

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie  
Studijní obor: Antropologie a genetika člověka



**Bc. Viktoriia Svadeba**

**Vývoj obličeje dětí a jeho souvislost s vývojem výšky  
postavy a hmotností**

Children`s facial development and its relationship with the development of  
height and weight

**Diplomová práce**

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

Konzultant práce: Mgr. Karolína Kočandrlová

Praha 2024

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně, uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu, a zároveň jsem práci ani její podstatnou část nepředložila k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 25.05.2024

Viktoriia Svadeba

.....

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda vyjádřila svou vděčnost všem, kteří mi pomohli při psaní této diplomové práce. Především bych chtěla poděkovat vedoucí diplomové práce prof. RNDr. Janě Velemínské, Ph.D. za odborné vedení, podporu, trpělivost, vstřícnost a cenné komentáře a připomínky, které mi poskytovala v průběhu psaní práce. Taktéž bych chtěla poděkovat své konzultantce Mgr. Karolíně Kočandrlové za pomoc při zpracování praktické části diplomové práce, poskytnuté odborné rady a dovednosti. V neposlední řadě děkuji Ing. Martinu Hillovi, DrSc. za pomoc a odborné rady týkající se statistické části práce.

## Abstrakt

Cílem předkládané diplomové práce bylo sledování a hodnocení vzájemných vztahů mezi základními tělesnými parametry, jako jsou výška postavy a hmotnost, a morfologií obličeje na základě 3D faciálních skenů. Celkem bylo v práci zahrnuto 115 jedinců, kteří představovali dva semilongitudinální soubory. V mladší věkové skupině byli zastoupeni jedinci skenovaní 2krát po 2 letech, a to nejprve ve věku 10 a podruhé ve věku 12 let, jejichž celkový počet byl 61 (pokaždé 30 dívek a 31 chlapců). Ve starší věkové skupině byli analogicky zastoupeni jedinci skenovaní 2krát po 2 letech, a to nejprve ve věku 12 a podruhé ve věku 14 let, jejichž celkový počet byl 54 (pokaždé 27 dívek a 27 chlapců). Celkem bylo v diplomové práci analyzováno 230 faciálních skenů. V rámci výsledků byla data hodnocena dvojitým přístupem, a to metodami geometrické a klasické morfometrie. Metody geometrické morfometrie zahrnovaly především CPD-DCA (coherent point drift dense correspondence analysis), pomocí které byly sledovány dílčí rozdíly a růstové změny ve formě obličeje u jedinců s normální hmotností a nadváhou. Vizualizace výsledků byla uskutečněna pomocí superprojekčních barevných map. Při hodnocení dat pomocí klasické morfometrie bylo sledováno 14 rozměrů obličeje, pomocí kterých bylo analyzováno, jak se mění morfologie obličeje pod vlivem čtyř hlavních faktorů (věk, pohlaví, hmotnost (BMIz), tělesná výška), popř. vzájemných interakcí druhého řádu za použití lineárního smíšeného modelu (LMM).

V první části diplomové práce byly sledovány rozdíly v morfologii obličeje mezi kategoriemi dětí s normální hmotností a dětmi s nadváhou. U obou pohlaví byly pozorovány rozdíly ve prospěch jedinců s nadváhou v laterálních oblastech tváře a dolní části obličeje. S věkem se rozdíly mezi hmotnostními kategoriemi u obou pohlaví stávaly méně výrazné. U dívek bylo v obou věkových kategoriích zjištěno, že jedinci s normální hmotností vykazují výraznější růstové změny než jedinci s nadváhou. Oproti tomu u chlapců v mladší věkové skupině se vliv hmotnosti na růst jevil výraznější, zatímco ve starší věkové skupině byly růstové trendy u jedinců v normě a nadváze téměř stejné.

V druhé části diplomové práce bylo zjištěno, že nejvýznamnějším faktorem, který ovlivňoval obličejové rozměry, byl u obou věkových skupin věk. Vliv pohlaví byl zaznamenán pouze v mladší věkové skupině, kde dívky měly vyšší hodnoty rozměru, jako je šířka obličeje (zyR-zyL), oproti chlapcům. Hmotnost, hodnocená pomocí BMI z-skóre, statisticky významně ovlivnila šířku obličeje (zyR-zyL) a šířku rtů (chR-chL), a to pouze ve starší věkové skupině. Tento vliv se projevoval ve prospěch jedinců s nadváhou, kteří měli



širší obličej a rty než děti s normální hmotností. Přímé působení tělesné výšky na obličejové rozměry bylo zaznamenáno v obou věkových skupinách. Vyšší jedinci ve věku 10 až 12 let měli menší výšku nosu (n-sn), zatímco vyšší jedinci ve věku 12 až 14 let měli větší hodnoty šířky obličej (zyR-zyL). Zkoumání vzájemného působení (interakcí) dvou faktorů na příslušné rozměry neodhalilo jejich významnější vliv ve srovnání s vlivem jednotlivých faktorů samostatně.

### **Klíčová slova**

kraniofaciální vývoj – longitudinální studie – tělesné parametry – výška postavy – BMI z-skóre

## Abstract

The aim of this diploma thesis was to study and evaluate the relationships between body parameters, such as height and weight, and facial morphology based on 3D facial scans. The study included a total of 115 individuals, representing two semi-longitudinal cohorts. In the younger age group, the individuals were scanned twice over a period of 2 years, first at age 10 and then again at age 12, with a total of 61 participants (30 girls and 31 boys each time). In the older age group, the individuals were similarly scanned twice over a period of 2 years, first at age 12 and then again at age 14, with a total of 54 participants (27 girls and 27 boys each time). In total, 230 facial scans were analyzed. The data were evaluated using two approaches: geometric and classical morphometry. Geometric morphometry methods primarily included CPD-DCA (coherent point drift dense correspondence analysis), which was used to track partial differences and growth changes in facial form among individuals with normal weight and those with overweight. Results were visualized using superprojection color maps. Classical morphometry assessed 14 facial dimensions to analyze how facial morphology changes under the influence of four main factors (age, sex, weight (BMI z-score), body height) and possible second-order interactions using a linear mixed model (LMM).

In the first part of the diploma thesis, differences in facial morphology between children with normal weight and those with overweight were examined. Differences favoring individuals with overweight were observed in the lateral areas of the cheeks and the lower part of the face for both sexes. With age, the differences between weight categories became less pronounced for both sexes. In girls, individuals with normal weight showed more significant growth changes than those with overweight in both age categories. In contrast, for boys in the younger age group, the effect of weight on growth appeared more pronounced, while in the older age group, the growth trends for individuals with normal weight and overweight were almost identical.

In the second part of the thesis, it was found that the most significant factor influencing facial dimensions was age for both age groups. The effect of sex was noted only in the younger age group, where girls had higher values for dimensions such as face width (zyR-zyL) compared to boys. Weight, assessed using BMI z-scores, significantly affected face width (zyR-zyL) and lip width (chR-chL), but only in the older age group. This effect favored individuals with overweight, who had wider faces and lips than children with normal weight. Direct effects of body height on facial dimensions were recorded in both age groups. Taller

individuals aged 10 to 12 years had smaller nose height (n-sn), whereas taller individuals aged 12 to 14 years had larger values for face width (zyR-zyL). Examination of interactions between two factors on the respective dimensions did not reveal a more significant effect compared to the influence of individual factors alone.

**Key words**

craniofacial development – longitudinal study – body parameters – height – BMI z-score

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 ÚVOD.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2 TEORETICKÝ ÚVOD.....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2.1 Růst a vývoj lidského obličeje.....</b>   | <b>2</b>  |
| 2.1.1 Principy růstu.....  | 2         |
| 2.1.2 Modularita lidské lebky.....   | 4         |
| 2.1.3 Struktura obličejového skeletu.....  | 6         |
| 2.1.3.1 Růst nasozygomaticomaxilárního komplexu.....                                       | 7         |
| 2.1.3.2 Růst dolní čelisti.....  | 8         |
| 2.1.3.3 Růstové změny morfologie obličeje.....   | 10        |
| 2.1.3.4 Faktory ovlivňující vývoj obličeje.....  | 13        |
| <b>2.2 Skeletální růst.....</b>  | <b>15</b> |
| 2.2.1 Změny obličeje v souvislosti s výškou post.avy.....                                  | 18        |
| <b>2.3 Tělesná hmotnost.....</b>   | <b>19</b> |
| 2.3.1 Index tělesné hmotnosti .....  | 20        |
| 2.3.2 Změny obličeje v souvislosti s hmotností .....                                       | 22        |
| <b>3 HYPOTÉZY PRÁCE.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>4 CÍLE PRÁCE.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>5 MATERIÁL.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>6 METODY.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>6.1 Sběr a zpracování dat.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>6.2 Analýza dat.....</b>  | <b>29</b> |
| 6.2.1 Metodologie geometrické morfometrie.....   | 29        |
| 6.2.2 Metodologie klasické morfometrie.....  | 31        |
| <b>7 VÝSLEDKY.....</b>   | <b>34</b> |
| <b>7.1 Výsledky analýz geometrické morfometrie obličeje.....</b>                           | <b>34</b> |
| 7.1.1 Hodnocení rozdílů ve formě obličeje u jedinců s normální hmotností a s nadváhou..... | 34        |
| 7.1.1.1 Rozdíly ve formě obličeje s ohledem na BMIz u chlapců.....                         | 35        |
| 7.1.1.2 Rozdíly ve formě obličeje s ohledem na BMIz u dívek.....                           | 36        |
| 7.1.1.3 Srovnání rozdílů ve formě obličeje u chlapců a dívek s ohledem na BMIz.....        | 37        |
| 7.1.2 Hodnocení růstu obličeje u jedinců s normální hmotností a s nadváhou.....            | 38        |
| 7.1.2.1 Hodnocení růstu obličeje u chlapců s ohledem na BMIz ve věku 10-12 let.....        | 38        |
| 7.1.2.2 Hodnocení růstu obličeje u dívek s ohledem na BMIz ve věku 10-12 let.....          | 40        |
| 7.1.2.3 Hodnocení růstu obličeje u chlapců s ohledem na BMIz ve věku 12-14 let.....        | 41        |
| 7.1.2.4 Hodnocení růstu obličeje u dívek s ohledem na BMIz ve věku 12-14 let.....          | 42        |
| <b>7.2 Výsledky klasické morfometrie obličeje.....</b>                                     | <b>43</b> |
| 7.2.1 Sledování vlivu vytipovaných faktorů na vývoj obličeje ve věku 10 až 12 let.....     | 44        |
| 7.2.1.1 Vliv pohlaví na rozměry obličeje.....  | 44        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 7.2.1.2    | Vliv věku na rozměry obličeje.....                                     | 45        |
| 7.2.1.3    | Vliv výšky postavy na rozměry obličeje.....                            | 46        |
| 7.2.1.4    | Vliv společného působení věku a výšky postavy na rozměry obličeje..... | 46        |
| 7.2.1.5    | Ostatní faktory.....   | 47        |
| 7.2.2      | Výsledky analýzy klasické morfometrie pro 12–14leté jedince.....       | 47        |
| 7.2.2.1    | Vliv standardizovaného BMI (BMIz) na rozměry obličeje.....             | 48        |
| 7.2.2.2    | Vliv věku na rozměry obličeje.....                                     | 49        |
| 7.2.2.3    | Vliv výšky postavy na rozměry obličeje.....                            | 49        |
| 7.2.2.4    | Vliv společného působení pohlaví a věku na rozměry obličeje.....       | 50        |
| 7.2.2.5    | Vliv společného působení věku a výšky postavy na rozměry obličeje..... | 51        |
| <b>8</b>   | <b>DISKUSE.....</b>  | <b>53</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Rozdíly ve formě obličeje ve vztahu k hmotnosti.....</b>            | <b>54</b> |
| <b>8.2</b> | <b>Růstové změny morfologie obličeje ve vztahu k hmotnosti.....</b>    | <b>55</b> |
| <b>8.3</b> | <b>Vztah tělesných parametrů ke změnám obličejových rozměrů.....</b>   | <b>56</b> |
| <b>9</b>   | <b>ZÁVĚR.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>10</b>  | <b>SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY.....</b>                                 | <b>64</b> |

## Seznam zkratek

|              |                                   |
|--------------|-----------------------------------|
| <b>BMI</b>   | index tělesného složení           |
| <b>BMIz</b>  | BMI z-skóre                       |
| <b>CPD</b>   | metoda Coherent point drift       |
| <b>DCA</b>   | Dense correspondence analýza      |
| <b>DHEA</b>  | dehydroepiandrosteron             |
| <b>FFM</b>   | beztuková hmota                   |
| <b>FFMI</b>  | index beztukové hmoty             |
| <b>FM</b>    | tuková hmota                      |
| <b>FMI</b>   | index tukové hmoty                |
| <b>GH</b>    | růstový hormon                    |
| <b>IGF-1</b> | inzulínu podobný růstový faktor 1 |
| <b>LMM</b>   | lineární smíšený model            |
| <b>WHR</b>   | obvodu pasu a boků                |

# 1 Úvod

Lidská tvář je složitá struktura, kterou ovlivňuje řada genetických a environmentálních faktorů. Pochopení souvislosti mezi těmito faktory a vzhledem obličeje je cenné v oborech, jako je forenzní věda, ortodoncie, chirurgie. Věk a pohlaví patří mezi nejvýznamnější faktory spolu se změnami v postkraniálním skeletu. Během puberty procházejí jednotlivci výraznými změnami jak v obličejovém komplexu, tak i změnami souvisejícími s fyzickými vlastnostmi, včetně hmotnosti a tělesné výšky.

Hmotnost a tělesná výška patří k základním parametrům, které se používají pro posouzení zdravotního stavu jedince. V praxi se pro posouzení hmotnostního stavu jedince používají různé indexy, jako například BMI (Body Mass Index), WHR (waist-to-hip ratio), Roherův index a jiné. BMI nebo index tělesné hmotnosti je široce používaným parametrem, který umožňuje snadno a rychle posoudit hmotnost jedince. Výhodou této metody je nenáročnost, rychlost a celosvětové využití, ale na druhou stranu má i své limity. Samotné BMI se nedoporučuje používat u nedospělých jedinců, kde je nutné vztahovat BMI k věku (BMI-for-age, BMIFA, BMIz), což se provádí pomocí výpočtu z-skóru (Vignerová *et al.*, 2007). Ve výsledku lze jedince zařadit do kategorií podváhy, normy, nadváhy a obezity.

Řada studií (Danze *et al.*, 2021; Jandová & Urbanová, 2016; Jelenkovic *et al.*, 2010; Nádaždyová *et al.*, 2016; Richmond, Wilson-Nagrani, *et al.*, 2018; Skomina *et al.*, 2020) se zabývala odhalením souvislostí mezi BMI, tělesnou výškou a morfologií obličeje. Jejich výsledky ukazují tendenci jedinců s nadváhou mít oblejší obličejové rysy a celkově větší obličejové dimenze. Taktéž hraje roli i tělesná výška ve vztahu k obličejovým parametrům, přičemž vyšší jedinci mají tendenci mít užší a prodlouženější obličej. Většinou jsou však studie staveny na transverzálních datových souborech, které neumožňují odhalit variabilitu v rámci jedinců.

Cílem této práce bylo prozkoumat rozdíly a změny v morfologii obličeje, probíhající v aktivním růstovém období 10 až 14 let, ve vztahu k hmotnosti a tělesné výšce. Taktéž bylo cílem odhalit vliv tělesných parametrů na vybrané kraniofaciální rozměry. Byly použity principy geometrické morfometrie pro posuzování rozdílů ve formě obličeje u jedinců s normální hmotností oproti jedincům s nadváhou. V rámci dvou semilongitudinálních souborů byly také sledovány změny formy obličeje související s růstem u jedinců v různých hmotnostních kategoriích. Pomocí metod klasické morfometrie a vícerozměrné statistiky byl sledován vliv faktorů, jako jsou věk, pohlaví, hmotnost a tělesná výška, na 14 vybraných obličejových rozměrů.

## 2 Teoretický úvod

### 2.1 Růst a vývoj lidského obličeje

#### 2.1.1 Principy růstu

Jedinečnost každého lidského obličeje pramení z rozdílů ve velikosti, vzhledu a umístění různých obličejových komponent, jako například očí, nosu, rtů atd. (Richmond *et al.*, 2018; Richmond, *et al.*, 2018). Zkoumání změn v morfologii a vzhledu obličeje je předmětem výzkumu celé řady oborů, například forenzních věd, ortodontie, chirurgie a mnoha dalších (Sforza & Ferrario, 2006).

Na formování definitivního vzhledu obličeje se podílí kosterní podklad, který je tvořen jednotlivými kostmi obličejového skeletu a okolních měkkých tkání, což představuje svaly, tuk a kůži (Wilkinson, 2010).

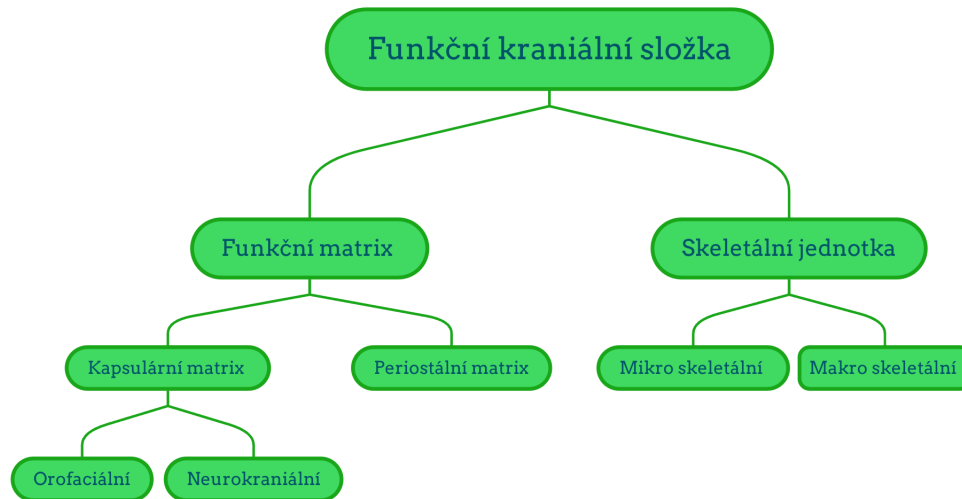
Růst a vývoj obličeje jsou komplexní procesy. Pod pojmem „vývoj“ rozumíme formování, diferenciaci nebo specializaci jeho dílčích struktur. Naopak termín „růst“ se týká zvětšení velikosti a změny rozměrů jakékoli tkáně nebo jiné části obličeje (Manlove *et al.*, 2020). Oba procesy jsou zahájeny už v rámci embryogeneze. Začínají ve 4. týdnu prenatalního vývoje, postupným vývojem obličejových výběžků a jejich dalším srůstem během embryonálního vývoje (Hovorakova *et al.*, 2018). Už na konci 7. týdne se formuje rozpoznatelný tvar lidského obličeje (Avery & Chiego, 2006; Wilderman *et al.*, 2018). Od osmého týdne až do konce těhotenství se tvar obličeje postupně mění, aby získal svůj konečný vzhled (Bhat, 2020).

Po narození růst intenzivně pokračuje, velikost mozkové části (*neurocranium*) se po narození zvětší o více než 50 %, obličejový skelet (*splanchnocranium*) naroste na více než dvojnásobnou velikost, přičemž nárůst výšky je největší, přibližně o 200 %, do hloubky poněkud menší a do šířky nejmenší, kolem 75 % (Thilander, 1995).

Komplexnost růstu a vývoje obličeje je předmětem debat různých vědců už mnohá léta. Koncept „forma následuje funkci“ původně navrhl Vander Klaaw v letech 1948–1952 (shrnuté podle Kaur *et al.*, 2021). Na tuto myšlenku navazovali M. Moss & R. Young (1960) a uvedli, že lebka vzniká a roste jako součást funkčního komplexu. Tento komplex zahrnuje okolní tkáně, mozek, očníce, svaly, mozkové blány, jazyk, zuby a různé dutiny, jako jsou dutina ústní, nosní a hltanová. Toto tvrzení se později stalo známé jako tzv. „teorie funkční matrix“ (Moss & Salentijn, 1997). Podle teorie je poloha a forma kostí určena funkčními



potřebami měkkých tkání a dutin, kterým příslušné kosti poskytují ochranu a podporu (Esteve-Altava & Rasskin-Gutman, 2014).



Obr 1. Teorie funkční matrix (zpracováno podle Kaur *et al.*, 2021)

Funkční matrix představuje vlastně měkké tkáně, zuby, žlázy, cévy a funkční prostory (očníce, nosní dutina apod.). Na druhou stranu skeletální jednotky mohou být složené z kostí, šlach nebo chrupavek, jejichž hlavní úlohou je biomechanická ochrana nebo podpora příslušné funkční matrix (Moss & Salentijn, 1969b). Je možné definovat dva typy funkční matrix a dva typy odpovídajících skeletálních jednotek (Moss, 2007).

Makroskeletální jednotka představuje řadu sousedních kostí spojených tak, aby fungovaly jako jediná kraniální složka, například klenba lebeční (Kaur *et al.*, 2021). Změna polohy makroskeletální jednotky je způsobena expanzí kapsulární matrix. V rámci lebky rozlišujeme neurokraniální a orofaciální kapsulární matrix. Zvětšování neurokraniální kapsulární matrix je totožné se zvětšováním mozku, zatímco orofaciální oblast se proporcionálně zvětšuje s objemem funkčních prostor oronasofaryngeálních dutin (Moss & Salentijn, 1969a). Jinými slovy kapsulární matrix vyvolává pasivní translační pohyb, což znamená změnu polohy příslušné skeletální jednotky, a tím přispívá k celkovému růstu (Moss, 2007). Primární růst všech těchto matrix, společně se sekundárním růstem všech kosterních jednotek, představuje celkový růst hlavy (Moss & Salentijn, 1969b).

Na povrchu kosti probíhají dva důležité procesy, apozice a resorpce, které zajišťují morfologické přizpůsobení kosti a její funkci po celou dobu růstu (Carlson, 2005). Tyto

procesy podporují remodelaci/transformaci kostí, což ve výsledku způsobuje změny jejich tvaru ve všech směrech (Albert *et al.*, 2007). Apozice na vnitřním povrchu kostí (endostální) spolu s resorpcí na vnějším povrchu (periostální) je mechanismus, který vede ke zvětšení kosti a jejímu následnému pohybu ve směru tvořícího se povrchu kosti. Tento proces je také známý jako kortikální drift (Enlow & Harris, 1964; Martinez-Maza *et al.*, 2013). Rovnováha mezi apozicí a resorpcí kosti je důležitým faktorem při změně tvaru jednotlivých částí lebky (Scott, 1962). Na druhou stranu tyto dva procesy nemusí probíhat se stejnou intenzitou. Všeobecně platí, že apoziční aktivita za normálních okolností převyšuje resorpci během období růstu (Thilander, 1995).

V určitých částech kraniofaciálního komplexu se nacházejí struktury, které mají konfiguraci ve tvaru písmene „V“, jako jsou například dentoalveolární oblouky. Růst, ke kterému dochází v těchto oblastech, se označuje V-princip růstu (Enlow & Harris, 1964). Význam spočívá v tom, že struktura ve tvaru V se zvětšuje a současně se pohybuje směrem k širokému konci V. Tento děj je důsledkem kombinace procesů apozice na vnitřním povrchu „V“ a resorpce na vnějším povrchu „V“ (Enlow & Bang, 1965).

Translace, nebo posun, představuje další možnost růstu. Jedná se o pasivní proces, kde lze rozlišit primární nebo sekundární posun. Primární posun nastává v souvislosti s růstem samotné kosti. Sekundární posun je způsoben zvětšením sousedních nebo vzdálených kostí nebo měkkých tkání, nikoli však kosti samotné (Jin *et al.*, 2016). Oba procesy přispívají k tomu, aby byl kraniofaciální komplex krok za krokem přizpůsoben k hlavním funkcím, jako je ochrana mozku a smyslových orgánů a konzumace potravy.

Růst lebeční báze se uskutečňuje ze sychondróz, které pokračují v růstu peri- nebo postnatálně. Nakonec se tento růst postupně zastaví (např. intersfenoidální sychondróza pak sfenookcipitální sychondróza) v definovaných časových intervalech (Venugopalan & Otterloo, 2021). Ve střední třetině obličeje se růst především uskutečňuje z cirkummaxilárního komplexu sutur (Opperman *et al.*, 2005).

### **2.1.2 Modularita lidské lebky**

Modularita a integrace jsou dalšími koncepty, které vysvětlují složitost vývoje a evoluce lidské lebky. Jde v podstatě o síť interakcí, která je rozdělena na relativně autonomní, ale vnitřně vysoce propojené komponenty – moduly. Integrace označuje spojení mezi vlastnostmi, které vznikají interakcí biologických procesů a následně dávají vznik

studovaným fenotypovým strukturám (Klingenberg, 2008). Modul je tedy část organismu, která je integrovaná s ohledem na určitý druh procesu (přirozená variace, funkce, vývoj atd.) a relativně autonomní vzhledem k ostatním částem organismu (Wagner *et al.*, 2007). Modularita morfologických znaků může být hodnocena ve vývojovém, genetickém, funkčním a evolučním kontextu (Klingenberg, 2008).

Lidská lebka je složitá a vysoce modulární část organismu (Bastir, 2008). Uvnitř lebky nacházíme velké množství modulů s různou mírou vzájemné integrace. Z funkčního hlediska rozeznáváme dva mezi sebou propojené a navzájem ovlivněné moduly. První z nich je obličejový (*splanchnocranium*) neboli přední obličejový modul, který je složený z kostí: čichové, čelní, slzných, nosních, patrových, radličné, horní čelisti a nosních skořep. Druhý představuje kraniální modul (*neurocranium*) neboli zadní obličejový modul skládající se z kostí: týlní, klínové, temenních, spánkových a jařmových (Esteve-Altava & Rasskin-Gutman, 2014). Vnitřní struktura každého modulu je odlišná: obličejový modul vykazuje hierarchické vzory rozdělené do bloků (frontonazální, levý maxilární, pravý maxilární a etmoidální), zatímco kraniální modul nevykazuje hierarchickou strukturu (Esteve-Altava *et al.*, 2013; Esteve-Altava & Rasskin-Gutman, 2015). Dané uspořádání a komplexnost se vyvíjejí postupně během růstu. Vnitřní struktura obou modulů prochází od dětství až po dospělost výraznými změnami, které zvyšují jejich komplexnost. Výzkum Esteve-Altava & Rasskin-Gutman (2015) prokázal, že kraniální modul prochází v průběhu vývojových fází přechodem od nepravidelného k pravidelnému, zatímco obličejový modul přechází z volné hierarchie do jasně definované hierarchie složené z modulárních bloků. Uvádí se, že z výše popsaných kostí klíčovou úlohu přebírají tři. První kostí je čichová kost, která spojuje bloky obličejového modulu. Druhou kostí je klínová kost, která poskytuje soudržnost pro celkovou strukturu lebečního modulu. Třetí je čelní kost, která spolu s klínovou a jařmovou kostí spojuje oba moduly dohromady (Esteve-Altava *et al.*, 2013).

Z vývojového hlediska můžeme *neurocranium* rozdělit na *basicranium*, což je lebeční báze, a *calvariu*, neboli lebeční klenbu (Gkantidis & Halazonetis, 2011; Paschetta *et al.*, 2016). Báze lební vykazuje vysokou integraci s variabilitou obličeje, přičemž se ukazuje, že delší a užší obličej koresponduje s delší, užší a plošší lebeční bází. Naopak kratší a širší obličej souvisí s předozadně kratší, širší a kulatější bází lební (Neaux *et al.*, 2018). Taktéž v rámci báze lební rozlišujeme dva nezávislé moduly: prostřední část (midline), většinou ovlivněnou velikostí mozku, a okrajové části (lateral), převážně spojené s tvarem obličeje (Neaux *et al.*, 2019). Řada studií se zaměřila na vztah těchto modulů a variance morfologie

obličej. Jejich závěry se ve většině shodují v tom, že tvar postranní části báze lebni přispívá k varianci morfologie obličej (Bastir & Rosas, 2006; Neaux *et al.*, 2019). Pokud jde o integraci obličej a prostřední části báze lebni, jejich vztah není jednoznačný. Některé výzkumy naznačují, že má prostřední část minimální vliv na variance obličej (Bastir & Rosas, 2006; Neaux *et al.*, 2013), zatímco jiné studie ukázaly, že prostřední část má stejně významný vliv na obličej jako postranní část (Neaux *et al.*, 2019). Věk může být v tomto případě významným faktorem. Studie Gkantidis & Halazonetis (2011) odhalila, že u dětí s morfologie obličej především korelovala prostřední část báze lebeční a v menší míře laterální. U dospělých se korelace se střední částí báze lebeční snížila, zatímco laterální báze lebeční si svou korelaci s morfologií obličejem udržela a dokonce posílila (Gkantidis & Halazonetis, 2011).

V rámci lebky byla také popsána přítomnost 10 muskuloskeletálních modulů, které tvoří organizovaný anatomický, funkční, evoluční anebo vývojový komplex. To potvrzuje, že existuje integrace mezi tvrdými a měkkými tkáněmi obličej (Esteve-Altava *et al.*, 2015). Taktéž byla prokázána významná míra integrace mezi kosterním podkladem nosní dutiny a morfologií střední části obličej. Jedinci s větší nosní dutinou mají tendenci mít větší tváře během ontogeneze (Bastir & Rosas, 2013). Již zmíněné studie znovu zdůrazňují složitou povahu růstu a vývoje morfologie lidské tváře.

### **2.1.3 Struktura obličejového skeletu**

Obecně platí, že v horizontální rovině je obličej rozdělen na horní, střední a dolní třetinu. K hornímu obličej se řadí oblast očí a čela, kde jeho horní hranice dosahuje až po horní linii vlasů (Marur *et al.*, 2014). Růst této oblasti probíhá zejména v důsledku růstu mozku (Šmahel, 2001). Růst očních je také důležitý, protože se nachází v blízkosti rozhraní mezi mozkovou a obličejovou částí lebky v místech frontomaxilárního a frontozygomatického švu (Berger & Kahn, 2012). Typ růstu v těchto oblastech je označován jako neurální typ růstu, pro něhož je charakteristické, že v 6 letech je dosaženo více než 90 % konečné velikosti, pubertální růstový spurt nemá významný vliv nebo zcela chybí (Šmahel, 2001).

Do střední třetiny obličej řadíme tzv. nasozygomaticomaxilární komplex. Samotný název napovídá, že danou strukturu tvoří především kosti nosní, horní čelisti a kosti lícni. Zasahují sem i další kosti, jako jsou kosti radličná, čichová, patrová a slzní. Růst v této oblasti probíhá hlavně ze systémů sutur a je pro ni charakteristický faciální typ růstu, kdy je v 6 letech

dosazeno 80 % definitivní velikosti dané oblasti lebky. Je zde možné sledovat mírné působení pubertálního růstového spurtu (Šmahel, 2001).

Dolní třetina obličeje je tvořena hlavně dolní čelistí (Marur *et al.*, 2014). Její šířkové, hloubkové a výškové parametry dosahují v 6 letech více než 70 % své finální velikosti. V 15 letech u chlapců a ve 13 letech u dívek byl sledován významný přírůstek výšky dolní čelisti (Farkas *et al.*, 1992). To naznačuje, že růst některých částí dolní čelisti se podobá tzv. obecnému skeletálnímu typu růstu, kde je charakteristický zřetelný vliv pubertálního růstového spurtu (Šmahel, 2001).

### **2.1.3.1 Růst nasozygomatikomaxilárního komplexu**

Nasomaxilární komplex patří ke střední třetině obličeje a skládá se z různých kostí, včetně horní čelisti, kosti patrové, nosní, radličné, slzní a části čichové kosti. Spodní část se skládá z tvrdého patra a nosní dutiny včetně maxilárního sinu, zatímco horní část se nachází v blízkosti lebeční báze (Emi *et al.*, 2019).

Růst této oblasti je závislý na vlivech jak konstituční (např. tlačení rostoucího mozku, očních koulí, aj.), tak i funkční povahy (např. působení svalů jazyka, tváří, aj.); (Precious & Delaire, 1987). Na rozdíl od růstu lebky, ke kterému dochází ve spojení s růstem mozku, nasomaxilární komplex nejrychleji roste přibližně v době pubertálního růstového spurtu, ve spojení s celkovým růstem muskuloskeletálního systému (Welbury *et al.*, 2018). V první řadě roste z cirkummaxilárního systému sutur, ke kterým se především řadí šev zygomatikomaxilární, frontomaxilární, zygomatikofrontální a zygomatikotemporální (Šmahel, 2001).

