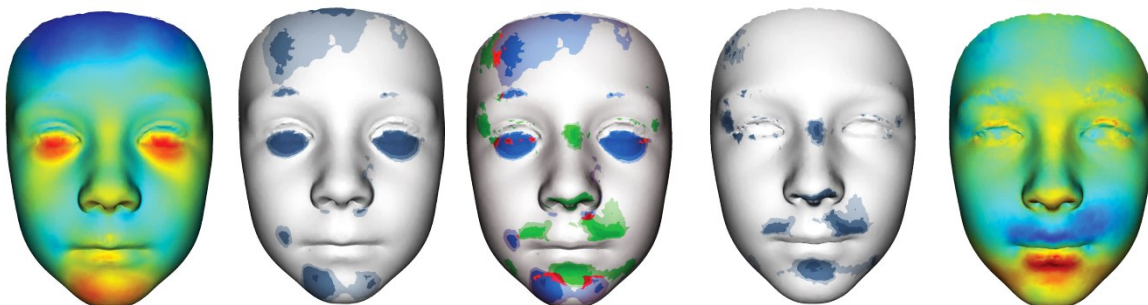
4 a 5 let



5 a 6 let



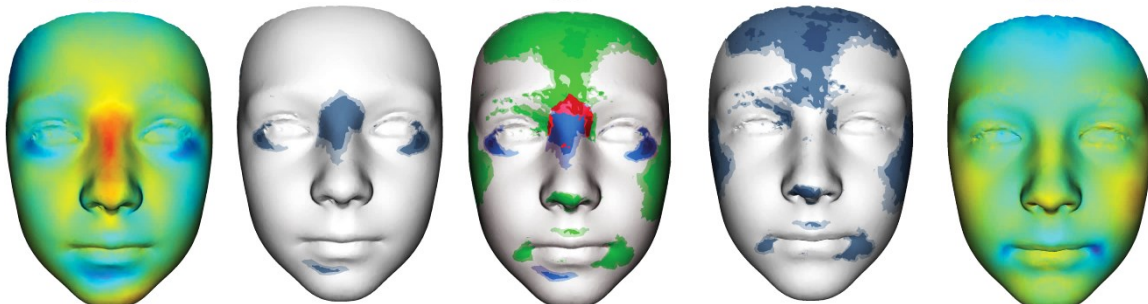
6 a 7 let



7 a 8 let



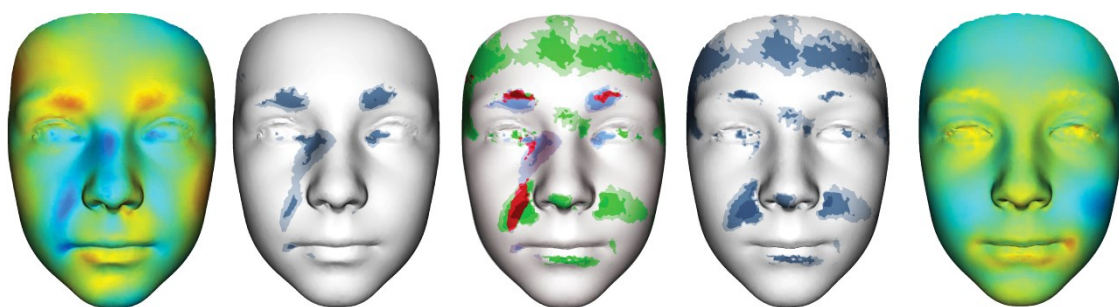
8 a 9 let



TRANSVERZÁLNÍ

LONGITUDINÁLNÍ

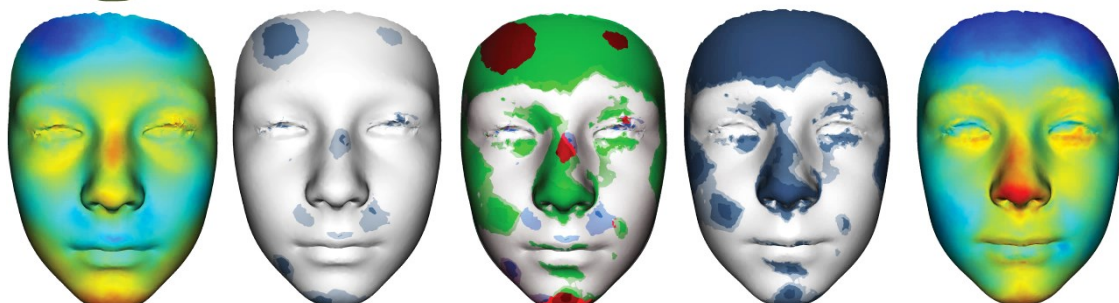
9 a 10 let



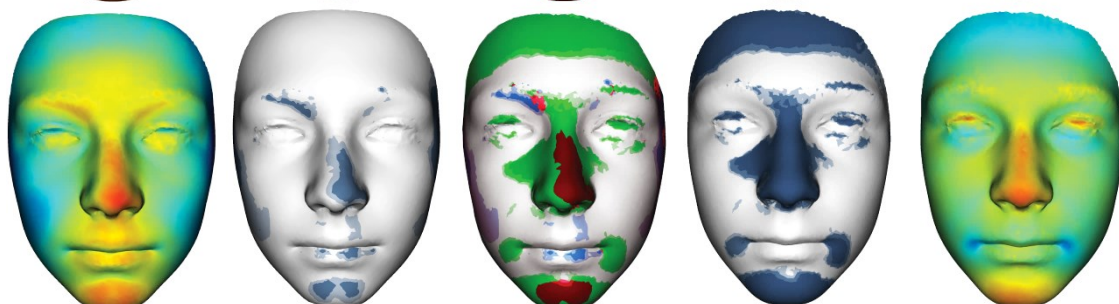
10 a 11 let



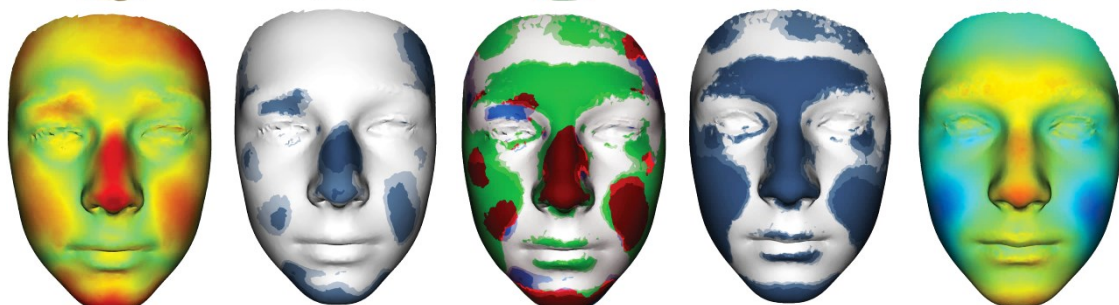
11 a 12 let



12 a 13 let



13 a 14 let



14 a 15 let



6.2.1.2. Porovnání rozdílů formy a tvaru u dívek

Porovnání odlišností ve formě obličeje dívek ve věku od 3 do 15 let mezi transversálním a longitudinálními soubory bylo vizualizováno na obrázcích č. 42 a 43. Stejně jako u chlapců i u dívek pozorujeme nepravidelné a na sebe nenavazující rozdíly ve formě obličeje u transversálního souboru. Výraznější návaznost změn formy sledujeme u obličeje dívek longitudinálních souborů. Shodné oblasti pozorujeme ve všech věkových kategoriích.

Rozsáhlejší plochy statisticky signifikantních změn jsou opět sledovány u longitudinálních souborů. Výjimku pozorujeme při porovnání 5 a 6letých a 6 a 7 letých dívek, příčinou může být například vysoká variabilita jedinců v longitudinálním souboru.

Největší shodu umístění statistických signifikancí pozorujeme u 4 a 5letých a 12 a 13letých dívek. Při porovnání 12 a 13letých pozorujeme i podobné směry změn a rozdílů ve velikosti obou souborů, u transversálního souboru je rozdíl velikosti však větší.

Shodu umístění statistické signifikance o nejmenší rozloze sledujeme při porovnání 8 a 9letých dívek. U dívek transversálního souboru je zaznamenána redukce velikosti na celé ploše obličeje, u longitudinálního souboru sledujeme naprosto odlišné děje.

Ve věku od 3 do 6 let pozorujeme, stejně jako u chlapců, určité podobnosti obou souborů v oblasti nosu, mezi 4 a 5 lety se dokonce jedná o statisticky signifikantní oblast u obou souborů.

Od 6 do 9 let sledujeme největší shodu hned mezi 6 a 7 lety. Při pohledu na superprojekční mapy pozorujeme podobné směrové tendence velikostních rozdílů a změn obou souborů, jen u transversálního souboru mají vyšší intenzitu. Ostatní porovnání věkových kategorií jsou odlišná.

Největší rozdíly v umístění statisticky významných rozdílů jsou zaznamenány v intervalu od 9 do 12 let. U transversálního souboru také sledujeme výrazně odlišné rozdíly ve velikosti některých oblastí. Změny formy u longitudinálního souboru na sebe navazují a vyznačují se statistickou signifikancí.

Ve věkovém intervalu od 12 do 15 let sledujeme mezi soubory odlišné rozdíly. Pouze při porovnání 12 a 13letých dívek je zaznamenána podobná situace u obou souborů. Shoda je pozorována pouze v oblasti nadočnicových oblouků, nosu a brady. Sledované velikostní rozdíly mají podobný charakter, pouze u transversálního souboru se jeví intenzivnější.

Rozdíly sledované v jednotlivých porovnáních jsou nepravidelné, mají různou intenzitu a neodpovídají opravdovému růstu. Pro hodnocení transversálního souboru nejsou jednorocní intervaly vhodná volba, variabilita souboru je pro toto hodnocení příliš vysoká. Využitím jednorocních intervalů můžeme sledovat růstové trendy u longitudinálních souborů, jejich variabilita není tak vysoká a zobrazené změny na sebe navazují.

Obr. 42: Vizualizace rozdílů formy dívek od 3 do 9 let transversálního a longitudinálních souborů za ročních intervalů. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transversálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transversálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

Obr. 43: Vizualizace rozdílů formy dívek od 9 do 15 let transversálního a longitudinálních souborů za ročních intervalů. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transversálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transversálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

