

Univerzita Palackého v Olomouci

Lékařská fakulta

Klinika zubního lékařství



**Asociace mezi růstovými změnami obličeje a vývojem
výšky a váhy u dětí. Výskyt nedignostikovaných
ortodontických anomálií na základních školách
Olomouckého kraje**

Disertační práce

Studijní obor:

Stomatologie

Autor práce:

MDDr. Petra Kamínková

Vedoucí práce:

prof. Piotr Fudalej, DDS, MSD, Ph.D.

Olomouc 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Asociace mezi růstovými změnami obličeje a vývojem výšky a váhy u dětí. Výskyt nedagnostikovaných ortodontických anomálií na základních školách Olomouckého kraje“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny použité zdroje.

V Olomouci dne

.....

MDDr. Petra Kamínková

Poděkování

Ráda bych poděkovala mému školiteli prof. Piotru Fudalejovi, DDS, MSD, Ph.D. za odborné vedení a konzultace v průběhu studia. Dále děkuji prof. MUDr. Milanu Kamínkovi, DrSc. a MDDr. Peterovi Dírerovi za podporu a cenné teoretické a praktické rady.

Obsah

1	Úvod a cíle práce.....	7
	Seznam zkratk	9
2	Teoretická část.....	10
2.1	Anatomie obličeje a hlavy.....	10
2.2	Růst a vývoj.....	13
2.2.1	Definice a fáze růstu.....	13
2.2.2	Prenatální vývoj obličeje.....	15
2.2.3	Postnatální vývoj a růst obličeje.....	19
2.2.3.1	Růstové změny v oblasti kraniofaciálního komplexu	20
2.2.3.2	Mechanismus růstu kostí.....	22
2.2.3.3	Růst očí, čela, tváří a nosu.....	23
2.2.3.4	Růst horní čelisti	24
2.2.3.5	Růst dolní čelisti	25
2.2.3.6	Teorie kontroly kraniofaciálního růstu	26
2.2.3.6.1	Genetická teorie	26
2.2.3.6.2	Teorie funkční matrix (Mossova)	27
2.2.3.6.3	Teorie servosystému	29
2.2.4	Pubertální růstový spurt.....	29
2.2.4.1	Endokrinní regulace kraniofaciálního růstu.....	31
2.2.4.2	Pubertální růstový spurt v oblasti kraniofaciálních struktur.....	32
2.2.4.3	Skeletální věk.....	32
2.2.4.4	Pohlavní vyspělost.....	40
2.2.4.5	Zubní věk.....	41
2.2.4.6	Tělesný růstový spurt a růst obličejových struktur.....	43
2.3	Metody používané k výzkumu růstu obličeje	46
2.3.1	Antropometrie.....	46
2.3.2	Kefalometrie a fotografie	46
2.3.3	3D zobrazovací systémy.....	47
2.3.3.1	CT a CBCT	48
2.3.3.2	Laserové skenery	48
2.3.3.3	Optické skenery	49
2.3.3.3.1	Strukturované světlo	49

2.3.3.3.2	Stereofotogrammetrie – pasivní	49
2.3.3.3.3	Stereofotogrammetrie – aktivní	51
2.4	Geometrická morfometrie	53
2.4.1	Generalizovaná Prokrastova analýza.....	54
2.4.2	Shape space a form space	54
2.4.3	Analýza hlavních komponent.....	55
2.4.4	Alometrie.....	56
2.5	Výskyt ortodontických anomálií a Svratecký program.....	58
2.5.1	Mezinárodní ortodontické indexy potřeby léčby.....	59
3	Experimentální část	61
3.1	Soubor a metodika.....	61
3.1.1	3D fotografie	62
3.1.2	Měření výšky a váhy	62
3.1.3	Intraorální vyšetření.....	62
3.1.4	Analýza 3D modelů obličeje	63
3.1.5	Zobrazení růstových změn obličeje.....	64
3.1.6	Chyba měření.....	64
3.1.7	Statistická analýza	65
3.2	Výsledky.....	67
3.2.1	Výsledky první části práce	67
3.2.1.1	Vyšetřovaný soubor	67
3.2.1.2	Chyba měření.....	67
3.2.1.3	Změna výšky a váhy	68
3.2.1.4	Obličejová variabilita.....	69
3.2.1.5	Alometrie	74
3.2.1.6	Pohlavní dimorfismus ve velikosti a tvaru obličeje.....	77
3.2.1.7	Změny obličejové velikosti a tvaru v průběhu času	78
3.2.1.8	Asociace mezi změnou velikosti a tvaru obličeje a změnou výšky a váhy.....	81
3.2.2	Výsledky druhé části práce.....	83
3.2.2.1	Demografická data.....	83
3.2.2.2	Sagitální vztah zubních oblouků.....	83
3.2.2.3	Incizální schůdek	84
3.2.2.4	Hloubka skusu	85

3.2.2.5	Záchyt neléčených ortodontických anomálií	86
3.3	Diskuze	87
3.4.1	Hodnocení první části práce	87
3.4.2	Hodnocení druhé části práce	91
3.4	Závěr	94
3.4.1	Závěr první části práce	94
3.4.2	Závěr druhé části práce	95
4	Literatura	96
	Souhrn	107
	Summary	109

1 Úvod a cíle práce

Výsledek ortodontické léčby rostoucího pacienta je závislý na změnách indukovaných terapií v kombinaci s normálním vývojem obličeje. Z tohoto důvodu je znalost obličejového růstu a vývoje podstatná pro správné plánování léčby a predikci jejích výsledků. Studium růstu obličeje však není jednoduché. Problematická je jednak jeho velká tvarová variabilita a také to, že růst v postnatálním období není homogenní. V průběhu růstu se každá z mnoha obličejových struktur vyvíjí v rozdílných rozměrech a směrech. Zejména v období pubertálního růstového spurtu je růst velmi obtížné hodnotit a předvídat. Pro porozumění změn kraniofaciální morfologie v tomto období jsou tak nezbytné longitudinální studie, které sledují vývoj od dětství do dospělosti.

V minulosti se většina růstových studií zaměřovala na růst obličejových kostí. Tyto studie k výzkumu často využívaly kefalometrické rentgenové snímky. Nedávný technologický pokrok v oblasti trojdimenzionálních zobrazovacích metod vedl k možnosti neinvazivního zachycení měkkých tkání obličeje v jejich realistické podobě ve třech dimenzích. Zejména metoda stereofotogrammetrie, která funguje na principu snímání objektu z různých úhlů pohledu dvěma nebo více synchronizovanými kamerami, se jeví být velkým přínosem.

Tato práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. V teoretické části práce nejprve shrnuji poznatky o anatomii, růstu a vývoji obličeje. Dále se zaměřuji na období pubertálního růstového spurtu v obličejí a možnosti jeho predikce. Popsány jsou také metody, které lze k výzkumu růstu a morfologie obličeje využít. Jedna kapitola se věnuje vysvětlení principu metody geometrické morfometrie, aby tak byl čtenář obeznámen s jejími nástroji a lépe pochopil experimentální část práce. Závěrečná kapitola teoretické části zmiňuje ortodontické anomálie, Svratecký program a mezinárodní ortodontické indexy potřeby léčby.

Hlavním cílem experimentální části této práce bylo zjistit, zda je možné předpovědět růst měkkých tkání obličeje podle změn výšky a váhy postavy. Na rozdíl od tvrdých tkání nebyl růst obličejových měkkých tkání vzhledem k vývoji postavy ještě dostatečně zkoumán. Doposud se jen pár studií zabývalo vztahem mezi růstem měkkých tkání obličeje a výškou postavy. Mezi ně patří studie Jandové a Urbanové, Primožicové a kol., a Burkeho a Hughes-Lawsona. Výsledky těchto několika publikovaných studií, zkoumajících vztah mezi růstem měkkých tkání a výškou postavy, nejsou jednotné. Vztah mezi růstem obličeje a změnou váhy nebyl podle našich znalostí dosud zkoumán.

Jelikož byly v rámci studie všechny subjekty vyšetřeny na přítomnost ortodontických anomálií, přišlo mi zajímavé zjistit, jaká je v populaci frekvence neléčených/nezachycených

vad. Experimentální část práce jsem rozdělila na dvě jednotlivé části. Hlavním cílem druhé části práce bylo zjistit frekvenci výskytu ortodontických anomálií neinvazivním klinickým vyšetřením u dětí na základních školách Olomouckého kraje, které dosud nebyly v ortodontické dispenzarizaci nebo léčbě. Ortodontické vyšetření u dětí v období smíšeného a na počátku stálého chrupu je důležité, neboť pro některé anomálie je indikována včasná (interceptivní) léčba. Frekvence neléčených/nezachycených vad v populaci dětí by tak mohla napovědět o stavu dentální péče v kraji.

Cíle první části práce byly:

1. Zhodnotit růstové změny povrchových měkkých tkání obličeje a jejich vztah ke změně výšky a váhy postavy. Hypotézy výzkumu byly, že změny výšky a váhy jsou úzce spojeny s velikostními a tvarovými změnami obličeje.
2. Popsat pohlavní dimorfismus vyskytující se v obličeji u dětí ve věku 6-15 let.
3. Zhodnotit změny obličejové velikosti a tvaru u dětí ve věku 6-15 let.

Cíle druhé části práce byly:

1. Určit frekvenci výskytu Angleových tříd, procentuální rozložení velikosti incizálního schůdku (IS) a hloubky skusu (HS) v populaci dětí Olomouckého kraje ve věku 6-14 let.
2. Zjistit frekvenci výskytu ortodontických anomálií podle Svrateckého programu neinvazivním klinickým vyšetřením u dětí na základních školách Olomouckého kraje ve věku 6-14 let, které dosud nebyly v ortodontické dispenzarizaci nebo léčbě.

Seznam zkratek

2D – dvojdimenzionální

3D – trojdimenzionální

CBCT – cone beam computed tomography, výpočetní tomografie kuželovým svazkem

CS – centroid size, centroidová velikost

CT – computed tomography, výpočetní tomografie

CVM – cervical vertebrae maturation method, metoda hodnocení vývoje krčních obratlů

GM – geometrická morfometrie

GPA – Generalizovaná Prokrastova analýza

HMAR – Handicapping Malocclusion Assessment Record

HS – hloubka skusu

IGF-I – insulinu podobné růstové faktory

IOTN – Index of Orthodontic Treatment Need

IS – incizální schůdek

ln CS – přirozený logaritmus centroid size

OI – Okluzální index

PC – principal component, hlavní komponenta

PCA – principal component analyses, analýza hlavních komponent

RTG – rentgen, rentgenový

SLR – single-lens reflex, zrcadlovky s vysokým rozlišením

TPS – thin-plate spline, metoda ohebných pásků

2 Teoretická část

2.1 Anatomie hlavy a obličeje

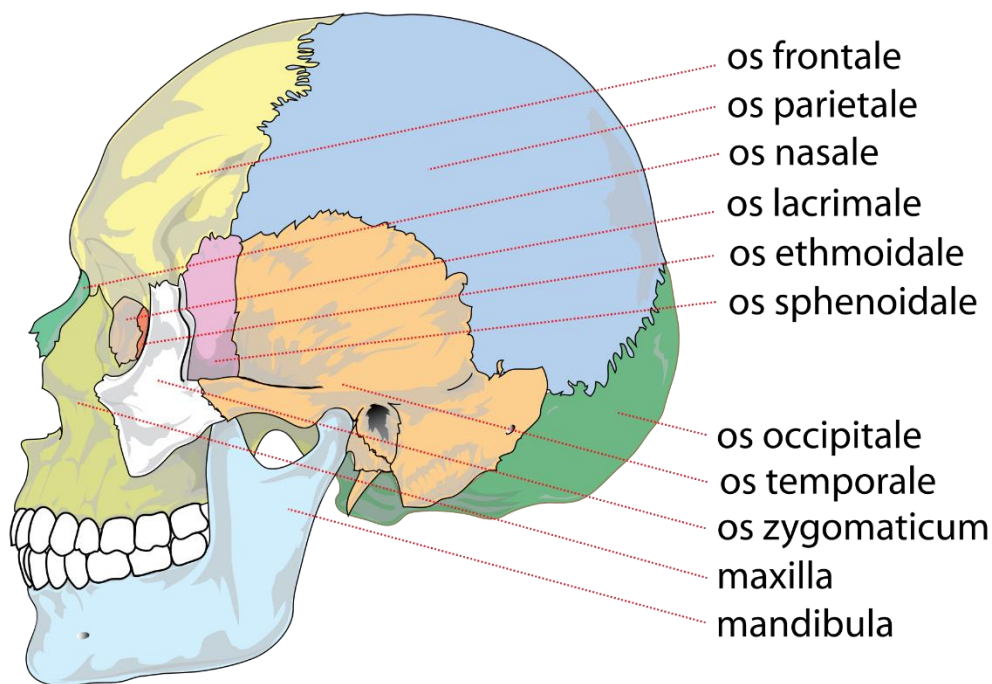
Lebka je tvořena řadou jednotlivých kostí, jež jsou vzájemně nepohyblivě spojeny. Výjimkou je pouze kloubně připojená kost dolní čelisti (mandibula). Lebku dělíme z hlediska polohy a funkce na část mozkovou – neurokranium a část obličejovou – splachnokranium (nebo viscerokranium). Obě části lebky byly původně chrupavčité, v průběhu fylogenetického vývoje se však postupně zvětšovaly a osifikovaly [1]. Neurokranium je kostěná schránka mozku a ochranné pouzdro kolem smyslových orgánů (tj. orgánu čichového, zrakového a sluchového). Splachnokranium je soubor kostí obklopujících začátek trávicí trubice. U nejnižších obratlovců mělo jako podklad chrupavčité žaberní oblouky, které byly oporou pro žábry a jejich cévy, nervy a svaly. Na vlastním splachnokranium se největším dílem účastní první žaberní oblouk [1, 2].

Růst a osifikace kostí v oblasti lebky probíhá dvěma způsoby: 1. růstem a osifikací hyalinního chrupavčitého modelu (chondrokrania) – enchondrální osifikace; a 2. přeměnou mezenchymálního vaziva a depozicí kosti na již existující kostní povrch – intramembranózní osifikace [3]. Na utváření lebky se tak podílí dvojí druh kostí: 1. kosti náhradní, chondrogenní, které vznikly osifikací chrupavky původního chrupavčitého modelu; a 2. kosti krycí, desmogenní, jež osifikují ve vazivu.

Na lebce podle způsobu osifikace rozlišujeme:

1. chondrokranium, zakládající se chrupavčité. V definitivním stavu je to většina kostí spodiny lebeční.
2. desmokranium, osifikující ve vazivu. V definitivním stavu je to většina kostí splachnokrania a klenba lební [1, 2].

Chrupavčité chondrokranium vzniká začátkem 2. měsíce vývoje plodu, kdy se začíná zahušťovat mezenchym. Koncem 2. měsíce a počátkem 3. měsíce se v těchto chrupavčitých strukturách objevuje několik osifikačních center. Současně s tímto procesem se v oblasti obličeje a o něco později i v měkkých tkáních kolem mozku vytváří několik samostatných osifikačních center, která jsou od chondrokrania zcela oddělena. Tato centra rychle rostou, srůstají ve větší jednotky a tvoří jednotlivé kosti obličeje a lebeční klenbu [3]. Během fylogeneze nestačilo původně chrupavčité neurokranium mohutně se rozvíjejícímu a zvětšujícímu se mozku, nad dorsálními částmi mozku se otevřelo a zůstaly zde jen nově se



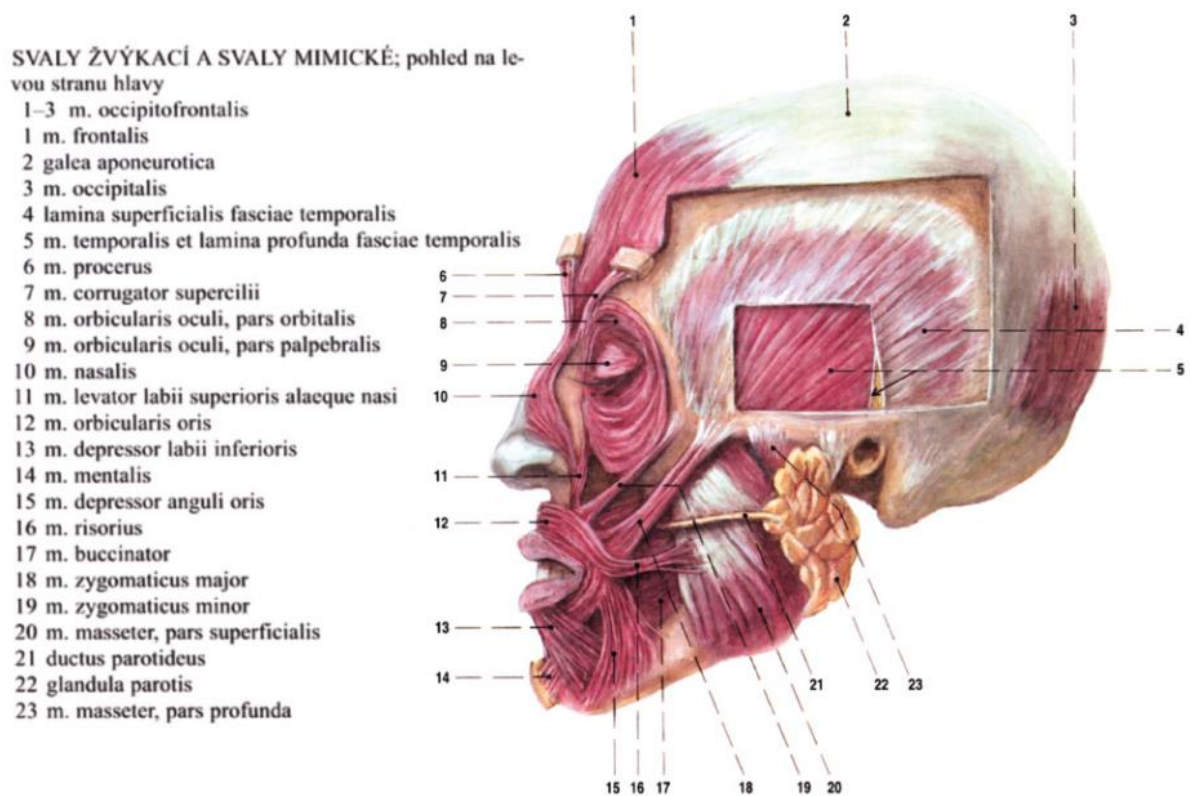
Obrázek 1. Kosti lebky (LadyofHats Mariana Ruiz Villarreal)

tvořící desmogenní krycí kosti. Původní chondrogenní náhradní kosti přetrvaly jen na spodině neurokrania [1].

Kosti obličeje patří především ke splachnokraniu, ale najdeme zde i kosti neurokrania, hlavně kost čelní (os frontale) a kost nosní (os nasale). Obličejové splachnokranium tvoří horní čelist (maxila), kost lící (os zygomaticum), kost patrová (os palatinum) a nepárová dolní čelist (mandibula).

Kosti obličeje jsou kryty svaly a dalšími měkkými tkáněmi. Tyto povrchové měkké tkáně a jejich relativní proporce mají největší vliv na celkový obličejový vzhled [4]. Svaly obličeje se dělí podle funkčních celků i podle původu na: svaly žvýkací (musculi masticatorii) a svaly mimické (musculi faciei). Žvýkací svaly jsou původem z 1. žaberního oblouku a patří k nim musculus masseter, musculus temporalis, musculus pterygoideus lateralis a musculus pterygoideus medialis. Funkce žvýkacích svalů je v elevaci mandibuly k maxile. Svaly mimické pocházejí z 2. žaberního oblouku, jsou umístěny povrchově a upínají se do kůže. Mimické svaly vytváří funkční celky a dělí se na: svaly vyskytující se kolem štěrbiny ústní, kolem štěrbiny očních víček, svaly na nose, svaly na klenbě lebeční, svaly boltce ušního a musculus buccinator – hluboká vrstva mimického svalstva [1, 2]. Kvůli svému původu je k mimickým svalům řazen i podkožní sval krku, musculus platysma, jehož obličejová část přesahuje přes

okraj dolní čelisti z krku do tváře a vplétá se mezi mimické svaly na bradě a dolním rtu [2]. Mimické svaly při funkci pohybují kůží a tím určují výraz obličeje. Prostřednictvím měnících se výrazů tváře umožňují lidem komunikaci a vyjadřování emocí [5]. S výjimkou musculus buccinator nemají mimické svaly svou vlastní fascii a jsou většinou připojeny přímo do kůže. Na hlavě tak není souvislý fasciální kryt. Žvýkácí svaly mají naopak fascie dobře vytvořené. Mezi fascií buccopharyngea a vnitřním okrajem masseteru se nachází tvářové tukové těleso, corpus adiposum buccae. To je dobře vyvinuté zejména u novorozenců [1, 2].



Obrázek 2. Svaly obličeje [2]

2.2 Růst a vývoj

2.2.1. Definice a fáze růstu

Pojem růst má široký význam a značí přechod jedné anatomické formy (tj. velikosti a tvaru) ve formu druhou. Růst je obvykle definován jako zvyšování velikosti tkání, orgánů nebo celého organismu. Pro upřesnění biologických růstových mechanismů je však vhodnější užívat termín vývoj. Vývojem rozumíme proces zrání a diferenciaci na buněčné a tkáňové úrovni, změnu funkčnosti a zvýšení specializace fyziologických částí. Oba děje se při přeměně dětského organismu v organismus dospělý vzájemně prolínají [3, 6, 7, 8].

Růst tkání je komplexní proces, při kterém probíhá vysoce diferencovaný růst dílčích částí s různou rychlostí a v rozdílných směrech. Růstový proces je primárně kontrolován geneticky, avšak rozsah, v jakém daný jedinec využije svůj potenciál k růstu, je určen vnějšími nebo environmentálními faktory. Tyto faktory zahrnují podmínky okolního prostředí, jako jsou strava, nemoci, cvičení anebo podnebí [3, 7].

V průběhu růstu se nepřetržitě mezi jednotlivými částmi organismu vytváří místní nerovnováhy. Tyto části se musí v průběhu morfogeneze neustále adaptovat, splývají v jeden funkční celek, ve kterém se při svém růstu i funkci vzájemně doplňují. Tím je v průběhu růstu zachována určitá harmonie. Dle Mossovy teorie funkční matrix (viz kapitola 2.2.3.6.2) nejsou zdrojem růstovým regulačních signálů samotné kosti, ale měkké tkáně, které je obklopují. Samostatný vývoj svalů by brzy přerostl kost, na kterou se upíná. Vznikající nerovnováhou jsou okamžitě zahájeny i růstové změny příslušných kostních tkání tak, aby byla udržena homeostáza. Dalším příkladem je růst mozku, který svou expanzí zapřičiňuje růst lebky, ve které je uložen [6, 9].

Rozlišujeme tři způsoby buněčného růstu:

- hypertrofie: zvyšování buněk na objemu;
- hyperplázie: zvyšování počtu buněk;
- sekrece extracelulární matrix: zvyšování objemu tkáně nesouvisející se zvyšováním počtu nebo velikosti buněk [10].

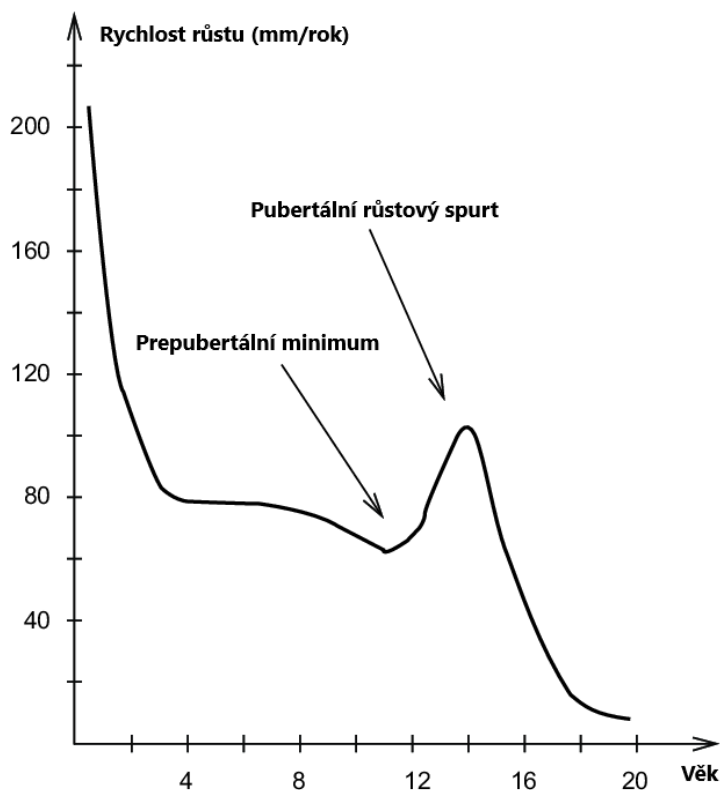
Zdravý jedinec prochází několika vývojovými fázemi. Prenatální období (od početí do narození) trvá v průměru 40 týdnů. Rané dětství (novorozenec, kojeneček, batole) zahrnuje první 3 roky života od narození. Následuje střední (4-6 let) a pozdní (7-11 let) dětství. Období dospívání má rozmezí od 12 do 18 let [7].

V literatuře zabývající se růstem lidského těla se obvykle hodnotí 3 parametry: velikost, směr a rychlost. Velikost se týká lineárních rozměrů; směr je vyjádřen vektorem zvětšení, který

může být popsán v trojrozměrné soustavě souřadnic; a rychlost je definována jako množství změny za jednotku času.

Každé růstové stádium je jedinečné. Jednotlivé části těla rostou v odlišném čase s různou rychlostí. Například velikost hlavy se velmi intenzivně zvětšuje v prenatálním a brzkém postnatálním období.

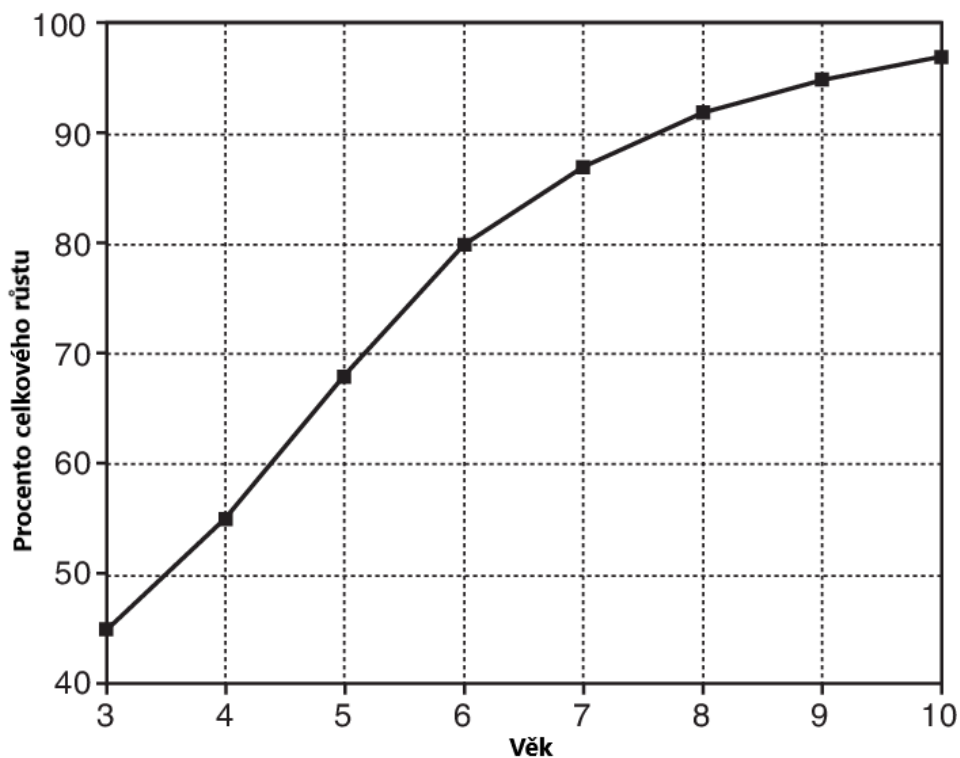
Lidský růst může být vyjádřen pomocí inkrementální (rychlostní) křivky, která znázorňuje růstové přírůstky jako funkci času (např. centimetry za rok). Inkrementální křivka je charakteristická svou výraznou periodicitou. V prenatálním období je přítomný velmi rychlý růst. V průběhu prvních dvou let po narození jeho rychlost prudce klesá a během dětského věku pokračuje relativně pomalý inkrementální růst až do dobře definovaného prepubertálního minima [7, 11]. S nástupem puberty se rychlost po dobu 2-3 let zvyšuje až do pubertálního maxima a poté klesá až do dospělosti, kdy růst končí. Načasování těchto změn představuje manifestaci fyzické vyspělosti jedince. Periodické variace jsou vzájemně propojeny, brzké prepubertální minimum bývá následováno časným pubertálním maximem a dospělostí. Tyto fáze souvisí s hormonálním vývojem jedince a bývají konzistentní v rodinách, což ukazuje na genetický vliv [11]. Křivka dosahuje svého vrcholu v době pubertálního růstového spurtu.



Obrázek 3. Inkrementální růstová křivka (Karlberg J. A biologically-oriented mathematical model (iCP) for human growth. Acta Paediatr Scand Suppl. 3 Abbreviation: iCP, infancy-childhood-puberty)

Po jeho skončení jedinec stále pokračuje v růstu, ale již mnohem pomalejším tempem až do bodu, kdy je růst ukončen. Longitudinální studie ukázaly, že vrchol růstu se u různých jedinců značně liší, ale obvykle nastává okolo 2 let po začátku puberty. Pubertální růstový spurt začíná obecně o 2 roky dříve u žen než u mužů [12].

Další možností grafického znázornění růstu je kumulativní, neboli distanční křivka. Růstové změny jsou periodicky měřeny a zaznamenány jako procenta celkového růstu. Pro kumulativní postnatální růstovou křivku jsou typická dvě období plateau a jedno období zrychleného růstu [7].



Obrázek 4. Kumulativní neboli distanční křivka (Ferguson DJ, Dean JA, 2010)

2.2.2 Prenatální vývoj obličeje

Znalost embryologie obličeje je důležitá pro porozumění vzniku normálních variací i vývojových vad obličejových struktur [13]. Významný vývoj obličejové krajiny nastává prostřednictvím řady vysoce koordinovaných a naprogramovaných událostí v době mezi 4. a 8. týdnem embryonálního vývoje. Lidské embryo ve věku 1 měsíce nemá žádný reálný obličej jako takový a jeho hlavová část je tvořena převážně mozkem pokrytým tenkou vrstvou ektodermu a mezodermu. Nicméně již v této době se začínají formovat primordia (nejranější stádia morfogeneze) struktur obličeje [5].

Pro vývoj obličejové a krční krajiny jsou charakteristické faryngové (branchiální, žaberní) oblouky, které vyrůstají v 6 párech po stranách budoucí krční krajiny [14]. Každý pravý i levý faryngový oblouk má svůj specifický nerv, arterii a mezenchym, z něhož se později vyvíjí určitá skupina svalů a embryonálních chrupavek. Svaly každého oblouku se tvoří ve spojení s jeho kostmi a jsou inervovány příslušným hlavovým nervem [5].

První faryngový oblouk se nazývá oblouk mandibulární. Z něho záhy vyrůstá maxilární výběžek. Z prvního oblouku tak vznikají zárodky pro horní a dolní čelist. Žvýkácí svaly pochází také z prvního oblouku a jsou motoricky inervovány mandibulárním nervem (V.). Chrupavkou oblouku je Meckelova chrupavka, která je zárodkem pro 2 sluchové kůstky (malleus a incus) a sphenomandibulární ligamentum. Tato chrupavka není základem pro samotnou kost mandibuly, ale tvoří jádro, kolem kterého se kost dolní čelisti tvoří intramembranózně. Chrupavka kondylu se vyvíjí samostatně ze sekundární chrupavky v pozdějším období [5, 14]. Druhý faryngový oblouk je oblouk hyoidní. Z chrupavky druhého oblouku, zvané Reichertovy, se tvoří třetí sluchová kůstka (stapes), styloidní výběžek, stylohyoidní ligamentum, dolní roh a část těla hyoidní kosti. Mezenchym tohoto oblouku dává vznik stylohyoidnímu svalu a všem mimickým svalům, které jsou inervovány specifickým nervem pro druhý faryngový oblouk – nervus facialis (VII.) [5].

Třetí a čtvrtý oblouk jsou označeny pouze číselně a jsou méně zřetelné. Pátý a šestý oblouk jsou rudimentární [14].

Tvorba základů obličejové začíná ve věku 5 týdnů kolem útvaru zvaného stomodeum. Stomodeum, místo vývoje budoucích úst, je povrchová ektodermová jamka, která je z počátku kryta orofaryngovou membránou [5, 13]. Oči se začínají tvořit po stranách hlavové části, a to ztlušťováním ektodermu (budoucí čočka) navazujícím na vychlípeninu mozku (budoucí retina). S postupným růstem mozku se oči posouvají směrem ke střední čáře a k sobě navzájem. Ve skutečnosti se však pohybují směrem od sebe, ale protože okolní části hlavy zvyšují své rozměry ještě více, proporcionální interorbitální vzdálenost se relativně zmenšuje [5].

Stomodeum je ohraničeno 5 výběžky: 2 mandibulární výběžky se nachází kaudálně, 2 maxilární laterálně a 1 frontonazální kraniálně. Nad stomodeum v laterálních částech frontonazálního výběžku se ztlušťováním povrchového ektodermu formují 2 čichové plakody, které představují základ budoucího čichového epitelu. Ty se zanořují do hloubky jako nosní jamky a kolem nich se vytváří výběžky podkovovitého tvaru – processus nasalis medialis a processus nasalis lateralis [5].

Koncem 5. týdne se nosní jamky prohlubují směrem ke stomodeu a formují nosní váčky [13]. Jejich spodinu tvoří oronasální membrána, která brzy zaniká a tím vzniká komunikace

mezi nosní a ústní dutinou [5]. Mediální nosní výběžek je výraznější než laterální a zasahuje více ventrálně a kaudálně [13]. Nepárová area triangularis, která se tvoří z mediální části původního frontonazálního výběžku, je základem pro dorsum nasi. Během 5. týdne dochází také k mediálnímu růstu maxilárních výběžků. Tím se posunují nosní váčky směrem ke střední čáře.