Největší část komplexu představuje maxila. Maxila se skládá z těla a čtyř výběžků: čelního, alveolárního, patrového a jařmového (Sobiesk & Munakomi, 2022). V této oblasti, stejně jako v jiných částech lebky, se podílejí apoziční a resorpční procesy. Přední část těla horní čelisti je místem, kde probíhají resorpční procesy. To má za následek formování jedinečných morfologických znaků, typických pro lidi, například *fossa canina* (Schuh *et al.*, 2019). Pro komplementární a kontinuální růst dochází na zadní straně, hlavně v oblasti *tuber maxillae*, k apoziční (Herring & Ochareon, 2016). Do šířky růst probíhá apoziční na laterální straně maxily a jařmového oblouku, za současné resorpce na vnitřní straně (Šmahel, 2001). Je důležité zmínit, že skutečný směr růstu kostí je posteriorní, ale výsledný posun celého komplexu je anteroinferiorním směrem (Nanda *et al.*, 2012).

Růst alveolárního výběžku je mnohem závislejší na vývoji a prořezávání chrupu. Do délky se růst uskutečňuje V-principem růstu. Tento růstový princip zajišťuje zvětšování a ztlušťování alveolárního oblouku (Šmahel, 2001). Palatinální výběžek, který je součástí tvrdého patra, roste obecně směrem dolů, kombinací apozice podél celé orální strany a proporcionální resorpce z odpovídající nosní strany (Enlow & Bang, 1965). Do šířky roste hlavně z mid-palatinální sutury, současně probíhá růst do délky z transversální sutury (shrnuté podle Scheuer & Black, 2000).

Po narození nosní dutina v důsledku růstu nosní přepážky a doprovázejících apozičně-resorpčních procesů sestupuje pod úroveň očí (Agnihotri, 2018). Růst orbity je zejména podmíněn růstem očí. Vlastní zvětšování vyvolává expandující sílu, která odděluje mozkový a obličejový skelet v místech frontomaxilárních a frontozygomatických švů (Berger & Kahn, 2012).

### **2.1.3.2 Růst dolní čelisti**

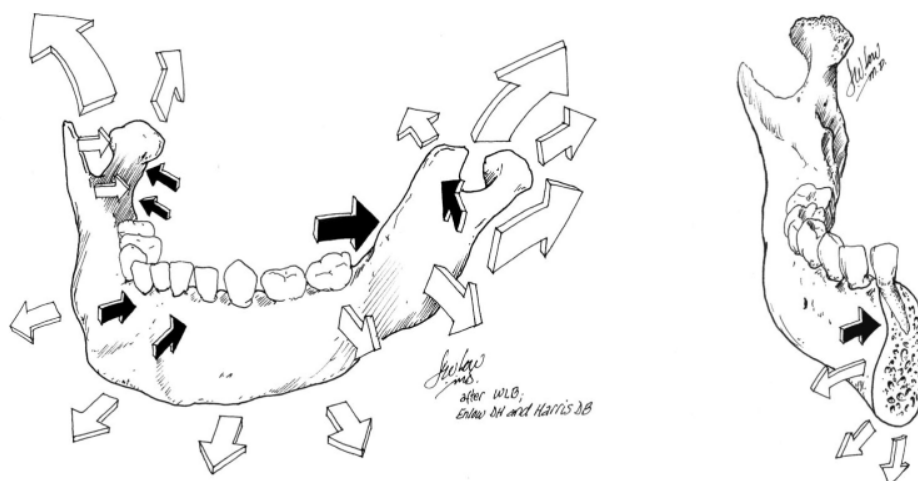
Dolní čelist představuje další významnou součást obličejového skeletu a patří k jeho dolní třetině. Spolu s ostatními strukturami tvoří žvýkací aparát, který zajišťuje řadu životně důležitých procesů, jako jsou příjem potravy, fonace, polykání a dýchání (Ef *et al.*, 2014). Dolní čelist se skládá z těla a dvou vzestupných ramen. V místě srůstu utvářejí mandibulární goniální úhel, kterého průměrná hodnota představuje 123° a mění se s věkem. Na každém ramenu se nacházejí kondylární a koronoidní výběžky, které zajišťují komunikaci s lebkou, přes temporomandibulární kloub (Čihák, 2001; Pírgousis *et al.*, 2013; Zoetis *et al.*, 2003).

Kloubní povrchy mezi kondylem a spánkovou kostí vystylají vrstvy vazivové chrupavky. Tato jedinečná tkáň působí proti mechanickému zatížení a přispívá k růstu dolní čelisti (Hatcher, 2013). Tento konkrétní kloub je známý jako „sekundární“, protože jeho povrch pokrývá specifická mandibulární kondylární chrupavka, která je hlavním místem růstu v kraniofaciálním komplexu. Od ostatních primárních chrupavek se liší histologickou organizací, způsoby proliferace, kalcifikace a reakcí na faktory prostředí. Tato chrupavka zůstává na povrchu kloubu po celý život člověka a také přispívá k procesu artikulace. Přebírá tedy funkce jak růstové ploténky, tak kloubní chrupavky (Hinton *et al.*, 2015; Mizoguchi *et al.*, 2013). V oblasti kondylárního výběžku probíhá postupná náhrada chrupavky na kost. Kondylární výběžek roste v široké škále směrů od anterosuperiorního po posteriorní, což má za následek velmi různorodý růst a morfologii dolní čelisti (Hatcher, 2013; Mizoguchi *et al.*, 2013).

Následně v rámci kondylárního výběžku také dochází k apozici na jeho zadním povrchu a současné resorpci na předním. Krček kondyly má ve srovnání s hlavicí užší průměr, což je důsledkem V-principu růstu v této oblasti. K tomu dochází v důsledku apozice na vnitřním povrchu kosti, doprovázené současnou resorpcí probíhající na vnějším povrchu jak bukální, tak i lingvální strany kosti (Enlow & Harris, 1964; Hans *et al.*, 1995; Reynolds *et al.*, 2011). Před kondylárním výběžkem se nachází koronoidní. Během růstu se koronoidní výběžek posouvá směrem dozadu. Posunutí zajišťuje odbourávání kosti na přední ploše a přidávání nových vrstev kostní tkáně na zadní ploše. Zároveň dochází i k prodlužování koronoidního výběžku, a to v důsledku činnosti sil spánkového svalu (Enlow & Harris, 1964; Hans *et al.*, 1995; Reynolds *et al.*, 2011).

Inferiorním směrem kondylární výběžek pokračuje v další důležité oblasti růstu dolní čelisti, což je rámus. Na zadní ploše větve probíhá výrazná apozice, která napomáhá růstu dolní čelisti do délky. Pro komplementární a proporční růst na přední, vzestupné části ramene probíhá resorpce. Kromě toho v této oblasti roste dolní čelist i do šířky a V-principem růstu se ramena od sebe postupně vzdalují (Scott, 1954).

V rámci těla dolní čelisti se apozice uskutečňuje v přední dolní části bradového výběžku, zatímco v jeho zadní dolní části dochází k současné resorpci. Během růstu se tato oblast stává více prominující (Nguyen *et al.*, 2018). Na druhou stranu přední oblast nad *trigonum mentale* má resorpční charakter, což je výlučně znak anatomicky moderního člověka (Gu & McNamara, 2007; Šmahel, 2001). Podobně jako u horní čelisti, součástí dolní čelisti je také alveolární výběžek, který zahrnuje lůžka, ve kterých jsou uloženy zuby, a také oblast symfýzy, která spojuje dvě poloviny kosti v raném vývoji (Zoetis *et al.*, 2003). Vývoj dentice je nezbytný pro zachování alveolárního výběžku. Dochází k jeho „růstu“ prostřednictvím apozice na horní ploše při erupci zubů a „ubývání“ resorpčními mechanismy při ztrátě zubů. Je tedy vidět, že hlavní směry růstu dolní čelisti jsou: superiorně u alveolárního výběžku, dorzálně u ramene a superiorně a dorzálně u kondyly (Brodie, 1948; Jonasson *et al.*, 2018).



Obr. 2 Schematický diagram souhrnných změn kostní remodelace dolní čelisti během dětství. Černé šipky označují oblasti kostní resorpce. Bílé šipky označují oblasti apozice (Smartt *et al.*, 2005).

### 2.1.3.3 Růstové změny morfologie obličeje

Během růstu dítěte se vzhled jeho obličeje mění, získává charakteristické rysy a s věkem se stává více sexuálně dimorfní. V dospělosti je obličej chlapců celkově větší, s více prominující bradou, širším a výraznějším nosem a zřetelnějšími nadočnicovými oblouky než u dívek (Kesterke *et al.*, 2016). Dívky mají tendenci mít oči umístěné více povrchově, větší čelo a výraznější, vystouplé tváře (Koudelová *et al.*, 2015). Rozdíly mezi pohlavími se neobjevují všechny najednou po pubertě, ale vznikají postupně během ontogeneze (Kesterke *et al.*, 2016). Několik studií dokumentuje přítomnost sexuálního dimorfismu od raného dětství (Bulygina *et al.*, 2006; Jeffery *et al.*, 2022), ačkoli bylo potvrzeno, že znatelný sexuální dimorfismus se objevuje během dospívání obvykle kolem 13-14 let (Koudelová *et al.*, 2015; Ursi *et al.*, 1993). Projevy pohlavního dimorfismu lze pozorovat již během prvního roku života. Menší známky jsou patrné zejména u chlapců, s vyčnívajícím nosem a rty, mírně vystouplou bradou a širším a klenutějším čelem. Naopak dívky mají během prvního roku života větší boční část tváře. Ke konci druhého roku života se rozdíly mezi pohlavími projevují v mnohem menší míře a lze je pozorovat pouze v určitých oblastech, jako jsou oblast horního víčka, hřbet nosu a rty (Wiesnerová, 2023). Ve své studii Matthews *et al.* (2018) dospěli k závěru, že dimorfismus v oblasti nosu, brady, čela a hřebene obočí je primárně způsoben různou rychlostí probíhajících změn než různými růstovými trajektoriemi. Naproti tomu změny v bukální oblasti vyplývají z rozdílů v rychlosti růstu mezi šesti až deseti lety a následně z různých směrů růstu mezi dvanácti a šestnácti lety (Matthews *et al.*, 2018).



Podle Smith *et al.* (2021) ve věku od 3 do 10 let dochází k expanzi orbitálních a nosních oblastí a v menší míře tváří a brady, což přispívá k nárůstu výšky obličeje a nosních výběžků. Od 11 do 20 let se změny v oblasti rtů a brady stávají výraznějšími. To vede k tomu, že chlapci ve srovnání s dívkami mají vertikálně prodlouženější a užší hlavu, zatímco dívky mají relativně větší rty a nosní hřbet, kulatější a kratší bradu, relativně menší úhly čelistí a méně výrazné *philtrum* (Smith *et al.*, 2021).

Při analýze růstových změn horní čelisti, ve věkové kategorii 7–15 let, bylo prokázáno, že k největšímu procentuálnímu přírůstku došlo ve výškových rozměrech (Lux *et al.*, 2004). Ve věku 12 let u dívek byla šířka horní čelisti kompletní z 98 %, zatímco u chlapců dosáhla 95 % (Nanda *et al.*, 2012). Délka horní čelisti vykazovala signifikantní nárůst každé 2 roky ve věku od 6 do 12 let. Navíc bylo prokázáno, že u mužů se délka významně prodloužila ve věku od 14 do 20 let (Ochoa & Nanda, 2004). Bylo pozorováno, že začátek, vrchol růstové rychlosti a zastavení růstu délky horní čelisti nastává dříve u dívek než u chlapců. Pravděpodobně to může souviset s pozdějším nástupem puberty u chlapců (Nahas *et al.*, 2014; Ochoa & Nanda, 2004).

Růst dolní čelisti také není lineární. Aktivní růstové období je pozorováno během prvních pěti let života, a to nezávisle na pohlaví. Během puberty však mužské dolní čelisti vykazují další výrazný růstový skok (Kelly *et al.*, 2017). Studie Mellion *et al.* (2013) naznačila vrchol růstového spurtu v délce dolní čelisti ve věku 11,5 let u dívek, a ve věku 14,3 let u chlapců. Obecně platí, že mužská dolní čelist je větší a robustnější, má výraznější svalová úponová místa (Vinay *et al.*, 2013).

Růst kosterního podkladu postupně následují i měkké tkáně. Měkká tkáň obličeje se skládá z řady vrstev, které zahrnují kůži, podkožní tukovou tkáň, povrchový muskuloaponeurotický systém, hlubokou tukovou tkáň a hlubokou fascie nebo periost (Kruglikov *et al.*, 2016). U některých struktur obličeje je organizace tvrdých a měkkých tkání úzce propojena, ale některé jsou nezávislé především kvůli specifickým charakteristikám délky, tloušťky a funkčním aspektům měkkých tkání (Kasai, 1998). Studie Halazonetis (2007) dospěla k závěru, že u jedinců ve věkovém rozpětí 7 až 17 let je přibližně 50 % variability tvaru měkkých tkání vysvětleno tvarem kosterního podkladu. Na druhou stranu studie Malá *et al.* (2018) naznačila mnohem menší korelaci mezi tvrdými a měkkými tkáněmi obličeje. Podle této studie existuje patrná korelace mezi kostní strukturou a měkkými tkáněmi v horní a dolní části obličeje, zejména v oblasti čela, kořene nosu, spodního rtu a brady. Povrch hřbetu a špičky nosu však

neodpovídá přímo tvaru kostního podkladu. V důsledku toho lze vysvětlit pouze 23,2 % změn tvaru měkkých tkání tvarem tvrdých tkání (Malá *et al.*, 2018).

Změny v profilu měkkých tkání jsou odrazem růstu kostního podkladu. Oblast čela vykazuje nejsilnější korelaci mezi kosterním základem a tkáněmi nad ním (Malá *et al.*, 2018). Střední část obličeje, která zahrnuje nosní hřbet a špičku, naopak vykazuje středně pozitivní, nebo někdy dokonce zanedbatelnou korelaci mezi měkkými tkáněmi a tvrdými tkáněmi (Allam *et al.*, 2018; Malá *et al.*, 2018). V dolní třetině obličeje, zejména v oblasti rtů měkké tkáně, těsně následují růst kostního podkladu (Malá *et al.*, 2018; McKinnon *et al.*, 2018). Na druhou stranu nebyla nalezena jednoznačná souvislost mezi měkkými tkáněmi a kosterním podkladem v oblasti symfýzy (Gómez *et al.*, 2018). Změny v určitých oblastech obličeje, včetně střední části tváře a zadní části dolní čelisti, jsou však ovlivněny vnějšími faktory, jako je například přírůstek hmotnosti, hodnoty BMI a přirozený proces stárnutí, což následně ovlivňuje tloušťku měkkých tkání (Baillie *et al.*, 2015; Eggensperger *et al.*, 2007).

Signifikantní věkové změny obličeje byly pozorovány pro transversální rozměry, jako jsou vzdálenosti mezi očima, šířka nosu a úst jak v pubertálním, tak i prepubertálním období. Navíc se ukázalo, že některé šířkové rozměry, jako je binokulární šířka a šířka *philtrum*, korelují s výškou a váhou jedince (Bugajghis *et al.*, 2013). V prepubertálním období jsou změny měkkých tkání zřejmě spojeny s přírůstkem výšky středního obličeje, zatímco během puberty jsou změny v oblasti dolní části obličeje zřetelnější, což vede k výraznější prominenci brady. Pravděpodobně je to způsobeno tím, že dolní čelist je více pod vlivem obecného skeletálního typu růstu, kdy je patrný vliv pubertálního spurtu (Primozic *et al.*, 2017). Profil měkkých tkání obličeje se začíná blížit dospělým rozměrům a morfologii u dívek po dosažení 10 let, zatímco u chlapců po 13 letech (Ferrario *et al.*, 2003). Podle Koudelové *et al.* (2019) dochází mezi 7. a 13. rokem k výrazným změnám v morfologii obličeje. V tomto období se výrazně prodlužuje oblast čela a dolní třetiny obličeje, což má za následek celkové prodloužení obličeje. Kromě toho se stávají výraznější nadočnicové oblouky, hrot nosu, brada a rty. Ke změnám dochází u chlapců s větší intenzitou a po delší dobu, až do 17 let. Na druhou stranu nejvýraznější změny u dívek byly zaznamenány mezi 12. a 13. rokem (Koudelová *et al.*, 2019). Podobné závěry publikovali i Bishara *et al.* (1984), které odhalily významné změny v morfologii obličeje u dívek ve věku 5 až 15 let, zatímco u chlapců tyto změny přetrvávají až do věku 17 let. Pohlavní dimorfismus je zohledněn v lineárních parametrech, které se týkají především šířky obličeje, přičemž mužský obličej je širší (Bugajghis *et al.*, 2013).

Morfologii lidského obličeje lze hodnotit pomocí různých indexů, včetně tzv. obličejového (prosopického) indexu (Melo & Bianchini, 2016). Tento index představuje poměr mezi morfologickou výškou obličeje (*Nasion-Gnathion*) a bizygomatickou šířkou (*Zygion-Zygion*) vynásobený 100. Určením této hodnoty je možné kategorizovat obličeje do pěti typů uvedených v tabulce 1 (Jeremić *et al.*, 2013; Trivedi *et al.*, 2017; Yesmin *et al.*, 2014).

Tab 1. Typy obličeje podle obličejového indexu (modifikované podle Shah *et al.*, 2015)

| Kategorie        | Rozsah indexu |           | Charakteristické rysy |
|------------------|---------------|-----------|-----------------------|
|                  | Chlapci       | Dívky     |                       |
| Hypereuryprosop  | <78.9         | <76.9     | velmi široký obličej  |
| Euryprosop       | 79.0–83.9     | 77.0–80.9 | široký obličej        |
| Mesoprosop       | 84.0–87.9     | 81.0–84.9 | kulatý obličej        |
| Leptoprosop      | 88.0–92.9     | 85.0–89.9 | dlouhý obličej        |
| Hyperleptoprosop | 93.0+         | 90.0+     | prodloužený obličej   |

S růstem dítěte dochází ke změnám obličejových parametrů, a tím i ke změně obličejového indexu. Analýza provedená Tineshevem (2010) odhaluje, že v období 7 let jak dívky, tak i chlapci mají tendenci mít širší formy obličeje s tím, že se to více projevuje u chlapců. Na druhou stranu v období dospívání a po dosažení 17 let se obličeje dívek stávají užšími. Pohlavní dimorfismus se stává signifikantní v intervalu 15-17 let (Tineshev, 2010).

#### 2.1.3.4 Faktory ovlivňující vývoj obličeje

Morfologie lidského obličeje závisí na mnoha faktorech, jako jsou pohlaví, etnický původ, věk, klima, výživa, genetická konstituce a socioekonomické podmínky (Darkwah *et al.*, 2018). Farnell *et al.* (2020) dospěli k závěrům, že 7,9 % variability tvaru obličeje vysvětluje pohlaví a populační příslušnost. Další 20,6 % variability tvoří věk jedinců. Zbývajících 71,5 % je spojeno s různými dalšími faktory, které pravděpodobně zahrnují další genetické a environmentální vlivy (Farnell *et al.*, 2020). Podobné výsledky znázorňuje i Claes *et al.* (2014), kde demografický původ, nezávisle na pohlaví, vysvětloval 9,6 % celkové variability obličeje, zatímco samotné pohlaví přispělo k 12,9 % celkové variabilitě obličeje bez ohledu na demografický původ.

Je zřejmé, že rysy obličeje chlapců a dívek se liší a tyto rozdíly jsou způsobeny především vlivem pohlavních hormonů během jejich růstu a vývoje (Fink *et al.*, 2005). Rozdílné působení testosteronu a estrogenu u chlapců a dívek v průběhu života je v konečném důsledku

odpovědné za projevy sexuálního dimorfismu v kraniofaciálním komplexu, ať už přímým působením na kosti a chrupavky, nebo ovlivněním růstu souvisejících funkčních matrix, jako jsou svaly a orgány (Marečková *et al.*, 2011; Weinberg *et al.*, 2015). Hladiny těchto hormonů už během prenatálního vývoje mají vliv na tvar obličeje. Vyšší hladiny testosteronu jsou spojeny s výraznější spodní čelistí, silnějším obočím, širším a kratšímnosem, plnějšími horními a dolními rty a hlubší strukturou obličeje. Na druhou stranu nižší hladiny prenatálního testosteronu mají za následek kratší a širší obličeje s relativně delší a užší rýhou mezi nose a horním rtem (Burriss *et al.*, 2007; Meindl *et al.*, 2012; Schaefer *et al.*, 2006; Weinberg *et al.*, 2015). Tím je možné částečně vysvětlit závěry některých studií (Bulygina *et al.*, 2006; Wiesnerová, 2023) o přítomnosti pohlavního dimorfismu od raného dětství. Nejvýraznější změny jsou však pozorovány v období puberty, které nastává mezi 12. a 14. rokem u obou pohlaví (Koudelová *et al.*, 2015; Ursi *et al.*, 1993). Pubertální období je charakterizováno výrazným vzestupem hladin pohlavních hormonů, což by mohlo souviset i s výraznějšími projevy sexuálního dimorfismu v morfologii obličeje (Fechner, 2002; Rogol *et al.*, 2002). Účinky testosteronu na obličejovou strukturu byly nejvýraznější v dolní čelisti, bázi lebeční, výšce přední části obličeje a také v poměru šířky obličeje k výšce (Marečková *et al.*, 2011; Roosenboom *et al.*, 2018). Na druhé straně estrogen u dívek je spojen s ženskými, atraktivnějšími a zdravějšími tvářemi (Probst *et al.*, 2016; Smith *et al.*, 2006). Chlapci obvykle zažívají výraznější změny v morfologii obličeje ve srovnání s dívkami. Tyto změny mají tendenci nastat později a trvají déle (Kau & Richmond, 2008).

Genetika také hraje důležitou roli a v současné době existují různé metody pro studium podílu genetických faktorů na morfologii obličeje. Mezi ně patří například celogenomové asociační studie, studie na zvířatech, populační studie a rodinné studie. Nejčastěji se výzkum provádí na dvojčatech a jednou z hlavních výhod této metody je eliminace vlivů souvisejících s věkem (Roosenboom *et al.*, 2016). Genetické faktory podle výzkumů tvoří 70 % variací ve fenotypu obličeje (Djordjevic *et al.*, 2016). Výzkumy odhalily, že genetické faktory mají významný vliv na různé rysy obličeje, včetně oblasti nosu, lícních kostí, oblasti vnitřních očních koutků, oblasti brady a tvaru dolní čelisti (Hersberger-Zurfluh *et al.*, 2018; Jelenkovic *et al.*, 2010; Šidlauskas *et al.*, 2016; Tsagkrasoulis *et al.*, 2017; Weinberg *et al.*, 2013).

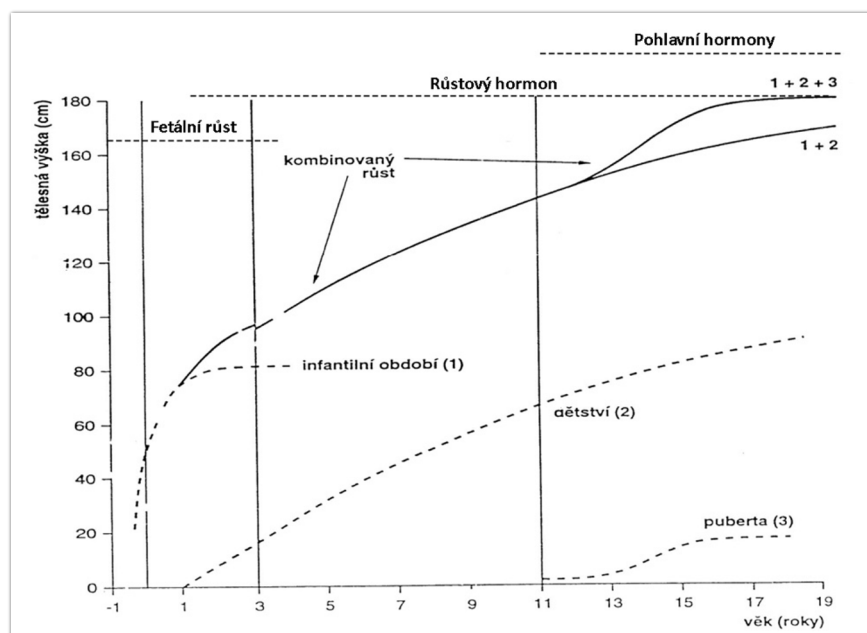
Morfologie obličeje může být ovlivněna také různými environmentálními faktory, jako jsou trauma, operace a infekce. Ostatní vlivy představují spíše kombinace environmentálních a genetických faktorů, včetně životního stylu matky během těhotenství, životního stylu jedince, výživy, metabolických a socioekonomických faktorů (Muggli *et al.*, 2017; Richmond *et al.*,

2018). Faktory prostředí hrají roli ve variabilitě tvaru a výšky ramene dolní čelisti, horizontální asymetrii obličeje, výšce obličeje a oblasti horního rtu (Djordjevic *et al.*, 2016; Jelenkovic *et al.*, 2010; Roosenboom *et al.*, 2016; Suttie *et al.*, 2013; Vanco *et al.*, 1995).

## 2.2 Skeletální růst

Růst dítěte neprobíhá lineárně během celého růstového období. V prvním roce života dochází ke dvojnásobnému nárůstu dítěte do délky a trojnásobnému přírůstku hmotnosti. Toto období je známé jako kojenecké období, které se považuje za nejvíc aktivní růstové období (Bernstein *et al.*, 2020; Dimeglio & Canavese, 2012; Wang *et al.*, 2013). Během následujících let života se růst obecně zpomaluje a pak tempo zůstává relativně konstantní. Opětovně k výraznému akceleračnímu růstu dochází s nástupem puberty (Rogol *et al.*, 2000; Wei & Gregory, 2009).

Karlbergův model lidského růstu, známý také jako ICP model růstu, podrobně popisuje tyto změny. Model je reprezentován křivkou, která rozděluje růst do tří matematicky aditivních a částečně se překrývajících složek. I-komponenta (infancy) označuje kojenecké období, C-komponenta (childhood) představuje dětství, a poslední P-komponenta (puberty) popisuje období puberty (Karlberg, 1989a). Každá komponenta odpovídá různým hormonálním fázím, ve kterých se uplatňuje působení příslušných hormonů, zodpovědných za řízení růstu (Benyi & Säwendahl, 2017).



Obr. 3 ICP model růstu ( modifikované podle Karlberg *et al.*, 1987)

První I-komponenta začíná před narozením a končí kolem 3-4 věku dítěte (Karlberg, 1989b). Ve vztahu k hormonální regulaci I-komponenta představuje postnatální pokračování „fetálního“ růstu. Hlavními regulátory růstu v kojeneckém období jsou především inzulinu podobný růstový faktor 1 (IGF-1) a inzulin, zatímco příspěvek růstového hormonu (GH) není značný (Benyi & Sävendahl, 2017). Nejdůležitějším místem sekrece IGF-1 jsou játra, kde se produkuje přibližně 75 % celkového množství této látky (Yakar & Isaksson, 2016). Tato látka spolu s lokální produkcí indukuje buňkovou proliferaci přímo v růstové ploténce, čímž přispívá k růstu dlouhých kostí (Eerden *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2013). Neméně důležitou roli také hraje výživa, která může ovlivnit hladiny IGF-1 (Benyi & Sävendahl, 2017).

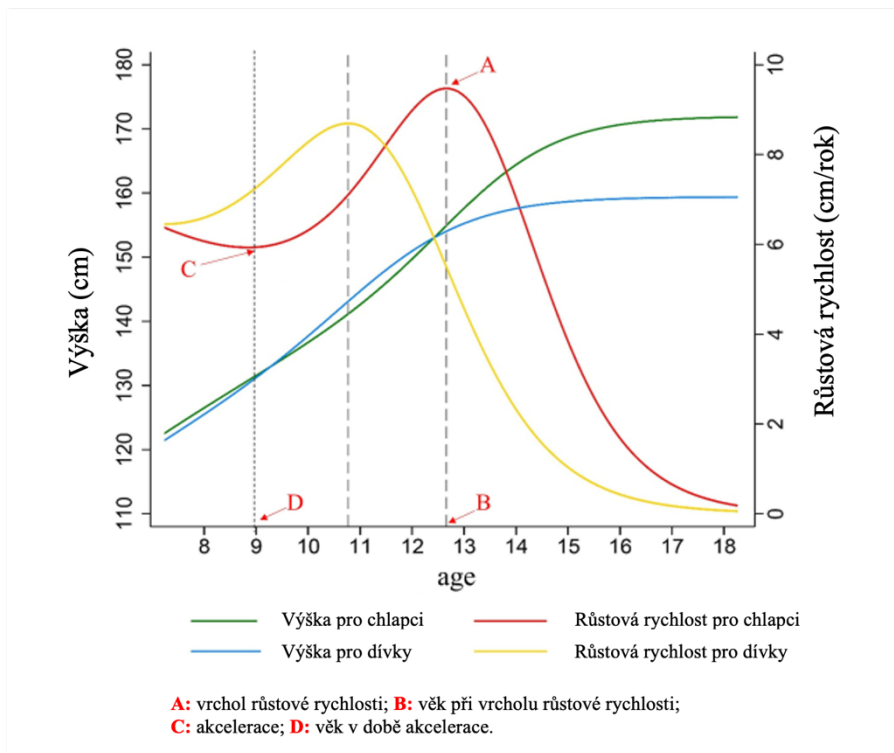
Od konce prvního roku života začíná uplatnění další C-komponenty růstu, a pokračuje až do zralosti (Karlberg, 1989b). V tomto období za řízení růstu je zodpovědná tzv. hypotalamo-hypofyzárně-chondrocytární osa (Tse *et al.*, 1989). Signály z hypotalamu indukují sekreci růstového hormonu v adenohypofýze, který ve výsledku ovlivňuje sekrece IGF-1 v játrech. Jako už bylo zmíněno, IGF-1 podporuje proliferaci chondrocytů, v epifyzárních růstových ploténkách. Zvýšená hladina IGF-1 v krvi poskytuje negativní zpětnou vazbu na úrovni hypofýzy, čímž inhibuje sekreci růstového hormonu (Yakar & Isaksson, 2016). Růst v dětství je relativně stabilní proces. Malé dílčí urychlení růstu tzv. mid-growth spurt se objevuje kolem 6-7 roků života (Hermanussen, 2010). Průměrná maximální rychlost je stanovena na 6-8 cm/rok u dívek ve srovnání s 6-7 cm/rok u chlapců (Butler *et al.*, 1990). To znamená, že maximální hodnota přírůstku výšky se během této doby zvýší přibližně o 0,9 cm (Remer & Manz, 2001). Navíc dívky dosahují této maximální rychlosti o rok dříve než chlapci (Butler *et al.*, 1990). Předpokládalo se, že to je důsledkem tzv. adrenarche, což je období, kdy dochází k funkčnímu zrání nadledvin a vede ke zvýšené produkci androgenů (Molinari *et al.*, 1980). Avšak výsledky studie Remer & Manz (2001) zamítají předešlé tvrzení a dokumentují, že adrenarche nastává o rok později od pozorovaného růstového urychlení. Primárním markérem adrenarche je dehydroepiandrosteron (DHEA) a DHEA sulfát, produkované v nadledvinách (Cole & Butler, 2022). Tyto hormony iniciují postupný vývoj mazových žláz, apokrinních žláz a objevení pubického ochlupení dětí (Auchus & Rainey, 2004). Nebylo však prokázáno, že DHEA přímo ovlivňuje růst metafyzárních kostí. Adrenarche pravděpodobně není primární příčinou mid-growth spurtu, avšak nelze vyloučit možnost, že vyšší hladiny androgenů mají pozitivní vliv na urychlení růstu v tomto období (Remer *et al.*, 2004; Remer & Manz, 2001).

Vliv pubertální komponenty je aditivní k C-komponentě a začátek jejího uplatnění je variabilní (Karlberg, 1989b). Puberta je dynamické období vývoje vyznačující se rychlými,

částečně souběžnými změnami, které zahrnují velikost, tvar, hmotnost a složení těla. Zároveň dochází k rozvoji sekundárních pohlavních znaků, což přispívá k zřetelnému projevu sexuálního dimorfismu (Soliman *et al.*, 2014). Jedná se o vývojovou fázi, která se vyznačuje postupným přechodem z dětství do dospělosti. Postupný rozvoj přesně určených znaků vede k následnému dosažení reprodukčních funkcí (Alotaibi, 2019). Pubertální růstový spurt je primárně způsoben zvýšenou sekrecí pohlavních hormonů estrogenů (považovaných za ženské hormony) a androgenů (považovaných za mužské hormony) a tento jev je známý jako gonadarche (Mendle *et al.*, 2019; Ritzén *et al.*, 2000). Přesto se estrogeny a androgeny nacházejí v různém množství jak u mužů, tak u žen a hrají klíčovou roli ve vývoji skeletu dítěte. Konkrétně se estrogen podílí jak na zahájení, tak na ukončení růstu u obou pohlaví. Testosteron také stimuluje produkci růstového hormonu v růstových ploténkách, což podporuje růst kostí. Absence estrogenu však brání dozrávání epifýz a dokončení růstu (Frank, 2003).