TRANSVERZÁLNÍ

LONGITUDINÁLNÍ

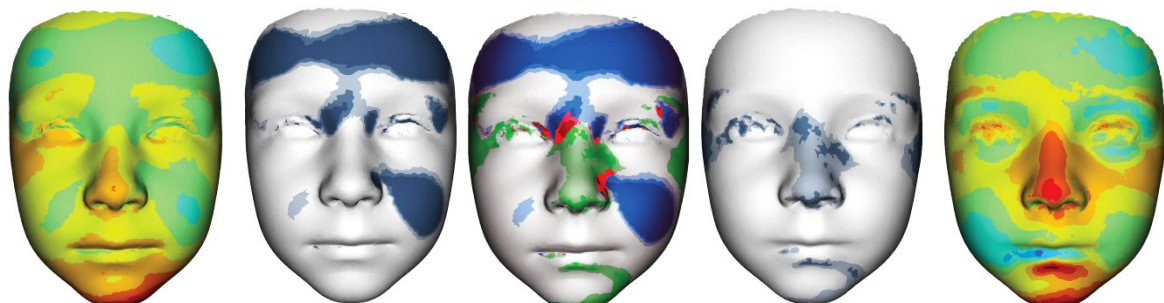
3 a 4 roky



4 a 5 let



5 a 6 let



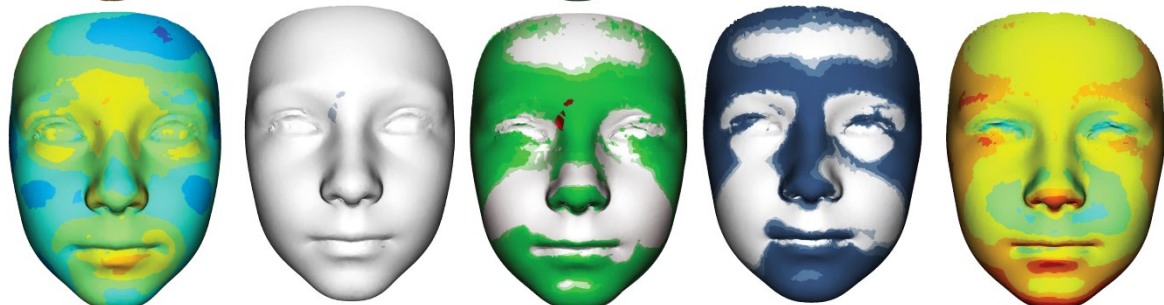
6 a 7 let



7 a 8 let



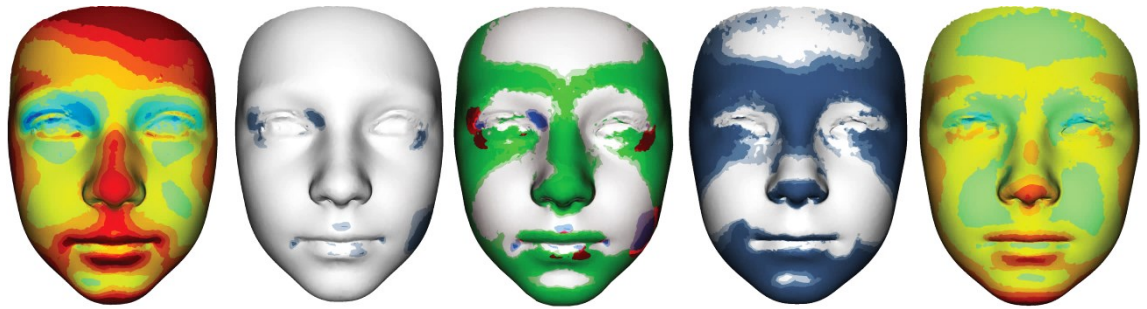
8 a 9 let



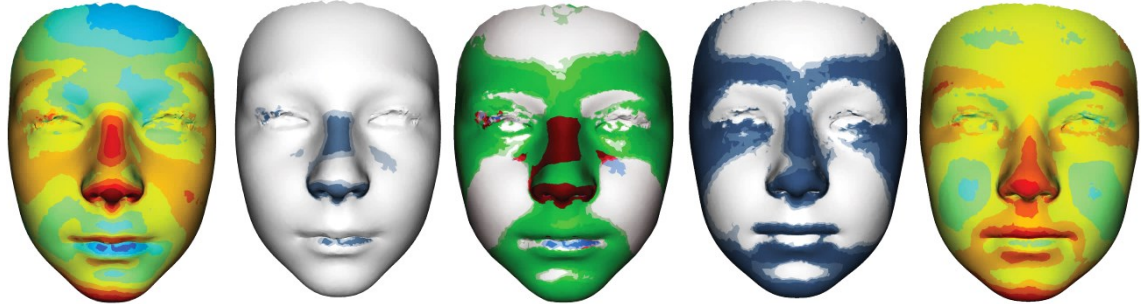
TRANSVERZÁLNÍ

LONGITUDINÁLNÍ

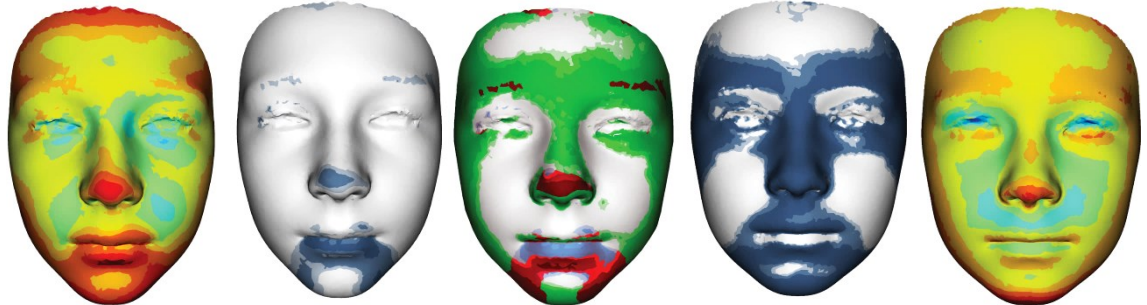
9 a 10 let



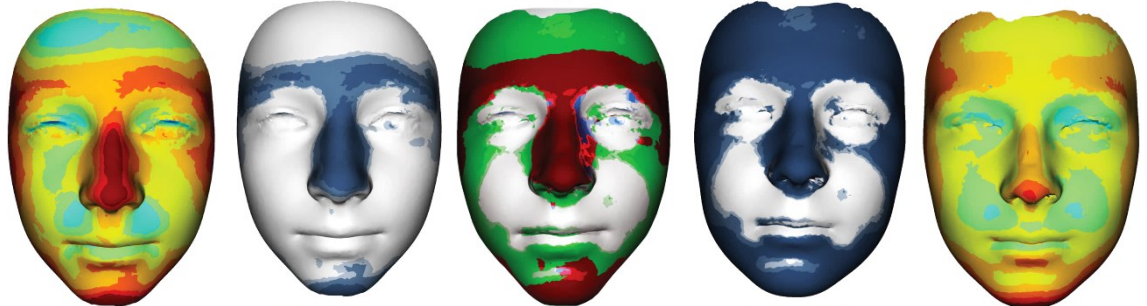
10 a 11 let



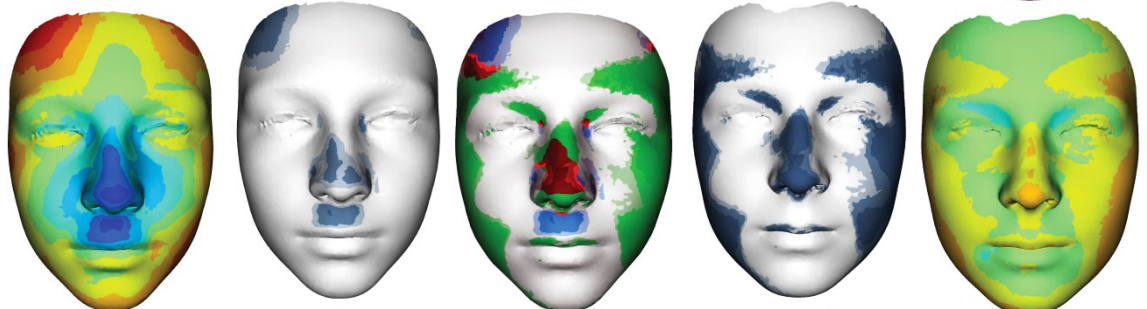
11 a 12 let



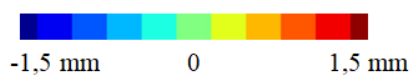
12 a 13 let



13 a 14 let



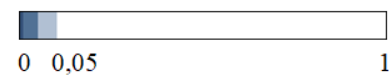
14 a 15 let



T

P

L



Na obrázcích č. 44 a 45 je vizualizováno porovnání tvarových odlišností obličeje dívek transverzálního a longitudinálních souborů ve věku od 3 do 15 let. Tvarové rozdíly obličeje dívek transverzálního souboru jsou opět, stejně jako u formy, nepravidelné a na sebe nenavazující. U longitudinálních souborů je možné sledovat lepší návaznost změn. Shodná umístění statisticky významných rozdílů je možné pozorovat ve všech porovnáních. Pozorovaná shoda je menší než u porovnání formy, a to v důsledku odstranění vlivu velikosti obličeje.

Rozsáhlejší statisticky významné plochy jsou sledovány u longitudinálních souborů. Transverzální soubor je více variabilní a statisticky signifikantních rozdílů je možné sledovat méně. V některých případech ovšem sledujeme větší statisticky signifikantní plochy u transverzálního souboru, například při porovnání 5 a 6letých a 6 a 7letých dívek.

Největší shodu v umístění statistických signifikancí je možné sledovat při porovnání 6 a 7letých dívek. Shoda je sledována v oblasti nosu, kde sledujeme pozitivní rozdíl, který je u transverzálního souboru intenzivnější. Dále je shoda sledována v oblasti tváří a čela, zde pozorujeme negativní rozdíly.

Nejméně rozsáhlé shody můžeme pozorovat při porovnání věkových skupin od 8 do 10 let a 14 a 15letých dívek, mají podobu jen malých průniků.

Od 3 do 9 let pozorujeme minimální shodu umístění statisticky významných rozdílů. Transverzální soubor vykazuje naprosto odlišné vizuální výsledky od longitudinálních souborů. Pouze u 4 a 5letých dívek sledujeme podobné tendence jak v umístění statisticky signifikantního rozdílu, tak v intenzitě, a to v oblasti nosu.

V intervalu od 9 do 15 let pozorujeme opět minimální shodu v umístění statisticky významných rozdílů. U transverzálního souboru je možné sledovat střídající se pozitivní a negativní rozdíly tvaru, konkrétně v oblasti nosu při porovnání věkových skupin 12 až 15letých dívek. Longitudinální soubor v tomto věku vykazuje již minimální změny tvaru, které probíhají po celé ploše obličeje.

Hodnocení tvarových rozdílů obličeje dívek transverzálního souboru pomocí jednoročních intervalů není vhodné. Ve všech věkových kategoriích můžeme sledovat extrémní případy negativních či pozitivních rozdílů. Tyto rozdíly na sebe plynule nenavazují, mají různou intenzitu a postrádají smysl. Tento projev je důsledkem vysoké variability transverzálního souboru. Naopak u longitudinálního souboru můžeme sledovat změny odpovídající reálnému růstu, tyto změny na sebe navazují.

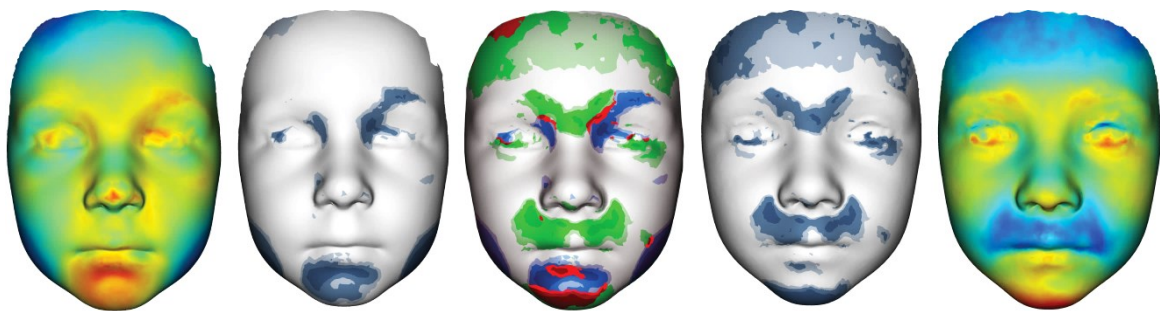
Obr. 44: Vizualizace rozdílů tvaru dívek od 3 do 9 let transversálního a longitudinálních souborů za ročních intervalů. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transversálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transversálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

Obr. 45: Vizualizace rozdílů tvaru dívek od 9 do 15 let transversálního a longitudinálních souborů za ročních intervalů. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transversálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transversálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