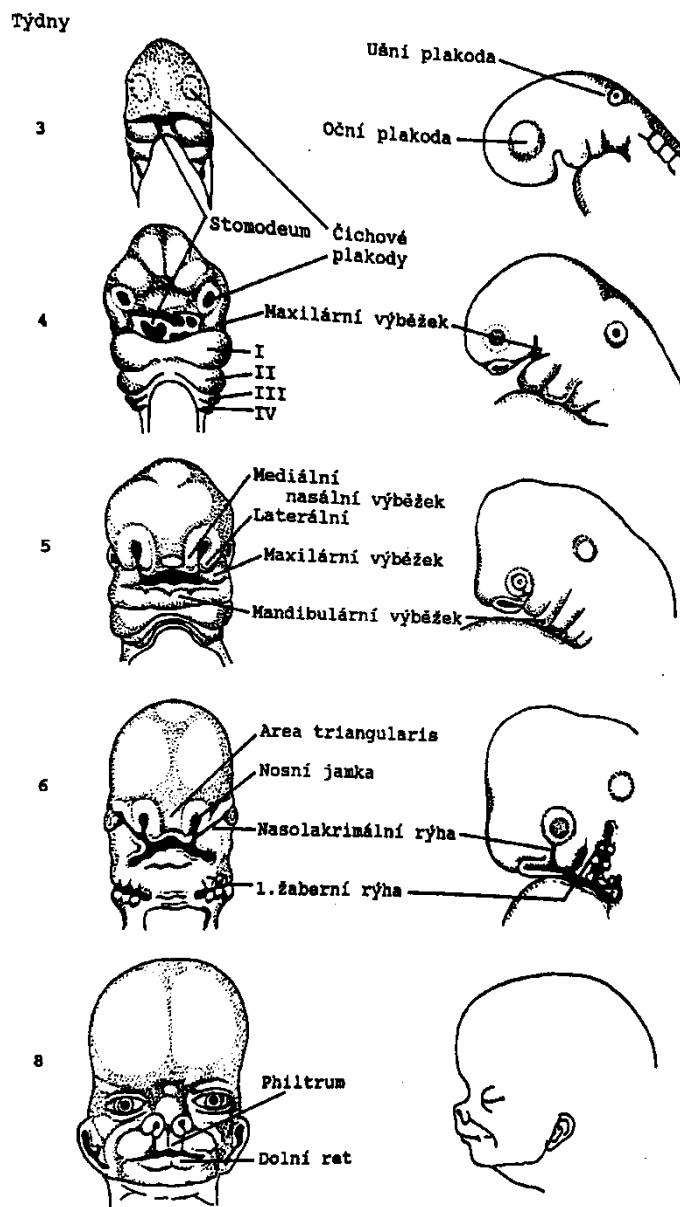
Začátkem 6. týdne vzniká vzájemným spojením mediálních nosních výběžků tzv. intermaxilární segment, který je zárodkem pro střední část nosu (columellu), filtrum horního rtu, premaxilu (řezákovou část maxily) a primární patro [5, 13, 15]. Počátkem 7. týdne se nosní dutiny otevírají anteriorně nosním otvorem a posteriorně komunikují s hltanem skrz primitivní choany. Mediální posun maxilárního výběžku vytváří laterální část horního rtu a horní tvářovou oblast [13]. Nosní septum se vyvíjí ze spojených mediálních nosních výběžků a frontonazálního výběžku kaudálním a posteriorním směrem [15].

Patro se vyvíjí během 6. až 12. týdne ze 3 základů: nepárového primárního patra a párových patrových výběžků, jejichž spojením vzniká sekundární patro [14, 15]. Z intermaxilárního segmentu vyrůstá posteriorně klínovitý trojúhelníkovitý výběžek, který tvoří primární patro [15]. Párové laterální patrové výběžky vyrůstají mediálně z maxilárních výběžků. Ty rostou nejprve směrem dolů mezi vyvíjející se jazyk a alveol. Při následném růstu čelistí v průběhu 7. a 8. týdne se jazyk posouvá kaudálně a patrové výběžky vystupují vzhůru do horizontálního postavení [14, 15]. Tyto výběžky se ventrálně spojují s trojúhelníkovitým primárním patrem. Tyto 3 útvary se spolu setkávají v bodě zvaném foramen incisivum, které představuje hranici mezi primárním a sekundárním patrem. Spojování patrových výběžků pokračuje směrem dozadu a vytváří se šev raphe palatina [14]. Tím se nosní dutina prodlužuje a posteriorní choany jsou posunovány směrem k hltanu [15]. Patrové výběžky se kraniálně spojují s nosním septem, čímž jsou vytvořeny 2 samostatné nosní dutiny [14]. Postupnou osifikací primárního a sekundárního patra vzniká tvrdé patro. Posteriorní části patrových výběžků neosifikují a jejich spojením se formuje měkké patro a uvula [15].

Během 4. a 5. týdne se postupně zvětšující mandibulární výběžky spojují ve střední čáře a tvoří základ pro dolní ret, dolní čelist a dolní část tváří. Kost mandibuly se vytváří intramembranózní osifikací kolem Meckelovy chrupavky a chrupavka kondylu se vyvíjí samostatně v pozdějším období ze sekundární chrupavky [5, 14].

Ke konci 6. týdne se ektoderm na povrchu čelistí ztlušťuje a vzniká labiogingivální lišta, která se zanořuje směrem do mezenchymu ležícího pod ní. Tato lišta později zaniká a mezi rtem a gingivou se vytváří labiogingivální rýha. Malý pozůstatek lišty zůstává ve střední čáře jako frenulum. Následně se na bukálním okraji vyvíjející se gingivy obou čelistí vytváří mezi

6. až 8. týdnem druhá ektodermální lišta – dentální. V každé čelisti dává vznik 10 kulovitým zubním pupenům, které jsou zárodky dočasných zubů. Ty jsou zanořeny v okolním mezenchymu. Zárodky pro stálou dentici se začínají objevovat ve 20. týdnu na lingvální/palatinální straně dočasných zubů. Stálé moláry nemají předchůdce v dočasném chrupu a vznikají přímo z prodloužených konců dentální lišty, kterou nazýváme náhradní lišta. Ektodermové zárodky tvoří sklovinné orgány, zatímco ostatní struktury zubu se vyvíjí z ektomezenchymu primitivních čelistí [3, 15].



Obrázek 5. Vývoj obličeje [14]

2.2.3 Postnatální vývoj a růst obličeje

Během postnatálního vývoje dochází k růstu obličeje ve 3 rovinách: vertikální (výška), transversální (šířka), a anteroposteriorní (hloubka) [16]. Vývoj tvaru a formy u jednotlivce záleží na interakci genetiky s faktory vnějšího prostředí [17]. Vzhled obličeje se také odvíjí od celkové formy a tvaru hlavy, pohlaví a věku jedince. Žádné dva obličeje nejsou úplně stejné, ani v případě jednovaječných dvojčat [18]. Obrovská variabilita se vyskytuje v jeho tvarech a proporcích nejen mezi jednotlivými rasami, ale i mezi jedinci určité etnické skupiny [19].

Rozlišujeme 2 extrémní typy tvaru hlavy: dolichocefalický (dlouhý a úzký tvar hlavy) a brachycefalický (široký a kulatý tvar hlavy).

1. Dolichocefalický tvar hlavy odpovídá úzkému, dlouhému a protruzivnímu obličej – typ leptoprosopní. Pro něho jsou charakteristické tyto znaky: hluboko a blízko u sebe umístěné oči; dlouhý, úzký a vystouplý nos; méně výrazné tváře; prudce se svažující čelo k prominující glabelle a nadočnicovým obloukům.
2. Brachycefalický tvar hlavy dává základ širokému a méně protruzivnímu obličej – typ euryprosopní. Pro něho jsou charakteristické tyto znaky: více vystouplé oči s větší interorbitální vzdáleností; kratší, širší, rovný nebo konkávní nos; vzpřímenější a kulatější čelo; prominentní a hranaté tváře.

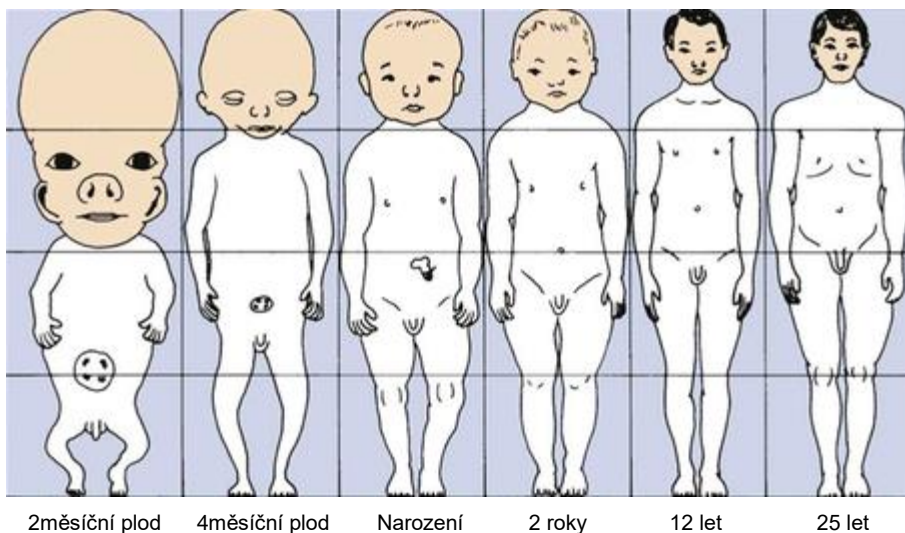
Mezi těmito extrémny se nachází typ mesocefalický, u kterého obličejové rysy odpovídají středním rozměrům mezi výše uvedenými typy. V průběhu času se v důsledku míšení populací objevil třetí antropologický typ, nazývaný jako typ dinarický, který se začal relativně často vyskytovat v různých částech světa. Kvůli jeho zploštělé zadní části je hlava předozadně krátká (brachycefalická). Přední část hlavy si však zachovala úzký tvar, který je typický pro dolichocefalický typ. Obličej je dlouhý a protruzivní, čelo se svažuje k výrazným nadočnicovým obloukům a nos je velký až orlí [5].

Výzkum růstu obličeje přináší řadu obtíží. Problematická je jednak jeho velká tvarová variabilita a také to, že růst v postnatálním období není homogenní. V průběhu růstu se každá z mnoha obličejových struktur vyvíjí v rozdílných rozměrech a směrech. Obličej dítěte tak neodpovídá pouze své menší dospělé verzi. Tento jev je nazýván alometrie [5, 20, 21]. Alometrie je věda, která studuje měnící se proporce rozměrů organismu spojených se změnou jeho velikosti. Během života prochází obličej dlouhým vývojovým procesem. V období růstu se mění především ve své formě (tj. velikosti včetně tvaru), zatímco v pozdějším období dospělosti dochází ke změně jeho textury (vznik vrásek a dalších kožních artefaktů). Intenzita růstu je také proměnlivá. Významné změny, které výrazně ovlivní jeho konečný vzhled, se odehrávají zejména v pubertálním období [22]. U žen je kraniofaciální růst prakticky dokončen

okolo 13. roku věku, zatímco u mužů pokračuje až do rané dospělosti. Pohlavní dimorfismus v obličeji je výsledkem rozdílných růstových trajektorií u mužů a žen a začíná být zřetelný kolem 13 let [5].

2.2.3.1 Růstové změny v oblasti kraniofaciálního komplexu

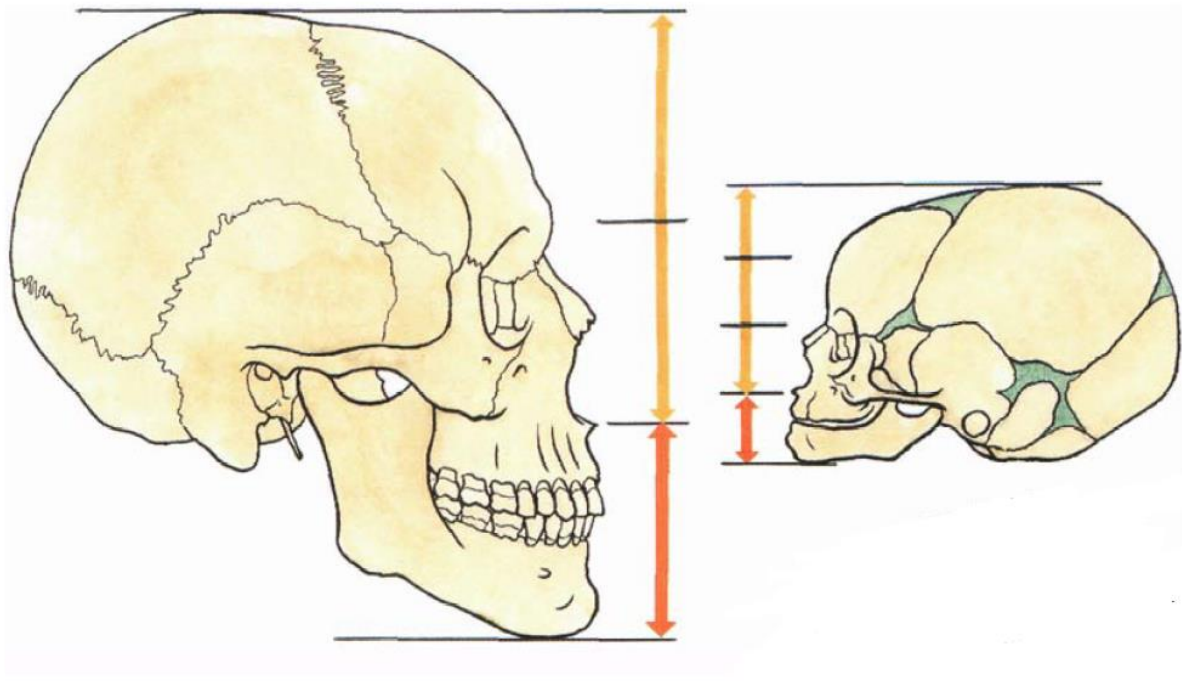
V době narození je hlava vzhledem ke zbytku těla výrazně velká a kraniofaciální skelet dosahuje již 30 až 60 % svého celkového růstu. Hlava tvoří čtvrtinu celkové délky těla, zatímco v dospělosti se podílí jen na jedné osmině [3]. Tyto změny v relativních proporcích se vztahují ke kefalokaudálnímu gradientu růstu – tzn. množství růstu se zvyšuje podél osy směřující od hlavy k nohám (Obr. 6) [23].



Obrázek 6. Změny proporcí částí těla během normálního růstu a vývoje (Robbins WJ, et al. Growth. New Haven: Yale University Press; 1982)

Lebka novorozence se liší od lebky dospělého nejen ve své velikosti, ale i v relativních poměrech rozměrů svých částí [5]. V prenatálním období dochází k rychlému růstu neurokrania, které po narození zaujímá mnohem větší část hlavy než v dospělosti. Tento rozdíl souvisí s brzkým vývojem mozku a centrálního nervového systému. V době narození jsou ploché, intramembranózně se vyvíjející kosti klenby lební od sebe navzájem široce odděleny volným vazivem. Tyto volné prostory – fontanely – umožňují značnou deformaci lebky potřebnou při porodu. Po narození jsou fontanely relativně rychle eliminovány apozicí kostí podél svých okrajů. Po mnoho let zůstávají kosti klenby lební odděleny tenkými suturami lemovanými periostem, které se v dospělosti nakonec spojují. Obličej je u novorozence malý a nízký, což je způsobeno drobnými bezzubými čelistmi. Vedlejší nosní dutiny nejsou ještě vytvořeny nebo

jsou jen sotva naznačeny [1, 3, 5, 9, 23]. Dolní čelist je nízká, poměrně přímá, s velmi tupým úhlem mezi tělem a ramenem [9]. Růst mozku se zpomaluje kolem 3. nebo 4. roku věku, ale růst kostí obličeje pokračuje po mnoho dalších let [5]. Neurokranium se v průběhu růstu zvětšuje okolo 50 %, zatímco kosti obličeje (viscerokranium) dosahují více než dvojnásobných rozměrů ve srovnání s jejich velikostí při narození [3]. Příslušné proporce se tak značně mění. Baze lební vykazuje postnatálně nejmenší růstové přírůstky, její sutury (sphenoethmoidální, sphenofrontální a ethmoidofrontální) se uzavírají do 7 let věku [9].



Obrázek 7. Lebka dospělého vs. lebka novorozence [2]

Postnatální růst obličeje probíhá nejintenzivněji vertikálním směrem, intenzivní je také směrem ventrálním [9]. Obličej dítěte se jeví poměrně široký, následné transverzální růstové změny jsou v poměru k těm vertikálním a ventrálním již velmi malé. Z tohoto důvodu jsou pro dospělého charakteristické mnohem užší obličejové proporce. Dospělí jedinci s širokým a kulatým obličejem, který je podmíněn širší a kulatější konfigurací mozku, tak mají více mladistvější vzhled [5]. Výška obličeje (nasion – gnathion) dosahuje své konečné velikosti u chlapců v 15 letech, u dívek ve 13 letech [16]. Růst čelistí do šířky je ukončen nejdříve, poté končí jejich růst do délky a nakonec růst do výšky. Růst čelistí do šířky (včetně šířky zubních oblouků) je kompletní před nástupem adolescentního růstového spurtu. Růstovým spurtem je tedy šířka čelistí ovlivněna jen minimálně, jestli vůbec [23].

Farkas [16] studoval postnatální růst obličeje jeho povrchovým měřením a zjistil, že ve věku 1 roku jsou šířka obličeje (zygion – zygion) a mandibuly (gonion – gonion) a hloubka maxily (tragus – subnasale) a mandibuly (tragus – gnathion) vzhledem k jejich dospělé velikosti více vyvinuty (72,1 % až 80,2 %) než vertikální výška obličejového profilu (66,6 % až 67,8 %). Výška obličeje (nasion – gnathion), výška horní části obličeje (nasion – stomion) a výška mandibuly (stomion – gnathion), které byly ve svém vývoji dosud limitovány, vykazují nejvyšší relativní růstové přírůstky po 1 roce věku až do dospělosti (47,8 % až 50,5 % jejich původní výšky). Šířka mandibuly, která demonstrovala pokročilý vývoj ve věku 1 roku (80,2 %), se do dospělosti zvětšila jen minimálně. Mezi 1 rokem a 5 lety věku bylo množství růstu v mandibulární šířce a výšce významně větší než po 5. roce věku do dospělosti, zatímco obličejová výška, výška horní části obličeje, obličejová šířka a maxilární a mandibulární hloubka obličeje vykazovaly významně větší přírůstky zase po 5. roce věku než mezi 1 rokem a 5 lety [16].

2.2.3.2 Mechanismus růstu kostí

Růst kostí probíhá na principu oddalování kostí v synchondrózách a suturách. Synchondrózy jsou zbytky chondrocrania přetrvávajícího mezi kostmi přední a střední lebeční báze [3]. Tyto důležité struktury růstu jsou: synchondróza mezi kostí klínovou (os sphenoidum) a týlní (os occipitalis) – spheno-occipitální synchondróza; intersphenoidní synchondróza mezi dvěma částmi sphenoidní kosti; a spheno-ethmoidální synchondróza mezi sphenoidní a etmoidální kostí [23]. Strukturou synchondróz je hyalinní chrupavka, která je schopna růstu a následné osifikace směrem k okolním kostem. Sutury vznikají po setkání dvou intramembránově vytvořených kostí. Jejich struktura je formována z vazivové tkáně, která spojuje protilehlé periostální povrchy. Zvětšování kostí je omezeno na apozici na vnějším periostálním nebo na vnitřním endostálním povrchu. Oproti tomu se chrupavka může zvětšovat jednak na svém povrchu, tak i množением buněk a produkcí matrix uvnitř chrupavčité tkáně. Stejně jako měkké tkáně je tedy chrupavka schopna intersticiálního růstu [3].

Remodelace kostí souvisí s koordinovanou aktivitou dvou typů buněk. Osteoblasty tvoří kost na jednom povrchu a osteoklasty odbourávají kost na povrchu opačném. Tento mechanismus vede ke zvětšování kostí a jejich následném pohybu ve směru formujícího se povrchu kosti [24]. Remodelace slouží k udržení tvaru a proporcí kostí v průběhu růstového období. V důsledku probíhající apozice a resorpce protilehlých povrchů kost vzhledem k stabilním strukturám migruje. Tato migrace způsobená remodelací se označuje jako drift. Příkladem pasivního driftu je tvrdé patro, které klesá kvůli probíhající resorpci na nasální straně

a současné apozici na orální straně. Zároveň se celá horní čelist posouvá vzhledem k bazi lební směrem dolů. Tento pohyb celé kosti je nazýván jako translace neboli displacement [3]. Dělí se na primární displacement – způsobený vlastním růstem kosti a na sekundární displacement – následek růstu okolních kostí [10].

2.2.3.3 Růst očí, čela, tváří a nosu

Oči malého dítěte se zdají být vzhledem ke zbytku obličeje značně velké. Očnice a její měkké tkáně rostou dříve než nos a čelisti, které rostou mnohem výrazněji v pozdějším věku. Oči jsou u novorozence posazené daleko od sebe a mezi nimi se nachází široký a nízký kořen nosu. V pozdějším vývoji se sice oči posouvají v malém rozsahu dál od sebe, u dospělého jedince však není tato vzdálenost o mnoho větší, než je tomu u dítěte [5].

Čelo je v dětském věku velké a vysoké, protože obličej pod ním je stále relativně malý. Je také přímé a vypouklé, zatímco u dospělého je mnohem více skloněno (množství sklonu je dáno pohlavím a rasou). V průběhu růstu se zbytek obličeje zvětšuje mnohem více než samotné čelo, jehož proporcionální velikost se tak redukuje [5].

Dětský obličej je relativně plochý a široký a laterální okraj očnice s lící kostí vystupují vpřed. Tento dojem je ještě umocněn tukovým polštářem v hypodermis tvářové krajiny charakteristickým pro dětský věk. Regresivní způsob růstu v těchto oblastech tváře vede k jejich méně prominujícímu postavení v dospělosti. Ačkoliv je lící kost v dětství prominentní, je drobná a křehká ve srovnání se svou podobou po ukončení růstu. Protrusivní způsob růstu nosu a supraorbitálních částí obličeje má za následek relativně vyčnívající čelo a nos v porovnání s retrusivně rostoucími lícími kostmi a laterálními okraji očnice. Tímto způsobem vzniká hloubka obličeje, která je markantnější u mužů [5].

U novorozence a malého dítěte může být nos pro svůj tvar nazýván jako „pršáček“ – je vertikálně krátký a dopředu vystupuje jen velmi málo. V závislosti na etnickém původu jedince je u dospělého spodní část nosu proporcionálně mnohem širší a o dost více prominentní [5]. Úroveň nosní spodiny leží u novorozence zhruba v úrovni spodního okraje očnice [15]. Z důvodu rozsáhlého růstu nosních dutin je v dospělosti střední část obličeje daleko větší a úroveň nosní spodiny je značně pod spodním okrajem očnice [5]. Růst nosní kosti je kompletní okolo 10 let věku, poté pokračuje růst nosní chrupavky a měkkých tkání nosu, které podstupují značný adolescentní spurt [23]. Růst nosu je mezi jednotlivci extrémně variabilní, ale průměrně je rychlost jeho růstu v průběhu adolescence o 25 % větší než rychlost růstu maxily [23]. Růst nosu se zdá být do určitého rozsahu spojen se skeletálním růstem, ale růst měkkých tkání je pravděpodobně hlavním faktorem zodpovídajícím za velikostní rozdíly mezi

pohlavími. Zatímco dívky po 12. roce věku ukazují pokles rychlosti růstu nosu, u chlapců naopak dochází k jejímu zvýšení [25].

2.2.3.4 Růst horní čelisti

Postnatální vývoj horní čelisti probíhá zcela intramembranózní osifikací. Za růst maxily jsou zodpovědné dva mechanismy: 1) apozice kostí v suturách spojujících maxilu s mozkovnou a bází lební a 2) povrchová remodelace kosti [23]. Během růstu dochází k posunu horní čelisti směrem dopředu a dolů od baze lební. Tento posun je zapříčiněn růstovými změnami (apozicí kostí) v suturách (tj. sutura frontomaxilární, zygomaticomaxilární a pterygopalatinální) [3, 9]. Povrchové změny v oblasti maxily jsou však poměrně velké a neméně důležité. Tyto povrchové změny se mohou k růstu v suturách buď přičítat nebo naopak od nich odečítat, a to mechanismem apozice nebo resorpce. Maxila je také posunována směrem dopředu růstem za ní se nacházející kraniální baze [23]. Vzhledem k přední bazi lební je vertikální růst maxily kombinací jednak posunu (displacementu) celé maxily směrem dolů a jednak přítomností remodelace na povrchu kosti [3]. Kranialní baze roste až do 6. roku věku. Okolo 7 let se růst kraniální baze zastaví a suturální růst je pak již jediný mechanismus, který je zodpovědný za posun maxily vpřed [23].

V oblasti tuberu maxily dochází k výrazné apozici kosti, čímž se horní čelist a její alveolární výběžky prodlužují. Tím vzniká prostor na prořezávání distálních zubů [5]. Oproti tomu je přední strana maxily relativně stabilní [3]. Je zajímavé, že apozice na ní nalezeny nebyly, ale téměř celý přední povrch maxily je oblast resorpce (kromě malé oblasti spina nasalis anterior) [9, 23]. Maxila a její zuby se z tohoto důvodu v průběhu růstu pohybují dolů a vpřed o 25 % více než samotný anteriorní povrch maxily [23].

Na orální straně tvrdého patra a alveolárních výběžcích dochází k apozicím a zároveň jsou na nazální straně patra přítomné resorpce. Remodelace a vertikální relokace patra se tak přičítá k vertikálnímu posunu maxily dopředu a dolů ve frontomaxilárních a zygomaticomaxilárních suturách [9]. Na spodině očnice se resorpce a apozice odehrávají v opačném směru: apozice na kranialním povrchu a resorpce kaudálně [11]. Růstem ve středním patrovém švu (laterální displacement) a resorpce kosti na laterálních stěnách nosní dutiny dochází k expanzi nosních dutin do šířky [3]. Růst ve středním patrovém švu lze zaznamenat až do dospělosti, je však menšího charakteru a končí asi 2 roky před koncem růstu postavy. Růstové rotace lze při růstu horní čelisti nalézt, jsou však vyznačeny méně než u čelisti dolní [9].

Björk [11] ve své studii zjistil, že pro suturální růst nastává u chlapců prepubertální minimum v 11,5 letech věku a pubertální maximum ve věku 14 let. Růst v suturách je ukončen v průměru v 17 letech, což je 2 roky před ukončením růstu těla do výšky.

2.2.3.5 Růst dolní čelisti

Na rozdíl od maxily je v mechanismu růstu mandibuly důležitá enchondrální i periostální aktivita, zatímco displacement temporomandibulárního kloubu způsobený růstem kraniální baze hraje zanedbatelnou roli [23].

Dolní čelist se u novorozence jeví vzhledem k maxile i celému obličejí malá a nevyvinutá. Je malá nejen svou velikostí, ale i proporcionálně. Dolní čelist se v brzkém růstu opožděje, nicméně později dohání horní čelist svým zvýšeným růstem [5]. Ze všech kostí obličeje vykazuje mandibula nejen největší postnatální růst, ale i největší morfologickou variabilitu mezi jedinci [3]. Dolní čelist se růstem přemísťuje dopředu a dolů. Zvětšování probíhá v její zadní části, k čemuž přispívá intenzivní růst kondylární chrupavky. Současně se na zadní straně větve vyskytují apozice a na přední straně větve dochází k resorpčním. Tímto způsobem se větve mandibuly přestavuje a přemísťuje (relokuje) směrem dozadu [9]. U dospělého je větve dolní čelisti vertikálně mnohem delší a vzpřímenější než u dítěte. Její prodlužování odpovídá velkému vertikálnímu růstu nosní krajiny a erupci dočasné a poté stálé dentice [5].

Brada u novorozence není téměř vytvořena. Rok od roku se stává více prominentní [3]. Brada je však jako místo růstu téměř neaktivní, je posunována dolů a dopředu růstem odehrávajícím se v oblasti mandibulárního kondylu a zadního povrchu větve [23]. V době narození je brada stále rozdělena symfýzou na dvě poloviny. Ty srůstají v jednotnou kost ve věku 1-2 let [3]. U některých jedinců se v této oblasti vytváří na kůži brady rýha, která se postnatálně dále zvětšuje a z určitého důvodu se ve společnosti stala symbolem mužnosti [5].

Mandibula se u malého dítěte jeví špičatá. Je to proto, že je široká, krátká a ve tvaru písmene V. U dospělého se tvar mandibuly mění na hranatý. Vývoj brady, masivní růst v laterálních částech, erupce stálé dentice, laterální zvětšování obou větví a růst žvýkacích svalů přetváří celou konfiguraci dolní části obličeje na tvar písmene U [5].

Rozlišují se 2 základní typy růstových rotací mandibuly. Rotací je míněna relativní změna sklonu těla mandibuly k přední bazi lební [3]. Anteriorotace se vyskytuje při výrazném vertikálním růstu kondylu a větve, který není kompenzován odpovídajícím vertikálním růstem horní čelisti a alveolárních výběžků horní a dolní čelisti. Zadní část mandibuly sestupuje vertikálně více než její přední část, která se posunuje spíše horizontálně anteriorním směrem [9]. Pro tyto jedince je typická kratší spodní část obličeje (*short face*), delší větve,

menší úhel mezi tělem a větví, malý úhel mezi dolní hranou mandibuly a přední bazí lební, konvexní přední část dolní hrany mandibuly, dorzální sklon symfýzy a tendence k hlubokému skusu. Anteriorotace dolní čelisti je výhodná při léčbě anomálií, kde se využívá růstu dolní čelisti. Posteriorotace naopak nastává při menším růstu větve, kdy se přední část těla mandibuly růstem neposunuje dopředu, ale spíše jen dolů. U posteriorotace je typická dlouhá dolní část obličeje (*long face*), kratší větev, velký úhel mezi hranou mandibuly a přední bazí lební, dopředu skloněná symfýza, přímá přední část mandibuly a tendence k otevřenému skusu [9, 23].

Björk [26] v rámci longitudinálních růstových studií v 60. letech 20. století za použití kovových implantátů v čelistech zjistil, že rozsah rotací maxily a mandibuly není v průběhu růstu doceněn. Těla čelistí podstupují větší rotaci, než by se podle jejich povrchu zdálo [9]. Björk rozdělil rotace na: 1) rotaci totální – skutečnou rotaci, sledovanou podle implantátů, a 2) rotaci matrix – pozorovanou podle obrysu zevních struktur na rentgenových (RTG) snímcích. Tato terminologie byla zjednodušena Proffittem [23], který rotace rozdělil na rotace interní a externí. Interní rotace těla čelistních kostí jsou maskovány povrchovými změnami, které způsobují externí rotaci. Celková změna orientace čelistí je tedy výsledkem kombinace interní a externí rotace. Björk [27] zjistil, že v růstu dolní čelisti nastává prepubertální minimum u chlapců ve věku 11 let a 9 měsíců. V 14,5 letech pak dochází k pubertálnímu maximu.

2.2.3.6 Teorie kontroly kraniofaciálního růstu

Za cílem objasnění mechanismu růstu kostí kraniofaciálního systému byly v minulosti vyvinuty různé teorie. Mezi tyto teorie patří: teorie genetická, teorie funkční matrix a teorie Servosystemu. Každá z teorií se zaměřovala na určitý faktor, který byl považován za primární příčinný mechanismus kraniofaciálního růstu a jeho formy [28].

2.2.3.6.1 Genetická teorie

Genetická teorie tvrdí, že kraniofaciální růst je neměnný, téměř výhradně určený dědičností a řízený geneticky [29]. Podle hlavního příčinného faktoru růstu se genetická teorie dělí na 3 hlavní proudy. Řídícími faktory v jednotlivých proudech jsou kost, sutura a chrupavka (nebo nosní septum).

A. Kostní teorie (remodelační)

Kostní teorie předpokládá, že samotná kostní tkáň obsahuje nezbytnou informaci pro svůj vývoj [10]. Kost modifikuje tvar a velikost pomocí periostální apozice a resorpce. Veškerý kraniofaciální skeletální růst tak probíhá výhradně na principu povrchové remodelace kosti.

Dle této teorie mají sutury a chrupavky kraniofaciálního skeletu v růstu jen malou roli nebo dokonce nemají roli žádnou [28, 29]. Kritika kostní teorie spočívala v tom, že nezahrnovala dobře známou skutečnost o vlivu lokálních a environmentálních sil na tvarování periostální kosti, ani nepřímou roli sutur a chrupavek [29].

B. Suturační teorie (Weinmann a Sicher) [30]

Podle suturační teorie jsou hlavními faktory kraniofaciálního růstu pojivové a chrupavčité tkáně. Růst kostí je tak pod genetickou kontrolou těchto primárně rostoucích struktur, které svým růstem odtlačují kosti směrem od sebe a způsobují tím jejich růst [29]. Tato teorie byla kritizována zejména z hlediska klinického (např. hydrocefalus) a embryologického (nepřítomnost chrupavčitého základu v kostech obličeje) [29, 30].

C. Teorie nosního septa (Scott) [31]

Podle genetické teorie nosního septa hrají sutury jen malou roli v růstu kraniofaciálního skeletu nebo růst neovlivňují vůbec. Nosní septum je nejdůležitější strukturou růstu, která je nejvíce aktivní v pozdním prenatálním období a v průběhu prvních let po narození. Chrupavka nosního septa se zezadu opírá o kraniální bazi, roste dopředu a dolů, a tím tlačí střední část obličeje stejným směrem. Synchrondróza kraniální baze je analogem epifyzárních růstových plotének a má dlouho trvající efekt na kraniofaciální růst. Chrupavka mandibulárního kondylu se chová podobně jako synchrondróza kraniální baze a chrupavka nosního septa, kdy přímo rozhoduje o růstu mandibuly a posunuje ji dopředu a dolů [28, 31].

2.2.3.6.2 Teorie funkční matrix (Mossova)

Teorie funkční matrix přinesla do popředí zájmu mnoho důležitých úvah. Jednou z nich byla myšlenka, že kost nereguluje svůj vlastní růst. Genetické a epigenetické faktory skeletálního růstu se nachází ve funkční matrix měkkých tkání, a ne v samotné kosti. V podstatě to znamená, že kost je při kontrole svého růstu pasivní a sekundární [5].

Dle Mossovy teorie funkční matrix [32] jsou funkční části kraniálního systému složeny ze dvou následujících prvků: 1. funkční matrix a 2. skeletálních jednotek. Funkční matrix je označením pro všechny měkké tkáně a prostory, které vykonávají určitou funkci. Jako skeletální jednotky se označují kostní struktury, které poskytují oporu funkční matrix a jsou tak nezbytné pro funkci. Jednotlivé kosti, definované podle tradiční anatomie, mohou být složeny z několika překrývajících se skeletálních jednotek. Skeletální jednotka tedy neoznačuje přímo jednotlivou kost, ale funkci nebo funkce, které jsou danou skeletální jednotkou podporovány [28].

Tradiční předpoklad teorie funkční matrix je, že tah specificky podněcuje tvorbu kosti a tlak, na druhé straně, specificky spouští resorpci. Aplikovaný tah na kost v místech úponů

svalů vede k lokálnímu růstu kosti. Kost je stimulována k růstu tak dlouho, dokud sval pokračuje ve svém růstu. Rostoucí sval překročí kapacitu podpory dané kosti a osteoblasty jsou stimulovány ke tvorbě nové kosti. Po skončení růstu svalů a celkového růstu těla dosahují kosti biomechanického equilibria se svaly [5].