Některé výzkumy (Chen *et al.*, 2022; Mendle *et al.*, 2019) naznačují, že dívky vstupují do puberty téměř o dva roky dříve než chlapci. Na druhé straně doba trvání pubertálního období je přibližně o rok delší u chlapců. Předpokládá se, že dřívější začátek puberty u dívek je spojen s dřívější sekrecí estrogenu. To primárně ovlivňuje rychlejší vývoj kostry a uzavírání růstových zón, což ve výsledku vede k redukcí celkového přírůstku výšky během puberty u dívek. Naopak u chlapců má větší význam vliv testosteronu, který na rozdíl od estrogenu podporuje tělesný růst (Kozieł, 2001).

Jedním z charakteristických znaků puberty je růstový spurt (Rogol *et al.*, 2002). Pubertální růstový spurt většinou nastává v průměrném věku 10-11 let u dívek a 13-14 let u chlapců. Avšak jsou sledovány značné rozdíly jak v rámci jednotlivců, tak i na populační úrovni (Soliman *et al.*, 2014). Průměrný věk, ve kterém bylo dosaženo maximální rychlosti nárůstu výšky, byl 13,9 let u chlapců a 11,9 let u dívek (Luo *et al.*, 2003). Při sledování korelace mezi skeletálním věkem a změnami výšky postavy bylo stanoveno, že dívky dosahují 90 % finální výšky průměru ve věku 9,9-12,6 let, kdežto u chlapců to je ve věku 11,9-14,1 let (Sanders *et al.*, 2017).



Obr. 4 Rozdíly v charakteristikách modelů růstu v pubertě mezi chlapci a dívkami (Chen *et al.*, 2022)

Během pubertálního růstového spurtu dochází u chlapců k průměrnému nárůstu výšky o 30,3 cm, zatímco u dívek o 27,5 cm (Limony *et al.*, 2015).

Nástup puberty je ovlivněn množstvím různých faktorů. Odhaduje se, že v rozmezí 50-80 % načasování puberty ovlivňuje genetická složka, což znamená, že když v rodině je tendence k dřívějšímu nástupu puberty, s velkou pravděpodobností se stejný vzor projeví u dětí (Wood *et al.*, 2019).

### 2.2.1 Změny obličeje v souvislosti s výškou postavy

Souvislost mezi načasováním růstu obličeje s celkovým růstem těla není dobře přezkoumána a publikované výsledky nejsou jednoznačné. Bylo dokumentováno, že vrchol přírůstku tělesné výšky se shoduje s vrcholem nárůstu délky těla dolní čelisti. U dívek k tomu došlo ve věkovém intervalu od 8 do 11 let, zatímco u chlapců mezi 10 a 14 lety (Franchi *et al.*, 2000a). Na druhou stranu bylo také zjištěno, že vrchol nárůstu tělesné výšky nastává o 0,4 roku dříve než vrchol nárůstu obličejových rozměrů a rozměrů dolní čelisti (Mellion *et al.*, 2013). Podle starších studií (Bergersen, 1972) výrazné zvětšování obličejových parametrů u chlapců nastává ve 13 letech, kdežto podle novějších výzkumných prací k tomu dochází u chlapců ve věku 14,4 let a u dívek ve věku 11,5 let (Mellion *et al.*, 2013). U dívek byla



objevena silnější korelace mezi rychlostí růstu obličejových parametrů (nasion-gnathion, sella-gonion) a výškou postavy (Beek *et al.*, 1997). Morfologie obličeje dívek je více ovlivněna tělesnou výškou než u chlapců (Jandová & Urbanová, 2016). Na druhou stranu u obou pohlaví byl prokázán vzájemný vztah mezi hloubkou dolní čelisti a proměnou výšky postavy (Hunter, 1966). Kromě toho byla pozorována pozitivní korelace mezi změnami výšky postavy a různými parametry obličeje, včetně délky horní a dolní čelisti, výšky ramene dolní čelisti a celkové výšky obličeje (Pike, 1968). Baume *et al.* (1983) poukázal na to, že v souvislosti se změnou tělesné výšky se uskutečňují i regionální změny v horní a dolní třetině obličeje. Mezi 8. rokem a dospělostí u obou pohlaví změny výšky postavy reprezentují 1 % změn vzhledem ke střední třetině obličeje a pouze 0,2 % ve vztahu k dolní třetině (Baume *et al.*, 1983). Podle výsledků některých studií výška postavy koreluje také se sirkovými rozměry obličeje, jako je například binokulární šířka, šířka *philtrum* a šířka rtů, a to u obou pohlaví (Bugaighis *et al.*, 2013; Skomina *et al.*, 2020). V kontrastu s tím však Moore *et al.* (1990) neobjevil žádné statisticky významné souvislosti mezi tělesnou výškou a rozměry obličeje. Na základě jeho zjištění ve všech měřených rozměrech obličeje (přední a zadní výška obličeje, hloubka dolní čelisti, délka přední báze lebni) došlo k růstu poté, co byl pozorován vrchol růstových změn tělesné výšky (R. N. Moore *et al.*, 1990).

### 2.3 Tělesná hmotnost

S růstem těla se mění jeho parametry a proporce. Prepubertální a pubertální období jsou charakteristické změnou váhy a tělesného složení dítěte. Malé zvýšení rychlosti nárůstu hmotnosti, tělesné výšky je pozorováno v období dílčího růstového urychlení v prepubertě (mid-growth spurt), kdy současně dochází k adrenachre. Doba nástupu je variabilní, v průměru 6–8 let (Weber *et al.*, 2012). Následně růstové tempo zůstává bez výrazných kolísání až do doby pubertálního růstového spurtu. Změny tělesného složení jsou ovlivněny jak vnitřními faktory, jako je například genetická predispozice, tak i faktory vnějšími, mezi které se dá zařadit životní styl, sekulární trend a podmínky, ve kterých dítě roste (Nikolova *et al.*, 2019).

Během puberty u obou pohlaví se všechny hlavní komponenty tělesného složení, což jsou hmotnost, celkový tělesný tuk, svalová hmota a minerální obsah kostí, výrazně mění a zvyšují, ale existuje značný sexuální dimorfismus (Siervogel *et al.*, 2003). U dívek je pozorován začátek přírůstku hmotnosti v 7 letech, s následným dosažením vrcholu ve 12

letech. Průměrná doba trvání je 6 let, s celkovým přírůstkem hmotnosti 24 až 29 kg ve sledovaném období. Při sledování kolísání hmotnosti u dívek od 6 do 18 let, bylo zjištěno, že existuje korelace naznačující, že pokud má dívka nízkou (vysokou) hmotnost ve věku 6 let, pravděpodobně bude mít nízkou (vysokou) i ve věku 18 let (Zacharias & Rand, 1986). U chlapců nastávají významné změny hmotnosti a složení těla v intervalu 13-14 let. Přibližně v tomto období nastává pubertální růstový spurt a výsledkem je průměrný přírůstek hmotnosti v tomto období kolem 7 kg (Mladenova & Nikolova, 2005).

Poprvé v roce 1940 William Herbert Sheldon na základě své studie klasifikoval fyzickou konstituci jedinců do tří odlišných biotypů: endomorfie (charakterizovaná adipozitou), mezomorfie (charakterizovaná svalnatostí) a ektomorfie (charakterizovaná štíhlostí); (Silva *et al.*, 2014). Charakteristické rysy ektomorfu jsou tenké kosti, malé množství svalové a tukové hmoty (Florescu, 2016). Mezomorfní typ se považuje za vyvážený vývoj těla a je charakterizován dobře vyvinutou kostní a svalovou hmotou s malým množstvím podkožního tuku (Silva *et al.*, 2014). Endomorfové se vyznačují masivní kostrou, s tlustými a širokými kostmi a zvýšeným množstvím tukové tkáně (Florescu, 2016). Většina morfologických struktur lidského těla je integrovaná, což znamená, že se mohou do určité míry vzájemně ovlivňovat. Larson *et al.* (2018) zkoumal vztah mezi velikostí těla jedince a morfologií obličeje, kde ve výsledku bylo zjištěno, že tvar obličeje koreloval s tělesnou výškou, hmotností, velikostí obličeje a věkem. Při zkoumání korelace mezi morfologií obličeje a složením těla byla objevena závislost mezi šířkou obličeje (bizygomatická šířka) a zmíněnými somatotypy. Jedinci s ektomorfním typem tělesné konstituce měli tendenci mít menší a užší obličej. Naopak větší a širší obličej byly významně spojeny se zvýšenou akumulací tuku, což je vlastnost typicky pozorovaná u endomorfů a mezomorfů (Ghosh *et al.*, 2021).

### **2.3.1 Index tělesné hmotnosti**

Souvislost mezi hmotností a výškou je rozsáhle studována a je důležitá, pokud jde o sledování změn v růstu dítěte, stanovení ideální hmotnosti a potenciální identifikaci obezity. Pro hodnocení hmotnostního stavu u dětí existují minimálně tři metody často používané v praxi, mezi které patří McLarenova metoda, Mooreova metoda a metoda indexů tělesné hmotnosti (Phillips *et al.*, 2007).

Podle rekomendací světové zdravotnické organizace (WHO) hmotnostně výškový index se považuje za tzv. „zlatý standard“. Jednou z metod založených na přímém vztahu mezi hmotností a výškou je metoda podle McLarena (1972). Metoda vychází z tvrzení, že hmotnost souvisí s výškou v určitém věku, a pro hodnocení se používají růstové percentilové grafy (McLaren & Read, 1972). Výška dítěte vztáhnutá k věku se zakreslí vodorovnou čarou na grafu, dokud není překročen 50. percentil. Následně se od toho bodu nakreslí kolmá čára, která protíná odpovídající hodnotu hmotnosti na 50. percentilu, a tím se odhaluje ideální hmotnost (Moylan *et al.*, 2019). Výhodou této metody je její jednoduchý přístup, kde jsou požadované pouze růstové grafy (Kang *et al.*, 2019). Na druhou stranu má dvě hlavní nevýhody. Zaprvé nezohledňuje věk při konečném stanovení hmotnosti, což znamená, že když děti různého věku budou mít stejnou výšku, tak podle metody se považuje, že mají mít i stejnou ideální hmotnost. Zadruhé děti, které mají výšku nad 50. percentilem, se touto metodou nemohou hodnotit (Kang *et al.*, 2019; Phillips *et al.*, 2007). Oproti McLarenu není metoda podle Moore vázaná na 50. percentil (Moore *et al.*, 1985). Naměřená výška dítěte je vyznačena v grafu tak, aby byl označen percentil, do kterého spadá. Na stejném percentilu je také uvedena odpovídající ideální hmotnost pro daný věk (Moylan *et al.*, 2019). Její výhodou oproti metodě McLarena je, že je použitelná u vysokých jedinců. Komplikace však nastávají, když se při hodnocení jedinec nenachází přesně na nějakém percentilu, nebo taky když padne pod 3. percentil nebo naopak přesáhne 97. percentil (Phillips *et al.*, 2007). Podle výsledků Kang *et al.* (2019) Mooreova metoda byla přesnější vůči McLarenově metodě u dětí ve věku od 12 do 36 měsíců, zatímco metoda indexu tělesné hmotnosti (BMI) byla přesnější vůči McLarenově metodě u dětí ve věku od 3 let.

Index tělesné hmotnosti, nebo ve zkratce BMI, představuje parametr, který se používá k posouzení stavu hmotnosti u dětí a dospívajících. Vypočítá se jako hmotnost v kilogramech dělená druhou mocninou výšky v metrech (Must & Anderson, 2006). Ve výsledku získáme číselnou hodnotu, která se porovnává s nacionálními standardy a podle speciální škály se posuzuje, jestli jedinec má normální hmotnost, podváhu nebo naopak nadváhu (Reilly, 2006). Oproti výše popsaným metodám má výhody v tom, že bere v úvahu věk a je použitelná během celého života, ale u dospívajících jedinců je důležité tento parametr standardizovat (Phillips *et al.*, 2007). Často se za tímto účelem vypočítají BMI z-skóre (BMI<sub>z</sub>), které vztahují BMI k věku jedince (Mishra, 2020).

BMI je možné rozdělit na index beztukové hmoty a index tukové hmoty (Chung, 2015). FMI je v podstatě poměr tukové hmoty k výšce ( $FM \text{ (kg)}/\text{výška (m)}^2$ ). Výpočet indexu

beztukové hmoty se provádí podobným způsobem - (FFM (kg)/výška (m)<sup>2</sup>); (VanItallie *et al.*, 1990). U chlapců je zvýšení BMI mezi 6. a 10. rokem primárně spojeno se zvýšením FFMI. Na druhé straně dívky ve věku 5 až 10 let vykazují nárůst FMI i FFMI (Wells, 2000). Mezi 11. a 16. rokem mají dívky obecně vyšší průměrné hodnoty BMI než chlapci. Avšak pouze ve věku 12 a 13 let se objevily významné rozdíly v průměrech BMI mezi pohlavími (Maynard *et al.*, 2001). Hodnoty BMI vykazují vysokou korelaci s hodnotami procentuálního zastoupení tuků v organismu v prepubertálním období, a to u obou pohlaví. Také během puberty je přítomná souvislost mezi zvýšením procenta tukové tkáně a BMI. Z toho vyplývá, že je to dobrý indikátor množství tukové hmoty (Dencker *et al.*, 2007; Rusek *et al.*, 2021).

### 2.3.2 Změny obličeje v souvislosti s hmotností

Četné studie našly vztah mezi BMI a morfologií lidského obličeje. Platí, že jedinci s vyššími hodnotami BMI mají tendenci mít obléjší obličeje s poměrně většími kraniofaciálními rozměry (Danze *et al.*, 2021; Gordon *et al.*, 2021; Olszewska, 2017). Obličeje dětí s nadváhou se vyznačují více vystupující dolní čelistí, širšími obličejí a nosy, konkávnějšími profily a mírně brachycefalickou formou hlavy. Také je u nich zaznamenáno významné prodloužení horní a dolní čelisti ve srovnání s dětmi s normální hmotností (Hancock *et al.*, 2024; Skomina *et al.*, 2020; Vora *et al.*, 2022). U jedinců s vyšší hmotností byla nalezena výrazná asymetrie v oblasti očí, nosu a brady (Bank *et al.*, 2020).

Rozdíly v hloubce měkkých tkání obličeje mezi dospělými jednotlivci jsou výrazně ovlivněny BMI. Nejvíce jsou ovlivněné oblasti tváře a dolní čelisti, zatímco nebyl zjištěn významný vliv v oblasti horního rtu a nosu (Greef *et al.*, 2009; Karaman & Genc, 2022). Naopak Chen *et al.* (2023) našli pozitivní vztah mezi hodnotami BMI a morfologií rtů. Se zvyšujícími se hodnotami BMI se zvětšuje šířka a tloušťka rtů, zatímco nasolabiální úhel se zmenšuje v důsledku vyčnívání horního rtu. Pokud jde o pohlavní dimorfismy, platí, že muži mají větší tloušťku měkkých tkání po celém obličejí, zejména v oblasti čela, kolem úst a čelisti, zatímco u žen je to v oblasti tváře (Greef *et al.*, 2009). Obličeje žen s nízkým BMI byly užší a měly relativně tlustší rty, větší oči a vyšší obočí než u jedinců s vysokým BMI, kteří měli kulatější a větší obrys obličeje v poměru k velikosti očí a rtů (Mayer *et al.*, 2017).

BMI vykazuje zřetelnou korelaci se změnami rozměrů obličeje, zejména je to pozorováno v dolní třetině obličeje (Kamínková *et al.*, 2022; Olszewska, 2017). Vysoké BMI je spojeno s vyššími a delšími mandibulárními těly, méně výraznými bradami a vyšším

postavením tzv. bodu největšího zakřivení brady. Jedinci s vyššími hodnotami BMI mají v důsledku toho tendenci mít širší obličej (šířka základny lebky, šířka dolní čelisti); (Ferrario *et al.*, 2004; Gordon *et al.*, 2021). Studie Karaman & Genc (2022) zaznamenala, že hodnoty délky střední třetiny obličeje, délky dolní čelisti a výšky obličeje u dívek s nadváhou jsou vyšší oproti chlapcům s nadváhou.

Kromě toho vyšší hodnoty BMI v mladém věku předpovídají pokročilý vývoj chrupu a kostry v pozdějším věku, což naznačuje dlouhodobý účinek BMI na dozrávání zubů. To zase může způsobit změny v morfologii obličeje u daných jedinců, zejména v jeho střední a dolní třetině (Nicholas *et al.*, 2018). Také BMI úzce souvisí i s načasováním nástupu puberty, a tím mohou ovlivňovat i finální výšku jedinců. Zvýšení hodnoty BMI o 1 jednotku v dětském věku (2–8 let) bylo spojeno s dřívějším načasováním puberty přibližně o 0,11 roku, u obou pohlaví. V souvislosti s dřívějším nástupem puberty a následným rychlejším dokončením růstu měly zvýšené hodnoty BMI také negativní vliv na finální výšku. Konkrétně u dívek došlo ke snížení přírůstku výšky o 0,88 cm, zatímco u chlapců došlo ke snížení o 0,51 cm (He & Karlberg, 2001). K podobným závěrům dospěli i Leonibus *et al.* (2014), kteří uvádějí, že jedinci s vyššími hodnotami BMI měli větší výšku v prepubertálním období. Během puberty však bylo pozorováno snížení nárůstu tělesné výšky. Také se uvádí dřívější nástup puberty přibližně o půl roku, v obou pohlaví (Leonibus *et al.*, 2014). Na druhou stranu studie Oehme *et al.* (2021) dokumentovala opačné výsledky. Snížené hodnoty BMI u chlapců vedly k přibližně osmiměsíčnímu opoždění nástupu puberty. Toto zpoždění následně přetrvávalo během celého pubertálního období, což naznačovalo, že objem jejich varlat byl menší ve srovnání s normou pro jejich věkovou skupinu. Naopak zvýšené hodnoty BMI nepřispívaly k pokročilejšímu vývoji (Oehme *et al.*, 2021).

### **3 Hypotézy práce**

Na základě dostupné literatury byly stanoveny tyto hypotézy:

- 1) Obličej jedinců v nadváze se vyznačují oblejšími tvářemi, více prominující bradou a plnějšími rty.
- 2) Hodnoty standardizovaného BMI přímo korelují s hodnotami rozměrů šířky obličeje, šířky nosu a šířky rtů.
- 3) Tělesná výška koreluje s výškou dolního obličeje.

## 4 Cíle práce

Diplomová práce je zaměřena na sledování morfologie obličeje dětí ve věku 10, 12 a 14 let v souvislosti s různými kategoriemi standardizovaného BMI a v souvislosti se změnou výšky postavy během růstu dětí ve dvou semilongitudinálních souborech 10-12 a 12-14 let.

Dílčí cíle diplomové práce jsou následující:

- a) Prozkoumat vliv variance standardizovaného BMI na morfologii obličeje u dětí ve vybraných věkových skupinách.
  1. Popsat rozdíly ve formě obličeje u dětí s normální hmotností a nadváhou ve věku 10, 12 a 14 let.
  2. Charakterizovat růstové změny, ke kterým dochází u jedinců s normální hmotností a nadváhou v rámci dvou semilongitudinálních souborů.
  
- b) Nalézt vztahy mezi standardizovaným BMI, tělesnou výškou a kraniofaciálními rozměry obličeje za použití metod vícerozměrné statistiky pro oba semilongitudinální soubory zvlášť.
  1. Odhalit vliv čtyř hlavních faktorů, jako jsou věk, pohlaví, tělesná výška a hmotnost, a také jejich vzájemných interakcí na zkoumané obličejové rozměry.

## 5 Materiál

V 3D laboratoři zobrazovacích a analytických metod, Katedry Antropologie a genetiky člověka, Univerzity Karlovy byla v roce 2009 založena databáze snímků 3D modelů obličeje. Od té doby neustále pokračuje rozšiřování databáze a shromažďování faciálních skenů jak dětí, tak dospělých.

Pro účely diplomové práce z databáze 3D laboratoře zobrazovacích a analytických metod byly vybrány 3D faciální modely získané mezi rokem 2009 až 2024. Skenování probíhalo ve dvou školách, a to na ZŠ Pošepného a Gymnáziu Kladno. Se skenováním dětí musel podpisem vyjádřit informovaný souhlas jeho zákonný zástupce.

Na základě věku byly děti rozděleny do dvou věkových skupin. Mladší věková skupina byla tvořena dětmi ve věku 10-12 let, starší dětmi ve věku 12-14 let. Při výběru jednotlivých virtuálních modelů do skupin bylo dbáno na to, aby nedošlo k opakovanému výskytu jedince jak v mladší, tak zároveň i ve starší věkové skupině. Každé dítě bylo skenováno dvakrát ( $T_0$  a  $T_1$ ) ve dvouletých intervalech, což znamená, že se jedná o dva semilongitudinální soubory. V diplomové práci byly sledovány pouze děti české národnosti.

Tab. 2 Věk jedinců v jednotlivých termínech skenování

| VĚKOVÁ SKUPINA | $T_0$ | $T_1$ | ČASOVÝ INTERVAL |
|----------------|-------|-------|-----------------|
| Skupina 1      | 10    | 12    | 2 roky          |
| Skupina 2      | 12    | 14    | 2 roky          |

Celkový počet sledovaných jedinců byl 115, všichni byli skenováni dvakrát, tedy se dohromady jednalo o 230 faciálních modelů. Mladší věkovou skupinu dohromady tvořilo 61 jedinců (30 dívek a 31 chlapců). Starší věkovou skupinu tvořilo celkem 54 jedinců (27 dívek a 27 chlapců). V případě, že jedinec v databázi měl záznamy splňující podmínky zařazení jak do starší, tak do mladší věkové skupiny, byl vybrán pouze do jedné z nich. Tím se předešlo tomu, aby se v obou věkových skupinách opakovaně objevovali stejní jedinci, což by mohlo vést k chybovosti v analýzách.

Při každém skenování byla dětem změřena výška postavy a hmotnost, ze kterých následně bylo automaticky vypočítáno Body mass index (BMI), pomocí přístroje InBody. Výpočet byl prováděn na základě vzorců:



$$\text{BMI} = \frac{\text{hmotnost (kg)}}{\text{výška}^2 \text{ (m)}}$$

U dětí je nutno BMI standardizovat, což znamená vztáhnout jej k věku a pohlaví. Pro tyto účely byl použit program rust.cz, kde byly automaticky vypočítané tzv. BMI z-skóre (BMIz). Daná hodnota se vypočítá podle vzorců, kde průměrná hodnota ( $\mu$ ) se odečte od naměřené ( $x$ ) a vydělí se směrodatnou odchylkou ( $\sigma$ ).

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Na základě hodnot z-skóre se děti rozdělily do tří kategorií: podváhy, normy a nadváhy. Do pásma normy byli zařazeni jedinci s hodnotami z-skóre od -0,7 do +0,7 SD. Podváha byla stanovena od -2,0 do -0,7 a nadváha od +0,7 do +2,0. Z důvodu malého množství dat a po konzultaci s odborníkem došlo ke sloučení kategorie podváhy a normy a ve výsledku se porovnávaly mezi sebou kategorie takto upravené normy a nadváhy. Výsledné počty jedinců lze vidět v tabulce 2.

Vzhledem k tomu, že data jsou longitudinální, během sledovaného období u některých dětí došlo k výrazné změně hmotnosti, což mělo za následek i přechod do jiné kategorie. Abychom minimalizovali chyby ve statistických analýzách, byla stanovena maximální povolená změna z-skóre na +/-0,5 SD. Děti, u nichž během vývoje došlo k výraznému nárůstu nebo poklesu hmotnosti, překračující limitní hodnotu, byly vyřazeny s dalšího zpracování dat. V níže uvedené tabulce č. 3 jsou znázorněny počty jedinců v každé věkové kategorii.

Tab. 3 Zastoupení jedinců v jednotlivých věkových skupinách podle z-skóre BMI

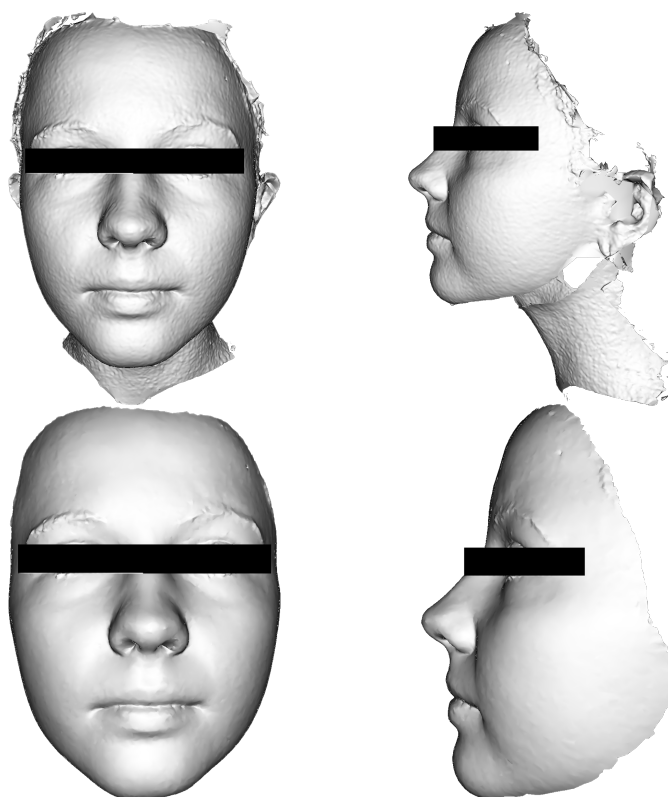
| VĚKOVÁ SKUPINA                     | CHLAPCI<br><i>NORMA</i> | CHLAPCI<br><i>NADVÁHA</i> | DÍVKY<br><i>NORMA</i> | DÍVKY<br><i>NADVÁHA</i> |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>Skupina 1</b><br>(10 až 12 let) | 20                      | 11                        | 20                    | 10                      |
| <b>Skupina 2</b><br>(12 až 14 let) | 17                      | 10                        | 22                    | 5                       |

## 6 Metody

### 6.1 Sběr a zpracování dat

Faciální 3D modely byly získány pomocí vícekamerového skeneru 3dMD Face System. Metoda je neinvazivní, rychlá a snadno použitelná. Při skenování bylo požadováno splnění řady parametrů. Jedinec byl posazen před skenerem v přirozené poloze hlavy a bylo důležité zachovat neutrální výraz obličeje. Skenování trvalo 2 ms. Pomocí čelenky byly odstraněny vlasy z obličeje, jejichž výskyt na snímku by mohl dělat komplikace při dalších postupech ve zpracování dat.

V dalším kroku, pomocí programu Mirror Software (Canfield Scientific, Inc., Parsippany-Troy Hills, New Jersey), byly dílčí snímky vícekamerového systému sloučené do jednoho faciálního 3D modelu s texturou. Výsledný 3D model představuje polygonovou síť s variabilním počtem trojúhelníků a vrcholů, jehož další zpracování a upravování probíhá v programu Rapidform XOS 2006 (Inus Technology, Inc., Seoul, Jižní Korea). Z modelu byly odstraněny vlasy, uši a krk, byly vyplněny drobné otvory a zredukován počet trojúhelníků na 26 000.



Obr. 5 Úpravy 3D modelu pomocí programu Rapidform XOS 2006

V době jednotlivých skenování byla současně měřena výška postavy, hmotnost a tělesné složení všech jedinců. Následně byl ze získaných dat automaticky vypočítán BMI (body mass index).

## 6.2 Analýza dat

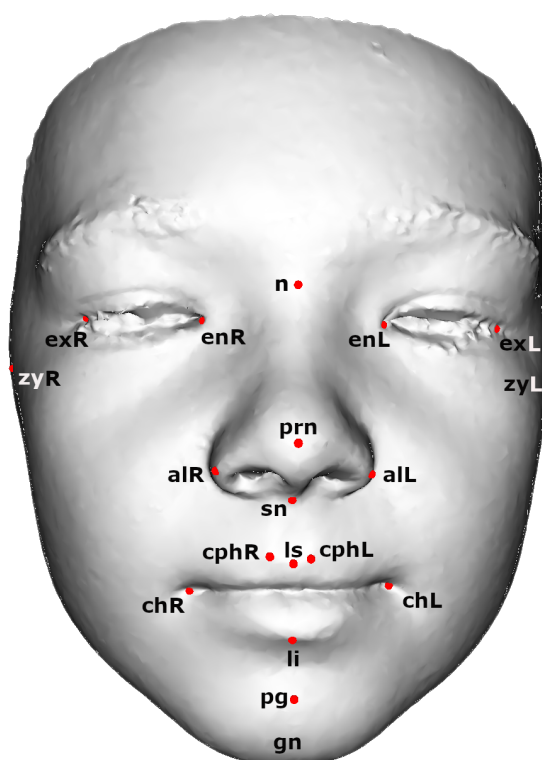
V diplomové práci byly použity dva přístupy zpracování dat. V první části se kompletní morfologie obličeje hodnotila v podobě polygonové sítě (26 tisíc dílčích trojúhelníků) pomocí pokročilejších metod geometrické morfometrie. V následující části byla provedena analýza dat za využití metod klasické morfometrie (statistické zpracování vybraných rozměrů obličeje).

### 6.2.1 Metodologie geometrické morfometrie

Geometricko-morfometrická 3D faciálních modelů se uskutečnila v programu Morphome3cs II, který byl vytvořen v rámci spolupráce Katedry antropologie a genetiky člověka na Přírodovědecké fakultě a Matematicko-fyzikální fakulty Karlovy univerzity. Software byl zkonstituován na principech geometrické morfometrie, a tím umožňuje zpracování a analýzu vícerozměrných dat. V programu lze zpracovávat landmarková a křivková data, stejně jako povrchová a objemová data, a nabízí možnost dalšího vyhodnocení a vizualizace výsledků (Krajíček *et al.*, 2012).

#### CPD-DCA

Pro analýzu jednotlivých faciálních modelů v prvním kroku bylo vybráno 19 landmarků. Volba landmarků vycházela z předcházejících studií, které se zabývaly podobnou problematikou (Danze *et al.*, 2021; Jandová & Urbanová, 2016; Nádaždyová *et al.*, 2016). Na každý faciální model byl nanesen set landmarků ve stejném pořadí. Umístění landmarků bylo definováno buď na základě příslušné anatomické struktury, nebo se jejich umístění lokalizovalo v místě největšího zakřivení obličeje (Bookstein, 1992). Jednotlivé definice vybraných landmarků jsou znázorněny v tabulce 4. Přesnost umístění byla určena výpočtem chyby, kdy bylo náhodně vybráno pět modelů obličeje a na ně byl pětkrát nanesen tentýž set vybraných landmarků s časovým odstupem minimálně jednoho dne. Průměrná chyba lokalizace landmarků byla stanovena na 0,39 mm, což je v rozmezí stanovené maximální hodnoty 0,5 mm (von Cramon-Taubadel *et al.*, 2007).



Obr. 6 Zobrazení umístění vybraných landmarků

Tab. 4 Definice jednotlivých landmarků podle Farkas *et al.* (1992)

| NÁZEV LANDMARKU                      | DEFINICE LANDMARKU   |
|--------------------------------------|--|
| <b>Exocanthion (exR et exL)</b>      | Bod na vnějším koutku oční štěrbin v místě styku obou očních víček (pravý a levý)            |
| <b>Endocanthion (enR et enL)</b>     | Bod na vnitřním koutku oční štěrbin v místě styku obou očních víček (pravý a levý)           |
| <b>Nasion (n)</b>                    | Bod v mediální rovině kořene nosu v místě nasofrontálního švu                                |
| <b>Pronasale (prn)</b>               | Nejvíce anteriorně směřující bod na hrotu nosu   |
| <b>Zygion (zyR et zyL)</b>           | Bod na jařmovém oblouku ležící nejvíce laterálně (pravý a levý)                              |
| <b>Alare (alR et alL)</b>            | Nejlaterálnější bod na nosním křídle (pravý a levý)  |
| <b>Subnasale (sn)</b>                | Bod ležící v úhlu, který svírá obrys nosní přepážky a horního rtu                            |
| <b>Gnathion (gn)</b>                 | Bod ležící v mediální rovině na spodním okraji dolní čelisti nejvíce dolů                    |
| <b>Chelion (chR et chL)</b>          | Bod na vnějším koutku úst v místě styku hranice červené horního a dolního rtu (pravý a levý) |
| <b>Pogonion (pg)</b>                 | Nejvíce anteriorně směřující bod v mediální rovině   |
| <b>Crista philtri (cphR et cphL)</b> | Bod na každém zvýšeném okraji <i>philtrum</i> těsně nad hranicí horního rtu (pravý a levý)   |
| <b>Labiale superius (ls)</b>         | Bod ve střední linii horního rtu   |
| <b>Labiale inferius (li)</b>         | Bod ve střední linii dolního rtu   |

Poté byly všechny modely srovnány pomocí generalizované Prokrustovské analýzy na základě aplikovaných landmarků. Toto zarovnání zajišťuje, že vzdálenosti mezi

homologickými landmarky jsou minimalizovány a že dochází k maximálnímu překryvání mezi jednotlivými skeny, což usnadňuje jejich porovnání a vyhodnocení. Dále byl náhodně vybrán vzorový 3D model, tzv. base mesh. Metoda Coherent Point Drift – Dense Correspondence Analysis (CPD – DCA) pak byla použita k deformaci celého povrchu ostatních 3D modelů (tzv. floating mesh) a jejich zarovnání na base mesh. Deformace se uskutečňuje zarovnáváním vrcholů trojúhelníků na povrchu base mesh k nejbližším bodům na povrchu každého floating mesh. CPD-DCA je metoda používaná pro nerigidní transformaci dat a je upravenou verzí metody DCA (Dupej *et al.*, 2014). Umožňuje transformace 3D modelů zajištěním shody trojúhelníků a vrcholů (Myronenko & Song, 2010).

