

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta

Katedra antropologie a genetiky člověka



**SLEDOVÁNÍ ONTOGENETICKÉHO
VÝVOJE MANDIBULY NA ZÁKLADĚ
METOD GEOMETRICKÉ MORFOMETRIE**

Diplomová práce

Bc. Alena Kiebelová

Praha, 2010

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

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a s využitím citované literatury.

V Praze dne 31. 8. 2010

Alena Kiebelová

Na tomto místě bych ráda poděkovala své školitelce, RNDr. Janě Velemínské, PhD., za vedení práce, pomoc při jejím vzniku a za mnoho cenných rad. Dále děkuji prof. MUDr. Václavu Seichertovi, DrSc. za umožnění využití sbírky dětských a dospělých mandibul z Muzea normální a srovnávací anatomie na Anatomickém ústavu 1. LF Univerzity Karlovy a Pavlu Vitákovi za pomoc při jejich zpracování. Také velice děkuji své rodině a příteli Lukášovi, bez jejichž podpory, lásky a trpělivosti by tato práce nemohla vzniknout.

Práce vznikla za podpory výzkumného záměru MŠMT 0021620843.

Obsah

Obsah	4
Abstrakt.....	7
Abstract	8
1 Úvod a cíle práce	9
2 Teoretická část	12
2.1 Morfologie mandibuly	12
2.2 Ontogenetický vývoj mandibuly	13
2.2.1 Embryonální a fetální vývoj mandibuly	14
2.2.2 Postnatální vývoj mandibuly	14
2.2.3 Pohlavní dimorfismus.....	19
2.3 Teorie růstu mandibuly	21
2.3.1 Teorie funkční matrix.....	21
2.3.2 Remodelace mandibuly	22
2.3.3 Čelistní kloub	26
2.3.4 Vliv svalů na růst a tvar mandibuly.....	27
2.3.5 Vliv dentice na růst a tvar mandibuly	27
2.3.6 Vztah mandibuly a maxily	28
2.3.7 Rotace mandibuly.....	29
2.4 Detailní metrická analýza mandibuly.....	32
2.5 Asymetrie mandibuly	35
2.6 Anomálie vývoje mandibuly	36
3 Materiál.....	38
4 Metody	40
4.1 Morfometrie	40

4.1.1	Historie morfometrie	40
4.1.2	Tradiční vs. geometrická morfometrie	41
4.1.3	Význačné body	41
4.1.3.1	Měřené landmarky.....	42
4.2	MicroScribe.....	46
4.3	Prokrustovská transformace	47
4.4	Analýza hlavní komponenty	48
4.5	Metoda tenkých ohebných plátek	49
4.6	Software	50
4.7	Statistické testy.....	50
4.8	Určení zubního věku	51
4.8.1	Moorees, Fanning, Hunt (MFH) (1963).....	51
4.8.2	Ubelaker (1978).....	51
5	Výsledky	52
5.1	Stanovení dentálního věku	52
5.2	Spolehlivost měření.....	55
5.3	Analýza tvarových změn mandibuly.....	55
5.4	Analýza tvaru celé mandibuly.....	56
5.4.1	Analýza hlavní komponenty.....	56
5.4.2	TPS metoda	64
5.4.3	Regrese	65
5.4.4	MANOVA	66
5.5	Analýza tvaru větve mandibuly	67
5.5.1	Analýza hlavní komponenty.....	67
5.5.2	Regrese	71
5.5.3	MANOVA	72

5.6	Analýza tvaru těla mandibuly	73
5.6.1	Analýza hlavní komponenty.....	73
5.6.2	Regrese	78
5.6.3	MANOVA	80
6	Diskuze	81
7	Závěr	88
	Seznam použité literatury	90
	Internetové zdroje	98
	Software	99
	Seznam obrázků.....	100
	Seznam tabulek	103
	Přílohy.....	104

Abstrakt

Během ontogeneze člověka dochází k četným vývojovým tvarovým změnám na celé kostře. Diplomová práce se věnuje tvarovým změnám probíhajícím na dolní čelisti, které jsou způsobeny vlivem různých faktorů, jak genetických a hormonálních, tak mechanických. K nejvýznamnějším mechanickým faktorům ovlivňujícím tvar mandibuly, řadíme vývoj dočasné a trvalé dentice, a také rozvoj žvýkacích svalů. Materiál diplomové práce tvoří 34 dětských mandibul známého věku a srovnávací soubor 14 dospělých mandibul. Data byla získána snímáním souřadnic 36 landmarků pomocí přístroje Microscribe G2X a dále zpracována v programech PAST a Morphologika² za využití metod multivariační statistiky (PCA, MANOVA). Pro detailní analýzu tvarových změn mandibuly bylo využito metod geometrické morfometrie.

Stanovený dentální věk se od věku chronologického neliší. Shrňme-li získané výsledky, dolní čelist se během růstu jedince zužuje, tělo se prodlužuje výrazněji v oblasti třetích molárů a větev roste hlavně v oblasti kondylárních výběžků. Během ontogeneze také dochází k zvýraznění prominence brady. V souboru dospělých jedinců je variabilita dána zejména výškou koronoidního výběžku a šířkou těla mandibuly. Hypotéza, že dané věkové skupiny se od sebe signifikantně liší, a tudíž dochází k výrazným tvarovým změnám v důsledku mineralizace chrupu, se potvrdila.

Klíčová slova: dolní čelist, mandibula, ontogeneze, geometrická morfometrie, PCA, TPS, dentální věk

Abstract

During ontogeny there are a lot of changes in the entire human skeleton. This thesis deals with shape changes in the mandible, which are caused by genetic, hormonal, as well as mechanical factors. The most important mechanical factors influencing the shape of mandible are development of deciduous and permanent dentition and also development of masticatory muscles. 34 children mandibles of known age and 14 adult mandibles were analysed and compared for this thesis. Data were obtained by scanning coordinates of 36 landmarks using Microscribe G2X, and then were processed by software PAST and Morphologika² using multivariate statistics (PCA, MANOVA). Geometric morphometrics is used for a detailed analysis of shape changes of the mandible.

There is no difference between dental and chronological age. In conclusion, lower jaw narrows during growth, the body extends more in the region of third molars and the ramus grows mainly in the region of condylar process. Chin prominence also occurs during ontogeny. In the group of adult mandibles the variability is caused by coronoid process height and the body width. The hypothesis, that age groups are significantly different from each other, and therefore due to tooth mineralization there are marked shape changes, is confirmed.

Keywords: lower jaw, mandible, ontogeny, geometric morphometrics, PCA, TPS, dental age

1 Úvod a cíle práce

Mandibula je z antropologického i medicínského hlediska významná z několika důvodů. Je to jediná samostatná kost lebky, pohyblivá součást žvýkacího systému, která se svým vývojem přizpůsobuje mineralizaci zubů. I když je to volně pohyblivá kost, tvoří nedílnou součást skeletu obličeje a její růst je ovlivňován růstem posteriorní části mozkovny. Je upevněna pomocí svalů a ligament a s lebkou spojena pomocí čelistního kloubu [Brodie, 1942; Mitani and Sato, 1992; Schumacher, 1992]. Hlavici tohoto kloubu tvoří *caput mandibulae*, jamka je ohraničena *tuberculum articulare*. Funkcí čelistního kloubu je mj. otvírání (deprese mandibuly) a zavírání úst (elevace mandibuly). Mezi další pohyby patří protrakce mandibuly, což je posun dopředu, a retrakce, posun dozadu; kombinací těchto základních pohybů se může mandibula také posouvat do stran [Čihák, 2001]. Přesný popis normálního mandibulárního růstu je nezbytný pro rozpoznání abnormálních růstových znaků a k hodnocení změn v růstu [Buschang et al., 1989].

Charakterizace morfologie mandibuly je v ortodoncii a maxilofaciální chirurgii základem pro chápání růstu mandibuly a obličejových dysmorfii a pro následné léčení. Je důležité, aby byla mandibula ve správném vztahu s maxilou, tzn., aby byl normální skus. Pokud mají malokluze (nesprávný skus) skeletální základ, je možné u rostoucích pacientů působit na tyto kosti tak, že dojde k ovlivnění (zpomalení nebo urychlení) jejich růstu, případně ke změně jeho směru. Většina malokluzí neovlivňuje celkový zdravotní stav pacienta, zato tyto anomálie mohou být nepříjemné z estetického hlediska [Schmittbuhl et al., 2002; Weberová and Ramanathan, 2008]. Precizní popis jednotlivce je důležitý pro identifikaci kosterních pozůstatků ve forenzních odvětvích, v retrospektivní antropologii pak pro pochopení variability různých populací a pro porozumění lidským evolučním procesům [Schmittbuhl et al., 2002].

V posledních cca 15 letech se také uvažuje ohyb větve mandibuly jako sexuálně dimorfní znak. Vývoj jednotlivých pohlaví se liší v načasování i v době růstu a vývoje, což má důsledek v růstových studiích a interpretaci pohlavního dimorfismu. Údaje o pohlaví jsou podstatné mj. pro tvorbu demografických profilů, které pomáhají pochopit zdravotní stav minulých populací. V kriminalistice jen určení pohlaví kosterních pozůstatků důležitý krok pro jejich identifikaci [Scheuer, 2002].

Ve fylogenezi člověka je mandibula zajímavá např. v souvislosti se vznikem brady. Tento útvar, typický pouze pro moderního člověka, se pravděpodobně vytvořil v souvislosti s rozvojem řeči [Ichim et al., 2006]. Dalším důvodem pro vznik brady mohla být redukce chrupu. Tělo se zkrátilo a vystoupilo dopředu v podobě brady [Šmahel, 2005]. Podle Sperbera (2001) je brada vyjádřením sil užitých svalem *musculus pterygoideus lateralis*, který při tažení mandibuly dopředu zatěžuje oblast symfýzy. Toto působení se projevuje jako prominující brada [Sperber, 2001]. Naopak během zátěže molárů se napětí u mandibuly s bradou a u modelu bez brady téměř nemění. Při snižování napětí kosti během žvýkání tedy nehraje brada roli [Ichim et al., 2006].

Na základě svého vývoje se dolní čelist dělí na pět částí: tělo, alveolární výběžek, koronoidní výběžek, goniový úhel a kondylární výběžek [Moss, 1960; Sperber, 1989]. Na těle mandibuly můžeme rozlišit *basis mandibulae* a *pars alveolaris* [Schumacher, 1992]. Obwegeser (2001) definuje horizontální větev, jež zahrnuje tělo a alveolární výběžek. Tělo (baze) mandibuly, je část horizontální větve sahající od dolního okraje mandibuly po horní okraj mandibulárního kanálu. Vzestupná větev je dorzokraniální pokračování horizontální větve, které začíná na úhlu mandibuly, na nejvíce inferiorním bodě, a končí na nejvíce superiorním bodě kondylárního výběžku. Tuto vzdálenost nazývá výškou (nebo délkou) větve. Dalšími částmi jsou kondylární a koronoidní výběžek [Obwegeser, 2001].

Mandibula tvoří kostěný základ spodního oddílu obličeje [Dylevský 1990; Hill, 2000, Puisoru et al., 2006]. Je důležitá pro zpracování potravy [Páč and Dokládál, 1997] jelikož nese zuby [Scheuer and Black, 2004] a samozřejmě pro dýchání a mluvení [Páč and Dokládál, 1997]. Nestabilita v kontrole dolní čelisti se projevuje jako variabilita v pohybech dolního rtu a jazyka [Finan and Smith, 2005].

Morfologii dolní čelisti ovlivňuje její funkce a celkové uspořádání neurocrania a orofaciálního skeletu. Je dána jednak geneticky, vlivem pohlavních hormonů, jednak rozvojem žvýkacích svalů. S těmito svaly, zejména *m. masseter* a *m. pterygoideus medialis*, souvisí i prohnutí *ramus mandibulae*, jelikož se právě v této oblasti na dolní čelist upínají [Loth and Henneberg, 1996; Loth and Henneberg, 2001; Kemkes-Grottenhaler et al., 2002]. Tloušťka mandibuly závisí na několika faktorech, např. tloušťka bukální kortikální kosti je asociována s goniovým úhlem; silnější kortikální kost je spojena s menším goniovým úhlem. Tloušťku kortikální kosti v oblasti molárů zase ovlivňuje funkce žvýkacích svalů [Masumoto et al., 2001]. Vývoj dolní čelisti je dále ovlivněn

vývojem okolních orgánů, gravitací, vzpřímeným postojem člověka a také funkcí endokrinních žláz a dalšími faktory. Z tohoto důvodu je mandibula charakteristická rozdíly ve velikosti a výšce nejen u různých jedinců, ale i u jednoho jedince během jeho života [Keros-Naglić et al., 1997].

V diplomové práci jsem se zaměřila na sledování tvarových změn mandibuly na základě studia morfologie unikátního souboru 34 dětských identifikovaných mandibul. Mandibula byla hodnocena jako celek, zároveň zvláště její tělo i větve pro případné odhalení jemnějších tvarových změn. V návaznosti na úvod i následující teoretické kapitoly práce, byly formulovány následující dílčí cíle a hypotéza.

Cíle práce:

- Stanovit dentální věk dětských mandibul a porovnat jej s chronologickým věkem.
- Definovat tvarové změny mandibuly, ke kterým dochází během vývoje jedince.
- Porovnat tvar mandibuly mezi skupinami jedinců rozdělenými podle chronologického věku.
- Porovnat výsledky při použití chronologického a dentálního věku.

Hypotéza

- Tvarové vývojové změny mandibuly souvisí s mineralizací chrupu dolní čelisti. Mezi jednotlivými skupinami definovanými na základě mineralizace chrupu je signifikantní rozdíl.

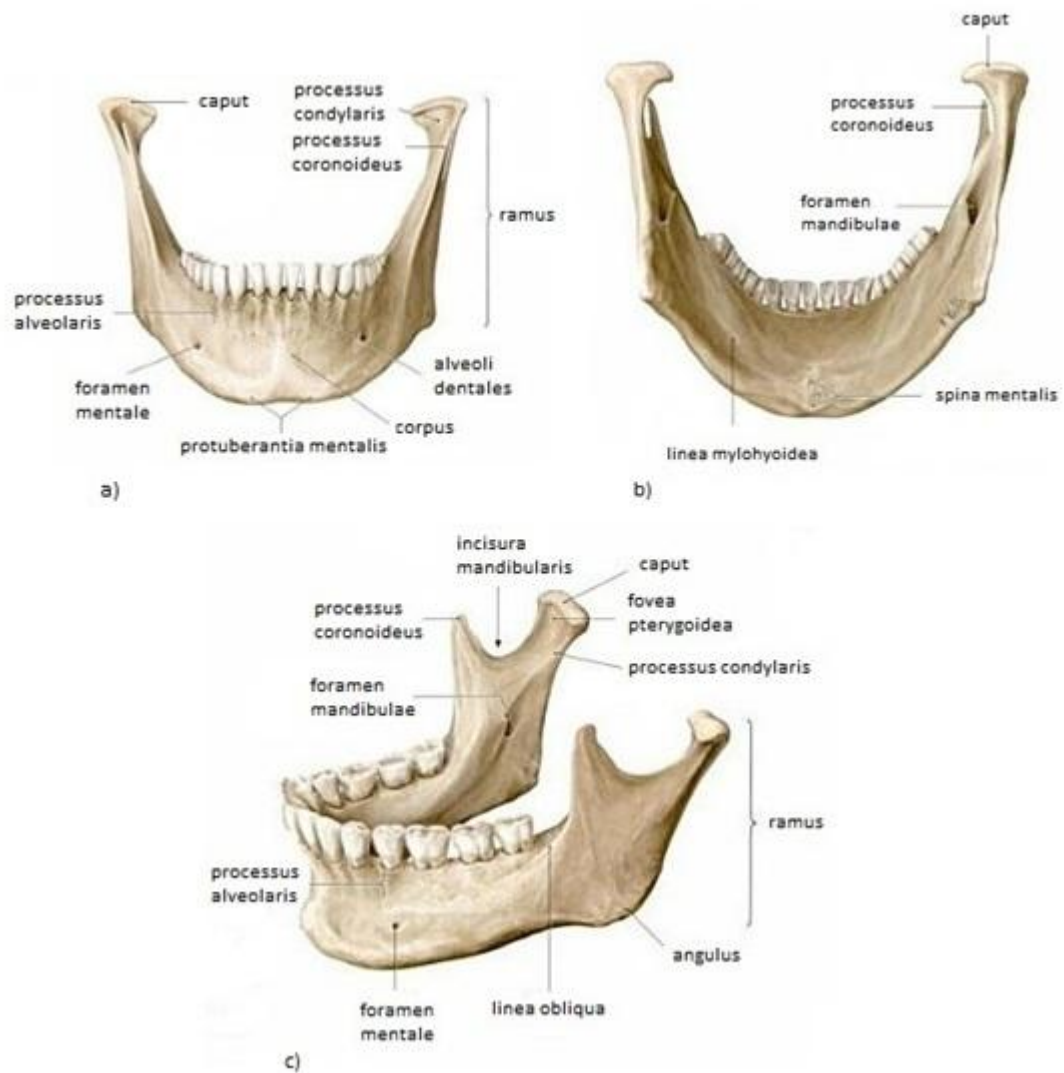
2 Teoretická část

2.1 Morfologie mandibuly

Mandibula je tvořena nepárovým tělem (*corpus mandibulae*), od kterého v pravém a levém úhlu (*angulus mandibulae*) odstupují větve mandibuly (*ramus mandibulae*). *Ramus mandibulae* nese kloubní hlavici pro spojení dolní čelisti a baze lebeční.

Na *corpus mandibulae* jsou mj. patrné také tyto útvary: *protuberantia mentalis* – trojhranné ztlustění vpředu ve střední čáře, *foramen mentale*, kde končí mandibulární kanál. Na *spina mentalis*, která se nachází na vnitřní straně uprostřed brady, se připojují *m. genioglossus* a *m. geniohyoideus*; na *fossa digastrica* *m. digastricus* a na *linea mylohyoidea* *m. mylohyoideus*. *Processus alveolaris* se vytvořil jako nástavec pro zuby a obsahuje tedy zubní lůžka (*alveoli dentales*).

Ramus mandibulae vybíhá kraniálně ve dva výběžky. *Processus condylaris*, resp. *caput mandibulae* slouží ke skloubení dolní čelisti. Hlavici s větví mandibuly spojuje krček (*collum mandibulae*). Na *fovea pterygoidea* se upíná *m. pterygoideus lateralis*. Na druhý výběžek větve se upíná *m. temporalis*. Mezi těmito výběžky se nachází výřez *incisura mandibulae*. Místem úponu *m. pterygoideus medialis* je *tuberositas pterygoidea*; místem úponu *m. masseter* je *tuberositas masseterica*. Uprostřed vnitřní plochy se nachází *foramen mandibulae*, vede do *canalis mandibulae*. Ten prochází větví a tělem mandibuly od *foramen mandibulae* do *foramen mentale* [zpracováno podle Čihák, 2001].



Obr. 1. Morfologie mandibuly. a) anteriorní pohled, b) posteriorní pohled, c) laterální pohled (upraveno podle: Gilroy et al., 2008).

2.2 Ontogenetický vývoj mandibuly

Během života jedince dochází k morfologickým a prostorovým změnám mandibuly. Změny se týkají úhlu mandibuly, vztahu mezi tělem a větví mandibuly a také struktury kosti v místě upnutí *m. masseter* a *m. pterygoideus* [Vinter et al., 1996]. Během růstu od fetu do dospělosti se oblast molárů mladší mandibuly relokuje do oblasti premolárů starší mandibuly [Enlow, 1982].

2.2.1 Embryonální a fetální vývoj mandibuly

Mandibula vznikla ve fylogenezi z 1. žaberního oblouku (oblouk mandibulární). Ten se skládá ze dvou částí: *palatoquadratum* a *mandibulare*. Přední část *palatoquadratum* byla nahrazena u vyšších obratlovců *os palatinum*, *maxilla* a *praemaxilla*; ze zadní části vzniklo u plazů a ptáků *os quadratum*. U nižších obratlovců je *mandibulare* kloubně spojeno s *os quadratum* a tvoří tak primární čelistní kloub. Tato skloubená část se nazývá *articulare* a ze zbyvajících *mandibulare* vznikla mandibula. Dále se *articulare* oddělilo od *mandibulare* a mandibula se stala součástí sekundárního čelistního kloubu mezi mandibulou a *squama temporalis* [Čihák, 2001].

Skelet mandibuly se tedy vyvíjí z prvního žaberního oblouku. Základ tvoří Meckelova chrupavka a desmogenní osifikací dvou symetrických center blízko *foramen mentale* na jejím místě vzniká dolní čelist. Během osifikace ventrální část Meckelovy chrupavky zaniká a z dorzálního konce vznikají kůstky kladívko a kovadlinka [Schumacher, 1992; Puisoru et al., 2006].

V období narození jedince je mandibula tvořena dvěma částmi anteriorně spojenými fibrózní tkání a obsahuje pouze lůžka dvou řezáků, špičáku a dvou dočasných stoliček, navzájem nedokonale oddělená. Mandibulární kanál je relativně velký a vede blízko dolního okraje kosti. *Foramen mentale* se otevírá pod lůžkem prvních dočasných stoliček. Úhel mandibuly (který je dán inferiorní hranicí těla, probíhající bodem gnathion, a posteriorní hranicí větve [Ohm and Silness, 1999; Vodanović et al., 2006]) je tupý, cca 150 - 175°, a kondylární část je téměř v jedné linii s tělem. *Processus coronoideus* je poměrně velký a vyčnívá nad úroveň kondylů. *Incisura mandibulae* je mělká a *processus alveolaris* ještě není vytvořen [Mrázková and Doskočil, 1994; Gray, 1918; Čihák 2001].

2.2.2 Postnatální vývoj mandibuly

Po narození se během prvního roku spojí dva segmenty kosti v oblasti symfýzy směrem zdola nahoru a syndesmóza se tak mění v synostózu. Stopa původního oddělení může být blízko okraje alveolu patrná ještě na začátku druhého roku postnatálního života [Gray, 1918; Schumacher, 1992; Mrázková and Doskočil, 1994]. Z *ossicula mentalia* se po osifikaci symfýzy vytváří během 1. a 2. roku života *protuberantia mentalis* [Čihák, 2001]. Brada je vytvořená málo, objevuje se vlivem pohlavních a genetických faktorů později.

Prominence *protuberantia mentalis* je akcentována resorpcí kosti v alveolární oblasti nad ní. Tato supramentální konkavita je známá jako bod B [Sperber, 2001].

Dětská mandibula se zdá být špičatá, protože je široká, krátká a má tvar písmene V. S vývojem brady, erupcí stálých zubů, laterálním zvětšováním větve, expanzí žvýkacích svalů a rozšiřováním goniového regionu celá dolní čelist získává postupně tvar písmene U. Tělo mandibuly je nízké, rozšiřující se posteriorně do širší a vertikálně delší větve. Tento vzhled je dán chybějící denticí [Enlow, 1982; Urbanová, 2009]. Celkově působí „nevyvinutým“ dojmem oproti horní čelisti a obličejí [Enlow, 1982].

Mandibula se v brzkém růstu normálně opoždí a později dojde ke catch-up růstu vzhledem k maxile, pokud není „naprogramována“ malokluze. Kvůli tomu je někdy obtížné predikovat během časného dětství možné malokluze, které se mohou nebo nemusí plně vyvinout během pozdějšího vývoje. [Enlow, 1982].

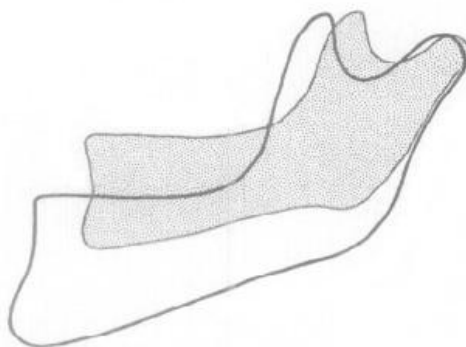
Růst čelistních kostí neprobíhá kontinuálně, ale na křivce jejich růstu lze upozorovat tři vrcholy. Jeden v období prvních šesti měsíců života, kdy je přírůstek velikosti největší, druhý mezi 5. a 7. rokem (v souvislosti s erupcí dočasných a stálých zubů). Třetí vrchol spadá do období mezi 10. a 14. rokem [Ramba, 1990; Liu et al., 2010].

Tělo mandibuly se v období raného dětství začíná prodlužovat v celé délce, ale nejvíce za *foramen mentale*, aby se vytvořil prostor pro třetí stálé stoličky, které se v této oblasti vyvíjí. Výška těla roste v důsledku růstu alveolární části, poskytuje tak místo pro kořeny zubů [Gray, 1918]. Vývoj alveolární kosti je závislý na existenci zubů, růst alveolárního výběžku následuje erupci zubů. Mechanická zátěž vyvíjená na zuby remodeluje kost a ta tím lépe splňuje funkční požadavky [Dixon et al., 1997]. Tvar alveolu je značně ovlivněn měkkou tkání, svaly, rty, jazykem, apod. [Obwegeser, 2001]. Pokud dochází k vrozené agenezi zubů, nevyvine se ani alveolární výběžek [Battersby, 1936; Schultz, 1938; Jämsä and Alvesalo, 1980]. Zvětšení tloušťky subdentální části umožňuje čelisti odolávat silnému působení žvýkacích svalů. Po druhé dentici se mandibulární kanál vyskytuje nad úrovní mylohyoidní linie a foramen mentale se již nachází ve stejné pozici jako v dospělosti. Úhel mandibuly se zmenšuje, jeho hodnota je okolo čtvrtého roku asi 140° [Gray, 1918]. Existuje pravidlo, podle kterého platí, že čím větší je žvýkací aparát, tím je úhel mandibuly menší. [Ramba, 1990].

Měřením mandibuly se intenzivně zabývali Tracy a Savara (1966) a Savara a Tracy (1967) u dětí od 3 do 16 let. Za použití bodů gonion, pogonion a condylion měřili

bigoniální šířku (go-go), bikondylární šířku (cond-cond), výšku větve (go-cond), délku těla (pog-go) a maximální délku mandibuly (pog-cond). Při porovnání rozměrů měřených Tracym a Savarou (1966) u dívek, roste mandibula nejvíce „do hloubky“, tj. maximální délka mandibuly a délka těla, následují šířkové rozměry (bikondylární a bigoniální šířka) a nejméně roste do výšky (výška větve). Rychlost růstu klesá během dětství, v pubertě roste a dosahuje maxima a následně opět klesá. Jediná proporce, jejíž přírůstky signifikantně vzrostly i během dětství, je bikondylární šířka [Tracy and Savara, 1966].

Mandibula vykazuje velký vývoj hlavně před 9. rokem života. [Mitani and Sato, 1992]. Většina z kraniofaciálních šířkových rozměrů byla u chlapců větší než u dívek. V 15 letech byly rozdíly mezi pohlavími výraznější než v 7 letech [Lux et al., 2004a].

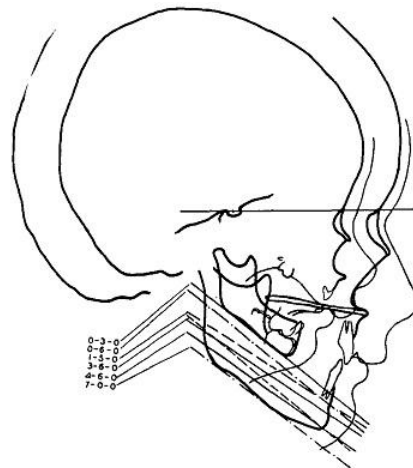


Obr. 2. Superponované mandibuly ve věku od šesti do patnácti let (upraveno podle: Enlow, 1966).

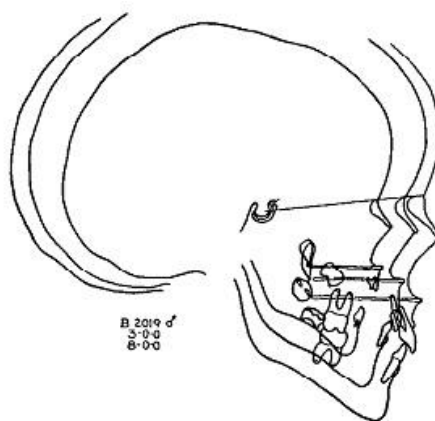
Nástup pubertální akcelerace u dívek je v 9 letech v případě maximální délky mandibuly, bigoniální šířky a bikondylární šířky, a v 9,5 letech u délky těla a výšky větve. Největší přírůstek v tomto období vykazuje u dívek i chlapců maximální délka mandibuly, nejmenší bigoniální šířka. U chlapců nevykazuje pubertální akceleraci pouze bigoniální šířka [Tracy and Savara, 1966; Savara and Tracy, 1967]. Podle Šmahela (2001) se v růstu mandibuly pubertální spurt neobjevuje vůbec [Šmahel, 2001]. Remodelace mandibuly a rotace kondylů pokračuje ještě relativně dlouhou dobu, i když vrchol mandibulárního růstu byl dosažen. [Iseri and Solow, 2000]. Podle dalších autorů se signifikantní změna tvaru mandibuly během pubertálního spurtu objevuje pouze v oblasti kondylů [Ferrario et al., 1996]. Je to hlavní dějiště růstu mandibuly, probíhá zde enchondrální růst směrem nahoru [Mitani and Sato, 1992; Dixon et al., 1997]. Kondyly následují obecný somatický vzorec růstu s decelerací růstu v dětství, akcelerací v adolescenci k maximální rychlosti a následně

rapidní decelerací. [Buschang et al., 1999]. Z toho důvodu doporučují autoři zahrnutí kondylárního výběžku mezi struktury mandibuly, zkoumané pomocí prostředků morfometrické analýzy [Ferrario et al., 1996]. Směr kondylárního růstu není lineární, v mnoha případech se objevuje zřetelné zakřivení. Individuální variace ve směru kondylárního růstu jsou velké a symetricky rozložené. Pokud je směr růstu vertikální, poté roste zakřivení mandibulární baze, zatímco v případě sagitálního směru je mandibulární baze plošší. Goniový úhel se zmenšuje s vertikálním růstem kondylu a zvětšuje se sagitálním směrem růstu. Kompenzační resorpce pod oblastí úhlu je výrazná v případě vertikálního růstu kondylu, zatímco u sagitálního růstu je mírná anebo se naopak objevuje apozice. Apozice pod symfýzou se zdá být také v případě vertikálního růstu větší [Björk, 1963].

Franklin et al. při zkoumání pohlavního dimorfismu u nedospělých mandibul zjistil, že u jedinců mladších je větev relativně kratší s rovným okrajem a tupým goniovým úhlem. U starších jedinců je větev relativně delší s nerovným anteriorním okrajem a úhel je menší. Během růstu symfýza také roste ve své relativní velikosti a vyčnívá více anteriorně [Franklin, 2007]. Po 15. roce života u dívek už horní obličej neroste vůbec, dolní jen málo a u chlapců horní obličej roste mírně, ale růst mandibuly přetrvává téměř stejný jako v pubertě [Šmahel, 2001].



Obr. 3. Nákres superponovaných mandibul v rozmezí věků od tří měsíců po sedm let (převzato z: Brodie, 1940).



Obr. 4. Nákres tří superponovaných mandibul jednoho jedince od věku tří měsíců po osm let (převzato z: Brodie, 1942).

Předpokládá se, že během postnatálního růstu může vzrůstající zátěž ze žvýkání ovlivňovat remodelaci endosteální kosti těla mandibuly [Iseri and Solow, 2000]. Pozorování vedlo k závěru, že ke zvětšení šířky těla dochází v souvislosti s rozvojem skeletomuskulárního systému. Možným mechanismem pro takové změny se zdá být přestavba spongiózy a kompakty v oblasti symfýzy. [Frost, 1990a,b].

Mandibula v dospělosti

V dospělosti jsou alveolární a subdentální části obvykle stejně velké. *Foramen mentale* se otevírá uprostřed mezi horním a dolním okrajem kosti a mandibulární kanál probíhá téměř paralelně s mylohyoidní linií. Úhel mandibuly je v tomto období v rozmezí 110° až 120° [Gray, 1918; Puisoru et al., 2006]. Goniový úhel je větší u jedinců bez molárů nebo s jejich nerovnoměrnou distribucí [Oettlé et al., 2009].

