

Univerzita Karlova v Praze

2. lékařská fakulta

Studijní program: Experimentální chirurgie



MUDr. Magdaléna Kašparová

**Stomatologická péče o pacienty po předchozí chirurgické terapii vrozených
nebo získaných defektů obličeje.**

Využití 3D technologií v diagnostice a terapii rozštěpových pacientů.

Dental care of patients after surgical therapy of inborn oro-facial clefts

3D technologies in diagnostics and therapy of cleft patients

Disertační práce

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: Prof. MUDr. Taťjana Dostálová, CSc., MBA

Praha, 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem řádně uvedla a citovala všechny použité prameny a literaturu. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

MUDr. Magdaléna Kašparová

Identifikační záznam

KAŠPAROVÁ, Magdaléna. *Stomatologická péče o pacienty po předchozí chirurgické terapii vrozených nebo získaných defektů obličeje. [Dental care of patients after surgical therapy of inborn oro-facial clefts]*. Praha, 2014. 86 stran. Disertační práce (PhD). Univerzita Karlova v Praze, 2. lékařská fakulta, Stomatologická klinika dětí a dospělých. Školitel Dostálová, Tatjana.

Poděkování

Ráda bych poděkovala své školitelce prof. MUDr. Tat'janě Dostálové, DrSc., MBA za odborné vedení a cenné rady během celé doby doktorského studia, dále RNDr. Lucii Grajciarové za spolupráci v technických otázkách disertační práce a statistické zpracování dat, Ing. Petru Dvořákovi za pomoc v oblasti 3D tisku a zpracování dat a Prof. Ing. Aleši Procházkovi, CSc. za cenné rady z oboru zpracování dat a aktivní přístup k mezioborové spolupráci mezi spolupracujícími pracovišti.

V neposlední řadě děkuji také celé své rodině a blízkým za podporu v mé profesní i akademické práci.

Obsah

Abstrakt	8
Abstract	9
1. Úvod	10
1.1 Vrozené vývojové vady obličeje – obličejové rozštěpy.....	10
1.2 Multidisciplinární péče o pacienty s obličejovými rozštěpy.....	14
1.2.1 Chirurgická léčba.....	14
1.2.2 Ortodontie.....	17
1.2.3 Stomatologie.....	18
1.2.4 Foniatrie.....	21
1.3 Zobrazovací metody využívané v diagnostice, dokumentaci a terapii rozštěpů obličeje.....	22
1.4 Studijní modely v ortodontické a stomatologické praxi.....	24
1.4.1 Zhotovování studijních modelů.....	24
1.4.2 Měření na modelech.....	25
1.5 Digitalizace ve stomatologii.....	26
1.6 Rapid prototyping, 3D tisk.....	30
1.6.1 Fused deposition modeling (FDM).....	30
1.6.2 Selective laser sintering (SLS).....	31
1.6.3 Stereolitografie (STL,SL)	32
1.6.4 Laminated object manufacturing (LOM)	33
2. Hypotéza a cíle práce	34
3. Metodika	35

3.1 Srovnání měření rozměrů zubních oblouků na 3D digitálních modelech a sádrových studijních modelech.....	35
3.2 Využití analýzy digitálního obrazu v hodnocení růstu a vývoje tvrdého patra u pacientů a rozštěpěm rtu a patra	45
3.3 Obecné ověření přesnosti 3D tištěných modelů a jejich srovnání se studijními sádrovými modely	53
3.4 Aplikace výsledků obecné části na speciální případ – hendikepovaného pacienta s rozštěpem alveolu a tvrdého patra	59
4. Výsledky	72
5. Diskuze	73
6. Závěr	75
7. Význam pro praxi	76
8. Seznam použité literatury a zdrojů	77
9. Seznam publikací disertanta	83

Abstrakt

Postižení pacientů s defekty v orofaciální oblasti, ať už izolovanými nebo kombinovanými zatěžuje nejen pacienta samotného, ale i celou jeho rodinu. Morfologické změny provázející tyto vrozené nebo získané vady jsou příčinou poruch polykání, dýchání, žvýkání a řeči. Dále jsou často základem poruchy vývoje, postavení a počtu zubů dočasné i stálé dentice.