### **Metoda superprojekce**

V programu Morphometrics je k dispozici celá řada metod používaných pro vizualizaci výsledků analýz. Metoda superprojekce umožňuje vizualizovat průměrný růst směrem kolmo na povrch modelu. Tímto způsobem jsou barevně znázorněny průměrné tvarové a velikostní rozdíly v obličejích jedinců různých věkových kategorií (Claes *et al.*, 2014). Výstupem metody superprojekce jsou barevné mapy. Oblasti obličeje, které vyklenují víc dopředu (jsou v protruzi), se jeví v podobě škály červených barev. Naopak oblasti, které se prohlubují (jsou v retruzi), jsou znázorněny pomocí škály modrých barev. Pokud ve sledované části obličeje nejsou patrné žádné změny tvaru nebo velikosti, barevná mapa se zobrazí zeleně.

### **6.2.2 Metodologie klasické morfometrie**

V další části výsledků byla data zpracovávána pomocí metod klasické morfometrie. Naměřené rozměry byly statisticky zpracovány v programu Jamovi (The jamovi project, 2024 n.d.). Je to volně přístupný statistický program, který byl vytvořen na bázi programovacího jazyka R a poskytuje široké spektrum základních (deskriptivní statistika, t-testy) i pokročilých (ANOVA, MANCOV, lineární a logistické regrese) statistických analýz (Şahin & Aybek, 2019). Vstupními daty pro následné statistické zpracování byla výška postavy, hmotnost, věk a 14 kraniofaciálních rozměrů, které jsou definované v tabulce 5.

Tab. 5 Definice vybraných kraniofaciálních rozměrů

| LANDMARK                            | ZKRATKA     | KRANIOFACIÁLNÍ ROZMĚR              |
|-------------------------------------|-------------|------------------------------------|
| exokanthion R - endokanthion R      | ExR - EnR   | transverzální rozměr pravé očnice  |
| exokanthion L - endokanthion L      | ExL - EnL   | transverzální rozměr levé očnice   |
| nasion - pronasale                  | N - Pm      | délka nosu                         |
| nasion - gnathion                   | N - Gn      | morfologická výška obličeje        |
| chelion R - chelion L               | ChR - ChL   | šířka rtů                          |
| zygion R - zygion L                 | ZyR - ZyL   | šířka obličeje bizygomatická       |
| alare R - alare L                   | AlR - AlL   | šířka nosu                         |
| subnasale - labiale superius        | Sn - Ls     | výška <i>philtrum</i>              |
| crista philtri R - crista philtri L | CphR - CphL | šířka <i>philtrum</i>              |
| labiale superius - labiale inferius | Ls - Li     | výška rtů                          |
| exokanthion R - exokanthion L       | ExR - ExL   | vzdálenost vnějších očních koutků  |
| endokanthion R - endokanthion L     | EnR - EnL   | vzdálenost vnitřních očních koutků |
| nasion - subnasale                  | N - Sn      | výška nosu                         |
| subnasale - gnathion                | Sn - Gn     | výška dolního obličeje             |

### Smíšený lineární model (Linear mixed-effect model)

Pro zkoumání vlivu standardizovaného BMI (BMIz) a výšky postavy na 14 vybraných obličejových rozměrů (tab. 5) byl v programu Jamovi sestaven smíšený lineární model (LMM). Jedná se o analýzu, která umožňuje hodnocení longitudinálních dat zahrnujících pevné a náhodné efekty a kde jsou splněny předpoklady normality (Peng & Lu, 2012). Před sestavením jednotlivých modelů byla data nejprve upravena pomocí Box-Coxove transformace, aby bylo zajištěno normální rozdělení dat. V programu pro vytvoření modelu je potřeba zadat čtyři základní parametry: závislou proměnnou, faktory, kovariáty a klastrovou proměnnou. V modelu závislou proměnnou představoval kraniofaciální rozměr. Faktory a kovariáty představovaly proměnné, které byly předmětem našeho zájmu, tudíž věk, pohlaví, výška postavy a BMIz. Byl sledován nejenom jejich přímý vliv na jednotlivé rozměry, ale byly zahrnuté i interakce druhého řádu (např. věk x výška postavy a podobně). Jinými slovy bylo také možné prozkoumat, jak se mění příslušný rozměr v závislosti na hodnotách obou proměnných současně. Klastrová proměnná v kontextu LMM pomáhá zohlednit longitudinální charakter dat. Při vytváření modelu jak pro mladší, tak i pro starší věkovou skupinu byly do programu vloženy naměřené hodnoty obličejových rozměrů jednotlivých jedinců, získané při skenování v čase  $T_0$  a  $T_1$ . Abychom zohlednili opakovaná měření po dvouletém intervalu u stejného jedince, byl jako klastrová proměnná vybrán subjekt, tedy

daný jedinec. Tento přístup nám umožňuje vzít v úvahu rozdíly mezi jednotlivci (interindividuální variabilitu) a lépe prozkoumat, jak věk a další faktory ovlivňují sledovaný rozměr.

Z výše popsaného vyplývá, že v našem modelu pevné efekty jsou faktory a kovariáty, jako například věk a pohlaví. Považují se za pevné efekty, protože předpokládáme, že mají stejný vliv na všechny jedince zahrnuté ve studii. Náhodným efektem je klastrová proměnná, protože zachycuje variabilitu na úrovni jednotlivce, která se může lišit pro každého jedince.

Stejným principem byla provedena analýza pro každý z rozměrů v obou věkových skupinách, což znamená, že ve výsledcích bylo vytvořeno 28 modelů. V tabulce 6 je ukázkové znázornění jednoho z výstupů provedené analýzy. Data byla hodnocena na 5% hladině významnosti.

Tab. 6 Část výstupu z programu Jamovi po sestavení lineárního modelu (LMM)

| FAKTORY            | F       | p      |
|--------------------|---------|--------|
| Pohlaví            | 0.4157  | 0.522  |
| Kat BMIz           | 1.1601  | 0.286  |
| Věk                | 15.4766 | < .001 |
| Výška              | 0.1818  | 0.671  |
| Pohlaví * Kat BMIz | 2.0318  | 0.159  |
| Pohlaví * Věk      | 3.9932  | 0.049  |
| Kat BMIz * Věk     | 1.0894  | 0.299  |
| Pohlaví * Výška    | 4.6114  | 0.034  |
| Kat BMIz * Výška   | 1.3548  | 0.247  |
| Věk * Výška        | 0.0713  | 0.791  |

**Poznámka:** faktor Kat BMIz představuje dvě hmotnostní kategorie: normu a nadváhu, do kterých jedinci byli zařazeni na základě hodnot BMIz; F-hodnota hodnotí, zda faktor významně přispívá k vysvětlení variance ve zkoumaném rozměru, čím jsou její hodnoty vyšší, tím větší je vliv faktoru; p-hodnota udává, zda faktor je statisticky významný

Následné zpracování a vizualizace výsledků probíhaly v programu Excel. Za předpokladu signifikantního vlivu jednoho z faktorů nebo jejich interakce na konkrétní dimenzi byly vytvořeny grafy, které umožňují detailnější sledování vztahu mezi nimi.

## 7 Výsledky

Pro lepší přehled a orientaci v textu byla kapitola výsledků rozdělena na dvě části. Nejprve budou vyhodnoceny výsledky z geometricko-morfometrických analýz, které představují barevné povrchové mapy. Ve druhé části budou vyhodnoceny výstupy z analýz klasické morfometrie a posuzované vlivy zkoumaných faktorů na obličejové rozměry. Obě části jsou rozděleny do několika podkapitol.

### 7.1 Výsledky analýz geometrické morfometrie obličeje

První podkapitola se věnuje hodnocení rozdílů formy obličeje v souvislosti s hmotností zvláště pro obě pohlaví. Jsou tady porovnávány průměrné obličeje chlapců a dívek v 10, 12 a 14 letech v normě a nadváze. Porovnává se nadváha vůči normě. Výsledky jsou představené v podobě super projekčních barevných map, které znázorňují rozdíly formy a tvaru obličeje.

Druhá podkapitola se zaměřuje na posuzování změn formy obličeje během longitudinálního vývoje chlapců a dívek, a to v normě a nadváze. Jedinci jsou porovnávány vůči sobě ve dvou věkových skupinách: 10–12 let a 12–14 let. Reprezentace výsledků je stejná jak v první podkapitole.

#### 7.1.1 Hodnocení rozdílů ve formě obličeje u jedinců s normální hmotností a s nadváhou

Tato podkapitola se zabývá hodnocením rozdílů formy obličeje zvláště u chlapců a dívek v normě a nadváze. Srovnávají se průměrné obličeje jedinců v 10, 12 a ve 14 letech. V každém případě se porovnává nadváha vůči normě. V této analýze se neberou do úvahy longitudinální změny obličeje a z toho důvodu dvanáctiletí jedinci z první a druhé věkové skupiny byli sloučeni dohromady.

Červená barva a její odstíny v tomto případě ukazují oblasti, které jsou víc posunuté dopředu (v protruzi) u jedinců v nadváze, kdyžto modrá a její odstíny naopak zohledňují oblasti posunuté dopředu u dětí s normální hmotností (neboli umístěné více vzadu u jedinců v nadváze – v retruzi). Zelená barva naznačuje místa, kde nejsou statisticky významné rozdíly mezi kategoriemi. Barevná škála je nastavena od -5 mm do 5 mm po 10 odstínech, z toho vyplývá, že jeden barevný odstín znázorňuje rozdíl o 1 mm.



### 7.1.1.1 Rozdíly ve formě obličeje s ohledem na BMIz u chlapců

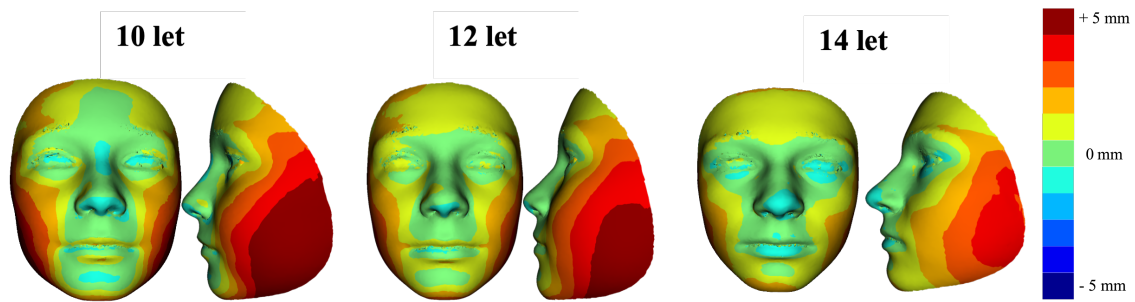
Na obrázku 7 jsou vizualizované rozdíly ve formě obličeje jedinců v nadváze oproti normě ve věku 10, 12 a 14 let. Lze pozorovat pozitivní rozdíly ve prospěch dětí v nadváze zejména v laterálních částech obličeje. Rozdíly ve prospěch dětí s normální hmotností jsou zřetelné hlavně v oblasti očí, nosu a rtů, ale nejsou zdaleka tak výrazné. Je vidět, že se zvyšujícím se věkem se rozdíly mezi oběma kategoriemi snižují.

V oblasti čela a nadočnicových oblouků nejsou v 10 letech zaznamenány skoro žádné rozdíly mezi oběma kategoriemi. Jsou vidět nepatrné rozdíly zejména v laterálních částech čela. S věkem celá čelní oblast vykazuje od 12 do 14 let nepatrné rozdíly (kolem 1 mm) ve prospěch dětí s nadváhou. Oční krajina se významně neliší.

V mediální oblasti střední třetiny obličeje nejsou zachyceny významné rozdíly. V těchto částech obličeje jsou místy v protruzi spíše u dětí s normální váhou, které mají ve věku 14 let v oblasti apexu nosu a rtů výraznější konvexitu obličeje. Výrazné rozdíly ve prospěch dětí s nadváhou jsou pozorovány zejména v laterálních oblastech tváří. S věkem však dochází ke snižování těchto rozdílů. Ve věku 10 a 12 let byly rozdíly místy nad 5 mm, zatímco ve věku 14 let dosahují hodnot od 2 do 4 mm.

Zelená barva v okolí kožních rtů naznačuje, že v dané oblasti skoro nejsou viditelné rozdíly mezi jedinci v nadváze oproti normě. V 10 letech se v oblasti dolního rtu jeví místa se žlutou barvou, zatímco ve 14 letech se v této oblasti ukazuje modrá barva. Lze posoudit, že s věkem u jedinců s normální váhou se dolní rty stávají mírně plnější.

V dolní třetině obličeje jsou zřetelné rozdíly zejména v laterální oblasti mandibuly. Podél spodního okraje dolní čelisti v rozmezí věku od 10 do 12 let dosahují rozdíly kolem 5 mm ve prospěch dětí s nadváhou. Ve věku 14 let se rozdíly snižují a hodnoty varíují mezi 2 až 4 mm. Přední část brady vyčnívá mírně dopředu u jedinců s normální hmotností ve věku 10 let, avšak v 12 a 14 letech to není pozorováno. Dolní oblast brady vykazuje se zvyšujícím se věkem zvyrazňující se rozdíly ve prospěch chlapců s nadváhou (v dolní části brady až o 2 mm).



Obr. 7 Barevné mapy vizualizující průměrné rozdíly ve formě obličeje mezi chlapci v kategorii nadváhy a s normální hmotností. Oblasti znázorněné škálou červených barev a odstínů ukazují rozdíly ve prospěch jedinců s nadváhou. Oblasti znázorněné škálou modrých barev a odstínů ukazují rozdíly ve prospěch jedinců s normální hmotností. Oblasti znázorněné zelenou barvou představují místa, kde mezi hmotnostními kategoriemi nejsou žádné rozdíly.

#### 7.1.1.2 Rozdíly ve formě obličeje s ohledem na BMIz u dívek

Na obrázku 8 lze sledovat průměrné rozdíly ve formě obličeje u dívek v kategorii nadváhy oproti kategorii normy ve věku 10, 12 a 14 let. Ve zkoumaných věkových obdobích jsou rozdíly patrné zejména v laterálních částech obličeje ve prospěch dětí s nadváhou. Také od 10 do 12 let se mírné rozdíly ukazují v oblasti nosu a pod očnicemi. Oblasti vykazující rozdíly ve prospěch dívek s normální hmotností se s postupujícím věkem mění. Ve věku 10 let jsou tyto rozdíly pozorované v oblasti čela, nad očnícovými oblouky a v dolní třetině obličeje, zatímco ve 12 a 14 letech tyto oblasti nevykazují téměř žádné významné rozdíly. Ve 14 letech mají jedinci s nadváhou klenutější oblast čela.

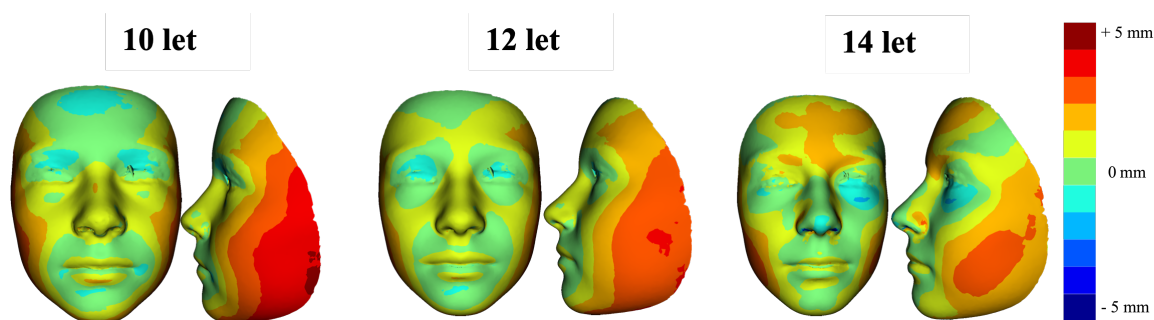
Rozdíly v horní třetině obličeje se mění s věkem vzhledem k hmotnostní kategorii jedinců. Ve věku 10 let téměř v celé oblasti čela zaznamenáváme zelenou barvu, což naznačuje, že v této oblasti nejsou registrovány žádné rozdíly. Avšak v horní části čela a v oblasti nadočnicových oblouků lze vidět nepatrnou protruzi ve prospěch jedinců s normální hmotností. Mezi 12. a 14. rokem dochází ke zvýraznění rozdílu o 1 až 2 mm především u jedinců s nadváhou. V důsledku toho ve 14 letech děti s nadváhou mají čelo více vystupující dopředu.

Střední třetina obličeje vykazuje markantní rozdíly mezi hmotnostními kategoriemi. Mezi 10. a 12. rokem jedinci s nadváhou vykazují příznaky mírné protruze (přibližně o 1 mm) v mediální části, zejména v celé oblasti nosu. Avšak ve věku 14 let tyto rozdíly nejsou patrné u kořene a hřbetu nosu, přičemž apex nosu u jedinců s nadváhou naopak v průměru mírně zapadá. Výrazné rozdíly v laterálních částech tváře jsou zaznamenány především v 10 letech.

Rozdíly v těchto oblastech dosahují od 2 mm až místy kolem 5 mm ve prospěch jedinců s nadváhou. Ve věku 12 a 14 let však hodnoty rozdílů činí jen 2-3 mm.

V oblasti kožních rtů nejsou rozdíly zachyceny, avšak samotná červeň rtů je plnější v nadváze oproti normě nejčastěji o 1 mm.

V dolní třetině obličeje jsou nejčastěji pozorovány rozdíly kolem 1 mm v dolní části brady, zatímco v přední části brady patrné rozdíly nebyly odhaleny. Hodnoty rozdílů v laterálních oblastech mandibuly se mění s věkem. U desetiletých jedinců mohou hodnoty rozdílů podél spodního okraje dolní čelisti dosahovat 2 až 4 mm, zatímco u dvanácti a čtrnáctiletých častěji dosahují hodnot 1-2 mm.



Obr. 8 Barevné mapy vizualizující průměrné rozdíly ve formě obličeje mezi dívkami v kategorii nadváhy a s normální hmotností. Oblasti znázorněné škálou červených barev a odstínů ukazují rozdíly ve prospěch jedinců s nadváhou. Oblasti znázorněné škálou modrých barev a odstínů ukazují rozdíly ve prospěch jedinců s normální hmotností. Oblasti znázorněné zelenou barvou představují místa, kde mezi hmotnostními kategoriemi nejsou žádné rozdíly.

### 7.1.1.3 Srovnání rozdílů ve formě obličeje u chlapců a dívek s ohledem na BMIz

Barevné mapy vytvořené pro hodnocení rozdílů mezi hmotnostními kategoriemi u chlapců (obr. 7) a dívek (obr. 8) naznačují, že vliv BMI na morfologie obličeje se v určitých aspektech u obou pohlaví podobá, avšak zároveň se i liší.

V oblasti čela lze u obou pohlaví pozorovat podobné rozdíly mezi hmotnostními kategoriemi. S postupujícím věkem se v této oblasti stávají zřetelnější rozdíly ve prospěch jedinců s nadváhou. Ve věku 14 let mají jedinci v kategorii nadváhy klenutější čelo u obou pohlaví. U chlapců však jsou hodnoty rozdílů většinou 1 mm, zatímco u dívek kolem 1 až 2 mm.

Ve střední třetině obličeje jsou zaznamenány největší rozdíly v laterální oblasti tváří u obou pohlaví, avšak u chlapců jsou výraznější. V této oblasti dosahují hodnoty rozdílů u

chlapců místy 5 mm, zatímco u dívek se nejčastěji pohybují mezi 3-4 mm. Obličej jedinců s nadváhou se vyznačují oblejšími tvary. Ve věku 10 a 12 let se v mediální části vyskytují odlišnosti mezi pohlavími. Pro chlapce platí, že profil obličeje v tomto věku je konvexnější u jedinců s normální hmotností, zatímco u dívek je tato oblast v protruzi u jedinců s nadváhou. Ve 14 letech jak u dívek, tak i u chlapců, jsou v této části projevené rozdíly spíše ve prospěch jedinců s normální hmotností.

V oblasti kožních rtů u obou pohlaví nejsou většinou patrné výrazné rozdíly, ale dívky mají oproti chlapcům zřetelnější rozdíly v oblasti červeně rtů (kolem 1 mm).

V dolní třetině obličeje sledujeme podobné rozdíly u obou pohlaví. Jak u chlapců, tak u dívek v přední části brady nejsou detekovány zřetelné rozdíly mezi hmotnostními kategoriemi. V porovnání s dívkami se u chlapců projevují zřetelnější změny v dolním okraji brady a v laterální části dolní čelisti. Ve věku 10 a 12 let dosahují rozdíly ve spodní části dolní čelisti u chlapců hodnot od 2 do 5 mm, zatímco u dívek jsou rozdíly jen 2 až 4 mm. Ve 14 letech se zachovává stejný charakter v těchto oblastech, přičemž u chlapců přetrvávají zřetelnější rozdíly oproti dívkám.

## **7.1.2 Hodnocení růstu obličeje u jedinců s normální hmotností a s nadváhou**

Tato podkapitola byla věnována sledování růstových změn v rámci dvou semilongitudinálních souborů dívek a chlapců, tj. 10 až 12 let a 12 až 14 let. Byly hodnoceny růstové změny, ke kterým dochází u jedinců, kdy po dvou letech přetrvávají v kategorii nadváhy nebo v kategorii normy. Vizualizace je uskutečněna pomocí barevných map. Průměrný obličej ve starším věku bude srovnáván vůči průměrnému obličej v mladším věku. To znamená že změny, která se projeví na mapách, budou růstové a tvarové změny během dvou let. Meřítko pro formu bylo nastaveno od -5 mm do 5 mm, za využití 10 odstínů. Oblasti vyznačené spektrem červených barev budou vykazovat pozitivní růstové změny, kdežto spektrum modrých barev negativní tvarové změny. Oblasti, ve kterých nedocházelo k růstovým změnám, jsou vyznačené zelenou barvou.

### **7.1.2.1 Hodnocení růstu obličeje u chlapců s ohledem na BMIz ve věku 10-12 let**

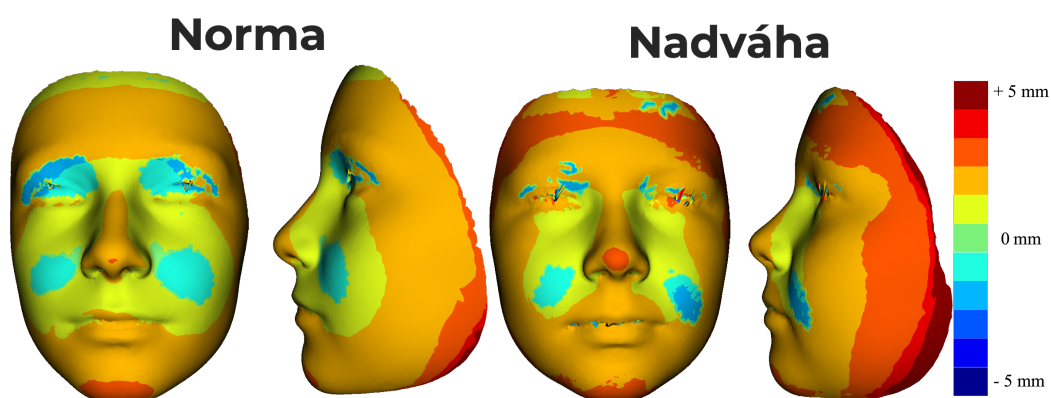
Obrázek 9 nám znázorňuje změny, které byly zachyceny během růstu u chlapců s normální váhou a u jedinců s nadváhou. V obou případech lze pozorovat celkové zvětšování

obličej s tím, že jedince s nadváhou zažívají markantnější změny v tomto období. V obou kategoriích k nejvýraznějšímu pozitivnímu růstu dochází po obvodu obličeje, kdyžto v mediální části jsou oblasti, které se poněkud prohlubují.

V horní třetině obličeje růstové změny související s věkem jsou zachyceny u obou kategorií. U jedinců v normě po celém povrchu čela nalézáme rozdíly o 2 mm. V případě kategorie nadváhy taky dochází k pozitivnímu růstu s tím, že větší rozdíly, což jsou o 3 mm, zaznamenáváme hlavně v laterálních částech, nadočnicové oblouky v kategorii normy vykazují spíš negativní růst (retruze), kdyžto v nadváze tato oblast je v protruzi.

Ve střední třetině obličeje výrazné pozitivní změny jsou sledované v laterálních částech u obou kategorií. V tomto období dochází k růstu tváře. U jedinců v nadváze tato oblast je o 1-2 mm víc prominující oproti jedincům v normě. V obou případech se v oblasti nad nasolabiální rýhou ukazuje negativní růst a tato oblast se prohlubuje o 1 mm. Jak v normě, tak i v nadváze dochází k aktivním změnám v oblasti nosu. Číselné hodnoty rozdílů kolísají kolem 2 mm s tím, že apex nosu jedinců v nadváze víc prominuje dopředu.

Ve sledované věkové skupině jsou patrné známky aktivního růstu v dolní třetině obličeje. Kromě toho jsou u jedinců s nadváhou pozorovány významné změny o 2 mm v oblasti rtů, se znatelnou prominencí *philtrum*, horního a dolní rtu. Naproti tomu u jedinců s normální hmotností jsou podobné rozdíly primárně pozorované v oblasti dolního rtu. V obou kategoriích jsou rozdíly v prominenci brady u starších jedinců oproti mladším stanoveny 2-3 mm.



Obr. 9 Růstové změny formy obličeje chlapců v kategorii normální hmotnosti a v kategorii nadváhy ve věku 10-12 let. Oblasti znázorněné škálou červených barev a odstínů ukazují místa pozitivních růstových změn, které jsou u jedinců ve 12 letech více vpředu (v protruzi) než u jedinců v 10 letech. Oblasti znázorněné škálou modrých barev a odstínů ukazují místa negativních růstových změn, které

jsou u jedinců ve 12 letech více vzadu (v retruzi) než u jedinců v 10 letech. Oblasti znázorněné zelenou barvou představují místa, kde nejsou zaznamenány žádné změny.

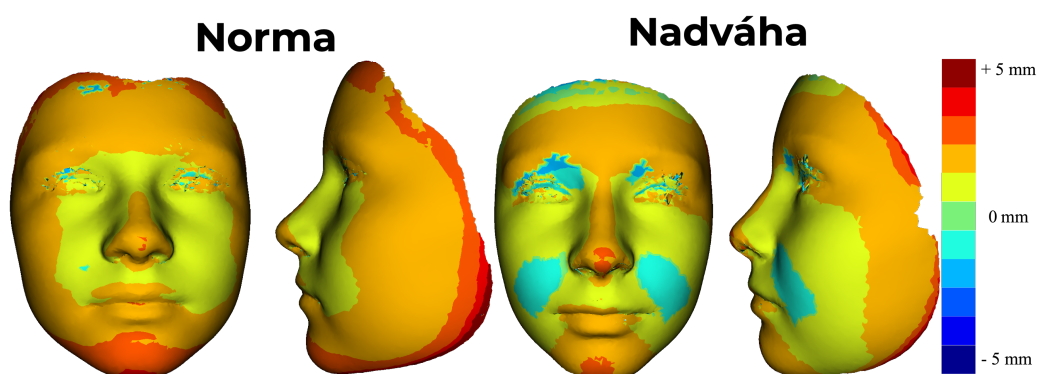
### 7.1.2.2 Hodnocení růstu obličeje u dívek s ohledem na BMIz ve věku 10-12 let

Na obrázku 10 jsou vizualizované růstové změny u dívek s normální hmotností a s nadváhou, ke kterým dochází ve věku 10-12 let.

V oblasti čela se obě sledované skupiny částečně liší, větší růst probíhá v průměru u dívek s normální hmotností (2-3 mm). U dívek s nadváhou jsou naznačené podobné změny ve střední oblasti čela, horní a dolní části čela naznačuje spíše negativní tvarové změny.

Střední třetina obličeje také vykazuje výraznější růst u jedinců v normě. Celá oblast tváří se zde zvětší o 2 mm, prominence nosu se zvětšuje, laterální oblast tváří se místy zvětšuje až přes 3 mm. U kategorie nadváhy dokonce dochází i k negativním tvarovým změnám nad nasolabiální rýhou, oblast tváří se zde jakoby redukuje (o 1 mm), v laterální oblasti se tváře zvětšují nejčastěji o 2 mm. Oblast nosu se vyvíjí stejně jako u dětí s normální váhou.

V obou sledovaných BMIz kategoriích dolní třetina obličeje vykazuje růstové změny, které jsou podstatně výraznější u dívek s normální hmotností. V kategorii normy dochází k prominenci horního a dolního rtu s věkem o 2 mm. Podobné růstové změny nalezneme i v nadváze, avšak pouze v oblasti dolního rtu. Oblast brady roste v obou kategoriích o 2–3 mm. Je jednoznačné, že oblasti vyznačující se rozdílem kolem 3 mm jsou u dětí v normě rozsáhlejší. Lze shrnout, že dívky v kategorii normy od 10 do 12 let zažívají aktivnější období růstu oproti kategorii nadváhy. U obou kategorií dochází k většímu růstu v laterálních částech.



Obr. 10 Růstové změny formy obličeje dívek v kategorii normální hmotnosti a v kategorii nadváhy ve věku 10-12 let. Oblasti znázorněné škálou červených barev a odstínů ukazují místa pozitivních

růstových změn, které jsou u jedinců ve 12 letech více vpředu (v protruzi) než u jedinců v 10 letech. Oblasti znázorněné škálou modrých barev a odstínů ukazují místa negativních růstových změn, které jsou u jedinců ve 12 letech více vzadu (v retruzi) než u jedinců v 10 letech. Oblasti znázorněné zelenou barvou představují místa, kde nejsou zaznamenány žádné změny.

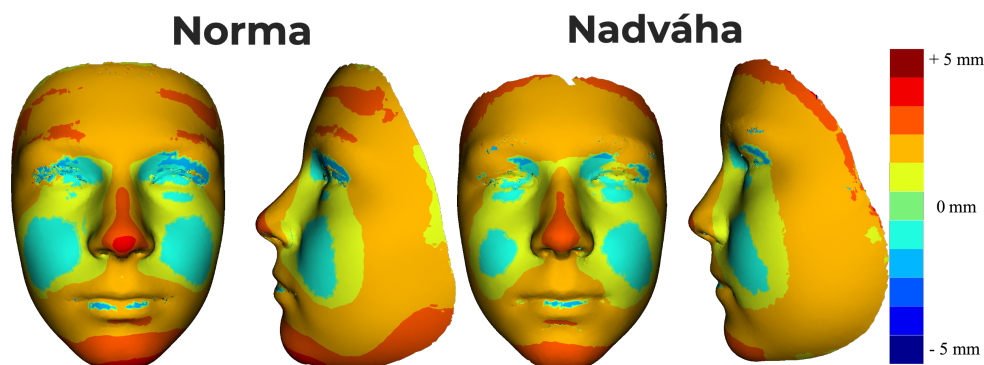
### 7.1.2.3 Hodnocení růstu obličeje u chlapců s ohledem na BMIz ve věku 12-14 let

V této podkapitole jsou popsány změny u starší věkové skupiny v rámci longitudinálního sledování od 12 do 14 let. Na obrázku 11 jsou zohledněny růstové změny, probíhající u chlapců ve věku od 12 do 14 let. Podle hmotnostních kategorií se vlevo nacházejí jedinci v normě a vpravo v nadváze. Výsledky nám naznačují, že v případě chlapců jsou si růstové změny obou kategorií velmi podobné, skoro shodné.

Výrazné změny jsou pozorovány v čelní krajině, kde mezi starším a mladším věkem jsou rozdíly o 2 mm. V některých oblastech se v obou kategoriích vyskytují rozdíly o 3 mm. Nadočnicové oblouky vykazují pozitivní růst a objevují se tam rozdíly o 2-3 mm. Zároveň dochází k negativnímu růstu v oblasti očnic, což naznačuje hlubší posazení očí.