TRANSVERZÁLNÍ

LONGITUDINÁLNÍ

3 a 4 roky



4 a 5 let



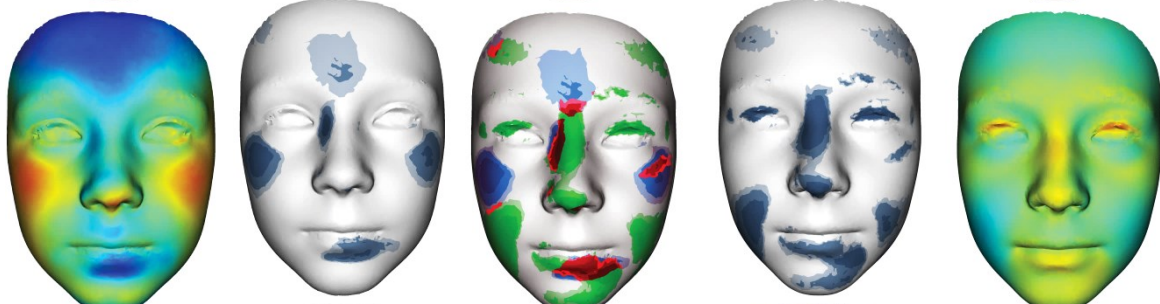
5 a 6 let



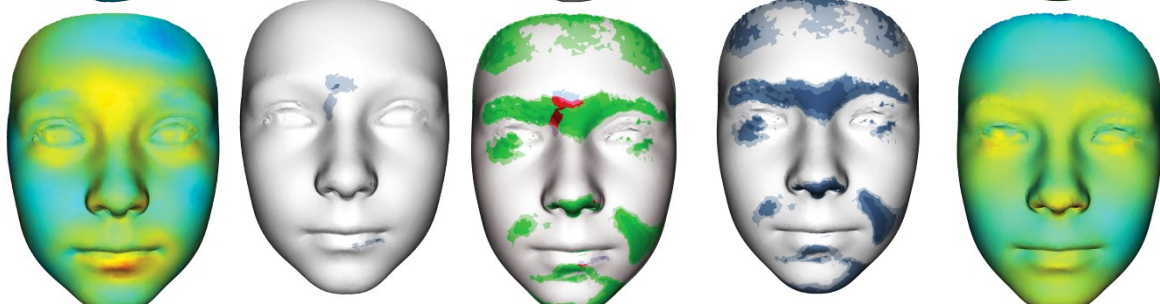
6 a 7 let



7 a 8 let



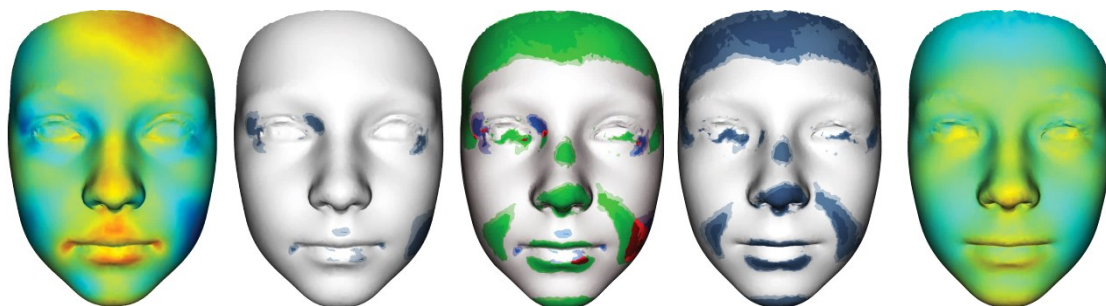
8 a 9 let



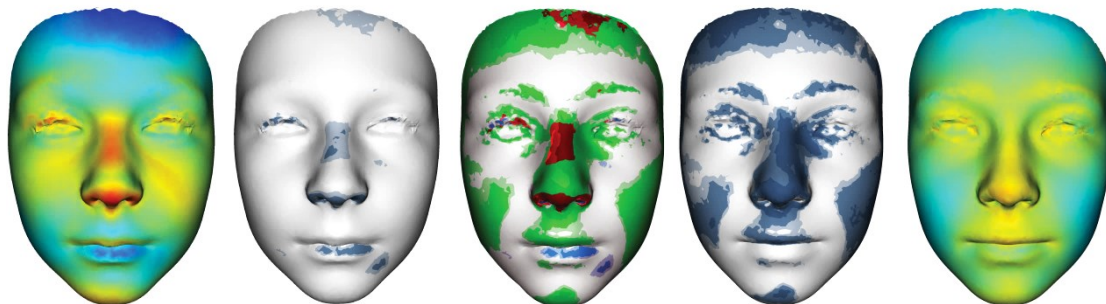
TRANSVERZÁLNÍ

LONGITUDINÁLNI

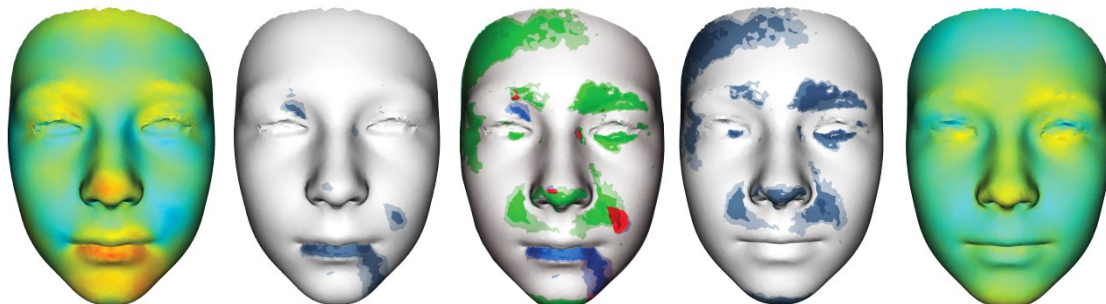
9 a 10 let



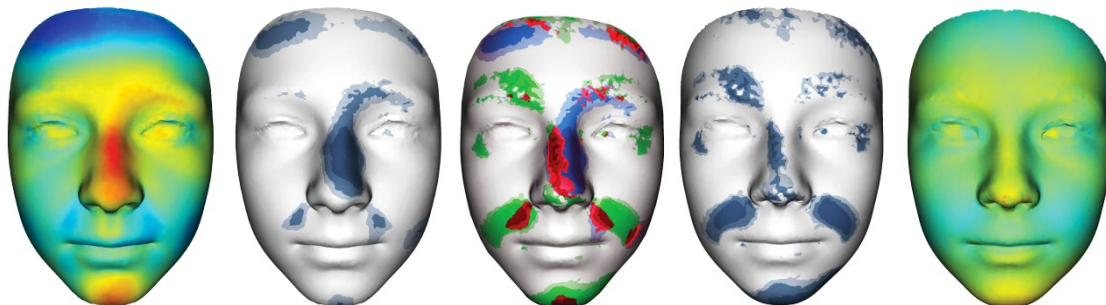
10 a 11 let



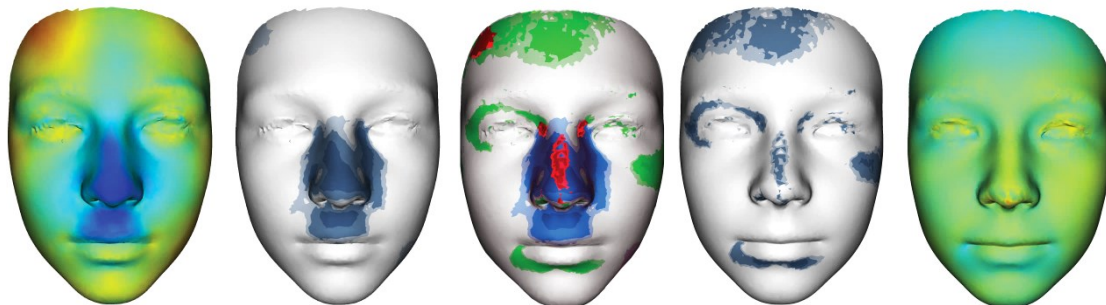
11 a 12 let



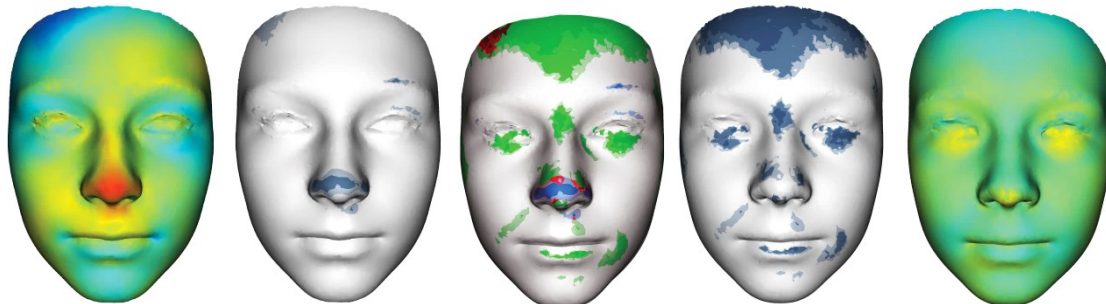
12 a 13 let



13 a 14 let



14 a 15 let



6.2.2. Porovnání rozdílů formy a tvaru u transverzálního a longitudinálních souborů od 3 do 15 let s využitím širších a vzdálenějších intervalů

V podkapitole je transverzální soubor porovnáván s longitudinálními za využití širších věkových intervalů. Bylo tak dosaženo vyššího počtu jedinců v porovnávaných skupinách. Věkové intervaly transverzálních dat byly tvořeny s ohledem na longitudinální data, která byla k dispozici. Došlo k porovnání vždy po sobě následujících věkových kategorií: 3letí jedinci; 5 až 7letí jedinci, jejichž věkový průměr byl 6 let; 8 až 10letí, věkový průměr 9 let; 11 až 13letí, věkový průměr 12 let; 15letí jedinci. Věkové kategorie 3 letých a 15 letých obsahovaly méně jedinců. Dále budou průměrné věkové kategorie nazývány jen svým průměrným věkem. Pro hodnocení longitudinálních souborů bylo využito vzdálených věkových intervalů: 3letí, 6letí, 9letí, 12letí a 15letí jedinci. Širší věkové intervaly zde nebylo možné využít, a to z důvodu následující aplikace párových analýz. Pro zjednodušení popisu bude využito pojmenování znázorněné v tabulce č. 8.

Tab. 8: Znázornění jednotlivých porovnaní výsledků transverzálního a longitudinálních souborů.

název	Transverzální data	Longitudinální data
1. kategorie	3 vs. 5-7 letí	3 vs. 6 letí
2. kategorie	5-7 vs. 8-10 letí	6 vs. 9 letí
3. kategorie	8-10 vs. 11-13 letí	9 vs. 12 letí
4. kategorie	11-13 vs. 15 letí	12 vs. 15 letí

Pro vizualizaci výsledků byly využity superprojekční mapy, mapy signifikance a mapy prolnutí signifikance. Hodnocení je shodné jako v předešlé kapitole (6.2.1. Porovnání rozdílů formy a tvaru u transverzálního a longitudinálních souborů od 3 do 15 let po ročních intervalech), pro hodnocení formy byla nastavena škála v intervalu od -4 mm do 4 mm za využití 16 odstínů barev (rozdíl odpovídá 0,5 mm).

6.2.2.1. Porovnání rozdílů formy a tvaru u chlapců

Na obrázku č. 46 sledujeme porovnání statisticky významných oblastí u chlapců ve věku od 3 do 15 let transverzálního a longitudinálních souborů. Díky využití širších a vzdálenějších intervalů je už při prvním celkovém pohledu možné si povšimnout větší vizuální podobnosti výsledků transverzálního souboru. Větší statisticky významné oblasti lze pozorovat u transverzálního souboru, a to v každé věkové kategorii, příčinou může být vyšší počet jedinců v transverzálním souboru.

1. kategorie

V 1. kategorii je sledován rozdíl formy mezi 3letými a 6letými jedinci. Rozdíly ve velikosti mají u obou souborů podobnou lokaci a směr (pozitivní, negativní). U transverzálního souboru jsou však tyto rozdíly výraznější, a plocha statisticky významných rozdílů je větší.

Při porovnávání výsledků obou souborů sledujeme u 1. kategorie největší shodu umístění statisticky významných oblastí v centrální části obličeje zahrnující nos a ústa, dále se shoda rozšiřuje na oblast brady. Mezi další shodně umístěné oblasti patří spánky, odkud se shoda rozšiřuje až do oblasti nadočnicových oblouků a spodní části oblasti očí. Ve všech popsaných místech je u obou souborů zaznamenán pozitivní rozdíl ve velikosti u 6letých jedinců, který se například na nosu pohybuje v rozmezí od 1 do 3,5 mm.

Podobný stav u obou souborů je také zaznamenán v oblasti čela, kde nedochází k žádným nebo jen mírným rozdílům v rozmezí od -0,5 mm do 0 mm, jedná se však o rozdíly postrádající statistickou významnost.

Rozdíly formy v oblasti tváří postrádají u longitudinálního souboru statistickou významnost a je zde sledován žádný nebo místy pozitivní rozdíl až 1 mm. U transverzálního souboru sledujeme mírně vyšší rozdíly, a to až o 1,5 mm, zde už se však jedná o rozdíl signifikantní.

2. kategorie

Ve 2. kategorii můžeme u transverzálního i longitudinálního souboru sledovat rozdíly formy mezi 6 a 9letými jedinci, tyto rozdíly jsou podobné jak v umístění, tak směru. Ovšem u transverzálního souboru dochází k výraznějším velikostním rozdílům, a to zejména v dolní polovině obličeje. Plocha statisticky významných rozdílů je u transverzálního souboru větší než u longitudinálního, důvodem může být vyšší počet jedinců v transverzálním souboru.

Ke shodě umístění statistické významnosti dochází v oblasti nadočnicových oblouků a střední části čela, dále v oblasti nosu, laterálních ploch celého obličeje a v oblasti dolní čelisti a brady. V popsaných oblastech dochází u 9letých jedinců k pozitivním rozdílům velikosti u obou souborů. Nejvýraznější rozdíly shodné nejen svým umístěním statistické významnosti, ale i v rozdílu velikosti, sledujeme v místech nadočnicových oblouků (0,5 až 2 mm).

V oblasti čela pozorujeme u obou souborů minimální pozitivní rozdíly formy v rozmezí od 0 do 1 mm. Jedná se o rozdíly postrádající statistický význam, a to opět u obou souborů.

Změny v oblasti tváří jsou u longitudinálního souboru nesignifikantní. U starších jedinců dochází v této oblasti a na ploše horního rtu k redukci velikosti, rozdíly se pohybují v intervalu od -0,5 do 0,5 mm. Naopak ve stejné oblasti u chlapců transversálního souboru pozorujeme statisticky významný přírůstek až 1 mm.

3. kategorie

Ve 3. kategorii jsou popsány rozdíly mezi 9 a 12letými chlapci. Rozdíly formy, které můžeme sledovat u transversálního a longitudinálního souboru ve 3. kategorii, mají shodné umístění i směr. V této věkové kategorii dochází k nejpodobnějším rozdílům. Mírně výraznější změny velikosti můžeme sledovat tentokrát u 12letých chlapců longitudinálního souboru. U obou souborů pozorujeme vysokou shodu map signifikancí, malé rozdíly sledujeme pouze v oblasti dolních víček, tváří a čela.

Oba soubory vykazují statisticky významné rozdíly na celé ploše obličeje s výjimkou frontálních částí tváří a čela, kde pozorujeme redukci velikosti až o 0,5 mm. V oblastech vykazující signifikantní rozdíly u obou souborů dochází převážně k pozitivním rozdílům formy. K nejvýraznějším pozitivním rozdílům velikosti dochází v oblasti nosu. Nejvyšší rozdíly dosahují až 4 mm u starších jedinců longitudinálního souboru a 3 mm u transversálního souboru.

4. kategorie

Poslední kategorie popisuje rozdíly mezi 12 a 15letými jedinci. Statisticky významná plocha u transversálního souboru se téměř shoduje s rozložením statisticky významné plochy longitudinálního souboru, malé rozdíly sledujeme pouze v oblasti tváří a čela.

Statisticky významné oblasti obou souborů vykazují rozdíl velikosti ve stejném směru. Ovšem rozdíly formy u transversálního souboru jsou výraznější než u longitudinálního souboru, a to zejména v oblasti čela a v dolní polovině obličeje, kde pozorujeme větší rozdíly velikosti v oblasti úst.

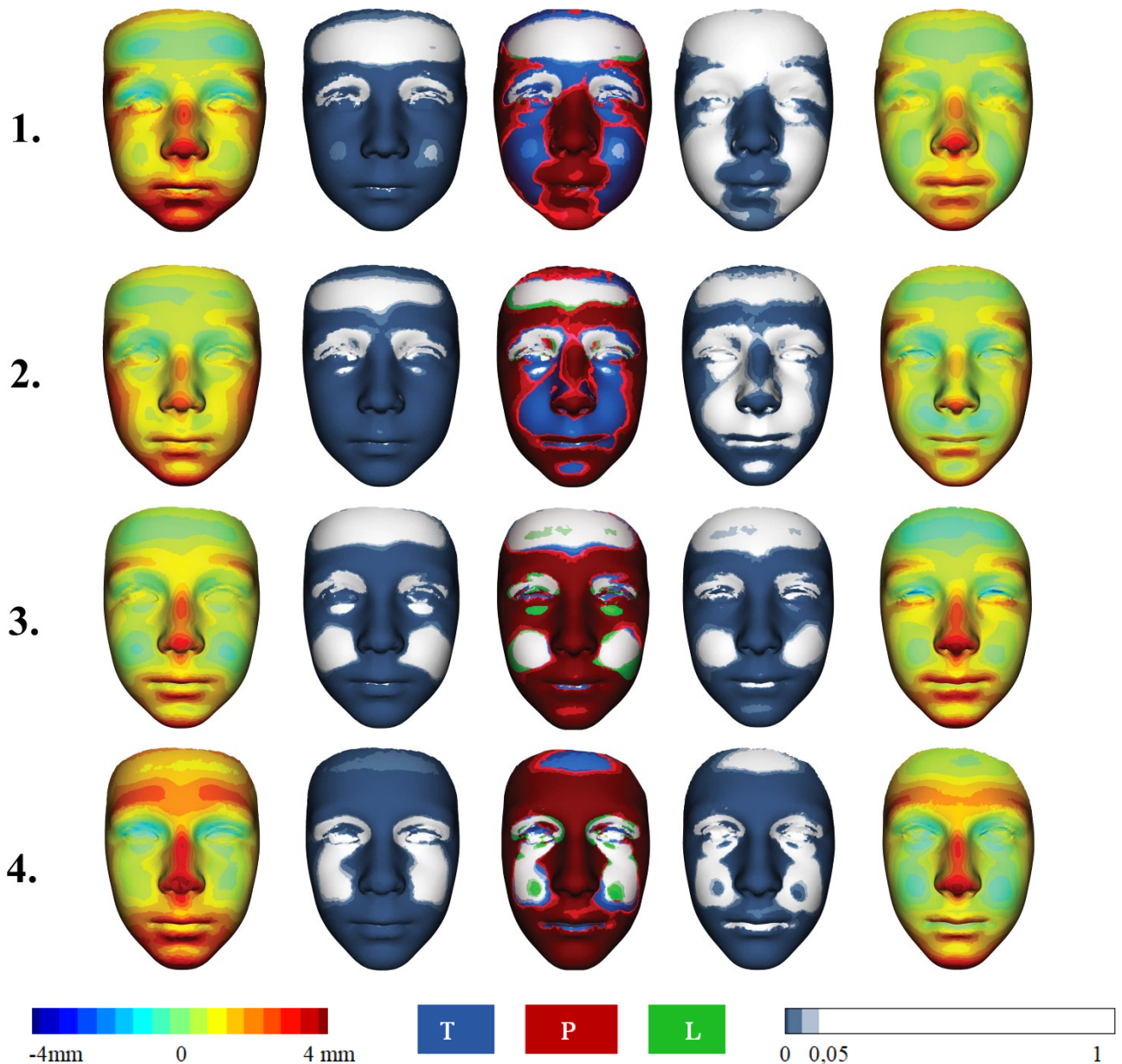
Nejvýraznější rozdíly velikosti, které se nachází v oblasti shody obou souborů, můžeme sledovat v oblasti nadočnicových oblouků. Zde sledujeme u 12letých jedinců rozdíl velikosti až o 2,5 mm (výraznější projev sledujeme u transversálního souboru). Dále pozorujeme podobný rozdíl v oblasti nosu. Na hrotu nosu se u obou souborů velikost mění až o 4 mm. I v oblasti dolní čelisti sledujeme shodné rozdíly velikosti, ty se projevují

v kaudálním směru a mají velikost až 4 mm. Rozdíly v oblasti očí a tváří postrádají u obou souborů statistickou významnost, až na centrální část tváří longitudinálního souboru, kde dochází k mírnému oploštění.