Řešení problémů plynoucích z tohoto postižení vyžaduje multidisciplinární přístup a spolupráci zahrnující zásah plastického chirurga, foniatra, logopeda, psychologa a v neposlední řadě odborníků z řad stomatology.

Množství pacientů ročně ošetřených chirurgicky napovídá, že je naprosto nezbytné vytvoření systematické stomatologické péče navazující na chirurgickou intervenci včetně spolehlivých diagnostických metod zahrnujících nejnovější poznatky nejen z medicínských oborů.

V následující práci budou postupně představeny různé přístupy diagnostiky a hodnocení průběhu terapie rozštěpových pacientů včetně 3D zobrazení, 3D tisku, FESA analýzy a registrace obrazů. Důraz bude kladen na jejich spolehlivost a zaměnitelnost tradičních postupů za alternativní metody, budou stanoveny jejich výhody a nevýhody včetně náhledu na budoucí směr rozvoje metod užívaných v diagnostice a terapii rozštěpových pacientů.

Klíčová slova: rozštěp rtu, rozštěp patra, 3D tisk, stomatology

Abstract

Patients with orofacial defects, inborn or acquired, isolated or in combination with other handicaps in syndromes, suffer from various problems including psychological problems. Morphological changes within these handicaps burden not only the patients themselves, but also their families. Among the main problems are difficulties with feeding, speech or breathing. Anomalies in number or position of deciduous and permanent teeth, development of jaws and dental arches are often present.

Multidisciplinary approach is necessary when solving all of the tasks and the multidisciplinary team consist of experts from field of plastic surgery, foniatry, speech therapist, dentist and oral surgeons.

Surgical therapy involves early primary reconstruction of cleft lip and causes necessity of very detailed therapy planning and evaluation. It is very important to create systematic approach to dental care including valuable diagnostic methods.

In the work presented there will be various methods of diagnosis and evaluation of the treatment introduced with the aim of evaluating modern methods including 3D printing and digital technologies and a valid alternative to traditional methods (plaster casts).

Key words: 3D printing, cleft lip and palate, dentistry

1. Úvod

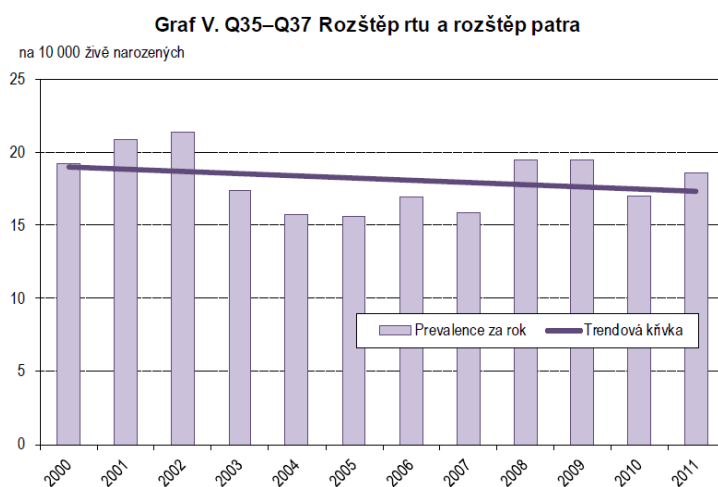
Ve stomatologii se za hendikep považuje jakékoliv narušení funkce žvýkacího aparátu i orofaciální estetiky. Omezení až vymizení schopnosti oddělovat a rozmělnovat potravu, správně a srozumitelně artikulovat nejčastěji souvisí se ztrátou přirozených zubů a je-li ztráta lokalizována ve frontálních - viditelných úsecích zubních oblouků, je pak vnímána jako neestetická. Klinické studie ukazují, že funkce kránie je v přímé souvislosti s dentofaciální morfologií a že horní a dolní čelist, zuby, temporomandibulární klouby i žvýkací svaly korespondují s funkcí stomatognátního systému. Současný technický pokrok v této oblasti přinesl řadu nových technologií i metod dovolujících analyzovat změny v oblasti obličeje i dutiny ústní ve dvou nebo třech rovinách. Defekty v orofaciální oblasti s poškozením čelistních kostí, alveolárních výběžků i vlastních zubů vznikají primárně nebo sekundárně. Jde tedy především o rozštěpové vady a oligodontie, patologické procesy typu cyst, benigní i maligní nádory, záněty včetně parodontitidy, úrazy a jiná onemocnění této oblasti.