Ve střední třetině obličeje dochází k protruzi laterálních a retruzi mediálních oblastí, kromě nosu. Tváře se mění u obou kategorií o 2 mm. Patrné pozitivní rozdíly jsou v oblasti nosu, kde rozdíly stanoví 2-3 mm, na špičce nosu 4 mm. Dochází k negativnímu růstu mediální části tváře o 1 mm, a to v obou kategoriích. Subnazální oblast a rty se posunují směrem dopředu o 2 mm.

Zaevidovaný růst v bradové krajině je podobný u obou hmotnostních kategorií. Brada se po dvou letech posune směrem dopředu o 2-3 mm.



Obr. 11 Růstové změny formy obličeje chlapců v kategorii normální hmotnosti a v kategorii nadváhy ve věku 12-14 let. Oblasti znázorněné škálou červených barev a odstínů ukazují místa pozitivních růstových změn, které jsou u jedinců ve 14 letech více vpředu (v protruzi) než u jedinců

ve 12 letech. Oblasti znázorněné škálou modrých barev a odstínů ukazují místa negativních růstových změn, které jsou u jedinců ve 14 letech více vzadu (v retruzi) než u jedinců ve 12 letech. Oblasti znázorněné zelenou barvou představují místa, kde nejsou zaznamenány žádné změny.

#### **7.1.2.4 Hodnocení růstu obličeje u dívek s ohledem na BMIz ve věku 12-14 let**

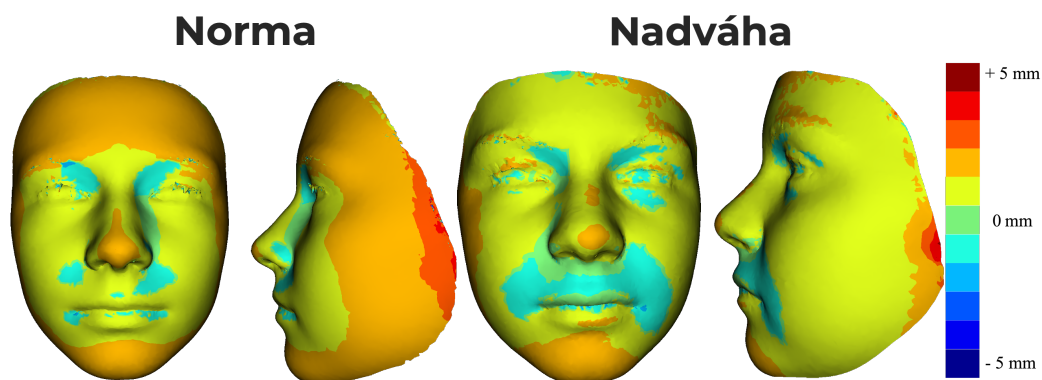
Na obrázku 12 vlevo je barevná mapa znázorňující změny, ke kterým dochází ve vybraném věkovém intervalu u dívek s normální hmotností. Vpravo jsou vizualizované změny pozorované u dívek v nadváze. Lze posoudit, že dívky v nadváze už nepostupují tak výrazným růstovým změnám.

V horní třetině obličeje jsou zřetelné odlišnosti mezi hmotnostními kategoriemi. U dívek v kategorii normy během dvou let dojde k pozitivnímu růstu v celé oblasti čelní krajiny o 2 mm. Nadočnicové oblouky v laterálních částech prokazují pozitivní růstové trendy, kdyžto v mediálních částech spíše dochází k negativnímu růstu a oblast se prohlubuje o 1 mm. V případě dívek, přetrvávajících v kategorii nadváhy, dochází ke změně o 1 mm v oblasti čelní krajiny. Podobně se prohlubuje mediální část nadočnice.

Ve střední třetině obličeje, zejména v oblasti tváří, lze popsát rozdíly od 2 až 3 mm u jedinců v kategorii normy. Na rozdíl od nich u kategorie nadváhy dochází k průměrnému růstu této oblasti o 1 mm. Přetrvávají i růstové změny na nose, zejména v oblasti špičky nosu. U jedinců s nadváhou pozorujeme v subnazální oblasti a kolem nasolabiální rýhy negativní růstové trendy, kdy dochází k prohlubování těchto oblastí s věkem o 1 mm. V případě kategorie normy jsou vyznačeny minoritní negativní změny nad nasolabiální rýhou. V oblasti rtů u obou kategorií lze vidět rozdíly o 1 mm.

Pozitivní růstové změny formy obličeje jsou stále sledovány v dolní třetině obličeje u obou kategorií. Dochází k protruzi (vysunutí dopředu) bradové krajiny o 2 mm.





Obr. 12 Růstové změny formy obličeje dívek v kategorii normální hmotnosti a v kategorii nadváhy ve věku 12-14 let. Oblasti znázorněné škálou červených barev a odstínů ukazují místa pozitivních růstových změn, které jsou u jedinců ve 14 letech více vpředu (v protruzi) než u jedinců ve 12 letech. Oblasti znázorněné škálou modrých barev a odstínů ukazují místa negativních růstových změn, které jsou u jedinců ve 14 letech více vzadu (v retruzi) než u jedinců ve 12 letech. Oblasti znázorněné zelenou barvou představují místa, kde nejsou zaznamenány žádné změny.

## 7.2 Výsledky klasické morfometrie obličeje

V rámci analýz klasické morfometrie bylo sledováno, zda mají námi vytipované faktory signifikantní vliv na vývoj obličeje ve dvou dílčích sledovaných obdobích, a to v rozmezí 10-12 a v rozmezí 12-14 let. Mezi vytipované faktory byl zařazen věk, pohlaví jedince, výška postavy a BMIz (kategorie normální hmotnosti a kategorie nadváhy) a zároveň interakce mezi nimi. Pro každý ze čtrnácti naměřených rozměrů byl proto sestaven vlastní smíšený lineární model (LMM) v programu Jamovi. Podrobný popis metody je zohledněn v kapitole 6.2.2. Pro každý model (tedy i rozměr) byl sledován vliv výše zmíněných faktorů a jejich interakcí. Výsledkem pro každý model byla tabulka zohledňující p-hodnoty pro jednotlivé faktory, hladina významnosti byla nastavena na 5 %. Následně byla data exportována do souhrnných tabulek v Excelu pro obě dílčí sledovaná období. V případě, že některý z faktorů nebo jejich vzájemné působení se jeví jako statisticky významné u zkoumaného rozměru, byly pro pochopení závislosti mezi nimi vytvořeny grafy. Grafy byly sestaveny v programu Excel, aby ilustrovaly vliv faktorů na změny u příslušného rozměru. Pro přehlednost byly následující kapitoly rozděleny podle dvou věkových skupin, a to 10 až 12 a 12 až 14 let. V rámci každé skupiny byly podkapitoly věnované pouze těm faktorům, které měly na zkoumané rozměry signifikantní vliv.

## 7.2.1 Sledování vlivu vytipovaných faktorů na vývoj obličeje ve věku 10 až 12 let

Vliv vytipovaných faktorů na každý z rozměrů byl hodnocen pomocí p-hodnot. Následně z nich byla vytvořena souhrnná tabulka, která je uvedena níže. Jednotlivé rozměry, jejichž podrobný popis byl představen v kapitole 5, jsou uvedeny v horním řádku. V levém sloupci jsou vyjmenované jednotlivé faktory a zároveň i jejich interakce. Vytipovaných faktorů je celkem 10, přičemž hlavními jsou pohlaví, hmotnost (Kat BMIz), věk a výška postavy. Naším dalším cílem bylo odhalit, zda kombinace dvou faktorů měla větší vliv na rozměry ve srovnání s jednotlivými faktory. Za tímto účelem byly do LMM modelu zahrnuty interakce druhého řádu pro každý faktor.

Tabulka 7 ukazuje výsledky vlivu vytipovaných faktorů na obličejové rozměry, vyjádřené p-hodnotami. Statisticky významné hodnoty jsou zvýrazněny červenou barvou, přičemž hladina významnosti byla stanovena na 0,05. Z tabulky je zřejmé, že ve většině případů převážná část faktorů nemá na zkoumané rozměry žádný vliv. Následující podkapitoly práce se zaměří pouze na ty faktory a kombinace faktorů, které významně ovlivňují alespoň jednu z obličejových dimenzí.

Tab. 7 Výsledky analýzy LMM pro mladší věkovou skupinu 10 až 12 let

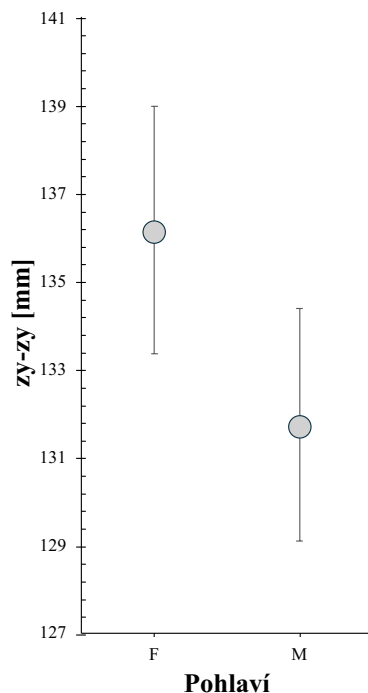
| Faktory \ Rozměry  | ExR - EnR      | ExL - EnL      | N - Prn            | N - Gn             | ChR - ChL     | ZyR - ZyL          | AIR - AIL          | Sn - Ls       | CphR - CphL    | Ls - Li | ExR - ExL          | EnR - EnL     | N - Sn             | Sn - Gn |
|--------------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------|---------------|----------------|---------|--------------------|---------------|--------------------|---------|
| Pohlaví            | 0.898          | 0.365          | 0.654              | 0.513              | 0.211         | <b>0.023*</b>      | 0.273              | 0.170         | 0.804          | 0.379   | 0.574              | 0.665         | 0.553              | 0.623   |
| Kat BMIz           | 0.251          | 0.229          | 0.381              | 0.138              | 0.440         | 0.374              | 0.155              | 0.317         | 0.358          | 0.224   | 0.154              | 0.440         | 0.183              | 0.229   |
| Věk                | <b>0.008**</b> | <b>0.003**</b> | <b>&lt;.001***</b> | <b>&lt;.001***</b> | <b>0.038*</b> | <b>&lt;.001***</b> | <b>&lt;.001***</b> | <b>0.050*</b> | <b>0.010**</b> | 0.300   | <b>&lt;.001***</b> | <b>0.013*</b> | <b>&lt;.001***</b> | 0.069   |
| Výška              | 0.348          | 0.219          | 0.298              | 0.694              | 0.655         | 0.487              | 0.417              | 0.341         | 0.317          | 0.819   | 0.640              | 0.757         | <b>0.042*</b>      | 0.612   |
| Pohlaví * Kat BMIz | 0.563          | 0.549          | 0.909              | 0.631              | 0.710         | 0.600              | 0.400              | 0.390         | 0.453          | 0.886   | 0.153              | 0.064         | 0.934              | 0.350   |
| Pohlaví * Věk      | 0.600          | 0.679          | 0.709              | 0.420              | 0.605         | 0.169              | 0.587              | 0.255         | 0.875          | 0.186   | 0.403              | 0.815         | 0.881              | 0.111   |
| Kat BMIz * Věk     | 0.820          | 0.265          | 0.857              | 0.917              | 0.348         | 0.106              | 0.191              | 0.673         | 0.118          | 0.670   | 0.609              | 0.601         | 0.155              | 0.950   |
| Pohlaví * Výška    | 0.749          | 0.526          | 0.961              | 0.449              | 0.855         | 0.215              | 0.926              | 0.308         | 0.991          | 0.107   | 0.471              | 0.609         | 0.745              | 0.213   |
| Kat BMIz * Výška   | 0.946          | 0.606          | 0.712              | 0.948              | 0.432         | 0.372              | 0.272              | 0.890         | 0.533          | 0.520   | 0.400              | 0.583         | 0.209              | 0.973   |
| Věk * Výška        | 0.555          | 0.151          | 0.256              | 0.722              | 0.836         | 0.217              | 0.665              | <b>0.032*</b> | 0.453          | 0.062   | 0.425              | 0.801         | 0.851              | 0.955   |

**Poznámka:** faktor Kat BMIz představuje dvě hmotnostní kategorie: normu a nadváhu, do kterých jedinci byli zařazeni na základě hodnot BMIz; faktor výška reprezentuje výšku postavy; statisticky významné hodnoty jsou zvýrazněny červenou barvou, hvězdičky (\*) označují úroveň statistické významnosti na základě p-hodnot: \* p <0,05, \*\* p <0,01, \*\*\* p <0,001.

### 7.2.1.1 Vliv pohlaví na rozměry obličeje

Vliv pohlaví na vývoj rozměrů obličeje uvádí tabulka 7. Pohlaví má signifikantní vliv pouze na rozměr, jako je šířka obličeje (zyR-zyL). Graf číslo 1 znázorňuje závislost daného rozměru

na faktoru pohlaví. Na ose y jsou uvedeny hodnoty rozměru v mm, zatímco osa x reprezentuje pohlaví. Z grafu 1 vyplývá, že průměrná hodnota rozměru byla pro dívky 136 mm, kdežto pro chlapce 131 mm. Dívky ve věku 10-12 let mají v průměru o 5 mm širší obličej než stejně staří chlapci.



Graf. 1 Vliv pohlaví na šířku obličeje (zyR-zyL). Šedé body označují průměrné hodnoty rozměru spolu s 95 % konfidenčními intervaly<sup>1</sup> odstupujícími jako sloupce od bodu

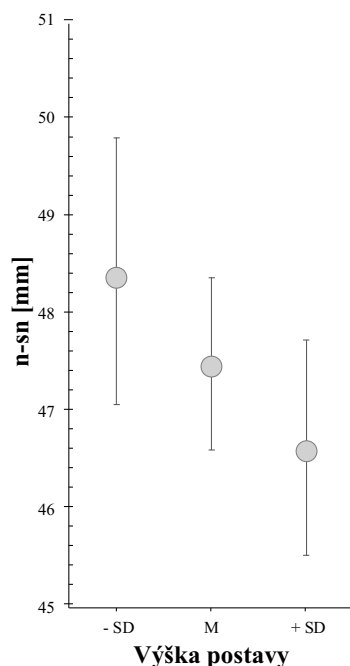
### 7.2.1.2 Vliv věku na rozměry obličeje

Vliv věku na vývoj rozměrů obličeje uvádí tabulka 7. U 12 ze 14 zkoumaných rozměrů byl prokázán signifikantní vliv věku. Je to logické, protože se jedná o sledování semilongitudinálního souboru (stejní jedinci ve věku 10 a 12 let). Nicméně u dvou rozměrů, které představují výšku rtů (ls-li) a výšku dolního obličeje (sn-gn), naše data neodhalila statisticky významnou závislost těchto rozměrů na věku jedinců.

<sup>1</sup> Konfidenční intervaly, též nazývané intervaly spolehlivosti, udávají rozsah, do kterého průměrná hodnota nebo odhad parametru s určitou mírou spolehlivosti spadá (Altman, 2005). V našem případě byla zvolena 95% úroveň spolehlivosti.

### 7.2.1.3 Vliv výšky postavy na rozměry obličeje

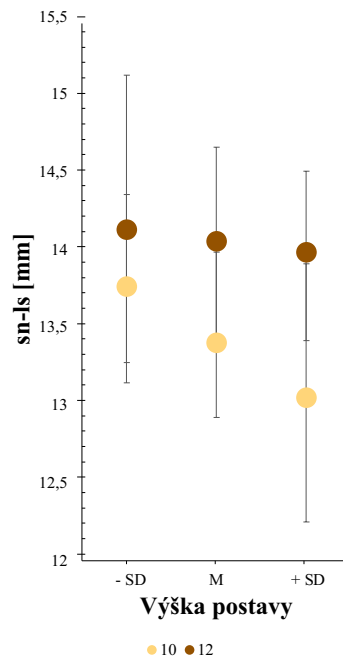
V případě faktoru tělesná výška byla nalezena souvislost s rozměrem výšky nosu (n-sn), která se jeví jako signifikantní. Na grafu 2 byly zobrazeny hodnoty pro ilustraci závislosti dimenze na faktoru. Na ose y máme hodnoty výšky nosu v mm, na ose x je zobrazena výška postavy vyjádřená mediánem  $\pm 1$  SD, což představuje průměrnou výšku ve zkoumaném datovém souboru. Ve výsledku lze pozorovat nepřímou úměrnost: u jedinců s vyšší tělesnou výškou je menší rozměr výšky nosu.



Graf. 2 Závislost výšky nosu (n-sn) a výšky postavy. Šedé body označují průměrné hodnoty rozměru spolu s 95% konfidenčními intervaly odstupujícími jako sloupce od bodu

### 7.2.1.4 Vliv společného působení věku a výšky postavy na rozměry obličeje

Ze všech zkoumaných interakcí druhého řádu v nižší věkové skupině nejsou zaznamenány téměř žádné signifikantní vlivy na rozměry obličeje. Nicméně interakce věku a tělesné výšky se jeví signifikantní u rozměru, jako je výška *philtrum* (sn-ls). Na grafu 3 lze sledovat nepřímou úměrnou závislost. Na ose y máme hodnoty daného rozměru a na ose x je znázorněna výška postavy. Světle žluté tečky reprezentují 10leté jedince. U nich je vidět výrazný trend, kdy s rostoucí tělesnou výškou se výška *philtrum* naopak zmenšuje. Hnědé tečky představují jedince ve 12 letech. U nich lze také pozorovat podobný trend, ale jeví se s menší intenzitou.



Graf. 3 Závislost výšky *philtrum* (sn-ls) na interakci věku a výšky postavy. Světle žluté body označují průměrné hodnoty rozměru u jedinců ve věku 10 let, spolu s 95% konfidenčními intervaly odcházejícími jako sloupce od bodu. Hnědé body označují průměrné hodnoty rozměru u jedinců ve věku 12 let spolu s 95% konfidenčními intervaly odcházejícími jako sloupce od bodu

### 7.2.1.5 Ostatní faktory

V případě mladší věkové skupiny nebyl nalezen žádný signifikantní vliv hmotnosti, která je reprezentována faktorem kategorie (Kat BMIz) na žádný z rozměrů. V interakcích druhého řádu mezi jednotlivými faktory byla významná pouze interakce mezi věkem a výškou postavy.

## 7.2.2 Výsledky analýzy klasické morfometrie pro 12–14leté jedince

Data získaná u starší věkové skupiny, kde byli sledováni jedinci ve věku 12 a následně ve 14 letech, byla zpracována stejným postupem jako u mladší věkové skupiny. Pro každý z rozměrů byl sestaven LMM a vytvořena tabulka 8 zohledňující významnost vztahu mezi jednotlivými faktory a zkoumanými rozměry. Následující podkapitoly se zaměří na sledované faktory a jejich vzájemné interakce a zdůrazní případy, kdy byl identifikován významný vliv, podobně jako tomu bylo v předchozí části. Výsledky vzájemného vztahu mezi rozměrem a faktorem budou vizualizovány pomocí grafů.

Tab. 8 Výsledky analýzy LMM pro starší věkovou skupinu 12 až 14 let

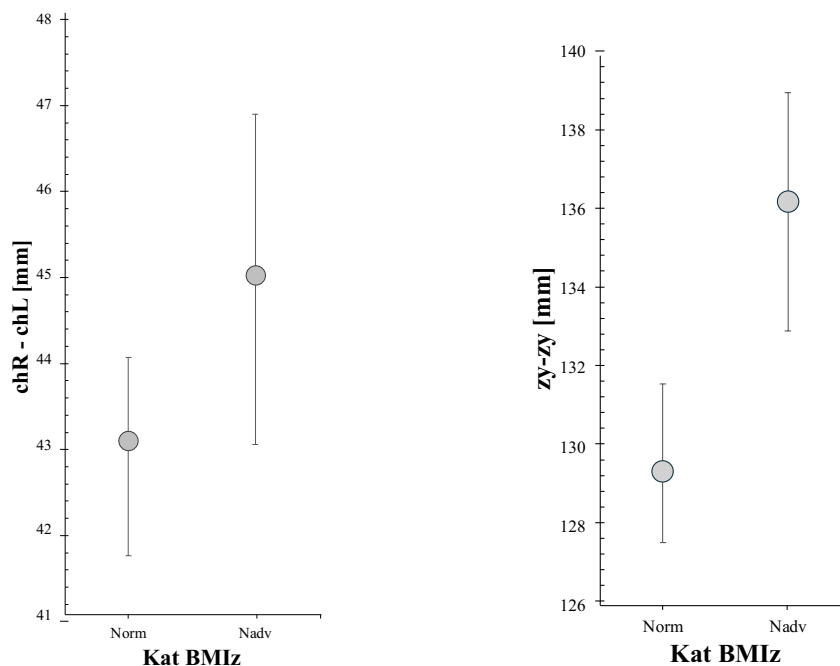
| Faktory \ Rozměry  | ExR - EnR       | ExL - EnL      | N - Prn            | N - Gn             | ChR - ChL      | ZyR - ZyL          | AIR - AIL     | Sn - Ls | CphR - CphL    | Ls - Li | ExR - ExL          | EnR - EnL      | N - Sn             | Sn - Gn       |
|--------------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|---------------|---------|----------------|---------|--------------------|----------------|--------------------|---------------|
| Pohlaví            | 0.954           | 0.341          | 0.311              | 0.716              | 0.568          | 0.121              | 0.569         | 0.403   | 0.550          | 0.898   | 0.485              | 0.301          | 0.452              | 0.894         |
| Kat BMIz           | 0.697           | 0.359          | 0.123              | 0.510              | <b>0.047*</b>  | <b>&lt;.001***</b> | 0.619         | 0.084   | 0.345          | 0.364   | 0.205              | 0.629          | 0.145              | 0.297         |
| Věk                | <b>0.002***</b> | <b>0.011*</b>  | <b>&lt;.001***</b> | <b>&lt;.001***</b> | <b>0.003**</b> | <b>0.002***</b>    | <b>0.013*</b> | 0.451   | <b>0.009**</b> | 0.355   | <b>&lt;.001***</b> | <b>0.006**</b> | <b>&lt;.001***</b> | 0.172         |
| Výška              | 0.235           | 0.882          | 0.957              | 0.596              | 0.387          | <b>0.035*</b>      | 0.571         | 0.732   | 0.881          | 0.831   | 0.093              | 0.461          | 0.897              | 0.280         |
| Pohlaví * Kat BMIz | 0.076           | 0.155          | 0.684              | 0.899              | 0.708          | 0.699              | 0.804         | 0.286   | 0.474          | 0.446   | 0.094              | 0.959          | 0.896              | 0.977         |
| Pohlaví * Věk      | 0.710           | <b>0.004**</b> | 0.948              | 0.186              | 0.750          | 0.250              | 0.970         | 0.748   | 0.686          | 0.210   | 0.214              | 0.228          | 0.697              | 0.408         |
| Kat BMIz * Věk     | 0.547           | 0.190          | 0.663              | 0.407              | 0.095          | 0.860              | 0.524         | 0.774   | 0.463          | 0.185   | 0.593              | 0.501          | 0.818              | 0.177         |
| Pohlaví * Výška    | 0.635           | 0.363          | 0.217              | 0.799              | 0.758          | 0.300              | 0.619         | 0.813   | 0.893          | 0.276   | 0.239              | 0.694          | 0.420              | 0.879         |
| Kat BMIz * Výška   | 0.457           | 0.439          | 0.826              | 0.555              | 0.307          | 0.581              | 0.878         | 0.825   | 0.276          | 0.249   | 0.751              | 0.367          | 0.710              | 0.095         |
| Věk * Výška        | 0.084           | 0.088          | 0.415              | 0.577              | 0.835          | 0.149              | 0.522         | 0.106   | 0.477          | 0.970   | 0.123              | 0.310          | 0.081              | <b>0.045*</b> |

**Poznámka:** faktor Kat BMIz představuje dvě hmotnostní kategorie: normu a nadváhu, do kterých jedinci byli zařazeni na základě hodnot BMIz; faktor výška reprezentuje výšku postavy; statisticky významné hodnoty jsou zvýrazněny červenou barvou, hvězdičky (\*) označují úroveň statistické významnosti na základě p-hodnot: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ .

### 7.2.2.1 Vliv standardizovaného BMI (BMIz) na rozměry obličeje

Tento faktor byl vytvořen na základě hodnot BMIz. Podle kritérií popsaných v kapitole 5 byli jedinci rozděleni do dvou hmotnostních kategorií: normy a nadváhy. V případě starší věkové skupiny byl nalezen signifikantní vliv hodnot standardizovaného BMI na rozměry, jako je šířka rtu (chR-chL) a šířka obličeje (zyR-zyL).

U šířky rtu (chR-chL) lze vidět, že hodnoty se blíží hranicím, ale vliv je stále významný. Na grafu 4 vlevo je zobrazena závislost daného rozměru na faktoru. Na ose y jsou hodnoty šířky rtu, zatímco na ose x jsou jednotlivé kategorie. Dá se udělat závěr, že jedinci s normální hmotností mají průměrně menší šířku rtu, která činí průměrně 43 mm. U jedinců v kategorii nadváhy jsou hodnoty v průměru 45 mm, což naznačuje, že mají tendenci mít o 2 mm širší rty.



Graf. 4 Vliv BMIz na šířku rtu (chR-chL) (vlevo) a šířku obličeje (zyR-zyL) (vpravo). Šedé body označují průměrné hodnoty rozměru spolu s 95% konfidenčními intervaly odstupujícími jako sloupce od bodu

Podobná závislost se objevuje i u rozměru šířky obličeje (zyR-zyL). Na grafu 4 vpravo lze vidět, že jedinci s vyšší hmotností mají širší obličeje přibližně o 7 mm. Průměrné hodnoty pro tento rozměr jsou 129 mm u jedinců s normální hmotností, zatímco u jedinců s nadváhou jsou 136 mm. Lze shrnout, že vyšší hmotnost naznačuje u jedinců větší dimenze pro šířkové rozměry obličeje.

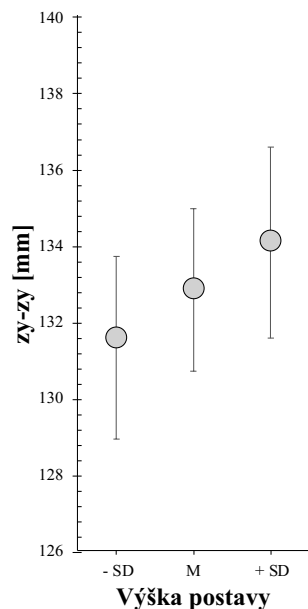
### 7.2.2.2 Vliv věku na rozměry obličeje

Věkový interval mezi 12 až 14 lety se považuje za aktivní růstové období. V našem datasetu došlo k významnému vlivu věku na všechny rozměry s výjimkou tří. Podobně jako v mladší věkové skupině nebyl zaznamenán vliv věku na výšku rtu (ls-li) a výšku dolního obličeje (sn-gn), stejně tak se věk jeví nevýznamný u výšky *philtrum* (sn-ls).

### 7.2.2.3 Vliv výšky postavy na rozměry obličeje

Ve starší věkové skupině byl identifikován signifikantní vliv výšky postavy na jeden z rozměrů, konkrétně na šířku obličeje (zyR-zyL), kde se projevuje přímý vztah. Na grafu 5

na ose y lze vidět hodnoty daného rozměru, zatímco na ose x je výška postavy vyjádřena jako průměr sledovaného souboru a  $\pm 1$  směrodatná odchylka (SD). Jedinci s nižší tělesnou výškou mají užší obličej, zatímco vyšší jedinci naopak mají obličej širší. Z grafu plyne, že průměrný rozdíl v šířce obličeje mezi nižšími a vyššími jedinci činí 3 mm.

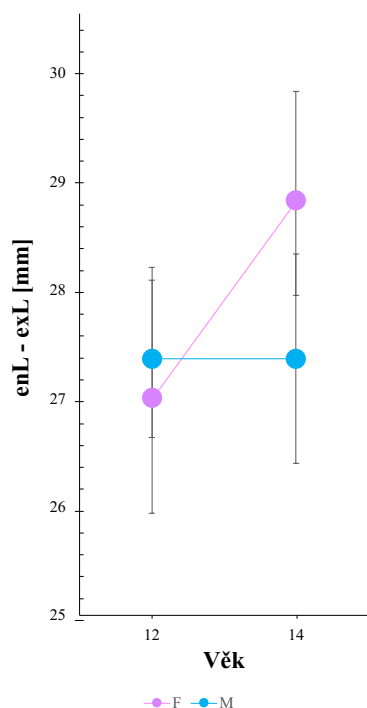


Graf. 5 Vliv výšky postavy na šířku obličeje (zyR-zyL). Šedé body označují průměrné hodnoty rozměru spolu s 95% konfidenčními intervaly odstupujícími jako sloupce od bodu

#### 7.2.2.4 Vliv společného působení pohlaví a věku na rozměry obličeje

Z hlediska jednotlivých interakcí mezi faktory byl nalezen vliv současného věku a pohlaví na transversální rozměr levé očníce (exL-enL). Pro vizualizaci závislosti byl sestaven graf 6, který lze vidět níže. Na ose y jsou zobrazeny hodnoty sledovaného rozměru a na ose x je věk. Jednotlivé markery představují pohlaví, kde růžová barva naznačuje změny rozměru u dívek a modrá u chlapců. Ve sledovaném datasetu u chlapců zůstává transversální rozměr levé očníce průměrně stejný jak ve 12, tak ve 14 letech. U dívek však dochází během dvou let průměrně k nárůstu o 1,8 mm.

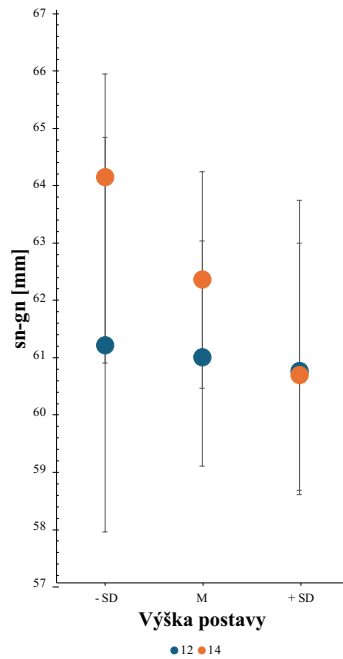




Graf. 6 Závislost mezi transversálním rozměrem očnice (exL-enL) a interakcí věku a pohlaví. Růžové body označují průměrné hodnoty rozměru u dívek, zatímco modré body u chlapců spolu s 95% konfidenčními intervaly odstupujícími jako sloupce od bodu

### 7.2.2.5 Vliv společného působení věku a výšky postavy na rozměry obličeje

Posledním významným faktorem ovlivňujícím výšku dolního obličeje (sn-gn) je interakce mezi věkem a tělesnou výškou. V tomto případě lze hovořit o nepřímém vztahu mezi sledovanými proměnnými. Na ose y je znázorněn rozměr a na ose x je tělesná výška. Markery označené modrou barvou nám naznačují, že se jedná o mladší jedince, zatímco markery oranžové barvy se týkají starších jedinců. Z grafu 7 plyne, že jedinci, kteří mají nižší výšku postavy, mají naopak delší výšku dolního obličeje. A naopak jedinci s vyšší výškou postavy mají tendenci mít nižší výšku dolního obličeje. Zřetelný je podobný trend jak v mladším, tak i ve starším věku s tím, že u jedinců ve 14 letech je vliv výšky postavy výraznější než u 12letých.



Graf. 7 Závislost výšky dolního obličeje (sn-gn) na interakci výšky postavy a věku. Modré body označují průměrné hodnoty rozměru u jedinců ve věku 12 let spolu s 95% konfidenčními intervaly odcházejícími jako sloupce od bodu. Oranžové body označují průměrné hodnoty rozměru u jedinců ve věku 14 let spolu s 95% konfidenčními intervaly odcházejícími jako sloupce od bodu

## 8 Diskuse

V laboratoři 3D zobrazovacích metod Katedry antropologie a genetiky člověka už mnoho let probíhá výzkum zaměřený na studium morfologie lidského obličeje. Předchozí studie se zaměřovaly na změny morfologie v souvislosti s růstem (Kočandrllová *et al.*, 2021; Koudelová *et al.*, 2019), stárnutím (Mydlová *et al.*, 2015; Velemínská *et al.*, 2021, 2022), pohlavním dimorfismem obličeje a jeho projevy (Bejdová *et al.*, 2018; Koudelová, Brůžek, *et al.*, 2015) a asymetrií obličeje (Harnádková *et al.*, 2023, 2024). Databáze laboratoře obsahuje tisíce skenů lidských obličejů v různém věku a umožňuje provádět různé typy studií. Kromě 3D faciálních modelů byly během vytváření databáze sbírány údaje i o základních tělesných parametrech jedinců, jako jsou výška postavy a hmotnost.