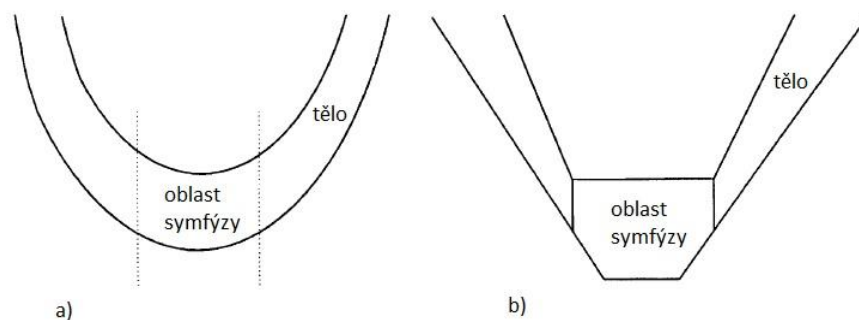
Senescenční změny mandibuly

Ve stáří se mandibula zmenšuje následkem ztráty zubů – alveolární výběžek je resorbován a dochází k ústupu dásně. Mandibulární kanál, ústící ve *foramen mentale*, je blízko alveolární hranice, *spina mentalis* zbytnuje. Úhel měří okolo 140° a krček kondylu je zúžený a ohnutý dozadu – prohlubuje se *fovea pterygoidea* [Gray, 1918; Kurol, 1984; Schumacher, 1992; Mrázková and Doskočil, 1994]. Vliv žvýkacích svalů na úhel mandibuly je spojený s množstvím zubů. Obecně se úhel stává tupějším se ztrátou zubů a podle některých studií má nerovnoměrná ztráta ještě výraznější efekt než rovnoměrná. Žvýkací svaly po ztrátě zubů tvarují mandibulu způsobem, který upraví paralelnost okluzních povrchů a dojde ke zvětšení úhlu mandibuly [Oettlé et al., 2009]. Během cca 10

let se alveolární kost kompletně ztratí [Lucas, 2004]. Následkem těchto změn se mandibula vysouvá více dopředu a vzniká tak vyčnívající brada [Schumacher, 1992].

2.2.3 Pohlavní dimorfismus

Oblast brady je na dospělé ženské mandibule spíše zaoblená, zatímco u mužů je více hranatá. Tento znak ale často chybí [Čihák, 2001]. U dětí od 6 let je již možné rozpoznat příslušný tvar mandibuly, resp. brady a od 13 let je tvar brady již shodný s dospělým. Ženská mandibula má tedy zaoblený obrys s postupným přechodem ze symfyzární oblasti do těla. Tvar dolní čelisti muže naopak v této oblasti přechází ostře [Loth and Henneberg, 2001].

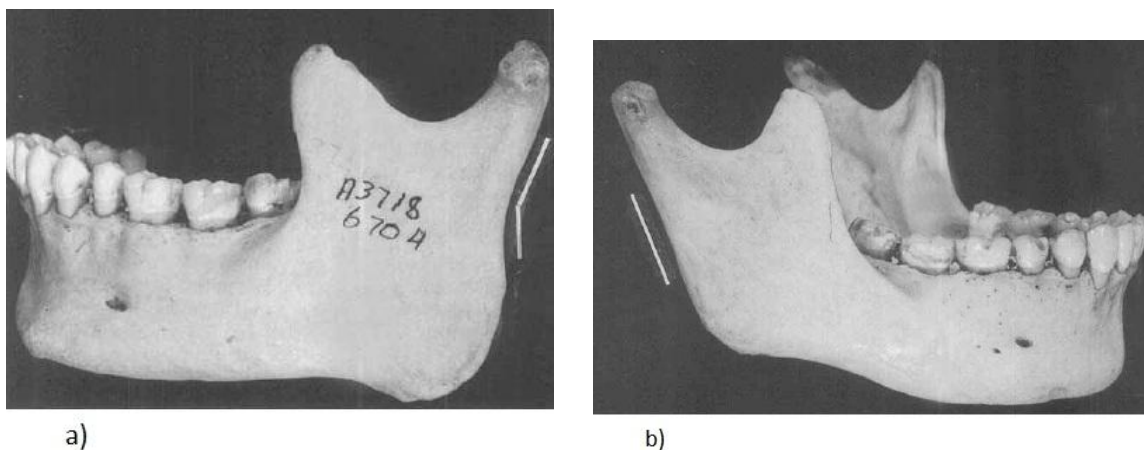


Obr. 5. Tvar nedospělé mandibuly a) ženské, b) mužské (upraveno podle: Loth and Henneberg, 2001).

Processus alveolares jsou u žen posunuty dále periferněji a mírně periferně nakloněny (tzv. alveolární prognathie), ale tento znak je spíše nespolehlivý [Čihák, 2001].

Větev mandibuly je u mužů širší a delší, a má lépe vyvinutý *processus coronoideus*. Celkově je mužská mandibula robustnější s vyvinutější goniovou oblastí [Brothwell, 1981].

Dospělí muži a ženy mají odlišný úhel posteriorní hranice větve mandibuly na úrovni okluzní plochy molárů. Zatímco u mužů existuje znatelný ohyb, u žen bývá zadní hranice větve rovná, případně se prohnutí objevuje blíže ke krčku mandibuly [Loth and Henneberg, 1996].



Obr. 6. Ohyb ramus mandibulae a) u muže b) u ženy (převzato z Loth and Henneberg, 1996).

Odhadnout správně pohlaví se touto metodou podařilo autorům s 99% úspěšností, resp. u 99% mandibul bylo pohlaví určeno správně. V případě „patologických“ mandibul (s patologiemi kosti nebo s velkou ztrátou zubů) bylo správně určeno 91%. To je dáno mj. menší přesností při určení okluzní roviny u mandibul bez zubů [Loth and Henneberg, 1996].

Vznik ohybu je pravděpodobně výsledkem změny velikosti, síly nebo tvaru žvýkacích svalů, zejména *m. masseter* a *m. pterygoideus medialis*, které se upínají těsně pod úroveň ohybu mandibuly [Loth and Henneberg, 1996]. Odlišnost pohlaví v tomto znaku potvrzují i Indrayana et al. (1998). Podle nich kromě upnutí svalů způsobuje výraznější prohnutí větve také estrogen, který stabilizuje tvar dívčí mandibuly okolo 14. roku, zatímco u chlapců pokračuje růst ještě asi 2 roky [Indrayana et al., 1998].

S touto teorií ale někteří odborníci nesouhlasí. Podle Koskiho (1996) je vztah mezi větví a kondylárním výběžkem závislý na funkčním prostředí dolní čelisti. Sám směr růstu kondylu je přibližně kolmý k laterální bazi lebni, ale větev musí být adaptivní část mezi artikulujícím kondylem a tělem, které nese zuby. To vede ke vzniku prohnutí větve různého rozsahu a lokace mezi dolním okrajem větve a kondylem. Ohyb se tedy objevuje jak u ženského, tak u mužského pohlaví; u dětí i u dospělých [Koski, 1996].

I Donnelly et al. (1998) se přiklání spíše k názoru, že ohyb větve mandibuly není znak příliš pohlavně determinovaný. Při slepém testu bylo pohlaví metodou Loth and Henneberg (1996) správně určeno pouze u 62,5%, resp. 67,7% (dva hodnotící lidé) jedinců [Donnelly et al., 1998].

Většina prací zkoumajících toto téma se shoduje na tom, že mužskou mandibulu lze rozpoznat s větší určitostí než ženskou. Např. Haun (2000) dokázala určit správně pohlaví u 92,9% mužských mandibul, zatímco pouze u 63,0% ženských, Hill (2000) u 91,3% mužských a 56,4% ženských [Haun, 2000; Hill, 2000; Scheuer, 2002].

Hill (2000) uvádí tři hlavní důvody, proč je metoda Loth a Henneberg (1996) nespolehlivá pro určení pohlaví podle ohybu větve mandibuly. 1) Je výrazně přesnější u mužských mandibul než u ženských; 2) při použití skórovacího systému -2 a -1 pro ženu a +1 a +2 pro muže jsou dolní čelisti se skóre 0 nejednoznačné a 3) interobserver chyba je velká [Hill, 2000].

2.3 Teorie růstu mandibuly

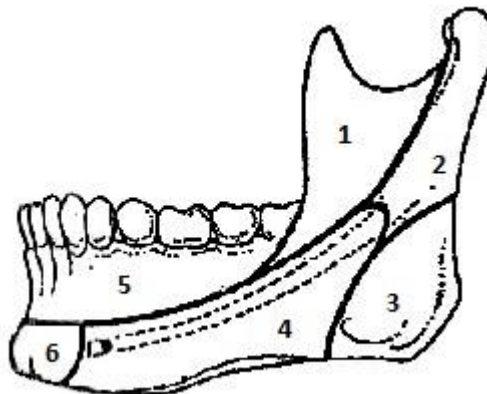
Mandibula nemůže být považována za jednotný růstový objekt. Jedná se o růst čtyř entit: kondylu a větve, těla, posteriorního alveolárního výběžku a anteriorního alveolárního výběžku [Schudy, 1965]. Postnatální růst mandibuly probíhá v chrupavce kondylů, na posteriorních okrajích větve a alveolech [Sperber, 1991]. Jazyk, perorální svaly a expanze orální a faryngeální dutiny tento růst stimulují [Sperber, 2001]. Pomocí implantátů bylo také potvrzeno, že růst mandibuly do délky se objevuje hlavně v oblasti kondylů. Anteriorní aspekt brady je stabilní, růst se zde neobjevuje (kromě výjimek v případě patologií) [Björk, 1969].

Největší změnu během růstu vykazuje celková délka mandibuly, následuje výška větve a délka těla [Liu et al., 2010]. Lux et al. (2004) naopak tvrdí, že u mandibuly se největší procentuální přírůstek objevuje u vertikálního růstu větve, následovaného sagitálním růstem (délkou těla) a bigoniální šířkou [Lux et al., 2004].

2.3.1 Teorie funkční matrix

Mandibula není jednotný biologický objekt, ale komplex několika relativně nezávislých funkčních komponent. Konečný tvar čelisti závisí na funkční matrix, což jsou měkké tkáně jako svaly, nervové a cévní kmeny, tuková tkáň, kůže, apod. a tzv. funkční prostory, jako např. dutiny [Moss, 1960]. V mandibule tvoří funkční matrix pro alveolární skeletální jednotku zuby. *Musculus temporalis* je matrix související s koronoidním výběžkem. Pokud odstraníme tento sval, jeho část nebo nerv, zjistíme, že dojde buď

k redukci velikosti koronoidního výběžku anebo tento zmizí úplně (Avis, 1961). Úhel a větve mandibuly má jako svou funkční matrix *musculus masseter* a *musculus pterygoideus medialis*, u kondylárního výběžku je to *musculus pterygoideus lateralis* [Sperber, 2001].



Obr. 7. Skeletální jednotky dolní čelisti podle Mosse (upraveno podle: Šmahel, 2001).

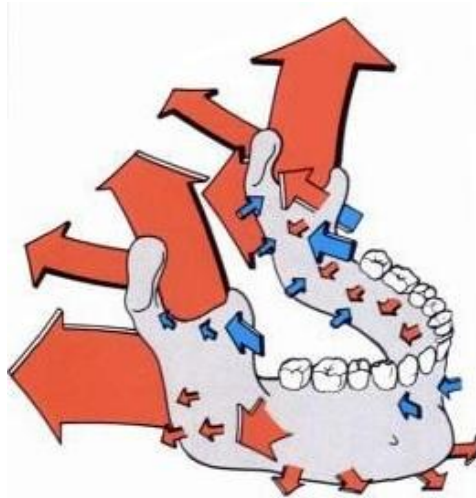
Pro mandibulu je typický obecně skeletální typ růstu, nejprve roste funkční matrix, následovaná růstem souvisejících skeletálních jednotek. Obecně platí, že šířkové rozměry obličeje rostou postnatálně nejméně a růst ukončují nejdříve, u výškových rozměrů je tomu naopak [Šmahel, 2001; Moss and Rankow, 1968]. Z kostí obličeje roste mandibula nejdéle, to platí zejména u chlapců [Šmahel, 2001].

Jaká je síla, která způsobuje posun mandibuly dopředu a dolů? Mandibula je nesená v souvislosti s růstovou expanzí s ní spojené měkké tkáně. Je to pasivní typ nesení, ve kterém se mandibulární růst přímo neuplatňuje. Zvětšování mandibuly je spíše důsledek než příčina pohybu. Když je tedy mandibula posunuta pryč z kontaktu s kraniiální bází, kondyly sekundárně rostou proti ní. Kondylární růst způsobuje tlak, který působí na artikulární povrch [Enlow, 1982].

2.3.2 Remodelace mandibuly

Postnatální vývoj mandibuly zahrnuje pohyb dolů a dopředu jako výsledek komplexu procesů kostní resorpce a apozice na obou stranách těla a na okrajích větve. Proces růstové remodelace má tyto funkce: progresivně zvětšovat celou kost, relokovat každou část kosti a tím umožnit její zvětšování, tvarovat kost a tím umožnit plnění její

funkce v souladu s fyziologickou akcí vykonávanou na tuto kost, a umožnit funkčnost každé kosti zvlášť a také všech kostí dohromady [Enlow, 1982].



Obr. 8. Růst mandibuly, červenou šipkou je označena apozice, modrou resorpce (převzato z: Rakosi et al., 1993).

Remodelace mandibuly je silně ovlivněná erupcí zubů, vývojem baze lební a směrem žvýkacích sil [Puisoru et al., 2006]. Apozicí tedy přirůstá zadní část větve a zadní část koronoidního výběžku, resorbuje se přední hrana větve, a tedy i přední hrana *processus condylaris*. Větev se tím pádem posouvá dozadu a tělo se prodlužuje. Díky tomu se vytváří prostor pro erupci stálých molárů a také se díky tomuto posteriornímu posunu kost větve mění na posteriorní část těla. Na těle mandibuly se během prořezávání zubů vytváří alveolární výběžek [Enlow, 1982; Mrázková and Doskočil, 1994; Doskočil 1995; Krarup et al., 2005].

Posun dopředu rostoucího těla mandibuly mění směr *foramen mentale* během raného dětství dozadu [Sperber, 2001]. *Processus coronoideus* roste apozicí vertikálně na vrcholu a posunuje se směrem dozadu resorpcí na přední hraně a apozicí na zadní. *Foramen mandibulae* se tak také posouvá posteriorně. Přední plocha mandibuly je resorpční a prohlubuje se během ontogeneze a zkracuje dentoalveolární oblouk v přední části. Apozice probíhá ze strany jazyka, stejně tak v oblasti bradového výběžku a zadní strany symfýzy [Sperber, 2001; Šmahel, 2001]. Symfýza rotuje během růstu z horizontálního do více vertikálního naklonění. Největší apozice probíhá na jejím inferiorním okraji v předškolním věku [Ricketts, 1972]. Ztlušťování symfýzy probíhá normálně apozicí na posteriorní straně. Na jejím dolním okraji je také apozice, která

přispívá ke zvětšení výšky symfýzy. Periostální apozice se pod symfýzou posteriorně zvětšuje k anteriorní části dolního okraje mandibuly a tato oblast je charakteristicky zaoblená. Pod úhlem mandibuly je obvykle pozorována resorpce, která může být velmi výrazná. V některých případech se místo ní objevuje apozice na dolním okraji úhlu mandibuly.

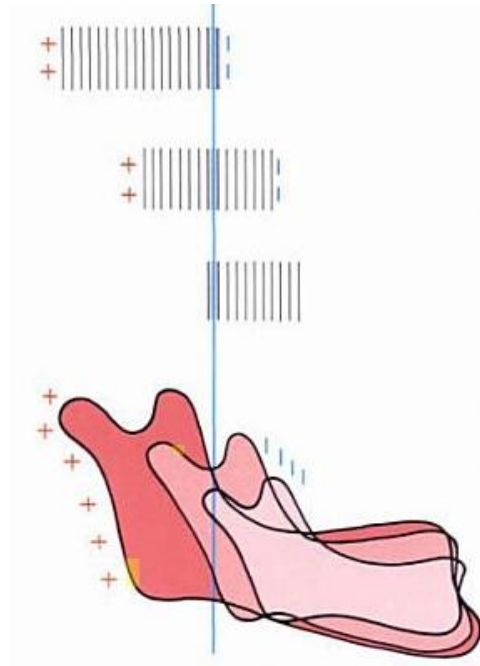


Obr. 9. Apoziční (růžovou) a resorpční (modře) oblasti mandibuly (převzato z: Rakosi, 1993).

Tyto apoziční a resorpční procesy rezultují jako individuální tvar dolního okraje mandibuly, který charakterizuje typ růstu [Björk, 1969]. Apozice probíhá také v oblasti na okraji alveolárního výběžku – tím roste dolní čelist do výšky [Šmahel, 2001]. V oblasti *collum mandibulae* roste kondylární výběžek nahoru, čímž se větev zvyšuje [Mrázková and Doskočil, 1994]. Oblast kondylů se superiorně remodeluje jen o trochu více než posteriorně. Goniová oblast vykazuje dvakrát větší posteriorní než superiorní remodelaci [Liu et al., 2010].

Růst v kondylech obvykle nekopíruje směr růstu větve, ale roste v cephaloposteriorním směru. Individuální rozdíly jsou ve směru růstu kondylů velké a v adolescentním období se liší až o 45°. Růst není ve svém směru vždy lineární, ale obvykle zatáčí trochu dopředu a někdy i dozadu. Vzorec růstu mandibuly je tedy obecně charakterizován točivým růstem kondylů nahoru a dopředu, a ve stejné chvíli se na dolní části goniového úhlu objevuje resorpce a pod symfýzou apozice. Mandibulární kanál se neremodeluje ve stejném rozsahu jako vnější povrch čelisti, jeho zakřivení ukazuje dřívější tvar mandibuly [Enlow, 1966; Björk, 1969]. Protože se kondyl pohybuje superiorně a posteriorně, celková vzdálenost, kterou urazí, dosahuje posteriorně se pohybující hranice větve. Současně s tímto růstem se koronoidní výběžek pohybuje odpovídajícím

posteriorním směrem. Výsledek je prohlubování větve v anterioposteriorním směru [Enlow, 1966].



Obr. 10. Apozice (+) a resorpce (-) mandibuly. Vyznačená linie se posouvá v průběhu vývoje z posteriorního na anteriorní okraj, aniž by změnila svou pozici (převzato z: Rakosi et al., 1993).

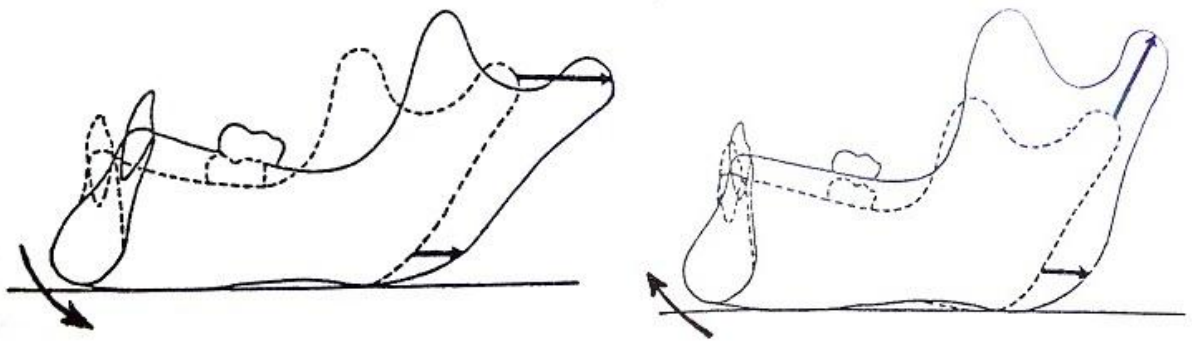
V oblasti koronoidního a částečně i kondylárního výběžku se větve mandibuly od sebe vzdalují pomocí V-principu růstu. Zevní plochy větve jsou resorpční a vnitřní apoziční. Šířka mandibuly se zvětšuje obdobně, v přední části je větší než v zadní. Resorpční oblast na vnitřní zadní ploše větve a zadní části těla má tedy tvar trojúhelníku a mandibula se proto plynule rozšiřuje směrem dozadu [Šmahel, 2001]. Když je kost přidána na linguální stranu koronoidního výběžku, postupuje jeho růst superiorně a tato část větve tedy přibývá vertikálně. Každý koronoidní výběžek se prodlužuje vertikálně, třebaže přírůstky se objevují na mediálním (linguálním) povrchu. To je příklad V-principu růstu, kdy je V orientováno vertikálně. Tento proces umožňuje celé posteriorní části mandibuly se rozšiřovat [Enlow, 1982].



Obr. 11. V-princip růstu, + apozice, - resorpce (převzato z: Rakosi, 1993).

2.3.3 Čelistní kloub

Významnou růstovou funkci plní u mandibuly čelistní kloub, jímž je připojena k lebce. Je to kloub složený, jeho kloubními plochami jsou *caput mandibulae* a kloubní plochy na *fossa mandibularis* a *tuberculum articulare* kosti spánkové. Mezi tyto kloubní plochy je vložený *discus articularis* [Čihák, 2001]. Hlavice tohoto sekundárního kloubu zajišťuje růst větve mandibuly do délky, směr růstu v kloubu určuje její růstovou rotaci a tvar. Pokud probíhá vertikálně, pak je větev dlouhá a dochází k anteriorotaci, goniový úhel je malý, úhel brady větší a výška mandibuly spíše menší. Posteriorní růst způsobuje, že větev je krátká, goniový úhel plochý s tendencí k posteriorotaci. Změny ve směru růstu kondylu vedou k morfologickým změnám v uspořádání celé mandibuly. Směr růstu je dán tím, do které části kloubu vstupují ligamenta *m. pterygoideus lateralis* a dráždí ji tak k růstu. Dále závisí na předozadní poloze mandibuly, která určuje napětí svalu. V kloubu dochází k remodelaci tzv. V-principem [Solow and Kreiborg, 1988; Houston, 1988; Šmahel, 2001]. Růst mandibulární chrupavky tlačí mandibulu dolů a dopředu. Přesněji se dá říct, že růst chrupavky dovoluje růst kondylu nahoru a dozadu a podporuje tak kontakt temporomandibulárního kloubu, když je mandibula táhnuta dolů a dopředu růstem horního obličejce [Puisoru et al., 2006; Obwegeser, 2001].



Obr. 12. Směr rotace a délka větve mandibuly v závislosti na směru růstu v čelistním kloubu (převzato z: Šmahel, 2001).

Změny ve skusu zubů vždy vedou k remodelaci čelistního kloubu. Změny čelistního kloubu způsobují změnu stavby dolní čelisti, zejména v oblasti *angulus mandibulae* [Čihák, 2001].

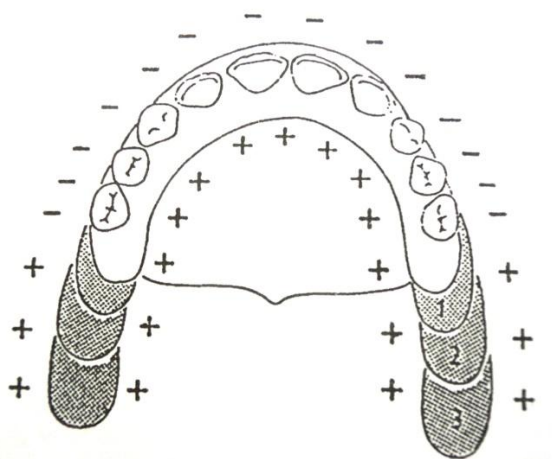
2.3.4 Vliv svalů na růst a tvar mandibuly

Bazo-okcipitální synchondróza leží na střeše nosohltanu a růst její chrupavky prodlužuje kraniální bazi. Také posouvá celý skelet horního obličeje dopředu od páteře, zvětšuje anterioposteriorní rozměr nosohltanu a vytváří tak prostor pro růst žvýkacích svalů a větve mandibuly [Puisoru et al., 2006]. Vliv funkce čelistních svalů na kraniofaciální růst je zprostředkovaný nejen velikostí svalové síly, ale i prostorovou orientací vektoru síly. Je zřejmé, že směr svalové síly determinuje stres vyvolaný v rostoucích kostech a chrupavkách, a tento stres přímo ovlivňuje proces růstu [Van Spronsen et al., 1997]. Síla *m. masseter* a *m. pterygoideus medialis* ovlivňuje tvar těla mandibuly. Jedinci s velkou žvýkací silou (tzn. velmi vyvinutým *m. masseter* a *m. temporalis*) mají ostřejší goniový úhel. Muži mají obvykle větší žvýkací sílu než ženy, proto bývá u žen úhel větší [Xie and Ainamo, 2004].

2.3.5 Vliv dentice na růst a tvar mandibuly

Morfologie oblastí úponu *m. masseter* a *m. pterygoideus* nezávisí na věku nebo pohlaví tolik, jako na dentici. Při kompletní dentici se zúčastní žvýkání a rozmělnění všechny žvýkací svaly. Funkce *m. temporalis* a *m. masseter* je oslabena při částečné nebo kompletní ztrátě zubů [Vinter et al., 1996]. Dentice také způsobuje změnu velikosti goniového úhlu během růstu jedince [Ramba, 1990]. Úhel mezi tělem a větví mandibuly je

u mandibul s 11 a více zuby menší. Délka mandibuly je vyšší u mandibul s méně než 11 zuby, u mandibul s více zuby je také vyšší větev. Tato pozorování byla prováděna u těchto skupin nezávisle na věku. Při kompletní nebo téměř kompletní dentici u obou čelistí jsou čelisti tlačeny proti sobě funkcí *m. temporalis* a *m. masseter*. Po ztrátě zubů nebo před jejich prořezáním tonus a funkce *m. masseter* a *m. temporalis* klesají a hlavní funkci přebírá *m. pterygoideus lateralis* společně s *m. pterygoideus medialis*. Tato funkční změna se manifestuje v místech úponu *m. masseter*. Při kompletní nebo téměř kompletní dentici jsou vyvinuty *tuberositas masseterica* a *processus coronoideus*. Při kompletní nebo úplné ztrátě zubů jsou tyto úpony méně znatelné, zatímco úpon *m. pterygoideus medialis*, *tuberositas pterygoidea*, a úpon *m. pterygoideus lateralis*, *fovea pterygoidea*, jsou vyvinuty lépe. [Vinter et al. 1996].



Obr. 13. Růst dentoalveolárního oblouku (převzato z: Šmahel, 2001).

2.3.6 Vztah mandibuly a maxily

Růst mandibuly je hlavní určující faktor faciální morfologie. Není to ale růst mandibuly jako takový, který primárně určuje její pozici, ale vertikální růst maxily [Schudy, 1965]. Tělo mandibuly je strukturální protějšek těla maxily. Prodlužuje se remodelací větve tak, aby odpovídalo jejímu růstu. Anteriorní část větve roste posteriorně, proces relokace způsobuje odpovídající prodloužení těla. Mandibulární dentální oblouk se prodlužuje tak, aby odpovídal růstu maxilárního dentálního oblouku, oba se prodlužují posteriorně. [Enlow, 1982].

Růst alveolární kosti na superiorním okraji mandibuly přináší přírůstek ve vertikálním směru. Množství tohoto růstu mandibuly je ale výrazně menší než opačný růst maxily v inferiorním směru. Důvodem je fakt, že růst maxily je složený z růstu alveolárního výběžku a růstu nasální oblasti. Dentální oblouky mandibuly a maxily rostou proti sobě a jejich vzájemná pozice je udržována prodlužováním větve mandibuly [Enlow, 1966].

Pokud je horizontální dimenze těla mandibuly krátká vzhledem ke svému protějšku – maxile, efektem je mandibulární protruze. Naopak pokud je mandibula dlouhá, následkem je retruze. Tatáž situace nastane u zkrácené maxily [Enlow, 1982].

2.3.7 Rotace mandibuly

Během růstu se objevuje na dolní čelisti výrazná rotace těla dopředu a remodelace [Björk and Skieller, 1983]. V rotaci mandibuly je zahrnuto několik růstových procesů jako růst kondylů, vertikální růst maxily a mandibuly atd. [Pancherz et al., 1998]. Rotace dopředu je výsledkem většího posteriorního než anteriorního růstu [Wang, 2007]

Björk a Skieller (1983) popisují tři složky rotace mandibuly. Celková rotace těla mandibuly je určena jako změna sklonu těla vzhledem k anteriorní bazi. Rotace matrix vyjadřuje rotaci měkké tkáně (matrix) vzhledem k anteriorní kraniální bazi. Rozdíl mezi celkovou rotací a rotací matrix, označovaný jako rotace intramatrix, je vyjádření remodelace dolního okraje mandibuly a je definován změnou sklonu referenční linie vzhledem k tangentní mandibulární linii (tangenta k dolnímu okraji mandibuly). Celková rotace je suma rotace matrix a intramatrix. Rotace matrix má střed v kondylech, intramatrix v těle [Björk and Skieller, 1983]. Existuje 7 znaků, které jsou typické pro extrémní rotaci mandibuly. Nejvíce evidentní jsou během puberty a po ní. Jsou to sklon hlavičky kondylu, zakřivení mandibulárního kanálu, tvar dolního okraje mandibuly, sklon symfýzy, interincisální úhel, interpremolární a intermolární úhly a výška dolního obličejce [Björk, 1969]. Podle Wanga (2009) dochází k největší rotaci mandibuly v období od $5,7 \pm 0,5$ let do $8,4 \pm 0,6$ let [Wang et al, 2009].

Když větev roste v posteriorním směru, objevují se větší přírůstky kosti v inferiorní části posteriorního okraje. Dochází k odpovídajícímu většímu množství resorpce na anteriorním okraji inferiorní části. Tak se objevuje mandibulární rotace [Enlow, 1982]. Při

rotaci mandibuly anteriorně se brada posunuje relativně více dopředu. V případě posteriorní rotace se brada posouvá více dolů [Pancherz et al., 1998].

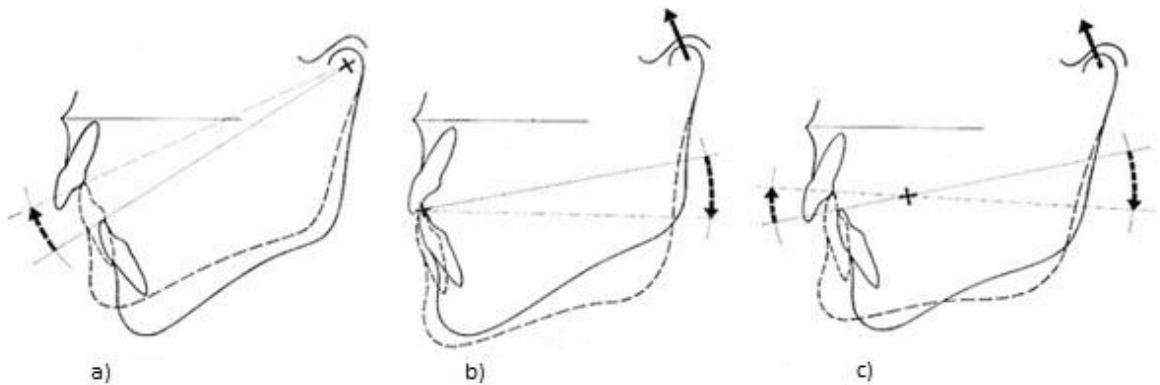
Růstová rotace popisuje pohyb mandibuly vzhledem ke kostěné kraniální bazi. Rotace mandibuly koreluje s intenzitou a směrem růstu kondylu a se změnou goniového úhlu [Steinberg, 1977]. Rotace má důležité důsledky v ortodontické léčbě. Je známo, že mandibula rotuje jak po, tak proti směru hodinových ručiček, podle toho, jak růstový proces postupuje. Rotace po směru hodinových ručiček (rotace dozadu) je výsledek velkého vertikálního (maxilárního) růstu oproti horizontálnímu (kondylárnímu) růstu. Vertikálním růstem se nazývají přírůstky, které posunují bradu vertikálně, dopředu posunuje bradu horizontální růst. Výsledek těchto dvou růstů je obvykle směr dolů a dopředu. Pokud je tedy kondylární růst větší než vertikální růst v molární oblasti, mandibula rotuje proti směru hodinových ručiček (dozadu) a výsledkem je malý přírůstek anteriorní faciální výšky, pogonion se tedy posunuje dopředu. To způsobuje hluboký skus. Pokud je vertikální růst v molární oblasti větší než kondylární růst, mandibula rotuje po směru hodinových ručiček (dozadu) a způsobuje větší anteriorní faciální výšku a jako důsledek otevřený skus [Schudy, 1965].

Velikost goniového úhlu má důležitý vliv na velikost rotace proti směru hodinových ručiček (dopředu). Čím menší je goniový úhel, tím větší rotace nastane pro každý milimetr pohybu bodu pogonion dopředu. Pokud tělo mandibuly projde extrémní rotací, můžeme očekávat, že se brada posune markantně dopředu [Schudy, 1965].

Pro přední rotaci mandibuly je typická apozice pod symfýzou a anteriorní částí dolního okraje a resorpce na horním okraji angulární oblasti. Tloušťka symfýzy se zvětšuje apozicí na svém posteriorním povrchu, na jejím anteriorním povrchu se žádná apozice neobjevuje. Kondylární růst směřuje dopředu k posteriornímu okraji větve. Periostální aktivita je manifestována růstem koronoidního výběžku do výšky a remodelací větve s mírnou resorpcí na anteriorním okraji a výraznou apozicí na dolní části posteriorního okraje [Björk and Skieller, 1983].