Rozdíly formy obličeje chlapců transversálního souboru odpovídají očekávaným růstovým změnám. Potvrzuje nám to vizuální podobnost s longitudinálním souborem, který lze považovat za opravdový růst. Od 3 do 9 let sledujeme přeměnu dětského obličeje, kdy dochází k oplošťování čela a tváří, centrální část obličeje se dostává více do protruze a tak se mění i profil obličeje. Další výrazné rozdíly formy sledujeme ve věku od 12 do 15 let, období ovlivněném pubertálním spurtem.

TRANSVERZÁLNÍ

LONGITUDINÁLNÍ



Obr. 46: Vizualizace rozdílů formy chlapců transverzálního a longitudinálních souborů za využití širších a vzdálených intervalů. Řady jsou označeny čísly jednotlivých věkových kategorií. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transverzálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transverzálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

Porovnání rozdílů tvaru transverzálního a longitudinálních souborů můžeme sledovat na obrázku č. 47. Využití širších intervalů u transverzálního souboru, nám zajistilo zvýraznění tvarové podobnosti s longitudinálním souborem. Větší plochy se statistickou významností sledujeme u transverzálního souboru, jen ve 4. kategorii jsou tyto plochy rozsáhlejší u longitudinálního souboru.

1. kategorie

Větší signifikantní plochy sledujeme u transverzálního souboru. K výraznějším tvarovým rozdílům dochází u transverzálního souboru.

Vůči 3letým jedincům sledujeme u obou souborů u 6letých jedinců pozitivní rozdíl tvaru hlavně v oblastech očí, nosu, úst a brady, zvyšuje se tak protruze centrální části obličeje. Tyto rozdíly jsou statisticky významné u transverzálního souboru, v menší míře také u longitudinálních souborů.

Negativní rozdíly tvaru pozorujeme u obou souborů v oblasti čela a tváří. U obou souborů mají tyto rozdíly statisticky signifikantní charakter, u longitudinálního souboru je plocha signifikantních rozdílů však výrazně menší.

2. kategorie

Při porovnání rozdílů tvaru mezi 6 a 9letými chlapci pozorujeme větší statisticky významné plochy u transverzálního souboru. Statisticky významné plochy longitudinálního souboru jsou opět lokalizovány uvnitř ploch transverzálního souboru. Největší shodná plocha se nachází v oblasti čela, kde dochází k negativním rozdílům tvaru u obou souborů.

Pozitivní rozdíly tvaru, které sledujeme u transverzálního souboru v oblasti očí, tváří, nosu, úst a brady, mají větší plochu a pozvolna do sebe přecházejí. Jsou výraznější a mají statisticky významný charakter. Zatímco pozitivní změny sledované u longitudinálního souboru jsou spíše lokálního charakteru.

Nejvýraznější odlišnosti sledujeme v oblasti horního rtu a okolní oblasti tváří. U longitudinálního souboru pozorujeme statisticky signifikantní negativní změny tvaru, zatímco u transverzálního souboru dochází k mírnému pozitivnímu rozdílu, který ovšem postrádá statisticky významný charakter.

3. kategorie

Ve 3. kategorii sledujeme u obou souborů nejvyšší podobnost rozdílů tvaru obličeje chlapců, a to jak v rozloze shody, tak i ve směru rozdílu tvaru. Mírně výraznější změna tvaru je pozorována u longitudinálního souboru.

K pozitivním rozdílům tvaru dochází u obou souborů v oblasti nadočnicových oblouků, nosu, rtů, brady a tváří. Jedná se o statisticky signifikantní oblasti obou souborů.

Jako negativní rozdíly byly u obou souborů označeny oblasti čela a tváří, které jsou opět statisticky významné.

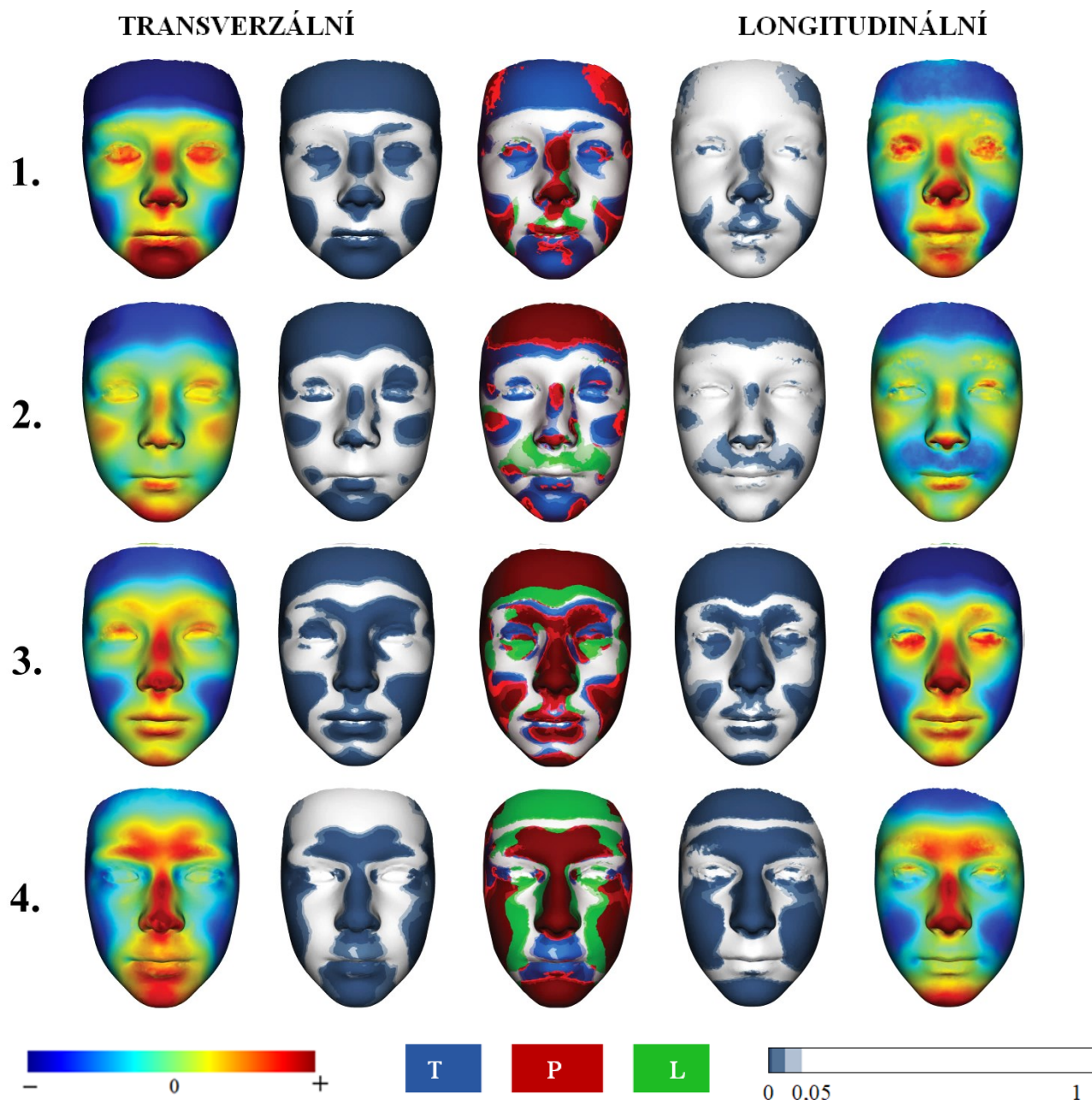
4. kategorie

U 4. kategorie sledujeme větší plochu statisticky významných rozdílů u longitudinálního souboru. Ke shodě dochází v oblastech nadočnicových oblouků, nosu, brady a laterálních stran obličeje. V oblastech shody je sledován i stejný směr rozdílu tvaru.

Největší pozitivní shodný rozdíl tvaru pozorujeme v oblasti nosu, nadočnicových oblouků a vrcholu brady. U transversálního souboru se statisticky významně mění také tvar oblasti úst.

Negativní rozdíly tvaru sledujeme v oblasti tváří, kde byla zaznamenána také shoda umístění statisticky významných míst. Dále jsou negativní rozdíly tvaru zaznamenány v oblasti čela, o statisticky signifikantní změnu se jedná pouze v případě longitudinálního souboru.

Tvarové rozdíly obličeje chlapců transversálního souboru jsou podobné reálným tvarovým změnám obličeje chlapců zaznamenaným u longitudinálního souboru. V jednotlivých kategoriích můžeme pozorovat plynulou návaznost rozdílů. Výrazný rozdíl tvaru mezi soubory je zaznamenán pouze ve 2. věkové kategorii, kde jsme pomocí transversálních dat nezaznamenali negativní rozdíly v oblasti horního rtu a okolní oblasti tváří jako u longitudinálního souboru.



Obr. 47: Vizualizace rozdílů tvaru chlapců transverzálního a longitudinálních souborů za využití širších a vzdálených intervalů. Řady jsou označeny čísly jednotlivých věkových kategorií. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transverzálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transverzálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

6.2.2.2. Porovnání rozdílů formy a tvaru u dívek

Porovnání rozdílů formy u dívek transverzálního a longitudinálních souborů můžeme sledovat na obrázku č. 48. Při využití širších intervalů u transverzálního souboru je dosaženo větší vizuální podobnosti longitudinálním souborům a jsou tak vystiženy důležité rozdíly tohoto věkového období. Větší oblasti se statisticky významným

charakterem sledujeme u transversálního souboru s výjimkou 4. kategorie. Nejrozdílnější výsledky sledujeme u 1. kategorie, a to v oblasti nosu.

1. kategorie

Pozorované velikostní rozdíly mají u obou souborů podobné umístění a směr, odlišnosti sledujeme pouze v intenzitě rozdílu velikosti. Plocha statisticky významných změn u longitudinálního souboru je výrazně menší než plocha transversálního souboru. Shodu umístění sledujeme v oblasti nosu, úst a některých částí oblasti brady, tváří a očí.

Největší shodu umístění statisticky významných ploch pozorujeme v oblasti nosu, větší změny velikosti jsou sledovány u longitudinálního souboru. Dále je shoda sledována v oblasti laterálních stran obličeje s přechodem do nadočnicových oblouků, rozdíl velikosti je zde podobný.

V oblasti čela je u obou souborů zaznamenán rozdíl velikosti v rozmezí od -0,5 mm do 0,5 mm a jedná se o rozdíl bez statistické významnosti.

Rozdíl v umístění statisticky významných ploch sledujeme v oblasti tváří. U longitudinálního souboru dochází ke změně v rozmezí od -0,5 mm do 0,5 mm, tato změna postrádá statistickou významnost. Zatímco u transversálního souboru se jedná o statisticky významnou oblast rozdílů a nejčastější rozdíl velikosti se pohybuje okolo 0,5 mm.

2. kategorie

U rozdílu velikosti ve 2. kategorii je oproti předešlé kategorii zaznamenána větší shoda. Větší plocha statisticky významných rozdílů je opět sledována u transversálního souboru, který obsahuje více jedinců. Velikostní rozdíly obličeje mají u obou souborů podobný charakter, pouze u střední části obličeje 9letých dívek transversálního souboru zaznamenáváme o 0,5 mm větší rozdíly.

Shodu umístění statisticky významných rozdílů pozorujeme v oblasti nadočnicových oblouků, nosu, dolních víček, laterálních stran tváří, oblasti brady a úst bez horního rtu. Ve vyjmenovaných oblastech dochází k pozitivním rozdílům velikosti.

V oblasti čela, která není ani u jednoho souboru považována za oblast se statisticky významnými rozdíly, sledujeme o 0,5 mm větší změnu u longitudinálního souboru než u transversálního.

Největší odlišnost je pozorována v oblasti předních ploch tváří, kde není u longitudinálního souboru zaznamenán téměř žádný statisticky významný růst.

3. kategorie

Ve 3. kategorii sledujeme největší shodu umístění statisticky významných rozdílů u obou souborů. Malé odlišnosti ve shodě signifikancí pozorujeme pouze v oblasti tváří, očí a čela. Plocha statisticky významných oblastí je u obou souborů podobně velká. Spolu se shodou umístění statistických signifikancí můžeme sledovat i podobný směrový a velikostní charakter rozdílů formy u obou souborů.

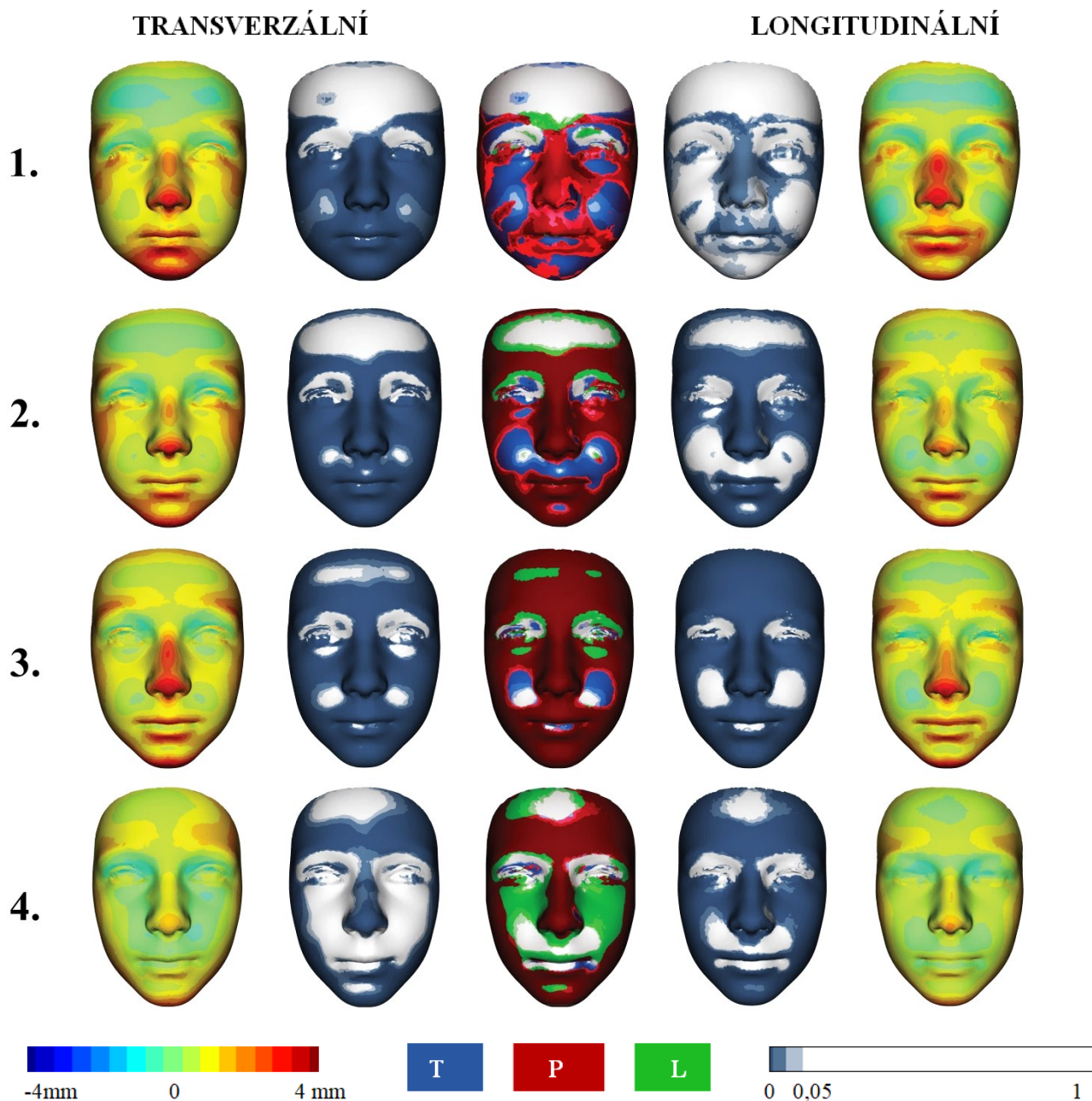
Trochu větší rozdíly velikosti můžeme sledovat v oblasti tváří a čela u 12letých dívek transverzálního souboru.