Předložená diplomová práce vycházela ze zájmu o studium morfologie obličeje ve vztahu k tělesným parametrům jedince. Hlavními cíli práce bylo posoudit rozdíly v morfologii jedinců s různou hmotností a také se podívat na vliv hmotnosti a výšky postavy na obličejové dimenze. Za těmito účely byly v práci použity dva přístupy. Prvním přístupem byly metody geometrické morfometrie. Byly sledovány jak rozdíly, tak i změny, ke kterým dochází během růstu ve formě obličeje u dětí s normální hmotností oproti nadváze. Za druhé pomocí klasické morfometrie byly odhadovány vztahy mezi výškou postavy či hmotností jedince a vybranými obličejovými parametry. Prací zabývajících se podobnou problematikou není mnoho (Baume *et al.*, 1983; Danze *et al.*, 2021; V. Ferrario *et al.*, 2004; Franchi *et al.*, 2000b; Hunter, 1966; Jandová & Urbanová, 2016; Kamínková *et al.*, 2022; Mayer *et al.*, 2017). V souvislosti s výškou postavy Baume *et al.* (1983) naznačili, že její změna souvisí s vertikálním růstem obličeje, zatímco výsledky Franchi *et al.* (2000b) ukázaly, že ve stejném časovém období dochází zároveň k největšímu nárůstu tělesné výšky a největšímu nárůstu délky dolní čelisti. Výsledky Danze *et al.* (2021); Ferrario *et al.* (2004); Jandové & Urbanové, (2016); Kamínkové *et al.* (2022); Mayera *et al.* (2017) se shodují v tom, že jedinci s nadváhou mají tendenci mít větší šířkové rozměry a oblejší rysy obličeje. Podle Jandové & Urbanové (2016) tělesné parametry více ovlivňují tvar obličeje, kdežto výsledky Kamínkové *et al.* (2022) prokazují spíše vliv na velikost obličeje než na tvar.

Morfologii lidského obličeje lze studovat jak longitudinálním, tak i transversálním přístupem (Kim, 2019; Zheng *et al.*, 2024). V každém případě oba přístupy mají své výhody i nevýhody a je potřeba zvolit ten, který bude nejvíce účelný pro zkoumanou problematiku. Velkou výhodou longitudinálních dat je, že umožňují zohlednit skutečné růstové změny a zároveň zohledňují interindividuální variabilitu (Koudelová *et al.*, 2019; Wen *et al.*, 2017). Z

hlediska získávání takového typu dat je časově a finančně náročnější oproti transversálním datům.

V diplomové práci byly použity dva semilongitudinální soubory jedinců vybraných z databáze. Nejprve šlo o jeden longitudinální dataset, ale následně kvůli chybějícím skenům byly vybrány dva menší semilongitudinální soubory. Jedinci ve věku 10-12 let tvořili mladší věkovou skupinu, zatímco starší věkovou skupinu představovali jedinci ve věku 12-14 let. Celkově bylo pracováno se 115 jedinci, z nichž každý byl skenován dvakrát ve dvouletém intervalu. Dohromady soubor tvořilo 230 faciálních 3D modelů. Součástí mladší věkové skupiny bylo celkem 61 jedinců, z toho 30 dívek a 31 chlapců. Ve starší věkové skupině bylo zastoupeno celkem 54 jedinců, z nichž 27 byly dívky a 27 chlapci. Jedinci jak mladší, tak starší věkové skupiny byli následně rozděleni do dvou hmotnostních kategorií, a to normy a nadváhy, stanovených na základě hodnot BMI z-skóre (BMIz).

Při měření tělesných parametrů, jako jsou výška postavy a hmotnost, u nedospělých jedinců je potřeba brát v úvahu, že v určitých obdobích podstupují aktivním změnám souvisejícím s růstem. Z toho důvodu nelze při hodnocení zdravotního stavu dospívajících jedinců aplikovat standardy běžně používané pro dospělé populaci (Birch *et al.*, 2019). BMIz je vlastně upravený, nebo jinými slovy standardizovaný parametr, který vztahuje BMI k věku a pohlaví jedince a doporučuje se používat u nedospělých jedinců (Freedman *et al.*, 2022; Mishra, 2020).

## 8.1 Rozdíly ve formě obličeje ve vztahu k hmotnosti

Průměrný obličej jedinců s nadváhou byl porovnáván s průměrným obličejem jedinců z kategorie normální hmotnosti. Pomocí barevných map byly vizualizované výsledky, které ukázaly, že jedinci s nadváhou mají větší laterální oblasti tváří, víc prominující oblast brady, čímž jejich obličej se stává oválnějším, což jsou podobné charakteristiky, jako popisují Mayer *et al.* (2017); Vora *et al.* (2022); Windhager *et al.* (2013).

Pokud se týká rozdílů mezi pohlavími, u chlapců jsou tyto difference manifestované ve větší míře než u dívek. Výsledky Estler *et al.* (2023) naznačily, že vliv BMI na morfologii obličeje mezi pohlavími se výrazně neliší u dospělých jedinců, zatímco Karaman & Genc (2022) odhalili silnější vliv BMI na měkké tkáně obličeje u dívek.

Vzhledem k věku bylo zjištěno, že s narůstajícím věkem dochází k minimalizaci rozdílů mezi kategoriemi normální hmotnosti a nadváhy, což je v rozporu s výsledky studie (Danze *et*

*al.*, 2021; Estler *et al.*, 2023; Olszewska, 2017). Zároveň z výsledků vyplývá, že i když jsou rozdíly ve prospěch jedinců s nadváhou v 10 letech zřetelnější oproti 14letým, stále je možné pozorovat rozdíly ve starším věku v laterální oblasti tváří a podél spodního okraje dolní čelisti. Tento výsledek je částečně v souladu se závěry studie Vora *et al.* (2022), kde jedinci s nadváhou měli zvýšenou délku dolního okraje mandibuly.

## 8.2 Růstové změny morfologie obličeje ve vztahu k hmotnosti

V rámci longitudinálního růstu byly sledovány změny formy obličeje v souvislosti s hmotností jedinců ve dvou věkových skupinách. V mladší věkové skupině 10-12 let dívky s normální hmotností za dva roky prožívají výraznější změny než dívky s nadváhou. S věkem u jedinců v kategorii normy docházelo k rozšiřování obličeje a změny jsou kontinuálně patrné po celém obvodu obličeje. Tato zjištění jsou v souladu se studií Koudelové *et al.* (2019), kde bylo zjištěno, že k nejvýraznějším změnám u dívek dochází mezi 10. až 14. rokem života. Naopak u dívek v nadváze nenastávají tak výrazné změny.

Obličeje dívek s nadváhou ve věku 10 až 12 let se vyznačují klenutějším čelem, kulatějšími tvářemi a více vystupující bradou. Také dochází k prohlubování některých oblastí, jako je mediální část nadočnicového oblouku a oblast nasolabiální rýhy, což se liší od dívek s normální vahou, které v těchto oblastech vykazují minimální změny. Výsledky se částečně shodují se studií Greefa *et al.* (2009), kde zjistili, že BMI měl největší vliv na tloušťku měkkých tkání v oblasti tváří, nasolabiální rýhy a dolní třetiny obličeje. Tento výsledek by bylo možné vysvětlit tím, že u dívek v kategorii nadváhy dochází k urychlení růstu. Některé studie (Aksglaede *et al.*, 2009; He & Karlberg, 2001; Holmgren *et al.*, 2017; Tomova *et al.*, 2015) naznačují, že BMI má vliv na časování nástupu puberty jak u dívek, tak u chlapců. Chlapci v tomto případě vykazují opačnou tendenci.

Růstové změny, které lze nalézt u chlapců v normě, jsou v souladu s výsledky Koudelové *et al.* (2015); Koudelové *et al.* (2019). U nich dochází k rovnoměrnému růstu a zvětšování zejména laterálních oblastí obličeje o 2 mm. Tento výsledek je částečně v souladu i se studií Ainuz *et al.* (2021), kde byl naznačen růst špičky nosu, rtu, brady a čela. Dochází k výraznému růstu čelní oblasti, prominenci nosu, posunutí brady směrem dolů a zploštění oblasti tváře. U jedinců v nadváze je zaznamenán výraznější růst v oblasti tváří, laterální části čela a apexu nosu. Na rozdíl od výše zmíněných studií výsledky Elly *et al.* (2020) nenalezly vztah mezi BMI a urychlením růstu u chlapců.

Ve starší věkové kategorii, která zahrnuje jedince ve věku od 12 do 14 let, nejsou rozdíly mezi hmotnostními kategoriemi tak zřejmé. U dívek podobně jako v mladším věku jsou výraznější změny spojené s růstem zachyceny u jedinců s normální váhou. Trvá růst po celém obvodu obličeje a v oblasti nosu, dochází k retruzi v oblasti nasolabiální rýhy, což odpovídá změnám, které popisují Kau & Richmond (2008); Koudelová *et al.* (2015). Kategorie nadváhy naopak vykazuje už jen minimální známky růstových změn, což by mohlo naznačovat téměř dokončené období výrazných růstových změn souvisejících s pubertální akcelerací. Je důležité zmínit, že v případě starší věkové kategorie dívek v nadváze bylo zastoupeno pouze 5 jedinců. Malý počet jedinců nemusel úplně postihnout některé růstové změny, a tím ovlivnit výsledky. Výsledky z našich barevných map se shodují se studií Windhagera *et al.* (2013) v tom, že dívky v nadváze mají tendenci mít oblejší, širší obličej a relativně menší oči.

U chlapců ve věku od 12 do 14 let rozdíly v růstových změnách mezi kategoriemi skoro nejsou zřetelné. Jedinci jak v normě, tak i v nadváze podléhají růstovým změnám charakteristickým pro daný věk. V obou hmotnostních kategoriích dochází k růstu v oblasti čela, tváře, nosu, rtu a brady. Popsané změny vedou spíše k vertikálnímu růstu a celkovému prodlužování obličeje. Podobné trendy se ukazují i ve studiích Kau & Richmonda (2008); Koudelové *et al.* (2015). Výsledky obou analýz naznačují, že v mladším věku u chlapců má hmotnost výraznější vliv než ve starším věku a s rostoucím věkem klesá vliv hmotnosti.

V případě rozdílu mezi pohlavími u chlapců ve starší věkové skupině byly zaznamenány výraznější změny oproti dívkám, což je v souladu i s výsledky v dosud publikované literatuře (Ferrario *et al.*, 1999; Kau & Richmond, 2008; Koudelová *et al.*, 2015).

### **8.3 Vztah tělesných parametrů ke změnám obličejových rozměrů**

Vzhled lidského obličeje je výsledkem komplexních, neustále probíhajících změn, které jsou ovlivněny celou řadou vnitřních a vnějších faktorů. Sledování změn obličejových rozměrů a faktorů, které je ovlivňují, jsou důležité nejenom z estetického hlediska. Četné studie dospěly k závěru, že obličejové dimenze mohou také být indikátorem zdravotního stavu jedince. Například Hsieh *et al.* (2020) odhalili, že jedinci s juvenilní idiopatickou artritidou mají sníženou výšku dolní čelisti a prominující horní části tváře. Blanck-Lubarsch *et al.* (2020); Liu *et al.* (2021) registrovali u jedinců s fetálním alkoholovým syndromem nižší hodnoty rozměrů, jako je výška nosu, a naopak vyšší hodnoty výšky horního a dolního obličeje. Děti s poruchami dýchacího systému, jako astma nebo syndrom obstrukční spánkové

apnoe, měly oproti zdravým dětem zvýšenou výšku dolního obličej (Al Ali *et al.*, 2014; Sutherland *et al.*, 2020). Také dysmorfie v kraniofaciálních dimenzích jsou charakteristické pro některé syndromy, jako Downův syndrom (Allareddy *et al.*, 2016; Vicente *et al.*, 2020), Prader-Willi syndrom (Belengeanu *et al.*, 2012; Giuca *et al.*, 2016), Turnerův syndrom (Dumancic *et al.*, 2010) a jiné. Také pochopení vzájemných vztahů různých tělesných parametrů a obličejových rozměrů je užitečné i pro forenzní vědy, například při rekonstrukci podoby jedinců nebo identifikaci (Pascali *et al.*, 2016).

Zároveň s růstem obličej probíhá i růst postkraniálního skeletu, který se projevuje změnami tělesných parametrů, jako je výška postavy a hmotnost. Statistické údaje zpracované Světovou zdravotnickou organizací (WHO) udávají, že za posledních několik desítek let došlo k nárůstu prevalence obezity u dětí ve věku od 5 do 19 let. V roce 1990 bylo procento jedinců s obezitou stanoveno na 8 %, ale již v roce 2022 tato hodnota dosáhla 20 % (WHO, 2006). Také vyšší riziko výskytu obezity bylo pozorováno v souvislosti s některými genetickými poruchami, jako jsou Downův syndrom (Bertapelli *et al.*, 2016), Prader-Williho syndrom (Muscogiuri *et al.*, 2021) a Turnerův syndrom (Reinehr *et al.*, 2016). Řada studií potvrdila, že hmotnost ovlivňuje obličejové dimenze (Chen *et al.*, 2023; Danze *et al.*, 2021; Mayer *et al.*, 2017; Nádaždyová *et al.*, 2016). Jedinci s nadváhou mají větší kraniofaciální rozměry, jako například délka dolní čelisti, šířku obličej, šířku rtů a výšku dolního obličej.

Snadné hodnocení hmotnostního stavu je umožněno pomocí různých indexů, jako například BMI (Body Mass Index), BMI-for-age, WHR (poměr obvod pasu k obvodu boků), Roherův index a další (Mei *et al.*, 2002). Pro děti je důležité zohledňovat hodnoty BMI v závislosti na jejich věku, a proto se doporučuje pracovat s hodnotami BMI-for-age z-skóre. (Inokuchi *et al.*, 2011; Jaleel *et al.*, 2024; Mei *et al.*, 2002; Vignerová *et al.*, 2007). Mezi hlavní výhody této metody patří její nenáročnost, rychlost a široké využití. Na základě provedených výpočtů je jedinec zařazen do jedné z možných kategorií: podváha, normální hmotnost, nadváha, obezita.

Změny ve vybraných rozměrech obličej u dětí byly hodnoceny ve vztahu k věku, pohlaví, hmotnosti (vyjádřené pomocí hodnot BMIz) a tělesné výšce. Také byl hodnocen vliv kombinace dvou faktorů na příslušné rozměry.

Prvním zkoumaným faktorem byl věk, který signifikantně ovlivňoval změny téměř všech sledovaných rozměrů. U rozměrů jako je šířka rtů (chR-chL), výška dolního obličej (sn-gn) a výška *philtrum* (sn-ls) nebyl zjištěn signifikantní vliv věku. Tyto výsledky se částečně shodují se studii Skominy *et al.* (2020); Velemínské *et al.* (2022); Levartovského *et al.* (2020), kde

vliv věku nebyl statisticky významný u rozměru výšky dolního obličej. Vzor růstu dolní třetiny obličej se více podobá skeletálnímu typu a je odlišný od ostatních částí obličej (Šmahel, 2001). Lze předpokládat, že změny v tomto rozměru jsou závislé na řadě dalších faktorů, jako například neuromuskulární faktory, které ovlivňují polohu dolní čelisti, faktory prostředí, které interferují s dýchacími cestami, a také držení hlavy (Woodside & Linder-Aronson, 1979).

Signifikantní korelace mezi pohlavím a jednotlivými rozměry byla nalezena pouze u jednoho rozměru v mladší věkové skupině. Z výsledků vyplynulo, že hraje roli u rozměru šířky obličej (zyR-zyL). Na základě grafického zobrazení se zjistilo, že dívky mají v tomto rozměru oproti chlapcům průměrně o 5 mm větší hodnotu. Ve starší věkové skupině tento vztah nebyl signifikantní. Dané výsledky jsou podobné Nanda *et al.* (2012), kde v prepubertálním období dívky měly větší kraniofaciální rozměry, zatímco po období pubertálního růstu chlapci měli větší obličej ve všech dimenzích. Tento výsledek je však v rozporu s jinými studii, jejichž výsledky ukazují, že chlapci mají nezávisle na věku jak během dospívání (Taner *et al.*, 2019; Velemínská *et al.*, 2022), tak i v dospělosti (Bannister *et al.*, 2022) větší kraniofaciální rozměry než dívky. Sledovaný věkový interval zahrnutý v diplomové práci umožňuje zachycení pubertálních změn u dívek, u chlapců však pouze částečně. Nárůst obličejových rozměrů u dívek ve věku 10 až 12 let byl větší než nárůst mezi 12. a 14. rokem. Naopak u chlapců byl celkový růst obličejových rozměrů mezi 12. a 14. rokem výraznější než mezi 10. a 12. rokem (Yavuz *et al.*, 2004). Je známo, že obličej vykazují znaky pohlavního dimorfismu ještě v prepubertálním období (Matthews *et al.*, 2018; Wiesnerová, 2023), avšak po pubertě rozdíly mezi pohlavími se stávají výraznější (Kesterke *et al.*, 2016; Koudelová *et al.*, 2015).

Hmotnost reprezentovaná hodnotami BMIz neměla žádný vliv na obličejové rozměry u jedinců v nižším věku.

Ve starší skupině, ve věku 12-14 let, bylo zjištěno, že hmotnost koreluje se dvěma rozměry. Prvním z nich byla šířka rtů (chR-chL), kde jedinci v nadváze měli o 2 mm širší rty. Naše výsledky jsou v rozporu s publikovanými studii Chen *et al.* (2023); Ogodescu *et al.* (2021), kde BMIz nemělo vliv na šířku rtů.

Druhým rozměrem byla šířka obličej (zyR-zyL), kde rozdíl mezi kategoriemi normy a nadváhy dosahoval až 7 mm. U jedinců s nadváhou bylo zaznamenáno, že měli širší obličej ve srovnání s dětmi s normální hmotností. Tento výsledek je v souladu s výsledky Danze *et al.* (2021); Gordona *et al.* (2021); Skominy *et al.* (2020). Studie Piombino *et al.* (2023)



zaměřující se na vztah BMI a tloušťky měkkých tkání také ukázala, že BMI mělo značný vliv na tloušťku měkkých tkání v oblasti *zygionu* a *gonionu*. Gordon *et al.* (2021) zjistili, že BMI ovlivňuje velikost obličeje. V diplomové práci šlo o longitudinální sledování změn, což umožnilo zohlednit příslušnou interindividuální variabilitu, na rozdíl od ostatních studií. Také se jednalo o sledování změn obličejových parametrů v období pubertálního spurtu, kde růst je ovlivněn řadou dalších jak vnitřních, tak i vnějších faktorů.

Posledním z hlavních sledovaných faktorů byla výška postavy, kde se výsledky liší v obou věkových skupinách.

U jedinců ve věku od 10 do 12 let byl nalezen signifikantní vliv výšky postavy na výšku nosu (n-sn). Pro odhalení závislosti rozměru na faktoru byl sestaven graf, který znázornil nepřímou závislost, při které vyšší jedinci měli tendenci mít nižší hodnoty výšky nosu. Z hlediska dosud publikované literatury tento výsledek je v rozporu s výsledky shrnutými v Baume *et al.*, 1983; Cozza *et al.*, 2005; Skomina *et al.*, 2020. Studie Baume *et al.* (1983) zaznamenala, že vyšší jedinci měli tendenci naopak mít protáhlejší obličej, a to bylo pozorováno především u chlapců. Jandová & Urbanová (2016) naopak odhalily větší vliv tělesných parametrů, jako je výška postavy, na formu obličeje u dívek.

Ve starší věkové skupině byl odhalen přímý vztah mezi výškou postavy a šířkou obličeje (zyR-zyL). Vyšší jedinci měli relativně širší obličej, což je částečně ve shodě s výsledky Skominy *et al.*, (2020); Tinesheva (2010), kde bylo naznačeno, že vyšší jedinci mají širší obličejové dimenze. V ostatních studiích byl zjištěn vliv tělesné výšky spíše na vertikální rozměry obličeje (Baume *et al.*, 1983; Hunter, 1966).

V rámci interakcí mezi faktory a jejich společného vlivu na jednotlivé rozměry byly odhaleny tři významné interakce, přičemž ve všech třech případech figuroval faktor věku.

U mladší věkové skupiny byl zjištěn signifikantní vzájemný vliv výšky postavy a věku na rozměr, jako je výška *philtrum* (sn-ls). Po prozkoumání závislosti pomocí grafu bylo zjištěno, že jedinci s vyšší tělesnou výškou mají tendenci mít menší výšku *philtrum* (sn-ls), přičemž tato závislost je výraznější u jedinců ve věku 10 let než u 12letých. Dosud byl zaznamenán pouze vliv věku a pohlaví na změnu ve výše zmíněné dimenzi (Daenecke *et al.*, 2006; Sforza *et al.*, 2010), zatímco korelace s tělesnou výškou nebyla zaznamenána.

Ve starší věkové skupině byly zjištěny dvě signifikantní interakce: první mezi výškou postavy a věkem a druhá mezi pohlavím a věkem.

U rozměru, jako je výška dolního obličeje (sn-gn), byl stanoven významný vliv výšky postavy v interakci s věkem. Po vizualizaci byla nalezena závislost, kde vyšší jedinci měli

poměrně menší výšku dolního obličej. S větší intenzitou se tento vztah projevoval u jedinců ve věku 14 let. Výsledky studií Baume *et al.* (1983); Hunter (1966); Springate (2012); Verdonck *et al.* (1999) našly pozitivní vztah mezi růstem dolní čelisti a tělesnou výškou, přičemž jedinci s vyšší tělesnou výškou měli větší rozměry v dolní třetině obličej, což je v rozporu s našimi výsledky.

Pohlaví v kombinaci s věkem významně ovlivnilo transversální rozměr levé oční. Bylo zjištěno, že u dívek ve věkovém rozmezí 12 až 14 let dochází k růstu sledovaného rozměru, zatímco u chlapců zůstává tento rozměr téměř neměnný. Výsledky jsou v rozporu se studií Bentley *et al.* (2002); Ferrario *et al.* (2001); Sforza *et al.* (2009), kde naopak průměr levé oční se s věkem lineárně zvětšoval. U transversálního rozměru pravé oční signifikantní vliv pohlaví v kombinaci s věkem nebyl objeven, přesto byl sestaven graf, na kterém se ukázalo, že u chlapců a dívek dochází ke stejným růstovým změnám v tomto rozměru. Ve výsledku je u dívek ve věku 14 let transversální rozměr levé oční o 1,2 mm větší než pravé oční, zatímco u chlapců jsou rozměry téměř stejné. Tento výsledek je náznakem potenciální přítomnosti asymetrie v orbitální oblasti, která se jeví výrazněji u dívek (Sajid *et al.*, 2018).

## 9 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na sledování vlivu tělesných parametrů, jako je hmotnost a výška postavy, na morfologii obličeje u dětí ve dvou věkových skupinách. V mladší věkové skupině byli zastoupeni jedinci skenovaní 2krát po 2 letech, a to nejprve ve věku 10 a podruhé ve věku 12 let. Ve starší věkové skupině byli analogicky zastoupeni jedinci skenovaní 2krát po 2 letech, a to nejprve ve věku 12 a podruhé ve věku 14 let. Celkem bylo v diplomové práci zahrnuto 115 jedinců a analyzováno 230 faciálních skenů. Pro dosažení cílů práce byly použity přístupy geometrické a klasické morfometrie.

V rámci geometrické morfometrie byly sledovány rozdíly ve formě obličeje u jedinců s normální hmotností a nadváhou a také růstové změny, kterým podléhají jedinci s nadváhou i s normální hmotností. Původní hypotéza předpokládala, že jedinci s nadváhou budou mít oblejší tváře, plnější rty a výraznější bradu. Lze konstatovat, že výsledky práce tuto hypotézu potvrdily. Byl také pozorován vliv pohlavního dimorfismu, kde byly u chlapců rozdíly mezi kategoriemi normy a nadváhy výraznější než u dívek. Během růstu, tj. s postupujícím věkem, se u obou pohlaví snižuje vliv nadváhy na morfologii obličeje.

Druhým metodologickým přístupem v práci byla klasická morfometrie. Po prostudování dostupné literatury bylo vybráno 19 landmarků a následně 14 vzdáleností mezi nimi. Následně byly stanoveny další dvě hypotézy.

První hypotéza předpokládala, že hmotnost jedince (norma nebo nadváha), která byla posuzována prostřednictvím BMI z-skóre (BMIz), bude ovlivňovat šířkové rozměry obličeje. Tato hypotéza byla částečně potvrzena, a to zejména u starší věkové skupiny, kde BMIz mělo pozitivní vliv na šířku obličeje a šířku rtů.

Poslední hypotéza se týkala tělesné výšky. V diplomové práci nebyl nalezen přímý vztah mezi výškovými dimenzemi obličeje a tělesnou výškou, čímž byla tato hypotéza zamítnuta. Avšak v rámci působení interakce mezi faktory výšky postavy a věkem byl zjištěn nepřímý vztah výšky postavy k některým dimenzím. U jedinců ve věku 10 až 12 let kombinace těchto faktorů ovlivnila výšku *philtrum* (sn-ls). Bylo zjištěno, že vyšší jedinci měli menší hodnoty tohoto rozměru, přičemž u jedinců v 10 letech byla tato závislost výraznější oproti 12letým. U 12 až 14letých jedinců byl zjištěn vliv kombinace výšky postavy a věku na výšku dolního obličeje. Pomocí grafu bylo znázorněno, že vyšší jedinci mají relativně nižší výšku dolní části obličeje. S ohledem na věk bylo zjištěno, že výška postavy více ovlivňovala výšku dolní části obličeje ve 14 letech ve srovnání s 12letými.

Hodnocení vlivu hmotnosti na tvar obličeje odhalilo, že rozdíly mezi jedinci s normální hmotností a nadváhou jsou u obou pohlaví nejzřetelnější ve věku 10 let. S přibývajícím věkem pak dochází k poklesu vlivu hmotnosti na morfologii obličeje. Zřetelné rozdíly ve prospěch jedinců s nadváhou byly registrovány zejména v laterálních oblastech tváře a dolní třetiny obličeje, obzvlášť podél dolního okraje obličeje.

Při sledování růstových změn v souvislosti s hmotností jedince byly zjištěny rozdílné trendy u obou pohlaví. U chlapců ve věku od 10 do 12 let byl zřejmý vliv nadváhy na růst obličeje, kdežto ve věku 12 až 14 let byly růstové změny u obou hmotnostních kategorií velmi podobné. Naopak u dívek jak v mladší, tak i ve starší věkové skupině, se zřetelnější růstové změny promítaly na obličejích dětí s normální hmotností.

Analýzy vlivu jednotlivých faktorů (věk, pohlaví, hmotnost a tělesná výška) a jejich kombinaci na růstové změny obličejových rozměrů odhalily, že u obou věkových skupin zásadní roli hrál věk.

V našich datech se neprojevil výrazný vliv pohlavního dimorfismu na obličejové rozměry. Pouze v mladší věkové skupině u rozměru šířky obličeje (zyR-zyL) bylo zjištěno, že dívky mají statisticky významně širší obličeje oproti chlapcům.

Faktor hmotnosti, reprezentovaný hodnotami BMI<sub>z</sub>, významně ovlivňoval rozměry šířky obličeje (zyR-zyL) a šířky rtů (chR-chL), ale pouze u jedinců ve věku od 12 do 14 let. V této věkové skupině jedinci s nadváhou měli širší obličeje a rty oproti jedincům s normální hmotností. V mladší věkové skupině vliv hmotnosti nebyl detekován.

Přímý vliv výšky postavy na některé obličejové rozměry byl nalezen u obou věkových skupin. Ve věku od 10 do 12 let tělesná výška ovlivňovala rozměr výšky nosu (n-sn), přičemž vyšší jedinci měli poměrně nižší výšku nosu. Naopak ve věku od 12 do 14 let tělesná výška souvisela se šířkou obličeje (zyR-zyL). Jedinci s vyšší tělesnou výškou měli širší obličeje.

Z hlediska vzájemného působení dvou faktorů na jednotlivé rozměry byly zjištěny některé významné vlivy. Například u obou věkových skupin byl zaznamenán vliv kombinace věku a tělesné výšky na výškové rozměry. U mladší věkové skupiny byla u vyšších jedinců zaznamenána relativně nižší výška *philtrum* (sn-ls), přičemž tento vztah byl výraznější v 10 letech. To znamená, že v 10 letech má výška postavy větší vliv na obličejový rozměr než ve 12 letech. U starší věkové skupiny se významný vliv kombinace výše zmíněných faktorů projevil u rozměru výšky dolního obličeje (sn-gn). Jedinci s vyšší tělesnou výškou měli kratší výšku dolní části obličeje, přičemž vliv výšky postavy na obličejový rozměr je u 14letých jedinců výraznější než u 12letých, což naznačuje, že s věkem se tento vliv zvyšuje.

Další kombinací byl vliv pohlaví a věku, který se jevil signifikantně u transverzálního rozměru levé očnice (exL-enL). V tomto případě bylo zaznamenáno, že u dívek ve věku od 12 do 14 let dochází k většímu růstu zmíněného rozměru oproti chlapcům.

Co se týká limitů diplomové práce, bylo by vhodné v navazujícím výzkumu navýšit počty jedinců u obou hmotnostních kategorií a rozšířit věkové kategorie, včetně prepubertálního období a dospělosti.