Rotace dopředu se objevuje ve třech typech. Typ 1 je rotace okolo center v kloubech. Příčinou může být ztráta zubů nebo velký tlak svalů, brada se posouvá dopředu a vzniká tak čtvercový tvar obličeje. Typ 2 je rotace okolo center, které se nachází na okrajích dolních incisivů. Pozice brady zůstává konstantní a kondyly rostou vertikálně. Při rotaci typu 3 centrum rotace neleží na incisivech, ale je posunuto dozadu na zubní oblouk

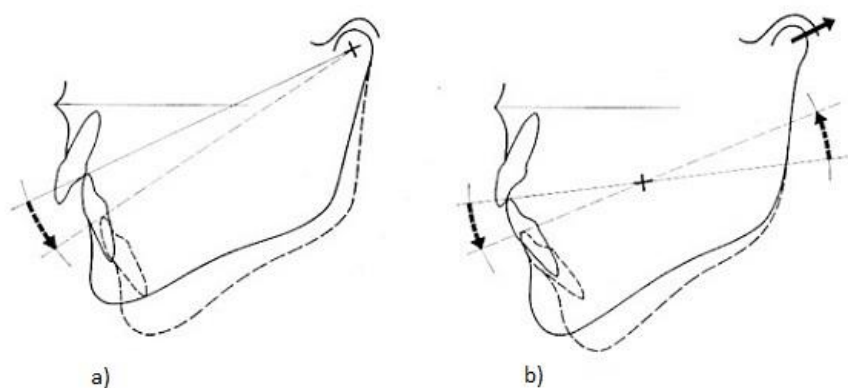
na úroveň premolárů. Brada se posunuje nahoru a dopředu a tím je způsobena její prominence [Björk, 1969; Wang, 2007].



Obr. 14. Rotace mandibuly dopředu: a) s centry v kloubech, b) s centry na okraji dolních incisivů, c) s centry v oblasti premolárů (upraveno podle: Björk, 1969).

Rotace dozadu je méně častá než rotace dopředu. Stejně jako přední rotace se dělí do tří komponent, kde celková rotace je součet rotace matrix a intramatrix. U tohoto typu rotace se objevuje apozice pod symfýzou a anteriorní částí dolního okraje mandibuly a remodelace posteriorního okraje větve [Björk and Skieller, 1983; Wang, 2007].

Existují dva typy rotace dozadu. Typ 1 má střed rotace na temporomandibulárním kloubu, u typu 2 je střed umístěn na nejvíce distálním moláru. Symfýza je posunuta dozadu a brada je tažena zpátky pod obličej. Měkké tkáně proto tvoří tzv. dvojitou bradu. U obou typů rotace se brada posouvá dolů a dozadu a kondyly rostou více posteriorně. [Björk, 1969; Wang, 2007].



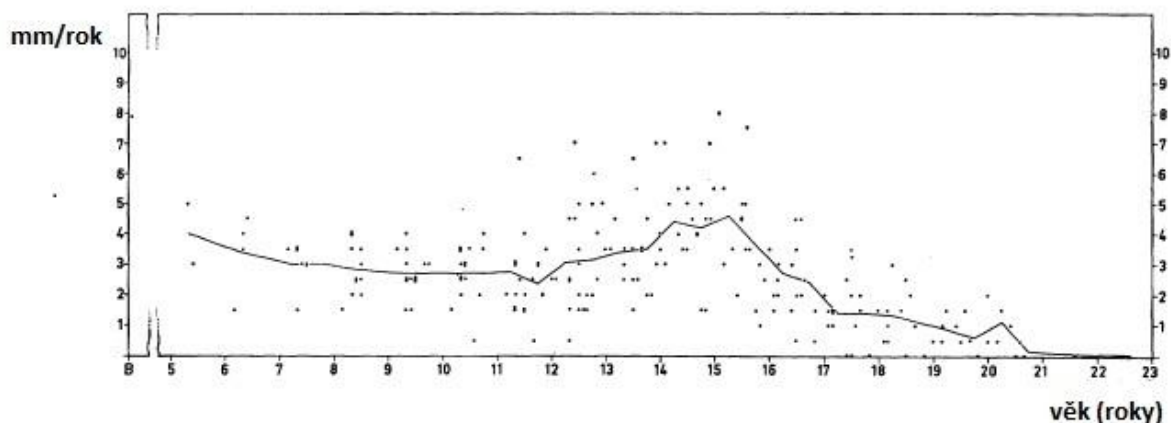
Obr. 15. Rotace mandibuly dozadu: a) s centry v kloubech, b) s centry v oblasti posledních molárů (upraveno podle: Björk, 1969).

2.4 Detailní metrická analýza mandibuly

Růstová rychlost

Maximální rychlost růstu se objevuje v 7,5 letech, minimální v 10,1 letech a znovu maximum v 12,7 letech [Buschang et al., 1989]. O 10 let později publikovali Buschang et al. (1999) pozorování, kde růstová rychlost chlapců deceleruje už od 6,5 let (začátek výzkumu) do 9,5 let, následně akceleruje do 14,3 let a poté opět deceleruje. U dívek je průběh podobný (decelerace do 9,4 let a akcelerace do 12,2 let) [Buschang et al., 1999]. Franchi et al. (2001) se zabýval vývojem mandibuly během puberty. Podle něj k malým změnám dochází během růstu kontinuálně, nicméně statisticky významné jsou změny v období mezi 11. rokem (přesněji 11 let a 1 měsíc) a 12. rokem (12 let a 2 měsíce). Tento růst odpovídá celkovému vývinu těla během puberty. Analýza celkových morfologických změn mandibuly během zkoumaného období (9 let a 1 měsíc až 14 let a 3 měsíce) ukázala uzavírání goniového úhlu, spojené s růstem kondylu směrem nahoru a dopředu, a zároveň růst nahoru a dozadu v oblasti symfýzy. Toto potvrzuje tendenci mandibuly k anteriorní rotaci [Franchi et al., 2001]. Iseri a Solow (2000) pozorovali největší přírůstek délky mandibuly s největší apozicí kondylu během období od $11,7 \pm 0,9$ let a $13 \pm 0,9$ let [Iseri and Solow, 2000].

Mezi průměrnou růstovou rychlostí kondylu v dětské a pubertální periodě života je velký rozdíl. Charakteristickým znakem juvenilní periody je přírůstek asi 3 mm ročně, s žádným výrazným maximem a s nepatrným poklesem k prepubertálnímu minimu ve věku 11 let a 9 měsíců. V průměrném věku 14,5 let se objevuje pubertální maximum s průměrnou růstovou rychlostí okolo 5 mm. Během juvenilní periody se objevuje rok od roku zřetelný výkyv v kondylárním růstu, což udává křivce tvar „cikcak“. Pubertální růst ve své intenzitě vždy převyšuje dětské hodnoty. Věk maximálního pubertálního spurtu je různý a také se liší jeho intenzita. Pubertální a postpubertální růst vykazuje cikcak vzorec, který je charakteristický pro juvenilní periodu. Trvání pubertálního růstu se také hodně liší. Prepubertální minimum se objevuje v průměrném věku 11 let a 9 měsíců. I zde se objevují velké individuální rozdíly, nejdřívejší zaznamenané minimum bylo v 9 letech a 4 měsících a nejpozdější v 13,5 letech. Pubertální maximum se objevuje nejdříve ve 12 letech a 9 měsíců a nejpozději v 15,5 letech, s průměrem v 14,5 letech [Björk, 1963].



Obr. 16. Roční přírůstek růstu kondylů mandibuly u skupiny jedinců mužského pohlaví (upraveno podle: Björk, 1963).

Na obrázku 16 je zřejmý charakteristický růst v dětské periodě, a to průměrně o 3 mm za rok. Tento růst mírně klesá až k prepubertálnímu minimu ve věku 11 let a 9 měsíců. Průměrně ve věku 14,5 let nastává pubertální maximum s průměrným kondylárním růstem okolo 5 mm za rok [Björk, 1963].

Bigoniální (bilaterální) šířka

Z výsledků Farkase et al. (1992) je zřejmé, že v prvním roce dosahuje šířka mandibuly 80,2% dospělé šířky, v pěti letech pak 92%. Mezi 1. a 18. rokem šířka mandibuly vzrostla o 18,7 mm. Většina růstu, která probíhá po prvním roce, byla pozorována mezi 1. a 5. rokem (11 mm, 58,8%), po pátém roce potom 7,7 mm, tj. 41,2%. U chlapců byla pozorována velká rychlost růstu mezi 3. a 4. rokem (4,4 mm), 7. a 8. rokem (4,5 mm) a 12. a 13. rokem (4,8 mm). U dívek to bylo pouze mezi 6. a 7. rokem (4,4 mm, 26,7%) [Farkas et al., 1992].

V periodě mezi 3. a 16. rokem života byl u chlapců přírůstek šířky 3 cm, klesal od 3 do 12 let, obdobně jako délka těla mandibuly. K akceleraci dochází ve 12 letech, vrcholu dosahuje ve $12,8 \pm 1,24$ letech ($0,26 \pm 0,06$ cm) a následně klesá. Variabilita přírůstku je malá kromě 13. roku a ve velikosti výrazná ve 13 letech [Savara and Tracy, 1967]. Přírůstek dívek byl v tomto intervalu 2,05 cm a byl od 4. do 6. roku konstantní, poté do 9. roku klesal. V pubertě stále klesal, poté rostl k maximum mezi 11,2 a 12,2 lety a následně rapidně klesal. Variabilita velikosti roste s věkem. Ze všech rozměrů je variabilita bigoniální šířky nejmenší [Tracy and Savara, 1966].

Iseri a Solow (2000) zjistili signifikantní změnu bilaterální šířky těla mandibuly, ke které dochází ve věku od 6 do 18 let. Přírůstek činí průměrně 0,13 mm/rok [Iseri and Solow, 2000]. Lux et al. (2004) určili vzrůst bigoniální šířky mezi 7 a 15 lety jako 14,1 mm u chlapců a 11,1 mm u dívek [Lux et al., 2004].

Bikondylární šířka

Tato šířka u chlapců vzrostla mezi 3. a 16. rokem o 2,65 cm, mezi 3. a 9. rokem o 1,53 cm a mezi 10. a 16. rokem o 0,98 cm. Bikondylární šířka vykazuje menší růst než bigoniální šířka během celého období, relativní velikost byla tedy menší v 16 než ve 3 letech. Rychlost růstu klesá pomalu od 3 do 10 let, poté mírně roste mezi 10 a 13 lety a následně se ustaluje. Průběh mezi 3 a 10 lety je obdobný jako u délky mandibuly. Tento rozměr vykazuje minimální akceleraci v pubertě, největší přírůstek byl $0,30 \pm 0,12$ cm v $12,8 \pm 1,29$ letech. Variabilita přírůstku roste a vrchol nastává v 16 letech, variabilita velikosti má maximum ve 14 letech [Savara and Tracy, 1967]. U dívek se tento rozměr zvětšil celkově o 2,05 cm, přírůstek klesal od 4. do 7. roku, v 8. roce rostl a od 9. opět klesal. V pubertě poté rostl k maximu v období od 11,1 do 12,1 let a poté rapidně klesal. Maximální variabilita velikosti roste s věkem do maxima ve 13 letech, poté klesá [Tracy and Savara, 1966].

Výška mandibuly

Výška mandibula byla měřena jako vzdálenost bodů gnathion a stomion (stomion je bod uprostřed labiální štěrby mezi zavřenými rty). V 1 roce se výška mandibuly blíží 67% její dospělé velikosti. V 5 letech je to 87,8% dospělé velikosti. Přírůstek velikosti mezi 1 a 5 lety (63,1%, 10,1 mm) byl signifikantně vyšší než po pátém roce (36,9%, 5,9 mm). Rapidní růst výšky mandibuly je pozorován mezi 1. a 2. a 3. a 4. rokem. U chlapců během prvního růstového spurtu byl 4,2 mm (23,1%) a u dívek 3 mm (21,7%). Ve druhém spurtu byly hodnoty ještě větší: chlapci 5,5 mm (30,2%) a dívky 4,7 mm (34,1%). Růst výšky mandibuly končí u chlapců v 15 letech a u dívek ve 12 letech [Farkas et al., 1992].

Savara a Tracy (1967) určili, že roční přírůstky výšky větve u chlapců vykazují pokles od 3 do 5 let a během dalších 5 let se ustalují. Maximální přírůstek se objevuje mezi 13 a 14 roky. Celkově byl přírůstek mezi 3. a 16. rokem 2,08 cm (ze 4,07 na 6,15 cm) [Savara and Tracy, 1967]. U dívek byl celkový přírůstek 1,72 cm. Od 4. do 6. roku byl téměř konstantní, poté se zmenšoval k 7. roku a poté se opět ustaloval. V období puberty

přírůstek nejprve klesá, poté roste k maximu a opět klesá. Největší přírůstek je mezi 11,5 a 12,5 lety [Tracy and Savara, 1966].

Délka těla mandibuly

Celkový přírůstek délky těla mandibuly u chlapců od 3 do 16 let byl 2,61 cm (od 6,22 do 8,83 cm). Tento rozměr rostl rychleji v dětství než v pubertě, od 3 let rychlost klesal až k minimu v 11 letech. Pubertální spurt byl zřejmý od 12 let k maximu, ke kterému docházelo ve 13 letech, a poté rychlost klesala. Maximální přírůstek se objevuje ve $14,3 \pm 1,44$ letech a je to $0,28 \pm 0,06$ cm. Pubertální akcelerace nastala o jeden rok dříve než u výšky větve. Přírůstky byly v dětství větší než během puberty [Savara nad Tracy, 1967]. U dívek byl v daném věkovém rozmezí přírůstek 2,29 cm a zmenšoval se od 4. do 5. roku, do 7 let zůstával téměř konstantní a poté opět klesal v 8 a 9 letech. Následně v pubertě rostl k maximu a opět klesal. Maximální přírůstek v pubertě se objevoval mezi 11,6 a 12,6 lety, ale nebyl tak velký jako mezi 4 a 7 lety. Od minima v 5 letech velikost stabilně rostla s věkem [Tracy and Savara, 1966].

Maximální délka mandibuly

Přírůstek u tohoto rozměru byl u chlapců 3,68 cm v období od 3 do 16 let. Velký pokles v přírůstku se objevuje mezi 3 a 6 lety a mírný pokles mezi 7 a 11 lety. Pubertální vzrůst nastal ve 12 letech, maxima dosahoval v $13,6 \pm 1,83$ letech ($0,46 \pm 1$ cm) a poté klesal. Přírůstek mezi 3 a 6 lety je podobný jako u výšky mandibuly, ale pubertální spurt odpovídá spíše délce těla. Největší variabilita v přírůstku se objevuje v období od 13 do 15 let, ve velikosti ve 3, 12 a 16 letech [Savara and Tracy, 1967]. U dívek byl celkový přírůstek 3,09 cm, klesal od 3. do 9. roku, poté rostl k maximu mezi 11,1 a 12,1 lety a opět klesal. Nejmenší variabilita ve velikosti je v 5 letech a poté roste až k maximu ve 14 letech [Tracy and Savara, 1966].

2.5 Asymetrie mandibuly

Asymetrie mandibuly mohou být způsobeny embryonálně nebo postnatálně, během hlavní růstové periody nebo později.

Embryonální formy jsou spojeny s kondylární aplazií nebo hypoplazií nebo se objevují spontánně (hemifaciální mikrosomie) nebo dědičně jako součást syndromu

(Treacher Collins apod.). Rozlišují se dvě podtřídy. U kongenitální formy, způsobené aplazií nebo hypoplazií, se přesto může vyvinout normální mandibula. V tomto případě asymetrie vzniká hlavně z důvodu malé výšky vzestupné větve nebo její části, což ale nemá vliv na vývoj hlavní části mandibuly. Druhá skupina obsahuje formy asymetrie mandibuly, které se vyvíjí postnatálně následkem narušení kondylu. Poruchy v této skupině jsou si velmi podobné, rozdíl záleží na stupni poškození mandibuly a stádiu jejího vývoje. Všechny případy této skupiny způsobují asymetrie mandibuly nazývané hemimandibulární hypoplazie.

Postnatálně indukované narušení vývoje a růstu může být následek nepříznivých událostí během růstu, které ovlivňují pouze jednu polovinu mandibuly nebo obě poloviny nerovnoměrně. Abnormální růst může být také následkem misregulace růstu bez zjevného důvodu.

Třetí skupina je charakterizovaná nadbytkem růstu do délky, šířky nebo obojího postižené poloviny mandibuly. Tento typ anomálie je způsoben postnatálně misregulací růstu kondylu [zpracováno podle: Obwegeser, 2001].

2.6 Anomálie vývoje mandibuly

Během vývoje může dojít k agnathii, tj. vrozenému nevyvinutí čelistí. Dále se může objevit aplazie mandibuly a jazylky (syndrom prvního a druhého oblouku), což je vzácný letální stav s defekty orbity a maxily [Sperber, 1991].

Odchytky od normální velikosti a tvaru mandibuly souvisí s patologickými změnami. Na základě jejich etiologie a času výskytu mohou být klasifikovány jako 1) kongenitální malformace s přidruženými růstovými odchylkami, 2) primární růstové odchylky a 3) získané nemoci nebo zranění s přidruženými růstovými odchylkami [Pirttiniemi et al., 2009].

Mikrogenie je zmenšení celé mandibuly včetně dentoalveolární komponenty. Profil postrádá prominenci brady, horní ret se vyklenuje nad dolní, často se vyskytuje ankylóza čelistního kloubu. Je charakteristickým znakem pro několik syndromů, mj. Pierre Robin, Cri du chat, syndrom Treacher Collins apod. [Sperber, 1991; Markalous and Charvát, 2000]. Naopak nadbytek růstového hormonu způsobuje abnormální zvětšení mandibuly a její vysunutí dopředu, tzv. prognii. Zde je obrácený skus způsoben vadou dolní čelisti.

Dochází k nadměrnému růstu mandibuly ve všech třech směrech. Mohutný je hlavně přední úsek těla a brada, přední zuby jsou linguálně skloněné, dolní ret je vysunutý a ztluštělý [Markalous and Charvát, 2000]. Při jednostranné poruše vzniká boční vychýlení (laterogenie) [Schumacher 1992]. Rovnoměrné zvětšení mandibuly ve všech třech směrech nazýváme makrogenií [Obwegeser, 2001].

Mezi vertikální anomálie mezičelistních vztahů řadíme např. otevřený nebo hluboký skus. Otevřený skus vzniká jednak na skeletálním podkladě, potom mluvíme o pravém, nebo jako důsledek zlovyků, což je nepravý otevřený skus. Hluboký skus je důsledek zmenšení vertikálních mezičelistních vztahů. Dochází ke zkrácení dolní třetiny obličeje a předkusu řezáků [Markalous and Charvát, 2000].

3 Materiál

Jako materiál pro diplomovou práci sloužil soubor dětských mandibul ve věkových kategoriích *infans 1 a infans 2*, uložených v Muzeu normální a srovnávací anatomie na Anatomickém ústavu 1. Lékařské fakulty Univerzity Karlovy. Jako srovnávací soubor byly použity dospělé mandibuly uložené tamtéž. Dětské mandibuly jsou datovány většinou na konec 19. století a pochází pravděpodobně z nižších sociálních vrstev [ústní sdělení, prof. MUDr. Václav Seichert, DrSc.]. Celkem bylo naměřeno 40 landmarků na 58 dětských a 21 dospělých dolních čelistech. Vzhledem k zachovalosti mandibul a landmarků se konečný soubor skládal z 34 dětských a 14 dospělých mandibul, na kterých bylo snímáno 36 landmarků. V tabulce 1 jsou uvedeny hodnocené mandibuly, spolu s pohlavím a kalendářním věkem, pokud byly známy. Způsob určení dentálního věku bude podrobněji vysvětlen v kapitole 4.8.

Věkové kategorie dětských mandibul

Dětské mandibuly byly rozděleny do tří kategorií:

- 1) *Infans 1* (0 – 3 roky) – období do počátku mineralizace korunky M2
- 2) *Infans 1* (4 – 7 let) – období mineralizace kořene M1 a korunky M2
- 3) *Infans 2* (8 – 14 let) – období mineralizace kořene M2

Při určování kategorií jsme vycházely z diagramů Ubelakera (1978; viz příloha 5). Mandibuly byly rozděleny do skupin na základě udaného chronologického věku, dentální věk byl zkoumán pouze pro porovnání s výsledky. Pro znázornění v grafu PCA jsme první kategorii rozdělily ještě na děti ve věku do 1,5 roku a do 3 let. Jako horní hranici poslední kategorie uvažujeme věk 14 let, protože v souboru neexistuje mandibula jedince vyššího věku.

Tab. 1. Seznam měřených mandibul

mandibula		pohlaví		
chronologický věk (roky)	počet	male	female	neznámé
0	1			1
0,25	1		1	
0,75	1	1		
1,5	1		1	
2	2			2
2,5	3	2	1	
2,75	1	1		
3	1			1
4	5	3	2	
4,5	1	1		
5	2	1	1	
6	2	2		
7	6	1	3	2
8	2		1	1
8,25	1		1	
9	2		2	
11	1	1		
14	1	1		
dospělá	14			14

4 Metody

Na každé mandibule bylo pomocí přístroje MicroScribe G2X a PC programu Microsoft Excel 2007 snímáno 36 landmarků, jejichž seznam je uveden v tabulce 2. K dalšímu zpracování dat pomocí geometrické morfometrie byl použit software Morphologika² v2.4 a v2.5 a Past version 1.68 a version 1.97. V programu Morphologika² byla provedena Prokrustovská analýza (Procrustes analysis), analýza hlavní komponenty (PCA, Principal components analysis), metoda tenkých ohebných plátek (TPS, Thin plate spline) a sestaveny regresní přímky. Software Past byl využit pro statistické zpracování, včetně testu MANOVA a dílčích ukazatelů PCA analýzy.

4.1 Morfometrie

Analýza tvaru hraje důležitou roli v mnoha typech biologických studií. Množství biologických procesů způsobuje rozdíly tvaru mezi jedinci i mezi jednotlivými částmi struktur. Jsou to např. nemoci nebo zranění, ontogenetický vývoj, adaptace na lokální podmínky, atd. Analýza tvaru je jedna z možností, jak pochopit příčiny různorodosti objektů a morfologické transformace [Zelditch et al., 2004].

Slovo morfometrie je původně složenina slov tvar (morphé) a měření (metron) [Mitteroecker and Gunz, 2009]. Je to jedno z odvětví matematické analýzy tvaru [Zelditch et al., 2004].

4.1.1 Historie morfometrie

Zobrazení lidských proporcí má dlouhou historii. Již staří Egypťané používali čtvercové mřížky a standardní proporce, aby mohli lépe zobrazit lidské (i jiné) postavy, dokonce s různým způsobem pro muže a ženy [Robins, 1994]. Více známé jsou pak práce německého umělce 15. století, Albrechta Dürerra, který vymyslel systém zobrazení a karikaturování obličejů [Marcus et al., 1996].

Vědecký zájem o kvantitativní analýzu tvaru má v biologii celkem dlouhou historii, díky aktivitám prvních biomechaniků je to již téměř sto let. Mezi tyto průkopníky patří např. K. Pearson, F. Galton nebo W. F. R. Weldon. V roce 1917 D'Arcy Wentworth

Thompson publikoval dílo O růstu a tvaru, které bylo nesčetněkrát citováno [Marcus et al., 1996; Bookstein, 1991].

Později se začal rozvíjet algebraický přístup k této problematice. Jedním z autorů byl G. Teissier v roce 1938. Hlavní komponenty používal jako jeden z prvních v padesátých letech S. C. Pearce [Marcus et al. 1996].

Slovo morfometrie ve významu jak ho známe nyní, použil poprvé Blackith v roce 1965. Nyní se pro tento přístup používá termín „tradiční morfometrie“, která inklinuje k ignorování původu dat v geometrii jedinců nebo jejich zobrazení [Bookstein, 1991].

4.1.2 Tradiční vs. geometrická morfometrie

Základní rozdíl mezi tradičními a landmarky používajícími technikami je to, jakým způsobem se proměnné a landmarky určují. Proměnné v klasické morfometrii se určují *a priori*, tzn., určí se ještě před provedením analýzy. U studií používajících landmarky to tak není. Zde se vhodné proměnné určují až během analýzy. Všechny proměnné, které je možné naměřit mezi každým párem landmarků, se zahrnují do analýzy, proto se mezi nimi nemusíme rozhodnout před začátkem zkoumání [Zelditch et al., 2004].

Tradiční morfometrie obvykle aplikuje statistické techniky na široké rozpětí měření jako jsou vzdálenosti, úhly, plochy a objemy. Je možné měřit mezilandmarkovou vzdálenost nebo úhly, ale původní geometrické uspořádání bodů nemůže být z naměřených vzdáleností znovu rekonstruováno. Pro statistickou analýzu není možné použít pouze souřadnice landmarků bez oddělení informace o tvaru, pozici a orientaci z celkové velikosti [Mitteroecker and Gunz, 2009].

Pomocí nástrojů analýzy při využití geometrické morfometrie můžeme ilustrovat a vysvětlit tvarové rozdíly, které byly matematicky analyzovány. Lineární rozměry jsou zde nahrazeny souřadnicemi landmarků. Díky tomu je možné výsledky jak popsat a statisticky zpracovat, tak i vizualizovat [Zelditch et al., 2004]

4.1.3 Význačné body

Landmarky neboli význačné body jsou anatomická místa, která mohou být lokalizována ve stejné oblasti u všech jedinců ve studii. V ideálním případě jsou to tedy homologická anatomická místa, která nemění svou topologii, poskytují co nejlepší

informaci o morfologii, a mohou být nalezeny opakovaně a spolehlivě [Zelditch et al., 2004]. Díky tomu je možné zkoumat morfogenetické procesy, které formují studované struktury [Zima et al., 2004]. Landmarky by měly být vybírány tak, aby bylo možné kvantifikovat všechny rozdíly, které lze mezi jednotlivci pozorovat [Zelditch et al., 2004]. Poloha landmarků je zaznamenána karteziánskými souřadnicemi (xy pro dvourozměrný prostor a xyz pro třírozměrný prostor) [Zima et al., 2004].

Podle Booksteina (1991) lze rozdělit landmarky do tří skupin:

Typ 1: význačné body v místě, kde se stýkají tři struktury (např. tři různé typy tkání, lebeční švy apod.).

Typ2: Body nacházející se na místech největšího (či nejmenšího) zakřivení. Na těchto místech často působí biomechanické síly.

Typ 3: Landmarky, vztahující se k jiné struktuře nebo bodu, např. udávající největší nebo nejmenší vzdálenost [Bookstein, 1991].

4.1.3.1 Měřené landmarky

Pomocí MicroScribu G2X bylo nasnímáno 36 landmarků (tab. 2). Tabulky 3 a 4 pak obsahují landmarky, které byly použity pro dílčí hodnocení tvaru větve a těla dolní čelisti. Celkem bylo sledováno 6 nepárových a 15 párových bodů. Párové landmarky byly vždy snímány v pořadí 1. levá strana, 2. pravá strana. Body byly určovány při mandibule ležící na podložce. Pokud byla plocha, na které se nacházel bod, větší, měřilo se uprostřed.

Snímané landmarky byly ukládány v MS Excel. V tomto programu byla také data upravena pro použití v Morphogice² a PASTu.

Tab. 2. Snímané landmarky – celá mandibula

bod	zkratka
infradentale	id
mentale sin	mel sin
mentale dx	mel dx
pogonion	pg
gnathion	gn
condylion lat. sin	cdl sin
condylion lat. dx	cdl dx
condylion med sin	cdm sin
condylion med dx	cdm dx
condylion sin	cd sin
condylion dx	cd dx
condylion post sin	cdp sin
condylion post dx	cdp dx
incisurale sin	inc sin
incisurale dx	inc dx
coronion sin	cr sin
coronion dx	cr dx
superior ramus anterior sin	sra sin
superior ramus anterior dx	sra dx
superior ramus posterior sin	srp sin
superior ramus posterior dx	srp dx
anterior ramus anterior sin	ara sin
anterior ramus anterior dx	ara dx
anterior ramus posterior sin	arp sin
anterior ramus posterior dx	arp dx
gonion sin	go sin
gonion dx	go dx
prominentia lateralis sin	prom sin
prominentia lateralis dx	prom dx
mandibular symphysis	mns
genion	ge
linguale	lin
linguale sin	lg sin
linguale dx	lg dx
mandibular foramen sin	mfo sin
mandibular foramen dx	mfo dx

Tab. 3. Snímané landmarky – větev mandibuly

bod	zkratka
condylion sin	cd sin
condylion post sin	cdp sin
incisurale sin	inc sin
coronion sin	cr sin
superior ramus anterior sin	sra sin
superior ramus posterior sin	srp sin
anterior ramus anterior sin	ara sin
anterior ramus posterior sin	arp sin
gonion sin	go sin
prominentia lateralis sin	prom sin
linguale sin	lg sin
mandibular foramen sin	mfo sin

Tab. 4. Snímané landmarky – tělo mandibuly

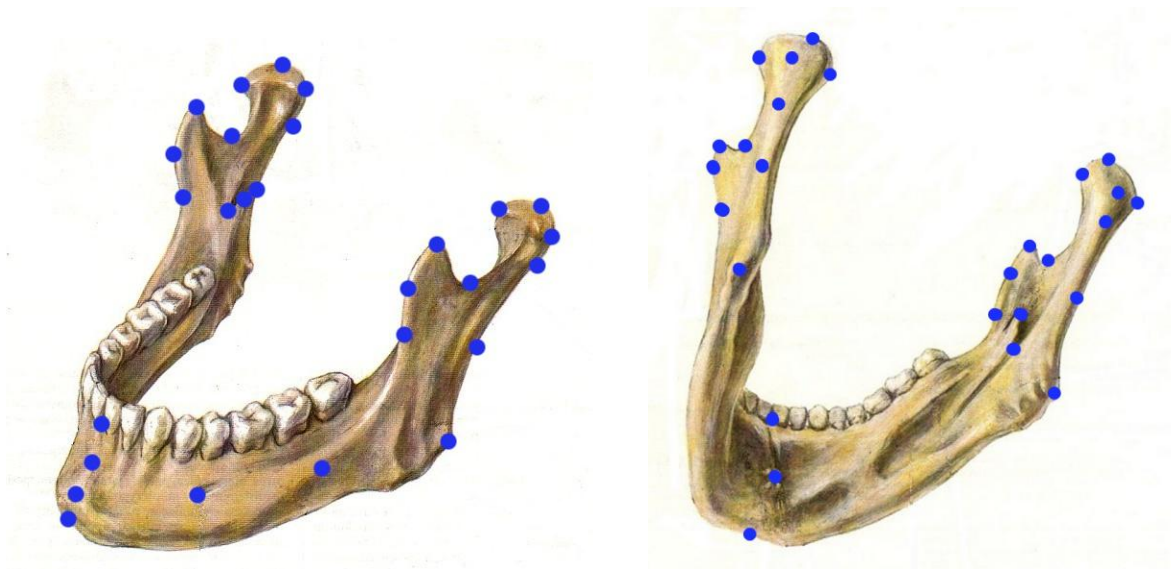
bod	zkratka
infradentale	id
pogonion	pg
gnathion	gn
gonion sin	go sin
gonion dx	go dx
prominentia lateralis sin	prom sin
prominentia lateralis dx	prom dx

Definice landmarků

- Infradentale: bod na průsečíku mediální roviny a pomyslné spojnice alveolárních okrajů středních řezáků [Martin and Saller, 1957].
- Mentale: bod, který leží nejvíce dole na okraji *foramen mentale*. Párový [Török, 1890].
- Pogonion: bod v mediální rovině na přední straně mandibuly, nejvíce vystupující dopředu [Török, 1890].
- Gnathion: nejnižší umístěný bod na dolním okraji mandibuly v mediální rovině [Török, 1890].

- Condylion laterale: bod položený nejvíce laterálně na *processus condylaris*. Párový [Török, 1890].
- Condylion mediale: bod položený nejvíce mediálně na *processus condylaris*. Párový [Török, 1890].
- Condylion: bod umístěný nejvíce superiorně na kondylu, při pohledu zepředu. Odpovídá bodu condyle tip. Párový [Nicholson and Harvati, 2006].
- Condylion posterior – nejvíce dozadu (posteriorně) vystupující bod na kondylu mandibuly. Odpovídá bodu posterior mandibular condyle. Párový [Williams and Richtsmeier, 2003].
- Incisurale: Bod ležící nejhlouběji v *incisura mandibularis*. Určuje se vzhledem k linii spojující nejvyšší body na *processus condylaris* a *processus coronoideus*. Párový [Franklin et al., 2007].
- Coronion: Nejvyšší (nejvíce superiorně umístěný) bod na *processus coronoideus*. Pokud je výběžek rozdvojený, uvažuje se ten vyšší; v případě, že jsou stejné, ten vpředu. Párový [Török, 1890].
- Superior ramus anterior: Bod na větvi, který společně s bodem superior ramus posterior určuje největší šířku *ramus mandibulae*. Je to nejvíce dopředu vystupující bod na větvi. Párový.
- Superior ramus posterior: Bod na větvi, který společně s bodem superior ramus anterior určuje největší šířku *ramus mandibulae*. Je to nejvíce dozadu vystupující bod na větvi. Párový.
- Anterior ramus anterior: Bod na větvi, který společně s bodem anterior ramus posterior určuje nejmenší šířku *ramus mandibulae*. Je to nejméně dopředu vystupující bod na větvi. Párový.
- Anterior ramus posterior: Bod na větvi, který společně s bodem anterior ramus anterior určuje nejmenší šířku *ramus mandibulae*. Je to tedy nejméně dozadu vystupující bod na větvi. Párový.
- Gonion: Bod na *angulus mandibulae*, vystupující nejvíce laterálně, dozadu a dolů na drsnatině úhlu. Párový [Broca, 1875].