Největší rozdíl velikosti u obou souborů je sledován v oblasti nosu. Tento rozdíl se pohybuje v rozmezí od 1,5 mm do 4 mm. Dále také u obou souborů sledujeme zvětšení o 4 mm v kaudálním směru na dolní čelisti.

4. kategorie

U poslední kategorie popisující rozdíly mezi 12 a 15letými dívkami sledujeme u obou souborů postupné zastavování změn rozdílů formy dívčích obličejů. Shodu v umístění signifikantních rozdílů sledujeme v oblasti nosu, čela, na laterálních stranách obličeje, shoda pak přechází až do oblasti dolní čelisti. V těchto oblastech je u obou souborů zaznamenán pozitivní rozdíl velikosti. Ovšem oproti předcházejícím věkovým kategoriím sledujeme rozdíl velikosti jen v rozmezí od 0,5 mm do 2,5 mm. Větší plocha signifikantních rozdílů je sledována u longitudinálního souboru.

Rozdíly formy obličeje sledované u transverzálního souboru jsou až na ojedinělé výjimky vizuálně podobné reálným růstovým změnám sledovaným u longitudinálního souboru. Od 3 do 9 let sledujeme podobné rozdíly formy jako u chlapců (oplošťování čela a tváří, zvyšování protruze centrální části obličeje), poté u dívek nastupuje pubertální spurt a ve 3. kategorii můžeme sledovat výrazné rozdíly simulující růst střední části obličeje. V poslední věkové kategorii sledujeme již vyznívání pubertálního růstu a ustálení formy.



Obr. 48: Vizualizace rozdílů formy dívek transverzálního a longitudinálních souborů za využití širších a vzdálených intervalů. Řady jsou označeny čísly jednotlivých věkových kategorií. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transverzálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transverzálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

Porovnání tvarových rozdílů obličeje dívek transverzálního a longitudinálních souborů můžeme sledovat na obrázku č. 49. Díky využití širších intervalů bylo možné znázornit vizuální podobnost tvarových rozdílů obličeje dívek transverzálního souboru s dívkami souboru longitudinálního. U prvních dvou kategorií pozorujeme větší plochu statisticky významných rozdílů u transverzálního souboru, pak se situace obrací. Největší shoda umístění statistických signifikancí obou souborů je sledována ve 2. a 4. kategorii.

1. kategorie

V 1. kategorii sledujeme větší signifikantní plochu u transversálního souboru, to může být dáno vyšším počtem jedinců v transversálním souboru. Statisticky významných změn u longitudinálního souboru je výrazně méně a pohybují se v podobných oblastech jako rozdíly u transversálního souboru. Shodu můžeme sledovat v oblasti nosu, některých částech oblasti tváří, úst a očí.

Nejvýraznější tvarové rozdíly pozitivního charakteru můžeme sledovat u 6letých dívek v oblasti nosu a brady, o něco méně výrazné rozdíly sledujeme v oblasti očí. Tyto rozdíly můžeme sledovat jak u transversálního souboru, kde jsou statisticky signifikantní, tak u longitudinálního souboru, kde je statisticky signifikantní charakter sledován jen místy.

Mezi nejvýraznější negativní rozdíly tvaru patří oplošťování čela a tváří, tento proces pozorujeme u obou souborů. U transversálního se jedná o statisticky signifikantní rozdíly, u longitudinálního souboru jsou statistické změny sledovány jen na některých místech.

2. kategorie

Větší plocha statisticky významných rozdílů je u dívek mezi 6 a 9 lety sledována u transversálního souboru (díky vyššímu počtu jedinců). Shoda v této kategorii se řadí mezi nejvyšší v porovnání vizuální podobnosti tvarových rozdílů u dívek. Největší shodnou plochu můžeme pozorovat v oblasti čela, kde dochází k negativním rozdílům tvaru u obou souborů. Tvarové rozdíly jsou mírně intenzivnější u dívek transversálního souboru.

Nejvýraznější rozdíly tvaru pozorujeme u obou souborů v oblasti nosu, konkrétně na jeho hrotu, a dále v oblasti brady a dolního rtu. Popsané rozdíly jsou u obou souborů statisticky signifikantní. Pozitivní rozdíly tvaru u obou souborů také prodělává oblast očí, u transversálního souboru je tato plocha statisticky signifikantní a u longitudinálního souboru jen v některých místech.

K výrazným negativním rozdílům tvaru můžeme zařadit oplošťování čela a tváří, tento statisticky signifikantní rozdíl sledujeme u obou souborů.

3. kategorie

Ve 3. kategorii je plocha statisticky významných změn longitudinálního souboru shledána za rozsáhlejší. Shodu sledujeme v oblasti čela, nosu, tváří, brady a úst. Intenzita rozdílů tvaru je u obou souborů podobná, jen pozitivní rozdíl nosu u transversálního souboru je mírně větší.

U obou souborů sledujeme následující pozitivní rozdíly: zvyšování prominence nosu a brady. Tyto rozdíly jsou statisticky signifikantní. Dále dochází k pozitivním rozdílům tvaru v oblasti očí.

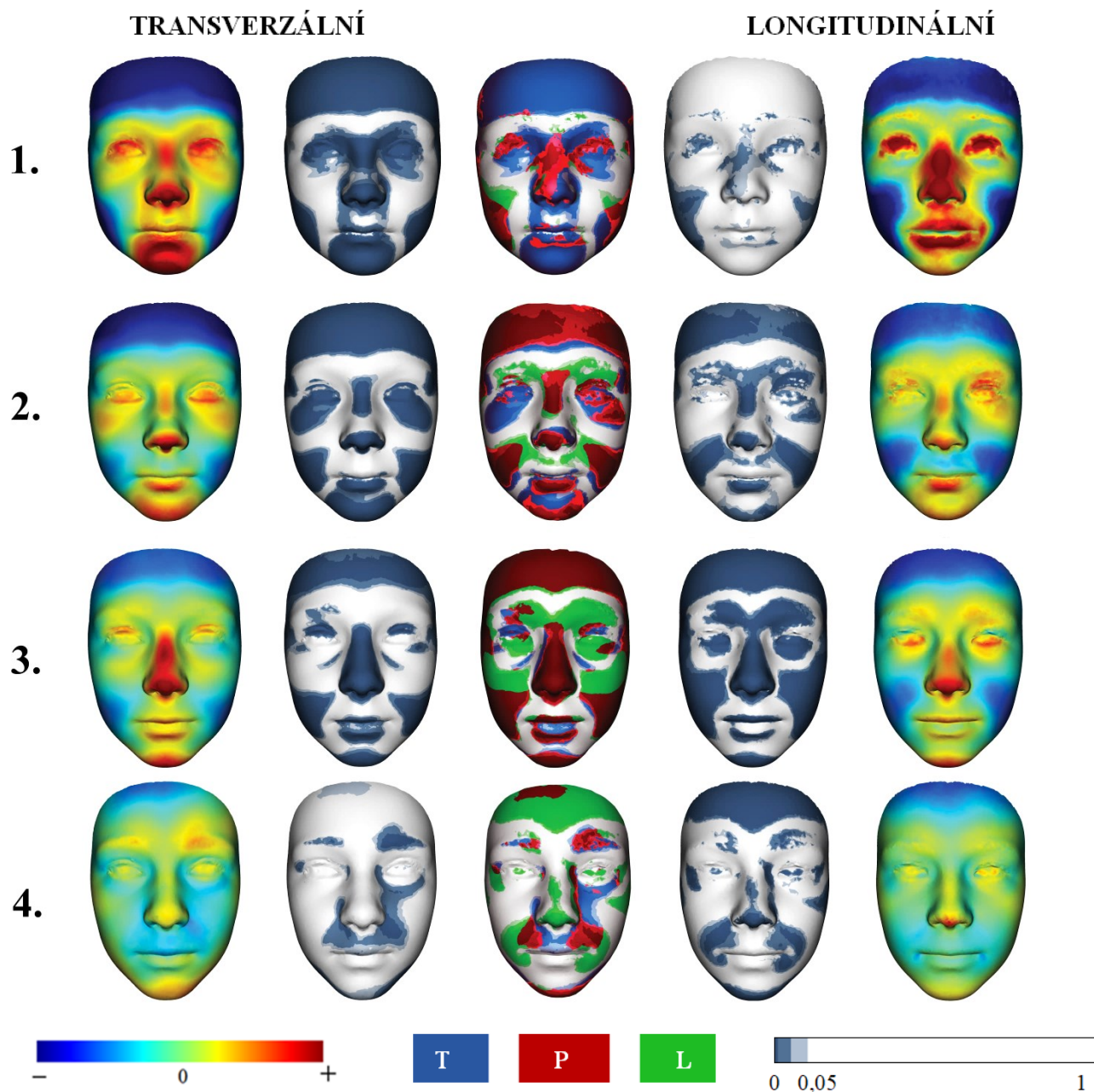
Negativní tvarové rozdíly pozorujeme v oblasti čela a tváří, tyto rozdíly probíhají u obou souborů a jsou statisticky významné.

4. kategorie

Nejméně tvarových rozdílů u děvčat lze sledovat v období 15 let, a to u obou souborů. Více signifikantních změn je zaznamenáno u longitudinálního souboru. Shoda je v této kategorii minimální, jedná se pouze o oblasti nadočnicových oblouků a horního rtu.

Pozitivní rozdíly lze ještě pozorovat v oblasti nadočnicových oblouků a brady, míra těchto rozdílů je vyšší u transverzálního souboru. Dále u obou souborů sledujeme redukcí tvaru čela a tváří.

Rozdíly tvaru obličeje dívek transverzálního souboru jsou až na malé výjimky vizuálně podobné tvarovým růstovým změnám sledovaným u longitudinálního souboru. V obou souborech lze nalézt více méně plynulou návaznost rozdílů v jednotlivých kategoriích. V poslední věkové kategorii sledujeme už jen minimální tvarové rozdíly, u dívek je vytvořen dospělý tvar obličeje.



Obr. 49: Vizualizace rozdílů tvaru dívek transverzálního a longitudinálních souborů za využití širších a vzdálených intervalů. Řady jsou označeny čísly jednotlivých věkových kategorií. V prvním a druhém sloupci jsou zobrazeny výsledky analýz provedených za využití transverzálního souboru. Prostřední sloupec zobrazuje proložení map signifikancí obou souborů, modře jsou vyznačeny mapy signifikance transverzálního souboru, zeleně mapy signifikance longitudinálních souborů a červeně je zvýrazněná jejich shoda umístění statisticky významných ploch. Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zobrazeny výsledky longitudinálních souborů.

7. Diskuze

Předkládaná diplomová práce se zabývá hodnocením v čase měnících se rozdílů v morfologii obličeje dětí české populace ve věku od 3 do 15 let na základě využití 3D faciálních modelů a transverzálního přístupu sběru dat. Tato diplomová práce je pokračováním výzkumu růstu obličeje, který dlouhodobě probíhá na Katedře antropologie a genetiky člověka Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. Transverzální data bývají často nesprávně využita pro hodnocení růstu (Ferrario et al., 2003; Krimmel et al., 2015; Nute & Moss, 2000). Proto byly věkové rozdíly v morfologii obličeje porovnány s informacemi o reálném růstu a změnách tvaru obličeje, které byly získány na základě dříve publikovaných longitudinálních dat (Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Tošovská, 2016).

V posledních desetiletích pozorujeme postupnou změnu využívaných technologií při výzkumu morfologie obličeje. Od původního hodnocení morfologie obličeje pomocí klasického měření vzdáleností, úhlů a indexů (přímé měření jedinců, telorentgenové a cephalometrické snímky, fotografie) se přechází k celostnímu hodnocení obličejového povrchu za využití trojdimenzionálních technologií (Brons et al., 2012; Incrapera et al., 2010; Kesterke et al., 2016; McDonagh et al., 2001). Informace o trojrozměrném objektu můžeme získat pomocí technik založených na snímání objemových dat (např. počítačová tomografie, magnetická rezonance) nebo jen povrchových dat (např. faciální skenery využívající laser nebo fotografickou techniku) (Sforza et al., 2013). 3D faciální model je poté možné hodnotit opět na základě klasického měření pomocí landmarků (Ferrario et al., 2004; Krimmel et al., 2015; Sforza et al., 2009) nebo je možné hodnotit celý povrch (Bugajghis et al., 2013; Kau & Richmond, 2008; Koudelová et al., 2015b).

Neinvazivní metody 3D skenování obličeje jsou stále častěji využívány v biomedicínské praxi. Jeden z důležitých záměrů jejich využití je získávání vstupních dat pro tvorbu normativních databází zachycujících normální růst obličeje (Kesterke et al., 2016; Weinberg et al., 2016; Yamada et al., 2002). Pro získání referenčních informací o růstu obličeje je nutné vytvořit dostatečně obsáhlou transverzální databázi nebo ještě lépe databázi longitudinální (Dean et al., 2000; Kesterke et al., 2016; Weinberg et al., 2016). Nabyté informace nám dovolují hodnotit například růstové změny (Kau et al., 2008; Koudelová et al., 2015b) i klinické výsledky po chirurgických zákrocích (Dadáková et al., 2016; Kau et al., 2006; Primožič et al., 2013).