## 10 Seznam citované literatury

- Agnihotri, G. (2018). The fundamentals for craniofacial morphogenesis. A review with emphasis on the decisive dynamics. *National Journal of Clinical Anatomy*, 7(1), 52. <https://doi.org/10.4103/2277-4025.297650>
- Ainuz, B. Y., Hallac, R. R., & Kane, A. A. (2021). Longitudinal composite 3D faces and facial growth trends in children 6-11 years of age using 3D cephalometric surface imaging. *Annals of Human Biology*, 48(7–8), 540–549. <https://doi.org/10.1080/03014460.2021.2012257>
- Aksglaede, L., Juul, A., Olsen, L. W., & Sørensen, T. I. A. (2009). Age at puberty and the emerging obesity epidemic. *PLOS ONE*, 4(12), e8450. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008450>
- Al Ali, A., Richmond, S., Popat, H., Toma, A. M., Playle, R., Zhurov, A. I., Marshall, D., Rosin, P. L., & Henderson, J. (2014). The influence of asthma on face shape: A three-dimensional study. *European Journal of Orthodontics*, 36(4), 373–380. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjs067>
- Albert, A. M., Ricanek, K., & Patterson, E. (2007). A review of the literature on the aging adult skull and face: Implications for forensic science research and applications. *Forensic Science International*, 172(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.FORSCIINT.2007.03.015>
- Allam, E., Mpofu, P., Ghoneima, A., Tuceryan, M., & Kula, K. (2018). The relationship between hard tissue and soft tissue dimensions of the nose in children: A 3D cone beam computed tomography study. *Journal of Forensic Sciences*, 63(6), 1652–1660. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13801>
- Allareddy, V., Ching, N., Macklin, E. A., Voelz, L., Weintraub, G., Davidson, E., Prock, L. A., Rosen, D., Brunn, R., & Skotko, B. G. (2016). Craniofacial features as assessed by lateral cephalometric measurements in children with Down syndrome. *Progress in Orthodontics*, 17(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s40510-016-0148-7>
- Alotaibi, M. F. (2019). Physiology of puberty in boys and girls and pathological disorders affecting its onset. *Journal of Adolescence*, 71, 63–71. <https://doi.org/10.1016/J.ADOLESCENCE.2018.12.007>
- Altman, D. G. (2005). Why we need confidence intervals. *World Journal of Surgery*, 29(5), 554–556. <https://doi.org/10.1007/s00268-005-7911-0>

- Auchus, R. J., & Rainey, W. E. (2004). Adrenarche—Physiology, biochemistry and human disease. *Clinical Endocrinology*, 60(3), 288–296. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2265.2003.01858.X>
- Avery, J. K., & Chiego, D. J. (2006). *Essentials of oral histology and embryology: A clinical approach*. Elsevier Mosby.
- Baillie, L. J., Mirijali, S. A., Niven, B. E., Blyth, P., & Dias, G. J. (2015). Ancestry and BMI influences on facial soft tissue depths for a cohort of chinese and caucasoid women in Dunedin, New Zealand. *Journal of Forensic Sciences*, 60(5), 1146–1154. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12799>
- Bank, J. R., Wirawan, C. S., Ehrlich, D. E., Marazita, M. L., Weinberg, S. M., & Miller, S. F. (2020). Analyzing facial asymmetry in children as a function of BMI. *The FASEB Journal*, 34(S1), 1–1. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2020.34.s1.03726>
- Bannister, J. J., Juszczak, H., Aponte, J. D., Katz, D. C., Knott, P. D., Weinberg, S. M., Hallgrímsson, B., Forkert, N. D., & Seth, R. (2022). Sex differences in adult facial three-dimensional morphology: Application to gender-affirming facial surgery. *Facial Plastic Surgery & Aesthetic Medicine*, 24(S2), S-24. <https://doi.org/10.1089/fpsam.2021.0301>
- Bastir, M. (2008). A systems-model for the morphological analysis of integration and modularity in human craniofacial evolution. *Journal of Anthropological Sciences = Rivista Di Antropologia : JASS / Istituto Italiano Di Antropologia*, 86, 37–58.
- Bastir, M., & Rosas, A. (2006). Correlated variation between the lateral basicranium and the face: A geometric morphometric study in different human groups. *Archives of Oral Biology*, 51(9), 814–824. <https://doi.org/10.1016/J.ARCHORALBIO.2006.03.009>
- Bastir, M., & Rosas, A. (2013). Cranial airways and the integration between the inner and outer facial skeleton in humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 152(2), 287–293. <https://doi.org/10.1002/AJPA.22359>
- Baume, R. M., Buschang, P. H., & Weinstein, S. (1983). Stature, head height, and growth of the vertical face. *American Journal of Orthodontics*, 83(6), 477–484. [https://doi.org/10.1016/S0002-9416\(83\)90246-4](https://doi.org/10.1016/S0002-9416(83)90246-4)
- Beek, M., Hoeksma, J., & Prah-Andersen, B. (1997). Vertical facial growth and statural growth in girls: A longitudinal comparison. *European Journal of Orthodontics*, 18, 549–555. <https://doi.org/10.1093/ejo/18.1.549>

- Bejdová, Š., Dupej, J., Krajíček, V., Velemínská, J., & Velemínský, P. (2018). Stability of upper face sexual dimorphism in central European populations (Czech Republic) during the modern age. *International Journal of Legal Medicine*, 132(1), 321–330. <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1625-3>
- Belengeanu, D., Bratu, C., Stoian, M., Motoc, A., Ormerod, E., Podariu, A. C., Farcaș, S., & Andreescu, N. (2012). The heterogeneity of craniofacial morphology in Prader-Willi patients. *Romanian Journal of Morphology and Embryology = Revue Roumaine De Morphologie Et Embryologie*, 53(3), 527–532.
- Bentley, R. P., Sgouros, S., Natarajan, K., Dover, M. S., & Hockley, A. D. (2002). Normal changes in orbital volume during childhood. *Journal of Neurosurgery*, 96(4), 742–746. <https://doi.org/10.3171/jns.2002.96.4.0742>
- Benyi, E., & Säwendahl, L. (2017). The physiology of childhood growth: hormonal regulation. *Hormone Research in Paediatrics*, 88(1), 6–14. <https://doi.org/10.1159/000471876>
- Berger, A. J., & Kahn, D. (2012). Growth and development of the orbit. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 24(4), 545–555. <https://doi.org/10.1016/J.COMS.2012.08.001>
- Bergersen, E. O. (1972). The male adolescent facial growth spurt: Its prediction and relation to skeletal maturation. *The Angle Orthodontist*, 42(4), 319–338. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1972\)042<0319:TMAFGS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1972)042<0319:TMAFGS>2.0.CO;2)
- Bernstein, R. M., O'Connor, G. K., Vance, E. A., Affara, N., Drammeh, S., Dunger, D. B., Faal, A., Ong, K. K., Sosseh, F., Prentice, A. M., & Moore, S. E. (2020). Timing of the infancy-childhood growth transition in rural gambia. *Frontiers in Endocrinology*, 11. <https://doi.org/10.3389/FENDO.2020.00142>
- Bertapelli, F., Pitetti, K., Agiovlasis, S., & Guerra-Junior, G. (2016). Overweight and obesity in children and adolescents with Down syndrome—prevalence, determinants, consequences, and interventions: A literature review. *Research in Developmental Disabilities*, 57, 181–192. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.06.018>
- Bhat, M. (2020). The human face: Genes, embryological development and dysmorphology. *International Journal of Developmental Biology*, 64(1–3), 393–401. <https://doi.org/10.1387/ijdb.190312mb>
- Birch, L., Perry, R., Hunt, L. P., Matson, R., Chong, A., Beynon, R., & Shield, J. P. (2019). What change in body mass index is associated with improvement in percentage body



- fat in childhood obesity? A meta-regression. *BMJ Open*, 9(8), e028231. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-028231>
- Bishara, S. E., Peterson, L. C., & Bishara, E. C. (1984). Changes in facial dimensions and relationships between the ages of 5 and 25 years. *American Journal of Orthodontics*, 85(3), 238–252. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(84\)90063-0](https://doi.org/10.1016/0002-9416(84)90063-0)
- Blanck-Lubarsch, M., Dirksen, D., Feldmann, R., Sauerland, C., & Hohoff, A. (2020). Children with fetal alcohol syndrome (FAS): 3D-analysis of palatal depth and 3d-metric facial length. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010095>
- Bookstein, F. L. (1992). Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511573064>
- Brodie, A. G. (1948). The growth of the jaws and the eruption of the teeth. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*, 1(4), 334–341. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(48\)90256-4](https://doi.org/10.1016/0030-4220(48)90256-4)
- 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. <https://doi.org/10.1093/EJO/CJR033>
- 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. <https://doi.org/10.1002/AJPA.20317>
- Burriss, R. P., Little, A. C., & Nelson, E. C. (2007). 2D:4D and sexually dimorphic facial characteristics. *Archives of Sexual Behavior*, 36(3), 377–384. <https://doi.org/10.1007/S10508-006-9136-1>
- Butler, G. E., Mckie, M., & Ratcliffe, S. G. (1990). The cyclical nature of prepubertal growth. *Annals of Human Biology*, 17(3), 177–198. <https://doi.org/10.1080/030144690000000952>
- Carlson, D. S. (2005). Theories of craniofacial growth in the postgenomic era. *Seminars in orthodontics*, 11(4), 172–183. <https://doi.org/10.1053/J.SODO.2005.07.002>
- Chen, L., Su, B., Zhang, Y., Ma, T., Liu, J., Yang, Z., Li, Y., Gao, D., Chen, M., Ma, Y., Wang, X., Wen, B., Jiang, J., Dong, Y., Song, Y., & Ma, J. (2022). Association between height growth patterns in puberty and stature in late adolescence: A longitudinal analysis in chinese children and adolescents from 2006 to 2016. *Frontiers in Endocrinology*, 13. <https://doi.org/10.3389/FENDO.2022.882840>

- Chen, Y., Yang, H., Zheng, Z., Zhang, X., Yan, X., Long, H., & Lai, W. (2023). Association of body mass index (BMI) with lip morphology characteristics: a cross-sectional study based on Chinese population. *Diagnostics*, 13(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13050997>
- Chung, S. (2015). Body mass index and body composition scaling to height in children and adolescent. *Annals of Pediatric Endocrinology & Metabolism*, 20(3), 125. <https://doi.org/10.6065/APEM.2015.20.3.125>
- Čihák, R. (2001). *Anatomie I*. 479.
- Claes, P., Liberton, D. K., Daniels, K., Rosana, K. M., Quillen, E. E., Pearson, L. N., McEvoy, B., Bauchet, M., Zaidi, A. A., Yao, W., Tang, H., Barsh, G. S., Absher, D. M., Puts, D. A., Rocha, J., Beleza, S., Pereira, R. W., Baynam, G., Suetens, P., ... Shriver, M. D. (2014). Modeling 3D facial shape from DNA. *PLOS Genetics*, 10(3), e1004224. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PGEN.1004224>
- Cole, L. A., & Butler, S. A. (2022). Adrenarche and menarche in girls and adrenarche and puberty in boys. *Human Gonadotropins*, 123–130. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821676-7.00017-2>
- Cozza, P., Stirpe, G., Condó, R., & Donatelli, M. (2005). Craniofacial and body growth: A cross-sectional anthropometric pilot study on children during prepubertal period. *European Journal of Pediatric Dentistry*, 6(2), 90–96.
- Daenecke, S., Bianchini, E. M. G., & da Silva, A. P. B. V. (2006). Anthropometrical measurements of the height of the upper lip and length of the philtrum. *Pro-Fono: Revista De Atualizacao Cientifica*, 18(3), 249–258. <https://doi.org/10.1590/s0104-56872006000300004>
- Danze, A., Jacox, L. A., Bocklage, C., Whitley, J., Moss, K., Hardigan, P., Garcia-Godoy, C. E., & Jackson, T. H. (2021). Influence of BMI percentile on craniofacial morphology and development in children and adolescents. *European Journal of Orthodontics*, 43(2), 184–192. <https://doi.org/10.1093/EJO/CJAA056>
- Darkwah, W. K., Kadri, A., Adormaa, B. B., & Aidoo, G. (2018). Cephalometric study of the relationship between facial morphology and ethnicity: Review article. *Translational Research in Anatomy*, 12, 20–24. <https://doi.org/10.1016/J.TRIA.2018.07.001>
- Dencker, M., Thorsson, O., Lindén, C., Wollmer, P., Andersen, L. B., & Karlsson, M. K. (2007). BMI and objectively measured body fat and body fat distribution in prepubertal children. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 27(1), 12–16. <https://doi.org/10.1111/J.1475-097X.2007.00709.X>

- Dimeglio, A., & Canavese, F. (2012). The growing spine: How spinal deformities influence normal spine and thoracic cage growth. *European Spine Journal : Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 21(1), 64–70. <https://doi.org/10.1007/S00586-011-1983-3>
- Djordjevic, J., Zhurov, A. I., & Richmond, S. (2016). Genetic and environmental contributions to facial morphological variation: A 3D population-based twin study. *PloS One*, 11(9). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0162250>
- Dumancic, J., Kaic, Z., Varga, M. L., Lauc, T., Dumic, M., Milosevic, S. A., & Brkic, H. (2010). Characteristics of the craniofacial complex in Turner syndrome. *Archives of Oral Biology*, 55(1), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2009.10.008>
- Dupej, J., Krajíček, V., Velemínská, J., & Pelikan, J. (2014). Statistical Mesh Shape Analysis with Nonlandmark Nonrigid Registration.
- Eerden, B. C. J. V. D., Karperien, M., & Wit, J. M. (2003). Systemic and local regulation of the growth plate. *Endocrine Reviews*, 24(6), 782–801. <https://doi.org/10.1210/ER.2002-0033>
- Ef, H., Ja, K., Morphometric, K. B., Hutchinson, E. F., Kieser, J. A., & Kramer, B. (2014). Morphometric growth relationships of the immature human mandible and tongue. *European Journal of Oral Sciences*, 122(3), 181–189. <https://doi.org/10.1111/EOS.12126>
- Eggensperger, N. M., Lieger, O., Thüer, U., & Iizuka, T. (2007). Soft tissue profile changes following mandibular advancement and setback surgery an average of 12 years postoperatively. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 65(11), 2301–2310. <https://doi.org/10.1016/J.JOMS.2007.06.644>
- Ella, S. S. A. E., Barseem, N. F., Tawfik, M. A., & Ahmed, A. F. (2020). BMI relationship to the onset of puberty: Assessment of growth parameters and sexual maturity changes in Egyptian children and adolescents of both sexes. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 33(1), 121–128. <https://doi.org/10.1515/jpem-2019-0119>
- Emi, K., Shintaro, K., & Kazutaka, K. (2019). Morphological characteristics of nasomaxillary complex and cranial base in maxillary retrognathism. *International Journal of Oral-Medical Sciences*, 18(1), 27–35. <https://doi.org/10.5466/IJOMS.18.27>
- Enlow, D. H., & Bang, S. (1965). Growth and remodeling of the human maxilla. *American Journal of Orthodontics*, 51(6), 446–464. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(65\)90242-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(65)90242-3)

- Enlow, D. H., & Harris, D. B. (1964). A study of the postnatal growth of the human mandible. *American Journal of Orthodontics*, 50(1), 25–50. [https://doi.org/10.1016/S0002-9416\(64\)80016-6](https://doi.org/10.1016/S0002-9416(64)80016-6)
- Esteve-Altava, B., Diogo, R., Smith, C., Boughner, J. C., & Rasskin-Gutman, D. (2015). Anatomical networks reveal the musculoskeletal modularity of the human head. *Scientific Reports* 2015 5:1, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.1038/srep08298>
- Esteve-Altava, B., Marugán-Lobón, J., Botella, H., Bastir, M., & Rasskin-Gutman, D. (2013). Grist for Riedl's mill: A network model perspective on the integration and modularity of the human skull. *Journal of Experimental Zoology. Part B, Molecular and Developmental Evolution*, 320(8), 489–500. <https://doi.org/10.1002/JEZ.B.22524>
- Esteve-Altava, B., & Rasskin-Gutman, D. (2014). Beyond the functional matrix hypothesis: A network null model of human skull growth for the formation of bone articulations. *Journal of Anatomy*, 225(3), 306. <https://doi.org/10.1111/JOA.12212>
- Esteve-Altava, B., & Rasskin-Gutman, D. (2015). Evo-Devo insights from pathological networks: Exploring craniosynostosis as a developmental mechanism for modularity and complexity in the human skull. *Journal of Anthropological Sciences = Rivista Di Antropologia: JASS*, 93, 103–117. <https://doi.org/10.4436/JASS.93001>
- Estler, A., Grözinger, G., Estler, E., Hepp, T., Feng, Y.-S., Daigeler, A., Seabra Robalo Gomes Jorge, A. C., Santos Stahl, A., Nikolaou, K., & Stahl, S. (2023). Quantification of facial fat compartment variations: a three-dimensional morphometric analysis of the cheek. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 152(4), 617e. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000010357>
- Farkas, L. G., Posnick, J. C., & Hreczko, T. M. (1992). Growth patterns of the face: A morphometric study. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal: Official Publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association*, 29(4), 308–315. [https://doi.org/10.1597/1545-1569\\_1992\\_029\\_0308\\_GPOTFA\\_2.3.CO\\_2](https://doi.org/10.1597/1545-1569_1992_029_0308_GPOTFA_2.3.CO_2)
- Farnell, D. J. J., Richmond, S., Galloway, J., Zhurov, A. I., Pirttiniemi, P., Heikkinen, T., Harila, V., Matthews, H., & Claes, P. (2020). Multilevel principal components analysis of three-dimensional facial growth in adolescents. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 188. <https://doi.org/10.1016/J.CMPB.2019.105272>
- Fechner, P. Y. (2002). Gender differences in puberty. *Journal of Adolescent Health*, 30(4 suppl. 1), 44–48. [https://doi.org/10.1016/S1054-139X\(02\)00357-9](https://doi.org/10.1016/S1054-139X(02)00357-9)
- Ferrario, V., Dellavia, C., Tartaglia, G., Turci, M., & Sforza, C. (2004). Soft tissue facial morphology in obese adolescents: A three-dimensional noninvasive assessment. *The*

*Angle Orthodontist*, 74, 37–42. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2004\)074<0037:STFMIO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2004)074<0037:STFMIO>2.0.CO;2)

- Ferrario, V. F., Sforza, C., Colombo, A., Schmitz, J. H., & Serrao, G. (2001). Morphometry of the orbital region: A soft-tissue study from adolescence to mid-adulthood. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 108(2), 285–292; discussion 293. <https://doi.org/10.1097/00006534-200108000-00001>
- Ferrario, V. F., Sforza, C., Poggio, C. E., & Schmitz, J. H. (1999). Soft-tissue facial morphometry from 6 years to adulthood: A three-dimensional growth study using a new modeling. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 103(3), 768.
- 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 (New York, N.Y.)*, 16(5), 420–433. <https://doi.org/10.1002/CA.10154>
- Fink, B., Grammer, K., Mitteroecker, P., Gunz, P., Schaefer, K., Bookstein, F. L., & Manning, J. T. (2005). Second to fourth digit ratio and face shape. *Proceedings. Biological Sciences*, 272(1576), 1995–2001. <https://doi.org/10.1098/RSPB.2005.3179>
- Florescu, O. (2016). The determining factors in the formation of the three body types (ectomorph, mesomorph and endomorph). *Department of Physical Education and Sport, Academy of Economic Studies, Bucharest, Romania*, vol. 8(1), pages 43-50, June. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:29418079>
- Franchi, L., Baccetti, T., & McNamara, J. A. (2000a). Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 118(3), 335–340. <https://doi.org/10.1067/mod.2000.107009>
- Franchi, L., Baccetti, T., & McNamara, J. A. (2000b). Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 118(3), 335–340. <https://doi.org/10.1067/MOD.2000.107009>
- Frank, G. R. (2003). Role of estrogen and androgen in pubertal skeletal physiology. *Medical and Pediatric Oncology*, 41(3), 217–221. <https://doi.org/10.1002/MPO.10340>
- Freedman, D. S., Goodwin Davies, A. J., Phan, T.-L. T., Cole, F. S., Pajor, N., Rao, S., Eneli, I., Kompaniyets, L., Lange, S. J., Christakis, D. A., & Forrest, C. B. (2022).

- Measuring BMI change among children and adolescents. *Pediatric Obesity*, 17(6), e12889. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12889>
- Ghosh, S., Kasher, M., Malkina, I., & Livshits, G. (2021). Is craniofacial morphology and body composition related by common genes: Comparative analysis of two ethnically diverse populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 176(2), 249–261. <https://doi.org/10.1002/AJPA.24373>
- Giuca, M. R., Inglese, R., Caruso, S., Gatto, R., Marzo, G., & Pasini, M. (2016). Craniofacial morphology in pediatric patients with Prader-Willi syndrome: A retrospective study. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 19(4), 216–221. <https://doi.org/10.1111/ocr.12131>
- Gkantidis, N., & Halazonetis, D. J. (2011). Morphological integration between the cranial base and the face in children and adults. *Journal of Anatomy*, 218(4), 426–438. <https://doi.org/10.1111/J.1469-7580.2011.01346.X>
- Gómez, Y., García-Sanz, V., Zamora, N., Tarazona, B., Bellot-Arcís, C., Langsjoen, E., & Paredes-Gallardo, V. (2018). Associations between mandibular symphysis form and craniofacial structures. *Oral Radiology*, 34(2), 161–171. <https://doi.org/10.1007/S11282-017-0292-X/TABLES/6>
- Gordon, L. A., Miller, S. F., Caplin, J., Galang-Boquiren, M. T., Alrayyes, S., & Nicholas, C. L. (2021). Childhood obesity may accelerate timing of human facial growth. *Archives of Oral Biology*, 121, 104964. <https://doi.org/10.1016/J.ARCHORALBIO.2020.104964>
- Greef, S. de, 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. <https://doi.org/10.1007/S12024-009-9085-9>
- Gu, Y., & McNamara, J. A. (2007). Mandibular growth changes and cervical vertebral maturation cephalometric implant study. *The Angle Orthodontist*, 77(6), 947–953. <https://doi.org/10.2319/071006-284.1>
- Halazonetis, D. J. (2007). Morphometric correlation between facial soft-tissue profile shape and skeletal pattern in children and adolescents. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 132(4), 450–457. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2005.10.033>
- Hancock, S., Carmack, A., Kocher, M., Rezende Silva, E., Sulkowski, T., Nanney, E., Graves, C., Mitchell, K., & Jacox, L. A. (2024). Influence of BMI percentile on craniofacial

- morphology and development in adolescents, Part II: Elevated BMI is associated with larger final facial dimensions. *European Journal of Orthodontics*, 46(1), cjad043. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjad043>
- Hans, M. G., Enlow, D. H., & Noachtar, R. (1995). Age-related differences in mandibular ramus growth: A histologic study. *The Angle Orthodontist*, 65(5), 335–340. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1995\)065<0335:adimrg>2.0.co;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1995)065<0335:adimrg>2.0.co;2)
- Harnádková, K., Kočandrlová, K., Jaklová, L. K., Dupej, J., & Velemínská, J. (2024). Correction: The effect of sex and age on facial shape directional asymmetry in adults: A 3D landmarks-based method study. *PloS One*, 19(6), e0305196. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305196>
- Harnádková, K., Kočandrlová, K., Kožejová Jaklová, L., Dupej, J., & Velemínská, J. (2023). The effect of sex and age on facial shape directional asymmetry in adults: A 3D landmarks-based method study. *PloS One*, 18(8), e0288702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288702>
- Hatcher, D. C. (2013). Progressive Condylar Resorption: Pathologic Processes and Imaging Considerations. *Seminars in Orthodontics*, 19(2), 97–105. <https://doi.org/10.1053/J.SODO.2012.11.005>
- He, Q., & Karlberg, J. (2001). BMI in childhood and its association with height gain, timing of puberty, and final height. *Pediatric Research* 2001 49:2, 49(2), 244–251. <https://doi.org/10.1203/00006450-200102000-00019>
- Hermanussen, M. (2010). Auxology: An update. *Hormone Research in Paediatrics*, 74(3), 153–164. <https://doi.org/10.1159/000317440>
- Herring, S. W., & Ochareon, P. (2016). The periosteum of the zygomatic arch: vascularization and growth. *The Anatomical Record*, 299(12), 1661–1670. <https://doi.org/10.1002/AR.23482>
- Hersberger-Zurfluh, M. A., Papageorgiou, S. N., Motro, M., Kantarci, A., Will, L. A., & Eliades, T. (2018). Facial soft tissue growth in identical twins. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 154(5), 683–692. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2018.01.020>
- Hinton, R. J., Jing, J., & Feng, J. Q. (2015). Genetic influences on temporomandibular joint development and growth. *Current Topics in Developmental Biology*, 115, 85–109. <https://doi.org/10.1016/BS.CTDB.2015.07.008>

- Holmgren, A., Niklasson, A., Nierop, A. F. M., Gellander, L., Aronson, A. S., Sjöberg, A., Lissner, L., & Albertsson-Wikland, K. (2017). Pubertal height gain is inversely related to peak BMI in childhood. *Pediatric Research*, 81(3), 448–454. <https://doi.org/10.1038/pr.2016.253>
- Hovorakova, M., Lesot, H., Peterka, M., & Peterkova, R. (2018). Early development of the human dentition revisited. In *Journal of Anatomy* (Vol. 233, Issue 2, pp. 135–145). <https://doi.org/10.1111/joa.12825>
- Hsieh, Y.-J., Darvann, T. A., Hermann, N. V., Larsen, P., Liao, Y.-F., & Kreiborg, S. (2020). Three-dimensional assessment of facial morphology in children and adolescents with juvenile idiopathic arthritis and moderate to severe TMJ involvement using 3D surface scans. *Clinical Oral Investigations*, 24(2), 799–807. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-02962-5>
- Hunter, C. J. (1966). The correlation of facial growth with body height and skeletal maturation at adolescence. *The Angle Orthodontist*, 36(1), 44–54. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1966\)036<0044:TCOFGW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1966)036<0044:TCOFGW>2.0.CO;2)
- Inokuchi, M., Matsuo, N., Takayama, J. I., & Hasegawa, T. (2011). BMI z-score is the optimal measure of annual adiposity change in elementary school children. *Annals of Human Biology*, 38(6), 747–751. <https://doi.org/10.3109/03014460.2011.620625>
- Jaleel, A., Chilumula, M., Chukkala Satya, S. G., Singnale, P., Telikicherla, U. R., & Pandurangi, R. (2024). The assessment of nutritional status of adolescents aged 15-18 years using bmi cutoffs and bmi z scores: a secondary analysis of national family health survey-5 (2019-21) data. *Cureus*, 16(5), e59800. <https://doi.org/10.7759/cureus.59800>
- Jandová, M., & Urbanová, P. (2016). The relationship between facial morphology, body measurements and socio-economic factors. *Anthropological Review*, 79, 181–200. <https://doi.org/10.1515/anre-2016-0014>
- Jeffery, N. S., Humphreys, C., & Manson, A. (2022). A human craniofacial life-course: Cross-sectional morphological covariations during postnatal growth, adolescence, and aging. *Anatomical Record* (Hoboken, N.J.: 2007), 305(1), 81–99. <https://doi.org/10.1002/AR.24736>
- Jelenkovic, A., Poveda, A., Susanne, C., & Rebato, E. (2010). Common genetic and environmental factors among craniofacial traits in Belgian nuclear families: Comparing skeletal and soft-tissue related phenotypes. *Homo: Internationale Zeitschrift Fur Die Vergleichende Forschung Am Menschen*, 61(3), 191–203. <https://doi.org/10.1016/J.JCHB.2009.10.003>



- Jeremić, D., Kocić, S., Vulović, M., Sazdanović, M., Sazdanović, P., Jovanović, B., Jovanović, J., Milanović, Z., Donović, N., Simović, A., Parezanović-Ilić, K., Maliković, A., Toševski, J., & Živanović-Maćužić, I. (2013). Anthropometric study of the facial index in the population of central Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 65(3), 1163–1168. <https://doi.org/10.2298/ABS1303163J>
- Jin, S. W., Sim, K. B., & Kim, S. D. (2016). Development and growth of the normal cranial vault: An embryologic review. In *Journal of Korean Neurosurgical Society (Vol. 59, Issue 3, pp. 192–196)*. Korean Neurosurgical Society. <https://doi.org/10.3340/jkns.2016.59.3.192>
- Jonasson, G., Skoglund, I., & Rythén, M. (2018). The rise and fall of the alveolar process: Dependency of teeth and metabolic aspects. *Archives of Oral Biology*, 96, 195–200. <https://doi.org/10.1016/J.ARCHORALBIO.2018.09.016>
- Kamínková, P., Dírer, P., & Fudalej, P. (2022). Association of 3-dimensional facial changes and height and weight increase in children: A 2-year follow-up. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 161(3). <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2021.01.025>
- Kang, K., Absher, R., Farrington, E., Ackley, R., & So, T. Y. (2019). Evaluation of different methods used to calculate ideal body weight in the pediatric population. *The Journal of Pediatric Pharmacology and Therapeutics : JPPT : The Official Journal of PPAG*, 24(5), 421–430. <https://doi.org/10.5863/1551-6776-24.5.421>
- Karaman, A., & Genc, E. (2022). Evaluation of facial soft-tissue values and craniofacial morphology in obese adolescent patients with different skeletal classes. *APOS Trends in Orthodontics*, 11, 270–278. [https://doi.org/10.25259/APOS\\_76\\_2021](https://doi.org/10.25259/APOS_76_2021)
- Karlberg, J. (1989a). A biologically-oriented mathematical model (icp) for human growth. *Acta Paediatrica*, 78(350), 70–94. <https://doi.org/10.1111/J.1651-2227.1989.TB11199.X>
- Karlberg, J. (1989b). On the construction of the infancy-childhood-puberty growth standard. *Acta Paediatrica Scandinavica. Supplement*, 356(356), 26–37. <https://doi.org/10.1111/J.1651-2227.1989.TB11237.X>
- Karlberg, J., Engström, I., Karlberg, P., & Fryer, J. G. (1987). Analysis of linear growth using a mathematical model. I. From birth to three years. *Acta Paediatrica Scandinavica*, 76(3), 478–488. <https://doi.org/10.1111/J.1651-2227.1987.TB10503.X>
- 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: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 134(6), 751–760. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2007.01.037>

- Kaur, G., Kumari, G., Sharma, S., & Student, P. G. (2021). Functional matrix hypothesis: a review of literature. *Science Progress and Research (SPR)*, 1(2), 80–89. <https://doi.org/10.52152/SPR/2021.115>
- Kelly, M. P., Vorperian, H. K., Wang, Y., Tillman, K. K., Werner, H. M., Chung, M. K., & Gentry, L. R. (2017). Characterizing mandibular growth using three-dimensional imaging techniques and anatomic landmarks. *Archives of Oral Biology*, 77, 27–38. <https://doi.org/10.1016/J.ARCHORALBIO.2017.01.018>
- Kesterke, M. J., Raffensperger, Z. D., Heike, C. L., Cunningham, M. L., Hecht, J. T., Kau, C. H., Nidey, N. L., Moreno, L. M., Wehby, G. L., Marazita, M. L., & 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). <https://doi.org/10.1186/S13293-016-0076-8>
- Kim, S. (2019). Cross-sectional and longitudinal studies. In D. Gu & M. E. Dupre (Eds.), *Encyclopedia of Gerontology and Population Aging* (pp. 1–4). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69892-2\\_576-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69892-2_576-1)
- Klingenberg, C. (2008). Klingenberg CP. Morphological integration and developmental modularity. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 39: 115-132. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst*, 39, 115–132. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110054>
- Kočandrlová, K., Dupej, J., Hoffmannová, E., & Velemínská, J. (2021). Three-dimensional mixed longitudinal study of facial growth changes and variability of facial form in preschool children using stereophotogrammetry. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 24(4), 511–519. <https://doi.org/10.1111/ocr.12461>
- Koudelová, J., Brůžek, J., Cagáňová, V., Krajíček, V., & Velemínská, J. (2015). Development of facial sexual dimorphism in children aged between 12 and 15 years: A three-dimensional longitudinal study. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 18(3), 175–184. <https://doi.org/10.1111/OCR.12096>
- Koudelová, J., Dupej, J., Brůžek, J., Sedlak, P., & Velemínská, J. (2015). 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. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.12.005>

- Koudelová, J., Hoffmannová, E., Dupej, J., & Velemínská, J. (2019). Simulation of facial growth based on longitudinal data: Age progression and age regression between 7 and 17 years of age using 3D surface data. *PLoS ONE*, 14(2). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0212618>
- Kozieł, S. M. (2001). Relationships among tempo of maturation, midparent height, and growth in height of adolescent boys and girls. *American Journal of Human Biology*, 13, 15–22. [https://doi.org/10.1002/1520-6300\(200101/02\)13:1<15::AID-AJHB1002>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1520-6300(200101/02)13:1<15::AID-AJHB1002>3.0.CO;2-P).
- Larson, J. R., Manyama, M. F., Cole, J. B., Gonzalez, P. N., Percival, C. J., Liberton, D. K., Ferrara, T. M., Riccardi, S. L., Kimwaga, E. A., Mathayo, J., Spitzmacher, J. A., Rolian, C., Jammiczky, H. A., Weinberg, S. M., Roseman, C. C., Klein, O., Lukowiak, K., Spritz, R. A., & Hallgrímsson, B. (2018). Body size and allometric variation in facial shape in children. *American Journal of Physical Anthropology*, 165(2), 327–342. <https://doi.org/10.1002/AJPA.23356>
- Leonibus, C. D., Marcovecchio, M. L., Chiavaroli, V., Giorgis, T. de, Chiarelli, F., & Mohn, A. (2014). Timing of puberty and physical growth in obese children: A longitudinal study in boys and girls. *Pediatric Obesity*, 9(4), 292–299. <https://doi.org/10.1111/j.2047-6310.2013.00176.x>
- Levartovsky, S., Aharonov, O., Emodi Perlman, A., Winocur, E., & Sarig, R. (2020). The effect of tooth wear, age and sex on facial height assessed by soft tissue analysis. *Journal of Oral Rehabilitation*, 47(3), 346–352. <https://doi.org/10.1111/joor.12907>
- Limony, Y., Kozieł, S., & Friger, M. (2015). Age of onset of a normally timed pubertal growth spurt affects the final height of children. *Pediatric Research*, 78(3), 351–355. <https://doi.org/10.1038/PR.2015.104>
- Liu, X., Kayser, M., Kushner, S. A., Tiemeier, H., Rivadeneira, F., Jaddoe, V. W. V., Niessen, W., Wolvius, E. B., & Roshchupkin, G. V. (2021). Association between prenatal alcohol exposure and children's facial shape. A prospective population-based cohort study (p. 2021.07.22.21260946). *medRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.07.22.21260946>
- Luo, Z. C., Cheung, Y. B., He, Q., Albertsson-Wikland, K., & Karlberg, J. (2003). Growth in early life and its relation to pubertal growth. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 14(1), 65–73. <https://doi.org/10.1097/00001648-200301000-00016>
- Lux, C. J., Conradt, C., Burden, D., & Komposch, G. (2004). Three-dimensional analysis of maxillary and mandibular growth increments. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal* :

*Official Publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association*, 41(3), 304–314. <https://doi.org/10.1597/03-014.1>

- Malá, P. Z., Krajiček, V., & Velemínská, J. (2018). How tight is the relationship between the skeletal and soft-tissue facial profile: A geometric morphometric analysis of the facial outline. *Forensic Science International*, 292, 212–223. <https://doi.org/10.1016/J.FORSCIINT.2018.09.014>
- Manlove, A. E., Romeo, G., & Venugopalan, S. R. (2020). Craniofacial growth: Current theories and influence on management. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 32(2), 167–175. <https://doi.org/10.1016/J.COMS.2020.01.007>
- Marečková, K., Weinbrand, Z., Chakravarty, M. M., Lawrence, C., Aleong, R., Leonard, G., Perron, M., Pike, G. B., Richer, L., Veillette, S., Pausova, Z., & Paus, T. (2011). Testosterone-mediated sex differences in the face shape during adolescence: Subjective impressions and objective features. *Hormones and Behavior*, 60(5), 681–690. <https://doi.org/10.1016/J.YHBEH.2011.09.004>
- Martinez-Maza, C., Rosas, A., & Nieto-Díaz, M. (2013). Postnatal changes in the growth dynamics of the human face revealed from bone modelling patterns. *Journal of Anatomy*, 223(3), 228–241. <https://doi.org/10.1111/joa.12075>
- Marur, T., Tuna, Y., & Demirci, S. (2014). Facial anatomy. *Clinics in Dermatology*, 32(1), 14–23. <https://doi.org/10.1016/J.CLINDERMATOL.2013.05.022>
- Matthews, H. S., Penington, A. J., Hardiman, R., Fan, Y., Clement, J. G., Kilpatrick, N. M., & Claes, P. D. (2018). Modelling 3D craniofacial growth trajectories for population comparison and classification illustrated using sex-differences. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-018-22752-5>
- Mayer, C., Windhager, S., Schaefer, K., & Mitteroecker, P. (2017). BMI and WHR are reflected in female facial shape and texture: a geometric morphometric image analysis. *PloS One*, 12(1). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0169336>
- Maynard, L. M., Wisemandle, W., Roche, A. F., Chumlea, W. C., Guo, S. S., & Siervogel, R. M. (2001). Childhood body composition in relation to body mass index. *Pediatrics*, 107(2), 344–350. <https://doi.org/10.1542/PEDS.107.2.344>
- McKinnon, M. R., Simpson, E. K., & Henneberg, M. (2018). Growth patterns and individual variation in mid-sagittal facial soft tissue depth from childhood to adulthood. *Journal of Forensic Sciences*, 63(6), 1641–1651. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13768>

- Mclaren, D., & Read, W. C. (1972). Classification of nutritional status in early childhood. *The Lancet*, 300(7769), 146–148. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(72\)91324-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(72)91324-4)
- Mei, Z., Grummer-Strawn, L. M., Pietrobelli, A., Goulding, A., Goran, M. I., & Dietz, W. H. (2002). Validity of body mass index compared with other body-composition screening indexes for the assessment of body fatness in children and adolescents<sup>12</sup>. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 75(6), 978–985. <https://doi.org/10.1093/ajcn/75.6.978>
- Meindl, K., Windhager, S., Wallner, B., & Schaefer, K. (2012). Second-to-fourth digit ratio and facial shape in boys: The lower the digit ratio, the more robust the face. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1737), 2457. <https://doi.org/10.1098/RSPB.2011.2351>
- Mellion, Z. J., Behrents, R. G., & Johnston, L. E. (2013). The pattern of facial skeletal growth and its relationship to various common indexes of maturation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 143(6), 845–854. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.01.019>
- Melo, D. G. de, & Bianchini, E. M. G. (2016). Relationship between electrical activity of the temporal and masseter muscles, bite force, and morphological facial index. *CoDAS*, 28(4), 409–416. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20162014233>
- Mendle, J., Beltz, A. M., Carter, R., & Dorn, L. D. (2019). Understanding puberty and its measurement: ideas for research in a new generation. *Journal of Research on Adolescence*, 29(1), 82–95. <https://doi.org/10.1111/JORA.12371>
- Mishra, P. (2020). Application of Z-scores in assessment of growth and nutritional status in children. *Medical Economics*, 6.
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.JDSR.2013.07.004>
- Mladenova, S., & Nikolova, M. (2005). Components of body mass and their relations during the growth period of the boys. *Proceedings from Balkan Scientific Conference of Biology, Plovdiv University Press, 2005*, 138–149.
- Molinari, L., Largo, R. H., & Prader, A. (1980). Analysis of the growth spurt at age seven (mid-growth spurt). *Helvetica Paediatrica Acta*, 35(4), 325—334.