- Prominentia lateralis: Nejlaterálnější bod na *corpus mandibulae*. Určuje největší šířku těla. Měří se uprostřed šířky těla. Párový.
- Mandibular symphysis: Nejhlubší bod na symfýze v mediální rovině (mezi infradentale a pogonion) [Franklin et al., 2007].
- Genion: Bod se nachází na vnitřní straně mandibuly, na hrotu *spina mentalis* – kde vystupuje nejvíce dozadu. Pokud je hrotů vytvořeno více, nachází se bod mezi nimi [Török, 1890].
- Linguale: Bod na průsečíku mediální roviny se spojnicí alveolárních okrajů prvních řezáků na vnitřní straně mandibuly [Török, 1890].
- Linguale: Bod nejdále na okraji *lingula mandibulae* na vnitřní straně *ramus mandibulae*. Párový [Török, 1890].
- Mandibular foramen: Bod nejhlouběji (nejníže) na okraji *foramen mandibulae*. Párový [Williams and Richtsmeier, 2003].



Obr. 17. Měřené landmarky (upraveno podle: Čihák, 2001).

4.2 MicroScribe

MicroScribe G2X je produktem americké firmy Immersion a jeho cílem je umožnit snadnou 3D digitalizaci. Přístroj má dotykový hrot zavěšený na mechanickém rameni a toto rameno má v každém kloubu několik optických čidel, které zaznamenávají pomocí

napojení na čip v podstavci jeho natočení. Vyhodnocením údajů ze všech kloubů ramene se získá poloha skenovaného bodu, udaná souřadnicemi x, y, z [Fořt and Janáček, 2006].

Snímaný objekt je třeba upevnit tak, aby se během měření nemohl pohnout a tím zkreslit souřadnice bodů. Před samotným měřením je potřeba MicroScribe zkalibrovat, tzn. určit počátek souřadnicové sítě. Jako kalibrační byly použity landmarky infradentale, mentale sin a mentale dx.

4.3 Prokrustovská transformace

Pro morfometrické srovnání tvarů objektů s daty je třeba nejprve provést některou transformaci zkoumaných dat pro odstranění posunutí, rotace popř. velikosti objektů. V práci byla použita prokrustovská transformace.

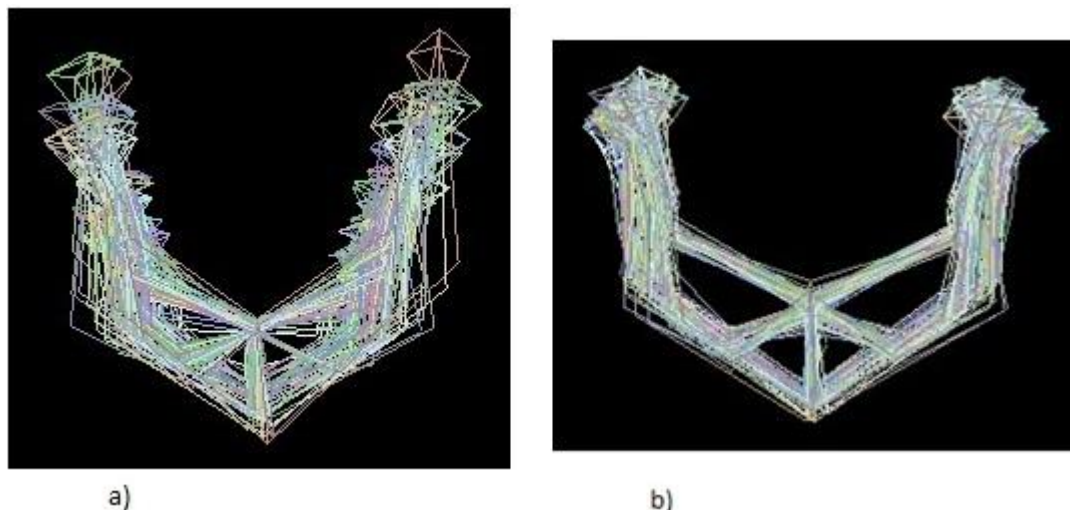
Jméno Procrustes pochází z řecké mytologie; byl to kovář, syn Poseidona. Na svém sídle měl železnou postel, kam přiváděl kolemjdoucí, aby tam strávili noc, a kde na nich „pracoval“ kovářským kladivem, aby je přizpůsobil přesně velikosti postele. Pokud byl host příliš vysoký, amputoval mu přebytečnou část těla, malé natahoval. Nakonec ho přemohl Theseus, připoutal Procrusta na jeho vlastní postel a tím ho zabil [<http://en.wikipedia.org/wiki/Procrustes>; Zelditch et al., 2004].

Jak je zřejmé z přirovnání, prokrustovská superpozice minimalizuje rozdíly mezi uspořádáním landmarků. Její metody používají pouze takové metody, které nemění tvar. To jsou rotace, translace a škálování. Prokrustovská transformace používá tzv. prokrustovskou vzdálenost jako kritérium, které minimalizuje rozdíly mezi konfiguracemi (součet čtverců vzdáleností mezi odpovídajícími si landmarky) [Zelditch et al., 2004].

Prokrustovská transformace sestává ze tří kroků:

1. Posun všech objektů tak, aby měly společný střed (tzv. centroid). Tento střed se nachází v průsečíku os $(0,0)$, popř. $(0,0,0)$ v třírozměrném prostoru.
2. Rotace objektů.
3. Izometrická změna velikosti objektů, po které mají všechny objekty standardizovanou velikost (jejich centroidová velikost je rovna jedné). Suma druhých mocnin rozdílů souřadnic homologických bodů je minimální [Zima et al., 2004].

Centroidovou velikost lze definovat jako druhou odmocninu součtu čtverců vzdáleností jednotlivých landmarků od centroidu, popř. jako druhou odmocninu součtu rozptylů landmarků okolo centroidu [Zima et al., 2004].



Obr. 18. 48 mandibul od novorozence po dospělé jedince. a) před prokrustovskou transformací, b) po prokrustovské transformaci.

4.4 Analýza hlavní komponenty

PCA (Principal Component Analysis) je jeden z druhů faktorové analýzy [Zima et al., 2004]. Byla zavedena Pearsonem v roce 1901 a nezávisle i v roce 1933 Hotellingem [Meloun]. Snižuje původní počet proměnných na menší počet a vytváří tak lineární transformaci tzv. hlavní komponenty, které jsou navzájem nekorelované. Hlavní komponenta je lineární kombinací původních proměnných. Používá se mj. pro hledání vnitřní struktury v datech [Zima et al., 2004] a pro redukci počtu znaků bez velké ztráty informace [Meloun].

Software PAST umožňuje zobrazit tzv. **loadings** (neboli **zátěže, komponentní váhy**), které udávají, jakou měrou přispívají jednotlivé proměnné do hlavních komponent. Z těchto hodnot je možné sestavit **graf komponentních vah** [Meloun].

Eigenvalues (vlastní čísla) vyjadřují míru variability původního souboru objektů. Tato variabilita je vyjádřena pomocí hlavní komponenty [Hammer, 1999-2010].

Indexový graf úpatí vlastních čísel (scree plot, popř. suťový graf) je sloupcový graf, na který se vynáší na osu x stoupající komponenta a na osu y klesající hodnota

vlastního čísla. Zobrazuje relativní velikost jednotlivých vlastních čísel [Meloun]. Znázorňuje, které komponenty nejvíce ovlivňují celkovou varianci. Komponenty, které se na ose x nachází až za bodem, kde se mění tvar křivky, lze považovat za nesignifikantní [Hammer, 1999-2010].

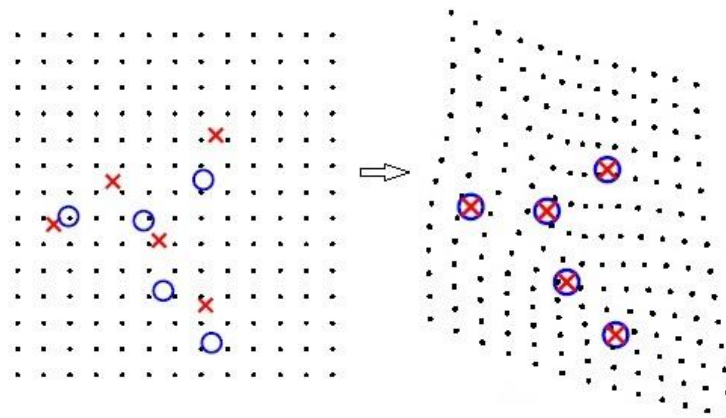
Rozptylový diagram komponentního skóre (scatterplot) zobrazuje komponentní skóre. Lze tak nalézt shluky podobných objektů i objekty odlehlé [Meloun].

4.5 Metoda tenkých ohebných plátků

TPS (Thin-Plate Spline) je způsob, jak spojit matematický aparát s vizualizací tvarových změn pomocí transformačních sítí D'Arcyho Thompsona. Ten se snažil deformovat souřadnicovou síť karteziánských souřadnic položenou přes obrázek referenčního objektu tak, aby odpovídala druhému obrázku [Zima et al., 2004].

Dnes TPS hledá funkci, která umístí landmarky referenčního objektu do odpovídajících landmarků srovnávaného objektu. Tím dojde k deformaci souřadnicové sítě tak, aby jeden tvar odpovídal druhému [Zima et al., 2004].

Míra prohnutí pomyslného nekonečně tenkého kovového plátku se vyjadřuje pomocí množství energie nutné k jeho ohybu – deformační energie (bending energy). Čím lokálnější je deformace plátku, tím vyšší deformační energie je potřeba [Baranová].



Obr. 19. Zobrazení deformace souřadnicové mřížky (upraveno podle: Donato and Belongie, 2002).

4.6 Software

Pro analyzování tvarových ontogenetických změn mandibuly byl použit software Morphologika² [O'Higgins and Jones, 2006] a PAST [Hammer et al., 2007; Hammer et al., 2010].

Morphologika² je software, obsahující sadu nástrojů pro zkoumání rozdílnosti ve tvaru a velikosti objektů definovaných zadanými landmarky [<http://sites.google.com/site/hymsfme/resources>]. Tento software byl využit pro grafické znázornění tvarových změn dolní čelisti.

Před PCA, TPS a regresí je vždy potřeba provést prokrustovskou transformaci (podrobněji v kapitole 4.3).

Vstupní data jsou načítána z textového souboru, který obsahuje informaci o počtu zkoumaných objektů, počtu landmarků, dimenzí (2D nebo 3D data), pojmenování jedinců, jejich konkretizaci (v našem případě je to věk jedinců), souřadnice landmarků a volitelně propojení landmarků nebo polygony. Ukázka vstupních dat je uvedena v příloze 1.

PAST (Palaeontological Statistics) je program pro analýzu dat a jejich statistické zpracování. Opět je potřeba provést nejprve prokrustovskou transformaci, poté je možné provést statistické testy a analýzy.

Vstupní data se zadávají editováním buněk tabulky přímo v programu, případně je možné načíst soubor s daty uloženými v tabulkovém editoru. Ukázka vstupních dat je uvedena v příloze 2.

4.7 Statistické testy

Jednoduchá **regrese** studuje kauzální závislost dvou veličin, z nichž jedna veličina je vždy spojitá a na ní závislá veličina je většinou taktéž spojitá. Na jedné ose v grafu (tzv. korelační pole) je vysvětlující (nezávisle) proměnná, na druhé ose je vysvětlovaná (závisle) proměnná. Na základě hodnot v grafu lze sestrojít regresní přímku a podle jejího průběhu odhadnout velikost závislosti [Zvára, 1998; Zvára, 2009/2010].

MANOVA je vícerozměrnou variantou ANOVY, testuje shodnost středních hodnot u všech veličin [Ročková, 2008].

4.8 Určení zubního věku

Určení zubního věku jedinců není předmětem této diplomové práce, nicméně pro srovnání s kalendářním věkem byl metodou podle Mooreese et al. (1963) a podle Ubelakera (1978) dentální věk určen.

Na RTG snímcích mandibul byla hodnocena mineralizace a erupce dočasných a stálých zubů. Vždy se hodnotila pravá strana dolní čelisti. Každé místo v čelisti, obsahující vyvíjející se zub, je ohraničené vrstvičkou *lamina dura*. Rostoucí okraj korunky nebo kořene je tak viditelný [Hillson, 1996]. Pokud nebylo pohlaví zkoumaného jedince známo, byly vypočítány hodnoty pro obě pohlaví a v tabulce uvedena průměrná hodnota.

4.8.1 Moorees, Fanning, Hunt (MFH) (1963)

Tato metoda určení dentálního věku využívá diagramů se 14 vývojovými stádii zubů trvalé dentice (příloha 3) [Moorees et al, 1963a]. Tuto metodu upravil Smith (1991b), ke každému stádiu zubu přiřadil věk a vytvořil tak jednoduchou tabulku (příloha 4). Výsledný věk se vypočítá jako průměr jednotlivých věků určených na základě této tabulky [Smith, 1991].

4.8.2 Ubelaker (1978)

Vychází z diagramů Schoura a Masslera (1941), který zobrazuje erupci i mineralizaci zubů. Každý z 22 diagramů zobrazuje určité stádium vývoje zubů a jeho dataci. Později American Dental Association vydala novou verzi, která měla pouze 21 stádií, a pro každé stádium bylo přidáno rozpětí věku. V současné době se používá úprava tohoto schématu od Ubelakera (1978), který odstranil jedno prenatální stádium a jedno postnatální přidal [Ubelaker, 1978].

5 Výsledky

Cílem této diplomové práce je definovat tvarové změny mandibuly, ke kterým dochází během ontogeneze člověka. Pomocí vícerozměrné analýzy rozptylu porovnat tvar mandibuly mezi skupinami jedinců rozdělených na základě zubního věku do čtyř skupin: *infans 1* ve věku do 3 let, *infans 1* ve věku od 4 do 7 let, *infans 2* ve věku od 8 do 14 let a dospělí. Metodou Mooreese, Fanninga a Hunta (1963) a Ubelakera (1978) odhadnout zubní věk zkoumaných dětských mandibul, stejným způsobem je zpracovat a výsledky porovnat s výsledky při použití kalendářního věku.

Zkoumání tvaru mandibuly bylo provedeno v programech PAST a Morphologica². Nejprve jsem v PASTu podle eigenvalues zjistila, kolik variability původního souboru je určeno danou hlavní komponentou. Podle scree plotu jsem určila, kolik hlavních komponent budu dále analyzovat. Tzv. loadings určily, které landmarky nejvíce ovlivňují příslušnou hlavní komponentu – na tomto základě lze lépe popsat tvarové změny mandibuly. Tyto změny jsem analyzovala a vizualizovala v Morpholigice² pomocí PCA. Dále jsem metodou TPS v tomtéž programu zobrazila deformaci mřížky při průmětu mandibuly ze skupiny nejmladších dětí do mandibuly ze skupiny *infans 2* a do dospělé mandibuly. Sestrojila jsem také regresní přímku závislosti jednotlivých komponent na věku a centroidové velikosti.

Statisticky jsem data zpracovala v programu PAST pomocí vícerozměrné analýzy rozptylu MANOVA. Na základě výsledků jsem poté zhodnotila pracovní hypotézu.

5.1 Stanovení dentálního věku

Dentální věk byl určován pomocí metod podle Mooreese, Fanninga a Hunta (MFH) (1963) a podle Ubelakera (1978) z dostupných frontálních a laterálních RTG snímků dětských mandibul. Porovnávání s chronologickým věkem jsem dále provedla pouze u dentálního věku určeného metodou podle Ubelakera (1978). Tento způsob je vzhledem k mým malým zkušenostem metodicky snazší, navíc jeho výstupem je věkový interval (viz příloha 5).

Výsledek stanovení zubního věku jednotlivých mandibul je uveden v tabulce 5. Pokud určení věku chybí, je to způsobeno nedostupností RTG snímku nebo nemožností snímek zpracovat (např. mandibula č. 3713 – poškozená, chybělo mnoho zubů).

Z tabulky je patrné, že dentální věk, určený metodou podle Ubelakera (1978) se u všech zkoumaných jedinců shoduje s chronologickým věkem, částečně i díky rozpětí věků u jednotlivých stádií.

Pokud je brána v úvahu metoda MFH (1963), pak již k takové shodě nedochází a dentální věk je většině případů nižší než chronologický, výjimku tvoří pouze 9 jedinců. Dentální věk jedince s označením 2753 - 782 je dokonce výrazně nižší, ale při použití metody Ubelakera (1978) se dentální věk shoduje.

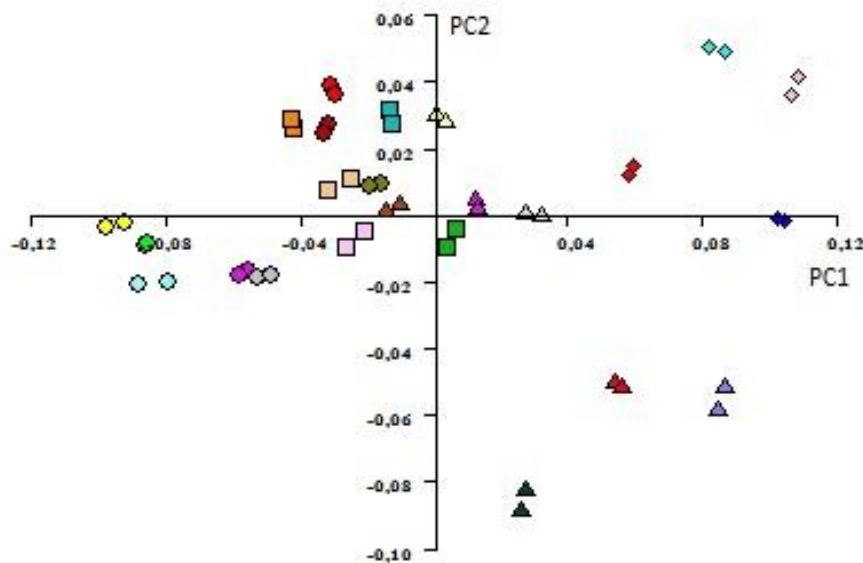
Tab. 5. Seznam měřených dětských mandibul s chronologickým i dentálním věkem

mandibula	po- hlaví	chronolo- gický věk (roky)	dentální věk (MFH, 1963) (roky)	dentální věk (Ubelaker, 1978) (roky)
732 - 833		0	0	novorozenec (± 2 měsíce)
1948 - 718	f	0,25	0	novorozenec (± 2 měsíce)
1951 - 721	m	0,75	0,4	9 měsíců (± 3 měsíce)
3638 - 798	f	1,5	1,3	18 měsíců (± 6 měsíců)
826 - 707		2	2,65	2 (± 8 měsíců)
2246 - 763		2	1,68	2 (± 8 měsíců)
1962 - 729	f	2,5	1,8	2 (± 8 měsíců)
2582 - 773	m	2,5	1,9	2 (± 8 měsíců)
3702 - 802	m	2,5	2,65	2 (± 8 měsíců)
1964 - 731	m	2,75	2,65	3 (± 12 měsíců)
1540 - 712		3	3,32	3 (± 12 měsíců)
1971 - 738	f	4	4,82	4 (± 12 měsíců)
2890	f	4	4,1	4 (± 12 měsíců)
1009 - 710	m	4	3,07	4 (± 12 měsíců)
1970 - 737	m	4	3,67	3 (± 12 měsíců)
2753 - 782	m	4	1,9	3 (± 12 měsíců)
2756 - 783	m	4,5	4,95	4 (± 12 měsíců)
2009 - 754	f	5	5,03	5 (± 16 měsíců)
1975 - 742	m	5	4,47	5 (± 16 měsíců)
2931 - 792	m	6	6,27	6 (± 24 měsíců)
3708 - 809	m	6		
578 - 705	f	7	6,21	7 (± 24 měsíců)
1980 - 745	f	7	6,01	7 (± 24 měsíců)
3710 - 811	f	7	6,49	7 (± 24 měsíců)
2586 - 777	m	7	6,83	7 (± 24 měsíců)
2070 - 755		7	6,21	7 (± 24 měsíců)
2071 - 756		7	5,84	6 (± 24 měsíců)
1999 - 746	f	8	6,9	8 (± 24 měsíců)
1597 - 715		8	8,26	8 (± 24 měsíců)
3733 - 821	f	8,25	7,51	9 (± 24 měsíců)
2073 - 758	f	9	7,69	9 (± 24 měsíců)
3711 - 812	f	9	7,41	9 (± 24 měsíců)
3713 - 814	m	11	8,92	
2591 - 779	m	14	13,15	15 (± 36 měsíců)

5.2 Spolehlivost měření

Před samotnými analýzami bylo nutné provést kontrolu spolehlivosti měření. Zvolili jsme metodu např. podle Franklina et al. (2007a). Každá mandibula byla měřena dvakrát, pro větší přehlednost byla každá druhá mandibula včetně obou měření vynesena do grafu komponentního skóre, kde by se při naprosto přesném měření měla překrývat.

V grafu (obr. 20) jsou dvě měření stejné mandibuly znázorněna vždy stejným symbolem a stejnou barvou.



Obr. 20. Grafické znázornění spolehlivosti měření.

5.3 Analýza tvarových změn mandibuly

Tvarové změny dolní čelisti během ontogeneze byly hodnoceny celkem třikrát: změna tvaru celé mandibuly, změna tvaru větve a změna tvaru těla dolní čelisti. Ve všech případech jsou v práci demonstrovány grafy komponentního skóre pro 1. – 3. komponentu. Na těchto grafech vždy představují světle zelená kolečka mandibuly skupiny dětí *infans 1* do 1,5 let, tmavě zelená *infans 1* do 3 let, červená *infans 1* do 7 let, modrá *infans 2* a žlutá dospělé dolní čelisti (např. obr. 22)

Ve všech případech je mj. také zhotovován graf zátěží jednotlivých landmarků pro jednotlivé komponenty (např. obr. 25). Tento graf byl vždy sestaven na základě hodnot vypočítaných z hodnot zátěží jednotlivých proměnných (obr. 24) (výsledná zátěž pro

landmark je součtem absolutních hodnot zátěží jeho x, y, z souřadnic). Proto jsou kromě uvedeného příkladu dále prezentovány pouze výsledné grafy pro jednotlivé význačné body.

K popsání změn tvaru mandibuly během ontogeneze člověka je použita vizualizace z programu Morphologika². Na jednotlivých obrázcích je vždy v pořadí zleva doprava zobrazena dětská mandibula ze skupiny *infans 1* (0,25 roku), *infans 2* (8 let) a mandibula dospělého jedince – *adultus*.

Software Morphologika² umožňuje kromě analýzy hlavních komponent a zobrazení TPS deformační mřížky i sestavit graf korelace hlavní komponenty na centroidové velikosti nebo (v našem případě) věku. U dospělých mandibul nebyl znám věk, a proto je u všech označen shodně, 20 let.

Signifikance rozdílů mezi jednotlivými skupinami je hodnocena na základě testu MANOVA. Vícerozměrná analýza rozptylu je statistický test, který je možné provést v programu PAST. Jeho výsledek popisuje, zda jsou rozdíly hodnot jednotlivých věkových kategorií signifikantní či nikoliv. Výstupem tohoto testu jsou hodnoty Wilk's lambda, Rao's F, Pillai trace a aproximované F. Pro účely této DP se hodnotí pouze tabulka s hodnotami Hottelingova p nad diagonálou, hodnotami po Bonnferoniho korekci pod diagonálou (např. tab. 7) a hodnota p(same) pro Wilk's lambda. Je obvyklé pro zhodnocení signifikance výsledků přihlížet spíše k výsledkům Hottelingova p a Wilk's lambda, proto je tomu tak i v této práci.

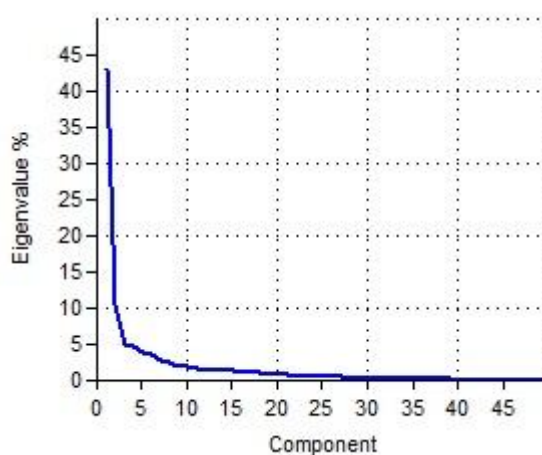
5.4 Analýza tvaru celé mandibuly

5.4.1 Analýza hlavní komponenty

Pro získání hodnot **eigenvalues** jsem využila software PAST. V tabulce 6 je vidět, že tvar mandibuly ovlivňuje 49 hlavních komponent, přičemž většinu variability vysvětlují první dvě (43,099% a 10,691% z celkové variability). Ze **scree plotu** (obr. 21) je zřejmé, že bych měla uvažovat i komponentu třetí (5,0654%). Analyzovala jsem tedy první tři PC, přičemž největší procento variability původního souboru vysvětluje PC1.

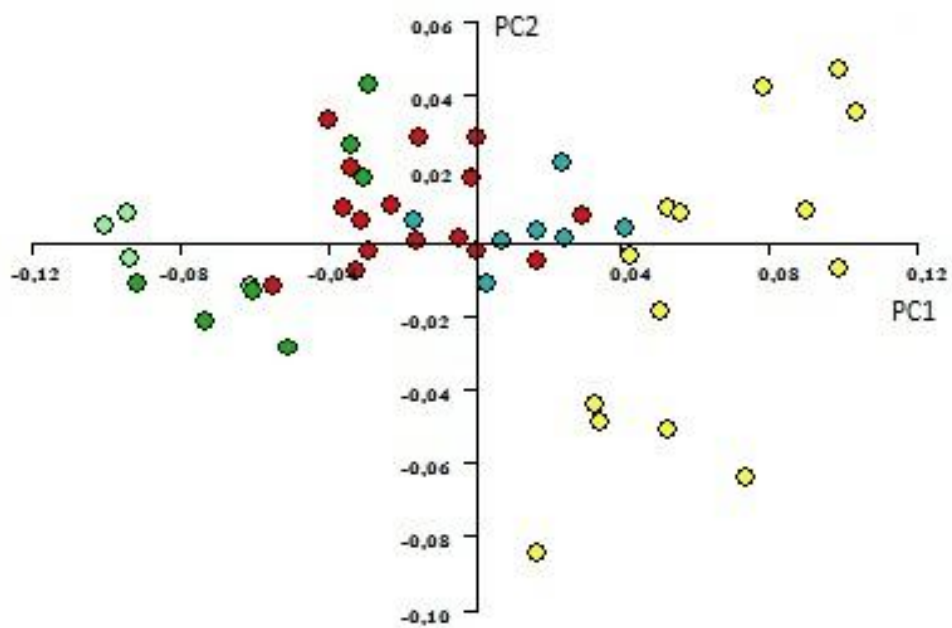
Tab. 6. Statistické ukazatele PCA analýzy (eigenvalues, variance) pro jednotlivé komponenty

PC	Eigenvalue	% variance	PC	Eigenvalue	% variance
1	219,63	43,099	26	2,31322	0,45394
2	54,4824	10,691	27	2,16141	0,42415
3	25,813	5,0654	28	2,0568	0,40362
4	23,4442	4,6006	29	1,95671	0,38398
5	20,3362	3,9907	30	1,53405	0,30104
6	18,8051	3,6902	31	1,46457	0,2874
7	14,66	2,8768	32	1,33846	0,26265
8	12,8941	2,5303	33	1,22308	0,24001
9	10,5738	2,075	34	1,17774	0,23111
10	9,26798	1,8187	35	1,06634	0,20925
11	8,27051	1,623	36	1,02216	0,20058
12	7,45955	1,4638	37	0,882041	0,17309
13	7,3168	1,4358	38	0,804592	0,15789
14	6,99041	1,3718	39	0,713542	0,14002
15	6,40428	1,2567	40	0,656893	0,12891
16	6,03521	1,1843	41	0,590611	0,1159
17	5,41175	1,062	42	0,547622	0,10746
18	4,96271	0,97386	43	0,508159	0,099719
19	4,44151	0,87158	44	0,443928	0,087115
20	3,87074	0,75958	45	0,362438	0,071123
21	3,79221	0,74417	46	0,303913	0,059639
22	3,16985	0,62204	47	0,239062	0,046912
23	3,00988	0,59065	48	1,51722E-27	2,9773E-28
24	2,79051	0,5476	49	1,86302E-56	3,6559E-57
25	2,39066	0,46913	50	0	0

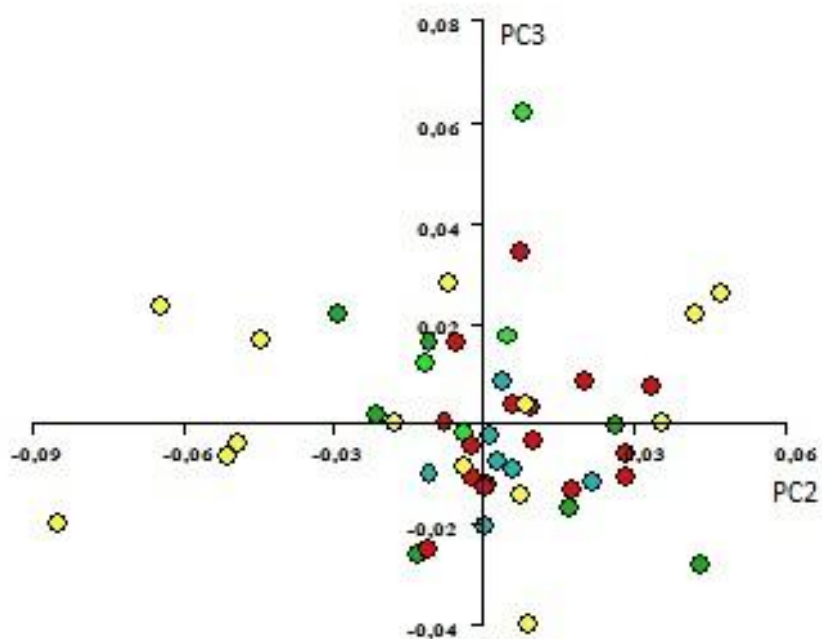


Obr. 21. Scree plot.

Variabilita mandibuly v rámci sledovaného souboru byla posuzována především na základě grafu komponentního skóre.



Obr. 22. Graf PCA (PC1 a PC2).



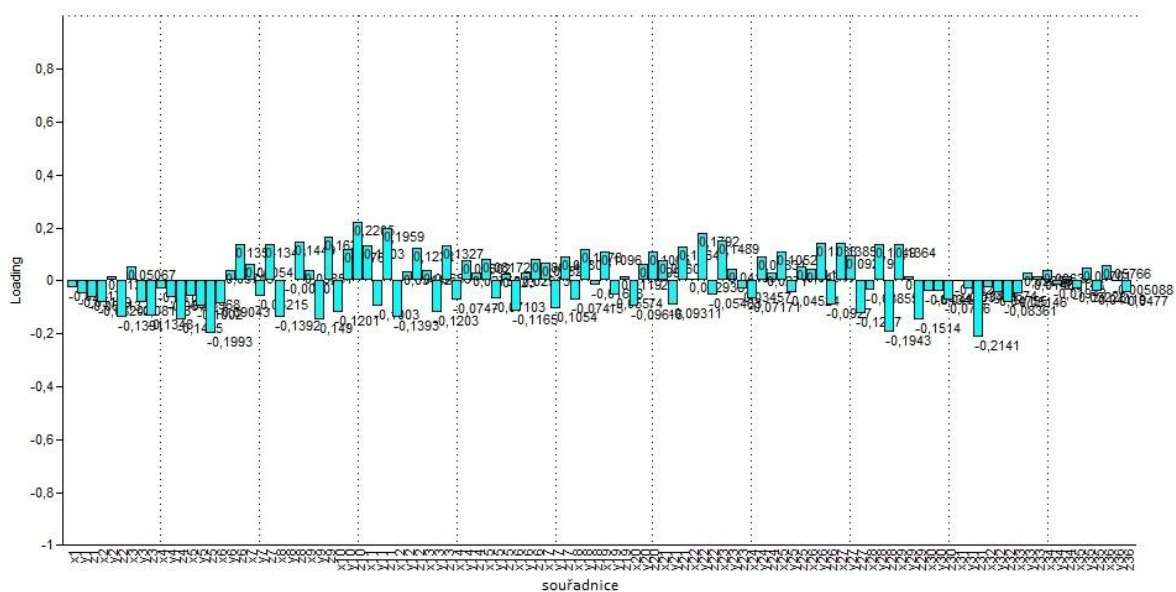
Obr. 23. Graf PCA (PC2 a PC3).