Rozlišují se dva typy funkční matrix:

1. *Periostální matrix* je typicky představována svaly, cévy a nervy. Periostální matrix vykazuje svůj přímý vliv na kost skrz periost, např. úpony svalů nebo zuby v alveolárním výběžku. Tvorba kosti je lokálně kontrolována procesy, které zahrnují remodelaci a drift. Změny formy (velikosti a tvaru) jsou tak limitovány v rámci malých skeletálních jednotek [3, 28, 32].
2. *Kapsulární matrix* je definována jako orgány nebo prostory, které okupují širší anatomický komplex. V rámci kraniofaciálního systému obsahuje kapsulární matrix jednak takové orgány jako mozek a oční bulvy, ale i reálné prostory jako je nosohltan a ústní část hltanu. Kapsulární matrix ovlivňuje větší množství kostí zároveň a způsobuje pohyb celé kosti, klasifikovaný jako displacement. Kapsule s vestavěnými kraniiálními komponentami mění růstem svůj objem, a tím zapříčiňují pasivní translaci těchto komponent v prostoru [3, 28, 32].

Celkový kraniiální růst je kombinací primární morfologické aktivity obou typů matrix [32]. Zmíněné skeletální jednotky se dělí na dvě kategorie: 1. mikroskeletální jednotky a 2. makroskeletální jednotky. Funkce v rámci periostální matrix (např. svalová aktivita) může být lokálně vyjádřena v rámci mikroskeletální jednotky jako vznik tuberozit, výběžků nebo hřebenů pro dané svalové úpony. Růst velikosti a tvaru mikroskeletálních jednotek je typicky spojen s transformací buněk embryonálního typu do osteoblastů-osteocytů. Tento proces souvisí s periostální apozicí. Změny velikosti a tvaru makroskeletálních jednotek, které zahrnují neurokranium a maxilomandibulární komplex, jsou primárně výsledkem expanze kapsulární matrix a translačního růstu přidružených skeletálních struktur [28].

Všechny skeletální jednotky (a tak i každá kost) vznikají, rostou a přetrvávají v rámci svých funkčních periostálních matrix, kterým tak i morfologicky odpovídají. Zároveň jsou funkční kraniiální části (funkční matrix plus skeletální jednotky) organizovány ve formě kraniiálních kapsulí. Rozlišují se 2 kraniiální kapsule: neurokraniiální a orofaciální. Každá z nich představuje obal, který obsahuje řadu funkčních kraniiálních částí. Tyto části jsou jako celek, vložené mezi dvě krycí vrstvy. V neurokraniiální kapsuli jsou to kůže a dura mater, zatímco v orofaciální kapsuli jsou tyto vrstvy složeny z kůže a sliznice. Všechny prostory mezi

funkčními komponenty i mezi nimi a okraji kapsulí jsou vyplněny indiferentním volným vazivem [32].

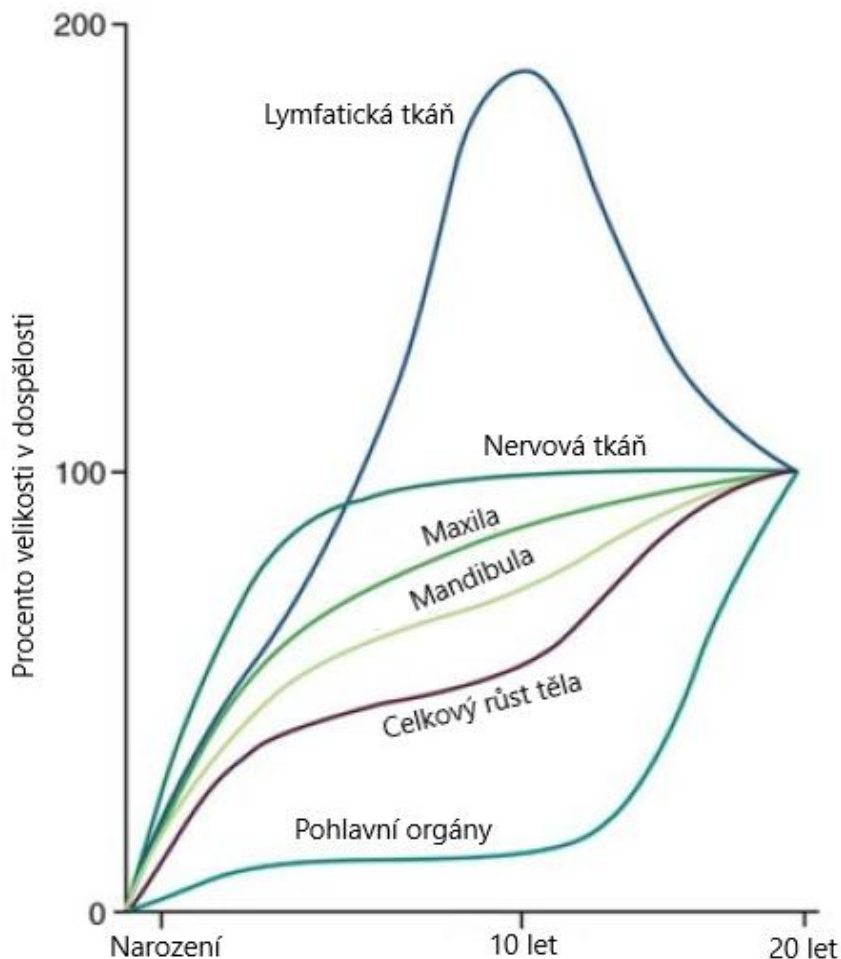
2.2.3.6.3 Servosystem teorie (Petrovic) [33]

Podle Petrovice a jeho teorie Servosystemu jsou hlavními složkami zodpovědnými za vývoj maxily synchondróza kraniální baze a chrupavka nosního septa. Obě tyto struktury jsou regulovány geneticky a endokrinně [29]. Střední část obličeje roste dopředu a dolů, a maxilární zubní oblouk se tak dostává do lehce anteriorní pozice oproti mandibulárnímu zubnímu oblouku. To vede ke vzniku diskrepance mezi zubními oblouky, která je zaznamenána proprioreceptory v periodonciu a temporomandibulárním kloubu. Přes aktivaci mandibulárních svalů se následně spustí odpověď spočívající v kondylárním růstu. Okluze tak funguje jako komparátor kraniofaciálního růstu [28, 29, 33].

2.2.4 Pubertální růstový spurt

Ačkoliv se počet dospělých pacientů podstupujících ortodontickou léčbu během posledních let postupně zvyšuje [34, 35], stále zůstává velký podíl pacientů v preadolescentním a adolescentním věku. Adolescence je období, ve kterém dochází k pubertálnímu růstovému spurtu. Rychlost růstu se náhle zvyšuje, dosahuje svého vrcholu, a poté až do dospělosti zpomaluje [36]. Adolescence představuje přechodné období mezi dětstvím a dospělostí, kdy kromě růstového spurtu dochází k velkým fyzickým změnám, objevují se sekundární pohlavní znaky a je dosaženo plodnosti [23]. Významné růstové změny nastávají u dospívajících jedinců také v oblasti obličejového skeletu, profilu i okluze, což má zásadní vliv na průběh ortodontické léčby [37]. U určitých typů anomálií chrupu lze v rámci léčby využít fázi pubertálního růstového spurtu, u jiných naopak může růst přinést výrazné komplikace [9, 38]. Některé studie uvádějí, že u některých typů vad je výhodné začít léčbu před, u jiných během, nebo dokonce až po ukončení růstového spurtu [39, 40, 41, 42]. Pro úspěšnou ortodontickou terapii je tak důležité, aby lékař správně určil stupeň vyspělosti a odhadl zbývající růstový potenciál pacienta [43]. Znalostmi kraniofaciálního růstu by měla být podložena indikace extraorálního tahu nebo funkčního aparátu, indikace extrakční či neextrakční léčby nebo ortognátních operací [44]. V pubertě je obzvláště výrazný kefalokaudální růstový gradient, kdy dolní čelist roste více než čelist horní. Mandibula s bradou se tak stávají prominentnějšími a dospívající obličej mění svůj tvar na méně konvexní. V úvahu je třeba také vzít to, že u značného množství jedinců, zvláště u dívek, může docházet v oblasti čelistí k juvenilnímu růstovému spurtu. Ten nastává 1 až 2 roky před adolescentním růstovým spurtem [23].

Obecně lze předpokládat, že obličejový růst a celkový somatický růst jsou pod stejnou endokrinní kontrolou. Nicméně výsledek růstu kraniofaciálního systému a jeho načasování jsou pod vlivem více různých faktorů. Růst nervového a lymfatického systému, růst zubů a horních dýchacích cest následují každý svůj vlastní směr, a komplikují tím výzkum růstu kraniofaciální oblasti [45]. Zvýšené hladiny pohlavních hormonů způsobují zrychlení růstu těla a involuci systému lymfatického. Nervový růst zůstává adolescencí neovlivněn, jelikož je ukončen již v 6 letech. Změny růstových křivek čelistí, celého těla, lymfatického a pohlavního systému jsou výsledkem hormonálních změn doprovázející dospívání [23].



Obrázek 8. Scammonova křivka znázorňující vývoj jednotlivých tkáňových systémů, maxily a mandibuly [23]

2.2.4.1 Endokrinní regulace kraniofaciálního růstu

Hormonální sekrece hraje důležitou roli v homeostáze *in vivo* [46]. Růstový hormon (somatotropin) je peptidový hormon, který je vylučován somatotropními buňkami předního laloku hypofýzy. Somatotropin je hlavním regulátorem dětského a adolescentního růstu. Jeho sekrece je pulzující, maxima dosahuje hlavně v brzkých hodinách spánku a v průběhu noci [45]. Koncentrace růstového hormonu je závislá na věku. Prepubertální období, charakteristické nízkou sekrecí, je následováno zvýšenou sekrecí v pubertě. Ke snížení produkce dochází zase ve stáří. Sekrece somatotropinu je stimulována dalšími hormony, jako jsou pohlavní steroidy a thyroïdní hormony. Zatímco kortikoidy naopak jeho sekreci inhibují [47]. Růstový hormon nemá žádný určitý cílový orgán. Na jeho anabolický účinek odpovídá každý orgánový systém [45]. Na tkáň působí růstový hormon přímo – přes specifický receptor a nepřímo – produkcí insulinu podobných růstových faktorů (IGF-I). V těle má hormon mnoho funkcí, zahrnující regulaci růstu a metabolismu [47].

Nedostatek růstového hormonu u dětí vede k opožděnému vývoji zubů, obličeje a kranialní baze. Dentální vývoj je k opoždování méně náchylný než výška postavy nebo kostní věk. Délka a hloubka obličeje je u těchto dětí vzhledem k jejich věku nevhodně malá a obličej si zachovává dětskou konvexitu i ve starším věku [46]. Naopak nadprodukce tohoto hormonu v dětství vede ke vzniku gigantismu, u dospělých pak k akromegalii [45]. Příčiny deficience růstového hormonu se klasifikují jako idiopatické, organické nebo genetické. Nejčastější jsou idiopatické abnormality nejasného původu (více než 80 %). Specifická terapie spočívá v podávání růstového hormonu [46].

Funatsu a kol. [46] zkoumali efekt terapie růstovým hormonem na kraniofaciální růst u pacientů s idiopatickou deficiencí růstového hormonu. U dětí s deficiencí, kterým byl dlouhodobě podáván růstový hormon, se následně zvýšil růst v oblasti kraniofaciálních kostí, zvláště maxily a větve mandibuly. To naznačovalo, že růstový hormon urychluje kraniofaciální vývoj, u pacientů tak docházelo ke zlepšení okluze a obličejového profilu [46].

Načasování puberty je důležitým faktorem v konečné velikosti jedince. Čím dříve puberta začíná, tím menší je velikost v dospělosti a naopak. Růst do výšky závisí na enchondrálním růstu kostí v epifyzálních ploténkách dlouhých kostí. Pohlavní hormony stimulují chrupavku k rychlejšímu růstu, ale také zvyšují rychlost skeletálního vývoje – rychlost přeměny chrupavky v kost. Chrupavka je využívána rychleji, než je nahrazována. Ke konci adolescence je poslední chrupavka přeměněna v kost a růstová ploténka je uzavřena. Potenciál k růstu je ztracen a růst se zastaví [23].

2.2.4.2 Pubertální růstový spurt v oblasti kraniofaciálních struktur

I přesto, že byl v minulosti růstový spurt v obličejí předmětem zájmu mnoha studií, je v této části výzkumu stále mnoho nejasností a dostupná literatura není ve svých tvrzeních jednotná. Nicméně většina studií předpokládá existenci pubertálního spurtu v oblasti kraniofaciálních struktur. Mitaniho studie [48] zjistila přítomnost růstového spurtu u chlapců i u dívek. Spurt byl přítomný v lineárních dimenzích baze lební, maxilárního komplexu a mandibuly. U dívek nastal o 2 roky dříve než u chlapců. Lewis a kol. [49] demonstrovali podobné výsledky jako Mitani, když potvrdily častý výskyt pubertálního spurtu v oblasti kraniofaciální baze a mandibuly. V oblasti mandibuly byl spurt u chlapců častější, zatímco v oblasti kraniofaciální baze byla jeho frekvence u obou pohlaví srovnatelná. Také Baughan a kol. [50] prezentovali růstový vzorec v obličejí s pubertálním maximem, které bylo ale kvantitativně méně důležité než růstový spurt ve výšce postavy. Rozdílných výsledků dosáhli Moore a kol. [51], kteří nemohli demonstrovat opravdový růstový spurt v žádné z měřených obličejových dimenzí. Dle jejich názoru se nicméně kraniofaciální růstový spurt mohl vyskytovat v populaci jako celku.

Nejednotné jsou také výsledky studií ohledně načasování a velikosti obličejového spurtu nebo možnostech jeho predikce podle růstového spurtu postavy nebo skeletálních změn. Lidský růst je vzhledem ke kalendářnímu věku značně variabilní, některé děti rostou rychleji než průměr, jiné naopak pomaleji [52, 53]. Samotný kalendářní věk není spolehlivým indikátorem fyzického vývoje jedince a neměl by být použit jako jediný parametr na určení rychlosti růstu a skeletální vyspělosti jedince [38, 44].

Nejlepším způsobem na identifikaci růstových fází jedince a jeho fyzické vyspělosti (biologického věku) je hodnocení vývoje jednoho nebo více tkáňových systémů, tj. hodnocení tělesné, pohlavní, skeletální a dentální vyspělosti [43, 44].

2.2.4.3 Skeletální věk

Hodnocení skeletálního věku pomocí RTG snímků je v medicíně hojně využíváno na určení fází pubertálního růstového spurtu, rychlosti růstu a zbývajících růstového potenciálu [38]. Skeletální vyspělost se hodnotí podle stupně vývoje osifikace kostí a je úzce spojená s pohlavní a tělesnou vyspělostí [43, 53]. V průběhu růstu podstupují kosti sérii radiograficky sledovatelných změn, jejichž pořadí je u všech jedinců pro danou oblast relativně konzistentní. Konkrétní načasování změn se však vzhledem ke kalendářnímu věku mezi jednotlivci liší [43]. Nejlepší informace pro určení skeletálního věku poskytuje RTG snímek ruky se zápěstím, protože zobrazuje několik osifikačních center na jednom malém místě [38]. Vývoj kostí ruky vykazuje předvídatelný a plánovaný vzorec od narození do dospělosti, kdy je možné pozorovat

jejich vznik, osifikaci a spojování. Ulnární sezamská kůstka metakarpofalangeálního kloubu palce osifikuje půl roku až jeden rok před maximálním růstovým spurtem. Tato kůstka představuje osifikační centrum v ruce, které se pravidelně objevuje okolo puberty, a proto ji můžeme využít jako její indikátor [9, 54]. V období maximálního pubertálního růstového spurtu se epifýzy článků prstů mění na tvar čepiček. Při zpomalování růstu postavy je pozorovatelné spojování epifýz a diafýz článků prstů. Krátce po spojení epifýzy a diafýzy radia je pak růst ukončen [9].

Na vyšetření skeletální vyspělosti na RTG snímku ruky se zápěstím bylo popsáno množství různých metod. Z nich nejčastěji využívané jsou:

- metoda Greulich a Pylea [55];
- metoda Björka, Gravea a Browna;
- Fishmanovy skeletální indikátory vyspělosti; a
- Häggova a Tarangerova metoda.

Všechny tyto metody se obvykle spoléhají na fázi vývoje mezi epifýzou a diafýzou článků prstů:

- Fáze 1 – epifýza a diafýza jsou stejně široké.
- Fáze 2 – epifýza je ve tvaru čepičky a obklopuje diafýzu (fáze „capping“).
- Fáze 3 – spojení mezi epifýzou a diafýzou [44].

- ***Metoda Greulich a Pylea (1959)*** [55]

Greulich a Pyle publikovali atlas obsahující obrázky RTG snímků ruky a zápěstí zdravých dětí od narození do dospělosti u obou pohlaví. Tato metoda spočívá ve srovnávání pacientova RTG snímku s fotografiemi v atlasu [44, 55, 56].

- ***Metoda Björka, Gravea a Browna (1976) modifikovaná Schopfem v roce 1978***

Metoda Björka, Gravea a Browna rozeznává 9 fází vývoje kosti ruky mezi 9 a 17 lety, kdy je využito 14 osifikačních znaků na RTG snímku. Vývojové stádium je hodnoceno podle vztahu mezi epifýzou a diafýzou. Roku 1978 byla tato metoda modifikovaná Schopfem, který přidal odpovídající průměrný věk pro každou fázi.

- 1. fáze (chlapci 10,6 let, dívky 8,1 let)
 - Epifýza a diafýza proximálního článku ukazováku jsou stejné. Tato fáze nastává zhruba 3 roky před vrcholem pubertálního růstového spurtu.

- 2. fáze (chlapci 12 let, dívky 8,1 let)
 - Epifýza a diafýza mediálního článku prostředníku jsou stejné. Tato fáze nastává těsně před pubertálním růstovým spurtem.
- 3. fáze (chlapci 12,6 let, dívky 9,6 let)
 - Tato fáze je charakterizována přítomností 3 znaků:
 - Osifikace os pisiforme (hrášková kost).
 - Osifikace hamulus ossis hamati (výběžek háček hákové kosti).
 - Epifýza a diafýza radia (kost vřetenní) jsou stejné.
- 4. fáze (chlapci 13 let, dívky 10,6 let)
 - Tato fáze značí počátek pubertálního růstového spurtu. Je charakterizovaná:
 - Počáteční mineralizací ulnární sezamské kůstky palce.
 - Pokračující osifikací hamulus ossis hamati.
- 5. fáze (chlapci 14 let, dívky 11 let)
 - Tato fáze značí vrchol pubertálního růstového spurtu. Epifýzy dostávají tvar čepiček u: mediálního článku prostředníku, proximálního článku palce a radia.
- 6. fáze (chlapci 15 let, dívky 13 let)
 - V této fázi dochází k ukončení pubertálního růstového spurtu. Je charakterizována spojováním epifýzy a diafýzy distálního článku prostředníku.
- 7. fáze (chlapci 15,9 let, dívky 13,3 let)
 - V této fázi nastává spojení epifýzy a diafýzy proximálního článku malíku.
- 8. fáze (chlapci 15,9 let, dívky 13,9 let)
 - Tato fáze ukazuje spojení epifýzy a diafýzy mediálního článku prostředníku.
- 9. fáze (chlapci 18,5 let, dívky 16 let)
 - Poslední fáze značí konec skeletálního růstu. Je charakterizovaná spojením epifýzy a diafýzy radia [44].

Pro diagnózu a plán léčby jsou nejdůležitější 4. a 5. fáze, kdy dochází k největšímu růstu [57].

- PP1 – epifýza proximálního článku palce
- PP2 – epifýza proximálního článku ukazováku
- PP3 – epifýza proximálního článku prostředníku
- MP3 – epifýza mediálního článku prostředníku
- DP3 – epifýza distálního článku prostředníku
- S – sezamská kůstka palce
- R – distální epifýza radia
- Pisi – os pisiforme



Obrázek 9. Metoda Björka, Gravea a Browna (Memorix zubního lékařství)

○ ***Fishmanovy skeletální indikátory vospělosti (1982)***

Tato metoda hodnotí skeletální vývoj na palci, třetím a pátém prstu a radiu. Metoda rozlišuje 11 adolescentních skeletálních znaků vospělosti, které se nacházejí na 6 místech ruky (obr. 10). Systém hodnotí 4 fáze kostního vývoje: 1. epifýza je stejně široká jako diafýza, 2. osifikace sezamské kosti palce, 3. epifýza je ve tvaru čepičky, a 4. spojení epifýzy a diafýzy (obr. 11). Na zjednodušení určování skeletálního věku byl vytvořen systém, kdy se pozorovatel zaměřil nejdříve na klíčové znaky, a to na přítomnost sezamské kůstky palce nebo rozšiřování epifýz [58]. Skeletální vospělost byla převedena do skeletálního věku pomocí specifických tabulek.

Indikátory skeletální vospělosti (Skeletal maturity indicators – SMI)

- Šířka epifýzy stejná jako diafýzy:
- SMI 1. Třetí prst – proximální článek
- SMI 2. Třetí prst – mediální článek
- SMI 3. Pátý prst – mediální článek

- Osifikace:

SMI 4. Sezamská kost palce

- Epifýza má tvar čepičky:

SMI 5. Třetí prst – distální článek

SMI 6. Třetí prst – mediální článek

SMI 7. Pátý prst – mediální článek

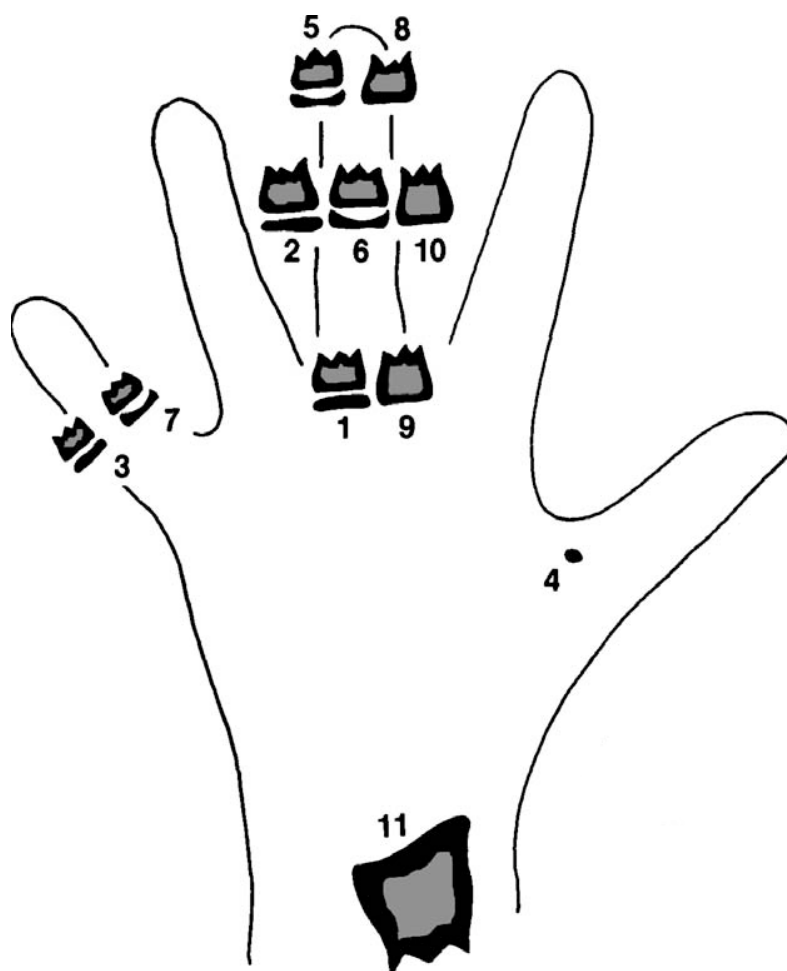
- Spojení epifýzy a diafýzy:

SMI 8. Třetí prst – distální článek

SMI 9. Třetí prst – proximální článek

SMI 10. Třetí prst – mediální článek

SMI 11. Radius [44, 58].



Obrázek 10. Fishmanovy skeletální indikátory [58]



Obrázek 11. Radiografická identifikace kostního vývoje (Hashim HA, Mansoor H, Mohamed MH)

- A. Epifýza je stejně široká jako diafýza
- B. Osifikace sezamské kosti palce
- C. Epifýza je ve tvaru čepičky
- D. Spojení epifýzy a diafýzy

○ *Häggova a Tarangerova metoda (1982)*

Häggova a Tarangerova metoda hodnotí na RTG snímku tyto znaky:

- osifikaci sezamské kosti,
- vývoj epifýzy mediálního a distálního článku třetího prstu, a
- vývoj distální epifýzy radia.

Hägg a Taranger poukázali ve své studii na vzájemné vztahy mezi pubertálními událostmi:

- Pokud u dívek začala menstruace, tak byl již pubertální růstový spurt dosažen a růst se zpomaloval. Pokud menarche ještě nenastalo, růst se mohl také zpomalovat, ale pubertální růstový spurt nebyl zcela ukončen.
- Pokud měl chlapec prepubertální hlas, tak s největší pravděpodobností ještě nedosáhl vrcholu pubertálního růstového spurtu.
- V době začátku pubertální změny hlasu byli chlapci v pubertálním růstovém spurtu.
- Mužský hlas u chlapců značil, že rychlost růstu již začala zpomalovat.
- Žádný chlapec nedosáhne konce pubertálního růstového spurtu bez toho, aby měl mužský hlas [44, 59].

Další studie zkoumaly vzájemné vztahy mezi jednotlivými pubertálními událostmi. Dle Tofaniho je začátek spojování v oblasti distálních článků prstů silně korelován s menarche [60]. Nicméně, oblast zájmu ortodontisty je obličejový růst se zřetelem na mandibulu [54]. Ačkoliv Pileski a kol. [54] zjistili statisticky významné korelace mezi objevením ulnární sezamské kůstky a maximálním mandibulárním růstem, ty byly moc nízké na to, aby objevení ulnární sezamské kůstky mohlo sloužit jako predikce maximálního mandibulárního růstu.

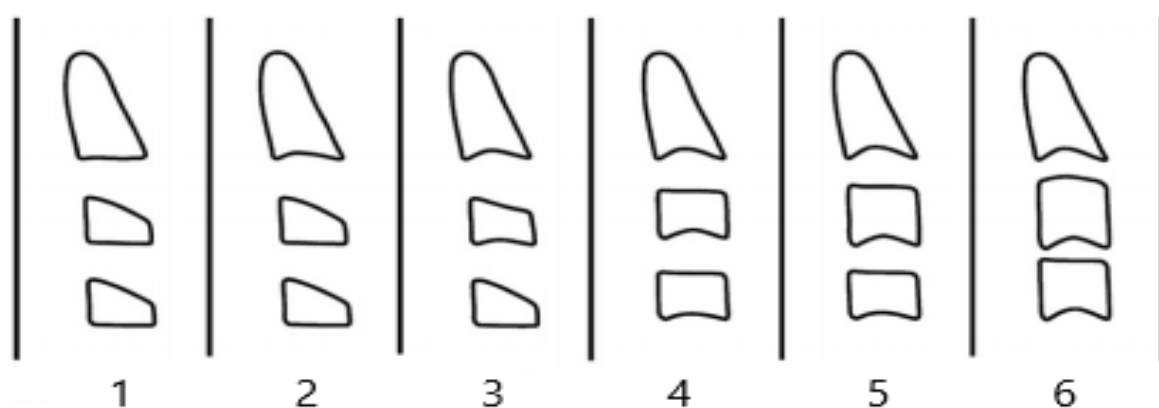
Kromě snímku ruky se zápěstím existuje další radiografická možnost určení růstového potenciálu. Roku 1995 vyvinuli *Hassel a Farman* [43] systém na určení skeletálního věku podle vývoje krčních obratlů (Cervical vertebrae maturation method, CVM metoda). Zjistili korelaci mezi skeletálními indikátory vyspělosti na RTG ruky se zápěstím (Fishmanovy skeletální indikátory vyspělosti, SMI) a cervikálními indikátory na laterálních kefalogramech [44]. Tento systém rozlišoval 6 fází:

- 1. fáze – iniciace. V této fázi se očekává 80-100 % adolescentního růstového spurtu. Obratle mají klínovitý tvar, jejich horní okraje se zužují anteriorním směrem a dolní okraje obratlů C2, C3 a C4 jsou ploché. To odpovídá kombinaci indikátorů SMI 1 a 2.
- 2. fáze – akcelerace. V této fázi začíná pubertální růstový spurt, očekává se 65-85 % růstového spurtu. Těla obratlů C3 a C4 jsou téměř obdélníkovitého tvaru. Konkavity se vyvíjejí na dolních okrajích C2 a C3 a dolní okraj C4 je plochý. To odpovídá kombinaci indikátorů SMI 3 a 4.
- 3. fáze – tranzice. Tato fáze koresponduje se zrychlováním růstu směrem k vrcholu pubertálního růstového spurtu, očekává se 25-65 % pubertálního růstového spurtu. Těla obratlů C3 a C4 jsou obdélníkovitého tvaru. Značné konkavity jsou viditelné

na dolních okrajích C2 a C3 a konkavita se začíná vyvíjet na dolním okraji C4. To odpovídá kombinaci indikátorů SMI 5 a 6.

- 4. fáze – decelerace. Tato fáze koresponduje se zpomalením pubertálního růstového spurtu, očekává se 10-25 % pubertálního růstového spurtu. Těla obratlů C3 a C4 jsou ve tvaru čtverce. Značné konkavity jsou viditelné na dolních okrajích C2, C3 a C4. To odpovídá kombinaci indikátorů SMI 7 a 8.
- 5. fáze – maturace. V této fázi nastává konečný vývoj obratlů, očekává se 5-10 % pubertálního růstového spurtu. Těla obratlů C3 a C4 jsou čtvercovitého tvaru. Konkavity na dolních okrajích C2, C3 a C4 se více zvýrazňují. To odpovídá kombinaci indikátorů SMI 9 a 10.
- 6. fáze – kompletace. Tato fáze koresponduje s ukončením růstu, je očekáván malý nebo žádný pubertální růstový spurt. Těla obratlů C3 a C4 jsou čtvercového tvaru nebo jsou větší ve vertikální dimenzi než v té horizontální. Hluboké konkavity jsou viditelné na dolních okrajích C2, C3 a C4. To odpovídá indikátorů SMI 11 [43, 44].

Predko a kol. [61] ve své práci však zjistili, že korelace mezi vývojem krčních obratlů a osifikací kůstek ruky není dostatečně vysoká, aby bylo možné jednu metodu nahradit druhou a ušetřit tak ve všech případech RTG snímek ruky. Také Gabriel a kol. [62] nemohli dle výsledků jejich studie doporučit CVM metodu jako přesnou klinickou směrnici pro načasování ortodontické léčby.



Obrázek 12. Fáze vývoje krčních obratlů [63]

2.2.4.4 Pohlavní vyspělost

V průběhu dospívání dochází v rámci reprodukčního systému k velkým změnám. Je pravidlem, že dívky dospívají dříve než chlapci – s průměrným rozdílem v začátku puberty o 2 roky. V pubertálním období je také mezi pohlavími odlišné množství růstu, kdy chlapci rostou značně více než dívky [38]. V rámci klinické ortodontie není ze zjevných důvodů možné provést vyšetření sekundárních pohlavních znaků, avšak u dívek lze zjistit čas menarche a u chlapců zase pozorovat změnu hlasu [59]. Počátek menstruace závisí více na skeletální vyspělosti než na chronologickém věku [64]. Dle výsledků studie Demirjiana a kol. [53] se ulnární sezamská kůstka objevila zhruba 1 rok před maximálním růstovým spurtem a menarche nastalo 1 rok po maximálním růstovém spurtu. Výsledky Tofaniho studie [60] ukázaly, že mandibulární růst pokračuje i po menarche. Nicméně množství růstu před menarche bylo větší než po menarche.

U dívek se období adolescence dělí na 3 fáze. První fáze nastupuje s počátkem růstového spurtu, kdy se vyvíjí prsní bradavky a objevuje se pubické ochlupení. Vrchol růstového spurtu nastává okolo 1 roku po začátku první fáze, souběžně s druhou fází vývoje pohlavních znaků. V druhé fázi dochází k značnému vývoji prsů, rozšiřuje se a tmavne pubické ochlupení a ochlupení se objevuje také v podpaží. Třetí fáze začíná 1 až 1 a půl roku po druhé fázi a je označena počátkem menstruačního cyklu. V tomto čase je již růstový spurt a vývoj prsů kompletní a rozšiřují se boky.

Pubertální fáze u chlapců jsou hůře definovatelné. Puberta u nich začíná později a trvá delší dobu – okolo 5 let ve srovnání s 3 a půl lety u dívek. Počáteční fáze obvykle začíná zvýšením množství tuku, skrotum se zvětšuje a ukazuje zvýšenou pigmentaci. Druhá fáze nastává o rok později, kdy začíná pubertální růstový spurt ve výšce, dochází k redistribuci a relativnímu úbytku podkožního tuku, objevuje se pubické ochlupení a zvětšuje se penis. Třetí fáze se odehrává o 8 až 12 měsíců později a shoduje se s vrcholem pubertálního růstového spurtu. Ochlupení se objevuje v podpaží a obličejové vousy rostou na horním rtu. Dochází ke spurtu v růstu svalů a nadále ubývá množství podkožního tuku. Penis a skrotum jsou téměř dospělé velikosti. Čtvrtá fáze začíná o 15 až 24 měsíců později a je těžko určitelná. V této fázi končí růstový spurt. Vousy jsou na bradě a horním rtu, pubické a podpažní ochlupení je dospělého rozsahu a dále se zvyšuje síla [23].

2.2.4.5 Zubní věk

Dalším parametrem ukazujícím na stupeň vývoje jedince je zubní věk. V ortodoncii je zubní věk zvláště důležitý na určení správného načasování léčby, kdy doplňuje údaj chronologického věku [52].