Informace o reálném růstu lze získat pouze z longitudinálních dat. Vzhledem k úbytku jedinců při delším trvání studie a její časové i finanční náročnosti, jsou longitudinální data neskutečně cenná (Kolar & Salter, 1997; Koudelová et al., 2015b). Z tohoto hlediska se může zdát, že využití transverzálních dat je mnohem výhodnější. Ovšem je nutné si uvědomit, že transverzální studií lze sledovat pouze odhad biologického procesu. Také se u transverzálních studií zvyšuje pravděpodobnost výskytu některých chyb, jako je například zobrazení neočekávaných extrémních rozdílů v morfologii mezi danými věkovými skupinami (Kolar & Salter, 1997). Velice často bývají za růstové studie považovány i ty, které čerpají své informace na základě transverzálních dat (např. Ferrario et al., 2003; Krimmel et al., 2015; Nute & Moss, 2000). Proto je nutné ověřit podobnost těchto dvou přístupů a zjistit, zda je možné a za jakých podmínek je za sebe zaměňovat.

Longitudinální studie mohou být díky svému dlouhému trvání ovlivněny i změnami socioekonomických a environmentálních faktorů, z tohoto důvodu je výhodnější využít k hodnocení jen určité věkové intervaly (Kau et al., 2008; Kolar & Salter, 1997; Koudelová et al., 2015b; Šmahel, 2001). V této práci jsou využity tři longitudinální databáze. Věkové intervaly transverzálního souboru byly přizpůsobeny tak, aby je bylo možné porovnat s výsledky longitudinálních studií (Kočandrllová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Tošovská, 2016). Při hodnocení obou přístupů bylo využito ročních a tříletých věkových intervalů. U transverzální databáze byly z důvodu zvýšení počtu jedinců ve skupinách využity průměrné tříleté věkové kategorie. Nejmladší a nejstarší věkové skupiny (3 roky, 15 let) obsahovaly oproti průměrným 6letým, 9letým a 12letým kategoriím méně jedinců. Tento fakt je nutné vzít při samotném hodnocení v potaz. Pro další výzkum by bylo vhodné v těchto skupinách navýšit počet jedinců.

Využitím superprojekčních metod byly zhodnoceny 3D faciální modely obličeje jedinců ve věku od 3 do 15 let získané transverzálním a longitudinálním přístupem výzkumu. Využitím analýzy hlavních komponent (PCA) došlo k zhodnocení variability formy a tvaru obličeje. Podobná metodologie byla využita v práci Koudelové et al. (2015b). Pro přímé porovnání transverzálního a longitudinálních souborů nám bylo doporučeno na základě konzultace se statistiky z MFF UK (10. 5. 2018, RNDr. Matuš Maciak, Ph.D.) využít proložení map signifikancí obou souborů. Nejedná se o statistickou analýzu v pravém smyslu, dochází pouze k vizuálnímu porovnání výsledků dvou různých

metod, každý z těchto testů má jinou sílu. Vizualizace slouží pro zvýraznění statisticky významných oblastí, jejichž vývoj je shodný u transverzálního i longitudinálních souborů.

7.1. Variabilita formy a tvaru

Na variabilitě formy (velikost je v rámci hodnocení zachována) se u chlapců i dívek transverzálního souboru významně podílely tři hlavní komponenty. Tyto významné komponenty se podílely na více než 90 % celkové variability formy. PC1 vysvětluje u dívek i chlapců více jak 88 % celkové variability formy. Tato komponenta je zodpovědná za rozdíly ve velikosti obličeje, obličej se s věkem u dívek i chlapců zvětšuje. PC2 vysvětluje něco málo přes 4 % celkové variability formy obličeje chlapců i děvčat a popisuje rozdíly v šířkových rozměrech. Variabilita formy obličeje 15letých dívek je součástí variability předešlé věkové kategorie (průměrné 12leté dívky). Příčinou tohoto výsledku může být dřívější ukončení pubertálního spurtu u dívek (v souladu například s Bulygina et al., 2006; Ferrario et al., 1998; Kau et al., 2008) nebo se jedná o vliv menšího počtu jedinců v 15leté věkové kategorii.

Na variabilitě tvaru (velikost je v rámci hodnocení odfiltrována) se podílí 13 hlavních komponent u chlapců a 14 u dívek. Jak u chlapců, tak i u dívek tyto komponenty popisují přes 83 % celkové variability tvaru obličeje. V porovnání s PC1 formy obličeje dosahovala PC1 tvaru obličeje výrazně nižších hodnot, u dívek i chlapců přesahovala pouze 37 % a PC2 dokonce přesahovala jen 16 %. První výrazný rozdíl ve variabilitě tvaru obličeje sledujeme mezi věkovými kategoriemi 3letých a průměrných 6letých dívek a chlapců, u obou pohlaví dochází k přeměně dětského obličeje (v souladu s Ferrario et al., 1998; Kesterke et al., 2016). Variabilita tvaru obličeje 15letých dívek je velice podobná variabilitě tvaru průměrných 12letých dívek. U chlapců se variabilita těchto dvou věkových kategorií liší. Jedná se opět o výsledek potvrzující vliv pubertálního spurtu na růstový vzorec obličeje dívek a chlapců (v souladu s Bulygina et al., 2006; Ferrario et al., 1998; Kau et al., 2008) nebo mohou být výsledky ovlivněny počtem jedinců ve skupině.

V longitudinálních studiích Kočandrlová (2017), Koudelová et al. (2015b), Tošovská (2016) byla variabilita formy a tvaru hodnocena v určitých zkoumaných věkových kategoriích. V naší věkově rozsáhlé transverzální studii byla sledována variabilita formy a tvaru obličeje od 3 do 15 let, proto není možné zcela porovnání s výše uvedenými studiemi provést. První hlavní komponenta transverzálního souboru vysvětluje rozdíly ve velikosti zvětšující se s rostoucím věkem. Funkce první komponenty

u zmíněných longitudinálních studií je stejná, hodnotí velikostní a věkové změny. U transverzální studie PC1 dosahuje hodnot přes 88 %, u longitudinálních studií je situace následující: ve 3 až 6 letech je PC1 u chlapců i dívek přes 60 % (Kočandrlová, 2017), v 6 až 12 letech přes 68 % (Tošovská, 2016), v 12 až 15 letech přes 56 % (Koudelová et al., 2015b). S rozšiřujícím se věkovým intervalem stoupá i hodnota této komponenty.

7.2. Vhodnost využití ročních intervalů

Věkové rozdíly v morfologii obličeje jedinců transverzálního souboru byly zhodnoceny využitím ročních po sobě jdoucích věkových intervalů pro formu i tvar. Při hodnocení bylo možné sledovat silně kolísající rozdíly v morfologii obličeje mezi věkovými kategoriemi. Ve stejných oblastech byly zaznamenány za sebou jdoucí extrémní pozitivní a negativní výkyvy velikosti a tvaru – tyto rozdíly na sebe nenavazovaly (např. při hodnocení formy u dívek mezi 13 a 14 lety, u chlapců mezi 9 a 10 lety).

Informace získané na základě transverzálních dat jsou ovlivněny například věkem, někteří jedinci dospívají dříve či později než je jejich chronologický věk. Morfologické změny se tak projeví v jiném období než je předpokládáno. Extrémní výkyvy s návratem k normálu v další věkové kategorii se dají tedy vzhledem k vyšší variabilitě transverzálního souboru očekávat a jsou považovány za chybné (Kolar & Salter, 1997).

U rostoucího organismu jsou takové změny nepravděpodobné. Opravdový růst je možné sledovat s využitím longitudinálních dat. U jednotlivých oblastí byla zaznamenána plynulá změna morfologie, kterou lze předpokládat u reálného růstu (Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Tošovská, 2016). Shod v lokalizaci signifikantních věkových rozdílů a longitudinálních vývojových změn v morfologii obličeje bylo velmi malé množství. Pro aplikace v praxi je proto využití ročních intervalů zatím nevhodné.

Roční změny v morfologii byly komentovány například v transverzální studii Krimmel et al. (2015) a v některých částech studií Ferrario et al. (2003) a Nute & Moss (2000). V prvních dvou uvedených studiích jsou sledovány pouze vzdálenosti mezi danými landmarky a nedochází tak k hodnocení celého povrchu obličeje. Citlivost sledovat komplexnější rozdíly je snížena.

Pro kvalitní výsledky při využití transverzálního přístupu výzkumu je také zásadní počet jedinců v jednotlivých věkových kategoriích (minimum 30 jedinců, v případě vysoce heterogenní skupiny je doporučeno 50 jedinců) (Kolar & Salter, 1997).

Nute & Moss (2000) využili k porovnání rozdílů v morfologii hodnocení celého povrchu obličeje. Jsou uváděny průměrné roční přírůstky v jednotlivých rozměrech (např.: od 5 do 10 let se u chlapců šířka nosu každý rok zvětšovala o 1 až 3 mm). Ovšem jednotlivé věkové kategorie obsahovaly méně než 30 jedinců.

Transverzální přístup je v současné době využíván například i při tvorbě online normativní databáze FaceBase. Data o kraniofaciálním růstu jsou zde ukládána v podobě základních kraniofaciálních rozměrů a rozdíly jsou sledovány po ročních intervalech (možnost zobrazení růstových křivek jednotlivých rozměrů). Databáze se stále rozrůstá, ale ve věku od 3 do 15 let není zatím ani v jedné roční věkové kategorii obsaženo více než 30 jedinců (Weinberg et al., 2016; FaceBase, 2018).

V předkládané diplomové práci je hodnocen celý povrch a průměrný počet jedinců v roční věkové kategorii je 32. Při uvážení našich výsledků v kontextu výsledků a využití zmíněných studií se nabízí otázka: Jakým způsobem by bylo možné z transverzální databáze získat kvalitní informace o věkových rozdílech morfologie obličeje, které by byly podobné longitudinálním vývojovým změnám, tedy reálnému růstu.

Jedno z řešení by mohlo být navýšení počtu jedinců v databázích, aby byla vyrovnána vysoká interindividuální variabilita souboru. Budoucí statistické otestování podobnosti s longitudinálním přístupem, kdy jsou sledovány reálné změny morfologie obličeje, je ovšem opět nutné. Další možností by mohlo být využití širších věkových intervalů při hodnocení transverzálních dat, takové intervaly byly využity při hodnocení pohlavního dimorfismu například ve studii Kesterke et al. (2016).

7.3. Vhodnost využití širších intervalů

Věkové rozdíly v morfologii obličeje jedinců transverzálního souboru byly také zhodnoceny využitím širších po sobě jdoucích věkových intervalů pro formu i tvar. Rozdíly v morfologii obličeje na sebe plynule navazovaly.

Obličej se u obou pohlaví během celého sledovaného období zvětšoval, jak v transverzální studii, tak i při sledování longitudinálních vývojových změn. Toto zjištění je v souladu s dosud publikovanými studiemi (např.: Ferrario et al., 2003; Kočandrllová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Nute & Moss, 2000; Tošovská, 2016; Tutkuvienė et al., 2016).

Už v raném dětství je pozorován vliv pohlavního dimorfismu na vývoj obličeje (např. Bulygina et al., 2006; Tutkuvienė et al., 2016). Ve věku od 3 do 6 let byl na základě longitudinálních dat pozorován nepatrně intenzivnější růst u dívek (Kočandrllová, 2017;

Sforza et al., 2011), mírně intenzivnější věkové rozdíly byly pozorovány u obličeje chlapců transverzálního souboru.

Od 6 let je růst obličeje chlapců až do dospělosti nepřetržitý (Ferrario et al., 1998). V předkládané studii byly rozdíly ve velikosti u chlapců sledovány jen do 15 let, obličej chlapců se zvětšoval po celé zkoumané období (Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Tošovská, 2016). Vyšší intenzita zvětšování byla pozorována u transverzálního souboru, a to u obou pohlaví.

Odlišný vzorec vývoje obličeje je způsoben dřívějším nástupem pubertálního spurtu u dívek (Bugajghis et al., 2013; Enlow & Hans, 1996). Výrazné zvětšování rozměrů obličeje dívek bylo sledováno u transverzálního souboru ve věkovém období od 9 do 12 let, k podobným změnám docházelo i u longitudinálního souboru (Tošovská, 2016).

Podle Ferrario et al. (1998) dochází ke zpomalení růstu obličeje dívek v 11 letech, Bulygina et al. (2006) uvádí zpomalení ve 13 letech. Ve věku od 12 do 15 let byl růst obličeje dívek ukončován, věkové rozdíly u transverzální studie a longitudinální vývojové změny byly pozorovány už jen v oblasti nosu a v šířkových a délkových rozměrech obličeje (Koudelová et al., 2015b). V 15 letech byla růstová rychlost u dívek skoro nulová (Ferrario et al., 1998).

Od 3 do 12 let bylo sledováno oplošťování čela (v souladu s Ferrario et al., 2003), tyto rozdíly a změny byly od 6 let statisticky signifikantní u obou souborů (Kočandrlová, 2017; Tošovská, 2016).

Nejvýraznější pozitivní velikostní i tvarové rozdíly a změny celého sledovaného období v krajině čela byly zaznamenány v oblasti nadočnicových oblouků. Tato oblast vykazovala shodu umístění statistické signifikance, při hodnocení formy ve všech věkových kategoriích u obou pohlaví a při hodnocení tvaru jen od 9 do 15 let u chlapců. Intenzivnější rozdíly a změny byly pozorovány u chlapců obou souborů (např.: Ferrario et al., 2003; Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Tošovská, 2016; Whitaker et al., 1986).

Zvyšování prominence nosu bylo pozorováno během celého zkoumaného období u obou souborů (např.: Farkas et al., 1992d; Kau et al., 2008; Kočandrlová, 2017; Tošovská, 2016; Tutkuvienne et al., 2016), shoda umístění signifikance se vyskytovala skoro u všech kategorií při hodnocení formy, méně u tvaru.

Nejvýraznější rozdíly morfologie v oblasti nosu způsobené nástupem pubertální akcelerace růstu byly u dívek i chlapců transverzální studie sledovány mezi 9 a 12 lety. Podle Tošovské (2016) dochází k urychlení růstu u dívek od 9 let a u chlapců od 10 let. Nute & Moss (2000) sledovali vyšší přírůstky u chlapců mezi 9 a 10 lety, u dívek k urychlení nedošlo. Prah-Andersen et al. (1995) také nezaznamenal žádné urychlení u dívek, u chlapců akcelerace proběhla ve 12 letech.