Na grafu závislosti první a druhé komponenty (obr. 22) lze podle distribuce jednotlivých bodů grafu vidět, že první komponenta souvisí s věkem. Zda je rozdíl mezi

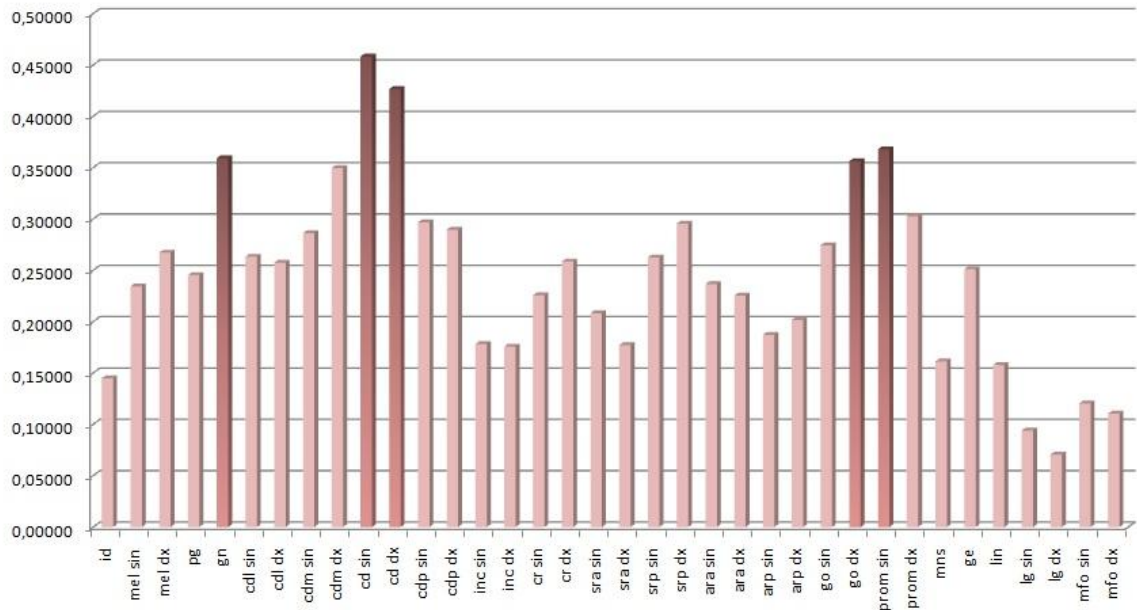
jednotlivými skupinami skutečně signifikantní jsme dále zjišťovali pomocí analýzy MANOVA. Graf závislosti druhé a třetí komponenty vyjadřuje, že tyto komponenty s věkovými tvarovými změnami mandibuly nesouvisí. Z tohoto důvodu bude nadále pro celkový tvar mandibuly uvažována pouze první hlavní komponenta.

Největší variabilita tvaru mandibuly uvnitř jednotlivých věkových skupin je u skupiny dospělých. Zde se významněji podílí i druhá komponenta. Z grafu na obrázku 26 jsem zjistila, že tuto komponentu nejvíce ovlivňují landmarky coronion, superior ramus anterior a gonion. PC2 tedy zodpovídá za zvětšování relativní velikosti koronoidního výběžku, výšku těla a opět i šířku těla a větve.

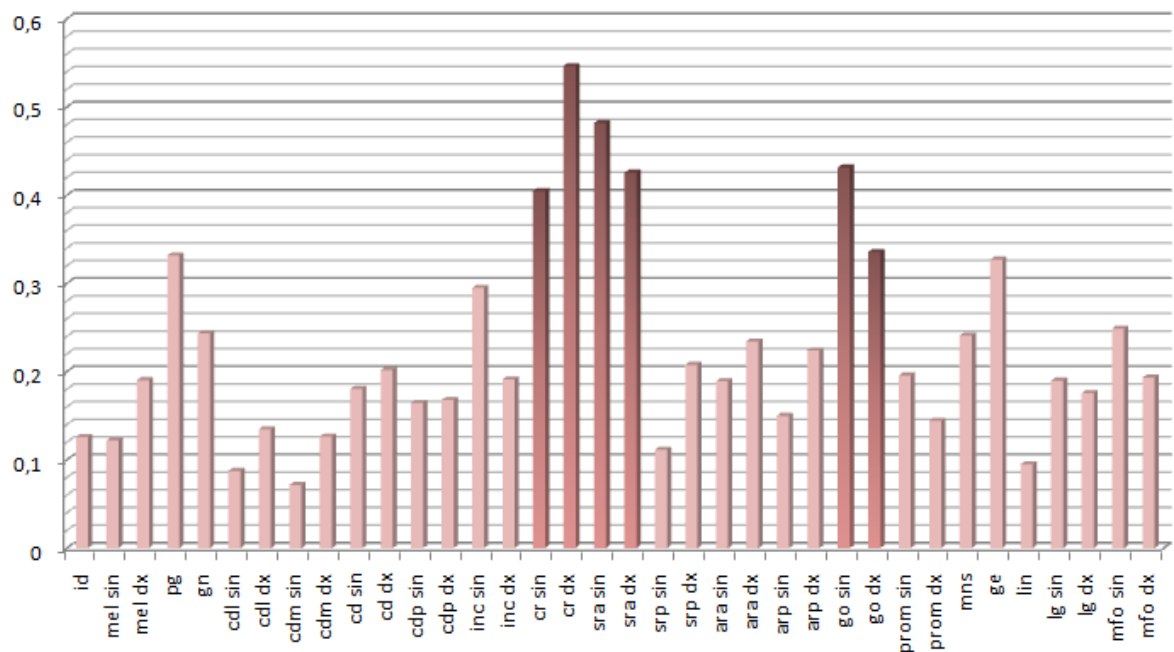
Zátěže (loadings) vyjadřují korelační vztah mezi proměnnou (landmarkem) a hlavní komponentou. Z hodnot zátěží jednotlivých proměnných (obr. 24) jsme sestrojily graf zátěží jednotlivých landmarků pro jednotlivé komponenty (obr. 25). Z grafu lze vyčíst, že první komponentu nejvíce ovlivňují landmarky condylion, gnathion, prominentia lateralis a gonion.



Obr. 24. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 1. komponenty, vyjádřené zvlášť pro x, y, z souřadnice jednotlivých landmarků.

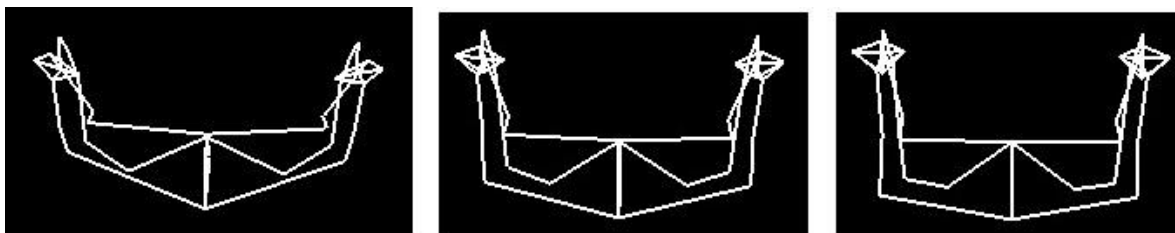


Obr. 25. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 1. komponenty pro jednotlivé landmarky.

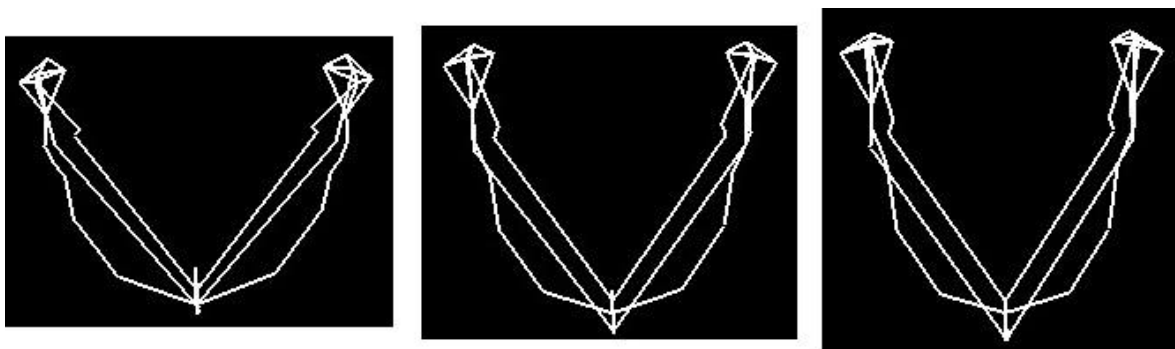


Obr. 26. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 2. komponenty pro jednotlivé landmarky.

Konkrétní tvarové změny tvaru mandibuly jako celku vyplývají z obrazové dokumentace (obr. 27 až 29).



Obr. 27. Změna tvaru mandibuly v ontogenezi. Pohled zepředu.



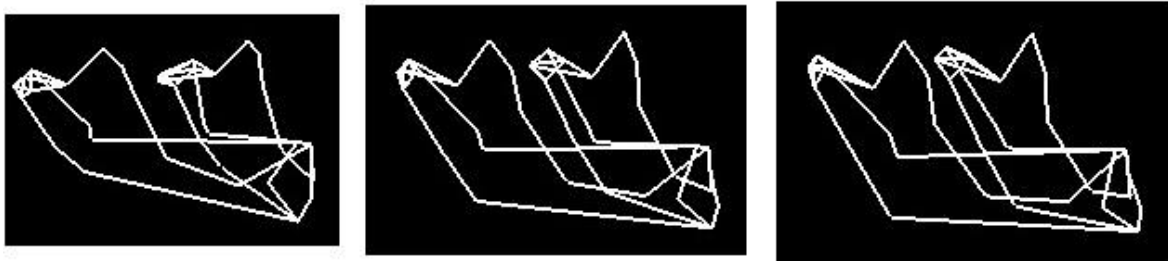
Obr. 28. Změna tvaru mandibuly v ontogenezi. Pohled seshora.

Z obrázků 27 a 28 je patrná změna šířky mandibuly v průběhu vývoje jedince. Zatímco u novorozence je mandibula relativně širší, s postupem času se zužuje. To platí pro největší šířku těla mandibuly, měřenou jako vzdálenost bodů *prominentia lateralis*. Vzdálenost bodů *gonion* se mění jen mírně a tento bod se posouvá dolů. U starších jedinců dochází k opětovnému vzdalování bodů *gonion* v souvislosti se vznikem drsnatiny pro úpon *musculus masseter*.

Kloubní ploška kondylu mandibuly je u novorozence „sklopená“, tzn., že bod *condyilion mediale* se nachází inferiorněji než bod *condyilion laterale*. Během růstu jedince dochází k vyrovnání jejich výšek.

Zadní hranice větve mandibuly při pohledu zepředu je u novorozence vyklenutá laterálně, postupně se její tvar mění posunem bodu *anterior ramus posterior* mediálně a stává se prohnutou směrem dovnitř.

Relativní vzdálenost bodu *mentale* a dolní hranice těla mandibuly se zvětšuje, na mandibule novorozence se *foramen mentale* nachází téměř na této hranici. V souvislosti s tím se spojnice bodů *mentale* a *prominentia lateralis* mění na rovnoběžnou s dolní hranicí těla.



Obr. 29. Změna tvaru mandibuly v ontogenezi. Pohled ze strany.

Na obrázku 29 pozorujeme, že výška větve dolní čelisti roste úměrně s věkem. Bod gonion se posouvá dolů, condylion nahoru (superiorně), tím se od sebe vzdalují a větve roste. Stejně jako kondylární výběžek roste i *processus coronoideus*, ale není to změna tak markantní. Také je možné sledovat změnu proporcí šířky větve, zvýrazňuje se incisura s bodem anterior ramus anterior.

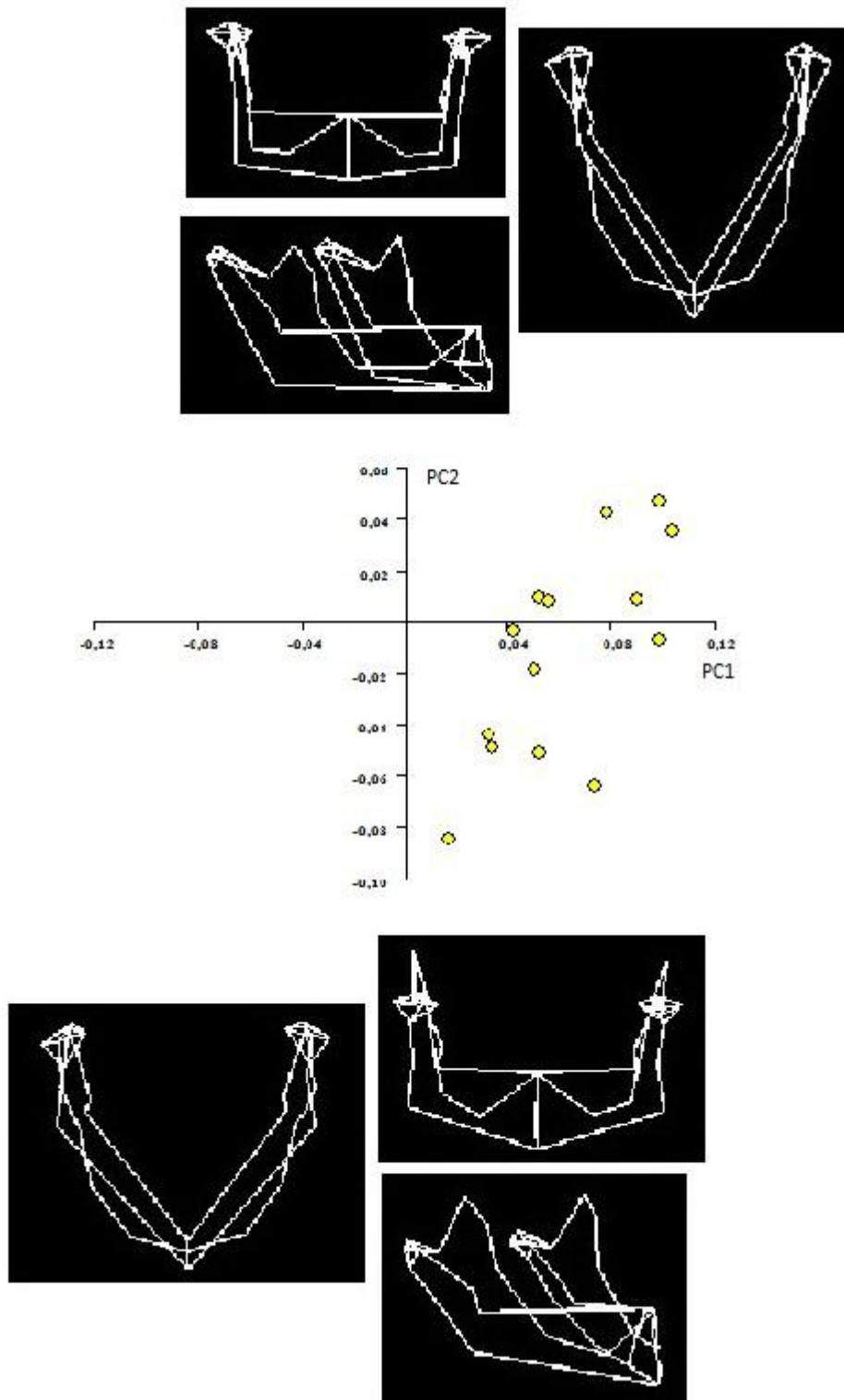
Processus coronoideus je u velmi malých dětí výrazně vyšší než *processus condylaris*, postupně se zvyšujícím se věkem se jejich velikosti vyrovnávají.

Výška těla roste v důsledku růstu alveolární části, tento růst je tím více viditelný, čím bližší oblast k molárům pozorujeme. Růst těla mandibuly probíhá více za *foramen mentale* než před ním – vytváří se prostor pro třetí stálé stoličky.

Vzdálenost bodů linguare a mandibular foramen se zvětšuje, mandibular foramen se posouvá mírně dolů a dopředu, zatímco pozice bodu linguare se téměř nemění.

Na obrázku 29 je také vidět vznikající prominence brady. Zatímco u novorozence je pogonion na úrovni infradentale nebo dokonce mírně za ním, u starších dětí a dospělých se posouvá anteriorně a stává se nejpřednějším bodem celé mandibuly. I přesto se ale zmenšuje relativní vzdálenost bodů pogonion a gnathion (ten se posouvá směrem dolů s růstem alveolárního výběžku).

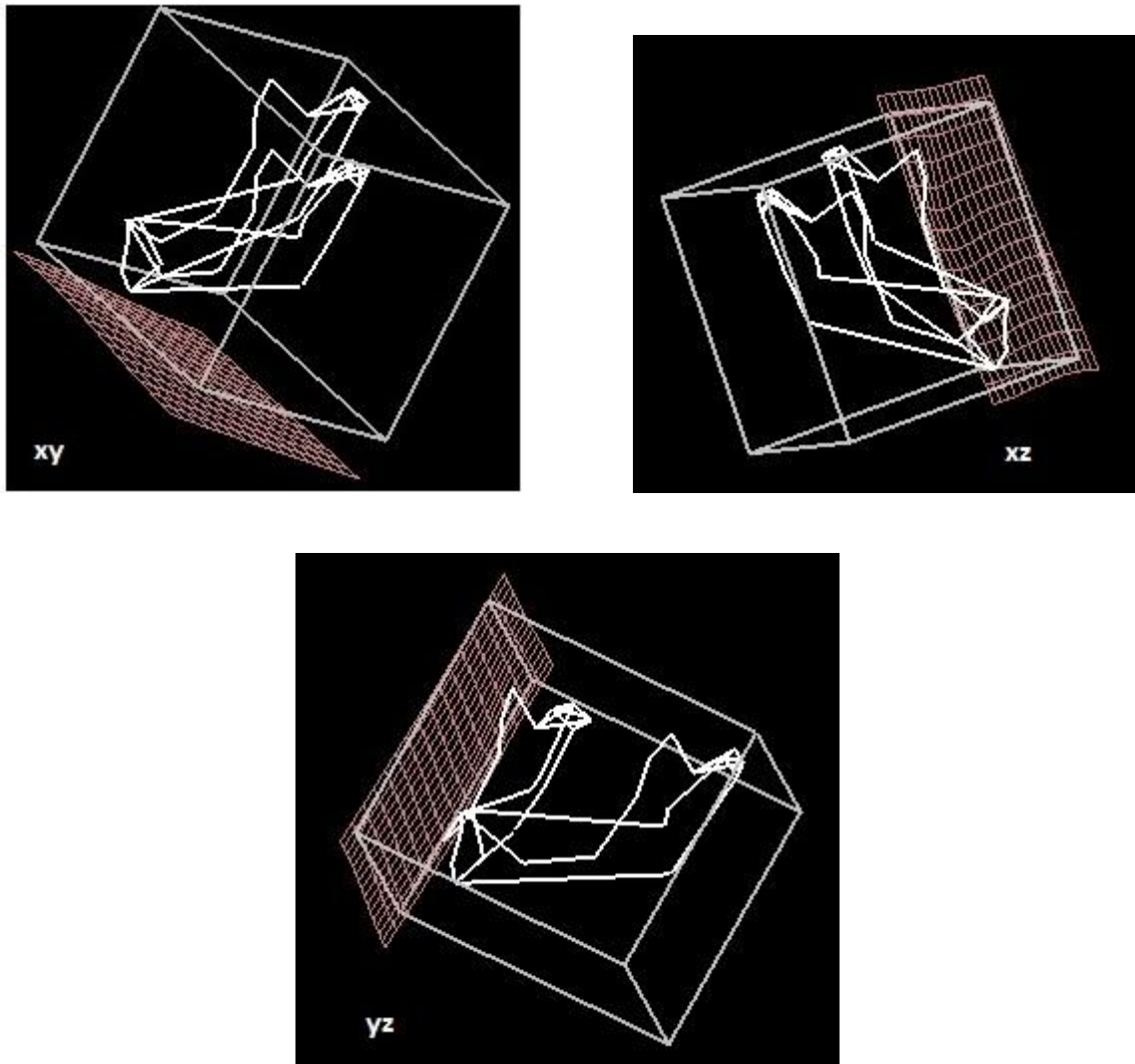
Na obrázku 30 jsou zobrazené dospělé mandibuly tak, jak je jejich tvar ovlivněn druhou komponentou. Dochází zde ke vzdalování bodů gonion a tím k relativnímu rozšiřování těla v oblasti *angulus*. Od pozitivních k negativním hodnotám PC2 se také výrazně prodlužuje *processus coronoideus*. Zároveň s jeho prodlužováním dochází ke snižování *processus condylaris*.



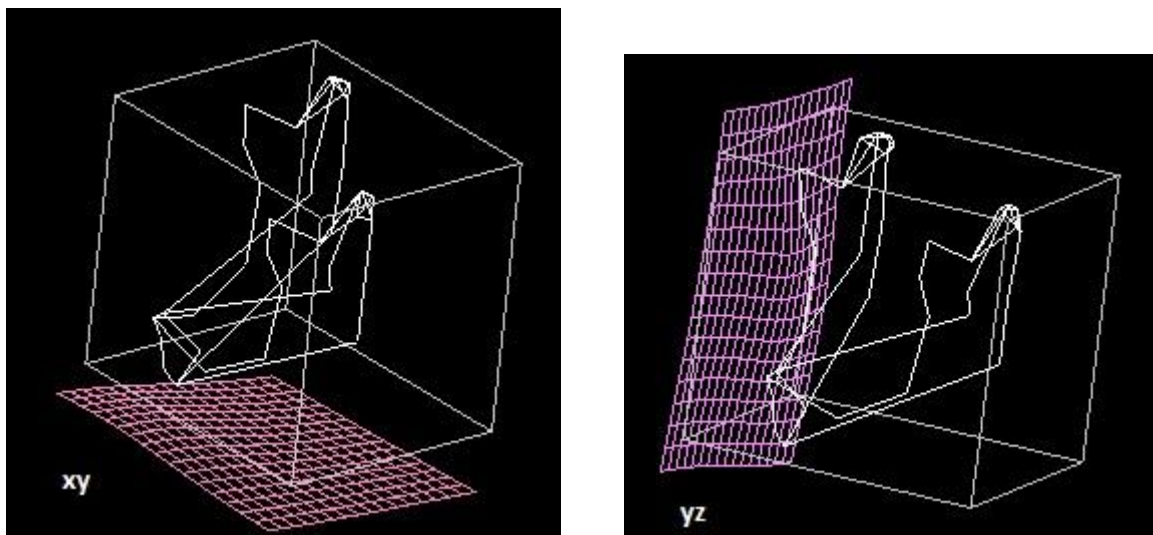
Obr. 30. Krajní tvary dospělé mandibuly dané PC2. a) kladné hodnoty, b) záporné hodnoty.

5.4.2 TPS metoda

Pro znázornění rozdílů mezi jednotlivými věkovými kategoriemi jsme dále využily metodu **tenkých ohebných plátků (TPS)**. Pro TPS jsme zvolily jako referenční mandibulu opět dolní čelist *infans 1* (0,25 roku) a *infans 2* (8 let) jako cílový tvar. Síť je zobrazena ve všech třech rovinách (xy, xz a yz), (Obr. 31 31). Pro porovnání je zde také v rovině xy zobrazeno promítnutí mandibuly *infans 1* do mandibuly *adultus* (obr. 32)



Obr. 31. Deformace tvaru mřížky při porovnání mandibuly *infans 1* a *infans 2*.

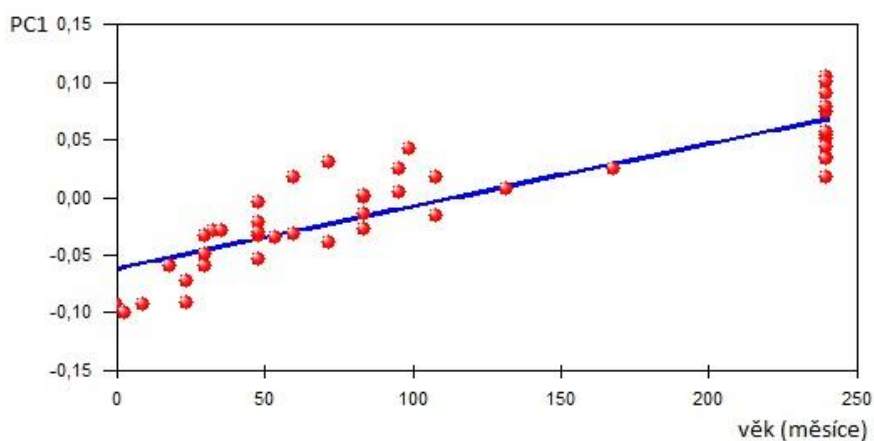


Obr. 32. Deformace tvaru mřížky při porovnání mandibuly infans 1 a adultus.

Změny tvaru, ke kterým dochází, jsou samozřejmě stejné. Při zobrazení touto metodou je ale jejich charakter v porovnání s PCA metodou méně zřejmý a to i v případě promítnutí dětské mandibuly do mandibuly dospělého jedince, kde je změna tvaru již velmi výrazná. Při hodnocení tvaru větve a těla mandibuly tato metoda již použita nebyla.

5.4.3 Regrese

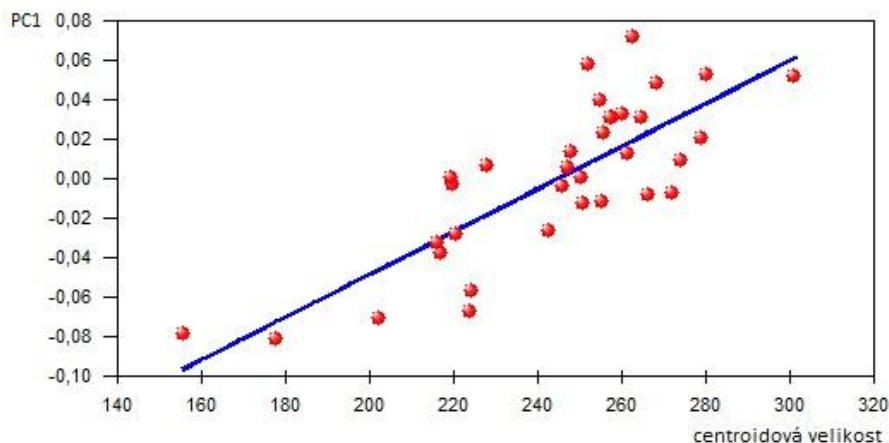
Na obrázku 33 je zobrazen graf závislosti první komponenty a chronologického věku. Tyto dvě veličiny spolu vzájemně korelují, tvar dolní čelisti tedy věkem jedince souvisí.



Obr. 33. Graf závislosti první komponenty a chronologického věku jedinců.

Na rozdíl od první komponenty, druhá a třetí komponenta s chronologickým věkem zkoumaných jedinců nekorelují a není zde téměř žádná závislost.

Stejně jako s chronologickým věkem, koreluje první komponenta výrazně i s centroidovou velikostí. Dokládá to průběh regresní přímky naobrázku 34. Tvar charakterizovaný první komponentou tedy souvisí nejen s chronologickým věkem, ale i s velikostí mandibuly.



Obr. 34. Graf závislosti první komponenty a centroidové velikosti mandibul.

Druhá ani třetí komponenta a centroidová velikost na sobě téměř nezávisí, je zde pouze velmi malá negativní korelace.

5.4.4 MANOVA

Aby byl test proveden, bylo potřeba snížit počet landmarků na pět (gnathion, condylion dx et sin a gonion dx et sin). Jedná se o body, které nejvíce ovlivňují první komponentu. Důvodem redukce počtu bodů je fakt, že počet jedinců by měl být u 3D dat třikrát větší než počet souřadnic landmarků.

Hodnota testu ($F=12,96$; $p=1,017 \cdot 10^{-22}$) udává, že mezi sledovanými věkovými skupinami existuje rozdíl v celkovém tvaru mandibuly, hodnota testu však konkrétně neudává, mezi kterými skupinami daný rozdíl je. Abychom zjistili, mezi kterými skupinami rozdíly navzájem jsou, byl použit Hottelingův test a Bonnferoniho korekce (tab. 7).

Tab. 7. Výsledné p-hodnoty Hottelingova testu a Bonferoniho korekce

věk. skupina	infans 1 (0 - 3)	infans 1 (4 - 7)	infans 2	adultus
infans 1 (0 - 3)		0,000162438	0,0114664	5,87022 E-07
infans 1 (4 - 7)	0,000974629		0,323926	6,26403 E-05
infans 2	0,0687982	1		0,00644257
adultus	3,52213 E-06	0,000375842	0,0386554	

Podle hodnot pravděpodobností Hottelingova testu je patrné, že tento rozdíl je skutečně signifikantní všude, kromě kategorie *infans 1* ve věku 4 – 7 let a *infans 2*. Tento stav odpovídá grafu PCA (viz obr. 22), kde jsou právě tyto dvě skupiny mandibul nejméně oddělené. V tomto období ontogeneze dochází tedy k nejmenším tvarovým změnám.

Protože i mezi skupinou *infans 2* a dospělými mandibulami existuje signifikantní rozdíl, je zřejmé, že i v období puberty dochází k významným tvarovým změnám dolní čelisti.

5.5 Analýza tvaru větve mandibuly

Při posuzování ontogenetických tvarových změn větve mandibuly byly používány stejné metody jako v případě celé mandibuly. Metoda TPS není příliš přehledná a výsledky jsou mnohem lépe znatelné na grafu PC skóre a v na něm závislé vizualizaci, provedené v programu Morphologika². Proto zde budou prezentovány pouze výsledky tohoto zobrazení a nikoli metoda TPS.

Pro posouzení tvaru větve mandibuly bylo použito 12 landmarků (tab. 3). Jsou to landmarky tvořící obrys levé větve mandibuly a oblast *foramen mandibulae*. Pro přehlednost zde nejsou zahrnuty body condyilion mediale a condyilion laterale.

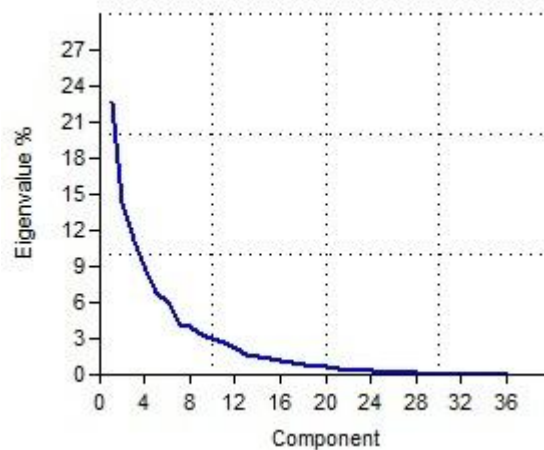
5.5.1 Analýza hlavní komponenty

Tvar větve mandibuly ovlivňuje celkem 36 hlavních komponent. Na **suťovém grafu** (obr. 35) není jasně zřetelná hranice, kde se mění tvar křivky, proto byl počet hodnocených komponent určen také podle **eigenvalues**. Nejvíce variability původního souboru vysvětlují první tři komponenty (22,675%, 14,396% a 11,14%), tyto komponenty budou tedy nadále hodnoceny.