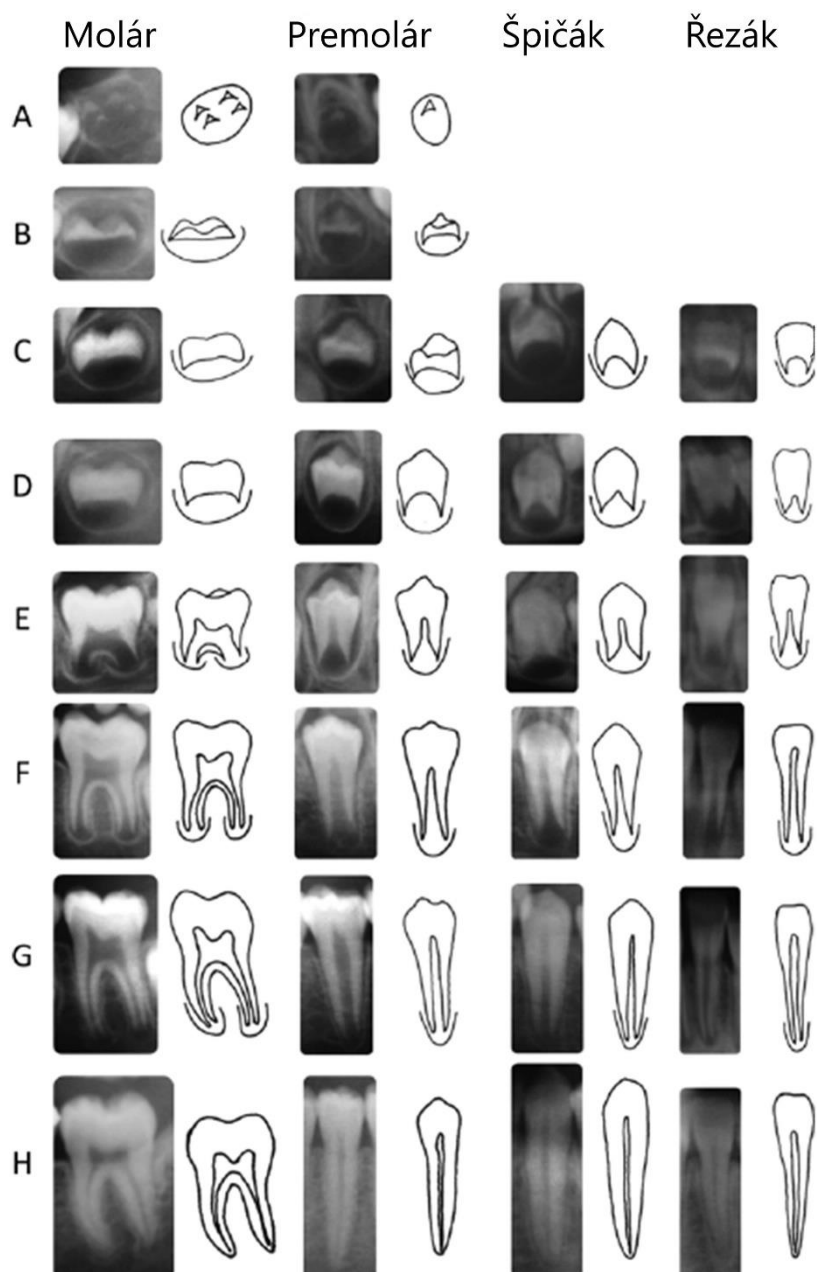
Demirjian a kol. vytvořili metodu hodnocení zubního vývoje a věku za použití radiologického obrazu mandibulárních stálých zubů na panoramatickém snímku – od středních řezáků až po druhé moláry (I1 až M2). Bylo definováno 8 stádií vývoje zubu (A až H) od prvního objevení kalcifikovaných bodů až po dokončení vývoje kořene. Jednotlivým vývojovým stádiím zubů byl v tabulkách a grafech přiřazen odpovídající chronologický věk [44, 65].

Stádia vývoje zubu dle Demirjiana (obr. 13):

- A. Počínající mineralizace zubních hrbolků.
- B. Vytvoření okluzní plochy skloviny.
- C. Kompletní vytvoření okluzní plochy skloviny, počátek tvorby dentinu.
- D. Kompletně vytvořená korunka po cementosklovinnou hranici.
- E. Počáteční tvorba kořene, délka kořene je kratší než výška korunky.
- F. Délka kořene je stejná nebo větší než výška korunky, stěny kořenového kanálku jsou divergentní.
- G. Stěny kořenového kanálku jsou paralelní, apikální konec je stále částečně otevřen.
- H. Apikální konec kořenového kanálku je uzavřen [65].

Další metoda určování zubního věku, užívaná v České republice, je metoda dle Komínka [8]. Princip metody je ve srovnávání pacientova panoramatického snímku s obrázkem a schématy, kterým odpovídá určitá hodnota kalendářního věku. Dle Komínka se rozlišují tato stádia vývoje zubu:

- 3 vývojová stádia korunky
 - I.) Stádium zubního zárodku
 - II.) Počátek mineralizace korunky
 - III.) Pokročilá mineralizace korunky
- 4 vývojová stádia kořene
 - IV.) Počátek tvorby kořene
 - V.) Divergence stěn kořene
 - VI.) Paralelita stěn kořene
 - VII.) Konvergence stěn kořene [8].



Obrázek 13. Stádia vývoje zubů podle Demirjiana

Samotná erupce zubů není pro určení zubního věku spolehlivá, neboť může být ovlivněna lokálními faktory. Ty mohou způsobit buď předčasnou, nebo naopak opožděnou erupci zubu [52]. Lokálními faktory jsou např. předčasná ztráta dočasných zubů, ankylóza, retence nebo stěsnání. Vývoj zubů je na rozdíl od erupce konstantní a je obvykle nezávislý na osudu dočasných předchůdců [52]. Možnost využití erupce na určení zubního věku je také časově omezena – do 30 měsíců věku (kompletní dočasná dentice) a poté až po 6. roku věku (erupce prvního stálého moláru) [65].

Ačkoliv vztahy mezi tělesnou, skeletální a pohlavní vyspělostí jsou považovány za konzistentní, jejich souvislost s dentálním vývojem je relativně nízká nebo až nevýznamná [53]. Určování zubního věku (vývoj kořenů a prořezávání zubů) není při predikci vyspělosti jedince a fázi skeletálního vývoje spolehlivé, protože mechanismus kontrolující vývoj zubů je nezávislý na tělesné nebo pohlavní vyspělosti [53]. Přesto existuje určitá korelace mezi vývojem kořenů stálých dolních špičáků a pubertálním růstovým spurtem [66, 67]. Metoda rozpoznávání vývojových stádií dolního špičáku je relativně jednoduchá a dostupná – díky přítomnosti intraorálních a panoramatických RTG přístrojů ve většině ortodontických i pedodontologických praxí [66]. Před uzavřením apexu, kdy jsou stěny kořenového kanálku paralelní a špičák prořezává do dutiny ústní (stádium odpovídající kalcifikaci sezamské kůstky), je jedinec před maximálním růstovým spurtem. V době uzavření apexu dolního špičáku jsou epifýzy a diafýzy článků prstů již obvykle spojeny a jedinec se nachází za vrcholem maximálního pubertálního spurtu [9, 38, 66, 67]. Pro diagnózu a plán léčby je v ortodoncii nejdůležitější stádium F a G dle Demirjiana [57]. Coutinho a kol. [66] potvrdili blízký vztah mezi kalcifikací mandibulárního špičáku a indexy skeletální vyspělosti. Vývojové stádium F naznačovalo začátek puberty a stádium G se shodovalo se vznikem čepiček na mediálním článku třetího prstu a proximálním článku pátého prstu a přítomnosti sezamské kůstky – informace o maximálním růstovém spurtem. Mezifáze stádií F a G tak identifikovala brzké fáze pubertálního růstového spurtu. Dle názoru autorů však nemůže, a ani by neměl být vývoj špičáku použit jako jediné kritérium predikce pubertálního růstového spurtu, a to i přes jasné naznačení vzájemného vztahu mezi nimi [66]. Korelaci mezi skeletálním vývojem ruky se zápěstím (Björkovou metodou) a vývojovými stádii špičáku (Demirjianovou metodou) zjistili Mejía-Garduño a kol. [57]. Nicméně korelace se nevyskytovala ve všech stádiích vývoje. Z tohoto důvodu autoři nedoporučují spoléhat při hodnocení vývoje pacienta pouze na panoramatické snímky.

2.2.4.6 Tělesný růstový spurt a růst obličejových struktur

Mnoho studií se již v minulosti zabývalo vztahem mezi růstem postavy a kostí obličeje. Změny kraniofaciálních struktur byly dokumentovány na rentgenových kefalometrických snímcích a hodnoceny ve srovnání s longitudinálními záznamy výšky postavy. Výsledky těchto kefalometrických studií však nebyly úplně jednotné. Pike [68], Bergersen [69], Hunter [70] a Van der Beek a kol. [71] zjistili pozitivní korelaci mezi maximálním růstem obličeje a změnou výšky postavy. Také Moore a kol. [51] demonstrovali statisticky významnou korelaci mezi rychlostí růstu do výšky a růstem obličejových rozměrů, nicméně korelační koeficienty byly

relativně malé. Další autoři, jako například Nanda [72], Bambha [73], Tofani [60] a Baughan a kol. [50] tvrdili, že maximální růstový spurt v obličeji nastal o něco později než spurt ve výšce postavy.

Různé výsledky u dívek a chlapců pak pozorovali Mellion a kol. [74]. U dívek byl rozdíl v načasování pubertálního růstu ve výšce, obličejové velikosti a mandibulární délce statisticky významný. U chlapců tyto změny nastaly více či méně ve stejnou dobu. Podobné výsledky s rozdíly mezi pohlavími ukázali také Fukuhara a Matsumoto [75].

Předpokladem výše zmíněných studií je, že faktory zodpovědné za celkový růst postavy a dospívání kontrolují také růst a vývoj obličeje. Přítomnost výškového růstového spurtu by tak mohla být využita na predikci zbývajících růstového potenciálu obličeje. To však bylo vyvráceno některými autory. Bishara a kol. [76] demonstrovali podstatně rozdílný růstový profil výšky postavy od parametrů popisující mandibulární délku a vztahy. Podobně Lewis a kol. [49] tvrdili, že růstový spurt v oblasti kraniální baze a mandibuly není blízce spojen s růstovým spurtem do výšky, ani s počátkem osifikace ulnární sezamské kůstky nebo s menarche.

Na rozdíl od tvrdých tkání nebyl růst měkkých tkání obličeje vzhledem k vývoji postavy dosud ještě dostatečně zkoumán. Zejména je velký nedostatek studií, ve kterých byla hodnocena celá geometrie obličeje (versus geometrie založená na několika bodech měkkých tkání) [77, 78]. Podle Mossovy teorie funkční matrix [79] jsou měkké tkáně hlavním faktorem skeletálního růstu obličeje. Všechny změny velikosti, tvaru a pozice kraniofaciálních rozměrů jsou tak kontrolovány těmito strukturami [3]. Výsledky studií, které sledovaly vzájemný vztah mezi měkkými tkáněmi a jejich podkladem – skeletálním profilem, však ukázaly, že mezi nimi není během růstu přímá souvislost [4, 80, 81]. Při hodnocení růstu měkkých tkání obličeje se tak nelze spoléhat na data získaná ze studií zkoumající jeho skelet.

Doposud se jen pár studií zabývalo vztahem mezi růstem měkkých tkání obličeje a výškou postavy. Mezi ně patří studie Jandové a Urbanové [77], která hodnotila obličejové změny na dvojdimenzionálních (2D) fotografiích. Mezi změnou tvaru celého obličeje a tělesnými rozměry byla zjištěna relativně slabá korelace. Dále Primožicová a kol. [78] měřili výšku postavy, změny několika obličejových rozměrů, úhlů a proporcí. Zjistili, že přírůstky na měkkých tkáních byly podobné po celou dobu sledování a byly relativně nezávislé na pubertálním růstovém spurtem. Opačné výsledky zveřejnili Burke a Hughes-Lawson [82], kteří využili předchůdce současné techniky stereofotogrammetrie. Z 13 měřených rozměrů byly 3 v úrovni očí a ukázaly pouze malé změny v průběhu růstu. Zbýlých 10 rozměrů vykazovalo

adolescentní růstový spurt, který byl ve vztahu k růstu postavy do výšky, ačkoliv se nezbytně neshodoval s rokem maximální rychlosti změny výšky.

Výsledky těchto několika publikovaných studií vztahu růstu měkkých tkání a výšky postavy jsou tak také nejednotné. Je třeba zmínit, že tyto studie využívaly konvenční měření lineárních vzdáleností a úhlů, které poskytují pouze částečnou informaci a nejsou schopny vysvětlit komplexní geometrii kraniofaciálních struktur a jejich změn.

2.3 Metody používané k výzkumu růstu obličeje

Výzkum komplexních objektů, jako je lidský obličej, není jednoduchý. K detailnímu zachycení obličejové morfologie a jejích změn v průběhu růstu jsou potřebné metody, které jsou schopny zaznamenat i nepatrné tvarové rozdílnosti povrchu. V následující části budou tyto metody představeny. Bude popsán jejich princip, výhody a nevýhody.

2.3.1 Antropometrie

Tradičním způsobem výzkumu obličeje je antropometrie (původ slova je z řečtiny: Antropos – člověk a metron – měření) [10]. Jedná se o vědu, která se zabývá měřením velikosti, váhy a proporcí lidského těla. Antropometrická měření se provádí přímo na povrchu měkkých tkání obličeje pacienta, kdy se za pomoci posuvného měřítka a metrické pásky určují vzdálenosti mezi jednotlivými význačnými body (landmarky). Přímé měření landmarků poskytuje objektivní a cenné údaje o vyskytujících se rozdílných fenotypech a dysmorfologiích a umožňuje trojdimenzionální (3D) studii povrchových měkkých tkání obličeje a jejich růstu.

Antropometrie je levná a trojdimenzionální metoda, je však časově velmi náročná. Nevýhodou je, že každé měření se musí provádět individuálně, vyžaduje fyzický kontakt s pacientem a jeho nemalou spolupráci. Zejména u dětí je spolupráce při měření někdy obtížně dosažitelná. Antropometrii komplikuje i možnost vzniku nepřesností v důsledku tlaku na měkké tkáně měřícím zařízením. Také archivace a digitalizace získaných dat je značně omezená, opětovné měření v pozdější fázi výzkumu tedy není možné [21, 83, 84, 85, 86, 87].

2.3.2 Kefalometrie a fotografie

V praxi běžně používané metody pro analýzu obličejových struktur jsou kefalometrie a 2D fotografie. Mezi hlavní výhody těchto 2D zobrazovacích metod patří jejich rychlost, možnost archivace získaných dat a nízká cena.

Roku 1931 představil Broadbent kefalometrickou metodu jako nástroj pro kvalitativní a kvantitativní vyšetření pacientů [10]. V kefalometrii se zhotovují laterální nebo frontální radiografické snímky hlavy za pevně stanovených podmínek, kdy je pacientova hlava fixována v kefalostatu. Standardní podmínky jsou nezbytné pro minimalizaci počtu chyb při porovnávání snímků v průběhu léčby a pro možnost univerzálního využití dat z různých zdrojů [5]. Laterální kefalogramy se v minulosti uplatnily v rámci studií zabývajících se problematikou morfologie a růstu obličeje. Byly z nich vytvořeny šablony pro predikci růstových změn a diagnostiku kraniofaciálních syndromů [88]. Jednou z největších longitudinálních kefalometrických studií

byla Boltonova studie, která stanovila normy dentofaciálního růstu. Data byla sbírána v letech 1930-1973 na vysoké škole v Clevelandu, Case Western Reserve University. V rámci studie bylo zhotoveno kolem 22 tisíc záznamů u 5 tisíc jedinců evropského původu ve věkovém rozmezí 1-18 let [86].

Kefalometrické snímky jsou stále široce využívány pro růstovou analýzu, diagnostiku, stanovení léčebného plánu a hodnocení výsledků léčby. Na snímcích jsou zobrazeny tvrdé i měkké tkáně obličeje a lze na nich srovnávat lineární a úhlové rozměry v průběhu času. Snímky zhotovené za standardních podmínek v rozdílnou dobu léčby mohou být přes sebe překryty (superponovány) za využití relativně stabilních struktur. I přes své mnohé výhodné vlastnosti umožňuje kefalometrie měření pouze dvourozměrných landmarků. Lékař získá 2D reprezentaci 3D objektu, což vede k vertikálním a horizontálním posunům struktur na RTG snímku [86]. Schopnost detailně popsat obličej ve 3D je tak značně omezena, protože snímky informují pouze o velikosti, bez potřebné orientace a hloubky. Dalším problémem v kefalometrii je identifikace orientačních bodů tvrdých a měkkých tkání z důvodu překrývání struktur na RTG snímku [89]. Struktury nacházející se mimo midsagitální rovinu jsou předmětem zvýšených chyb ve zvětšení [90]. Vystavení pacientů radiačnímu záření při snímkování je také velkou nevýhodou a etickým důvodem, proč nebudou tradiční kefalometrické longitudinální růstové studie pravděpodobně nikdy znovu povoleny. Data z Boltonovy studie jsou proto nesmírně cenná a stále užívaná ve srovnávacích studiích profilů tvrdých i měkkých tkání obličeje [86].

Klasické fotografie obličeje jsou součástí karty každého ortodontického pacienta. Jejich zhotovení je velmi rychlé a neinvazivní. Na detailní popis povrchových struktur obličeje ve 3 dimenzích nejsou však 2D fotografie dostatečné. Tanner a Weiner [91] ve své práci zhodnotili, že přímé měření obličejových rozměrů na fotografiích není spolehlivé. Poziční chyby byly většího rozsahu než růstové přírůstky.

2.3.3 3D zobrazovací systémy

Poslední dobou se do popředí zájmu dostávají trojdimenzionální zobrazovací systémy. Techniky jako výpočetní tomografie (CT) a výpočetní tomografie kuželovým svazkem (CBCT), laserové a optické skenery nacházejí uplatnění nejen ve vědě a výzkumu, ale i v klinické praxi. Tyto metody mají potenciál kompenzovat nedostatky výše popsanych 2D zobrazovacích metod, jelikož se vyhýbají chybám měření vzniklých při 2D reprezentaci prostorového objektu [85, 92, 93, 94].

2.3.3.1 CT a CBCT

CT je v medicíně hojně využíváno pro diagnostiku a plánování léčby. CT je rentgenová tomografická metoda založená na principu zeslabení radiačních paprsků, které v mnoha různých úhlech prochází úzkými axiálními úseky pacientova těla [10]. CT využívá vějířovitého paprsku radiačního záření a řady elektronických detektorů. Během rotace kolem pacienta o 360° se zhotoví velké množství projekcí vyšetřované vrstvy. Data jsou následně v počítači zpracována ve výsledný obraz tkáně ve 3 dimenzích [95, 96].

CT skener se skládá ze dvou částí: senzorů a gantry (kruh nebo válec, do kterého je pacient při snímkování umístěn). Gantry se otočí kolem lůžka s ležícím pacientem a svazek emitujících RTG paprsků je kolimován a zaměřen na řadu detektorů. Po každé rotaci je lůžko o pár milimetrů posunuto. CT skenery se dělí na několik generací, z nichž v současnosti nachází uplatnění třetí a čtvrtá generace. Třetí generace pracuje za synchronizované rotace rentgenky a řady detektorů. Ve čtvrté generaci jsou detektory stacionárně umístěny v kruhu a rotuje pouze rentgenka. Spirální CT je pokračováním třetí generace, kde pacient není skenován v jednotlivých rovinách, ale skenování probíhá kontinuálně za plynulého posunu stolu. Výhody spirální CT jsou v kontinuálním získávání dat a zkrácené době skenování [10].

Vývoj CBCT umožnil přesnější zobrazení struktur obličeje s výrazně nižší dávkou radiačního záření oproti konvenční CT [18]. Způsobem získávání 3D obrazu se od konvenční CT velmi liší [10]. CBCT využívá kuželovitého paprsku radiačního záření, který prochází zkoumanou oblastí objektu a dopadá na naproti ležící detektor. Data pro rekonstrukci jednotlivých řezů jsou získána za jednu rotaci kolem hlavy pacienta [97].

CT a CBCT jsou volumetrické zobrazovací metody, u kterých je mračno bodů (tzv. „point cloud“) rozprostřeno v celém objemu snímaného objektu. Segmentace CBCT skenu dovoluje i samostatné zobrazení povrchových měkkých tkání obličeje. V porovnání s dále zmíněnými technikami není však znázornění takto vytvořeného povrchu dostatečně fotorealistické [98]. Kvůli expozici radiačnímu záření, vysoké ceně a slabému rozlišení obličejových obrysů nejsou pro výzkum morfologie a růstu obličeje tato zařízení příliš vhodná [20].

2.3.3.2 Laserové skenery

Laserové skenery patří mezi první vyvinuté 3D povrchové zobrazovací systémy. Tyto přístroje využívají laserového paprsku (bodového nebo v podobě proužku), který přechází po povrchu obličeje pacienta. Na obličej se paprsek rozptýlí a tento rozptyl je poté zachycen snímačem. Triangulací jsou následně vypočítány souřadnice (x, y, z) každého povrchového bodu [99].

Triangulace je založena na řešení trojúhelníku, u něhož jsou známy délka jeho jedné strany (tzv. základny) a velikosti k ní přilehlých úhlů.

Tímto neinvazivním způsobem jsou získána data o celém povrchu obličeje. Výsledné 3D modely jsou přesné, ale čas na jejich zhotovení je relativně dlouhý (až 20 sekund). Při skenování neživých objektů nepředstavuje tato delší doba zhotovení problém. Živé subjekty (zejména pak děti) však nejsou schopny vydržet po celý čas skenování kompletně bez hnutí, což vede ke vzniku zkreslení. Další nedostatek laserových skenerů je v jejich neschopnosti zaznamenat texturu snímaného povrchu. To způsobuje obtíže při určování landmarků, jejichž identifikace je závislá na barvě povrchu [84, 99, 100].

2.3.3.3 Optické skenery

Optické skenery jsou řazeny mezi 3D technologie, které umožňují účinný a neinvazivní způsob zachycení morfologie lidského obličeje bez rizika radiačního záření. Podle principu snímání se dělí na dvě skupiny: skenery využívající strukturované světlo a skenery fungující na principu stereofotogrammetrie (pasivní nebo aktivní).

2.3.3.3.1 Strukturované světlo

Skenery využívající strukturované světlo promítají na objekt organizované vzorce bílého světla v podobě mřížek, teček nebo proužků. Současně je daný objekt fotografován kamerou, která je kalibrována na určitý typ tohoto vzorce. Kamera zachytí deformaci mřížky vzniklou na povrchu objektu a speciální software vytvoří z této informace výslednou 3D strukturu. Metoda strukturovaného světla je vhodnější pro snímání menších objektů. Pro výzkum lidské tváře je již potřeba snímání nejméně ze dvou různých úhlů pohledu [99, 101].

2.4.3.3.2 Stereofotogrammetrie – pasivní

Stereofotogrammetrie byla vyvinuta ze starých fotogrammetrických technik a umožňuje detailní zachycení a následnou analýzu obličeje ve třech dimenzích. Stereofotogrammetrie funguje na principu snímání objektu z různých úhlů pohledu dvěma nebo více synchronizovanými kamerami [100]. Před snímáním je k správným výpočtům struktury ve 3D nezbytná kalibrace skeneru. Během ní se určí ohnisková vzdálenost kamer, jejich přesné vzájemné umístění a pozice kamer vzhledem k objektu [84]. Trojdimenzionální model obličeje je vytvářen v následujících krocích. Prvním krokem je modelace, která využívá matematických výpočtů na principu triangulace. Informace získané z různých úhlů pohledu jsou softwarem spojeny a každý povrchový bod je určen souřadnicí. Kartézská soustava souřadnic se



Obrázek 14. 3D fotografie převedené do 2D zobrazení, zhotovené přístrojem Vectra M3 (autorka disertace)

u 3D fotografií skládá ze tří os: osa x (transverzální dimenze), osa y (vertikální dimenze), a osa z (anteroposteriorní dimenze). Model je znázorněn jako obrovské množství polygonů (trojúhelníků), které dohromady vytvářejí síť (tzv. *mesh*). Povrchová textura fotografie je dodána umístěním vrstvy pixelů na objekt. Tento proces (*image* nebo *texture mapping*) doplní k již vytvořené síti barevnou informaci. Druhým krokem je stínování, které přidá fotografii reálnou podobu. Posledním krokem je tzv. *rendering*, kdy počítač převede všechna shromážděná anatomická data do věrného 3D zobrazení [100, 101, 102]. 3D fotografie mohou být následně rotovány, posouvány a zvětšovány dle libosti, což lékařům i pacientům usnadní komunikaci ohledně plánu léčby. Pasivní stereofotogrammetrie je závislá na schopnosti kamer rozlišit detaily na povrchu obličeje – kožní póry, pihy, jizvy atd. Na provedení triangulačních výpočtů 3D geometrie jsou zapotřebí synchronizované zrcadlovky s vysokým rozlišením (single-lens reflex, SLR), které jsou schopny zachytit dostatek těchto detailů [99].

Příkladem optického skeneru, který funguje na principu pasivní stereofotogrammetrie, je Vectra M3 (Canfield Scientific, Inc, Parsippany, NJ, USA). Tento přístroj snímá obličej 6 synchronizovanými kamerami. Proces fotografování je velmi rychlý, trvá 3,5 milisekund, což činí systém imunní vůči pohybu a vzniku pohybových artefaktů. To je důležité hlavně při práci s dětskými pacienty, u kterých je dosažení spolupráce obtížnější. Během několika minut jsou fotografie softwarem automaticky zpracovány ve výsledný 3D model, který je uložen a zobrazen na obrazovce počítače. Modely jsou získány kompletně neinvazivně a detailně

popisují povrchové struktury s realistickým znázorněním textury a barvy kůže. Následně lze na modelech provádět přesné analýzy i bez přítomnosti pacienta [94]. Validitu měření kraniofaciálních rozměrů přístrojem Vectra M3 testovali Metzler a kol. [102] a Dírer a kol. [103]. Výsledky jejich výzkumu ukázaly, že tento systém je velmi přesný, a je tudíž vhodný pro užití v klinické praxi a výzkumu.

2.4.3.3 Stereofotogrammetrie – aktivní

Rozdíl mezi aktivní a pasivní stereofotogrammetrií je ve využití strukturovaného světla. Aktivní stereofotogrammetrie promítá na povrch objektu světelný vzorec, který je po dopadu na povrch deformován. Tato deformace je zachycena dvěma nebo více kamerami z různých úhlů pohledu a 3D souřadnice jsou vypočteny metodou triangulace [101]. Aktivní stereofotogrammetrie je odolnější vůči změnám světelných podmínek, neboť si skener po celou dobu snímání zajišťuje osvětlení sám. Vyspělé aktivní systémy jsou schopny záznamu i tmavších odstínů kůže a černého oblečení, protože rozdíly mezi tmavými a světlými body strukturovaných vzorců poskytují dostatečnou informaci na triangulaci souřadnic [99]. Příkladem aktivního stereofotogrammetrického přístroje je 3dMDface System (London, Vel. Británie). Skener zhotoví 6 fotografií během 1,5 milisekundy: 4 černobílé fotografie jsou zhotovené pomocí strukturovaného světla a jsou určeny na konstrukci 3D struktury a 2 barevné fotografie slouží k vytvoření povrchové textury kůže [104].



Obrázek 15. Vectra M3 – 3D optický skener na principu pasivní stereofotogrammetrie

2.4. Geometrická morfometrie

Geometrická morfometrie (GM) je speciální metoda využívaná pro statistickou analýzu tvarů. Svým přístupem se GM odlišuje od klasické morfometrie, která se zabývá měřením lineárních vzdáleností a úhlů [105, 106]. Metody GM jsou založeny na měřitelných bodech, tzv. landmarcích a jejich poloze v kartézské soustavě souřadnic [106]. Před analýzou musí být každý objekt redukován na určitý počet landmarků, jelikož základní nástroje GM nejsou schopny pracovat přímo s křivkami nebo povrchy [105]. Výhodou GM je, že data o veškeré geometrické informaci zůstávají zachována po celou dobu analýzy [107]. V GM se tak neměří jenom vybraná sada vzdáleností, ale zohledňuje se zde relativní uspořádání landmarků a jejich vzájemné vztahy [108]. Zásadou je, že všechny zkoumané objekty musí mít shodný počet landmarků, které představují stejný anatomický (nebo funkční) znak u všech objektů [105]. Landmarky mají svou pozici (určenou dvěma nebo třemi souřadnicemi), název a vykazují určitý druh homologie mezi všemi měřenými objekty [106].

GM umožňuje studium růstu obličeje ze dvou různých přístupů. Je možné sledovat celkové růstové změny obličejové formy nebo pouze samostatné tvarové změny, které neberou v úvahu velikost. Termín forma odkazuje na geometrické vlastnosti nezávislé na poloze a rotaci [106]. Studium formy obličeje tak zohledňuje velikostní i tvarové změny [4]. Tvar je definován jako zbývající geometrická informace o landmarkové konfiguraci po odstranění všech pozičních, velikostních a rotačních faktorů [108, 109]. Jinými slovy: tvar objektu není ovlivněn změnou pozice, polohy a velikosti. Dva objekty mají stejný tvar, pokud mohou být posunuty, rotovány a jejich velikost může být upravena tak, aby přesně pasovaly jeden na druhý [106]. Při zabývání se růstovým procesem je vhodné zvážit oba přístupy, tj. studium formy i tvaru, protože v průběhu růstu dochází v obličejí nejen k velikostním, ale i tvarovým změnám.

2.4.1 Generalizovaná Prokrastova analýza

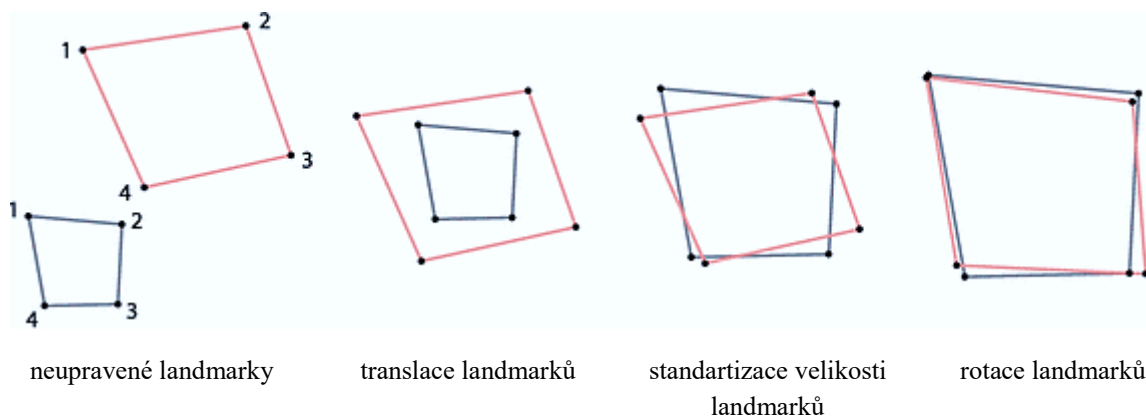
Hlavním cílem GM je nalézt průměrnou formu nebo tvar objektů a analyzovat variabilitu vyskytující se ve skupině vzhledem k tomuto průměru [105]. Generalizovaná Prokrastova analýza (GPA) je analytická metoda, která umožňuje porovnání velkého množství obličejů s vytvořeným průměrem [107].

GPA zahrnuje 3 kroky:

- translaci všech landmarkových konfigurací na stejný *centroid* (průměr),

- *scaling*, neboli standardizaci velikostí všech landmarkových konfigurací na stejnou velikost
- rotaci všech konfigurací tak, že součet druhých mocnin vzdáleností mezi landmarky a jejich odpovídajícím průměrem vzorku je minimální.

Souřadnice výsledných superimponovaných landmarkových konfigurací (Prokrastovy tvarové souřadnice) nadále obsahují pouze informace o tvaru [106]. Diskrepance zůstávající mezi landmarkovou konfigurací, která nemohla být odstraněna pomocí GPA, je nazývána jako Prokrastova vzdálenost. V rámci GPA jsou tedy všechny obličeje rotovány, posunuty a jejich velikost je změněna tak, aby byla minimalizována suma druhých mocnin vzdáleností mezi vzájemně si odpovídajícími landmarky každého objektu s jejich vytvořeným průměrem [107]. Nejběžnějším měřítkem velikosti používaným v GM je tzv. *centroid size* (CS): odmocnina součtu druhých mocnin vzdáleností mezi všemi body a jejich *centroidem*. *Centroid* landmarkové konfigurace je průměr všech landmarků. CS je kompozitní měřítko velikosti založené na všech landmarcích a je proporcionální k odmocnině součtu druhých mocnin interlandmarkových vzdáleností [106].



Obrázek 16. Tři kroky Prokrastovy superimpozice – *translace*, *scaling* a *rotace* [110]

2.4.2 Shape space a form space

Na znázornění vztahů mezi složitými objekty se v GM využívají matematické prostory: *shape space* a *form space*.

Tvary objektů jsou v *shape space* reprezentovány jako jednotlivé body, umístěné v různé vzdálenosti od sebe navzájem. Vzdálenost mezi body je Prokrastova vzdálenost v *shape space*,

kteřá představuje měřítko tvarové rozdílnosti objektů. Prokrastova vzdálenost je určena euklidovskou vzdáleností mezi dvěma sety Prokrastových tvarových souřadnic (odmocnina součtu druhých mocnin vzdáleností mezi odpovídajícími si landmarky po Prokrastově superimpozici). Prokrastova vzdálenost je rovna nule pouze pokud mají objekty stejný tvar [106]. Posuny z bodu do bodu odpovídají příslušným tvarovým změnám a směr tohoto posunu charakterizuje určitý typ tvarové změny, která je kromě velikosti pro tento směr u všech objektů stejná [108].

Form space nebo také *size-shape space* je prostor zobrazující formy různých objektů. *Form space* může být vytvořen dvěma hlavními způsoby: 1. částečnou Prokrastovou superimpozicí, která zahrnuje standardizaci landmarkových konfigurací v rámci polohy a orientace, avšak velikost objektů zůstává zachována; 2. rozšířením Prokrastových tvarových souřadnic o přirozený logaritmus *centroid size* ($\ln CS$) jako dalšího zohledňovaného faktoru variability v analýze. Využití logaritmu CS jako další dimenze v *Prokrastově form space* je odůvodněno na nulovém modelu. Ten říká, že data jsou vytvářena izotropní variací pozic landmarků kolem každé průměrné konfigurace, tzn. variace jsou stejné ve všech směrech u každého landmarku a velikost variací je malá (odchyly landmarků od jejich příslušné průměrné pozice jsou malé vzhledem k vzdálenostem mezi landmarky v průměrné konfiguraci) [108]. Logaritmická transformace zajišťuje, že pro izotropní variantu landmarku je tak rozložení ve *form space* také izotropní [106]. Izotropní variace je obvykle nulový model odpovídající šumu v datech [46]. Oba sety variabilit (získané jednak částečnou Prokrastovou superimpozicí nebo rozšířením Prokrastových souřadnic o přirozený logaritmus CS) mohou být využity pro analýzu hlavních komponent (*principal component analyses*, PCA) a další analýzy. Euklidovská vzdálenost v těchto prostorech může být interpretována jako měřítko rozdílnosti formy objektu [106].

2.4.3 Analýza hlavních komponent

Variabilitu mezi objekty lze v rámci GM analyzovat statistickou metodou – analýzou hlavních komponent (PCA) [105]. PCA je využívána při multivariačních datových analýzách a je založena na principu ortogonální transformace, která umožňuje redukovat původní sadu dat s vyskytujícími se možnými korelacemi na jinou sadu nekorelovaných dat, tzv. hlavních komponent. PCA výrazně redukuje variabilitu na mnohem menší počet hlavních komponent, a to s minimální ztrátou informace [107]. *Form/shape space* se rotuje takovým způsobem, že jeho hlavní osy jdou ve směru největší variability. Každý subjekt je reprezentován bodem

v tomto prostoru. Tímto způsobem je PCA schopna ukázat hlavní vzorky variability v populaci [105].