Morfologie oblasti nosu se u dívek obou souborů přestala výrazně měnit mezi 12 a 15 lety (Farkas et al., 1992d; Kau et al., 2008; Koudelová et al., 2015b). Intenzivní zvětšování nosu u chlapců transverzálního i longitudinálního souboru pokračovalo i v 15 letech (Koudelová et al., 2015b) a bylo pozorováno do dospělosti (Nanda et al., 1990).

Ve věku od 3 do 6 let se u obou souborů výrazně zvyšovala prominence v oblasti rtů (Kočandrlová, 2017). Zvyšování prominence rtů vlivem erupce trvalé dentice bylo v jiných studiích pozorováno mezi 5 a 7 lety (Krimmel et al., 2015; Primožič et al., 2016).

V oblasti rtů bylo urychlení růstu u obou pohlaví sledováno v 10 letech (Sforza et al., 2010; Tošovská, 2016). U chlapců a dívek transverzálního souboru došlo k urychlení v této oblasti mezi 9 a 12 lety, byla také sledována shoda umístění signifikancí obou souborů (při hodnocení formy i tvaru).

Skoro finálních hodnot všech rozměrů úst bylo u dívek dosaženo mezi 13 a 14 lety a u chlapců mezi 15 a 18 lety (Ferrario et al., 2000; Sforza et al., 2010). Finální velikost horního rtu byla naplněna u obou pohlaví do 15 let (Nanda et al., 1990), mezi 12 a 15 lety se horní ret u chlapců transverzálního souboru stále výrazně zvětšoval. Zvětšování dolního rtu bylo pozorováno u chlapců z obou souborů. Mezi 12 a 15 lety již nebylo zaznamenáno výrazné zvětšování v oblasti rtů u dívek transverzálního ani longitudinálního souboru, nebyly sledovány ani tvarové rozdíly.

Během celého zkoumaného období byla zvyšována prominence brady a prodlužovala se dolní část obličeje u obou souborů (Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Krimmel et al., 2015; Tošovská, 2016).

Podle Snodell et al. (1993) byl růst dolní čelisti ukončen u dívek ve věku od 13 do 14 let a u chlapců ve věku od 15 do 17 let. Ve studii Koudelové et al. (2015a) bylo sledováno ukončení růstu dolní třetiny obličeje u dívek také mezi 13 a 14 lety. Longitudinální vývojové změny byly zkoumány pouze do 15 let, u chlapců byl v tomto věku stále pozorován vývoj dolní třetiny obličeje. Vizually podobné výsledky byly

pozorovány i u transverzální studie. Oproti longitudinálním vývojovým změnám byla u chlapců sledována vyšší intenzita rozdílů v oblasti brady. V této oblasti došlo ke shodě umístění signifikancí obou souborů.

Mezi sledovanými věkovými intervaly bylo možné sledovat plynulou návaznost rozdílů v morfologii jednotlivých oblastí obličeje. V některých oblastech byly pozorovány mírné odlišnosti směru a intenzity věkových rozdílů v morfologii obličeje transverzálního souboru od longitudinálních vývojových změn. Například při hodnocení formy byla intenzita rozdílů v morfologii obličeje ve většině kategorií transverzálního souboru mírně vyšší. Plochy shody umístění signifikantních rozdílů a změn byly výrazně větší než při porovnání ročních po sobě jdoucích intervalů.

Díky využití širších věkových intervalů se odlišnosti mezi oběma přístupy výzkumu zmenšily, bylo dosaženo vyšší vizuální podobnosti výsledků. S využitím transverzálních dat bylo tedy díky širším věkovým intervalům možné pozorovat rozdíly v morfologii obličeje, které byly sledovány u reálného růstu pomocí longitudinálních dat (Kočandrlová, 2017; Koudelová et al., 2015b; Tošovská, 2016): od 3 do 6 let přeměna dětského obličeje u obou pohlaví (oplošťování čela a tváří, zvyšování prominence centrální části obličeje) (v souladu například s Farkas et al., 1992b; Kesterke et al., 2016; Krimmel et al., 2015; Nute & Moss, 2000; Tutkuvienė et al., 2016; Whitaker et al., 1986). Od 6 do 15 let se zvětšovala prominence nadočnicových oblouků, nosu a brady, bylo pozorováno oplošťování tváří a zvětšovala se délka obličeje. Díky odlišnému průběhu puberty byl od 9 do 15 let pozorován odlišný trend rozdílů v morfologii obličeje obou pohlaví. U chlapců měly věkové rozdíly větší intenzitu a byly sledovány i v 15 letech. U dívek došlo dřívejšímu ustálení velikosti a tvaru obličeje (12 až 15 let) (v souladu například s Bugaighis et al., 2013; Bulygina et al., 2006; Ferrario et al., 1998; Kau et al., 2008; Nanda et al., 1990; Snodell et al., 1993).

Statisticky signifikantní longitudinální změny se vyskytovaly ve stejných oblastech jako signifikantní rozdíly v morfologii obličejů transverzálního souboru. Díky transverzálnímu souboru byly totiž v datech zahrnuty informace o populačních rozdílech, které u longitudinálních souborů není možné zcela zachytit (ústní sdělení, konzultace 10. 5. 2018 RNDr. Matúš Maciak, Ph.D.).

Jak bylo zmíněno výše, díky využití širších věkových intervalů bylo dosaženo vysoké vizuální podobnosti rozdílů a změn morfologie obličeje obou souborů,

a to při hodnocení formy i tvaru. Místy ovšem byly pozorovány odlišnosti směru a intenzity věkových rozdílů v morfologii obličeje transverzálního souboru od opravdových vývojových změn. Celková úroveň odlišností byla však při hodnocení formy a tvaru podobná.

Transverzální soubor vykazoval ve všech kategoriích vyšší míru signifikantních rozdílů při sledování formy než tvaru. I větší shoda v umístění signifikantních věkových rozdílů a longitudinálních vývojových změn v morfologii obličeje byla sledována při analýze formy obličeje. Při hodnocení tvaru byl sledován opačný výsledek, vyšší míra signifikantních změn byla pozorována u longitudinálních změn. Vyšší míra signifikantních změn byla očekávána u výsledků longitudinálních studií, a to díky předpokládané nižší variabilitě longitudinálního souboru (ústní sdělení, konzultace 10. 5. 2018 RNDr. Matúš Maciak, Ph.D). Při hodnocení formy nebyla ovšem odfiltrována velikost, která měla na celkový vzhled obličeje vysoký vliv (viz 7.1. Variabilita formy a tvaru). Kontaminace velikostí ovlivňuje oba soubory podobným způsobem, což zapříčiňuje vyšší vizuální podobnost obou souborů při hodnocení formy.

Při porovnání 3 a 6letých jedinců byla sledována obecně nižší signifikantní změna ve formě i tvaru u longitudinálního souboru. Tento výsledek může být způsobený nízkým počtem jedinců v 3leté kategorii longitudinální studie (Kočandrlová, 2017). Také se mohlo jednat o ovlivnění výsledků variabilitou longitudinálního souboru. V případě vysoké variability se jinak signifikantní změna nemusela projevit (ústní sdělení, konzultace 6. 3. 2017 Mgr. Ján Dupej). Pro budoucí statistické porovnání je nutné počet jedinců v této kategorii navýšit a podobnost znovu ověřit.

Tato diplomová práce je prvním krokem k porovnání podobností a rozdílností transverzálního a longitudinálního přístupu. Zatím není možné tyto výsledky přímo porovnat s podobnou studií, využitý materiál je velice unikátní. Proto bylo nutné výsledky porovnat zatím jen s dalšími transverzálními (např.: Bugaighis et al., 2013; Ferrario et al., 2003; Krimmel et al., 2015) a longitudinálními studii (např.: Bishara et al., 1998; Kau et al., 2008; Koudelová et al., 2015b; Primožič et al., 2016; Snodell et al., 1993). Předkládaná práce obsahuje pouze vizuální porovnání výsledků jednotlivých metod, v budoucnu dojde k dalším statistickým analýzám.

Při využití širších intervalů byly transverzální výsledky vizuálně podobné longitudinálním. Větší podobnosti bylo dosaženo při hodnocení formy. Je ovšem nutné se zamyslet, zda je vhodné tyto intervaly využívat i v praxi.

Pro zachycení rychlých růstových změn jednotlivých oblastí dětského obličeje (v longitudinální i transverzální studii) je důležité použití správných věkových intervalů (Kesterke et al., 2016; Kolar & Salter, 1997; Weinberg et al., 2016). Pojem správný věkový interval je relativní. Pokud chceme v určitém období sledovat finální změnu morfologie obličeje, budou k hodnocení dostačující široké věkové intervaly a tedy i transverzální data (využito například ve studiích Ferrario et al., 1998; Kesterke et al., 2016). V případě, že chceme sledovat konkrétnější načasování vývojových změn dětského obličeje, je nutné využít například roční věkové intervaly, které jsou citlivější než širší intervaly (využito například ve studiích Kau et al., 2008; Koudelová et al., 2015b). Vzhledem k pozorovaným nenavazujícím rozdílům v morfologii dětského obličeje u transverzální studie je vhodné pro sledování načasování jednotlivých změn využít longitudinální data.

8. Závěr

Předkládaná diplomová práce se zabývala sledováním rozdílů v morfologii obličeje dětí ve věku od 3 do 15 let s využitím transverzálních dat. Dalším a zároveň hlavním cílem diplomové práce bylo porovnání měnicí se morfologie obličeje mezi jednotlivými věkovými kategoriemi získaných na základě transverzálního a longitudinálního typu výzkumu. Na začátku práce byly stanoveny dvě hypotézy:

1. Roční po sobě jdoucí věkové intervaly jsou pro hodnocení věkových rozdílů obličeje na základě transverzálních dat nevhodné.

Tuto hypotézu nezamítáme. Při využití ročních po sobě jdoucích věkových intervalů u transverzálního souboru byly rozdíly v morfologii obličeje mezi věkovými kategoriemi silně kolísající, tudíž neodpovídají reálnému růstu. Plynulejší rozdíly v morfologii obličeje a větší vizuální podobnost s longitudinálními vývojovými změnami byly sledovány při využití širších věkových intervalů. Bylo tak možné pozorovat přeměnu dětského obličeje a odlišný trend měnicích se věkových rozdílů v morfologii obličeje dívek a chlapců v období puberty.

2. Morfologie věkových rozdílů obličeje bude odpovídat reálným longitudinálním vývojovým změnám obličeje více po normalizaci velikosti.

Tuto hypotézu zamítáme. V případě hodnocení formy a tvaru pomocí superprojekčních map byla dosažena vysoká podobnost morfologie věkových rozdílů a reálných longitudinálních změn obličeje při hodnocení formy i tvaru. Byly také pozorované mírné odlišnosti, celková úroveň těchto odlišností byla však při hodnocení formy a tvaru podobná.

Avšak větší shoda v lokalizaci signifikantních věkových rozdílů a longitudinálních vývojových změn v morfologii obličeje byla sledována při analýze formy obličeje, kdy velikost nebyla odfiltrována. Kontaminace velikostí ovlivňuje oba soubory podobným způsobem, což zapříčiňuje vyšší vizuální podobnost obou souboru při hodnocení formy.

9. Seznam literatury

- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal Component Analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4), 433–459.
- Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: Ten years of progress following the ‘revolution.’ *Italian Journal of Zoology*, 71(1), 5–16.
- Bastir, M., Rosas, A., & O’higgins, P. (2006). Craniofacial levels and the morphological maturation of the human skull. *Journal of Anatomy*, 209(5), 637–654.
- Bentley, R. P., Sgouros, S., Natarajan, K., Dover, S., & Hockley, A. D. (2002). Normal changes in orbital volume during childhood. *Journal of Neurosurgery*, 96(4), 742–746.
- Bergman, R. T., Waschak, J., Borzabadi-Farahani, A., & Murphy, N. C. (2014). Longitudinal study of cephalometric soft tissue profile traits between the ages of 6 and 18 years. *Angle Orthodontist*, 84(1), 48–55.
- Bishara, S. E., Jakobsen, J. R., Hession, T. J., & Treder, J. E. (1998). Soft tissue profile changes from 5 to 45 years of age. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 114(6), 698–706.
- Bourekas, E. C., Lanzieri, C. F., & Reserve, C. W. (1994). The Calvarium. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, 6(6), 424–453.
- Brons, S., van Beusichem, M. E., Bronkhorst, E. M., Draaisma, J., Bergé, S. J., Maal, T. J., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2012). Methods to quantify soft-tissue based facial growth and treatment outcomes in children: A systematic review. *PLoS ONE*, 7(8), 1–10.
- Bugaighis, I., Mattick, C. R., Tiddeman, B., & Hobson, R. (2013). Three-dimensional gender differences in facial form of children in the North East of England. *European Journal of Orthodontics*, 35(3), 295–304.
- Bulygina, E., Mitteroecker, P., & Aiello, L. (2006). Ontogeny of facial dimorphism and patterns of individual development within one human population. *American Journal of Physical Anthropology*, 131(3), 432–443.
- Cairns, R. B., & Cairns, B. D. (2002). Plotting Developmental Pathways: Methods, Measures, Models, and Madness. In *Looking at Lives: American Longitudinal Studies of the 20th Century* (pp. 267–295). Russell Sage Foundation.
- Choi, J. Y., Kim, T., Kim, H. M., Lee, S. H., Cho, I. S., & Baek, S. H. (2017). Effect of frontal facial type and sex on preferred chin projection. *Korean Journal of Orthodontics*, 47(2), 108–117.
- Čihák, R. (2002). *Anatomie 2*. Praha: Grada Publishing, a.s.
- Čihák, R. (2011). *Anatomie 1* (3. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.