Tab. 8. Statistické ukazatele PCA analýzy (eigenvalues, variance) pro jednotlivé komponenty

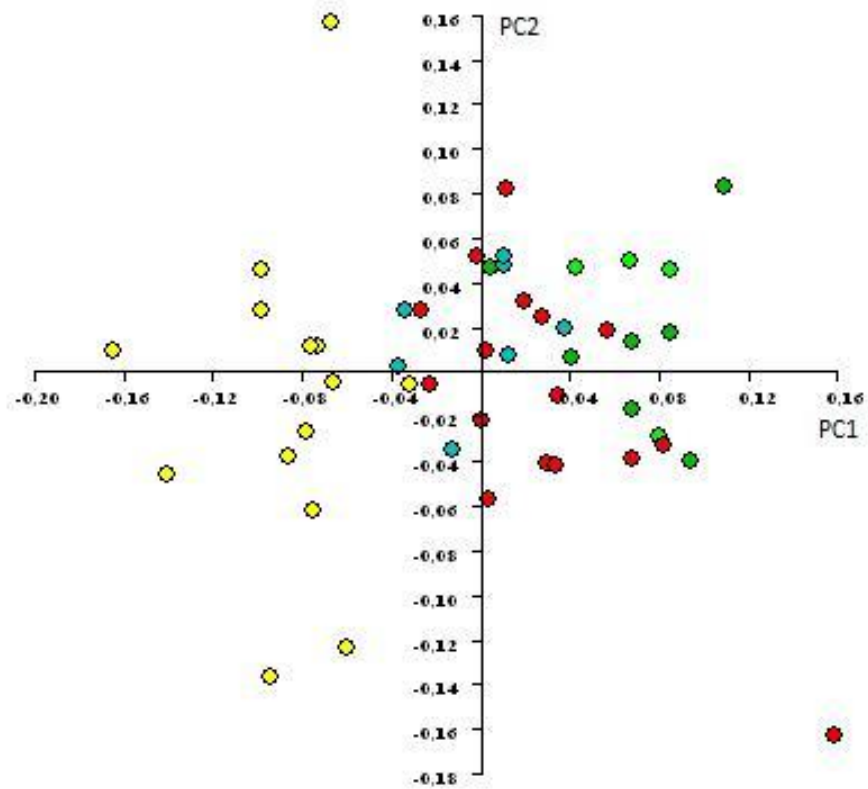
PC	Eigenvalue	% variance
1	22,9188	22,675
2	14,5511	14,396
3	11,2595	11,14
4	8,83083	8,7369
5	6,89438	6,8211
6	6,12262	6,0575
7	4,21679	4,1719
8	4,03779	3,9949
9	3,33957	3,3041
10	3,05219	3,0197
11	2,76035	2,731
12	2,17799	2,1548
13	1,72499	1,7066
14	1,47264	1,457
15	1,2811	1,2675
16	1,15039	1,1382
17	1,05341	1,0422
18	0,897046	0,88751

PC	Eigenvalue	% variance
19	0,630971	0,62426
20	0,607633	0,60117
21	0,457569	0,4527
22	0,391922	0,38775
23	0,304596	0,30136
24	0,256016	0,25329
25	0,187713	0,18572
26	0,173241	0,1714
27	0,129213	0,12784
28	0,0942035	0,093202
29	0,063829	0,06315
30	0,0363844	0,035998
31	5,54849E-12	5,4895E-12
32	1,61008E-12	1,593E-12
33	1,05523E-12	1,044E-12
34	8,06668E-13	7,9809E-13
35	4,38709E-13	4,3404E-13
36	2,45365E-13	2,4276E-13

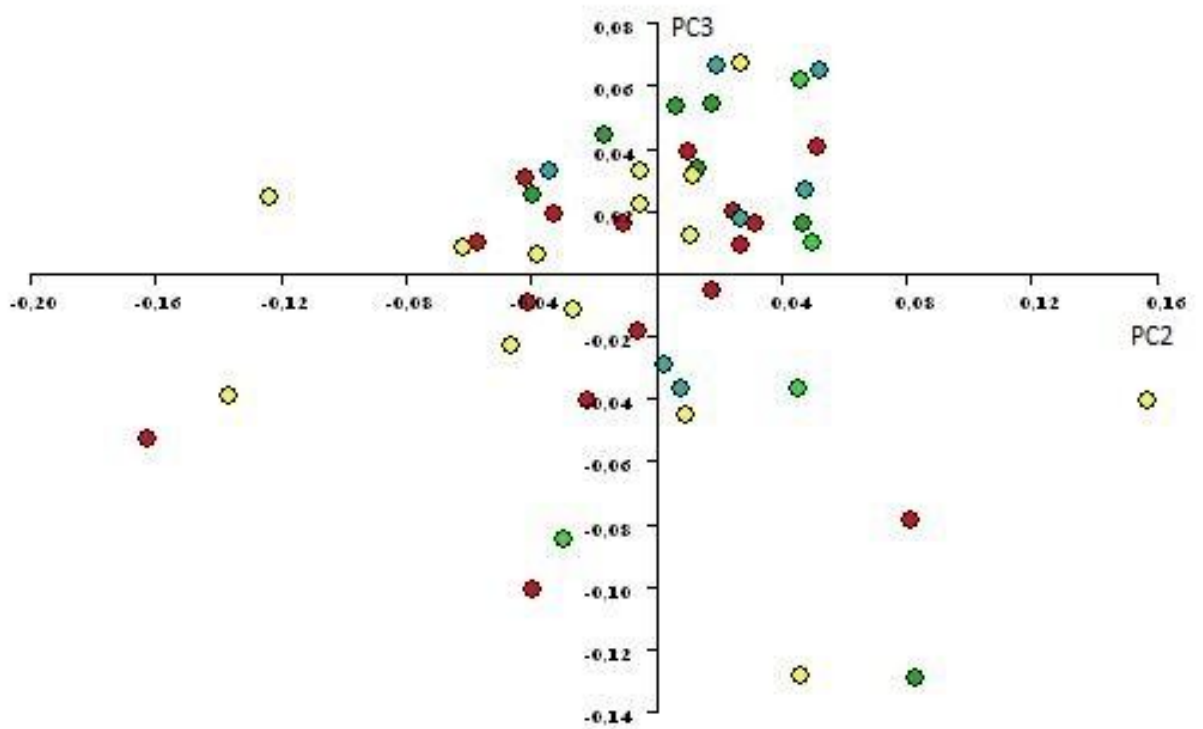


Obr. 35. Scree plot.

Z grafů komponentního skóre na obrázcích 36 a 37 je patrné, že s věkovým rozdělením dolních čelistí souvisí pouze první komponenta. To potvrzuje i průběh regresních přímek (obr. 41).

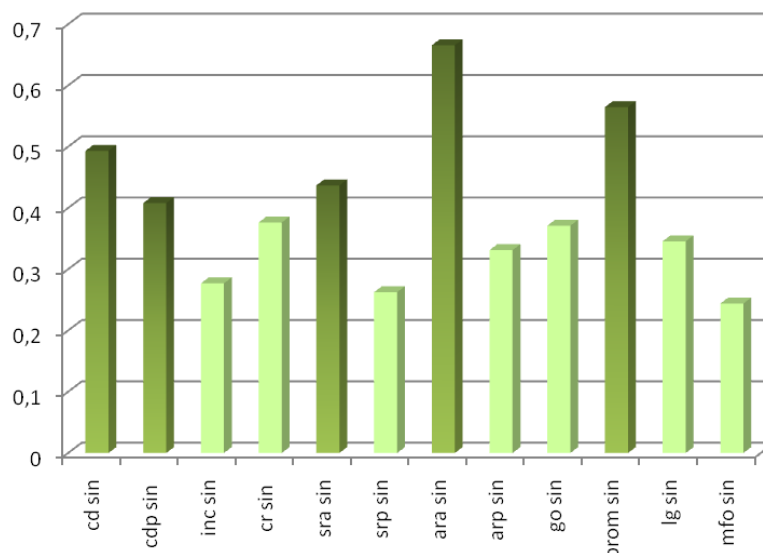


Obr. 36. Graf PCA (PC1 a PC2).



Obr. 37. Graf PCA (PC2 a PC3).

Na obrázku 38 jsou zobrazeny hodnoty **zátěží** pro první komponentu (komponentu, která na základě PC skóre a regresní přímky souvisí s věkem jedinců). První komponentu tedy nejvíce ovlivňují landmarky anterior ramus anterior, prominentia lateralis, condylion, superior ramus anterior a condylion posterior.

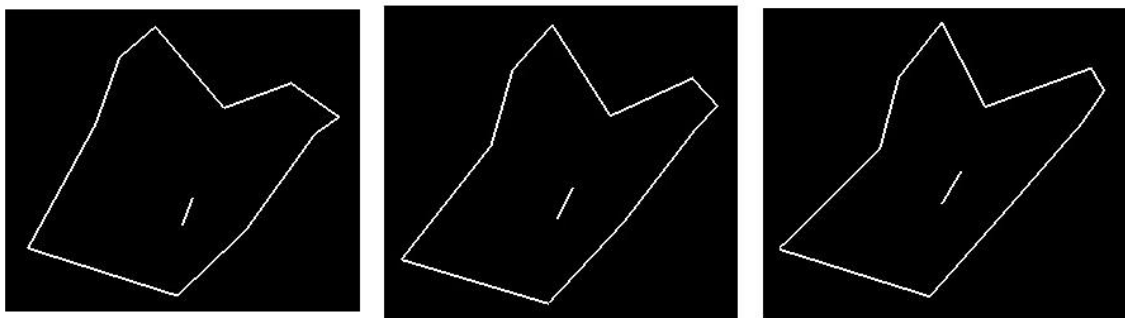


Obr. 38. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 1. komponenty pro jednotlivé landmarky.

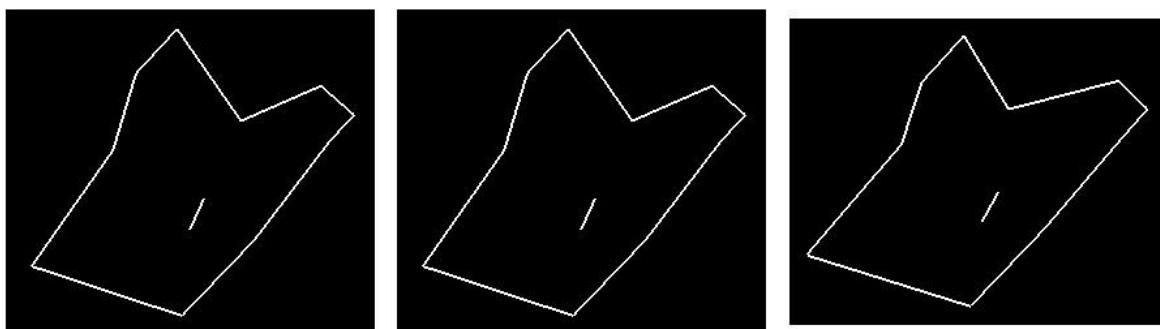
Tvarové vývojové změny větve dolní čelisti jsou zobrazeny naobrázcích 39 a 40.

Nejvýraznější změnou je posun bodu anterior ramus anterior posteriorně a mírně inferiorně, a také posun bodu superior ramus anterior. Dochází tedy ke vzájemnému přibližování bodů superior ramus anterior a superior ramus posterior a bodů anterior ramus anterior a anterior ramus posterior, a tím ke zmenšování největší a nejmenší šířky větve mandibuly. K tomuto zmenšení dochází také proto, že body na zadní hranici větve (condylion posterior, superior ramus posterior a anterior ramus posterior) se posouvají směrem anteriorně a superiorně. Landmark gonion se dostává na více inferiorní pozici.

Body mandibular foramen a linguare se od sebe postupně vzdalují, linguare se posouvá superiorně a přibližuje se k bodu incisurale. Incisurale se dostává do více anteriorní polohy. *Incisura mandibulae* se prohlubuje díky tomu, že kondyl roste – bod condylion se posouvá více dozadu a nahoru. Prominentia lateralis se posouvá inferiorním a anteriorním směrem.



Obr. 39. Změna tvaru větve mandibuly v ontogenezi v závislosti na PC1. Pohled ze strany.

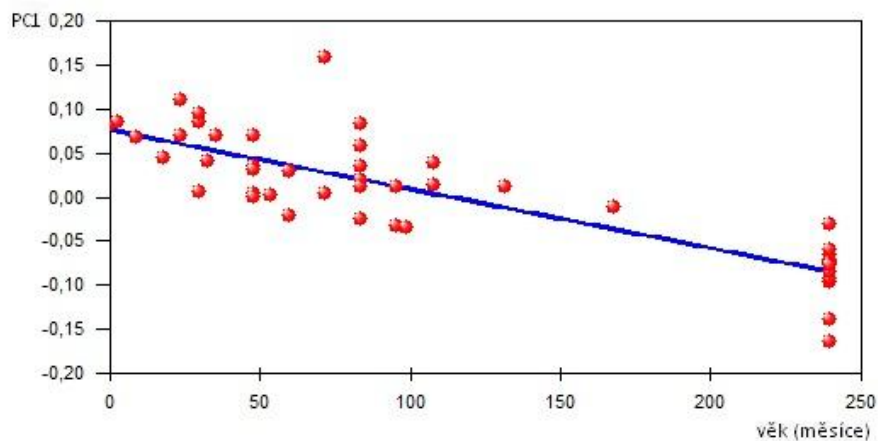


Obr. 40. Změna tvaru větve mandibuly v ontogenezi v závislosti na PC2. Pohled ze strany.

5.5.2 Regrese

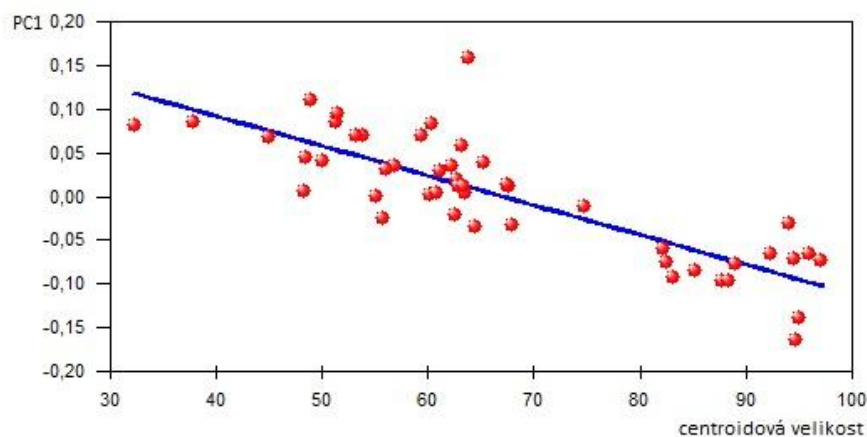
Pro sestavení regresní přímky, vyjadřující závislost chronologického věku (popř. centroidové velikosti) a hlavních komponent byly dospělé mandibuly opět stanoveny jako jedinci ve věku 20 let.

V případě chronologického věku je zřejmá závislost první komponenty (obr. 41), druhá a třetí téměř vůbec nekorelují, tvar větve mandibuly s věkem souvisí.



Obr. 41. Graf závislosti první komponenty a chronologického věku jedinců.

S centroidovou velikostí negativně koreluje první komponenta (obr. 42), u druhé komponenty průběh regresní přímky závislost nepotvrzuje, stejně tak u třetí. Výsledky obou grafů na obrázcích 41 a 42 lze shrnout tak, že tvar i velikost větve mandibuly se s věkem prokazatelně zvětšuje.



Obr. 42. Graf závislosti první komponenty a centroidové velikosti mandibul.

5.5.3 MANOVA

Pro vícerozměrnou analýzu rozptylu bylo použito těchto pět landmarků: condylion sin, condylion posterior sin, superior ramus anterior sin, anterior ramus anterior sin a prominentia lateralis sin. Jsou to význačné body, které nejvíce ovlivňují první komponentu.

Hodnota testu ($F=13,15$; $p=5,721 \text{ E-}23$) stejně jako u celé mandibuly ukazuje, že mezi sledovanými věkovými skupinami existuje rozdíl v celkovém tvaru mandibuly. Pro

zjištění, mezi kterými skupinami rozdíly navzájem jsou, byl opět použit Hottelingův test a Bonnferoniho korekce (tab. 9).

Tab. 9. Výsledné p-hodnoty Hottelingova testu a Bonnferoniho korekce

věk. skupina	infans 1 (0 - 3)	infans 1 (4 - 7)	infans 2	adultus
infans 1 (0 - 3)		0,290355	0,221035	1,01534 E-06
infans 1 (4 - 7)	1		0,0652521	1,7428 E-07
infans 2	1	0,391512		0,00720784
adultus	6,09204 E-06	1,04568 E-06	0,043247	

Výsledek Hotellingova testu udává, že signifikantní rozdíl existuje pouze mezi skupinou dospělých mandibul a všemi ostatními skupinami. Tvar větve mandibuly se tedy pravděpodobně mění výrazněji až v období puberty.

5.6 Analýza tvaru těla mandibuly

Pro zjištění ontogenetických změn tvaru těla mandibuly jsem opět použila stejné metody jako v předchozích dvou případech. Výsledek metoda TPS zde také z důvodu její malé přehlednosti oproti vizualizaci na základě grafu PCA není popsán.

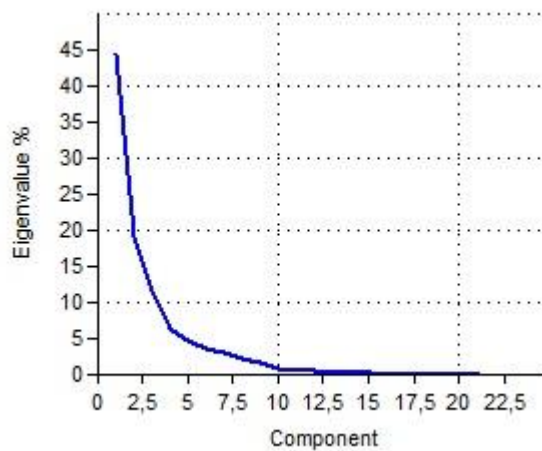
Pro zkoumání tvarových změn těla dolní čelisti, ke kterým dochází během vývoje jedince, bylo použito celkem 7 landmarků, ohraničujících tvar těla mandibuly. Jejich seznam uvádí tabulka 4.

5.6.1 Analýza hlavní komponenty

V tabulce 10 je zobrazeno všech 21 hlavních komponent, které vysvětlují variabilitu tvaru těla mandibuly, a odpovídající **eigenvalues**. Z největší části je to první komponenta (44,414%), významné jsou také druhá a třetí komponenta (19,105% a 11,747%), což je patrné i ze **scree plotu**.

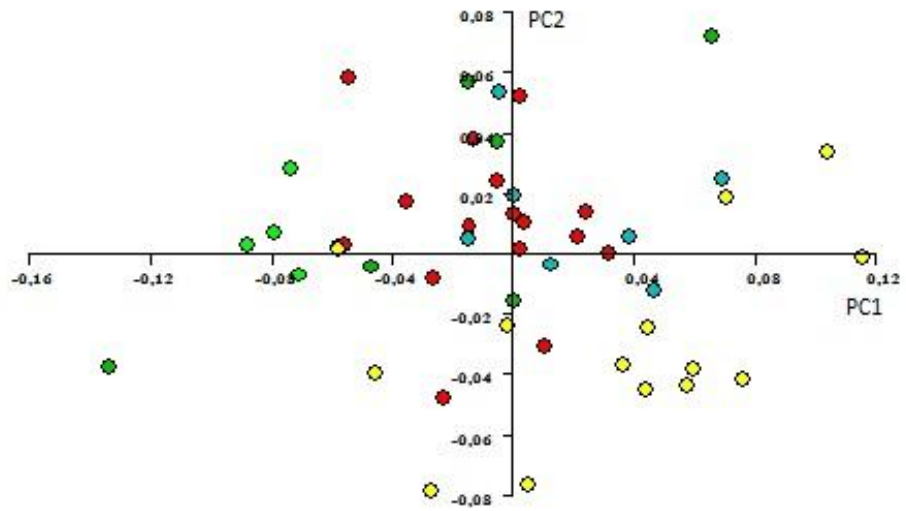
Tab. 10. Statistické ukazatele PCA analýzy (eigenvalues, variance) pro jednotlivé komponenty

PC	Eigenvalue	% variance
1	24,6054	44,414
2	10,5844	19,105
3	6,50771	11,747
4	3,50537	6,3273
5	2,67366	4,826
6	2,03923	3,6809
7	1,7034	3,0747
8	1,28045	2,3113
9	0,924558	1,6689
10	0,509341	0,91938
11	0,371446	0,67047
12	0,259774	0,4689
13	0,175963	0,31762
14	0,148021	0,26718
15	0,111821	0,20184
16	5,91234E-12	1,0672E-11
17	5,19753E-12	9,3817E-12
18	4,44407E-12	8,0217E-12
19	3,32918E-12	6,0093E-12
20	2,12499E-12	3,8357E-12
21	1,23542E-12	2,23E-12

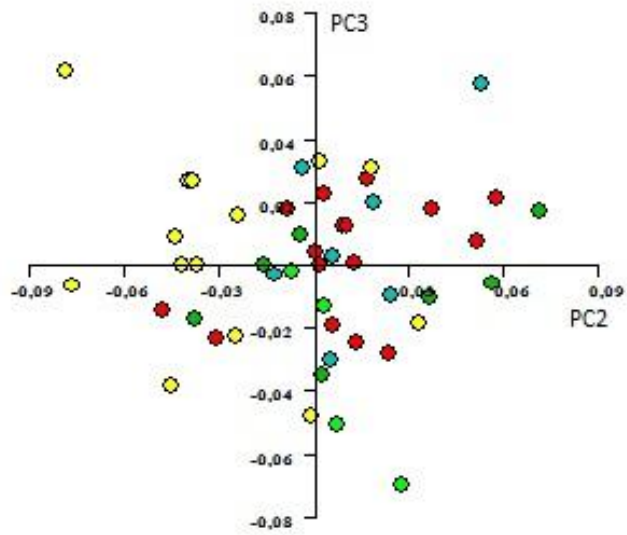


Obr. 43. Scree plot.

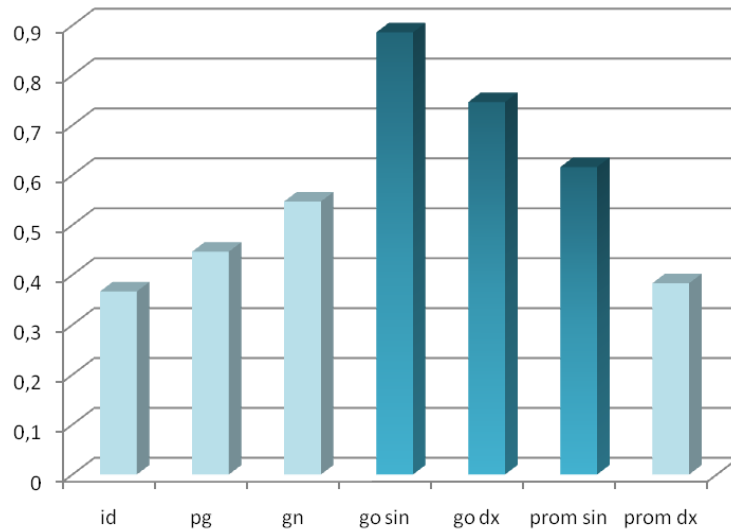
PCA grafy na obrázcích 44 a 45 ukazují závislosti první a druhé a druhé a třetí komponenty. Podle rozdělení bodů v grafech je zřejmé, že s věkem souvisí první a druhá komponenta.



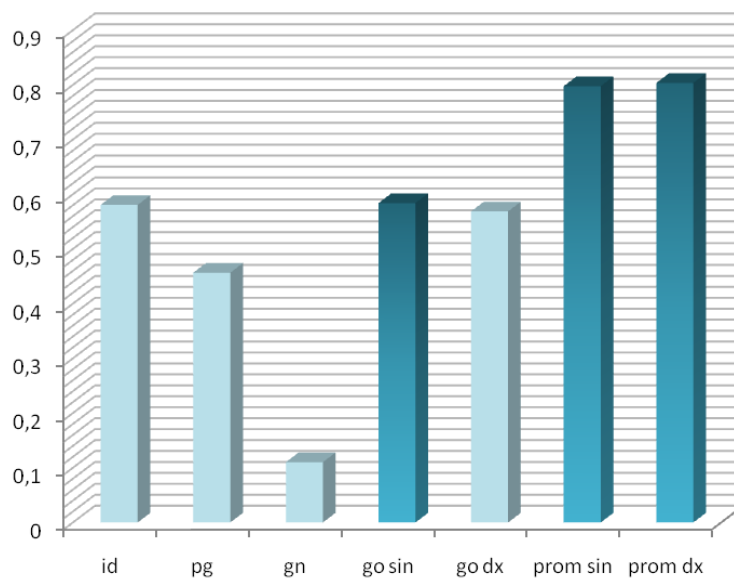
Obr. 44. Graf PCA (PC1 a PC2).



Obr. 45. Graf PCA (PC2 a PC3).



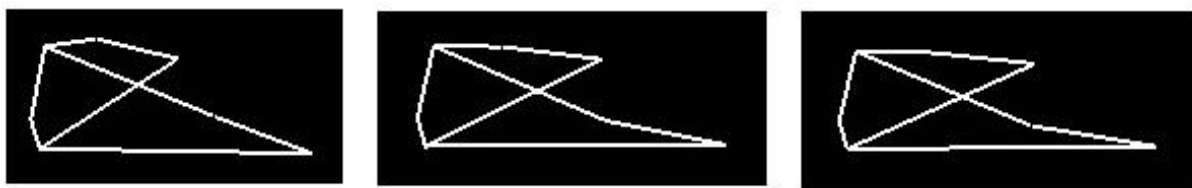
Obr. 46. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 1. komponenty pro jednotlivé landmarky.



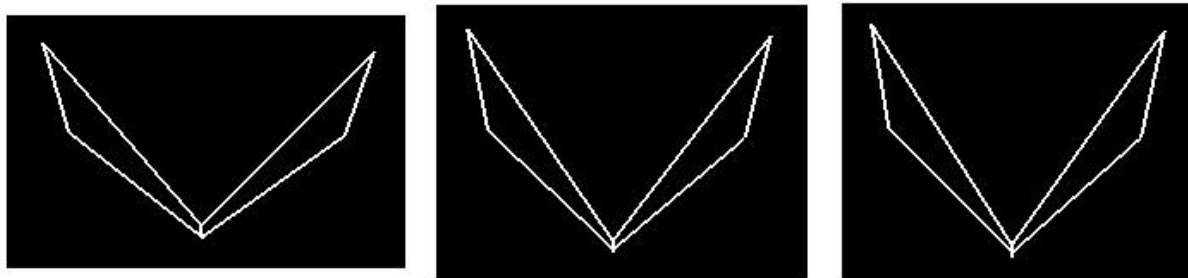
Obr. 47. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 2. komponenty pro jednotlivé landmarky.

Regresní přímka, udávající míru korelace hlavních komponent a věku má takový průběh, kdy lze za s věkem korelovanou považovat i druhou komponentu (obr. 53). Proto je zde pro úplnost doplněn graf **loadings** i pro tuto PC.

Tvarové změny, ke kterým dochází v ontogenezi, jsou opět popsány za pomoci vizualizace z programu Morphologika² (obr. 48 a 49).



Obr. 48. Změna tvaru těla mandibuly v ontogenezi. Pohled ze strany.



Obr. 49. Změna tvaru těla mandibuly v ontogenezi. Pohled seshora.

Je zcela zřejmé, že nejmarkantnější změnou v této oblasti dolní čelisti je prodlužování oblasti třetích molárů právě v důsledku jejich růstu. K prodlužování dochází tedy za bodem prominentia lateralis, bod gonion se vzdaluje od oblasti brady. V této přední části mandibuly také během ontogeneze prominuje bod pogonion.

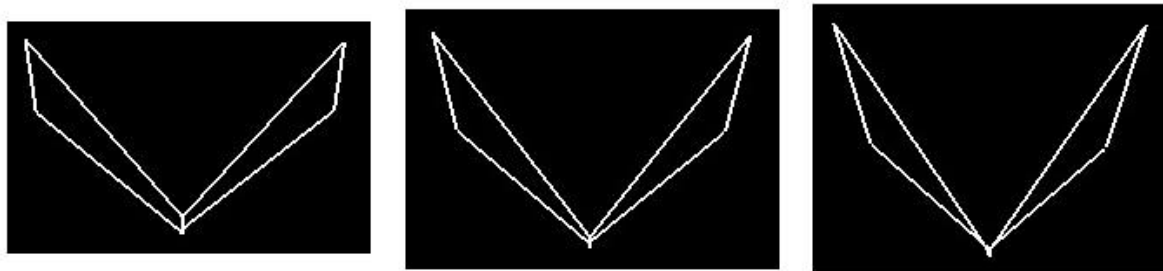
Při pohledu seshora (obr. 49) je vidět zužování těla dolní čelisti neboli přibližování všech zde zobrazených laterálních bodů k mediální rovině.

Na obrázcích 50 a 51 nejsou vybrány tvary konkrétních mandibul, ale je sledována změna tvaru v závislosti na první a druhé komponentě zároveň.

Změny, ke kterým dochází v průběhu růstu, jsou obdobné jako výše popsané. Rozdíl je patrný u bodu prominentia lateralis, který se v první části na obrázku 50 nachází více nahoře.



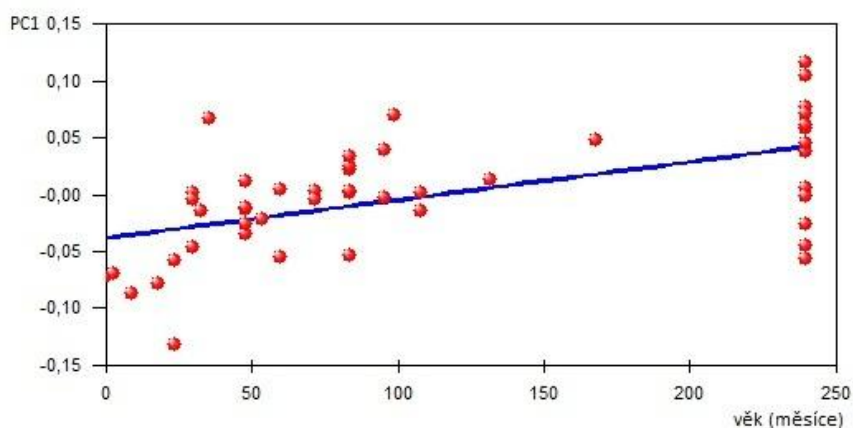
Obr. 50. Změna tvaru těla mandibuly v ontogenezi. Pohled ze strany.



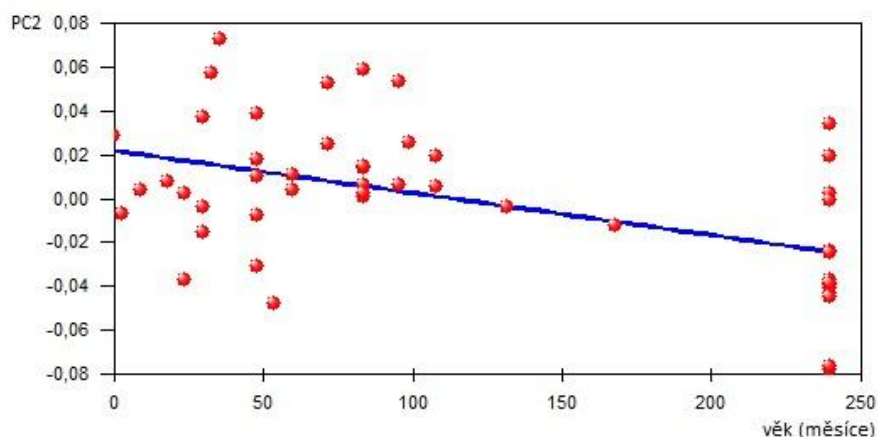
Obr. 51. Změna tvaru těla mandibuly v ontogenezi. Pohled seshora.

5.6.2 Regrese

Z průběhu regresní přímky na grafech závislosti první a druhé komponenty na kalendářním věku (obr. 52 a 53) je zřejmá závislost první komponenty a věku, a také menší negativní korelace mezi druhou komponentou věkem. Třetí komponenta je na věku téměř nezávislá.

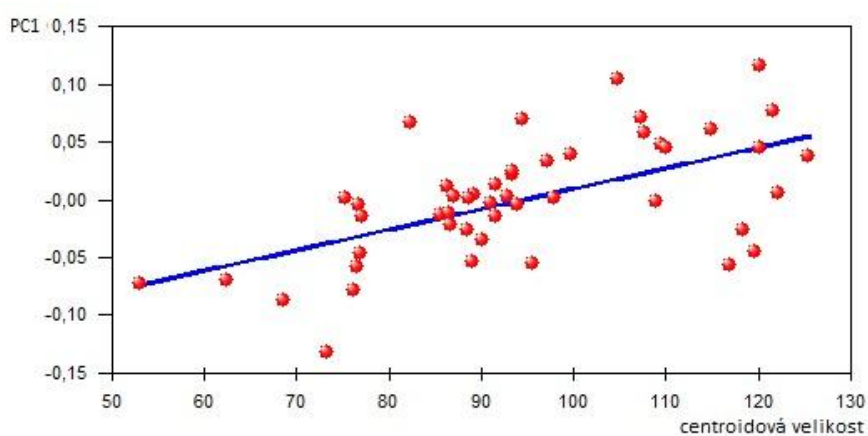


Obr. 52. Graf závislosti první komponenty a chronologického věku jedinců.

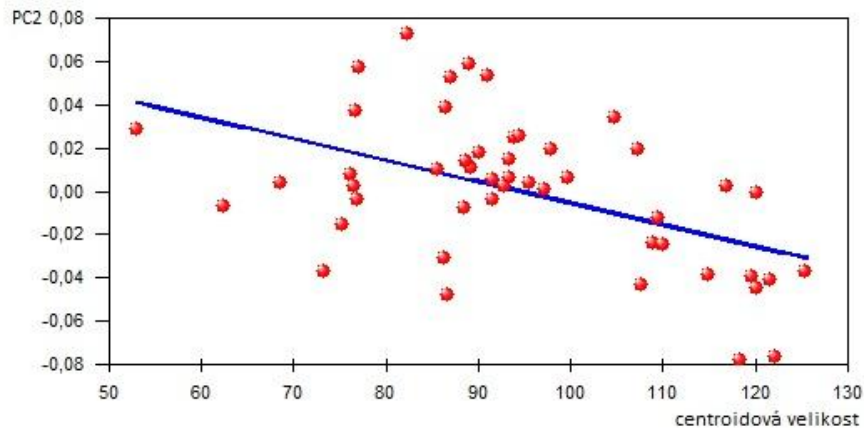


Obr. 53. Graf závislosti druhé komponenty a chronologického věku jedinců.

K obdobným závěrům jako u chronologického věku dojdeme i při pohledu na korelace komponent a centroidové velikosti (obr. 54 a 55). Také je zde velká korelace s první komponentou a menší negativní korelace s druhou komponentou. Třetí komponenta je závislá na centroidové velikosti výrazně méně. Výsledky grafů na obrázcích 52 až 55 lze shrnout tvrzením, že tvar i velikost těla mandibuly se s věkem zvětšuje.