První hlavní komponenta (PC 1) je osa, která prochází průměrem ve směru největší variability ve vzorku. Druhá hlavní komponenta (PC 2) je osa kolmá k PC 1, prochází průměrem a vysvětluje druhý největší podíl na variabilitě. Další hlavní komponenty (PC 3, PC 4, PC 5...) vysvětlují zbývající variabilitu s postupně se snižujícím podílem na celkové variabilitě vyskytující se v datech.

2.4.4 Alometrie

Alometrie odkazuje na změny morfologických znaků souvisejících s velikostí a představuje základní koncept studia evoluce a vývoje. V klasickém konceptu alometrie je znak považován za negativně alometrický, pokud se jeho velikost zvyšuje méně než velikost ostatních znaků nebo celková velikost organismu. Relativní velikost znaku se tedy zmenšuje se zvětšující se celkovou velikostí. Znak je naopak pozitivně alometrický, pokud se jeho velikost zvyšuje více než velikost ostatních znaků [106].

Rozlišuje se několik typů alometrie:

1. Ontogenetická alometrie – vztah mezi velikostí a tvarem mezi různými věkovými kategoriemi.
2. Statická alometrie – asociace mezi velikostí a tvarem v určitém jednotném věku (obvykle u dospělých).
3. Evoluční alometrie – asociace mezi velikostí a tvarem mezi různými živočišnými druhy [106].

V rámci alometrie se rozlišují dvě hlavní školy. Huxley-Jolicoeurova škola zdůrazňuje kovarianci mezi znaky jako důsledek rozdílu ve velikosti. Dle této školy nejsou velikost a tvar od sebe odděleny. Naopak podstatu Gould-Mosimannovy školy, která definuje alometrii jako kovarianci velikosti a tvaru, představuje odlišení mezi velikostí a tvarem v rámci všech analýz [108].

Rozdělení těchto dvou škol klasické alometrie je využitelné pro porozumění rozdílů mezi různými alometrickými postupy, které se nyní uplatňují v GM. Studium alometrie v rámci GM vyžaduje přístup, který se však od klasické alometrie v několika aspektech liší. Většina studií navazuje na tradici Gould-Mosimannovy školy a analyzuje alometrii jako multivariační regresi tvaru na CS (*centroid size*) nebo logaritmu CS. Multivariační regrese se zabývá případem, kdy existuje několik závislých proměnných a jedna nebo více nezávislých proměnných. Velikost a tvar jsou zde od sebe odděleny a regresní analýza tak testuje, zda mezi

nimi existuje statistická asociace. V pozitivním případě je alometrie charakterizována jako očekávaná změna tvaru při změně velikosti o jednu jednotku [108].

Otázka oddělení velikosti a tvaru však byla některými autory zpochybněna. Ti se pak zabývali analýzou formy landmarkových konfigurací, která zahrnuje velikost i tvar dohromady. Princip těchto metod je v duchu Huxley-Jolicoeurovy školy a v současnosti jsou v GM široce aplikovány. Mezi ně patří *size-shape space* neboli *Prokrastův form space*, který přidává logaritmus CS jako další dimenzi v *shape space*. Druhý hlavní přístup je známý pod jmény jako *size-and-shape space* nebo *form space*, jež zahrnuje superimpozici landmarkových konfigurací bez standardizace na jednotnou CS [108].

Opakem k alometrii je izometrie, která je možnou nulovou hypotézou a může být uplatněna v statistických testech pro alometrii. Existují dva možné scénáře pro izometrii. První scénář je v izotropické variaci souřadnic landmarků, což je ovšem pro biologická data nerealistické. Tento model naznačuje stejné množství variací ve všech dimenzích *form space*. Směry hlavních komponent jsou zde určeny jenom výběrovými chybami a jsou tak nevýznamné. Druhý nulový model předpokládá, že variace ve velikosti převažují nad variacemi tvarové variability (to je obvykle v biologických datech pravdivé) a velikost je nezávislá na tvaru. V tomto modelu je PC 1 perfektně zarovnaná s osou logaritmu CS. V mnoha morfometrických datasetech zahrnuje PC 1 v *Prokrastově form space* velký podíl celkové variability, někdy 80 % a více. Větší množství variability, kterou zahrnuje PC 1 v *Prokrastově form space* odráží příspěvek logaritmu CS, který je tak často dominantní.

Pokud se v datech vyskytuje alometrie, tak je tendence tvaru měnit se s rostoucí velikostí. To způsobí, že PC 1 je lehce skloněná vzhledem k ose logaritmu CS [106, 108]. Slabá alometrie znamená, že velikost zahrnuje pouze malou proporcii celkové tvarové variability [108]. V mnoha morfometrických datasetech je však alometrie nejvíce dominantní faktor variability tvaru a formy ve skupině. Tím je alometrie úzce spojená s první hlavní komponentou v *shape space* a zvláště ve *form space*. Nicméně to není garantováno pro všechny datasety, a proto je pravá multivariační regrese tvaru na CS spolehlivější metodou na určení alometrie a měla by být preferována před PC 1 v *shape space* a *form space* [106].

2.5 Výskyt ortodontických anomálií a Svratecký program

Vhodný věk pro zahájení ortodontické terapie není pro všechny anomálie stejný. Pro praktického zubního lékaře poskytujícího léčbu dětským pacientům je podstatné vědět, v jakém věku při diagnostice anomálie odeslat pacienta ke specialistovi. Tento věk se liší dle typu vady a v některých případech i podle její závažnosti [9]. V rámci pravidelných preventivních stomatologických prohlídek je lékař povinen vyšetřit nejen tvrdé a měkké tkáně dutiny ústní, ale také interkuspidaci a vztah zubních oblouků. V roce 1957 byla na celostátní poradě ve Svatce sestavena směrnice pro depistáž ortodontických anomálií – tzv. Svratecký program [9, 111]. Ten byl dále novelizován v roce 1982 ortodontickou sekcí České stomatologické společnosti a obsahuje 9 bodů, které uvádějí případy, kdy má zubní lékař odeslat pacienta k ortodontickému vyšetření k specialistovi. Jedná se o:

1. obrácený skus celého frontálního úseku i zákus jednotlivých řezáků;
2. vertikálně otevřený skus ve frontálním úseku;
3. anomálie špičáků, zejména ektopie, retence, předčasné ztráty dočasných špičáků a nedostatek místa pro stálé špičáky;
4. anomálie řezáků v počtu, tvaru, postavení, ztráty, nepravidelnosti v jejich prořezávání;
5. stěsnání v řezákové oblasti po prořezání všech stálých řezáků, v horní čelisti v rozsahu jednoho řezáku a více;
6. protruzní vady s incizálním schůdkem více než 7 mm, podle možností nad 5 mm;
7. převislý skus do 9 let;
8. zkřížený skus v postranním úseku max. do 9 let (odesílat do 9 let);
9. rozštěpy a jiné vývojové vady obličeje [9].

Skutečnost, že pro některé anomálie je indikována včasná (interceptivní) léčba, podtrhuje důležitost ortodontického vyšetření u dětí v období smíšeného a na počátku stálého chrupu, tj. ve věku 6 až 12 let [112]. Děti v tomto věku navštěvují základní školy, u kterých do roku 1992 byly organizovány pravidelné povinné prohlídky dětí u zubního lékaře. Tyto prohlídky však byly v rámci změn ve zdravotnictví již zrušeny. V současné době je na zákonném zástupci, aby zabezpečil pravidelné preventivní prohlídky jeho dítěte. Realita je bohužel taková, že orální zdraví není pro všechny rodiče prioritou a některé děti zubního lékaře navštěvují sporadicky nebo ho dokonce nenavštěvují vůbec. Kromě výskytu kariézních lézí a jejich komplikací tak mohou zůstat nezachyceny i ortodontické anomálie, které se v případě neléčení mohou s postupujícím věkem dále zhoršovat.

2.5.1 Mezinárodní ortodontické indexy potřeby léčby

Objektivní hodnocení ortodontických anomálií je důležité z několika důvodů:

- a) epidemiologická registrace anomálií,
- b) objektivní stanovení závažnosti anomálie pacienta a indikace k léčbě,
- c) objektivní hodnocení výsledku léčby [113].

Při registraci výskytu ortodontických anomálií se uplatnilo dělení na Angleovy třídy a eventuálně na jednotlivé diagnostické syndromy [113]. Okluzální index založený na *Angleově klasifikaci* je diagnostický index, který je obvykle využíván k hodnocení incidence malokluzí v určité populaci [114]. Tyto metody jsou však zatíženy velkou subjektivitou a individuální chybou [113].

Primárním cílem ortodontických indexů potřeby léčby je určení priority léčby, tzn. výběr vhodných pacientů k léčbě [115]. Velké množství indexů bylo vyvinuto od 50. let 20. století, kdy Massler a Frankel [116] navrhli kvantitativní metodu hodnocení malokluzí. Jejich index je velmi jednoduchý a sčítá počet špatně artikulujících nebo postavených zubů [113]. Další populární indexy byly představeny v 60. letech 20. století. Mezi ně patří Summersův *Okluzální index* (OI) [117], který registruje 10 znaků, 4 kvantitativní a 6 kvalitativních. Tento index lze využít i ve smíšené a dočasné dentici, má lehce složitější formulář, ale vlastní provedení je velmi rychlé. Místo registrovaného stěsnání se bodují diskrepance v laterálních úsecích [113]. Dalším užívaným indexem byl *Treatment Priority index* od Graingera [118] z roku 1966. Ten má 7 znaků, z toho 3 kvantitativní a 4 kvalitativní a slouží k určení léčebné priority [113]. *Handicapping Malocclusion Assessment Record* (HMAR) byl publikován Salzmannem [119] a je určen k indikaci léčby. HMAR rozlišuje 12 znaků, vesměs kvalitativních [113].

Mezi novější indexy patří *Index of Orthodontic Treatment Need* (IOTN) [115, 120]. Tento index obsahuje 2 složky: dentální komponentu a estetickou komponentu. Dentální komponenta je odvozená z pravidelnosti okluze a rozděluje pacienty do 5 skupin podle potřeby ortodontické léčby. Estetická komponenta je odvozená z tabulky standardizovaných fotografií. Soubor 10 fotografií, reprezentujících jednotlivé malokluzi, se používá pro vizuální hodnocení (od 1 do 10) dané malokluzi [120, 121].



Obrázek 17. Standardizovaný soubor fotografií vytvořený k hodnocení estetické komponenty IOTN [122]

3 Experimentální část

3.1 Soubor a metodika

Tato studie byla schválena etickou komisí Univerzity Palackého v Olomouci (referenční číslo 69/15) a probíhala v období prosinec 2016 – květen 2019. Na studii spolupracovala Klinika zubního lékařství LF UP a FN v Olomouci s University of Bern, Švýcarsko. Sběr dat probíhal na základních školách Olomouckého kraje. Nejprve byla ředitelům 10 vybraných škol osobně nebo emailem vysvětlena metodika studie. Čtyři z oslovených ředitelů projevíli zájem o spolupráci. Na jejich školy byly zákonným zástupcům potenciálních účastníků zaslány detailní informace o charakteru výzkumu a formuláře pro informované souhlasy s účastí dětí ve studii. Děti, které byly ochotné se zapojit, a jejichž rodiče souhlasili a podepsali formuláře, byly následně zařazeny do studie. Podmínky pro účast ve studii byly: dobrý zdravotní stav dítěte, český původ a absence vývojových obličejových anomálií nebo závažných traumat s trvalou deformitou měkkých tkání obličeje. Další kritéria pro vyloučení dítěte ze souboru první části studie byly klinicky výrazná skeletální malokluze nebo předchozí ortodontická léčba. Děti, které začaly ortodontickou léčbu v průběhu trvání studie, byly ze souboru první části výzkumu také vyřazeny. Na prvních dvou základních školách byl výzkum zahájen ve školním roce 2016/2017 a na dalších dvou školách v roce 2017/2018.

Vyšetření probíhalo v prostorách škol bez přítomnosti zákonných zástupců dětí. Sběr dat zahrnoval: 1) zhotovení fotografie obličeje 3D fotoaparátem, 2) měření výšky a váhy dítěte, a 3) intraorální vyšetření případných ortodontických anomálií. Sběr dat byl opakován v časovém intervalu 12 měsíců po dobu 2 let.

V první části práce, která se zaměřuje na růstové změny obličeje, se vyšetřovaný soubor skládal ze 113 dětí (58 dívek a 55 chlapců) ve věku 6-13 let na počátku studie. Děti byly rozděleny do skupin dle pohlaví a věku na počátku studie (6-7,9 let, 8-9,9 let, 10-11,9 let a ≥ 12). Do souboru byly zařazeny děti, které měly 3 vyšetření v průběhu 2 let bez přerušení a splňovaly všechny výše uvedené podmínky pro přijetí do studie.

Vyšetřovaný soubor ve druhé části práce, která se zabývá frekvencí výskytu ortodontických anomálií, tvořilo 312 dětí (134 chlapců a 178 dívek) vyšetřených v prvním roce studie ve věku 6-14 let. Do souboru této části výzkumu byly zařazeny i děti v ortodontické léčbě nebo s klinicky detekovatelnou skeletální anomálií. Děti byly rozděleny do skupin dle věku (6-7,9 let, 8-9,9 let, 10-11,9 let a 12-13,9 let). Tento soubor zahrnoval i probandy z první části studie.

3.1.1 3D fotografie

Každoročně byly obličej zúčastněných dětí fotografovány 3D optickým skenerem Vectra M3 (Canfield Scientific Inc., NJ, USA). Tento přístroj byl zakoupen z prostředků University of Bern, Švýcarsko a v rámci spolupráce na projektu byl zapůjčen ortodontickému oddělení Kliniky zubního lékařství LF UP a FN v Olomouci. Skener funguje na principu pasivní stereofotogrammetrie a je schopen zhotovit přesné fotorealistické 3D fotografie obličeje. Informace o 3D geometrii obličeje jsou získány 6 synchronizovanými kamerami, které snímají obličej z různých úhlů pohledu. Celý proces fotografování je zcela neinvazivní a velmi rychlý (3,5 milisekund). To výrazně zjednodušuje práci s dětmi a činí systém imunní vůči pohybu a vzniku pohybových artefaktů. Přesnost systému Vectra ověřil Metzler a kol. [102] a Dírer a kol. [103].

Před snímáním dětí byla dle doporučení výrobce provedena kalibrace skeneru Vectra M3. Během ní se určila ohnisková vzdálenost kamer, jejich přesné vzájemné umístění a pozice kamer vzhledem k objektu [84]. Kalibraci bylo nezbytné opakovat každý den fotografování nebo po změně polohy skeneru. Po tomto procesu byli účastníci studie požádáni, aby se posadili před skener na posuvnou stoličku s nastavitelnou výškou a dívali se přímo před sebe do zrcátka umístěného mezi jednotlivými kamerami. Pozice hlavy byla následně upravena tak, aby odpovídala naváděcím liniím na obrazovce počítače. Pokud vlasy zakrývaly část obličeje dítěte, bylo nutné je z obličeje odstranit a zachytit látkovou čelenkou. Děti byly poučeny, že mají zůstat po celou dobu snímání bez hnutí, s neutrálním výrazem v obličeji a se zuby v maximální interkuspídaci.

3.1.2 Měření výšky a váhy

Výška a váha dítěte byly pravidelně zaznamenány v intervalu 12 měsíců, ve stejný den jako 3D fotografie. Měření bylo standardizováno – děti byly bosé, při měření výšky stály vzpřímeně a měření bylo opakováno každý rok v podobném denním čase.

3.1.3 Intraorální vyšetření

Intraorální vyšetření případných ortodontických anomálií bylo provedeno jedním vyškoleným lékařem (autorka disertace) za využití jednorázových rukavic, špátle a digitálního posuvného měřítka. V maximální interkuspídaci byl vyšetřen skus, kdy byl určen sagitální vztah prvních stálých horních a dolních molárů – Angleova třída, změřen byl incizální schůdek (IS), tj. horizontální překus řezáků a hloubka skusu (HS), tj. vertikální překus řezáků. IS byl měřen digitálním posuvným měřítkem (MarCal 16) v milimetrech na 2 desetinná místa jako horizontální

vzdálenost od incizální hrany horního levého středního řezáku k labiální ploše dolního levého středního řezáku v maximální interkuspidaci. V případě rozdílné polohy obou středních řezáků se bral v úvahu ten s větší vzdáleností IS. HS byla určena v procentech překryté labiální plochy dolního středního řezáku měřeným horním středním řezákem, kdy byla digitálním měřítkem zjištěna délka dolního řezáku a míra jeho překryvu horním středním řezákem v maximální interkuspidaci. Ve formuláři pro informovaný souhlas rodiče uvedli, zda je jejich dítě již v probíhající ortodontické dispenzarizaci nebo léčbě. Při diagnostice ortodontické anomálie neinvazivním klinickým vyšetřením, bylo také dítě na tuto skutečnost znovu dotázáno. Osobní rozhovor se zákonnými zástupci neprobíhal, příčina neabsolvování ortodontické léčby tak nebyla dále zkoumána. V rámci studie nebylo možné zhotovit rentgenové snímky, nebyly tak vyšetřeny všechny body Svrateckého programu, a to konkrétně body 3 a 4. Dětem s ortodontickou anomálií splňující podmínky Svrateckého programu, které dosud nebyly sledovány ortodontistou, byla předána žádanka s doporučením se objednat na další vyšetření na ortodontické oddělení Kliniky zubního lékařství UP a FNOL.

3.1.4 Analýza 3D modelů obličeje

Před analýzou 3D obličejových modelů (tzv. *mesh*) byla v programu Mirror® Vectra Software (Canfield Scientific, Fairfield, NJ, USA) zkontrolována jejich kvalita. Důraz byl kladen na kompletní zobrazení všech částí obličeje, přítomnost neutrálního výrazu, zavřených úst a otevřených očí. Modely byly exportovány ve formátu stl souborů do programu Viewboxu 4.1 (dHal Software, Kifissia, Greece), kde s nimi bylo dále manipulováno. Za účelem vzájemného porovnání modelů byla ve Viewboxu nejprve vytvořena šablona, tzv. *template*, představující dataset homologních bodů – landmarků (Obrázek 18). Jako *template* byl ze vzorku náhodně vybrán jeden *mesh*, na který bylo umístěno 14 fixních bodů. Tyto body představovaly snadno určitelné anatomické struktury: *pronasale*, *nasion*, *subnasale*, *endocanthion dexter et sinister*, *exocanthion dexter et sinister*, *cheilion dexter et sinister*, *labiale superius et inferius*, *stomion*, *sublabiale a menthon*. Poté bylo vytvořeno dalších 400 bodů (tzv. *semilandmarků*), které byly rovnoměrně rozprostřeny po celém povrchovém modelu. Takto zhotovený *template* byl dále popsáním způsobem aplikován na digitalizaci všech modelů. Fixní body byly vždy manuálně umístěny na jejich přesnou pozici. Program pak za využití známé pozice fixních bodů vypočítal tzv. *thin-plate spline deformaci* (TPS, metoda ohebných pásků) mezi *template* a každým vyšetřovaným modelem. TPS je interpolační algoritmus, který slouží pro vizualizaci tvarových rozdílů mezi referenční a cílovou formou. Tento algoritmus je založený na sadě homologních bodů, kterou lze měřit na obou formách. TPS minimalizuje tzv. deformační energii (*bending*

energy) – skalární veličina, vypočítaná jako integrál druhých mocnin derivací lokální tvarové deformace. Deformační energie měří tvarové rozdíly mezi dvěma landmarkovými konfiguracemi bez využití Prokrastovy superimpozice [110, 123]. Metodou TPS tak byla určena pozice všech *semilandmarků*, které však nejprve nemusely nutně ležet na povrchu digitalizovaného objektu. Z tohoto důvodu byl aplikován opakující se proces promítnutí *semilandmarků* na povrch a jejich posun (*sliding*) tak, aby deformační energie konfigurací bodů byla vzhledem ke tvaru *template* minimalizována.

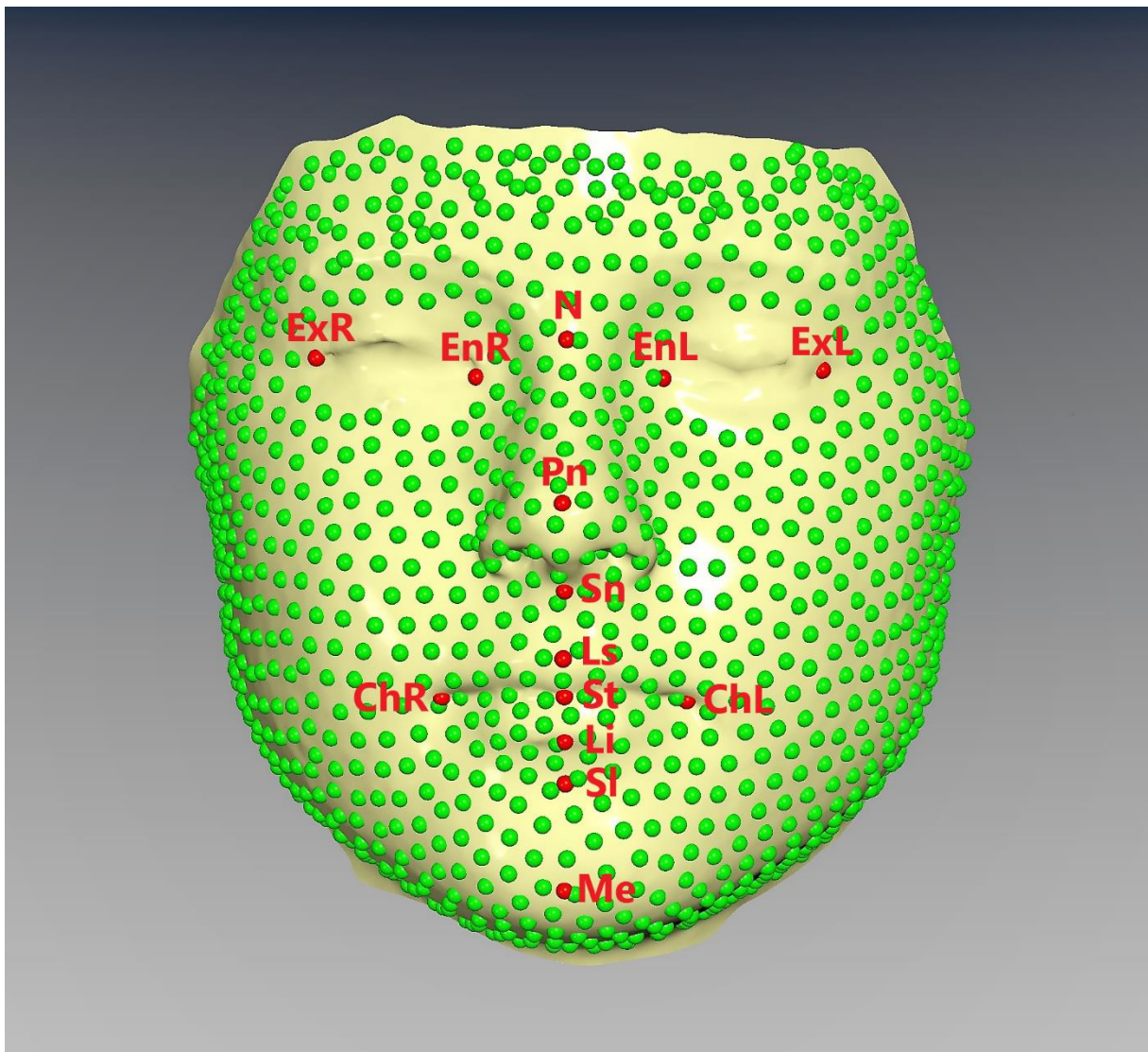
Následující úpravy polohy *semilandmarků* spočívaly v jejich posunu tak, aby byla minimalizována deformační energie mezi každou konfigurací a průměrem vzorku. Poté byly body znovu promítnuty na povrch. Proces posunu *semilandmarků* s minimalizací deformační energie a jejich re-projekce na povrch byly opakovány 3krát. Přitom bylo pokaždé využito nově vypočítaného průměru vzorku jako referenční formy landmarkové konfigurace. Po ukončení tohoto procesu byly *semilandmarky* mezi subjekty považovány za homologní a byla umožněna další analýza.

3.1.5 Zobrazení růstových změn obličeje

Na zobrazení změn obličeje v průběhu růstu byly využity barevné mapy vzdáleností, které byly vytvořeny v programu Viewbox 4.1.

3.1.6 Chyba měření

113 3D modelů (1/3 z celkového počtu modelů) byly náhodně vybrány a znovu digitalizovány (re-digitalizovány) stejným výzkumným pracovníkem (autorka disertace) za dobu 1 měsíce od předcházející digitalizace. Náhodná chyba byla vyjádřena jako Prokrastova vzdálenost mezi re-digitalizacemi v *shape space* ve srovnání s celkovou tvarovou variabilitou.



Obrázek 18. Template vytvořený v programu Viewbox 4.1 software. Fixní body – červené body (*N* – nasion, *Pn* – pronasale, *Sn* – subnasale, *EnR* – endocanthion right, *EnL* – endocanthion left, *ExR* – exocanthion right, *ExL* – exocanthion left, *ChR* – cheilion right and *ChL* – cheilion left, *Ls* – labiale superius, *Li* – labiale inferius, *St* – stomion, *Sl* – sublabiale and *Me* – menthon); *semilandmarky* – zelené body

3.1.7 Statistická analýza

K popisu získaných dat byly vypočítány deskriptivní statistické metody. Věk byl v analýzách použit ve dvojí funkci – pro některé analýzy jako skupinová proměnná a v regresních analýzách jako spojitá proměnná. Generalizovaná Prokrastova analýza (GPA) a analýza hlavních komponent (PCA) byly aplikovány na výzkum obličejové variability ve vzorku ve *form space* (tzn. kombinace velikosti a tvaru přidáním logaritmu *centroidové* velikosti (*centroid size*, CS)

k Prokrastovým souřadnicím) a *shape space* (tzn. tvar bez velikosti). Velikost byla určena jako přirozený logaritmus CS ($\ln(\text{CS})$). CS landmarkové konfigurace je odmocnina součtu druhých mocnin vzdáleností sady landmarků od jejich *centroidu*. Pro některé statistické výpočty byl využit $\ln(\text{CS})$ místo CS (v geometrické morfometrii standardní postup). Logaritmická transformace zajišťuje, že pro izotropní variantu landmarku je rozložení ve *form space* také izotropní a tím je zaručena normalita dat [106].

Alometrie byla testována multivariační regresí jako proporce variability hlavních komponent vysvětlených $\ln(\text{CS})$.

Multivariační mnohonásobné regresní modely s PC 1 – PC 5 jako závislými proměnnými a pohlavím, výškou, váhou a věkem jako nezávislými proměnnými byly vytvořeny ve *form space* a *shape space* za účelem testování vlivu těchto nezávislých proměnných na formu a tvar obličeje.

Mnohonásobný regresní model smíšených efektů se změnou $\ln(\text{CS})$ mezi 2 pozorováními (tj. z T_1 do T_2 a z T_2 do T_3) (závislá proměnná) a věkem na začátku pozorování (T_1 nebo T_2), pohlavím, změnou výšky a váhy v průběhu 12měsíčního intervalu (tj. z T_1 do T_2 a z T_2 do T_3) (nezávislé proměnné) byl vytvořen na zhodnocení vztahu mezi změnou velikosti obličeje a nezávislými proměnnými.

Mnohonásobný regresní model smíšených efektů se změnou Prokrastovy vzdálenosti mezi 2 pozorováními (tj. z T_1 do T_2 a z T_2 do T_3) (závislá proměnná) a věkem na začátku pozorování (T_1 nebo T_2), pohlavím, změnou výšky a váhy v průběhu 12měsíčního intervalu (tj. z T_1 do T_2 a z T_2 do T_3) (nezávislé proměnné) byl vytvořen na zhodnocení vztahu mezi změnou tvaru obličeje a nezávislými proměnnými.

Statistická analýza byla provedena prof. P. Fudalejem (vedoucí práce) za asistence prof. N. Pandise v Bernu.

3.2 Výsledky

3.2.1 Výsledky první části práce

3.2.1.1 Vyšetřovaný soubor

Vyšetřovaný soubor se skládal ze 113 dětí (58 dívek a 55 chlapců) ve věku 6 až 13 let v čase prvního pozorování (T_1), tj. v čase prvního fotografování, vyšetření výšky a váhy a intraorálního vyšetření (Tabulka 1).

Tabulka 1. Demografická data

	Věk v čase 1. pozorování (T_1)	Počet subjektů	Průměrný věk v T_1 (SD)	Průměrná výška v cm v T_1 (SD)	Průměrná váha v kg v T_1 (SD)
Chlapci	6-7,9	9	7,3 (0,5)	130,1 (3,8)	26,4 (2,6)
	8-9,9	19	8,9 (0,6)	139,6 (5,3)	33,9 (5)
	10-11,9	14	10,7 (0,7)	144,7 (6,7)	39,2 (7)
	≥ 12	13	12,6 (0,4)	155,3 (6,4)	44,1 (6,6)
Dívky	6-7,9	10	7,2 (0,5)	123,3 (4,2)	22,8 (2,3)
	8-9,9	23	8,8 (0,6)	136,1 (6,6)	32,1 (7,5)
	10-11,9	16	10,9 (0,6)	147 (5,1)	37,4 (5,9)
	≥ 12	9	12,6 (0,5)	155,2 (5,8)	48,2 (10,8)

T_1 – první pozorování, SD – směrodatná odchylka

Všechny subjekty měly 3 vyšetření: T_1 , T_2 a T_3 ; celkově tak bylo analyzováno 339 fotografií obličeje a záznamů měření výšky a váhy. Chlapci byli vyšší a vážili více než dívky v mladších věkových kohortách. V nejstarší věkové kohortě (≥ 12 let) chlapci vážili méně než dívky a jejich výška byla srovnatelná s dívkami. To pravděpodobně naznačuje začátek puberty – dříve u dívek než u chlapců – s modifikujícím vlivem načasování začátku pubertálního růstového spurtu u jednotlivců.

3.2.1.2 Chyba měření

Průměrná Prokrastova vzdálenost mezi re-digitalizovanými 113 3D modely tvořila 6,33 % celkové variability vzorku.

3.2.1.3 Změna výšky a váhy

Tabulka 2a. Změna výšky u chlapců a dívek v průběhu 2 pozorovacích období (každý subjekt měl 3 záznamy výšky v 12měsíčních intervalech)

	Věk v čase 1. pozorování (T ₁)	Počet subjektů	Změna výšky v průběhu 1. pozorování (T ₁ -T ₂) - průměr (SD); medián	Změna výšky v průběhu 2. pozorování (T ₂ -T ₃) - průměr (SD); medián	p hodnota
Chlapci	6-7,9	9	7,3 (1,7); 8	7,3 (1); 7,5	0,929
	8-9,9	19	6,9 (1,3); 7	6,7 (2); 7	0,71
	10-11,9	14	6 (1,2); 6	8,4 (2,3); 8,3	0,007
	≥ 12	13	8,7 (2,5); 9	9 (3,2); 9	0,582
Dívky	6-7,9	10	6,2 (2,3); 7	7 (1,3); 7,3	0,613
	8-9,9	23	6,7 (1,8); 7	7,1 (2,6); 7,5	0,477
	10-11,9	16	6,9 (1,5); 7	7,2 (2,2); 7,5	0,612
	≥ 12	9	5,4 (2,2); 5	2,6 (2); 2	0,039

T₁ – první pozorování, T₂ – druhé pozorování, T₃ – třetí pozorování, SD – směrodatná odchylka

Tabulka 2b. Změna váhy u chlapců a dívek v průběhu 2 pozorovacích období (každý subjekt měl 3 záznamy váhy v 12měsíčních intervalech)

	Věk v čase 1. pozorování (T ₁)	Počet subjektů	Změna váhy v průběhu 1. pozorování (T ₁ -T ₂) - průměr (SD); medián	Změna váhy v průběhu 2. pozorování (T ₂ -T ₃) - průměr (SD); medián	p hodnota
Chlapci	6-7,9	9	3,4 (1,3); 3,3	5,6 (2,7); 5,1	0,012
	8-9,9	19	4,6 (3,1); 3,4	6,5 (6,9); 6,1	0,036
	10-11,9	14	4,7 (2); 4,9	8,3 (3,6); 7,8	0,002
	≥ 12	13	6,6 (2,6); 7,5	9,8 (3,5); 9,7	0,01
Dívky	6-7,9	10	2,7 (0,6); 2,7	3,7 (1,6); 3,1	0,051
	8-9,9	23	4,2 (2,6); 3,4	5,5 (3,3); 4,4	0,033
	10-11,9	16	5,1 (2,4) 4,3	7,4 (4,7); 7	0,042
	≥ 12	9	6,5 (5); 6,9	4,3 (3,8); 5,1	0,098

T₁ – první pozorování, T₂ – druhé pozorování, T₃ – třetí pozorování, SD – směrodatná odchylka

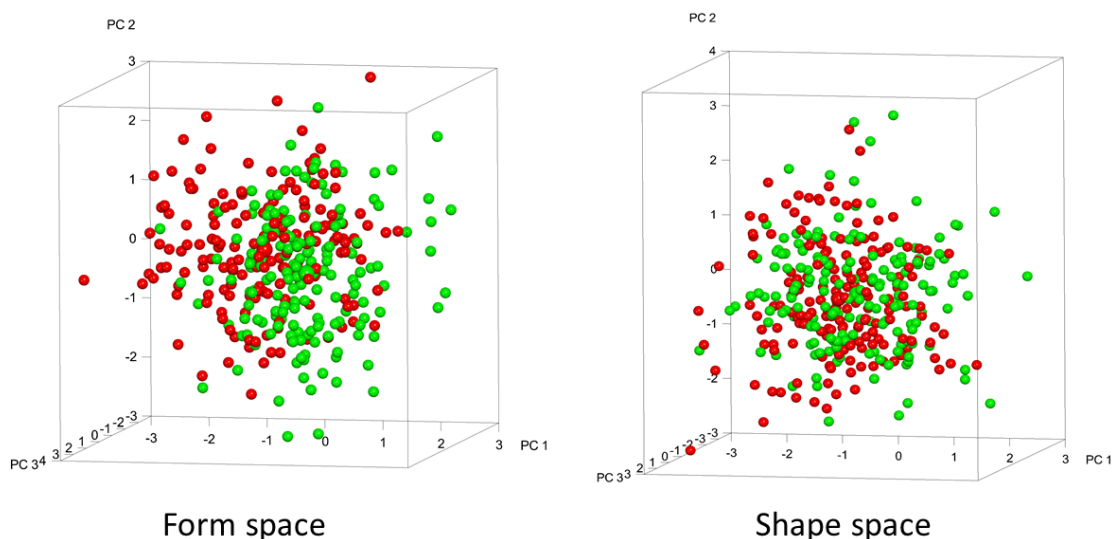
U dívek byly přírůstky ve výšce (Tabulka 2a) srovnatelné ve všech věkových kohortách kromě druhého pozorovacího období (T₂-T₃) v nejstarší věkové kohortě (tj. ≥ 13 let). V tomto období se výška nejstarších dívek zvětšila méně než v předchozích časových intervalech ($p = 0,039$). Maximální přírůstek na váze (Tabulka 2b) nastal u dívek okolo 12 let věku, takže vzorec přibývání na váze se lišil od přírůstku ve výšce.