- Moore, D. J., Durie, P. R., Forstner, G. G., & Pencharz, P. B. (1985). The assessment of nutritional status in children. *Nutrition Research*, 5, 797–799.
- Moore, R. N., Moyer, B. A., & DuBois, L. M. (1990). Skeletal maturation and craniofacial growth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 98(1), 33–40. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(90\)70029-C](https://doi.org/10.1016/0889-5406(90)70029-C)
- Moss, M. L. (2007). The differential roles of periosteal and capsular functional matrices in orofacial growth. *European Journal of Orthodontics*, 29(suppl\_1), i96–i101. <https://doi.org/10.1093/EJO/CJL097>
- Moss, M. L., & Salentijn, L. (1969a). The capsular matrix. *American Journal of Orthodontics*, 56(5), 474–490. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(69\)90209-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(69)90209-7)
- Moss, M. L., & Salentijn, L. (1969b). The primary role of functional matrices in facial growth. *American Journal of Orthodontics*, 55(6), 566–577. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(69\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(69)90034-7)
- Moss, M. L., & Young, R. W. (1960). A functional approach to craniology. *American Journal of Physical Anthropology*, 18(4), 281–292. <https://doi.org/10.1002/AJPA.1330180406>
- Moss-Salentijn, L. (1997). Melvin L. Moss and the functional matrix. *Journal of Dental Research*, 76(12), 1814–1817. <https://doi.org/10.1177/00220345970760120201>
- Moylan, A., Appelbaum, N., Clarke, J., Feather, C., Tairraz, A. F., Maconochie, I., & Darzi, A. (2019). Assessing the agreement of 5 ideal body weight calculations for selecting medication dosages for children with obesity. *JAMA Pediatrics*, 173(6), 597–598. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2019.0379>
- Muggli, E., Matthews, H., Penington, A., Claes, P., O’Leary, C., Forster, D., Donath, S., Anderson, P. J., Lewis, S., Nagle, C., Craig, J. M., White, S. M., Elliott, E. J., & Halliday, J. (2017). Association between prenatal alcohol exposure and craniofacial shape of children at 12 months of age. *JAMA Pediatrics*, 171(8), 771. <https://doi.org/10.1001/JAMAPEDIATRICS.2017.0778>
- Muscogiuri, G., Barrea, L., Faggiano, F., Maiorino, M. I., Parrillo, M., Pugliese, G., Ruggeri, R. M., Scarano, E., Savastano, S., Colao, A., & RESTARE. (2021). Obesity in Prader–Willi syndrome: Physiopathological mechanisms, nutritional and pharmacological approaches. *Journal of Endocrinological Investigation*, 44(10), 2057–2070. <https://doi.org/10.1007/s40618-021-01574-9>

- Must, A., & Anderson, S. E. (2006). Body mass index in children and adolescents: Considerations for population-based applications. *International Journal of Obesity* 2006 30:4, 30(4), 590–594. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803300>
- Mydlová, M., Dupej, J., Koudelová, J., & Velemínská, J. (2015). Sexual dimorphism of facial appearance in ageing human adults: A cross-sectional study. *Forensic Science International*, 257, 519.e1-519.e9. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.09.008>
- Myronenko, A., & Song, X. (2010). Point-set registration: coherent point drift. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(12), 2262–2275. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2010.46>
- Nádaždyová, A., Štefánková, E., & Samohýl, M. (2016). The impact of body mass index on craniofacial parameters. *Kontakt*, 18(4), e253–e257. <https://doi.org/10.1016/j.kontakt.2016.10.003>
- Nahhas, R. W., Valiathan, M., & Sherwood, R. J. (2014). Variation in timing, duration, intensity, and direction of adolescent growth in the mandible, maxilla, and cranial base: the fels longitudinal study. *The Anatomical Record*, 297(7), 1195–1207. <https://doi.org/10.1002/AR.22918>
- Nanda, R., Snodell, S. F., & Bollu, P. (2012). Transverse growth of maxilla and mandible. *Seminars in Orthodontics*, 18(2), 100–117. <https://doi.org/10.1053/J.SODO.2011.10.007>
- Neaux, D., Guy, F., Gilissen, E., Coudyzer, W., & Ducrocq, S. (2013). Covariation between midline cranial base, lateral basicranium, and face in modern humans and chimpanzees: A 3D geometric morphometric analysis. *Anatomical Record* (Hoboken, N.J. : 2007), 296(4), 568–579. <https://doi.org/10.1002/AR.22654>
- Neaux, D., Sansalone, G., Ledogar, J. A., Ledogar, S. H., Luk, T. H. Y., & Wroe, S. (2018). Basicranium and face: Assessing the impact of morphological integration on primate evolution. *Journal of Human Evolution*, 118, 43–55. <https://doi.org/10.1016/J.JHEVOL.2018.02.007>
- Neaux, D., Wroe, S., Ledogar, J. A., Ledogar, S. H., & Sansalone, G. (2019). Morphological integration affects the evolution of midline cranial base, lateral basicranium, and face across primates. *American Journal of Physical Anthropology*, 170(1), 37–47. <https://doi.org/10.1002/AJPA.23899>
- Nguyen, T., Cevidanes, L., Franchi, L., Ruellas, A., & Jackson, T. (2018). Three-dimensional mandibular regional superimposition in growing patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American*

*Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 153(5), 747–754. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2017.07.026>

- Nicholas, C. L., Kadavy, K., Holton, N. E., Marshall, T., Richter, A., & Southard, T. (2018). Childhood body mass index is associated with early dental development and eruption in a longitudinal sample from the Iowa Facial Growth Study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 154(1), 72–81. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2017.10.033>
- Nikolova, M., Mladenova, S., Boyadzhiev, D., & Paskaleva, T. (2019). Changes in body composition and skeletal robustness in 7 17 year old children and adolescents from Plovdiv Bulgaria 1998 2008. *Anthropological Researches and Studies*, 1(9), 41–53. <https://doi.org/10.26758/9.1.4>
- Ochoa, B. K., & Nanda, R. S. (2004). Comparison of maxillary and mandibular growth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 125(2), 148–159. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2003.03.008>
- Oehme, N. H. B., Roelants, M., Bruserud, I. S., Madsen, A., Bjercknes, R., Rosendahl, K., & Juliusson, P. B. (2021). Low BMI, but not high BMI, influences the timing of puberty in boys. *Andrology*, 9(3), 837–845. <https://doi.org/10.1111/ANDR.12985>
- Ogodescu, E., Popa, M., Luca, M., Igna, A., Miron, M., Martha, K., Tudor, A., & Todea, C. (2021). Updating standards of facial growth in romanian children and adolescents using the anthropometric method—a pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105288>
- Olszewska, K. (2017). Craniofacial morphology in overweight and obese orthodontic adolescent patients. *Journal of Pre-Clinical and Clinical Research*, 11(1), 42–45. <https://doi.org/10.26444/jpccr/75138>
- Opperman, L. A., Gakunga, P. T., & Carlson, D. S. (2005). Genetic factors influencing morphogenesis and growth of sutures and synchondroses in the craniofacial complex. *Seminars in Orthodontics*, 11(4), 199–208. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2005.07.004>
- Pascali, M. A., Giorgi, D., Bastiani, L., Buzzigoli, E., Henriquez, P., Matuszewski, B. J., Morales, M.-A., & Colantonio, S. (2016). Face morphology: Can it tell us something about body weight and fat? *Computers in Biology and Medicine*, 76, 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2016.06.006>



- Paschetta, C., Azevedo, S. D., González, M., Quinto-Sánchez, M., Cintas, C., Varela, H., Gómez-Valdés, J., Sánchez-Mejorada, G., & González-José, R. (2016). Shifts in subsistence type and its impact on the human skull's morphological integration. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council*, 28(1), 118–128. <https://doi.org/10.1002/AJHB.22746>
- Peng, H., & Lu, Y. (2012). Model selection in linear mixed effect models. *Journal of Multivariate Analysis*, 109, 109–129. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2012.02.005>
- Phillips, S., Edlbeck, A., Kirby, M., & Goday, P. (2007). Ideal body weight in children. *Nutrition in Clinical Practice*, 22(2), 240–245. <https://doi.org/10.1177/0115426507022002240>
- Pike, J. B. (1968). A serial investigation of facial and statural growth in seven to twelve year old children. *The Angle Orthodontist*, 38(1), 63–73. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1968\)038<0063:ASIOFA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1968)038<0063:ASIOFA>2.0.CO;2)
- Piombino, P., Esposito, E., Committeri, U., Barone, S., Arena, A., Cataldo, R., Carraturo, E., Vaira, L. A., De Riu, G., Mariniello, D., & Califano, L. (2023). Facial soft tissue thickness measurement method and relationship with BMI, age and sex. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 124(4), 101420. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2023.101420>
- Pirgousis, P., Brown, D., & Fernandes, R. (2013). Digital measurements of 120 mandibular angles to determine the ideal fibula wedge osteotomy to re-create the mandibular angle for microvascular reconstruction. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 71(12), 2169–2175. <https://doi.org/10.1016/J.JOMS.2013.05.005>
- Precious, D., & Delaire, J. (1987). Balanced facial growth: A schematic interpretation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 63(6), 637–644. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(87\)90360-4](https://doi.org/10.1016/0030-4220(87)90360-4)
- Primožic, J., Perinetti, G., Contardo, L., & Ovsenik, M. (2017). Facial soft tissue changes during the pre-pubertal and pubertal growth phase: A mixed longitudinal laser-scanning study. *European Journal of Orthodontics*, 39(1), 52–60. <https://doi.org/10.1093/EJO/CJW008>
- Probst, F., Bobst, C., & Lobmaier, J. S. (2016). Testosterone-to-oestradiol ratio is associated with female facial attractiveness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 69(1), 89–99. <https://doi.org/10.1080/17470218.2015.1024696>

- Reilly, J. J. (2006). Diagnostic accuracy of the BMI for age in paediatrics. *International Journal of Obesity* 2006 30:4, 30(4), 595–597. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803301>
- Reinehr, T., Lindberg, A., Toschke, C., Cara, J., Chrysis, D., & Camacho-Hübner, C. (2016). Weight gain in Turner syndrome: Association to puberty induction? – longitudinal analysis of KIGS data. *Clinical Endocrinology*, 85(1), 85–91. <https://doi.org/10.1111/cen.13044>
- Remer, T., Boye, K. R., Hartmann, M. F., Neu, C., Schoenau, E., Manz, F., & Wudy, S. A. (2004). Adrenal steroid hormones and metaphyseal bone in children. *Hormone Research*, 62(5), 221–226. <https://doi.org/10.1159/000081349>
- Remer, T., & Manz, F. (2001). The midgrowth spurt in healthy children is not caused by adrenarche. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 86(9), 4183–4186. <https://doi.org/10.1210/JCEM.86.9.7862>
- Reynolds, M., Reynolds, M., Adeeb, S., & El-Bialy, T. (2011). 3-D volumetric evaluation of human mandibular growth. *The Open Biomedical Engineering Journal*, 5(1), 83. <https://doi.org/10.2174/1874120701105010083>
- Richmond, S., Howe, L. J., Lewis, S., Stergiakouli, E., & Zhurov, A. (2018). Facial genetics: A brief overview. *In Frontiers in Genetics* (Vol. 9, Issue OCT). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00462>
- Richmond, S., Wilson-Nagrani, C., Zhurov, A., Farnell, D., Galloway, J., Ali, A. S. M., Pirttiniemi, P., & Katic, V. (2018). Factors influencing facial shape. *Evidence-Based Orthodontics*, 69–81. <https://doi.org/10.1002/9781119289999.CH6>
- Ritzén, E. M., Nilsson, O., Grigelioniene, G., Holst, M., Sävendahl, L., & Wroblewski, J. (2000). Estrogens and human growth. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 74(5), 383–386. [https://doi.org/10.1016/S0960-0760\(00\)00116-3](https://doi.org/10.1016/S0960-0760(00)00116-3)
- Rogol, A. D., Clark, P. A., & Roemmich, J. N. (2000). Growth and pubertal development in children and adolescents: Effects of diet and physical activity. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(2), 521S–528S. <https://doi.org/10.1093/AJCN/72.2.521S>
- Rogol, A. D., Roemmich, J. N., & Clark, P. A. (2002). Growth at puberty. *Journal of Adolescent Health*, 31(6 suppl.), 192–200. [https://doi.org/10.1016/S1054-139X\(02\)00485-8](https://doi.org/10.1016/S1054-139X(02)00485-8)
- Roosenboom, J., Hens, G., Mattern, B. C., Shriver, M. D., & Claes, P. (2016). Exploring the underlying genetics of craniofacial morphology through various sources of

knowledge. *BioMed Research International*, 2016.  
<https://doi.org/10.1155/2016/3054578>

- Roosenboom, J., Indencleef, K., Lee, M. K., Hoskens, H., White, J. D., Liu, D., Hecht, J. T., Wehby, G. L., Moreno, L. M., Hodges-Simeon, C., Feingold, E., Marazita, M. L., Richmond, S., Shriver, M. D., Claes, P., Shaffer, J. R., & Weinberg, S. M. (2018). SNPs associated with testosterone levels influence human facial morphology. *Frontiers in Genetics*, 9. <https://doi.org/10.3389/FGENE.2018.00497>
- Rusek, W., Baran, J., Leszczak, J., Adamczyk, M., Baran, R., Weres, A., Ingot, G., Czenczek-Lewandowska, E., & Pop, T. (2021). Changes in children's body composition and posture during puberty growth. *Children* (Basel, Switzerland), 8(4). <https://doi.org/10.3390/CHILDREN8040288>
- Şahin, M., & Aybek, E. (2019). Jamovi: An easy to use statistical software for the social scientists. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 6, 670–692. <https://doi.org/10.21449/ijate.661803>
- Sajid, M., Shafique, T., Riaz, I., Imran, M., Jabbar Aziz Baig, M., Baig, S., & Manzoor, S. (2018). Facial asymmetry-based anthropometric differences between gender and ethnicity. *Symmetry*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/sym10070232>
- Sanders, J. O., Qiu, X., Lu, X., Duren, D. L., Liu, R. W., Dang, D., Menendez, M. E., Hans, S. D., Weber, D. R., & Cooperman, D. R. (2017). The uniform pattern of growth and skeletal maturation during the human adolescent growth spurt. *Scientific Reports* 2017 7:1, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16996-w>
- Schaefer, K., Fink, B., Mitteroecker, P., Neave, N., & Bookstein, F. (2006). Visualizing facial shape regression upon 2nd to 4th digit ratio and testosterone. *Collegium Antropologicum*, 29, 415–419.
- Scheuer, L., & Black, S. M. (2000). Developmental juvenile osteology. 587.
- Schuh, A., Kupczik, K., Gunz, P., Hublin, J. J., & Freidline, S. E. (2019). Ontogeny of the human maxilla: A study of intra-population variability combining surface bone histology and geometric morphometrics. *Journal of Anatomy*, 235(2), 233–245. <https://doi.org/10.1111/JOA.13002>
- Scott, J. H. (1954). The growth of the human face. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*. 1954;47(2):91-100. <https://doi.org/10.1177/003591575404700203>
- Scott, J. H. (1962). The growth of the cranio-facial skeleton. *Irish Journal of Medical Science*, 438(6), 276–286. <https://doi.org/10.1007/BF02957018>

- 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), 182.e1-182.e7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.04.050>
- 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), 115.e1-115.e8. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.12.010>
- Shah, T., Thaker, M., & Menon, S. (2015). Assessment of cephalic and facial indices: A proof for ethnic and sexual dimorphism. *Journal of Forensic Science & Criminology*, 2. <https://doi.org/10.15744/2348-9804.2.401>
- Šidlauskas, M., Šalomskiene, L., Andriuškevičiute, I., Šidlauskiene, M., Labanauskas, Z., Vasiliauskas, A., Kupčinskas, L., Juzenas, S., & Šidlauskas, A. (2016). Heritability of mandibular cephalometric variables in twins with completed craniofacial growth. *European Journal of Orthodontics*, 38(5), 493–502. <https://doi.org/10.1093/EJO/CJV062>
- Siervogel, R. M., Demerath, E. W., Schubert, C., Remsberg, K. E., Chumlea, W. C., Sun, S., Czerwinski, S. A., & Towne, B. (2003). Puberty and body composition. *Hormone Research*, 60(suppl. 1), 36–45. <https://doi.org/10.1159/000071224>
- Silva, C. A. D., Mendes, D. dos S., Oliveira, E., Almeida, H. A., & Ascenso, R. M. T. (2014). BodyShifter – software to determine and optimize an individual’s somatotype. *Procedia Technology*, 16, 1456–1461. <https://doi.org/10.1016/J.PROTCY.2014.10.165>
- Skomina, Z., Verdenik, M., & Hren, N. I. (2020). Effect of aging and body characteristics on facial sexual dimorphism in the Caucasian Population. *PloS One*, 15(5), e0231983. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231983>
- Šmahel, Z. (2001). Principy, teorie a metody auxologie (1st ed.).
- Smartt, J. M., Low, D. W., & Bartlett, S. P. (2005). The pediatric mandible: I. A primer on growth and development. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 116(1), 258. <https://doi.org/10.1097/01.PRS.0000169940.69315.9C>
- Smith, M. J. L., Perrett, D. I., Jones, B. C., Cornwell, R. E., Moore, F. R., Feinberg, D. R., Boothroyd, L. G., Durrani, S. J., Stirrat, M. R., Whiten, S., Pitman, R. M., & Hillier, S. G. (2006). Facial appearance is a cue to oestrogen levels in women. *Proceedings Biological Sciences*, 273(1583), 135–140. <https://doi.org/10.1098/RSPB.2005.3296>

- Smith, O. A. M., Nashed, Y. S. G., Duncan, C., Pears, N., Profico, A., & O'Higgins, P. (2021). 3D modeling of craniofacial ontogeny and sexual dimorphism in children. *Anatomical Record*, 304(9), 1918–1926. <https://doi.org/10.1002/AR.24582>
- Sobiesk, J. L., & Munakomi, S. (2022). Anatomy, head and neck, nasal cavity. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544232/>
- Soliman, A. T., Sanctis, V. D., Elalaily, R., & Bedair, S. (2014). Advances in pubertal growth and factors influencing it: Can we increase pubertal growth? *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 18(suppl 1), S53. <https://doi.org/10.4103/2230-8210.145075>
- Springate, S. D. (2012). A re-investigation of the relationship between head posture and craniofacial growth. *European Journal of Orthodontics*, 34(4), 397–409. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjq131>
- Sutherland, K., Weichard, A. J., Davey, M. J., Horne, R. S., Cistulli, P. A., & Nixon, G. M. (2020). Craniofacial photography and association with sleep-disordered breathing severity in children. *Sleep & Breathing = Schlaf & Atmung*, 24(3), 1173–1179. <https://doi.org/10.1007/s11325-019-01928-x>
- Suttie, M., Foroud, T., Wetherill, L., Jacobson, J. L., Molteno, C. D., Meintjes, E. M., Hoyme, H. E., Khaole, N., Robinson, L. K., Riley, E. P., Jacobson, S. W., & Hammond, P. (2013). Facial dysmorphism across the fetal alcohol spectrum. *Pediatrics*, 131(3), e779. <https://doi.org/10.1542/PEDS.2012-1371-/DCSUPPLEMENTAL>
- Taner, L., Gürsoy, G. M., & Uzuner, F. D. (2019). Does gender have an effect on craniofacial measurements? *Turkish Journal of Orthodontics*, 32(2), 59–64. <https://doi.org/10.5152/TurkJOrthod.2019.18031>
- The jamovi project (2024). (n.d.). The jamovi project (2024). Jamovi (Version 2.5) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>
- Thilander, B. (1995). Basic mechanisms in craniofacial growth. *Acta Odontologica Scandinavica*, 53(3). <https://doi.org/10.3109/00016359509005964>
- Tineshev, S. A. (2010). Age dynamics and secular changes of indices characterizing the neurocranium and facial cranium in ethnic Bulgarian 7-17-year-old children from the region of the Eastern Rhodopes. *Folia Medica*, 52(4), 32–38. <https://doi.org/10.2478/V10153-010-0015-0>

- Tomova, A., Robeva, R., & Kumanov, P. (2015). Influence of the body weight on the onset and progression of puberty in boys. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 28(7–8), 859–865. <https://doi.org/10.1515/jpem-2014-0363>
- Trivedi, H., Azam, A., Tandon, R., Chandra, P., Kulshrestha, R., & Gupta, A. (2017). Correlation between morphological facial index and canine relationship in adults – An anthropometric study. *Journal of Orofacial Sciences*, 9, 16. [https://doi.org/10.4103/jofs.jofs\\_50\\_16](https://doi.org/10.4103/jofs.jofs_50_16)
- Tsagkrasoulis, D., Hysi, P., Spector, T., & Montana, G. (2017). Heritability maps of human face morphology through large-scale automated three-dimensional phenotyping. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/SREP45885>
- Tse, W. Y., Hindmarsh, P. C., & Brook, C. G. D. (1989). The infancy-childhood-puberty model of growth: Clinical aspects. *Acta Paediatrica Scandinavica. Supplement*, 356(356), 38–43. <https://doi.org/10.1111/J.1651-2227.1989.TB11238.X>
- Ursi, W. J. S., Trotman, C.-A., Jr, J. A. M., & Behrents, R. G. (1993). Sexual dimorphism in normal craniofacial growth. *The Angle Orthodontist*, 63(1), 47–56. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1993\)063<0047:SDINCG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1993)063<0047:SDINCG>2.0.CO;2)
- Vanco, C., Kasai, K., Sergi, R., Richards, L. C., & Townsend, G. C. (1995). Genetic and environmental influences on facial profile. *Australian Dental Journal*, 40(2), 104–109. <https://doi.org/10.1111/J.1834-7819.1995.TB03124.X>
- VanItallie, T. B., Yang, M. U., Heymsfield, S. B., Funk, R. C., & Boileau, R. A. (1990). Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: Potentially useful indicators of nutritional status. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 52(6), 953–959. <https://doi.org/10.1093/AJCN/52.6.953>
- Velemínská, J., Fleischmannová, N., Suchá, B., Dupej, J., Bejdová, Š., Kotěrová, A., & Brůžek, J. (2021). Age-related differences in cranial sexual dimorphism in contemporary Europe. *International Journal of Legal Medicine*, 135(5), 2033–2044. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02547-6>
- Velemínská, J., Jaklová, L. K., Kočandrlová, K., Hoffmannová, E., Koudelová, J., Suchá, B., & Dupej, J. (2022). Three-dimensional analysis of modeled facial aging and sexual dimorphism from juvenile to elderly age. *Scientific Reports*, 12(1), 21821. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26376-8>
- Venugopalan, S. R., & Otterloo, E. V. (2021). The skull's girder: A brief review of the cranial base. *Journal of Developmental Biology*, 9(1), 1–17. <https://doi.org/10.3390/JDB9010003>

- Verdonck, A., Gaethofs, M., Carels, C., & de Zegher, F. (1999). Effect of low-dose testosterone treatment on craniofacial growth in boys with delayed puberty. *European Journal of Orthodontics*, 21(2), 137–143. <https://doi.org/10.1093/ejo/21.2.137>
- Vicente, A., Bravo-González, L.-A., López-Romero, A., Muñoz, C. S., & Sánchez-Meca, J. (2020). Craniofacial morphology in down syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 10(1), 19895. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76984-5>
- Vignerová, J., Humeníkova, L., Brabec, M., Riedlová, J., & Bláha, P. (2007). Long-term changes in body weight, BMI, and adiposity rebound among children and adolescents in the Czech Republic. *Economics & Human Biology*, 5(3), 409–425. <https://doi.org/10.1016/J.EHB.2007.07.003>
- Vinay, G., Gowri, S. R. M., & Anbalagan, J. (2013). Sex Determination of Human Mandible Using Metrical Parameters. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*, 7(12), 2671. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2013/7621.3728>
- von Cramon-Taubadel, N., Frazier, B. C., & Lahr, M. M. (2007). The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: Theory, methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology*, 134(1), 24–35. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20616>
- Vora, S. R., Tam, S., Katsube, M., Pliska, B., & Heda, K. (2022). Craniofacial form differences between obese and nonobese children. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 162(5), 744-752.e3. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2021.07.018>
- Wagner, G. P., Pavlicev, M., & Cheverud, J. M. (2007). The road to modularity. *Nature Reviews Genetics* 2007 8:12, 8(12), 921–931. <https://doi.org/10.1038/nrg2267>
- Wang, X., Xing, K. H., Qi, J., Guan, Y., & Zhang, J. (2013). Analysis of the relationship of insulin-like growth factor-1 to the growth velocity and feeding of healthy infants. *Growth Hormone & IGF Research: Official Journal of the Growth Hormone Research Society and the International IGF Research Society*, 23(6), 215–219. <https://doi.org/10.1016/J.GHIR.2013.08.001>
- Weber, D. R., Leonard, M. B., & Zemel, B. S. (2012). Body composition analysis in the pediatric population. *Pediatric Endocrinology Reviews : PER*, 10(1), 130.
- Wei, C., & Gregory, J. W. (2009). Physiology of normal growth. *Paediatrics and Child Health*, 19(5), 236–240. <https://doi.org/10.1016/J.PAED.2009.02.007>

- Weinberg, S. M., Parsons, T. E., Marazita, M. L., & Maher, B. S. (2013). Heritability of face shape in twins: A preliminary study using 3d stereophotogrammetry and geometric morphometrics. *Dentistry 3000*, 1(1), 7–11. <https://doi.org/10.5195/D3000.2013.14>
- Weinberg, S. M., Parsons, T. E., Raffensperger, Z. D., & Marazita, M. L. (2015). Prenatal sex hormones, digit ratio, and face shape in adult males. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 18(1), 21. <https://doi.org/10.1111/OCR.12055>
- Welbury, R., Duggal, M. S., & Hosey, M. T. (2018). Paediatric dentistry. <https://doi.org/10.1093/OSO/9780198789277.001.0001>
- Wells, J. C. K. (2000). A Hattori chart analysis of body mass index in infants and children. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders : Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 24(3), 325–329. <https://doi.org/10.1038/SJ.IJO.0801132>
- Wen, Y. F., Wong, H. M., & McGrath, C. P. (2017). A longitudinal study of facial growth of Southern Chinese in Hong Kong: Comprehensive photogrammetric analyses. *PLOS ONE*, 12(10), e0186598. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186598>
- WHO, W. H. (2006). WHO child growth standards: Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age: Methods and development. *World Health Organisation*, 1–312.
- Wiesnerová, M. (2023). Analýza formy a tvaru obličeje dětí od narození do věku 2 let. <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/185421>
- Wilderman, A., Oudenhove, J., Kron, J., Noonan, J. P., & Cotney, J. (2018). High-resolution epigenomic atlas of human embryonic craniofacial development. *Cell Reports*, 23(5), 1581–1597. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2018.03.129>
- Wilkinson, C. (2010). Facial reconstruction – anatomical art or artistic anatomy? *Journal of Anatomy*, 216(2), 235. <https://doi.org/10.1111/J.1469-7580.2009.01182.X>
- Windhager, S., Patocka, K., & Schaefer, K. (2013). Body fat and facial shape are correlated in female adolescents. *American Journal of Human Biology*, 25(6), 847–850. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22444>
- Wood, C. L., Lane, L. C., & Cheetham, T. (2019). Puberty: normal physiology (brief overview). *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 33(3), 101265. <https://doi.org/10.1016/J.BEEM.2019.03.001>



- Woodside, D. G., & Linder-Aronson, S. (1979). The channelization of upper and lower anterior face heights compared to population standard in males between ages 6 to 20 years. *European Journal of Orthodontics*, 1(1), 25–40. <https://doi.org/10.1093/ejo/1.1.25>
- Yakar, S., & Isaksson, O. (2016). Regulation of skeletal growth and mineral acquisition by the GH/IGF-1 axis: Lessons from mouse models. *Growth Hormone & IGF Research : Official Journal of the Growth Hormone Research Society and the International IGF Research Society*, 28, 26–42. <https://doi.org/10.1016/J.GHIR.2015.09.004>
- Yavuz, I., Ikbal, A., Baydaş, B., & Ceylan, I. (2004). Longitudinal posteroanterior changes in transverse and vertical craniofacial structures between 10 and 14 years of age. *The Angle Orthodontist*, 74(5), 624–629. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2004\)074<0624:LPCITA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2004)074<0624:LPCITA>2.0.CO;2)
- Yesmin, T., Urmi, S., Wai, M., Zaini, F., & Azwan, K. (2014). A study of facial index among malay population. *Journal of Anthropology*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/726974>
- Zacharias, L., & Rand, W. M. (1986). Adolescent growth in weight and its relation to menarche in contemporary American girls. *Annals of Human Biology*, 13(4), 369–386. <https://doi.org/10.1080/03014468600008551>
- Zheng, X., Ding, S., Mei, Q., Wu, C., Zhang, Q., Fu, C., Han, Q., Jin, S., Yu, R., Yu, M., Ye, Z., Shen, J., Xu, J., Liu, X., & Wu, T. (2024). A cross-sectional study: Correlation of forehead morphology and dentoskeletal malocclusion in Chinese people. *BMC Oral Health*, 24(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03795-1>
- Zoetis, T., Tassinari, M. S., Bagi, C., Walthall, K., & Hurtt, M. E. (2003). Species comparison of postnatal bone growth and development. *Birth Defects Research. Part B, Developmental and Reproductive Toxicology*, 68(2), 86–110. <https://doi.org/10.1002/BDRB.10012>