- Claes, P., Liberton, D. K., Daniels, K., Rosana, K. M., Quillen, E. E., Pearson, L. N., ... Absher, D. M. (2014). Modeling 3D facial shape from DNA. *PLoS Genetics*, *10*, 1–14.
- Dadáková, M., Cagáňová, V., Dupej, J., Hoffmannová, E., Borský, J., & Velemínská, J. (2016). Three-dimensional evaluation of facial morphology in pre-school cleft patients following neonatal cheiloplasty. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, *44*(9), 1109–1116.
- De Greef, S., Vandermeulen, D., Claes, P., Suetens, P., & Willems, G. (2009). The influence of sex, age and body mass index on facial soft tissue depths. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, *5*(2), 60–65.
- Dean, D., Hans, M. G., Bookstein, F. L., & Subramanyan, K. (2000). Three-dimensional Bolton-brush growth study landmark data: Ontogeny and sexual dimorphism of the Bolton standards cohort. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, *37*(2), 145–156.
- Dupej, J., Krajíček, V., Velemínská, J., & Pelikán, J. (2014). Statistical Mesh Shape Analysis with Nonlandmark Nonrigid Registration. *Journal of WSCG* *20*, 2–3.
- Elnagar, M. H., Elshourbagy, E., Ghobashy, S., Khedr, M., Kusnoto, B., & Evans, C. A. (2017). Three-dimensional assessment of soft tissue changes associated with bone-anchored maxillary protraction protocols. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *152*(3), 336–347.
- Enlow, D. H., & Hans, M. G. (1996). *Essentials of facial growth. Growth (Lakeland)*. Philadelphia: W. B. Saunders Company.
- Farkas, L. G., & Posnick, J. C. (1992). Growth and development of regional units in the head and face based on anthropometric measurements. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*.
- Farkas, L. G., Posnick, J. C., & Hreczko, T. M. (1992a). Anthropometric Growth Study of the Head. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, *29*, 303–308.
- Farkas, L. G., Posnick, J. C., & Hreczko, T. M. (1992b). Growth Patterns of the Face-A morphometric Study. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*.
- Farkas, L. G., Posnick, J. C., Hreczko, T. M., & Pron, G. E. (1992c). Growth Patterns in the orbital Region: a morphometric Study. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, *29*(4), 315–318.
- Farkas, L. G., Posnick, J. C., Hreczko, T. M., & Pron, G. E. (1992d). Growth patterns of the nasolabial region: a morphometric study. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, *29*(4), 318–324.
- Ferrario, V. F. (2004). Soft tissue facial morphology in obese adolescents: A three-dimensional noninvasive assessment. *Angle Orthod*, *(74)*, 37–42.
- Ferrario, V. F., Sforza, C., Poggio, C. E., & Schmitz, J. H. (1998). Facial volume changes during normal human growth and development. *The Anatomical Record*, *250*(4), 480–487.

- Ferrario, V. F., Sforza, C., Schmitz, J. H., Ciusa, V., & Colombo, A. (2000). Normal growth and development of the lips : a 3-dimensional study from 6 years to adulthood using a geometric model. *Journal of Anatomy*, *196*(3), 415–423.
- Ferrario, V. F., Sforza, C., Serrao, G., Ciusa, V., & Dellavia, C. (2003). Growth and aging of facial soft tissues: A computerized three-dimensional mesh diagram analysis. *Clinical Anatomy*, *16*(5), 420–433.
- Franco, F. C. M., de Araujo, T. M., Vogel, C. J., & Quintão, C. C. A. (2013). Brachycephalic, dolichocephalic and mesocephalic: Is it appropriate to describe the face using skull patterns? *Dental Press Journal of Orthodontics*, *18*(3), 159–63.
- Goodrich, J. T. (2005). Skull base growth in craniosynostosis. *Child's Nervous System*, *21*(10), 871–879.
- Hennessy, R. J., & Moss, J. P. (2001). Facial growth: Separating shape from size. *European Journal of Orthodontics*, *23*(3), 275–285.
- Horáčková, L. (2007). *Anatomie pro antropology I - Pohybový systém*. (J. Malina, Ed.). Brno: Nadace Universitas, Akademické nakladatelství CERM.
- Hutton, T. J., Buxton, B. F., & Hammond, P. (2001). Dense Surface Point Distribution Models of the Human Face. *Mathematical Methods in Biomedical Image Analysis*, 153–160.
- Incrapera, A. K., Kau, C. H., English, J. D., McGrory, K., & Sarver, D. M. (2010). Soft tissue images from cephalograms compared with those from a 3D surface acquisition system. *Angle Orthodontist*, *80*(1), 58–64.
- Kanyongo, G. Y. (2005). Determining the correct number of components to extract from a principal components analysis: a Monte Carlo study of the accuracy of the scree plot. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, *4*(1), 120–133.
- Kau, C. H., Cronin, A., Durning, P., Zhurov, A. I., Richmond, S., & Sandham, A. (2006). A new method for the 3D measurement of postoperative swelling following orthognathic surgery. *Orthodontics and Craniofacial Research*, *9*(1), 31–37.
- Kau, C. H., & Richmond, S. (2008). Three-dimensional analysis of facial morphology surface changes in untreated children from 12 to 14 years of age. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *134*(6), 751–750.
- Kesterke, M. J., Raffensperger, Z. D., Heike, C. L., Cunningham, M. L., Hecht, J. T., Kau, C. H., ... Weinberg, S. M. (2016). Using the 3D Facial Norms Database to investigate craniofacial sexual dimorphism in healthy children, adolescents, and adults. *Biology of Sex Differences*, *7*(1), 23.
- Kočandrlová, K. (2017). *Odhad věku dítěte na základě morfologického vývoje obličeje: matematické modelování časových řad 3D faciálních modelů*. Univerzita Karlova.

- Kolar, J. C., & Salter, E. M. (1997). *Craniofacial anthropometry : practical measurement of the head and face for clinical, surgical, and research use*. Springfield : Thomas.
- Koudelová, J., Brůžek, J., Cagáňová, V., Krajiček, V., & Velemínská, J. (2015a). Development of facial sexual dimorphism in children aged between 12 and 15 years: A three-dimensional longitudinal study. *Orthodontics and Craniofacial Research*, *18*(3), 175–184.
- Koudelová, J., Dupej, J., Brůžek, J., Sedlak, P., & Velemínská, J. (2015b). Modelling of facial growth in Czech children based on longitudinal data: Age progression from 12 to 15 years using 3D surface models. *Forensic Science International*, *248*, 33–40.
- Krajiček, V., Dupej, J., Velemínská, J., & Pelikán, J. (2012). Morphometric analysis of mesh asymmetry. *Journal of WSCG*, *20*(1), 65–72.
- Krimmel, M., Breidt, M., Bacher, M., Muller-Hagedorn, S., Dietz, K., Bulthoff, H., ... Kluba, S. (2015). Three-Dimensional Normal Facial Growth from Birth to the Age of 7 Years. *Plastic and Reconstructive Surgery*, *136*(4), 490e–501e.
- Lee, W. J., Wilkinson, C. M., & Hwang, H. S. (2012). An Accuracy Assessment of Forensic Computerized Facial Reconstruction Employing Cone-Beam Computed Tomography from Live Subjects. *Journal of Forensic Sciences*, *57*, 318–327.
- Leroy, R., Bogaerts, K., Lesaffre, E., & Declerck, D. (2003). The emergence of permanent teeth in Flemish children. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, *31*(1), 30–39.
- Liebgott, B. (2011). *The anatomical basis of dentistry* (3rd ed.). St.Louis: Mosby.
- McCarthy, J. G. (1990). The effect of early fronto-orbital advancement on frontal sinus development and forehead aesthetics. *Plastic and Reconstructive Surgery*, *86*(6), 1078–1084.
- McDonagh, S., Moss, J. P., Goodwin, P., & Lee, R. T. (2001). A prospective optical surface scanning and cephalometric assessment of the effect of functional appliances on the soft tissues. *European Journal of Orthodontics*, *23*(2), 115–126.
- Meloun, M., & Militký, J. (2004). *Statistická analýza experimentálních dat*. Praha: Academia.
- Mizoguchi, I., Toriya, N., & Nakao, Y. (2013). Growth of the mandible and biological characteristics of the mandibular condylar cartilage. *Japanese Dental Science Review*, *49*(4), 139–150.
- Möller, M., Schaupp, E., Massumi-Möller, N., Zeyher, C., Godt, A., & Berneburg, M. (2012). Reference values for three-dimensional surface cephalometry in children aged 3-6years. *Orthodontics and Craniofacial Research*, *15*(2), 103–116.
- Myronenko, A., & Song, X. (2010). Point-Set Registration: Coherent Point Drift. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *32*(12), 2262–2275.
- Nanda, R. S., Meng, H., Kapila, S., & Goorhuis, J. (1990). Growth changes in the soft tissue facial profile. *The Angle Orthodontist*, *60*(3), 177–190.

- Nie, X. (2005). Cranial base in craniofacial development: Developmental features, influence on facial growth, anomaly, and molecular basis. *Acta Odontologica Scandinavica*, 63(3), 127–135.
- Nute, S. J., & Moss, J. P. (2000). Three-dimensional facial growth studied by optical surface scanning. *Journal of Orthodontics*, 27(1), 31–38.
- Onis, M. (2006). WHO child growth standards based on length/height, weight and age. *Acta Paediatr*, (95), 76–85.
- Prag, J., & Neave, R. (1997). *Making faces : using forensic and archaeological evidence*. London: London : British Museum Press.
- Primožič, J., Perinetti, G., Contardo, L., Ovsenik, M., Bjork, A., Burstone, C. J., ... Skieller, V. (2016). Facial soft tissue changes during the pre-pubertal and pubertal growth phase: a mixed longitudinal laser-scanning study. *European Journal of Orthodontics*, 13(1), 9–34.
- Primožič, J., Richmond, S., Kau, C. H., Zhurov, A., & Ovsenik, M. (2013). Three-dimensional evaluation of early crossbite correction: Alongitudinal study. *European Journal of Orthodontics*, 35(1), 7–13.
- Průcha, J., & Veteška, J. (2012). *Andragogický slovník*. Praha: Grada.
- Raadsheer, M. C., Kiliaridis, S., Van Eijden, T. M., Van Ginkel, F. C., & Prah Andersen, B. (1996). Masseter muscle thickness in growing individuals and its relation to facial morphology. *Archives of Oral Biology*, 41(4), 323–332.
- Sforza, C., De Menezes, M., & Ferrario, V. F. (2013). Soft-and hard-tissue facial anthropometry in three dimensions: what's new. *JASs Invited Reviews Journal of Anthropological Sciences*, 91, 159–184.
- Sforza, C., Grandi, G., Binelli, M., Dolci, C., De Menezes, M., & Ferrario, V. F. (2010). Age- and sex-related changes in three-dimensional lip morphology. *Forensic Science International*, 200(1–3), 30–32.
- Sforza, C., Grandi, G., Catti, F., Tommasi, D. G., Ugolini, A., & Ferrario, V. F. (2009). Age- and sex-related changes in the soft tissues of the orbital region. *Forensic Science International*, 185(1–3), 1–8.
- Sforza, C., Grandi, G., De Menezes, M., Tartaglia, G. M., & Ferrario, V. F. (2011). Age- and sex-related changes in the normal human external nose. *Forensic Science International*, 204(1–3), 1–9.
- Šmahel, Z. (2001). *Principy, teorie a metody auxologie*. Univerzita Karlova v Praze - Nakladatelství Karolinum.
- Snodell, S. F., Nanda, R. S., & Currier, G. F. (1993). A longitudinal cephalometric study of transverse and vertical craniofacial growth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 104(5), 471–483.

- Souccar, N. M., & Kau, C. H. (2012). Methods of Measuring the Three-Dimensional Face. *Seminars in Orthodontics*, 18(3), 187–192.
- Sperber, G. H. (2010). *Craniofacial Embryogenetics and Development*. People's Medical Publishing House - USA.
- Taylor, K. T. (2001). *Forensic Art and Illustration*. Boca Raton, Florida : CRC Press, c2001.
- Toma, A. M., Zhurov, A., Playle, R., Ong, E., & Richmond, S. (2009). Reproducibility of facial soft tissue landmarks on 3D laser-scanned facial images. *Orthodontics and Craniofacial Research*, 12(1), 33–42.
- Toma, A. M., Zhurov, A., Playle, R., & Richmond, S. (2008). A three-dimensional look for facial differences between males and females in a British-Caucasian sample aged 15-12; years old. *Orthodontics and Craniofacial Research*, 11(3), 180–185.
- Tošovská, H. (2016). *Vývoj obličeje u dětí ve věku od 6 do 12 let: longitudinální studie*. Univerzita Karlova.
- Towbin, R. (1982). The Paranasal Sinuses in Childhood. *RadioGraphics*, 2(2), 253–279.
- Trenouth, M. J., & Joshi, M. (2006). Proportional Growth of Craniofacial Regions Proportionales. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 67(2), 92–104.
- Tutkuvienė, J., Cattaneo, C., Obertová, Z., Ratnayake, M., Poppa, P., Barkus, A., ... Ritz-Timme, S. (2016). Age- and sex-related growth patterns of the craniofacial complex in European children aged 3–6 years. *Annals of Human Biology*, 43(6), 510–519.
- Urbanová, P., & Králík, M. (2009). Kvantitativní popis tvaru pomocí metod geometrické morfometrie. In *Svoboda J, Malina J. Čas lovců: Aktualizované dějiny paleolitu*. (pp. 277–289).
- Ursi, W. J., Trotman, C. A., McNamara, J. A., & Behrents, R. G. (1993). Sexual dimorphism in normal craniofacial growth. *Angle Orthodontist*.
- Vargová, L., & Páč, L. (2008). *Anatomie pro antropology II - Splanchnologie*. Nadace Universitas, Akademické nakladatelství CERM.
- Velemínská, J., Bigoni, L., Krajíček, V., Borský, J., Šmahelová, D., Cagaňová, V., & Peterka, M. (2012). Surface facial modelling and allometry in relation to sexual dimorphism. *HOMO- Journal of Comparative Human Biology*, 63(2), 81–93.
- Vojdani, Z., Bahmanpour, S., Momeni, S., Vasaghi, A., Yazdizadeh, A., Karamifar, A., ... Mokhtar, A. (2009). Cephalometry in 14-18 Years Old Girls and Boys of Shiraz-Iran High School. *International Journal of Morphology*, 27(1), 101–104.
- von Cramon-Taubadel, N., Fraizer, B. C., & Lahr, M. M. (2007). The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 134(1), 24–35.

- Weinberg, S. M., Raffensperger, Z. D., Kesterke, M. J., Heike, C. L., Cunningham, M. L., Hecht, J. T., ... Marazita, M. L. (2016). The 3D Facial Norms Database: Part 1. A Web-Based Craniofacial Anthropometric and Image Repository for the Clinical and Research Community. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal: Official Publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association*, 53(6), e185–e197.
- Whitaker, L. A., Morales, J. L., & Farkas, L. G. (1986). Aesthetic surgery of the supraorbital ridge and forehead structures. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 78(1), 23–32.
- Yamada, T., Mori, Y., Minami, K., Mishima, K., & Tsukamoto, Y. (2002). Three-dimensional analysis of facial morphology in normal Japanese children as control data for cleft surgery. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 39(5), 517–526.

Zdroje:

- FaceBase: A Resource For Craniofacial Researchers (2018), <https://www.facebase.org/> (cit. 25. 7. 2018).