U chlapců se výška (Tabulka 2a) zvyšovala stejným tempem až do prvního pozorovacího období u věkové kohorty 10-11,9 let (tj. do 11-12,9 let), po kterém došlo ke zrychlení růstu. Přírůstky na váze (Tabulka 2b) byly obecně větší u starších než mladších subjektů a byly větší v druhém (T₂-T₃) než v prvním (T₁-T₂) pozorovacím období.

3.2.1.4 Obličejová variabilita

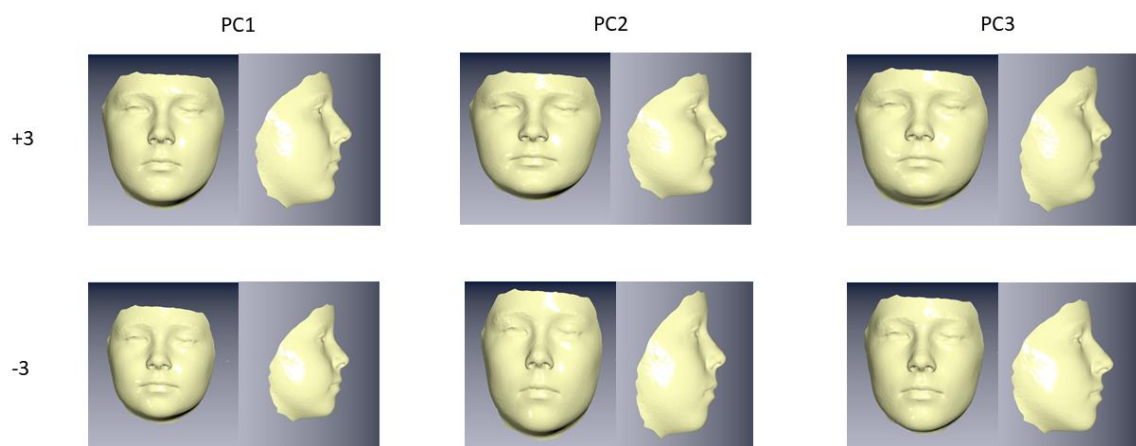
Celková tvarová variabilita ve vzorku ve *form space* a *shape space* je prezentována na obrázku 19, 20 a 21. Analýza hlavních komponent (PCA) ukázala, že prvních 5 hlavních komponent (PC 1 až PC 5) vysvětlovalo celkově 84,7 % variability ve *form space* a 65,5 % variability v *shape space* (Tabulka 3).

Ve *form space* byla PC 1 primárně asociována s variabilitou ve velikosti obličeje, zatímco PC 2 a PC 3 souvisely s variabilitou ve vertikálním a anteroposteriorním směru. V *shape space* byla PC 1 spojena hlavně s tvarovou změnou ve vertikální dimenzi. PC 2 byla spjata s kombinací změn ve vertikálním/anteroposteriorním směru, zatímco PC 3 popisovala variabilitu převážně v anteroposteriorní dimenzi.



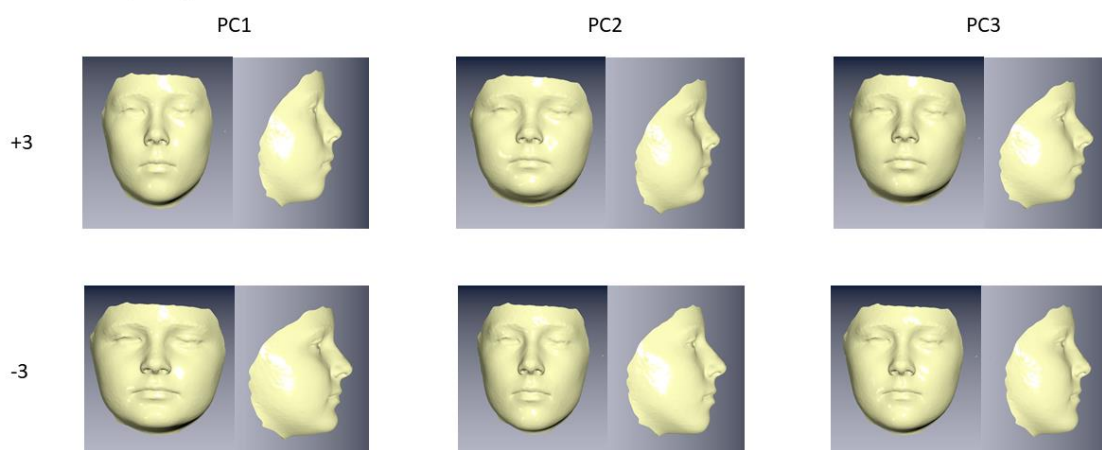
Obrázek 19. Grafy zobrazující variabilitu vzorku na základě analýzy hlavních komponent (PCA) ve *form space* a *shape space*. Dívky – červené body, chlapci – zelené body. Osy jsou v jednotkách směrodatné odchylky.

Form space



Obrázek 20. Znázornění variability obličejové formy vzorku vysvětlenou první (PC 1), druhou (PC 2) a třetí hlavní komponentou (PC 3) ve *form space*. +3 označuje hodnotu +3 směrodatné odchylky od průměru, zatímco -3 označuje hodnotu -3 směrodatné odchylky od průměru

Shape space



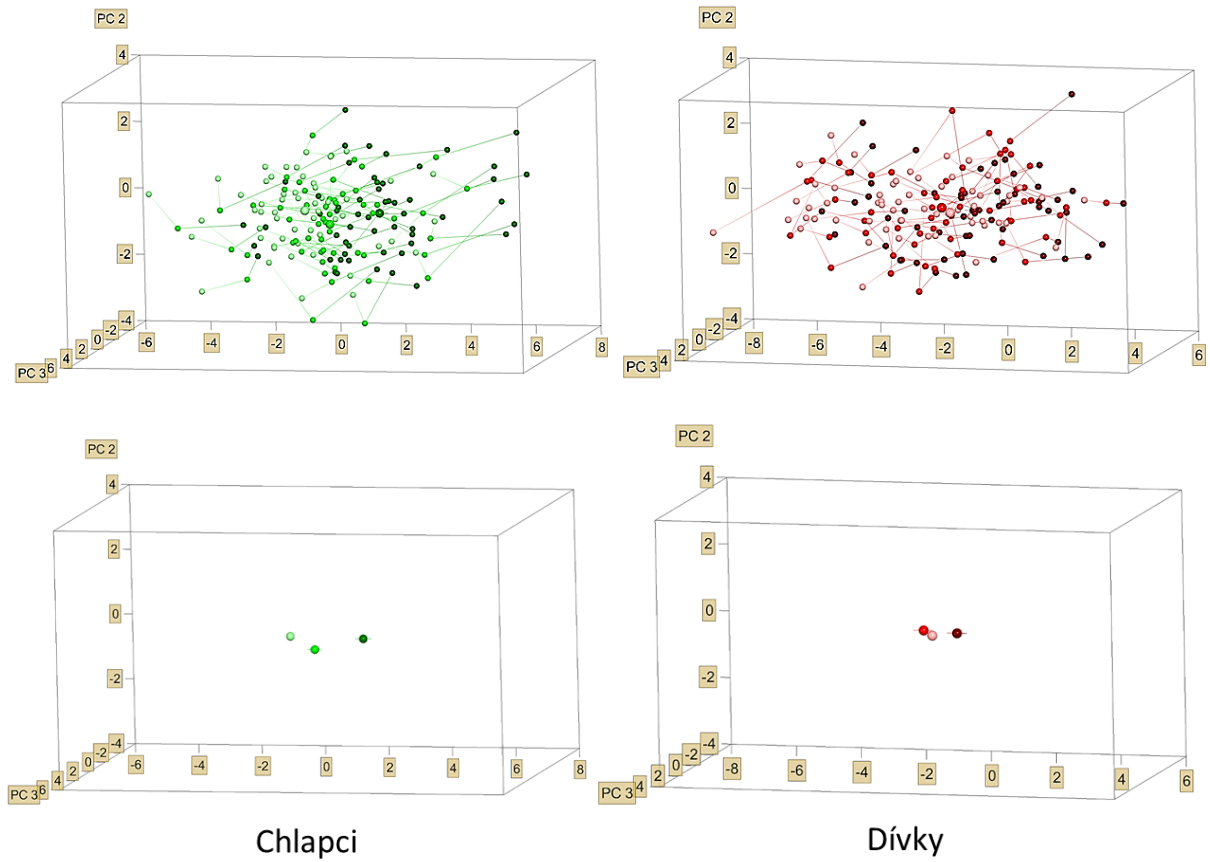
Obrázek 21. Znázornění variability obličejového tvaru vzorku vysvětlenou první (PC 1), druhou (PC 2) a třetí hlavní komponentou (PC 3) v *shape space*. +3 označuje hodnotu +3 směrodatné odchylky od průměru, zatímco -3 označuje hodnotu -3 směrodatné odchylky od průměru

Tabulka 3. Obličejová variabilita ve *form space* a *shape space*

Hlavní komponenty (PC)	Form space		Shape space	
	Variabilita	Kumulativní variabilita	Variabilita	Kumulativní variabilita
PC 1	60,8 %	60,8 %	25,7 %	25,7 %
PC 2	10,3 %	71,2 %	20,4 %	46,1 %
PC 3	7,7 %	78,9 %	9,0 %	55,1 %
PC 4	3,5 %	82,4 %	6,1 %	61,2 %
PC 5	2,3 %	84,7 %	4,3 %	65,5 %
PC 6	1,7 %	86,4 %	3,9 %	69,4 %
PC 7	1,6 %	88,0 %	3,7 %	73,1 %
PC 8	1,5 %	89,5 %	2,7 %	75,8 %
PC 9	0,9 %	90,4 %	2,1 %	77,9 %
PC 10	0,8 %	91,3 %	2,0 %	79,9 %

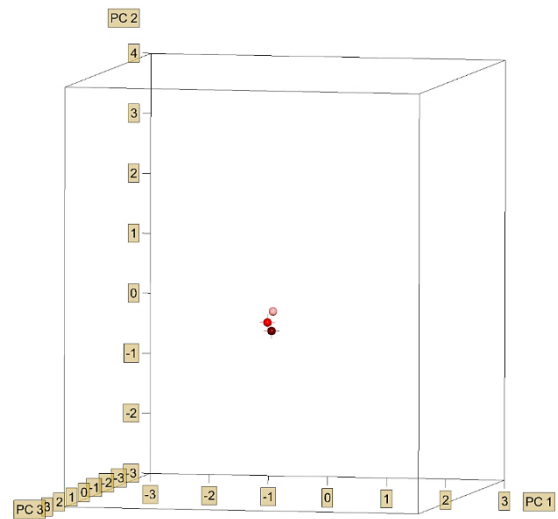
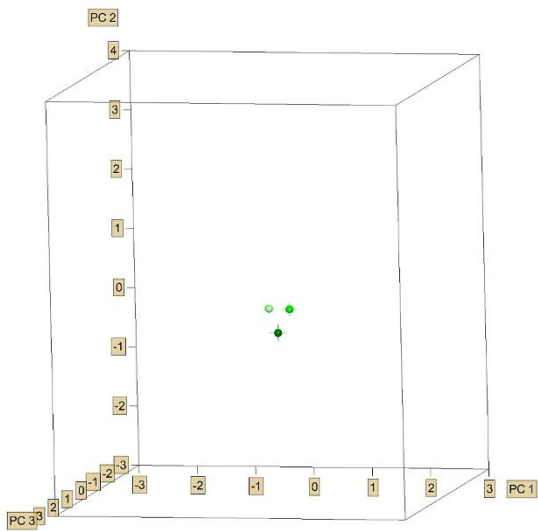
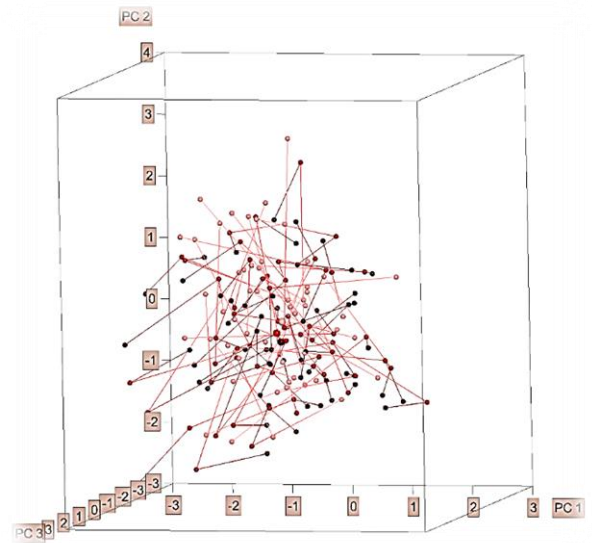
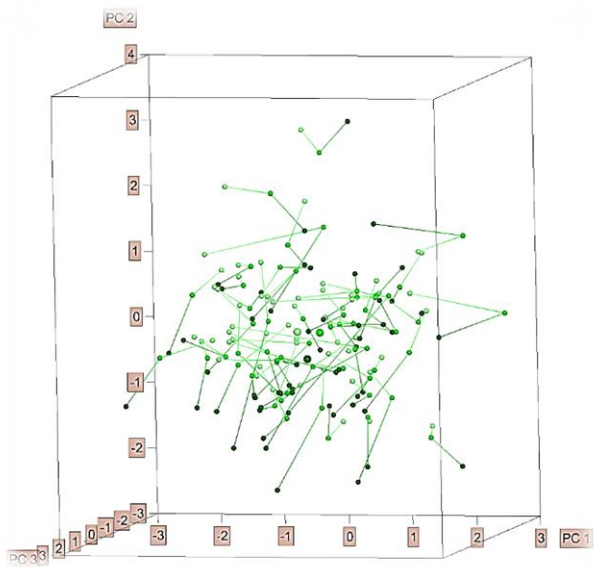
Obličejová variabilita u dívek a chlapců ve *form space* a *shape space* je zobrazena na obrázcích 22 a 23. Tvary stejného subjektu jsou zde spojeny v rozdílných časech pozorování. Ve *form space* byly viditelné změny primárně podél osy PC 1, což naznačovalo zvětšující se velikost obličeje. V *shape space* byly přítomny změny podél os PC 1 a PC 3. Je zajímavé, že změny obličejového tvaru v *shape space* nebyly lineární, tj. směr změn T₁-T₂ byl často odlišný od směru změn T₂-T₃.

Form space



Obrázek 22. Variabilita ve *form space* u chlapců a dívek. Formy obličejů stejného subjektu jsou spojeny v rozdílných časech pozorování (horní grafy). Průměrná změna u chlapců a dívek (dolní grafy).

Shape space



Chlapci

Dívky

Obrázek 23. Variabilita v *shape space* u chlapců a dívek. Tvary obličejů stejného subjektu jsou spojeny v rozdílných časech pozorování (horní grafy). Průměrná změna u chlapců a dívek (dolní grafy).

Multivariační mnohonásobné regresní modely s PC 1 – PC 5 jako závislými proměnnými a pohlavím, výškou (všechna pozorování (T₁, T₂, T₃) sdružená dohromady), váhou (všechna pozorování (T₁, T₂, T₃) sdružená dohromady) a věkem (všechna pozorování (T₁, T₂, T₃) sdružená dohromady) jako nezávislými proměnnými (Tabulky 4a, 4b) demonstrují efekt nezávislých proměnných pouze na variabilitu obličejové formy (Wilks lambda = 0,659, p = 0,001). Největší efekt měly nezávislé proměnné na PC 1 (pohlaví a váha) a poté na PC 3 (pohlaví, výška, váha, a věk). Nezávislé proměnné neměly žádný efekt na variabilitu tvaru (p = 0,28).

3.2.1.5 Alometrie

V celém vzorku (v rámci všech subjektů a všech pozorování) bylo 2,25 % variability tvaru obličeje vysvětleno velikostí (p < 0,001). Při analýze alometrie u jednotlivých pohlaví byl podíl variability obličejového tvaru vysvětleného velikostí u chlapců 3,62 % (p < 0,001) a 3,55 % (p < 0,001) u dívek.

Tabulka 4a. Multivariační mnohonásobný model ve *form space* s PC 1 – PC 5 jako závislými proměnnými a pohlavím, výškou, váhou a věkem jako nezávislými proměnnými

Form space							
		Koeficient	Standardní chyba	p	R ²	Wilks lambda	p hodnota
PC 1	Pohlaví	-0,030	0,004	0,000	0,156	0,6591	0,001
	Výška	0,001	0,001	0,077	0,640		
	Váha	0,003	0,000	0,000	0,699		
	Věk	0,001	0,002	0,793	0,402		
PC 2	Pohlaví	0,006	0,004	0,126	0,027		
	Výška	-0,001	0,000	0,066	0,009		
	Váha	0,001	0,000	0,034	0,000		
	Věk	0,000	0,002	0,783	0,006		
PC 3	Pohlaví	-0,007	0,003	0,018	0,031		
	Výška	-0,001	0,000	0,003	0,005		
	Váha	0,002	0,000	0,000	0,034		
	Věk	-0,004	0,001	0,009	0,052		
PC 4	Pohlaví	0,007	0,003	0,011	0,056		
	Výška	0,000	0,000	0,923	0,001		
	Váha	0,000	0,000	0,779	0,002		
	Věk	0,000	0,001	0,947	0,001		
PC 5	Pohlaví	0,006	0,002	0,003	0,081		
	Výška	0,000	0,000	0,997	0,003		
	Váha	0,000	0,000	0,812	0,003		
	Věk	0,000	0,001	0,845	0,000		

R² – koeficient determinace

Tabulka 4b. Multivariační mnohonásobný model v *shape space* s PC 1 – PC 5 jako závislými proměnnými a pohlavím, výškou, váhou a věkem jako nezávislými proměnnými

Shape space							
		Koeficient	Standardní chyba	p	R ²	Wilks lambda	p hodnota
PC 1	Pohlaví	-0,001	0,004	0,700	0,005	0,8052	0,28
	Výška	0,001	0,000	0,157	0,047		
	Váha	-0,001	0,000	0,223	0,017		
	Věk	0,001	0,002	0,706	0,044		
PC 2	Pohlaví	0,000	0,003	0,983	0,002		
	Výška	-0,001	0,000	0,026	0,080		
	Váha	0,001	0,000	0,148	0,034		
	Věk	0,001	0,002	0,742	0,053		
PC 3	Pohlaví	0,000	0,003	0,929	0,000		
	Výška	0,000	0,000	0,855	0,005		
	Váha	0,000	0,000	0,821	0,006		
	Věk	0,000	0,001	0,905	0,003		
PC 4	Pohlaví	0,002	0,002	0,219	0,018		
	Výška	0,000	0,000	0,823	0,022		
	Váha	0,000	0,000	0,928	0,016		
	Věk	0,000	0,001	0,703	0,019		
PC 5	Pohlaví	-0,001	0,002	0,520	0,002		
	Výška	0,000	0,000	0,483	0,013		
	Váha	0,000	0,000	1,000	0,011		
	Věk	0,000	0,001	0,661	0,005		

R² – koeficient determinace

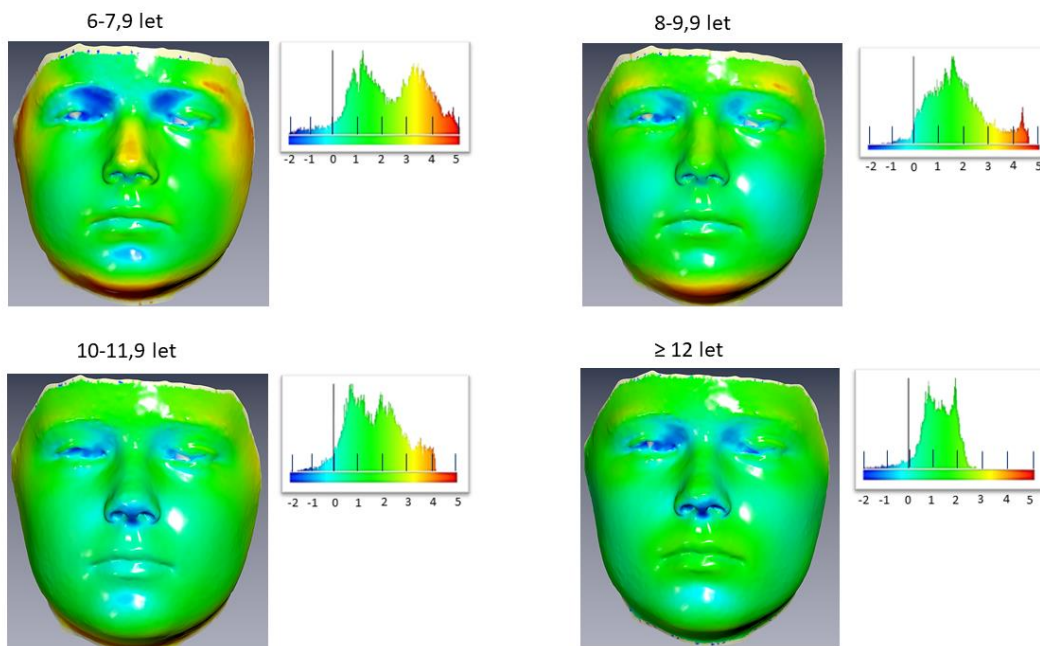
3.2.1.6 Pohlavní dimorfismus ve velikosti a tvaru obličeje

Centroidová velikost (CS) obličeje byla u chlapců větší než u dívek ve všech věkových skupinách (Tabulka 5), a to od 2,7 % (nejstarší věková skupina) po 5,7 % (nejmladší věková skupina). Mezipohlavní rozdíly CS se zmenšovaly s rostoucím věkem – 107,4 mm ($p = 0,001$) u nejmladší věkové skupiny a 55,2 mm ($p < 0,001$) u nejstarších subjektů.

Tabulka 5. Pohlavní dimorfismus ve velikosti (centroidová velikost, CS) a tvaru (Prokrastova vzdálenost) obličeje

	Věk	CS (mm)				p	Rozdíl velikosti CS v %	Prokrastova vzdálenost mezi chlapci a dívkami	p
		Chlapci	Dívky	Rozdíl v CS					
	6-7,9	1885,4	1778,0	107,4	0,001	5,70 %	0,0184	0,408	
	8-9,9	1939,6	1853,5	86,1	<0,001	4,44 %	0,0187	<0,001	
	10-11,9	1993,4	1924,9	68,5	<0,001	3,44 %	0,0162	<0,001	
	≥ 12	2057,6	2002,4	55,2	<0,001	2,68 %	0,0160	0,004	

Pohlavní rozdíly ve tvaru obličeje se vyskytovaly téměř ve všech věkových skupinách kromě nejmladších subjektů (tj. $\leq 7,9$ let, $p = 0,408$). Barevné mapy vzdáleností (Obrázek 24) demonstrují, že obličejové tvary byly u chlapců více prominentní ve všech věkových skupinách. Průměrný tvar dívčího obličeje v jednotlivých věkových skupinách byl použit jako základ, na který byl superimponován průměrný chlapecký obličej stejného věku. Vzdálenost mezi průměry je značena barevnou škálou. Pohlavní rozdíly nebyly značné a v mladších věkových skupinách byly koncentrovány v oblasti nosu, brady a laterálních částí obličeje.



Obrázek 24. Barevné mapy vzdáleností demonstrují pohlavní dimorfismus tvaru obličeje v jednotlivých věkových skupinách

Základ = dívky, světle modrá – žádný tvarový rozdíl mezi dívkami a chlapci

Zelená, žlutá, oranžová, červená – chlapci více prominentní tvar

Tmavě modrá – dívky více prominentní tvar

Barevná škála je s měřítkem v milimetrech.

3.2.1.7 Změny obličejové velikosti a tvaru v průběhu času

CS se zvýšila u chlapců i dívek v obou pozorovacích obdobích (Tabulka 6a) – T₁-T₂ a T₂-T₃. Změny T₂-T₃ byly větší než T₁-T₂, a to zvláště u chlapců. Také při porovnávání věkových skupin (Tabulka 6b) se CS významně zvýšila u chlapců i dívek (p = 0,009 u chlapců ve věku ≤ 7,9 let a 8-9,9 let a p < 0,001 u ostatních).

Tabulka 6a. Změny obličejové velikosti mezi pozorováními

	Pozorování					
	T ₁ -T ₂	p (95 % CI)	Rozdíl v CS	T ₂ -T ₃	p (95 % CI)	Rozdíl v CS
Chlapci	36,7	<0,001 (30,9 – 42,5)	1,88 %	63,3	<0,001 (55,5 – 71,1)	3,19 %
Dívky	34,4	<0,001 (28 – 40,9)	1,84 %	43,7	<0,001 (37,6 – 49,8)	2,29 %

CS – centroidová velikost, CI – konfidenční interval

Tabulka 6b. Změny obličejové velikosti mezi věkovými skupinami

	Věkové skupiny	Rozdíl v CS	p (95 % CI)	Rozdíl v CS v %
Chlapci	6-7,9 a 8-9,9	54,2	0,009 (14 – 94,2) *	2,9 %
	8-9,9 a 10-11,9	53,8	<0,001 (30,2 – 77,4)	2,8 %
	10-11,9 a ≥ 12	64,2	<0,001 (36 – 92,3)	3,2 %
Dívky	6-7,9 a 8-9,9	75,5	<0,001 (33,7 – 117,4)	4,2 %
	8-9,9 a 10-11,9	71,0	<0,001 (39,6 – 102,3)	3,8 %
	10-11,9 a ≥ 12	77,9	<0,001 (48,2 – 107,6)	4,0 %

CS – centroidová velikost, CI – konfidenční interval

*Kolmogorov-Smirnov test ukázal neznámé rozdělení pravděpodobnosti mezi věkovými skupinami; proto byl proveden Mann-Whitney test pro mediány – p hodnota = 0,017

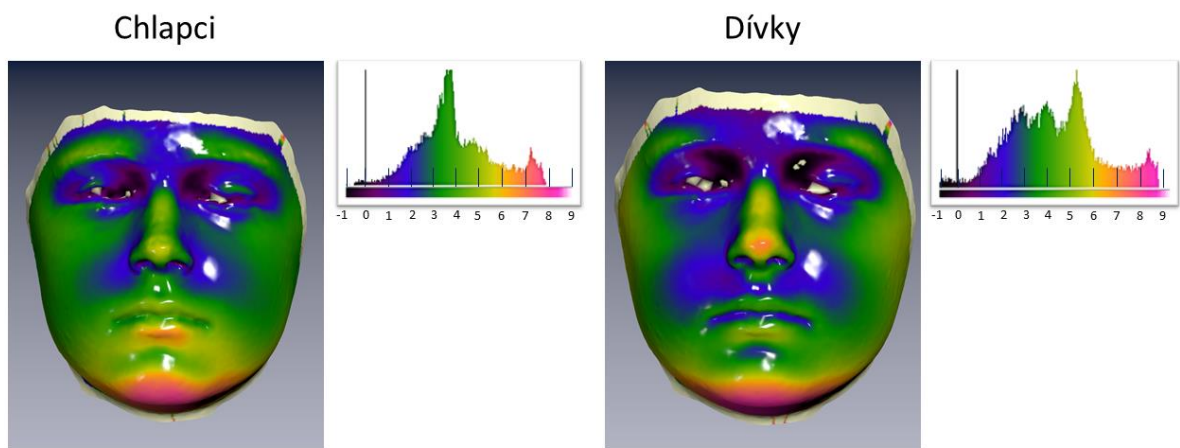
Obličejový tvar se u chlapců ani dívek v průběhu 12měsíčních pozorovacích období (tj. T₁-T₂ a T₂-T₃) nezměnil (Tabulka 7a). Při porovnání věkových skupin byla nicméně změna tvaru nalezena mezi 10-11,9 lety a ≥ 12 lety u chlapců (p = 0,025) a mezi 8-9,9 let a 10-11,9 let u dívek (p < 0,001) (Tabulka 7b). Tvarové změny byly zobrazeny na barevných mapách vzdáleností (Obrázek 25). U obou pohlaví byly největší změny tvaru pozorovány v oblasti nosu a brady, které se v průběhu času staly více prominentní. U chlapců se do prominentního postavení dostal i dolní ret. Obrázky 26 a 27 shrnují změny odehrávající se mezi věkovými skupinami, tj. od 6-7,9 let do 8-9,9 let, od 8-9,9 let do 10-11,9 let, a od 10-11,9 let do ≥ 12 let.

Tabulka 7a. Změny obličejového tvaru mezi pozorováními

	Pozorování			
	T ₁ -T ₂	p	T ₂ -T ₃	p
Chlapci	0,00953	0,16	0,01077	0,099
Dívky	0,00857	0,32	0,00616	0,819

Tabulka 7b. Změny obličejového tvaru mezi věkovými skupinami

	Věkové skupiny					
	6-7,9 a 8-9,9	p	8-9,9 a 10-11,9	p	10-11,9 a ≥ 12	p
Chlapci	0,01948	0,072	0,00781	0,465	0,01291	0,025
Dívky	0,01754	0,047	0,0168	<0,001	0,01081	0,079

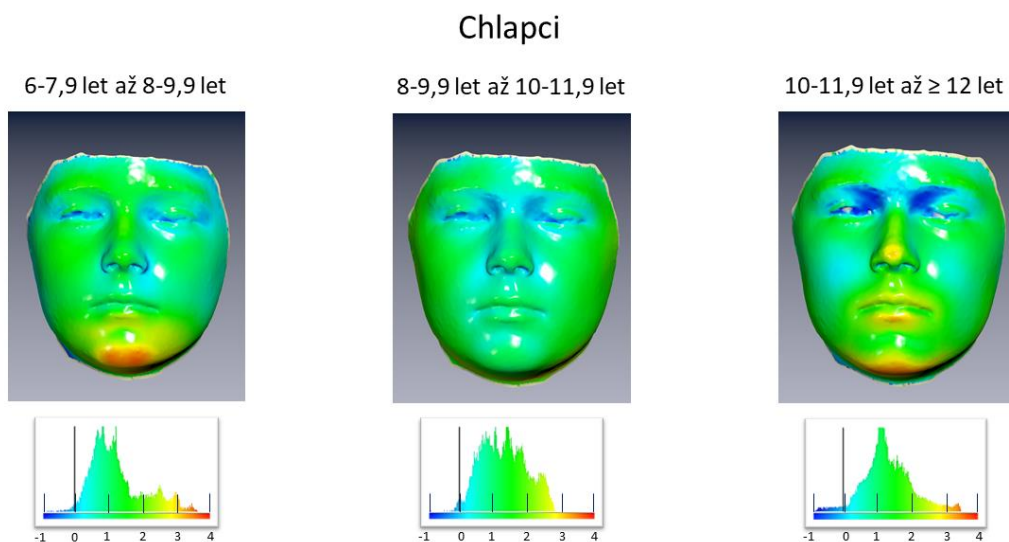


Obrázek 25. Barevné mapy vzdáleností demonstrují změny průměrné obličejové morfologie u chlapců a dívek v průběhu celého pozorování (tj. v průběhu 24 měsíců)

Základ = první pozorování, černá - nulové rozdíly tvaru mezi prvním a třetím pozorováním

Modrá, zelená, žlutá, oranžová, růžová – zobrazují tvarové rozdíly mezi prvním a třetím pozorováním

Barevná škála je s měřítkem v milimetrech



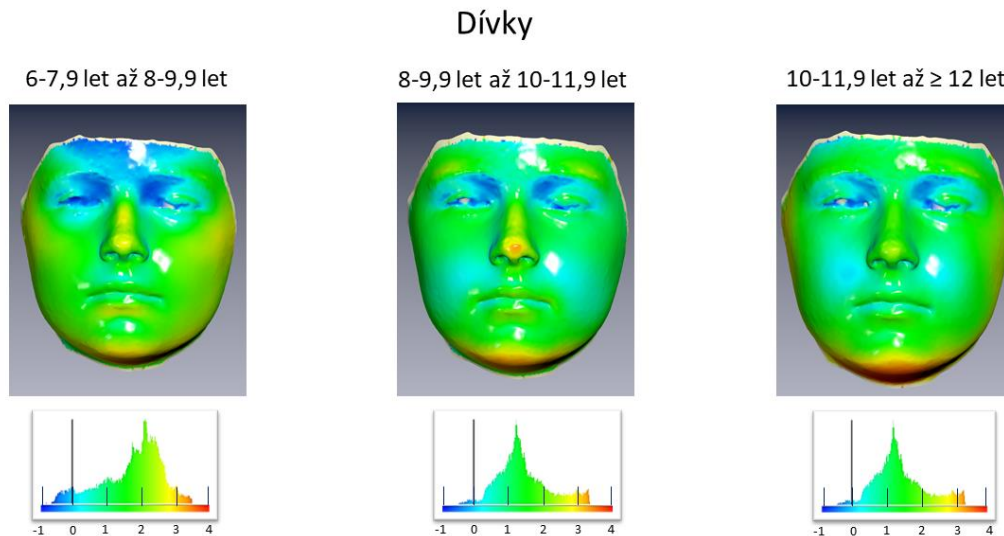
Obrázek 26. Barevné mapy vzdáleností demonstrují tvarové změny mezi věkovými skupinami u chlapců

Základ = mladší věkové skupiny, světle modrá - žádné rozdíly tvaru mezi mladší a starší věkovou skupinou

Zelená, žlutá, oranžová, červená – starší věková skupina více prominentní tvar

Tmavě modrá - mladší věková skupina více prominentní tvar

Barevná škála je s měřítkem v milimetrech



Obrázek 27. Barevné mapy vzdáleností demonstrují tvarové změny mezi věkovými skupinami u dívek

Základ = mladší věkové skupiny, světle modrá - žádné rozdíly tvaru mezi mladší a starší věkovou skupinou

Zelená, žlutá, oranžová, červená – starší věková skupina více prominentní tvar

Tmavě modrá - mladší věková skupina více prominentní tvar

Barevná škála je s měřítkem v milimetrech

3.2.1.8 Asociace mezi změnou velikosti a tvaru obličeje a změnou výšky a váhy

Rozdíl přirozeného logaritmu CS mezi dvěma pozorováními (T_1-T_2 nebo T_2-T_3) reprezentoval změnu obličejové velikosti, zatímco Prokrastova vzdálenost mezi dvěma pozorováními (T_1-T_2 nebo T_2-T_3) popisovala změnu obličejového tvaru. Tabulka 8 demonstruje výsledky dvou mnohonásobných regresních analýz (modely smíšených efektů) se změnou $\ln(\text{CS})$ a Prokrastovy vzdálenosti jako závislými proměnnými a 1) pohlavím, 2) změnou výšky v průběhu pozorovacího období (T_1-T_2 nebo T_2-T_3), 3) změnou váhy v průběhu pozorovacího období (T_1-T_2 nebo T_2-T_3) a 4) věkem na začátku pozorování (T_1 nebo T_2) jako nezávislými proměnnými. Jenom model se změnou $\ln(\text{CS})$ byl statisticky významný ($p < 0,001$, upravené $R^2 = 0,29$). To značí, že změny výšky a váhy byly spojeny se změnou obličejové velikosti (změna váhy měla větší vliv než změna výšky: upravené $R^2 = 0,25$ pro změnu váhy a upravené $R^2 = 0,106$ pro změnu výšky). Přírůstek na váze nicméně vysvětloval pouze 25 % variability obličejové velikosti a změna výšky 10,6 % variability.