Obr. 54. Graf závislosti první komponenty a centroidové velikosti mandibul.



Obr. 55. Graf závislosti druhé komponenty a centroidové velikosti mandibul.

5.6.3 MANOVA

Pro zdárný průběh testu MANOVA bylo opět třeba vybrat pět landmarků, které nejvíce ovlivňují komponenty související s věkem, v tomto případě tedy první a druhou komponentu. Jsou to body infradentale, gonion dx et sin a prominentia lateralis dx et sin.

Z hodnoty testu ($F=8,008$; $p=1,87 \text{ E-}15$) je zřejmé, že i v případě sledování těla mandibuly mezi sledovanými věkovými skupinami existuje rozdíl v celkovém tvaru mandibuly. Využitím Hottelingova testu a Bonnferoniho korekce jsem zjistila, mezi kterými skupinami konkrétně je signifikantní rozdíl (tab. 11 Tab. 11).

Tab. 11. Výsledné p-hodnoty Hottelingova testu a Bonnferoniho korekce

věk. skupina	infans 1 (0 - 3)	infans 1 (4 - 7)	infans 2	adultus
infans 1 (0 - 3)		0,0143673	0,00338567	0,000162906
infans 1 (4 - 7)	0,0862038		0,159322	1,56681 E-05
infans 2	0,020314	1		0,0286206
adultus	0,000977438	9,40083 E-05	0,171724	

Podle výsledných p-hodnot v tabulce 11 je tedy signifikantní rozdíl mezi všemi věkovými skupinami dolních čelistí, výjimku tvoří pouze srovnání mandibul skupiny *infans 1* (4 – 7 let) s *infans 2*.

6 Diskuze

Diplomová práce se zabývá ontogenezí lidské mandibuly, pozorováním jejích tvarových změn u různých jedinců ve věku od narození po pubertu. Jako materiál sloužilo 36 dětských a 14 dospělých mandibul. Cílem práce bylo především definovat tvarové změny mandibuly, ke kterým dochází během vývoje jedince. Dále byl statisticky porovnáván rozdíl tvaru mandibuly mezi skupinami jedinců v daných věkových rozmezech (*infans 1 do 3 let, infans 1 do 7 let, infans 2* a dospělé mandibuly). Pro srovnání výsledků byl také určen dentální věk jedinců metodou MFH (1963) a Ubelaker (1978).

Srovnání chronologického a dentálního věku u dětí

Dentální věk jedinců byl určován dvěma metodami využívajícími mineralizaci dočasných a stálých zubů. Jsou to metody podle Mooreese, Fanninga a Hunta (1963), resp. Smitha (1991b) a podle Ubelakera (1978). Protože určení dentálního věku není hlavním cílem této diplomové práce, byla zde pro srovnání s chronologickým věkem použita pouze metoda podle Ubelakera (1978). Kubelková (2006) ve své diplomové práci vypracovala normy zubního věku chlapců pro současnou českou populaci a v navazující studii tuto normu použila při odhadu dentálního věku u části shodného souboru dětských mandibul [Kubelková, 2006]. Srovnání jejího odhadu dentálního věku s mým je uvedeno v tabulce 12.

Z tabulky je zřejmé, že zubní věk určený mnou je vždy vyšší než zubní věk stanovený podle stádií určených Kubelkovou (1996), ale zároveň bližší věku kalendářnímu. V naprosté většině je námi oběma určený dentální věk nižší než věk chronologický. To přisuzuji faktu, že zkoumaný soubor jedinců pochází ze sociálně slabších vrstev a tomu pravděpodobně odpovídal i jejich zdravotní stav. U dětí nepřipadá v úvahu přirozená smrt, jejich vývoj tedy neprobíhal normálně, a proto je zřejmě dentální věk opožděný.

Tab. 12. Srovnání výsledků určení dentálního věku metodou MFH

mandibula	pohlaví	chronologický věk (roky)	dentální věk (MFH) (roky) Kiebelová	dentální věk (MFH) (roky) - Kubelková
3708 - 809	m	6		5,16
1980 - 745	f	7	6,01	5,27
3710 - 811	f	7	6,49	5,32
2586 - 777	m	7	6,83	5,72
2070 - 755		7	6,21	5,54
2071 - 756		7	5,84	6,01
1999 - 746	f	8	6,9	5,66
1597 - 715		8	8,26	6,86
3733 - 821	f	8,25	7,51	6,82
2073 - 758	f	9	7,69	6,9
3711 - 812	f	9	7,41	6,94
3713 - 814	m	11	8,92	7,67
2591 - 779	m	14	13,15	9,37

Hedge a Sood (2002) prováděli srovnání dentálního a chronologického věku. Dentální věk byl určován metodou podle Demirjiana (1973). Materiál ke studii sestával ze 197 zdravých dětí ve věku 6 až 13 let, náhodně vybraných z různých škol v indickém Belgaumu. Hodnoceny byly panoramatické rentgenogramy. Výsledky dentálního a chronologického věku se u těchto dětí téměř nelišily, rozdíl činil 51 dní u chlapců a 15 dní u dívek. Důvodem pro rozdílné závěry této a mé a Kubelkové (2006) práce se zdá být právě rozdílný materiál – zdravé děti versus děti zemřelé pravděpodobně ne přirozenou smrtí.

Metoda podle Ubelakera (1978) je pro potřeby této diplomové práce vhodnější, jelikož je určení podle jednotlivých diagramů snazší a tolerance jednotlivých věkových kategorií je větší. Díky tomu se pouze dvě mandibuly zařadily do jiné věkové skupiny. Jsou to mandibula č. 1970 - 737 a 2753 - 782, u obou je chronologický věk 4 roky a dentální věk 3 roky (\pm 12 měsíců). Dostaly se tedy z kategorie *infans I* (4 – 7 let) do kategorie *infans I* (0 – 3 roky), nicméně ani v jedné z kategorií tyto jedinci nijak nevybočují. Při rozdělování mandibul jsem vycházela ze střední hodnoty věku, uvedené u jednotlivých diagramů, toleranci jsem nebrala v tomto případě v úvahu. Pokud bychom jí ale uvažovali, je možné, že zmíněné dvě mandibuly mohou ve skutečnosti patřit do svých původních věkových skupin. Pokud u těchto dvou jedinců přihlídneme také k dentálnímu

věku, určenému metodou MFH (1963), resp. podle Smitha (1991b), vidíme, že zatímco mandibula č. 1970 -737 se svým dentálním věkem (3,67 let) chronologickému věku blíží, tak u mandibuly 2753 - 782 je už rozdíl větší (zubní věk je jen 1,9 let). U tohoto jedince pravděpodobně došlo ke zpomalení tělesného vývoje. Tvar mandibuly výše zmíněných jedinců s odlišným dentálním a kalendářním věkem jsem sledovala v rámci PCA analýzy, ale věková diskrepance se ve tvaru mandibuly neprojevila, tito jedinci tvarově odpovídali chronologickému věku neboli shluku v příslušném grafu PC skóre.

Při posuzování grafu PCA není v případě celé mandibuly žádný jedinec, který by nebyl součástí jednoho shluku (obr. 22). U větve mandibuly už se takoví jedinci vzdálení od ostatních vyskytují (obr. 36). Jedná se o mandibuly č. 826 - 707 a 3708 - 809. Při použití dentálního věku namísto chronologického se ale jejich zařazení do věkové skupiny nemění. Obdobná situace nastává u těla mandibuly, kdy je vidět, že jeden jedinec se velmi vzdaluje ostatním ze stejné věkové skupiny. Zde se jedná o mandibulu č. 1540 - 712, a i tato mandibula se zařazuje při použití dentálního věku do stejné skupiny.

Pokud se týče regrese dentálního věku a hlavních komponent, v případě hodnocených komponent je průběh regresní přímky téměř shodný, jak při posuzování chronologického věku. Výjimku tvoří pouze tělo mandibuly, kde je v případě druhé komponenty u dentálního věku korelace méně výrazná.

Ontogenetické tvarové změny mandibuly

Ontogenetické tvarové změny dolní čelisti sledovalo mnoho autorů. Jedním z nejzákladnějších poznatků o vývoji mandibuly a s ním souvisejícími tvarovými změnami je zmenšování úhlu mandibuly od narození do dospělosti a následné opětovné zvětšování ve stáří (např. Gray, 1918 nebo Čihák, 2001). U dětí se tento fakt samozřejmě potvrdil, u dospělých mandibul není znám věk, a proto není možné změnu goniového úhlu v tomto období pozorovat.

V souvislosti s postnatálním růstem celého obličeje se problematice vývoje mandibuly věnoval Enlow (1966, 1982). Při posuzování změn tvaru větve mandibuly podle cephalogramů s určenými landmarky, u kterých nedochází k přílišnému posunu během růstu – kraniální baze a turecké sedlo, dochází podle něj mj. ke změnám výšky. Vlivem subperiostálních přírůstků nové kosti roste kondylární výběžek v cephaloposteriorním směru. Podle mých výsledků se větev mandibuly prodlužuje směrem dozadu a nahoru, v tomto ohledu se tedy závěry shodují. Enlow dále zdůrazňuje posun posteriorního okraje

mandibuly směrem dozadu, k čemuž podle mě nedochází, tento okraj zůstává víceméně na stejném místě, pouze se mění proporce větve ve smyslu zvýraznění její nejmenší šířky. Růst posteriorního okraje větve mandibuly zmiňuje i mnoho dalších autorů, např. Sperber (1991) nebo částečně Björk a Skieller (1983). Tito autoři pozorovali na rentgenových snímcích růst mandibuly u několika jedinců. Při superponaci nákresů mandibul stejného jedince různého věku obvykle dochází k růstu posteriorního okraje větve dolní čelisti, ale existují i jedinci, u kterých tomu tak není. Je tedy pravděpodobné, že růst posteriorního okraje mandibuly je u každého jedince individuální.

V názorech na tvarové změny koronoidního výběžku se autoři příliš nerozcházejí. Přirůstá apozicí na svém vrcholu směrem vertikálně a posunuje se apozicí a resorpcí směrem dozadu. Takto popisují výběžek např. Enlow (1982), Sperber (2001) nebo Šmahel (2001). Podle Enlowa je celkový posun menší než v případě posteriorního okraje větve. Mé závěry se s těmito shodují v rámci vertikálního přírůstku, výrazný posun posteriorním směrem jsem nepozorovala. Mírně se posunuje anteriorní okraj *processus coronoideus*. Tím se tento výběžek zužuje, ale k jeho celkovému posunu nedochází.

Shoda s tímto autorem (Enlow) nastává také v oblasti prominence brady. Zde docházíme závěru, že se zvyšujícím se věkem se zvýrazňuje bradový výběžek, konkrétně dochází k posunu bodu pogonion směrem dopředu. K tomuto posunu dochází v průběhu celého života, pouze se mění rychlost. Zpočátku je růst brady výrazný a rychlý a v období cca od 4 let se posouvání zpomaluje. To odpovídá i závěrům Rickettse (1972), který pracoval se snímky hlavy 40 jedinců. Tyto snímky byly pořízeny průměrně v 8 a 13 letech. K největší přírůstkům inferiorního okraje symfýzy dochází v předškolním věku. Poloha bodu gnathion se mění ve stejném směru, ale v tomto případě je rychlost přibližně stejná v celém období dětství a puberty a zpomaluje se až v dospělosti.

Prominence brady je podle Sperbera (2001) akcentována resorpcí v oblasti nad ní, tedy v oblasti, kde je umístěn landmark mandibular symphysis. Tento bod by se tedy měl posunovat posteriorně. K tomu nedochází, nicméně tento bod zůstává na téměř stejném místě po celou dobu růstu, zatímco ostatní body oblasti brady se výše zmíněným směrem posunují.

Oblast molárů mladší mandibuly by se měla podle Enlowa v důsledku růstu těla relokovat do oblasti premolárů dospělé mandibuly a tím vytvořit místo pro růst třetích stálých stoliček. I tento fakt byl v této práci potvrzen.

Gray (1918) konkretizuje toto tvrzení tak, že tělo by se mělo prodlužovat hlavně za oblastí *foramen mentale*. Vzhledem k tomu, že na *foramen mentale* se nacházel jeden ze snímaných landmarků, je možné s tímto tvrzením souhlasit. Podle mého pozorování je možno ještě přesněji říct, že k největšímu prodlužování těla dochází až za body *prominentia lateralis*, tedy za body, jejichž vzdálenost udává největší šířku těla. Právě v oblasti za těmito landmarky vzniká již zmiňovaný prostor pro třetí stálé moláry.

Dixon et al. (1997) popisuje vývoj alveolárního výběžku. Jeho růst následuje erupci zubů, k největšímu růstu by tedy mělo docházet v období *infans 1* (do 3 let) a ke konci období *infans 1* (do 8 let) a v období *infans 2*. Podle vizualizace v programu Morphologika² se zdá, že největší přírůstek v této oblasti se skutečně objevuje v období do 3 let. Není ale možné toto tvrdit s určitostí, landmarků z jejichž posunu by bylo možné růst alveolárního výběžku relevantně hodnotit, není v této práci snímán dostatečný počet.

Liu et al. (2010) studoval 48 zdravých jedinců. Jejich cephalogramy byly pořízeny během 1. roku života, v 1. až 5. roce a v dospělosti. Snímky byly digitizovány a nasnímáno bylo 11 landmarků. Na tomto základě definoval změny lokace některých landmarků. Condylion a gonion se posouvají superiorně a posteriorně. S tím se mé závěry shodují. Gnathion a pogonion inferiorně a posteriorně. Podle mých výsledků je to naopak, tyto body se oba posouvají směrem dopředu.

Sperber (2001) dále tvrdí, že *foramen mandibulae* se posouvá posteriorně. To je opak toho, co je vidět na naší vizualizaci, kde se landmark umístěný na dolním okraji *foramen mandibulae* naopak posouvá anteriorním směrem.

Tracy a Savara (1966, 1967) se zabývali měřením několika rozměrů a srovnáním jejich přírůstků na základě měření cephalogramů u dětí ve věku 3 až 16 let. Mandibula podle jejich závěrů roste nejvíce do hloubky (tzn. délka těla a maximální délka těla, definované jako vzdálenost bodů pogonion – gonion a pogonion – condylion), následuje růst do šířky a nejméně roste dolní čelist do výšky (myšlena výška větve). Liu et al. (2010) tvrdí, že nejvíce se zvětšila maximální délka mandibuly, následovaná výškou větve a délkou těla. Jelikož jsem neměřila konkrétní rozměry, ale pouze vizualizovala celkovou změnu tvaru během ontogeneze, není možné s určitostí potvrdit nebo vyvrátit toto jejich tvrzení, týkající se výškových a hloubkových rozměrů.

Bigoniální šířka mandibuly roste ve srovnání s výškou méně a sleduje tak trend růstu celého obličeje (který popisuje Šmahel, 2001). V případě bikondylární šířky

mandibuly se moje závěry s Tracym a Savarou rozcházejí – šířka mandibuly se během růstu jedince relativně zmenšuje. Software Morphologika² však neumožňuje zobrazit změny bez odstranění velikosti, pouze s využitím translace a rotace. To může být důvodem rozdílných výsledků nejen s těmito autory, ale i s některými dalšími (Enlow, 1982; Mrázková a Doskočil, 1994 nebo Doskočil, 1995).

Mitani a Sato (1992) pracovali s laterálními cephalogramy 33 japonských dívek snímanými každý rok. Tito autoři udávají období před 9. rokem života jako dobu, kdy mandibula vykazuje velký vývoj. Toto tvrzení odpovídá mému zjištění, kdy mezi skupinou *infans 1* (do 7 let) a *infans 2* není signifikantní rozdíl a na grafu PCA jsou mandibuly v těchto věcích nejméně oddělené. Pubertálním spurtem v případě mandibuly se zabýval i Šmahel (2001), podle kterého se vůbec neobjevuje. Pokud by došlo k pubertálnímu spurtu ve vývoji mandibuly, musely by se zmíněné skupiny jedinců signifikantně lišit, nicméně z mých výsledků se s určitostí nedá říct, zda k tomuto spurtu skutečně nedochází. Protože se ale liší mandibuly skupiny *infans 2* a dospělé mandibuly, je zřejmé, že k určitým změnám tvaru mandibuly v pubertě dochází. Podle Iseri a Sollowa (2000) nastává pubertální spurt v období od cca 11 let do cca 13 let, Franchi et al. (2001) ho udává v 11 až 12 letech. Björk (1963) datuje pubertální minimum růstové rychlosti mezi 9,3 a 13,5 lety; maximum mezi 12,8 a 15,5 lety. To by mohlo vysvětlovat fakt, že existuje rozdíl mezi dospělými mandibulami a mandibulami skupiny *infans 2*. V této skupině jsou zahrnuty mandibuly již od 8 let, kdy ještě dochází k deceleraci v růstu.

Ferrario et al. (1996) posuzovali tvarové změny mandibuly nezávisle na velikosti, prostorové orientaci a vztahu k referenčním rovinám. K tomu využil tzv. Fourierovu analýzu. Pubertální spurt autor nevyklučuje, ale dochází k němu podle něj pouze v oblasti kondylů. V tom případě by se pravděpodobně měly signifikantně lišit skupiny *infans 1* (4 – 7) a *infans 2* v případě analýzy samostatné větve mandibuly. I přestože tomu tak není, není možné toto tvrzení považovat za nepravdivé, protože analýza změny tvaru větve mandibuly nezahrnuje landmarky pouze na kondylech, výsledek tedy může být zkreslený.

K obdobným datacím pubertálního minima a maxima, popř. růstové akcelerace či decelerace dospěli další autoři i v případě přírůstků šířkových, výškových i délkových rozměrů mandibuly.

Výsledky popsané v této práci se v některých případech liší s výsledky jiných autorů, které vyplývají z odborné literatury. To může být způsobeno použitím různých

metod ke kvantifikaci tvarových ontogenetických změn, případně nemožností neodstranit velikost v softwaru, ve kterém byla data zpracována. Drobné rozdíly se objevují v poloze a posunu jednotlivých landmarků, umístěných v oblasti brady. V případě výraznějších odlišností se jedná zejména o posun posteriorního okraje větve zmiňovaný více autory, který se zde nepotvrdil, nebo posun koronoidního výběžku, u kterého je situace obdobná – různými autory udávaný posteriorní posun není zřejmý. Další rozpor se objevuje v případě šířky těla mandibuly, kdy by podle literatury mělo docházet k jejímu zvětšování, zatímco naše výsledky prokazují relativní zmenšování šířky těla dolní čelisti. To je právě případ, kdy hraje roli odstranění velikosti. Po této úpravě se zdá, že dochází k zužování mandibuly, jelikož kondylární výběžek roste oproti délce a šířce těla více. V následující práci by tedy bylo vhodné se těmito spornými změnami podrobněji zabývat.

Důležitým faktem je, že zde uvedení autoři ve většině případů pracovali s cephalogramy a RTG snímky stejných jedinců, pořízenými v určitém časovém období. V této práci byly snímány 3D souřadnice mandibul různých jedinců různého věku a z těchto dat poté shrnuty tvarové změny, probíhající během růstu člověka. Je zde tedy zobecněn ontogenetický vývoj mandibuly a s ním asociované tvarové změny, což může být v porovnání s pracemi, zabývajícími se pouze konkrétními změnami mandibul jednotlivých jedinců, přínosem.

7 Závěr

V předkládané diplomové práci bylo zpracováno 34 dětských identifikovaných mandibul známého věku a jako srovnávací soubor 14 dospělých mandibul uložených v Muzeu normální a srovnávací anatomie na Anatomickém ústavu 1. LF Univerzity Karlovy. Nasnímáno bylo celkem 36 landmarků, které definují tvar mandibuly. Na základě jejich zpracování pomocí metod geometrické morfometrie a vícerozměrné statistiky byly popsány ontogenetické tvarové změny dolní čelisti. Dále byl metodou podle Ubelakera (1978) odhadnut dentální věk a výsledek srovnán s chronologickým věkem.

Závěry na základě stanovených cílů:

- Určený dentální věk odpovídá věku kalendářnímu, pouze u dvou mandibul byl odhadnut věk o jeden rok nižší. Vzhledem k toleranci metody není možné s určitostí říci, zda se dentální věk u těchto jedinců opravdu opožďuje. Vzhledem k tomu, že mezi zubním a kalendářním věkem je shoda, jsou i výsledky práce shodné za použití obou věků.
- Během vývoje jedince dochází k tvarovým změnám v oblasti těla mandibuly (zmenšování relativní šířky, růst alveolárního výběžku, prodlužování těla, prominence brady) i větve (růst kondylárních a koronoidních výběžků, prohlubování incisury, růst do výšky). Goniový úhel se zmenšuje.
- Ve věkové kategorii *infans 1* (do 3 let) dochází k výrazné prominenci brady, úhel mandibuly je podobný úhlu novorozence. Do délky roste tělo téměř neznatelně.
- Ve věkové skupině *infans 1* (do 7 let) se výrazně prodlužuje tělo mandibuly v oblasti třetích molárů. Větev dolní čelisti se také prodlužuje ve větší míře. Prominence brady se již příliš nezvýrazňuje.
- Tvarové změny ve věkové skupině *infans 2* pokračují mírnějším tempem a shodují se se změnami, ke kterým dochází v předcházejících obdobích.
- V souboru dospělých mandibul není možné sledovat změny související s věkem, je zde ale zřejmá variabilita ovlivněná dalšími faktory. Spočívá zejména ve velikosti koronoidního výběžku a bigoniální šířky těla.

- V souboru dospělých mandibul se ukázalo, že s větším rozvojem kondylárního výběžku zároveň dochází ke snižování koronoidního výběžku a k relativnímu zmenšování bigoniální šířky či naopak.

Hypotéza

- Stanovená hypotéza, že tvarové vývojové změny mandibuly souvisí s mineralizací chrupu dolní čelisti, a proto je mezi jednotlivými skupinami definovanými na základě mineralizace chrupu signifikantní rozdíl, se **potvrdila**. Jedinou výjimku tvoří srovnání mandibul skupiny *infans 1* (4 – 7 let) a *infans 2*, kde rozdíl není signifikantní. V tomto období tedy nedochází k tvarovým změnám v takovém rozsahu, jako v obdobích ostatních, dochází zde k tzv. pubertálnímu minimu. Toto minimum je následováno maximem, proto je mezi touto skupinou a skupinou dospělých mandibul rozdíl opět signifikantní.

Seznam použité literatury

- Avis V. 1961. The Significance of the Angle of the Mandible: an Experimental and Comparative Study. *Am J Phys Anthropol* 19:55–61.
- Battersby J. 1936. Ectodermal Dysplasia with Complete Anodontia. *Dent. Mag. & Oral Topics*.
- Björk A. 1963. Variations in the Growth Pattern of the Human Mandible: Longitudinal Radiographic Study by the Implant Method. *J Dent Res* 42:400–411.
- Björk A. 1969. Prediction of Mandibular Growth Rotation. *Am J Orthod* 55: 585–599.
- Björk A, Skieller V. 1983. Normal and Abnormal Growth of the Mandible. A Synthesis of Longitudinal Cephalometric Implant Studies over a Period of 25 Years. *Eur J Orthod* 5:1–46.
- Bookstein FL. 1991. *Morphometric Tools for Landmark Data*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Broca P. 1875. *Instructions Craniologiques et Craniométriques*. Paris: *Mém soc anthrop.* 2:1–103 (převzato ze Stloukal et al., 1999).
- Brodie AG. 1940. Some Recent Observations on the Growth of the Mandible. *Angle Orthod* 2:63–77.
- Brodie AG. 1942. On the Growth of the Jaws and the Eruption of the Teeth. *Angle Orthod* 3:109–123.
- Brothwell DR. 1981. *Digging up Bones*. New York: Cornell University Press.
- Buschang PH, Gandini LG Jr. 2002. Mandibular Skeletal Growth and Modelling between 10 and 15 Years of Age. *Eur J Orthod* 24:69–79.
- Buschang PH, Santos-Pinto A, Demirjian A. 1999. Incremental Growth Charts for Condylar Growth Between 6 and 16 Years of Age. *Eur J Orthod* 21:167–173.
- Buschang PH, Tanguay R, Demirjian A, LaPalme L, Goldstein H. 1989. Modelling Longitudinal Mandibular Growth: Percentiles for Gnathion from 6 to 15 Years of Age in Girls. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 95:60–66.
- Čihák R. 2001. *Anatomie 1*. Praha: Grada Publishing.

- Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. 1973. A New System of Dental Age Assessment. *Hum Biol*: 45:211–227.
- Dixon AD, Hoyte DAN, Ronning O. 1997. *Fundamentals of Craniofacial Growth*. CRC-Press.
- Donnelly SM, Hens SM, Rogers NL, Schneider KL. 1998. Technical Note: A Blind Test of Mandibular Ramus Flexure as a Morphologic Indicator of Sexual Dimorphism in the Human Skeleton. *Am J Phys Anthropol* 107:363–366.
- Doskočil M. 1995. Lidská spodní čelist, obdivuhodná kost. Nové poznatky o stavbě mandibuly. *Vesmír* 74:463.
- Dylevský I. 1990. *Funkční a aplikovaná anatomie člověka II*. Praha: Univerzita Karlova.
- Enlow DH. 1966. A Morphogenetic Analysis of Facial Growth. *Am J Orthod* 52:283–299.
- Enlow DH. 1982. *Handbook of Facial Growth*. Philadelphia: W. B. Saunders.
- Farkas LG, Posnick JC, Hreczko TM. 1992 Growth Patterns of the Face: A Morphometric Study. *Cleft Palate Craniofac J* 4:308–315.
- Ferrario VF, Sforza C, Guazzi M, Serrao G. 1996. Elliptic Fourier Analysis of Mandibular Shape. *J Craniofac Genet Dev Biol*.16:208–217.
- Finan DS, Smith A. 2005. Jaw Stretch Reflexes in Children. *Exp Brain Res* 1:58–66.
- Franchi L, Baccetti T, McNamara J A Jr. 2001. Thin-Plate Spline Analysis of Mandibular Growth. *Angle Orthod* 71:83–89.
- Franklin D, O'Higgins P, Oxnard CE, Dadour I. 2007a. Sexual dimorphism and population variation in the adult mandible. Forensic applications of geometric morphometrics. *Forensic Science, Medicine, and Pathology* 3:15–22.
- Franklin D, Oxnard CH, O'Higgins P, Dadour I. 2007b. Sexual Dimorphism in the Subadult Mandible: Quantification Using Geometric Morphometrics. *J Forensic Sci*. 52:6–10.
- Frost HM. 1990a. Skeletal Structural Adaptions to Mechanical Usage (SATMU): 1. Redefining Wolff's law: The Bone Remodelling problem. *Anat Rec* 226:403–413.

- Frost HM. 1990b. Skeletal Structural Adaptions to Mechanical Usage (SATMU):
2. Redefining Wolff's law: The Bone Modelling problem. *Anat Rec* 226:414–422.
- Gilroy AM, MacPherson BR, Ross LM. 2008. *Atlas of Anatomy*. Thieme Medical Publishers.
- Gray H. 1918. *Anatomy of the Human Body*. Philadelphia: Lea & Febiger. Publikováno: 2000, www.bartleby.com, vyhledáno 22. 7. 2009.
- Hammer O. 1999-2010. PAST. Palaeontological Statistics. Version 1.97. Reference Manual. Natural History Museum, University of Oslo.
- Haun SJ. 2000. Brief Communication: A Study of the Predictive Accuracy of Mandibular Ramus Flexure as a Singular Morphologic Indicator of Sex in an Archaeological Sample. *Am J Phys Anthropol* 111:429–432.
- Hegde RJ, Sood PB. 2002. Dental Maturity as an Indicator of Chronological Age: Radiographic Evaluation of Dental Age in 6 to 13 Years Children of Belgaum using Demirjian Methods. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 20:132–138.
- Hill CA. 2000. Technical Note: Evaluating Mandibular Ramus Flexure as a Morphological Indicator of Sex. *Am J Phys Anthropol* 111:573–577.
- Hillson S. 1996. *Dental Anthropology*. London: Cambridge University Press.
- Houston WJB. 1988. Mandibular Growth Rotations – Their Mechanism and Importance. *Eur J Orthod*. 10:369–373.
- Ichim I, Swain M, Kieser JA. 2006. Mandibular Biomechanics and Development of the Human Chin. *J Dent Res* 85:638–642.
- Indrayana NS, Glinka J, Mieke S. 1998. Notes and Comments: Mandibular Ramus Flexure in an Indonesian Population. *Am J Phys Anthropol* 105:89–90.
- Iseri H, Solow B. 2000. Change in the Width of the Mandibular Body from 6 to 23 Years of Age: an Implant Study. *Eur J Orthod* 22:229–238.
- Jämsä T, Alvesalo L. 1980. Size of the Mandible Related to Hypodontia. *Proc Finn Dent Soc* 76:214–218.
- Kemkes-Grottenhaler A, Löbig F, Stock F. 2002. Mandibular Ramus Flexure and Gonial Eversion as Morphologic Indicators of Sex. *Homo* 53/2:97–111.

- Keros-Naglić J, Pandurić J, Buntak-Kobler D. 1997. Some Anatomical and Anthropological Measures of Mandibular Ramus in Our Population. *Coll Antropol* 21:203–210.
- Koski K. 1996. Notes and Comments: Mandibular Ramus Flexure – Indicator of Sexual Dimorphism? *Am J Phys Anthropol* 101:545–546.
- Krarpup S, Darvann TA, Larsen P, Marsh JL, Kreiborg S. 2005. Three-dimensional Analysis of Mandibular Growth and Tooth Eruption. *J Anat* 207:669–682.
- Kubelková R. 2006. Vypracování norem zubního věku pro současnou českou populaci (chlapci). Diplomová práce. Praha: Katedra antropologie a genetiky člověka, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova.
- Kurol J. 1984. Infraocclusion of Primary Molars. *Swed Dent J Suppl* 21:1–67.
- Liu Y-P, Behrents RG, Buschang PH. 2010. Mandibular Growth, Remodelling, and Maturation During Infancy and Early Childhood. *Angle Orthod* 1:97–105.
- Loth SR, Henneberg M. 1996. Mandibular Ramus Flexure: A New Morphologic Indicator of Sexual Dimorphism in the Human Skeleton. *Am J Phys Anthropol* 99:473–485.
- Loth SR, Henneberg M. 2001. Sexually Dimorphic Mandibular Morphology in the First Few Years of Life. *Am J Phys Anthropol* 115:179–186.
- Lucas PW. 2004. *Dental Functional Morphology: How Teeth Work* (Cambridge Studies in Biological & Evolutionary Anthropology). Cambridge University Press.
- Lux CJ, Conradt C, Burden D, Komposch G. 2004. Three-Dimensional Analysis of Maxillary and Mandibular Growth Increments. *Cleft Palate Craniofac J* 3:304–314.
- Lux CJ, Conradt C, Burden D, Komposch G. 2004a. Transverse Development of the Craniofacial Skeleton and Dentition between 7 and 15 Years – a Longitudinal Postero-anterior Cephalometric Study. *Eur J Orthod* 26:31–42.
- Marcus LF, Corti M, Loy A, Naylor GJP, Slice DE. 1996. *Advances in Morphometrics*. New York: Plenum Press.
- Martin R, Saller K. 1957. *Lehrbuch der Anthropologie*. Stuttgart: G. Fischer – Verlag (převzato z Stloukal et al., 1999).

- Masumoto T, Hayashi I, Kawamura A, Tanaka K, Kasai K. 2001. Relationships among Facial Type, Buccolingual Molar Inclination, and Cortical Bone Thickness of the Mandible. *Eur J Orthod* 23:15–23.
- Mitani H, Sato K. 1992. Comparison of Mandibular Growth with other Variables during Puberty. *Angle Orthod* 62:217–222.
- Mitteroecker P, Gunz P. 2009. Advances in Geometric Morphometrics. *Evol Biol* 36:235–247.
- Moorees CFA, Fanning EA, Hunt EE. 1963a. Age Variaton of Formation Stages for Ten Permanent Teeth. *J Dent Res* 42:1490–1502 (převzato z Hillson, 1996).
- Moss ML. 1960. A Functional Analysis of Human Mandibular Growth. *J Prosthet Dent* 10:1149–1160.
- Moss ML, Rankow R M. 1968. The Role of the Functional Matrix in Mandibular Growth. *Angle Orthod* 38:95–103.
- Mrázková O, Doskočil M. 1994. *Klinická anatomie pro stomatologu*. Praha: Alberta.
- Nicholson E, Harvati K. 2006. Quantitative Analysis of Human Mandibular Shape Using Three Dimensional Geometric Morphometrics. *Am J Phys Anthropol* 131:368–383.
- Obwegeser HL. 2001. *Mandibular Growth Anomalies: Terminology, Aetiology, Diagnosis, Treatment*. Heidelberg: Springer.
- Oettlé AC, Becker PJ, de Villiers E, Steyn M. 2009. The Influence of Age, Sex, Population Group, and Dentition on the Mandibular angle as Measured on a South African Sample. *Am J Phys Anthropol* 139:505–511.
- Pancherz H, Ruf S, Kohlhas P. 1998. „Effective Condylar Growth” and Chin Position Changes in Herbst Treatment: a Cephalometric Roentgenographic Long-term Study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114:437–446.
- Páč L, Dokládál M. 1997. *Anatomie člověka 1, Pohybový systém*. Brno: Masarykova univerzita, Lékařská fakulta.
- Pirttiniemi P, Peltomäki T, Müller L, Luder HU. 2009. Abnormal Mandibular Growth and the Condylar Cartilage. *Eur J Orthod* 31:1–11.