Tabulka 8. Mnohonásobné regresní analýzy (modely smíšených efektů) se změnou ln(CS) (představující změnu obličejové velikosti) a Prokrastovy vzdálenosti (představující změnu tvaru obličeje) jako závislými proměnnými a pohlavím, změnou výšky v průběhu pozorovacího období (T₁-T₂ nebo T₂-T₃), změnou váhy v průběhu pozorovacího období (T₁-T₂ nebo T₂-T₃) a věkem na začátku pozorování (T₁ nebo T₂) jako nezávislými proměnnými

		Koef.	SE	p	[95 % CI]		adj r ²	adj R ²	p
Změna ln(CS)	Pohlaví	-0,0023	0,0015	0,135	-0,0053	0,0007	0,032	0,29	<0,001
	Změna výšky	0,0009	0,0003	0,009	0,0002	0,0016	0,106		
	Změna váhy	0,0016	0,0002	0,000	0,0012	0,0021	0,25		
	Věk na začátku pozorování	-0,0003	0,0004	0,521	-0,0011	0,0005	0,009		
Prokrastova vzdálenost	Pohlaví	0,0035	0,0017	0,033	0,0003	0,0068	0,016	0,02	0,055
	Změna výšky	0,0006	0,0003	0,026	0,0001	0,0012	0,005		
	Změna váhy	0,0000	0,0002	0,889	-0,0004	0,0004	0,00		
	Věk na začátku pozorování	-0,0002	0,0004	0,596	-0,0011	0,0006	0,00		

CS – centroidová velikost, SE – standardní chyba, CI – konfidenční interval, adj. R² – upravený koeficient determinance

3.2.2 Výsledky druhé části práce

3.2.2.1 Demografická data

Děti byly rozděleny do jednotlivých kohort dle věku. Tab. 9 ukazuje počet dětí v jednotlivých kohortách, počet chlapců a dívek a průměrný věk.

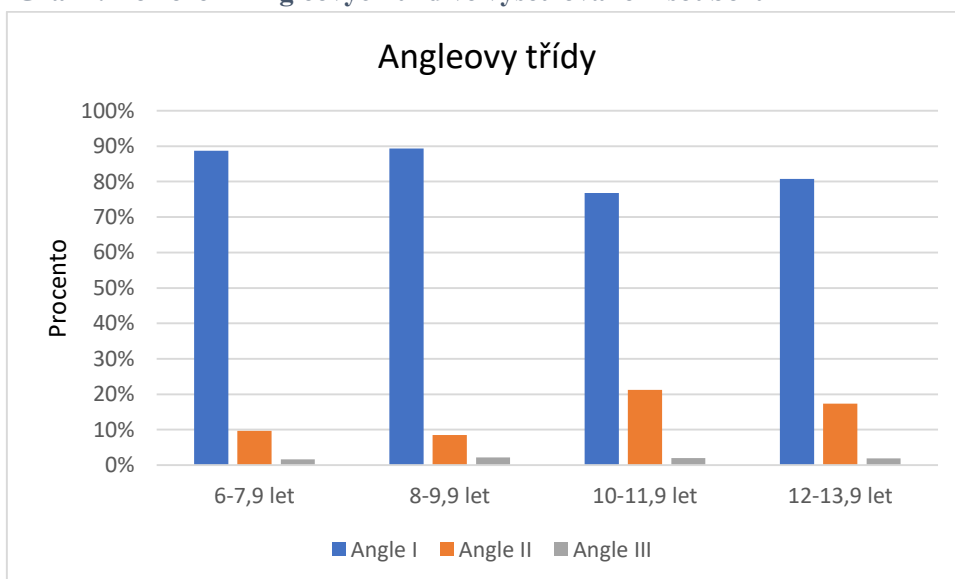
Tabulka 9. Demografická data

Věk	Počet chlapců	Počet dívek	Průměrný věk
6-7,9 let	30	32	7,1
8-9,9 let	40	54	8,9
10-11,9 let	37	66	10,9
12-13,9 let	27	26	12,6

3.2.2.2 Sagitální vztah zubních oblouků

Graf 1 ukazuje procentuální zastoupení Angleových tříd v jednotlivých věkových kategoriích. Ve vyšetřovaném souboru se Angleova I. třída nacházela výrazně častěji než Angleova II. a III. třída. V mladších věkových kategoriích (6-7,9 let a 8-9,9 let) se Angleova I. třída vyskytovala okolo 89 % dětí, u kategorie 10-11,9 let byla přítomna u 77 % dětí a v nejstarší kategorii 12-13,9 let u 81 % dětí. U 2 starších kategorií byl mírně vyšší výskyt Angleovy II. třídy (21 % a 17 %) než u mladších kategorií, zatímco Angleova III. třída byla u všech věkových kategorií konstantní okolo 2 %.

Graf 1. Rozložení Angleových tříd ve vyšetřovaném souboru

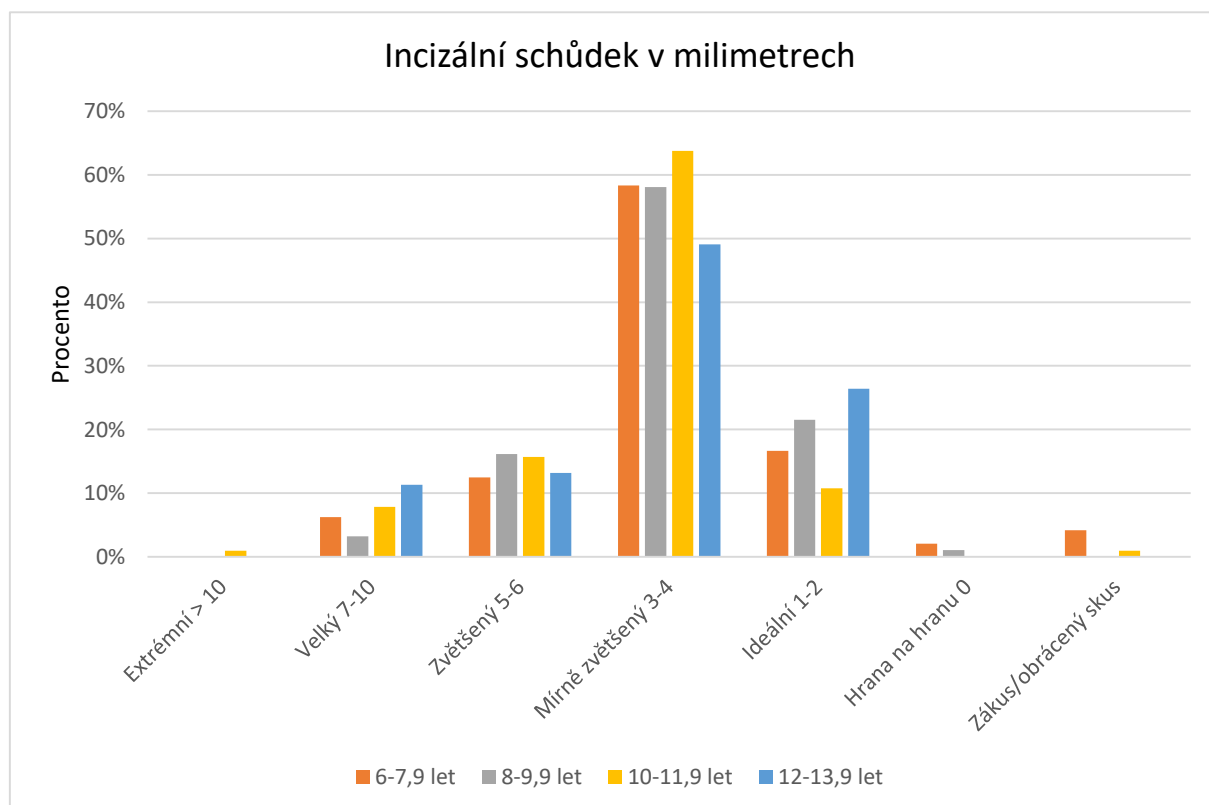


3.2.2.3 Incizální schůdek

Graf 2 znázorňuje procentuální rozložení velikosti IS u jednotlivých věkových kategorií vyšetřovaného souboru. Rozdělení IS podle velikosti v milimetrech (mm) je dle Proffita [23]. U všech věkových kategorií byl nalezen obdobný vzorec rozložení velikosti IS v populaci. Největší procento dětí u všech věkových kategorií, celkem 58,45 %, mělo IS velikosti 3-4 mm, což odpovídá mírně zvětšenému IS. Ideální IS, v rozmezí 1-2 mm, byl přítomen u 17,91 % dětí ze souboru. Následoval středně zvětšený (14,86 %) a velký (6,76 %) IS. Negativní IS (zákus) a nulový IS (skus hrana na hranu) byl přítomen u velmi malého procenta dětí (zákus - 1,01 % a skus hrana na hranu - 0,68 %). Nejméně byl zastoupen extrémní IS, nad 10 mm, který byl zjištěn jen u jednoho z vyšetřovaných dětí.

Musím zmínit, že IS nebylo možné změřit u 16 dětí z vyšetřovaného souboru. Většinu z nich – 14 – tvořily děti nejmladší věkové kategorie, které ještě neměly prožžány stálé střední řezáky. Zbývající 2 starší děti utrpěly úraz středních horních řezáků.

Graf 2. Incizální schůdek v milimetrech



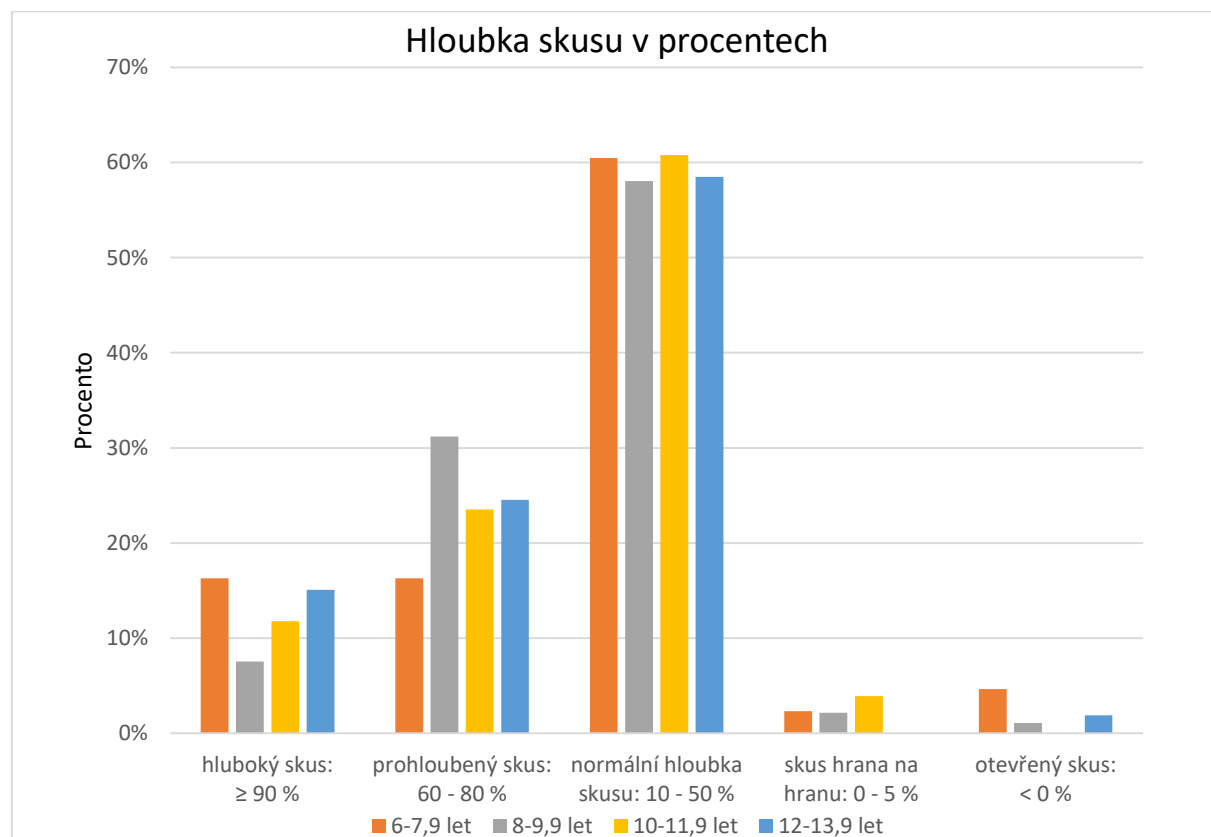
3.2.2.4 Hloubka skusu

Graf 3 znázorňuje procentuální rozložení velikosti HS u jednotlivých věkových kategorií vyšetřovaného souboru. HS je vyjádřena v procentech překryté labiální plochy dolního středního řezáku horním středním řezákem. Hranice, od které diagnostikujeme hluboký skus, není jednotná. Za anomálii hlubokého skusu je dle Kamínka [9] považována hodnota nad 60 %. V této studii byla normální HS určena jako 10-50 % a anomálie hlubokého skusu nad 60 %. Pro účely zjištění závažnosti byl hluboký skus dále rozdělen podle množství překryté plošky dolního řezáku na 2 kategorie: 60-80 % a ≥ 90 %.

Podobně jako u IS bylo i procentuální zastoupení velikosti HS u všech věkových kategorií obdobné. Nejvíce se u dětí vyskytovala normální hloubka skusu (59,45 %). Následoval prohloubený skus 60-80 % (25,09 %) a hluboký skus ≥ 90 % (11,68 %). Skus hrana na hranu (2,41 %) a otevřený skus (1,37 %) byly diagnostikovány u malého procenta dětí.

HS nebylo možné určit u 21 dětí, kdy 19 z nich byly děti nejmladší věkové kategorie, u kterých nebyly prořezány stálé střední řezáky. Počet dětí s neměřenou HS a IS se v této kategorii lišil, protože na rozdíl od HS byl IS změřen i u dětí s částečnou erupcí horních středních řezáků. Zbývající 2 starší děti utrpěly úraz středních horních řezáků.

Graf 3. Hloubka skusu v procentech



3.2.2.5 Záchyt neléčených ortodontických anomálií

Tabulka 10 ukazuje procentuální výskyt neléčených vad v jednotlivých věkových kohortách. Celkem bylo vyšetřeno 312 dětí, z toho 33 z nich mělo dosud nesledovanou nebo neléčenou ortodontickou anomálii, což činilo 10,58 % všech vyšetřených dětí. U dívek se tyto dosud neléčené anomálie vyskytovaly častěji (11,24 %) než u chlapců (9,70 %).

Nejčastěji diagnostikovanou neléčenou anomálií byl zákus nebo obrácený skus (39,39 %). Tato vada byla objevena ve všech věkových kategoriích, kromě nejstarších dětí. Zákus se v 61,54 % vyskytoval u laterálních řezáků, 23,08 % byla anomálie obráceného skusu a 15,38 % byl zákus centrálního řezáku. Další dvě nejčastěji zachycené vady byly velký incizální schůdek (24,24 %) a zkřížený skus (15,15 %). U některých dětí se vyskytovala kombinace více vad.

Tabulka 10. Frekvence výskytu chlapců a dívek s nediodagnostikovanou/neléčenou ortodontickou anomálií v jednotlivých věkových kategoriích

	6-7,9 let		8-9,9 let		10-11,9 let		12-13,9 let	
	Chlapci	Dívky	Chlapci	Dívky	Chlapci	Dívky	Chlapci	Dívky
Počet dětí	30	32	40	54	37	66	27	26
Neléčené anomálie	1	3	1	5	8	7	3	5
Procento	3,33 %	9,38 %	2,50 %	9,26 %	21,62 %	10,61 %	11,11 %	19,23 %
	6,00 %		6,38 %		14,56 %		15,09 %	

3.3 Diskuze

3.3.1 Hodnocení první části práce

Výsledek ortodontické léčby rostoucího pacienta je závislý na změnách indukovaných terapií v kombinaci s normálním vývojem obličeje. Podrobné znalosti mechanismu obličejového vývoje v době, kdy je ortodontická terapie často zahajována, jsou tak pro lékaře velmi důležité. Růst měkkých tkání obličeje však není snadné hodnotit ani předvídat, a to zejména v období pubertálního růstového spurtu. Určení míry korelace mezi růstem měkkých tkání obličeje a změnou výšky a váhy by mohlo usnadnit predikci změn obličejové morfologie u mladých ortodontických pacientů. V první části této práci jsem proto zjišťovala asociaci mezi růstovými změnami na měkkých tkáních obličeje a změnou výšky a váhy u dětí. Konkrétně jsem chtěla objasnit, zda přírůstek ve výšce/váze je blízce spojený se změnami obličejové morfologie.

Výsledky ukázaly, že vztah mezi změnou výšky a váhy a růstem obličeje nebyl velmi blízký. V ročních intervalech jsem pomocí metod geometrické morfometrie hodnotila 2 hlediska obličejového růstu – změny velikosti (centroid size, CS) a změny tvaru (Prokrastovy vzdálenosti) obličeje. Regresní modely ukázaly, že jenom 29 % z celkových obličejových změn velikosti bylo vysvětleno nezávislými proměnnými (změnou výšky, změnou váhy, věkem a pohlavím); tvarové změny nebyly spojeny se změnou výšky, změnou váhy, věkem ani pohlavím. To znamená, že další faktory, které do naší analýzy nebyly zahrnuty, mohly více ovlivňovat obličejový růst a vývoj. Změna váhy měla lehce větší efekt na změnu obličejové velikosti než změna výšky. V *shape space* však změna tvaru nesouvisela se změnou výšky ani váhy.

Do dnešní doby existuje jenom malý počet studií, které se zabývaly asociací mezi růstem měkkých tkání obličeje a výškou postavy (vztah mezi růstem obličeje a změnou váhy nebyl podle mých znalostí dosud zkoumán). Výsledky prezentované práce souhlasí se studii Primozicové a kol. [78] a Jandové a Urbanové [77]. Primozicová a kol. [78] měřili roční přírůstky ve výšce postavy a několik obličejových vzdáleností, úhlů a proporcí na 3D skenech obličejů dětí ve věku 5,4-8,9 let na začátku studie. Zjistili, že přírůstky měkkých tkání obličeje byly po celou dobu sledování (5 po sobě jdoucích let) podobného rozsahu. Jejich růst tak byl relativně nezávislý na pubertálním růstovém spurtu, který zde byl definován jako roční přírůstek do výšky > 7 cm. Jandová a Urbanová [77] hodnotily změny na 2D fotografiích obličeje zhotovených v půlročních intervalech u dětí ve věku 6 měsíců až 18 let (Brno Longitudinal Study). Autorky objevily relativně slabé korelace mezi změnou celého obličejového tvaru a změnou výšky postavy ($r = 0,02$ u chlapců a $r = 0,09$ u dívek). Rozdílné

výsledky byly prezentovány ve studii Burka a Hughes-Lawsona [82], kteří využili na vytvoření obličejových map předchůdce současné stereofotogrammetrie a v pravidelných ročních intervalech sledovali 8 chlapců a 8 dívek ve věku 9-16 let. Z 13 měřených obličejových rozměrů byly 3 spojené s oblastí očí a vykazovaly jen malé změny v průběhu růstu. Roční změny zbývajících 10 vzdáleností ukázaly pubertální růstový spurt související s růstem postavy, ačkoliv se tento spurt nezbytně neodehrával ve stejném roce jako maximální růst postavy do výšky. V úvahu je třeba brát, že výše zmíněné studie využívaly přístupy založené na lineárních vzdálenostech nebo úhlech (Primožicová a kol. [78] a Burke a Hughes-Lawson [82]) anebo byly dvojdimenzionálního charakteru (Jandová a Urbanová [77]). Data z těchto studií tak neposkytují úplné informace a nejsou schopna detailního popisu komplexní geometrie kraniofaciálních struktur a jejich změn.

Při vyšetření růstových změn výšky postavy nebyla u dívek rozdělených do skupin dle věku na začátku pozorování (Tabulka 2a) objevena přítomnost jasně zřetelného růstového spurtu. Místo toho byly růstové přírůstky stejnoměrné, bez patrného zrychlení, které bychom očekávali u dívek kolem 10-11 let. U chlapců, na rozdíl od dívek, bylo jasné zrychlení růstu kolem 11-13 let věku. Velká variabilita v začátku růstového spurtu mezi jednotlivci mohla být příčinou jeho absence u dívek. Vzhledem k věku probíhá spurt u některých dívek dříve, zatímco u dalších začíná až v jejich pozdějším věku [124]. Následkem toho se růstový spurt rozprostřel mezi 2 věkové kohorty. Je známo, že u chlapců začíná růstový spurt později a množství růstu je u nich také značně větší než u dívek [38, 124]. Růstové přírůstky u chlapců tak mohly být dostatečně velké na to, aby byly zaznamenány i v případě jejich rozložení mezi 2 věkové kohorty. Tento jev byl pozorován Häggem [59], který tvrdil, že dokonce i s adekvátními záznamy výšky může být někdy obtížné lokalizovat období pubertálního spurtu. Zvýšení rychlosti růstu je totiž často moc malé na to, aby bylo klinicky rozeznatelné. Tento jev Hägg sledoval hlavně u dívek.

Dle výsledků mělo pohlaví vliv na obličejovou formu. Částečné oddělení chlapců a dívek podél osy PC 1 ve *form space* (Obrázek 19) naznačilo, že chlapci měli obličej větší než dívky. Také v rámci všech věkových skupin byla průměrná CS u chlapců větší než u dívek (Tabulka 5). Mezipohlavní rozdíly CS se zmenšovaly s rostoucím věkem. To poukazovalo na dřívější začátek pubertálního zrychlení v růstu dívčích obličejů, které tak zrychleným růstem postupně doháněly velikost těch chlapeckých. Koudelová a kol. [125] však ve své studii zjistili, že mezipohlavní rozdíly CS se ve vzorku dětí 12-15 let s rostoucím věkem zvětšují. Nicméně u 12letých dětí byla CS pro chlapce a dívky téměř totožná, což je srovnatelné s výsledky této práce. Vztah mezi pohlavím a obličejovou velikostí byl ve vyšetřovaném vzorku potvrzen

v regresní analýze – chlapci a dívky byly odděleny v průměru o 0,03 bodů podél osy PC 1 ve *form space* (Tabulka 4a). Vliv pohlaví na tvar obličeje se nicméně dle mých výsledků neprokázal. Distribuce subjektů v *shape space* (Obrázek 19) nenaznačila žádný vztah mezi pohlavím a obličejovým tvarem. Barevné mapy vzdáleností demonstrovaly pouze minimální tvarové rozdíly mezi chlapci a dívkami a regresní analýza potvrdila, že obličejový tvar byl v našem vzorku nezávislý na pohlaví. Nicméně je zajímavé, že u dětí rozdělených do skupin dle věku byly zjištěny statisticky významné pohlavní rozdíly téměř u všech věkových skupin kromě nejmladších subjektů. Výsledky lze srovnat se studií Koudelové a kol. [126], která dlouhodobě hodnotila vzorek 17 chlapců a 13 dívek z Prahy a Kladna. Stereofotogrammetrickým přístrojem byly každý rok studie zhotoveny 3D fotografie obličejů dětí ve věku od 12 do 15 let. Autoři zjistili, že pohlavní rozdíly obličejové formy se vyvinuly v průběhu času – rozdíly nebyly přítomny u mladších dětí (12-13 let), ale byly detekovány u těch starších (14-15 let). Obličejový tvar v jejich vzorku však nevykazoval pohlavní dimorfismus v žádné zkoumané věkové skupině. K podobným výsledkům dospěl i Halazonetis [127], který hodnotil profil měkkých tkání obličeje pomocí metod geometrické morfometrie u dětí ve věku 7-17 let. Zjistil, že velikost obličejů chlapců a dívek mladších 12 let byla obdobná. U dětí starších 12 let byl pak chlapecký obličej významně větší než u dívek, a to zhruba o 3 %. Halazonetisova analýza obličejového tvaru potvrdila výskyt pohlavního dimorfismu před i po 12. roku věku, i když tvarové rozdíly byly malé. Také Ferrario a kol. [128] a Kesterke a kol. [129], kteří měřili lineární a úhlové rozměry u mužů a žen různého věku, demonstrovali postupný vývoj pohlavního dimorfismu. Ferrario a kol. [128] zjistili, že až na výjimku související s dřívějším začátkem růstového spurtu u dívek, byly v rámci každé věkové skupiny lineární vzdálenosti významně větší u chlapců než u dívek. Úhlové měření nicméně neukázalo žádný pohlavní dimorfismus. Výsledky studie Kesterkeho a kol. [129] demonstrovaly zvyšování pohlavního dimorfismu s postupujícím věkem. V průběhu ontogeneze probíhal vývoj pohlavního dimorfismu pro jednotlivé skupiny znaků podle odlišných vzorců. Definitivní obličejový tvar se u obou pohlaví vyskytoval po pubertálním období, ale mnohé odlišnosti byly přítomny již v dřívějších fázích vývoje.

Centroidová velikost (CS) obličeje se ve zkoumaném vzorku statisticky významně zvýšila v obou pozorovacích obdobích (T_1-T_2 a T_2-T_3) i při porovnání jednotlivých věkových skupin chlapců a dívek. V prvním pozorovacím období (T_1-T_2) se CS zvětšila v podobném množství u chlapců i dívek. V druhém pozorovacím období (T_2-T_3) pak obličeje chlapců rostly více. To odpovídá výsledkům studie Koudelové a kol. [124], že CS se s věkem zvětšuje více u chlapců než u dívek. Ferrario a kol. [130] zase ukázali, že celkový obličejový objem je

podobný u chlapců a dívek až do 11 let. Růstový spurt byl pro dívky zřetelný ve věkové skupině 11-12 let a poté se množství růstu rapidně snížilo.

Obličejový tvar se ve zkoumaném vzorku v průběhu 12měsíčních pozorovacích období významně nezměnil ani u jednoho pohlaví. Nicméně při porovnání věkových skupin byla změna tvaru nalezena u chlapců mezi věkovou skupinou 10-11,9 let a ≥ 12 let a u dívek mezi skupinou 8-9,9 let a 10-11,9 let. To naznačilo, že větší tvarové změny probíhají u dívek dříve. Kau a kol. [89] hodnotili povrchové změny superimpozicí průměrných obličejů dětí ve věku 12-14 let, které byly sledovány po dobu 2 let. Zjistili, že povrchové změny byly u chlapců větší než u dívek a statisticky významný rozdíl byl i v načasování změn.

Tato studie má několik limitací: malý počet dětí v některých věkových skupinách (< 10 probandů) limitoval statistické závěry analýz; většina mužských subjektů byla pravděpodobně před pubertálním růstovým spurtem. Dle Koudelové a kol. [131] se u dívek nejvýznamnější změny odehrávají mezi 12 a 13 lety věku a poté se růst zpomaluje. Oproti tomu jsou obličejové změny u chlapců evidentní až do 17 let. Do analýzy tak nebyla zahrnuta kohorta starších chlapců, u kterých je stále přítomen významný růst. Další limitací bylo, že u dívek jsem nezískala informaci přesného data menarche. Maximální růstový spurt u dívek předchází menarche zhruba o 1 rok [53]. Tato informace by pomohla rozlišit dříve a později dospívající dívky, a tím by vztah mezi růstem postavy a věkem byl vyšetřen více do hloubky. Dále je možné (ačkoliv byli všichni účastníci v průběhu každého fotografování instruováni, aby zachovali neutrální výraz obličeje se zuby v maximální interkuspidaci), že moje výsledky mohly být ovlivněny určitými mimovolnými změnami obličejového výrazu. Konečně jsem také neměla dostupná jiná data než registraci výšky/váhy, která by ukazovala na biologický/skeletální věk dítěte.

3.3.2 Hodnocení druhé části práce

Výsledky různých studií zabývajících se prevalencí ortodontických anomálií v populaci nejsou jednotné. Liší se dle jednotlivých zemí, etnických a věkových skupin a také podle zvolené metodiky [111, 132, 133, 134, 135]. V rámci preventivních prohlídek může praktický zubní lékař u dítěte jako první diagnostikovat ortodontickou anomálii. Ne všechny děti však k němu pravidelně docházejí. Cílem této práce bylo zjistit frekvenci výskytu neléčených ortodontických vad v populaci dětí na základních školách Olomouckého kraje ve věku 6 až 14 let. Intraorálním vyšetřením ortodontických anomálií byla zachycena dosud neléčená nebo nesledovaná vada u 10,58 % dětí. Mezi pohlavími nebyly výrazné rozdíly, u dívek byly anomálie nalezeny mírně častěji než u chlapců. Důvod, proč nebyla anomálie dosud léčena, nebyl z důvodu nepřítomnosti rodičů u vyšetření v konkrétních případech dále zjišťován. Předpokládaných příčin může být více. Buď dítě pravidelně nenavštěvovalo zubního lékaře, lékař anomálii v rámci preventivní prohlídky přehlédl, nebo rodiče po upozornění lékařem neměli o ortodontickou léčbu zájem. Naopak jako nepravděpodobný důvod se jeví nedostupnost ortodontické léčby v kraji. Za optimální je považován počet 30 000 - 35 000 obyvatel na jednoho ortodontistu [136]. Olomoucký kraj, který disponuje univerzitním městem se školícím pracovištěm pro atestační přípravu ortodontistů, patří mezi kraje s dostatečným množstvím specialistů na počet obyvatel (25 000 obyvatel na jednoho ortodontistu) [137]. Zajímavé je, že u mladších věkových kategorií byla frekvence záhytu nižší (přibližně 6 %) než u starších věkových skupin, kde byl záhyt až 15 %. Vyšší záhyt byl původně očekáván u mladších dětí z důvodu probíhající první etapy výměny chrupu, ve které dochází k prořezávání prvních stálých molárů a výměně všech řezáků. V tomto věku, mezi 6. a 8. rokem, tak mohly být do statistiky navíc zahrnuty i anomálie vzniklé v krátkém čase mezi pravidelnými půlročními preventivními zubními prohlídkami (např. zákusy řezáků). Ty mohly být lékařem při následující prohlídce diagnostikovány a odeslány na ortodoncii. Naopak u starších dětí nad 12 let, které se nachází ve fázi počátku stálého chrupu, by všechny anomálie měly být již zachyceny jejich ošetřujícím zubním lékařem a odeslány k léčbě. Výsledky studií ukazují, že ortodontickou léčbu vyžaduje průměrně 20 % populace [138, 139]. Náhodný záhyt 10 % by se mohl interpretovat tak, že až 50 % vad v populaci bylo nezachycených a v kategoriích nad 10 let dokonce až 75 %.

Nejčastěji diagnostikovanou neléčenou anomálií v souboru byl zákus a obrácený skus. Zákusy, které dosud nebyly diagnostikovány, se nacházely ve všech věkových kategoriích kromě té nejstarší. Vada se tak vyskytovala i ve věku mezi 10-11,9 lety. Zákus řezáku i obrácený skus včetně nuceného předkusy dolních řezáků je třeba léčit co nejdříve, jakmile je diagnostikován. Výjimku tvoří jen pacienti s mandibulární progenií nebo výraznou

pseudoprogenií, kdy se anomálie řeší ortodonticko-chirurgicky po ukončení růstu [9]. Huňáčková [132] uvádí výskyt zákusu řezáku u 4,1 % a obráceného skusu u 0,6 % populace mládeže v Brně. Brito a kol. [112] ve studii na dětech mezi 9 a 12 lety v Brazílii zjistil výskyt obráceného skusu až 10,1 %. Podle Tauscheové [134] je prevalence obráceného skusu u dětí ve věku 6 až 8 let 3,2 %.

Druhou nejčastěji diagnostikovanou neléčenou anomálií byl velký incizální schůdek. Distookluze a normookluze s protruzí horních řezáků jsou dosti časté, vyskytují se u 15-20 % bílé populace [140]. Mé výsledky ukázaly zvětšený IS nad 5 mm u 21,96 % vyšetřovaných dětí v souboru a velký IS nad 7 mm u 7,09 %. Výsledky jsou srovnatelné s Proffittem [23], který uvádí IS nad 5 mm u 23 % dětí do 11 let. Helm [141] zjistil incizální schůdek větší než 6 mm u 12-18 % dánských dětí, nad 9 mm u 2-4 %. V České republice uvádí Huňáčková [132] IS nad 6 mm u 3,9 % a Konečná [142] zjistila IS nad 9 mm u 1,6 %.

Třetí nejčastěji diagnostikovanou neléčenou anomálií byl zkřížený skus. Zkřížený skus patří mezi anomálie, kterou je nutné diagnostikovat a případně léčit co nejdříve. Neléčený jednostranně zkřížený skus může být i příčinou asymetrie obličeje [9]. Huňáčková [132] uvádí výskyt zkříženého skusu u 13,5 %, Brito a kol. [112] u 19,2 % a Tauscheová [134] u 7,7 %.

Výsledky vyšetření sagitálního vztahu zubních oblouků jsou srovnatelné s dalšími studii [112, 133, 139], kdy Angleova I. třída v populaci výrazně převažuje a Angleova III. třída je zastoupena pouze v malém procentu. Ve vyšetřovaném souboru se Angleova I. třída vyskytovala v porovnání s ostatními studii v mírně vyšším procentu případů. Šidlauskas a Lopatiene [133] uvádí Angleovu I. třídu u 68,42 %, Brito a kol. [112] u 76,7 % a Thilanderová a kol. [139] u 75,5 %.

Výsledky velikosti IS v této práci souhlasí se studii Šidlauskase a Lopatiene [133], který uvádí IS v rozmezí 0-3,5 mm u 78,89 % dětí a studii Brita a kol. [112] a Tauscheové [134], kteří zjistili IS nad 3,5 mm u 29,7 % a 31,4 %.

Výsledky studii prevalence hlubokého skusu v populaci se liší. Celkově byla zvětšená hloubka skusu pozorována u 36,77 % dětí. Průměrná délka korunky dolního středního řezáku je 7,69 mm [143]. Po přepočtu HS na milimetry za využití průměrné délky dolního středního řezáku 7,69 mm [143] se prezentované výsledky nacházejí mezi výsledky studie Huňáčkové [132], která zjistila hluboký skus více než 3,5 mm u 29,5 %, a Tauscheové [134] 46,2 %. Poměrně rozdílné výsledky prevalence hlubokého skusu většího než 3 mm u 14,46 % udává Šidlauskas a Lopatiene [133] a Brito a kol. [112] objevil hluboký skus větší než 3,5 mm pouze u 10,8 %.