- Puisoru M, Forna N, Fatu AM, Fatu R, Fatu C. 2006. Analysis of Mandibular Variability in Humans of Different Geographic Areas. *Anat Anz* 188:547–554.
- Rakosi T, Jonas I, Graber T. 1993. *Orthodontic Diagnosis (Color Atlas of Dental Medicine)*. Thieme Medical Publishers.
- Ramba J. 1990. *Zlomeniny obličejových kostí u dětí*. Praha: Avicenum.
- Ricketts RM. 1972. A Principle of Arcial Growth of the Mandible. *Angle Orthod* 42:368–373.
- Robins G. 1994. *Proportion and Style in Ancient Egyptian art*. Austin: University of Texas Press.
- Savara BS, Tracy WE. 1967. Norms of Size and Annual Increments of Five Anatomical Measures of the Mandible in Girls from Three to Sixteen Years of Age. *Arch Oral Biol* 12:469–486.
- Scheuer L. 2002. Brief Communication: A Blind Test of Mandibular Morphology for Sexing Mandibles in the First Years of Life. *Am J Phys Anthropol* 119:189–191.
- Scheuer L, Black S. 2004. *The Juvenile Skeleton*. New York: Elsevier Academic Press.
- Schmittbuhl M, le Minor J-M, Schaaf A, Mangin P. 2002. The Human Mandible in Lateral View: Elliptical Fourier Descriptors of the Outline and Their Morphological Analysis. *Anat Anz* 184:199–207.
- Schour I, Massler M. 1941. The Development of the Human Dentition. *J Am Dent Assoc* 28:1153–1160 (převzato z Hillson, 1996).
- Schudy FF. 1965. The Rotation Of The Mandible Resulting From Growth: Its Implications In Orthodontic Treatment. *Angle Orthod* 1:36–50.
- Schultz LW. 1938. Anodontia: Report of a Case. *Dent Dig* 44:212–213.
- Schumacher G-H. 1992. *Anatómia pre stomatológov I: učebnica a atlas*. Diel 1, Hlava, orofaciálny systém, oko, ucho, orgán rovnováhy, systematika nervov a ciev hlavy a krku. Martin: Osveta.
- Smith BH. 1991b. Standards of Human Tooth Formation and Dental Age Assessment. In: Kelly MA, Larsen CS. 1991. *Advances in Dental Anthropology*. New York: Wiley-Liss 143–168 (převzato z Hillson, 1996).

- Solow B, Houston WJ. 1988. Mandibular Rotations: Concepts and Terminology. *Eur J Orthod* 10:177–179.
- Solow B, Kreiborg S. 1977. Soft-tissue Stretching: a Possible Control Factor in Craniofacial Morphogenesis. *Eur J Oral Sci* 85:505–507.
- Sperber GH. 2001. *Craniofacial Development*. London: B.C.Decker, Inc.
- Sperber GH. 1989. *Craniofacial Embryology*. London: Wright.
- Steinberg R. 1977. *A Longitudinal Study of Mandibular Growth Rotation*. University of Connecticut.
- Stloukal M, Dobisíková M, Kuželka V, Stránská P, Velemínský P, Vyhnánek L, Zvára K. 1999. *Antropologie: Příručka pro studium kostry*. Praha: Národní muzeum.
- Šmahel Z. 2001. *Principy, teorie a metody auxologie*. Praha: Univerzita Karlova. Karolinum.
- Šmahel Z. 2005. *Příběh lidského rodu. Katalog ke stálé expozici v pavilonu Anthropos*. Brno: Moravské zemské muzeum.
- Török A. 1890. *Grundzüge einer systematischen Kraniometrie*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag (převzato z Stloukal et al., 1999).
- Tracy WE, Savara BS. 1966. Norms of Size and Annual Increments of Five Anatomical Measures of the Mandible in Girls from 3 to 16 Years of Age. *Arch Oral Biol* 11:587–598.
- Ubelaker DH. 1978. *Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation*. Chicago: Aldine (převzato z Hillson, 1996).
- Urbanová P. 2009. *A Study of Human Craniofacial Variation by Using Geometric Morphometrics*. Masaryk University Brno, Faculty of Science.
- Van Spronsen PH, Koolstra JH, Ginkel FC, Weijs WA, Valk J, Prah-Andersen B. 1997. Relationships Between the Orientation and Moment Arms of the Human Jaw Muscles and Normal Craniofacial Morphology. *Eur J Orthod* 19:313–328.
- Vinter I, Krmpotić-Nemanić J, Ivanković D, Jalšovec D. 1996. The Influence of the Dentition on the Shape of the Mandible. *Coll Antropol* 2:555–560.

- Vodanović M, Dumančić J, Demo Ž, Mihelić D. 2006. Determination of Sex by Discriminant Function Analysis of Mandibles From two Croatian Archaeological Sites. *Acta Stomatol Croat* 40:263–277.
- Wang MK. 2007. Mandibular Rotation during Late Primary and Early Mixed Dentition. Faculty of the Graduate School of Saint Louis University.
- Wang MK, Buschang PH, Rolf Behrents R. 2009. Mandibular Rotation and Remodelling Changes during Early Childhood. *Angle Orthod*: 2:271–275.
- Weberová Z., Ramanathan Ch. 2008. Učebnice ortodoncie pro studenty zubního lékařství. Hradec Králové: Nucleus HK.
- Williams FL, Richtsmeier JT. 2003. Comparison of Mandibular Landmarks from Computed Tomography and 3D Digitizer Data. *Clin Anat* 16:494–500.
- Xie Q, Ainamo A. 2004. Correlation of Gonial Angle Size with Cortical Thickness, Height of the Mandibular Residual Body, and Duration of Edentulism. *J Prosthet Dent* 91:477–482.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. 2004. *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer*. Amsterdam, Boston: Elsevier Academic Press.
- Zima J, Macholán M, Munclinger P, Piálek J. 2004. *Genetické metody v zoologii*. Praha: Karolinum.
- Zvára K. 1998. *Biostatistika*. Praha: Karolinum.

Internetové zdroje

Baranová M. Úvod do teorie Thine Plate Spline a jeho aplikace. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta aplikovaných věd, katedra matematiky.

<http://home.zcu.cz/~baranov/KMA/articles/TPS.pdf>, vyhledáno 29. 7. 2010

Donato G, Belongie S. 2002. Approximation Methods for Thin Plate Spline Mappings and Principal Warps. http://cseweb.ucsd.edu/~sjb/pami_tps.pdf, vyhledáno 29. 7. 2010

Fořt P, Janáček D. 2006. MicroScribe pro snadnou 3D digitalizaci.

<http://www.designtech.cz/c/it-reseni/microscribe-pro-snadnou-3d-digitalizaci.htm>, vyhledáno 12. 7. 2010

Meloun M. Metoda hlavních komponent (pdf prezentace).

<http://meloun.upce.cz/docs/lecture/chemometrics/slidy/44pca.pdf>, vyhledáno 29. 7. 2010

Paleo-Tech Concepts. <http://paleo-tech.com/microscribeg2.aspx>, vyhledáno 12. 7. 2010

Ročková V. 2008. MANOVA & R (prezentace).

<http://artax.karlin.mff.cuni.cz/~rockv4am/prezentace.pdf> - vyhledáno 22. 7. 2010

Zvára K. 2009/2010. Materiály k přednášce Statistika.

<http://www.karlin.mff.cuni.cz/~zvara/geograf/0910/geo4.pdf>, vyhledáno 21. 7. 2010.

<http://sites.google.com/site/hymsfme/resources>, vyhledáno 16. 7. 2010.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Procrustes>, vyhledáno 1. 8. 2010.

Software

O'Higgins P, Jones N. 2006. Morphologika2 v2.4. Tools for shape analysis. Hull York Medical School, <http://sites.google.com/site/hymsfme/resources>.

O'Higgins P, Jones N. 2006. Morphologika2 v2.5. Tools for shape analysis. Hull York Medical School, <http://sites.google.com/site/hymsfme/resources>.

Hammer O, Harper DAT, Ryan PD. 2007. PAST: Paleontological Statistics software Package for Education and Data Analysis. Version 1.68. *Palaeontologia Electronica* 4:9.

Hammer O, Harper DAT, Ryan PD. 2010. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Version 1.97. *Palaeontologia Electronica* 4:9.

Seznam obrázků

Obr. 1. Morfologie mandibuly. a) anteriorní pohled, b) posteriorní pohled, c) laterální pohled (upraveno podle: Gilroy et al., 2008).....	13
Obr. 2. Superponované mandibuly ve věku od šesti do patnácti let (upraveno podle: Enlow, 1966).....	16
Obr. 3. Nákres superponovaných mandibul v rozmezí věků od tří měsíců po sedm let (převzato z: Brodie, 1940).	17
Obr. 4. Nákres tří superponovaných mandibul jednoho jedince od věku tří měsíců po osm let (převzato z: Brodie, 1942).....	18
Obr. 5. Tvar nedospělé mandibuly a) ženské, b) mužské (upraveno podle: Loth and Henneberg, 2001).....	19
Obr. 6. Ohyb ramus mandibulae a) u muže b) u ženy (převzato z Loth and Henneberg, 1996).....	20
Obr. 7. Skeletální jednotky dolní čelisti podle Mosse (upraveno podle: Šmahel, 2001).....	22
Obr. 8. Růst mandibuly, červenou šipkou je označena apozice, modrou resorpce (převzato z: Rakosi et al., 1993).	23
Obr. 9. Apoziční (růžovou) a resorpční (modře) oblasti mandibuly (převzato z: Rakosi, 1993).....	24
Obr. 10. Apozice (+) a resorpce (-) mandibuly. Vyznačená linie se posouvá v průběhu vývoje z posteriorního na anteriorní okraj, aniž by změnila svou pozici (převzato z: Rakosi et al., 1993).	25
Obr. 11. V-princip růstu, + apozice, - resorpce (převzato z: Rakosi, 1993).	26
Obr. 12. Směr rotace a délka větve mandibuly v závislosti na směru růstu v čelistním kloubu (převzato z: Šmahel, 2001).	27
Obr. 13. Růst dentoalveolárního oblouku (převzato z: Šmahel, 2001).....	28
Obr. 14. Rotace mandibuly dopředu: a) s centry v kloubech, b) s centry na okraji dolních incisivů, c) s centry v oblasti premolárů (upraveno podle: Björk, 1969).	31

Obr. 15. Rotace mandibuly dozadu: a) s centry v kloubech, b) s centry v oblasti posledních molárů (upraveno podle: Björk, 1969).	31
Obr. 16. Roční přírůstek růstu kondylů mandibuly u skupiny jedinců mužského pohlaví (upraveno podle: Björk, 1963).	33
Obr. 17. Měřené landmarky (upraveno podle: Čihák, 2001).	46
Obr. 18. 48 mandibul od novorozence po dospělé jedince. a) před prokrustovskou transformací, b) po prokrustovské transformaci.	48
Obr. 19. Zobrazení deformace souřadnicové mřížky (upraveno podle: Donato and Belongie, 2002).	49
Obr. 20. Grafické znázornění spolehlivosti měření.	55
Obr. 21. Scree plot.	57
Obr. 22. Graf PCA (PC1 a PC2).	58
Obr. 23. Graf PCA (PC2 a PC3).	58
Obr. 24. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 1. komponenty, vyjádřené zvlášť pro x, y, z souřadnice jednotlivých landmarků.	59
Obr. 25. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 1. komponenty pro jednotlivé landmarky.	60
Obr. 26. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 2. komponenty pro jednotlivé landmarky.	60
Obr. 27. Změna tvaru mandibuly v ontogenezi. Pohled zepředu.	61
Obr. 28. Změna tvaru mandibuly v ontogenezi. Pohled seshora.	61
Obr. 29. Změna tvaru mandibuly v ontogenezi. Pohled ze strany.	62
Obr. 30. Krajní tvary dospělé mandibuly dané PC2. a) kladné hodnoty, b) záporné hodnoty.	63
Obr. 31. Deformace tvaru mřížky při porovnání mandibuly infans 1 a infans 2.	64
Obr. 32. Deformace tvaru mřížky při porovnání mandibuly infans 1 a adultus.	65
Obr. 33. Graf závislosti první komponenty a chronologického věku jedinců.	65

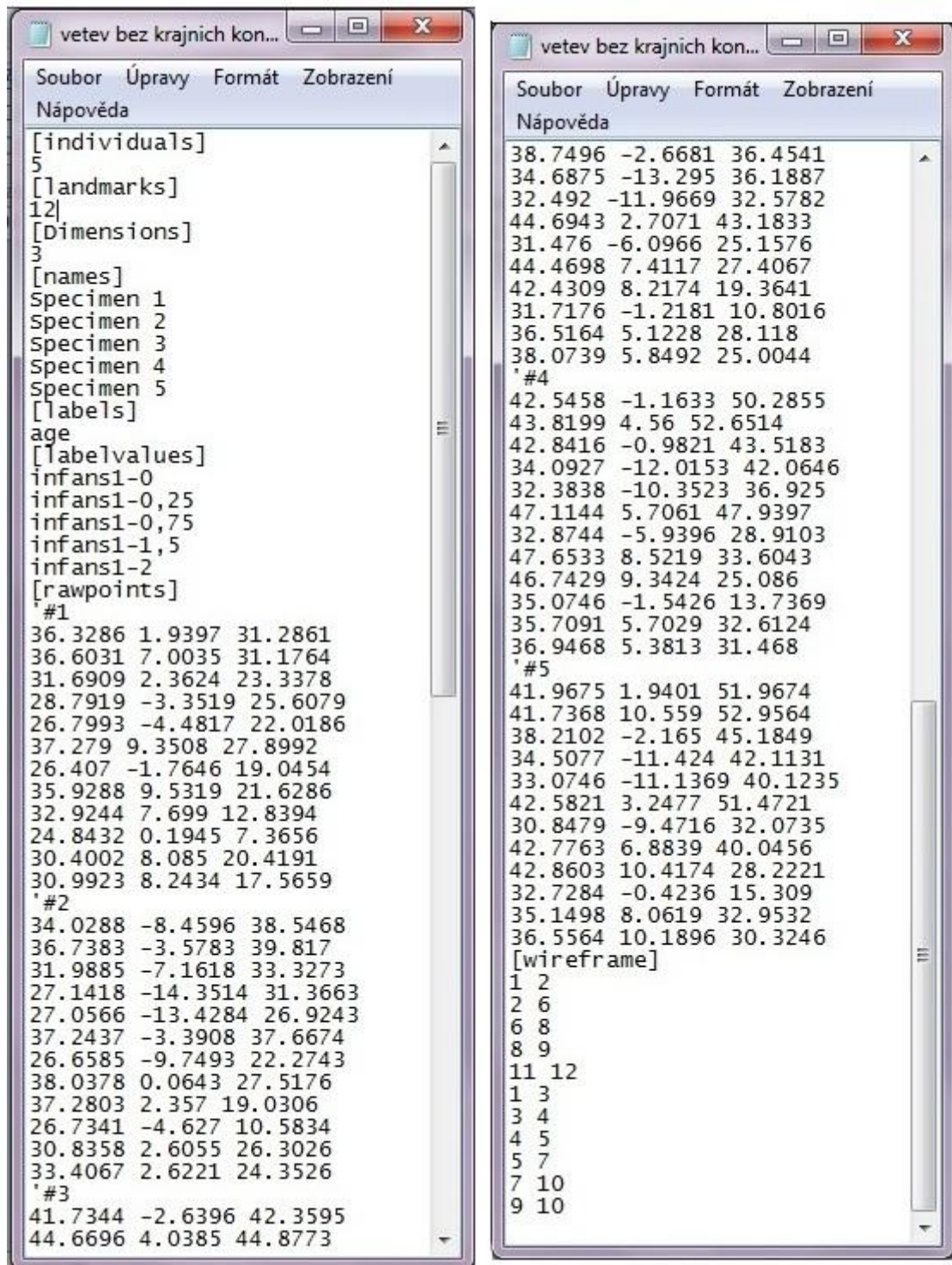
Obr. 34. Graf závislosti první komponenty a centroidové velikosti mandibul.	66
Obr. 35. Scree plot.	68
Obr. 36. Graf PCA (PC1 a PC2).	69
Obr. 37. Graf PCA (PC2 a PC3).	69
Obr. 38. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 1. komponenty pro jednotlivé landmarky.	70
Obr. 39. Změna tvaru větve mandibuly v ontogenezi v závislosti na PC1. Pohled ze strany.	71
Obr. 40. Změna tvaru větve mandibuly v ontogenezi v závislosti na PC2. Pohled ze strany.	71
Obr. 41. Graf závislosti první komponenty a chronologického věku jedinců.	72
Obr. 42. Graf závislosti první komponenty a centroidové velikosti mandibul.	72
Obr. 43. Scree plot.	74
Obr. 44. Graf PCA (PC1 a PC2).	75
Obr. 45. Graf PCA (PC2 a PC3).	75
Obr. 46. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 1. komponenty pro jednotlivé landmarky.	76
Obr. 47. Loadings jednotlivých proměnných v rámci 2. komponenty pro jednotlivé landmarky.	76
Obr. 48. Změna tvaru těla mandibuly v ontogenezi. Pohled ze strany.	77
Obr. 49. Změna tvaru těla mandibuly v ontogenezi. Pohled seshora.	77
Obr. 50. Změna tvaru těla mandibuly v ontogenezi. Pohled ze strany.	77
Obr. 51. Změna tvaru těla mandibuly v ontogenezi. Pohled seshora.	78
Obr. 52. Graf závislosti první komponenty a chronologického věku jedinců.	78
Obr. 53. Graf závislosti druhé komponenty a chronologického věku jedinců.	79
Obr. 54. Graf závislosti první komponenty a centroidové velikosti mandibul.	79
Obr. 55. Graf závislosti druhé komponenty a centroidové velikosti mandibul.	80

Seznam tabulek

Tab. 1. Seznam měřených mandibul	39
Tab. 2. Snímané landmarky – celá mandibula	43
Tab. 3. Snímané landmarky – větev mandibuly.....	44
Tab. 4. Snímané landmarky – tělo mandibuly	44
Tab. 5. Seznam měřených dětských mandibul s chronologickým i dentálním věkem	54
Tab. 6. Statistické ukazatele PCA analýzy (eigenvalues, variance) pro jednotlivé komponenty	57
Tab. 7. Výsledné p-hodnoty Hottelingova testu a Bonnferoniho korekce.....	67
Tab. 8. Statistické ukazatele PCA analýzy (eigenvalues, variance) pro jednotlivé komponenty	68
Tab. 9. Výsledné p-hodnoty Hottelingova testu a Bonnferoniho korekce.....	73
Tab. 10. Statistické ukazatele PCA analýzy (eigenvalues, variance) pro jednotlivé komponenty	74
Tab. 11. Výsledné p-hodnoty Hottelingova testu a Bonnferoniho korekce.....	80
Tab. 12. Srovnání výsledků určení dentálního věku metodou MFH	82

Přílohy

Příloha 1. Ukázka vstupních dat pro software Morphologika² (5 jedinců, 12 landmarků).

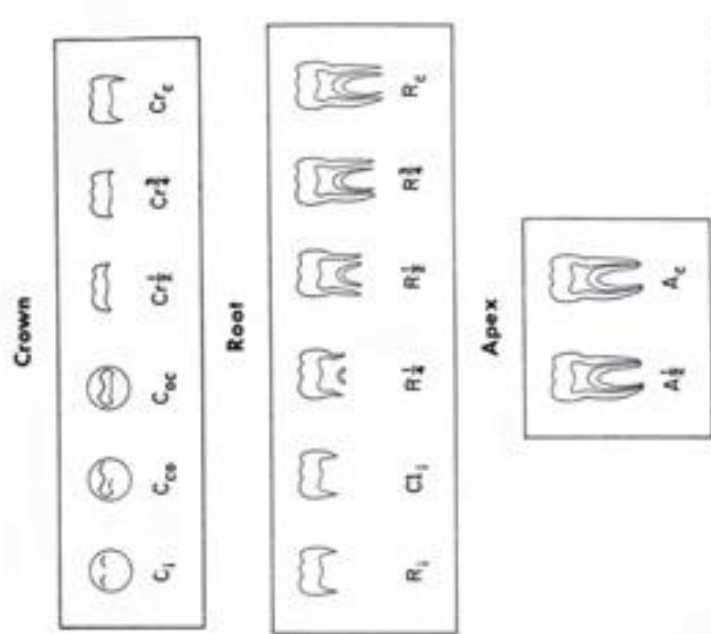


```
vetev bez krajnich kon...
Soubor Úpravy Formát Zobrazení
Nápověda
[individuals]
5
[landmarks]
12
[Dimensions]
3
[names]
Specimen 1
Specimen 2
Specimen 3
Specimen 4
Specimen 5
[labels]
age
[labelvalues]
infans1-0
infans1-0,25
infans1-0,75
infans1-1,5
infans1-2
[rawpoints]
'#1
36.3286 1.9397 31.2861
36.6031 7.0035 31.1764
31.6909 2.3624 23.3378
28.7919 -3.3519 25.6079
26.7993 -4.4817 22.0186
37.279 9.3508 27.8992
26.407 -1.7646 19.0454
35.9288 9.5319 21.6286
32.9244 7.699 12.8394
24.8432 0.1945 7.3656
30.4002 8.085 20.4191
30.9923 8.2434 17.5659
'#2
34.0288 -8.4596 38.5468
36.7383 -3.5783 39.817
31.9885 -7.1618 33.3273
27.1418 -14.3514 31.3663
27.0566 -13.4284 26.9243
37.2437 -3.3908 37.6674
26.6585 -9.7493 22.2743
38.0378 0.0643 27.5176
37.2803 2.357 19.0306
26.7341 -4.627 10.5834
30.8358 2.6055 26.3026
33.4067 2.6221 24.3526
'#3
41.7344 -2.6396 42.3595
44.6696 4.0385 44.8773
```

```
vetev bez krajnich kon...
Soubor Úpravy Formát Zobrazení
Nápověda
38.7496 -2.6681 36.4541
34.6875 -13.295 36.1887
32.492 -11.9669 32.5782
44.6943 2.7071 43.1833
31.476 -6.0966 25.1576
44.4698 7.4117 27.4067
42.4309 8.2174 19.3641
31.7176 -1.2181 10.8016
36.5164 5.1228 28.118
38.0739 5.8492 25.0044
'#4
42.5458 -1.1633 50.2855
43.8199 4.56 52.6514
42.8416 -0.9821 43.5183
34.0927 -12.0153 42.0646
32.3838 -10.3523 36.925
47.1144 5.7061 47.9397
32.8744 -5.9396 28.9103
47.6533 8.5219 33.6043
46.7429 9.3424 25.086
35.0746 -1.5426 13.7369
35.7091 5.7029 32.6124
36.9468 5.3813 31.468
'#5
41.9675 1.9401 51.9674
41.7368 10.559 52.9564
38.2102 -2.165 45.1849
34.5077 -11.424 42.1131
33.0746 -11.1369 40.1235
42.5821 3.2477 51.4721
30.8479 -9.4716 32.0735
42.7763 6.8839 40.0456
42.8603 10.4174 28.2221
32.7284 -0.4236 15.309
35.1498 8.0619 32.9532
36.5564 10.1896 30.3246
[wireframe]
1 2
2 6
6 8
8 9
11 12
1 3
3 4
4 5
5 7
7 10
9 10
```


Priloha 2. Ukazka vstupnich dat pro software PAST (24 jedincu, 4 landmarky).

	x1	y1	z1	x2	y2	z2	x5	y5	z5	x7	y7	z7
732-833	36,3286	1,9397	31,2861	36,6031	7,0035	31,1764	26,7993	-4,4817	22,0186	26,407	-1,7646	19,0454
1948-718	34,0288	-8,4596	38,5468	36,7383	-3,5783	39,817	27,0566	-13,4284	26,9243	26,6585	-9,7493	22,2743
1951-721	41,7344	-2,6396	42,3595	44,6696	4,0385	44,8773	32,492	-11,9669	32,5782	31,476	-6,0966	25,1576
3638-798	42,5458	-1,1633	50,2855	43,8199	4,56	52,6514	32,3838	-10,3523	36,925	32,8744	-5,9396	28,9103
826-707	41,9675	1,9401	51,9674	41,7368	10,559	52,9564	33,0746	-11,1369	40,1235	30,8479	-9,4716	32,0735
2246-763	38,8431	-10,0794	51,71	37,9045	-2,5627	55,3287	26,5584	-19,1492	33,3733	28,7633	-13,1657	27,1827
1962-729	42,5465	-11,3524	50,8371	44,2854	-7,0938	52,1727	26,7393	-20,1374	32,4874	29,3249	-14,1273	26,5331
2582-773	36,8407	-7,9537	52,5754	37,7352	-1,9733	56,165	29,3133	-16,8322	39,1149	31,0047	-10,6503	30,9265
3702-802	41,3844	-1,1928	52,608	45,2292	3,8083	55,6817	30,2069	-10,4297	34,2119	31,3093	-7,2863	30,2165
1964-731	42,4177	-6,4464	52,5512	43,6469	0,5559	55,1402	30,1846	-12,0573	36,8864	32,3005	-7,2128	28,3958
1540-712	38,7227	-13,5899	57,9867	43,1312	-9,3913	61,5274	28,6596	-16,0375	33,9777	30,8512	-12,6821	30,5465
1971-738	48,3877	-6,2008	62,2549	51,5714	-0,5518	64,9955	33,7965	-14,189	38,2159	36,5438	-9,1583	31,1019
2890	45,0619	-8,1803	58,6074	48,1546	-1,9669	60,2497	33,8887	-15,668	43,0467	34,7849	-9,0509	32,8212
1009-710	45,4636	-10,4611	61,3464	49,4015	-2,5618	63,7925	34,1167	-17,3298	39,9324	34,9404	-13,0594	34,9586
1970-737	49,6864	-0,7027	58,8932	52,2908	4,2186	60,4366	36,607	-10,6391	39,6005	36,5106	-5,5161	32,2419
2753-782	42,2394	-12,8144	59,9985	45,2692	-6,6972	63,9886	32,8606	-18,6261	39,7753	34,62	-13,013	34,2653
2756-783	41,1869	-8,2866	62,6238	44,4245	-2,3001	65,4312	30,5715	-17,668	41,6367	32,5658	-11,2306	33,9895
2009-754	43,2876	-7,1935	68,1488	44,1174	0,7005	69,4973	34,2269	-15,3036	44,084	35,8481	-9,3949	37,1884
1975-742	48,7531	-18,0007	64,9578	50,2922	-10,5112	69,3904	34,2249	-23,708	42,9025	37,3561	-15,0852	37,0965
2931-792	50,1826	15,4328	63,8894	52,3729	19,9035	63,1573	39,1625	-3,5765	43,2758	39,6841	1,4003	34,855
3708-809	55,0009	11,8035	59,2752	54,2586	19,3769	62,402	39,8932	-5,7317	40,9834	40,3541	-0,9853	33,5402
578-705	51,1011	-8,2247	63,9866	53,0522	-0,0033	66,779	35,0418	-16,3075	43,8831	38,8724	-9,0361	35,3626
1980-745	41,1982	-6,7328	61,2036	43,9331	-0,3522	63,9567	28,44	-14,8808	36,472	31,701	-9,6649	31,7854
3710-811	54,0193	7,4545	59,71	55,8142	14,0661	61,093	38,5125	-8,755	42,9851	40,3659	-3,1216	32,852



Stages of tooth formation for assessing the development of permanent mandibular molars

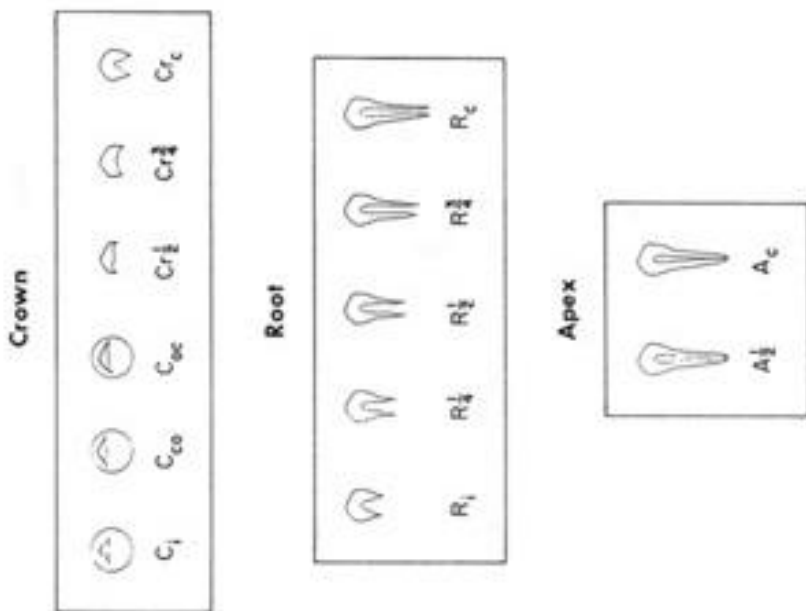


Fig. 1.—Stages of tooth formation for assessing the development of single-rooted teeth

TABLE I
TOOTH FORMATION STAGES AND THEIR CORREL SYMBOLS

Stage	Correl Symbol
Initial cusp formation	C_1
Continuance of cusp	C_{ce}
Cusp outline complete	C_{ec}
Crown $\frac{1}{2}$ complete	$Cr\frac{1}{2}$
Crown $\frac{3}{4}$ complete	$Cr\frac{3}{4}$
Crown complete	Cr_c
Initial root formation	R_1
Initial cleft formation	$R\frac{1}{4}$
Root length $\frac{1}{4}$	$R\frac{1}{4}$
Root length $\frac{1}{2}$	$R\frac{1}{2}$
Root length $\frac{3}{4}$	$R\frac{3}{4}$
Root length complete	R_c
Apex $\frac{1}{2}$ closed	$A\frac{1}{2}$
Apical closure complete	A_c

MFH tooth formation stages. Reproduced from Moores, C. F. A., Fanning, E. A. & Huss, E. E. (1963) Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *Journal of Dental Research*, 42, 1490-1502 with kind permission from the International Association for Dental Research, 1619 Duke Street, Alexandria, VA 22314-3406.

Příloha 4. Smith. Hodnoty pro určení dentálního věku na základě stádií podle MFH (převzato z Hillson, 1996).

Table 5.4. Values for estimating age from permanent lower tooth formation stages (Smith method)

	Males							
	First incisor	Second incisor	Canine	First premolar	Second premolar	First molar	Second molar	Third molar
Ci			0.6	2.1	3.2	0.1	3.8	9.5
Cco			1.0	2.6	3.9	0.4	4.3	10.0
Coc			1.7	3.3	4.5	0.8	4.9	10.6
Cr1/2			2.5	4.1	5.0	1.3	5.4	11.3
Cr3/4			3.4	4.9	5.8	1.9	6.1	11.8
Crc			4.4	5.6	6.6	2.5	6.8	12.4
Ri			5.2	6.4	7.3	3.2	7.6	13.2
Rcl (Cli)						4.1	8.7	14.1
R1/4		5.8	6.9	7.8	8.6	4.9	9.8	14.8
R1/2	5.6	6.6	8.8	9.3	10.1	5.5	10.6	15.6
R2/3	6.2	7.2						
R3/4	6.7	7.7	9.9	10.2	11.2	6.1	11.4	16.4
Rc	7.3	8.3	11.0	11.2	12.2	7.0	12.3	17.5
A1/2	7.9	8.9	12.4	12.7	13.5	8.5	13.9	19.1
Ac								

	Females							
	First incisor	Second incisor	Canine	First premolar	Second premolar	First molar	Second molar	Third molar
Ci			0.6	2.0	3.3	0.2	3.6	9.9
Cco			1.0	2.5	3.9	0.5	4.0	10.4
Coc			1.6	3.2	4.5	0.9	4.5	11.0
Cr1/2			2.5	4.0	5.1	1.3	5.1	11.5
Cr3/4			3.5	4.7	5.8	1.8	5.8	12.0
Crc			4.3	5.4	6.5	2.4	6.6	12.6
Ri			5.0	6.1	7.2	3.1	7.3	13.2
Rcl (Cli)						4.0	8.4	14.1
R1/4	4.8	5.0	6.2	7.4	8.2	4.8	9.5	15.2
R1/2	5.4	5.6	7.7	8.7	9.4	5.4	10.3	16.2
R2/3	5.9	6.2						
R3/4	6.4	7.0	8.6	9.6	10.3	5.8	11.0	16.9
Rc	7.0	7.9	9.4	10.5	11.3	6.5	11.8	17.7
A1/2	7.5	8.3	10.6	11.6	12.8	7.9	13.5	19.5
Ac								

Method: Stages assigned as in Figure 6.4 and age values are given for each stage in each tooth.

Source: Smith (1991b).

Příloha 5. Ubelaker. Dentální diagramy (převzato z Hillson, 1996).