Hlavní limitací této studie je, že neprobíhal rozhovor s rodiči a nebyla tak zjišťována příčina, proč konkrétní případ ortodontické anomálie není léčen. Další limitací je nemožnost zhotovení rentgenových snímků, kdy tak nemohly být vyšetřeny všechny body Svrateckého programu. Přínosem studie je však zjištění, že frekvence neléčených ortodontických vad v populaci je relativně vysoká. Dalším pozitivem pro zúčastněné děti bylo, že všechny byly vyšetřeny z ortodontického hlediska. Pokud byl nalezen dosud nedagnostikovaný ortodontický problém, děti a jejich rodiče byli o této skutečnosti informováni a dostali tak možnost vyhledat jeho včasnou léčbu. Mohly tak být zachyceny i vady, které by jinak zůstaly bez léčby nebo by léčba byla započata až později, kdy mezitím mohla nepozorovaná vada dál progredovat. Zajímavé by v rámci dalšího výzkumu bylo zjištění, kolik procent z dětí, které obdržely žádanku na vyšetření, skutečně vyhledalo následnou ortodontickou léčbu.

3.4 Závěr

3.4.1 Závěr první části práce

Soubor v první části práce tvořilo 113 dětí (58 dívek a 55 chlapců) základních škol Olomouckého kraje ve věku 6 až 13 let v čase prvního pozorování. Obličejové děti byly fotografovány 3D fotoaparátem v intervalech 12 měsíců po celkovou dobu 2 let. Zároveň byla v době fotografování zaznamenána výška a váha subjektů a bylo provedeno intraorální vyšetření ortodontických anomálií. Hlavním cílem první části práce bylo zjistit, zda růstové změny měkkých tkání obličejové jsou asociovány se změnou výšky a váhy postavy. Další cíle první části práce zahrnovaly popis pohlavního dimorfismu a zhodnocení změn obličejové velikosti a tvaru.

Limitace této studie byly: malý počet dětí v některých věkových skupinách (většina mužských subjektů byla před pubertálním růstovým spurtem), nezjištění přesného data menarche u dívek, možné mimovolné změny obličejového výrazu při fotografování a nemožnost zjistit přesný biologický/skeletální věk dítěte.

V rámci limitací prezentované studie lze závěrem shrnout následující:

- Změny výšky a váhy byly asociovány se změnou obličejové velikosti. Nicméně pouze 29 % z celkových změn obličejové velikosti bylo vysvětleno změnou výšky/váhy v průběhu růstu. Přírůstek na váze měl lehce větší vliv než změna výšky. Změny tvaru obličejové nebyly spojeny se změnou výšky ani váhy.
- Pohlaví mělo vliv na obličejovou formu, kdy chlapci měli obličejové větší než dívky. Zatímco vliv pohlaví na tvar obličejové prokázán nebyl.
- Většina změn obličejové morfologie ve vzorku se zdála být spojená se zvětšující se velikostí. Oproti tomu se obličejový tvar zdál být relativně konstantní.
- Klinický význam prezentované studie je, že registrace změny výšky a váhy nemusí být dostatečná na predikci růstu měkkých tkání obličejové u dětí.
- Další výzkum s větším vzorkem a delší dobou pozorování je potřeba na potvrzení uvedených závěrů. V následujících letech bych chtěla pokračovat v pravidelném fotografování vzorku. Vhodné by bylo do analýzy zahrnout také děti starší 15 let, a to zejména chlapce, kteří značně rostou i v tomto věku. Nicméně dlouhodobý výzkum prováděný na školách je problematický, jelikož děti v 15 letech končí docházku na základních školách a odcházejí na různé střední školy.
- I když prezentovaná studie obsahuje několik limitací, poskytuje základ pro další výzkumnou činnost zabývající se růstem a vývojem obličejové a způsoby jejich predikce.

3.4.2 Závěr druhé části práce

Soubor v druhé části práce tvořilo 312 dětí základních škol Olomouckého kraje (134 chlapců a 178 dívek) ve věku 6 až 14 let. Hlavním cílem druhé části práce bylo zjistit frekvenci výskytu ortodontických anomálií, které dosud nebyly v ortodontické dispenzarizaci nebo léčbě. Další cíle druhé části práce byly určit frekvenci výskytu Angleových tříd, procentuální rozložení velikosti incizálního schůdku a hloubky skusu u těchto dětí.

Limitace studie byly v: nezjištění příčiny neléčení anomálie a nemožnosti zhotovení rentgenových snímků.

V rámci limitací prezentované studie lze závěrem shrnout následující:

- Intraorálním vyšetřením ortodontických anomálií jsem zachytila dosud neléčenou/nesledovanou vadu u 10,58 % dětí. U mladších dětí ve vzorku byla frekvence záchytu nižší než u starších.
- Nejčastěji diagnostikovanou neléčenou anomálií v souboru byl zákus a obrácený skus, následován velkým incizálním schůdkem a zkříženým skusem.
- Klinický význam prezentované studie byl v zjištění relativně vysoké frekvence výskytu neléčených ortodontických vad. To může mít jenom tři vysvětlení: Buď dítě pravidelně nenavštěvuje zubního lékaře, lékař anomálii v rámci preventivní prohlídky přehlédl, anebo rodiče po upozornění lékařem neměli o následnou ortodontickou terapii zájem. Další přínos byl ve včasném záchytu vad, které by jinak mohly zůstat bez léčby nebo by léčba byla započata až později.
- V rámci dalšího výzkumu by bylo vhodné zjistit, kolik dětí s diagnostikovanou vadou následně vyhledalo ortodontickou léčbu.

4 Literatura

1. Petrovický P a spol. Anatomie s topografií a klinickými aplikacemi I. 1. vydání, Osveta 2001.
2. Čihák R. Anatomie 1, 2. upr. a dopl. vydání. Praha: Grada Publishing, 2001.
3. Thilander B, Rönning O. Introduction to Orthodontics. 5. vydání, Stockholm: Tandläkarförlaget, 1985.
4. Ferrario VF, Sforza C, Miani AJr, Pizzini G. A size-standardized analysis of soft tissue facial profile during growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997; 112(1):28-33.
5. Enlow DH. Handbook of facial growth. 1. vydání, Philadelphia, 1982.
6. Enlow DH, Hans MG. Essentials of facial growth. 1. vydání, Philadelphia: WS Saunders Co., 1996.
7. Ferguson DJ, Dean JA. Growth of the face and dental arches. In: Dean JA, Avery DR, McDonald RE. McDonald and Avery's dentistry for the child and adolescent. 9. vydání. Maryland Heights, Mosby, 2010.
8. Komínek J, Toman J, Rozkovcová E. Dětská stomatologie. 3. vydání, Praha: Avicenum, 1974.
9. Kamínek M et al. Ortodoncie. 1. vydání. Praha: Galén, 2014.
10. Perrotti G, Testori T, Politi M. 3D Imaging and Dentistry. 1. vydání, Italy: Quintessenza Edizioni S.r.l., 2016.
11. Björk A. Sutural growth of the upper face studied by the implant method. *Acta Odontol Scand.* 1966; 24(2):109-27.
12. Songra G, Mittal TK, Williams JC, Puryer J, Sandy JR, Ireland AJ. Assessment of growth in orthodontics. *Orthodontic Update.* 2017; 10(1):16-23.
13. Som PM, Naidich TP. Illustrated review of the embryology and development of the facial region, part 1: Early face and lateral nasal cavities. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2013; 34(12):2233-2240.
14. Malínský J. Histologie a embryologie orofaciální oblasti. 2. vydání, Olomouc: UP v Olomouci, 1998.
15. Som PM, Naidich TP. Illustrated review of the embryology and development of the facial region, part 2: Late development of the fetal face and changes in the face from newborn to adulthood. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2014; 35(1):10-18.

16. Farkas LG, Posnick JC, Hreczko TM. Growth patterns of the face: a morphometric study. *Cleft Palate Craniofac J.* 1992; 29(4):308-315.
17. Jandová M, Kotulanová Z, Urbanová P. Databáze trojrozměrných modelů obličeje dětí a její využití v ortodoncii. *Ortodoncie.* 2015; 24(11):14-21.
18. Maal TJ, van Loon B, Plooiij JM, Rangel F, Ettema AM, Borstlap WA, Bergé SJ. Registration of 3-dimensional facial photographs for clinical use. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010; 68(10):2391-2401.
19. Liggett J. *The human face.* 1. vydání. London: Constable, 1974.
20. Brons S, van Beusichem ME, Bronkhorst EM, Draaisma J, Bergé SJ, Maal TJ, Kuijpers-Jagtman AM. Methods to quantify soft-tissue based facial growth and treatment outcomes in children: A systematic review. *PLoS ONE.* 2012;7(8):e41898.
21. Machado CEP, Flores MRP, Lima LNC, Tinoco RLR, Franco A, Bezerra ACB, Evison MP, Guimarães MA. A new approach for the analysis of facial growth and age estimation: Iris ratio. *PLoS One,* 2017; 12(7):e0180330.
22. Zecca PA, Fastuca R, Beretta M, Caprioglio A, Macchi A. Correlation assessment between three-dimensional facial soft tissue scan and lateral cephalometric radiography in orthodontic diagnosis. *Int J Dent.* 2016; 2016:1473918.
23. Proffit WR, Fields HWJr, Sarver DM. *Contemporary Orthodontics.* 5. vydání. St. Louis: Mosby, 2012.
24. Martinez-Maza C, Rosas A, Nieto-Díaz M. Postnatal changes in the growth dynamics of the human face revealed from bone modelling patterns. *J Anat.* 2013; 223(3):228-41.
25. Prah-Andersen B, Ligthelm-Bakker AS, Wattel E, Nanda R. Adolescent growth changes in soft tissue profile. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995; 107(5):476-483.
26. Björk A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. *Am J Phys Antropol.* 1968; 29(2):243-54.
27. Björk A. Variations in the growth pattern of the human mandible: longitudinal radiographic study by the implant method. *J Dent Res.* 1963;42(1)Pt 2:400-11.
28. Carlson DS. Theories of Craniofacial Growth in the Postgenomic Era. *Seminars in Orthodontics.* 2005; 11(4):172–183.
29. Castaldo G, Cerritelli F. Craniofacial growth: evolving paradigms. *Cranio.* 2015; 33(1):23-31.

30. Weinmann JP, Sicher H. Bone and bones. Fundamentals of bone biology. *Am J Med Sci.* 1948; 215(1):113.
31. Scott JH. Growth at facial sutures. *Am J Orthod.* 1956; 42(5):381-7.
32. Moss ML, Salentijn L. The primary role of functional matrices in facial growth. *Am J Orthod.* 1969; 55(6):566–577.
33. Petrovic A. Control of postnatal growth of secondary cartilages of the mandible by mechanisms regulating occlusion. Cybernetic model. *Trans Eur Orthod Soc.* 1974:69.
34. Bagga D. Adult Orthodontics Versus Adolescent Orthodontics: An Overview. *J Oral Health Comm Dent.* 2010; 4(2):42-47.
35. Werneck E, Mattos F, Silva M, Prado R, Araújo A. Evaluation of the increase in orthodontic treatment demand in adults. *Braz Dent Sci.* 2012; 15(1):47-52.
36. Silveira AM, Fishman LS, Subtelny JD, Kassebaum DK. Facial growth during adolescence in early, average and late maturers. *Angle Orthod.* 1992; 62(3):185-90.
37. Bishara SE. Facial and Dental Changes in Adolescents and Their Clinical Implication.
38. Araujo M, Cury-Saramago A, Motta A. Clinical and radiographic guidelines to predict pubertal growth spurt. *Dental Press J Orthod.* 2011; 16(5):98-103.
39. Baccetti T, Franchi L, Kim LH. Effect of timing on the outcomes of 1-phase nonextraction therapy of Class II malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 136(4):501-9.
40. Baccetti T, Franchi L, McNamara J Jr. The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod.* 2005; 11(3):119–29.
41. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA. Postpubertal assessment of treatment timing for maxillary expansion and protraction therapy followed by fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004; 126(5):555-68.
42. Zere E, Chaudhari PK, Sharan J, Dhingra K, Tiwari N. Developing Class III malocclusions: challenges and solutions. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2018; 10:99-116.
43. Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1995; 107(1):58-66.
44. Korde SJ, Daigavane P, Shrivastav S. Skeletal maturity indicators – review article. *IJSR.* 2017; 6(3):2319-7064.

45. Pirinen S. Endocrine regulation of craniofacial growth. *Acta Odontologica Scandinavica*, 1995; 53(3):179–185.
46. Funatsu M, Sato K, Mitani H. Effects of growth hormone on craniofacial growth. *Angle Orthod*. 2006; 76(6):970-7.
47. Litsas G. Growth Hormone and Craniofacial Tissues. An update. *Open Dent J*. 2015;9:1-8.
48. Mitani H. Occlusal and craniofacial growth changes during puberty. *Am J Orthod*. 1977; 72(1):76-84.
49. Lewis AB, Roche AF, Wagner B. Pubertal spurts in cranial base and mandible: comparisons within individuals. *Angle Orthod*. 1985; 55(1):17-30.
50. Baughan B, Demirjian A, Levesque GY, Lapalme-Chaput L. The pattern of facial growth before and during puberty, as shown by French-Canadian girls. *Annals of Human Biology*. 1979; 6(1):59–76.
51. Moore RN, Moyer BA, DuBois LM. Skeletal maturation and craniofacial growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1990; 98(1):33–40.
52. Becker A. *Orthodontic treatment of impacted teeth*. 3. vydání, Wiley-Blackwell, 2012.
53. Demirjian A, Buschang PH, Tanguay R, Patterson DK. Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity. *Am J Orthod*. 1985; 88(5):433-8.
54. Pileski RC, Woodside DG, James GA. Relationship of the ulnar sesamoid bone and maximum mandibular growth velocity. *Angle Orthod*. 1973; 43(2):162-70.
55. Greulich WW, Pyle SI. *Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist*. 1. vydání. Michiganská univerzita: Stanford University Press, 1950.
56. Hashim HA, Mansoor H, Mohamed MH. Assessment of skeletal age using hand-wrist radiographs following Bjork system. *J Int Soc Prev Community Dent*, 2018; 8(6):482-487.
57. Mejía-Garduño G, Canseco-Jiménez J, Martínez-López C., Reyes-López A., Cuairán-Rudíaz V. Correlation between carpal maturation stages and mandibular canine development stages in patients subjected to orthodontic treatment. *Revista Odontológica Mexicana*. 2014; 18(1):9-13.
58. Mohammed RB, Kalyan VS, Tircouveluri S, Vegesna GC, Chirla A, Varma DM. The reliability of Fishman method of skeletal maturation for age estimation in children of South Indian population. *J Nat Sci Biol Med*. 2014; 5(2):297–302.

59. Hägg U, Taranger J. Maturation indicators and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod.* 1982; 82(4):299–309.
60. Tofani MI. Mandibular growth at puberty. *Am J Orthod.* 1972; 62(2):176–195.
61. Predko A, Kamínek M, Langová K. Skeletální věk v ortodoncii. *Čes. Stomat.* 2011; 111(6):154–159.
62. Gabriel DB, Southard KA, Qian F., Marshall SD, Francius RG, Southard TE. Cervical vertebrae maturation method: Poor reproducibility. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 136(4):478.e1-478.e7.
63. Wong RWK, Hessa AA, Rabie ABM. Use of cervical vertebral maturation to determine skeletal age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 136(4):484.e1-484.e6.
64. Simmons K, Greulich WW. Menarcheal age and the height, weight, and skeletal age of girls age 7 to 17 years. *J Pediatr.* 1943; 22:518-548.
65. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Human Biology.* 1973; 45(2):211-227.
66. Coutinho S, Buschang PH, Miranda F. Relationships between mandibular canine calcification stages and skeletal maturity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993; 104(3):262-8.
67. Chertkow S. Tooth mineralization as an indicator of the pubertal growth spurt. *Am J Orthod.* 1980; 77(1):79-91.
68. Pike JB. A serial investigation of facial and statural growth in seven to twelve year old children. *Angle Orthod.* 1968; 38(1):63-73.
69. Bergersen EO. The male adolescent facial growth spurt: its prediction and relation to skeletal maturation. *Angle Orthod.* 1972;42(4): 319-38.
70. Hunter CJ. The Correlation Of Facial Growth With Body Height And Skeletal Maturation At Adolescence. *Angle Orthod.* 1966; 36(1):44-54.
71. Van der Beek MC, Hoeksma JB, Prah-Andersen B. Vertical facial growth and statural growth in girls: a longitudinal comparison. *Eur J Orthod.* 1996; 18(6):549-55.
72. Nanda RS. Rate of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms, *Am J Orthod.* 1955; 44:658-673.
73. Bambha JK. Longitudinal cephalometric roentgenographic study of face and cranium in relation to body height. *J Am Dent Assoc.* 1961; 63:776-99.

74. Mellion ZJ, Behrents RG, Johnston LEJr. The pattern of facial skeletal growth and its relationship to various common indexes of maturation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013; 143(6):845-54.
75. Fukuhara T, Matsumoto M. A longitudinal study of facial growth in relation to general body height during adolescence. *Am J Orthod Dentofac.* 1970; 58(6):621–622.
76. Bishara SE, Jamison JE, Peterson LC, DeKock WH. Longitudinal changes in standing height and mandibular parameters between the ages of 8 and 17 years. *Am J Orthod.* 1981; 80(2):115-35.
77. Jandová M, Urbanová P. The relationship between facial morphology, body measurements and socio-economic factors. *Anthropological Review.* 2016; 79(2):181-200.
78. Primožic J, Perinetti G, Contardo L, Ovsenik M. Facial soft tissue changes during the pre-pubertal and pubertal growth phase: a mixed longitudinal laser-scanning study. *Eur J Orthod.* 2017; 39(1):52-60.
79. Moss ML, Salentijn L. The primary role of functional matrices in facial growth. *Am J Orthod.* 1969; 55(6):566–577.
80. Nanda RS. The contributions of craniofacial growth to clinical orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000; 117(5):553-5.
81. Subtelny JD. A longitudinal study of soft tissue facial structures and their profile characteristics, defined in relation to underlying skeletal structures. *Am J Orthod.* 1959; 45(7):481-507.
82. Burke PH, Hughes-Lawson CA. The adolescent growth spurt in the soft tissues of the face. *Ann Hum Biol.* 1988; 15(4):253-62.
83. Aldridge K, Boyadjiev SA, Capone GT, DeLeon VB, Richtsmeier JT. Precision and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images. *Am J Med Genet.* 2005; 138A(3):247-253.
84. Al-Khatib AR. Facial three dimensional surface imaging : an overview. *Arch Orofac Sci.* 2010; 5(1):1-8.
85. Brons S, van Beusichem ME, Bronkhorst EM, Draaisma J, Bergé SJ, Maal TJ, Kuijpers-Jagtman AM. Methods to quantify soft-tissue based facial growth and treatment outcomes in children: A systematic review. *PLoS ONE,* 2012; 7(8):e41898.

86. Darwis WE, Messer LB, Thomas CD. Assessing growth and development of the facial profile. *Pediatr Dent.* 2003; 25(2):103-108.
87. Farkas LG. *Anthropometry of the head and face.* 2. vydání, New York: Raven Press, 1994.
88. Kau CH, Zhurov AI, Richmond S, Bibb R, Sugar A, Knox J, Hartles F. The 3-dimensional construction of the average 11-year-old child face: A clinical evaluation and application. *J Oral Maxillofac Surg.* 2006; 64(7):1086-1092.
89. Kau CH, Richmond S. Three-dimensional analysis of facial morphology surface changes in untreated children from 12 to 14 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 134(6):751-760.
90. Nute SJ, Moss JP. Three-dimensional facial growth studied by optical surface scanning. *J Orthod.* 2000; 27(1):31-38.
91. Tanner JM, Weiner JS. The reliability of the photogrammetric method of anthropometry, with a description of a miniature camera technique. *Am J Phy Antrop.* 1949; 7(2):145-186.
92. Dírer P, Kamínková P, Marek I. Metody 3D rekonstrukce obličeje. Souhrnný referát. *Ortodoncie.* 2020; 29(1): 28-37.
93. Hammond P. The use of 3D face shape modelling in dysmorphology. *Arch Dis Child.* 2007; 92(12):1120-6.
94. Kamínková P. Metody používané k výzkumu morfologie obličeje. *Čes Stomat a Prakt Zub Lék.* 2019; 119(1): 13-17.
95. Caldemeyer KS, Buckwalter KA. The basic principles of computed tomography and magnetic resonance imaging. *J Am Acad Dermatol.* 1999; 41(5 Pt 1):768–771.
96. Krejčí P, a kol. *Dentální radiologie.* 1. vydání dotisk, Univerzita Palackého, 2009.
97. Dawood A, Patel S, Brown J. Cone beam CT in dental practice. *Br Dent J.* 2009; 207(1):23-8.
98. Šrubař M. Plánování ortognátních operací a předpověď polohy měkkých tkání pomocí počítačové 3D simulace. Atestační práce ke specializační zkoušce v oboru ortodoncie, 2015.
99. Lane C, Harrell WJr. Completing the 3-dimensional picture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 133(4):612-620.
100. Hajeer MY, Millett DT, Ayoub AF, Siebert JP. Applications of 3D imaging in orthodontics: Part I. *J Orthod.* 2004; 31(1):62-70.

101. Tzou CH, Artner NM, Pona I, Hold A, Placheta E, Kropatsch WG, Frey M. Comparison of three-dimensional surface-imaging systems. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2014; 67(4):489-497.
102. Metzler P, Sun Y, Zemann W, Bartella A, Lehner M, Obwegeser JA, Kruse-Gujer AL, Lübbers HT. Validity of the 3D VECTRA photogrammetric surface imaging system for cranio-maxillofacial anthropometric measurements. *Oral Maxillofac Surg.* 2014; 18(3):297-304.
103. Dírer P, Marek I, Fudalej P. Zhodnocení přesnosti antropometrické analýzy 3D fotoaparátem Vectra M3 a Vectra H1 v porovnání s přímou antropometrií. *Ortodoncie.* 2020; 29(4):209-220.
104. Ort R, Metzler P, Kruse AL, Matthews F, Grätz KW, Luebbers HT. The reliability of a three-dimensional photo system- (3dMDface-) based evaluation of the face in cleft lip infants. *Plast Surg Int.* 2012; 2012:138090.
105. Ghislanzoni LH, Lione R, Cozza P, Franchi L. Measuring 3D shape in orthodontics through geometric morphometrics. *Prog Orthod.* 2017; 18(1):38.
106. Mitteroecker P, Gunz P, Windhager S, Schaefer K. A brief review of shape, form, and allometry in geometric morphometrics, with applications to human facial morphology. *Hystrix, It J Mamm.* 2013; 24(1):59–66.
107. Islam SMS, Goonewardene M, Farella M. A Review on Three Dimensional Facial Averaging for the Assessment of Orthodontic Disorders. *Innovations and Advances in Computing, Informatics, Systems Sciences, Networking and Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering 313.* 2015; 391-397.
108. Klingenberg CP. Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. *Dev Genes Evol.* 2016; 226(3):113-37.
109. Neha. Sizing the shape: understanding morphometrics. *J Clin Diagn Res.* 2015; 9(1):ZC21-6.
110. Mitteroecker P, Gunz P. *Advances in Geometric Morphometrics.* *Evol Biol.* 2009; 36(2):235–247.
111. Kamínek M. Česká ortodoncie ve 20. století. *Ortodoncie.* 1999; 8(4):17-21.
112. Brito D, Dias P, Gleiser R. Prevalence of malocclusion in children aged 9 to 12 years old in the city of Nova Friburgo, Rio de Janeiro State, Brazil. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial.* 2009; 14(6):118-124.
113. Kamínek M. Objektivní registrace ortodontických anomálií. *Čs. Stomat.* 1979; 79(1):59-67.

114. Nakas E, Tiro A, Vrazalica LR, Hadzihasanovic D, Dzemic V. Use of orthodontic treatment needs indices for oral health survey. *Mater Sociomed.* 2016;28(2):138-140.
115. Järvinen S. Indexes for orthodontic treatment need. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001; 120(3):237-239.
116. Massler M, Frankel JM. Prevalence of malocclusion in children aged 14 to 18 years. *Am J Orthod* 1951;37:751-68.
117. Summers CJ. A system for identifying and scoring occlusal disorders. The occlusal index [dissertation]. Ann Arbor (Mich): University of Michigan; 1966.
118. Grainger RM. Orthodontic treatment priority index. In: Public Health Service Publication No 1000, Series 2, No 25. Washington DC: US Government Printing Office; 1967.
119. Salzmann JA. Handicapping malocclusion assessment to establish treatment priority. *Am J Orthod.* 1968; 54: 749-765.
120. Brook PH, Shaw WC. The development of an index of orthodontic treatment priority. *Eur J Orthod.* 1989;309-20.
121. Planerová V. Hodnocení výsledků ortodontické léčby. Odborná atestační práce v oboru ortodontie. Praha, 2016.
122. Backstrom H, Mohlin B. Quality assessment in orthodontics using the IOTN and PAR indices, *Tandlakartidningen.* 1998; 90(6):49-57.
123. Gunz P, Mitteroecker P. Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy.* 2013; 24(1):103-109.
124. Soliman A, Sanctis V, Elalaily R, Bedair S. Advances in pubertal growth and factors influencing it: Can we increase pubertal growth? *Indian J Endocrinol Metab.* 2014; 18 (Suppl 1):S53-62.
125. Koudelová J, Dupej J, Brůžek J, Sedlak P, Velemínská J. Modelling of facial growth in Czech children based on longitudinal data: Age progression from 12 to 15 years using 3D surface models. *Forensic Sci Int.* 2015; 248:33-40.
126. Koudelová J, Brůžek J, Cagaňová V, Krajíček V, Velemínská J. Development of facial sexual dimorphism in children aged between 12 and 15 years: A three-dimensional longitudinal study. *Orthod Craniofac Res.* 2015; 18(3):175-184.
127. Halazonetis D. Morphometric evaluation of soft-tissue profile shape. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007; 131(4):481-9.

128. Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Schmitz JH. Soft-tissue facial morphometry from 6 years to adulthood: a three-dimensional growth study using a new modeling. *Plast Reconstr Surg.* 1999; 103(3):768-78.
129. Kesterke MJ, Raffensperger ZD, Heike CL, Cunningham ML, Hecht JT, Kau CH, Nidey NL, Moreno LM, Wehby GL, Marazita ML, Weinberg SM. Using the 3D Facial Norms Database to investigate craniofacial sexual dimorphism in healthy children, adolescents, and adults. *Biol Sex Differ.* 2016; 7:23.
130. Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Schmitz JH. Facial volume changes during normal human growth and development. *Anat Rec.* 1998; 250(4):480-7.
131. Koudelová J, Hoffmannová E, Dupej J, Velemínská J. 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.* 2019; 14(2):e0212618.
132. Huňáčková I. Výskyt ortodontických anomálií u mládeže v brněnském regionu. *Ortodoncie.* 2000; 9(1):20-22.
133. Šidlauskas A, Lopatiene K. The prevalence of malocclusion among 7-15-year-old Lithuanian schoolchildren. *Medicina (Kaunas).* 2009; 45(2):147-152.
134. Tausche E. Prevalence of malocclusions in the early mixed dentition and orthodontic treatment need. *Eur J Orthod.* 2004; 26(3):237–244.
135. Todorovska G, Ambarkova V, Kokocheva-Ivanovska O, Dzipunova B, Tosheska-Spasova N, Sibinoska K. Orthodontic anomalies in mixed dentition. *MicroMed.* 2018; 6(1):36-46.
136. Kotas M, Kamínek M. Počet ortodontistů v České republice: věková a regionální struktura. *Ortodoncie.* 2011; 20(1):40-47.
137. Ježek K, Kotas M, Kamínek M, Fačevicová K, Sedlatá Jurásková E. Počet ortodontistů a ortodontických pracovišť v České republice. *Ortodoncie.* 2018; 27(4):185-196.
138. Sushanth VH, Krishna M, Suresh Babu AM, Prashant GM, Madan Kumar PD, Shivakumar M. Prevalence of Malocclusion and Orthodontic Treatment Needs among 12 - 13 Year Old School Going Children in Chennai City, Tamilnadu, India. *Int J Oral Health Med Res.* 2015; 2(2):32-38.
139. Thilander B, Pena L, Infante C, Parada SS, de Mayorga C. Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment need in children and adolescents in Bogota, Colombia. An epidemiological study related to different stages of dental development. *Eur J Orthod.* 2001; 23(2):153-167.

140. Mitchell L. *An Introduction to orthodontics*. 3. vydání. Oxford: Oxford University Press, 2007.
141. Helm S. Prevalence of malocclusion in relation to development of the dentition; an epidemiological study of Danish school children. *Acta Odont Scand*. 1970; 28, suppl. 58.
142. Konečná V. Výskyt ortodontických anomálií u mládeže na středních školách Severomoravského kraje. Odborná atestační práce v oboru čelistní ortopedie, Olomouc, 1985.
143. Song JW, Leesungbok R, Park SJ, Chang SH, Ahn SJ, Lee SW. Analysis of crown size and morphology, and gingival shape in the maxillary anterior dentition in Korean young adults. *J Adv Prosthodont*. 2017; 9(4):315-320.

Souhrn

Úvod a cíle:

Znalost obličejového růstu a vývoje je podstatná pro plánování ortodontické léčby. Tato práce se skládá ze dvou dílčích částí. Hlavním cílem práce bylo zhodnotit růstové změny měkkých tkání obličeje a jejich vztah ke změně výšky a váhy postavy. Cílem druhé části práce bylo zjistit frekvenci výskytu ortodontických anomálií neinvazivním klinickým vyšetřením u dětí na základních školách Olomouckého kraje, které dosud nebyly v ortodontické dispenzarizaci nebo léčbě.

Metodika:

V první části práce se vyšetřovaný soubor skládal ze 113 dětí (58 dívek a 55 chlapců) ve věku 6-13 let na počátku studie, které byly sledovány po dobu 2 let. Soubor probandů druhé části práce tvořilo 312 dětí (134 chlapců a 178 dívek) ve věku 6-13,9 let, které byly vyšetřeny v prvním roce studie.

Obličeje dětí byly fotografovány v intervalu 12 měsíců trojdimenzionálním stereofotogrammetrickým optickým skenerem. Ve stejný čas byla zaznamenána výška a váha dítěte a provedeno intraorální vyšetření případných ortodontických anomálií.

Obličejové změny byly analyzovány pomocí metod geometrické morfometrie. Rozdíl přirozeného logaritmu *centroid size* mezi dvěma pozorováními reprezentoval změnu obličejové velikosti, zatímco Prokrastova vzdálenost popisovala změnu obličejového tvaru. Na zhodnocení vztahu mezi změnou obličejové velikosti nebo tvaru a věkem na začátku pozorování, pohlavím, změnou výšky a váhy byly vytvořeny mnohonásobné regresní modely smíšených efektů.

U všech dětí byl vyšetřen skus v maximální interkuspidaci, určena Angleova třída, změřen incizální schůdek a hloubka skusu. Při diagnostice ortodontické anomálie, která dosud nebyla v léčbě, byla dítěti předána žádanka na další vyšetření na ortodontické oddělení Kliniky zubního lékařství v Olomouci.

Výsledky:

Jenom model se změnou přirozeného logaritmu *centroid size* $\ln(CS)$ byl statisticky významný ($p < 0,001$, upravené $R^2 = 0,29$). To značí, že změny výšky a váhy byly spojeny se změnou obličejové velikosti (změna váhy měla větší vliv než změna výšky: upravené $R^2 = 0,25$ pro změnu váhy a upravené $R^2 = 0,106$ pro změnu výšky).

Celkem 33 dětí z vyšetřovaného souboru mělo dosud nedagnostikovanou nebo neléčenou ortodontickou anomálii, což činilo 10,58 % všech vyšetřených dětí.

Závěr:

Pouze 29 % z celkových změn obličejové velikosti bylo vysvětleno změnou výšky/váhy v průběhu růstu. Změny tvaru obličeje nebyly spojeny se změnou výšky ani váhy. Registrace změny výšky a váhy tak nemusí být dostatečná na predikci růstu měkkých tkání obličeje u dětí. U dětí sledovaného souboru bylo procento výskytu neléčených ortodontických anomálií relativně vysoké.

Klíčová slova: růstové změny obličeje, změna výšky a váhy, stereofotogrammetrie, geometrická morfometrie, ortodontická anomálie, časná léčba

Summary

Introduction and the aims of the study:

The knowledge of facial growth and development is important for planning of orthodontic treatment. The study is comprised of two parts. The main aim of the the study was to evaluate growth changes of facial soft tissues and their relationship to statural height and weight changes. The aim of the second part of the study was to find out with noninvasive clinical assesement the occurence of children with orthodontic anomalies at elementary schools in Olomouc region, that so far were not in orthodontic dispensarization/treatment.

Methods:

In the first part of the study the examined group consists of 113 children (58 girls and 55 boys) aged between 6-13 years at the beginning of the study who were followed for 2 years. In the second part of the study the followed group contained 312 children (134 boys and 178 girls) aged between 6-13,9 years who were examined in the first year of the study.

The faces of children were captured in 12-month intervals using a threedimensional stereophotogrammetric optical scanner. The body height and weight were recorderded and intraoral assessment of potential orthodontic anomalies was performed at the same time.

The facial changes were analyzed with methods of geometric morphometrics. The difference of natural logarithm of centroid size between two observation represented the change of facial size, while Procrustes distance described the change of facial shape. Multiple regression mixed effects models were exploited for evaluation of association between the changes of facial size or shape and age at the beginning of observation, gender, change of the height and weight.

The occlusion in maximal intercuspitation, Angle class, overjet and overbite were assessed in every child. If orthodontic anomaly was diagnosed and simultaneously this anomaly has not been in treatment yet, the child received request form for further examination in Orthodontic Department of Institute of Dentistry in Olomouc.

Results:

Only the model with the change of natural logarithm of centroid size was statistically significant ($p < 0,001$, adjusted $R^2 = 0,29$). It showed that height and weight changes were associated with change of the facial size (with weight change having a greater effect than height change: adjusted $R^2 = 0,25$ for weight change and adjusted $R^2 = 0,106$ for height change).

Total 33 children had an undiagnosed or untreated orthodontic anomaly, that made 10,58 % of all assessed children.

Conclusions:

Only 29 % of total changes in facial size was explained by height/weight changes during growth. Facial shape changes were not associated with height and weight changes. Registration of height and weight changes may not be sufficient to predict the growth of facial soft tissues in children

The occurrence of untreated orthodontic anomalies in observed children was relatively high.

Key words: facial growth changes, height and weight changes, stereophotogrammetry, geometric morphometrics, orthodontic anomaly, early treatment