Vzhledem k rozsahu postižení v případě obličejových rozštěpů je nezbytná těsná spolupráce různých oborů - chirurg, implantolog, protetik, ortodontista a parodontolog. Většinou je nutná multidisciplinární léčba, která nejčastěji začíná chirurgickou korekcí. Na ní případně navazuje ortodontická léčba, často je třeba ještě konečné protetické řešení, většinou na základě CAD CAM technologie (Computer aided design and computer-aided manufacturing), tedy techniky počítačového návrhu a počítačového zhotovení výrobku či rekonstrukce. 3D technologie nám dnes umožňují hodnotit vývoj čelistí, alveolárních výběžků a jejich vzájemného postavení a funkce. Za podpory moderních postupů lze vytvořit rehabilitaci pacienta s uspokojivou funkcí bez poškození vlastních tvrdých a měkkých tkání. Zásadním cílem je vytvořit a dlouhodobě prakticky ověřit komplex postupů pro praktického zubního lékaře, který umožní hendikepovanému pacientovi, i v případě, že trpí závažnějším postižením typu rozštěpu, poskytnou plnohodnotnou terapii za podpory moderních postupů.

1.1 Vrozené vývojové vady obličeje – obličejové rozštěpy

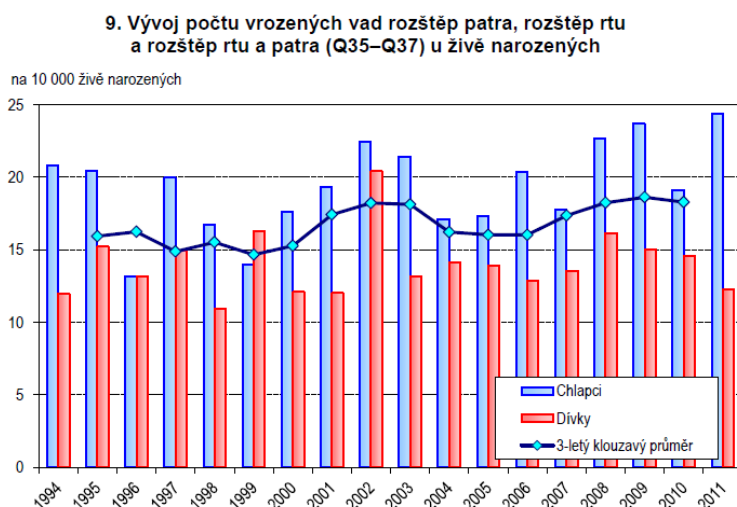
Nesyndromové orofaciální rozštěpy patří k nejčastějším vrozeným vývojovým vadám. Výskyt vykazuje etnické rozdíly, nejvyšší prevalence se uvádí u Asiátů a Indiánů nejméně v populacích afrických černochů. V České republice jejich počty kolísají – podle Národního registru vrozených vývojových vad byla např. incidence v roce 1994 - 1,65; v roce 2002 - 2,13; v roce 2007 - 1,59; v roce 2008 - 1,95. V roce 2010 se v České republice narodilo 5 072

dětí s vrozenou vadou, což představuje 433 narozených s vrozenou vadou na 10 000 živě narozených (Obr. 1).



Obr. 1: Vývoj výskytu rozštěpu rtu a patra u živě narozených v letech 2000-2011 (Zdroj: <http://www.uzis.cz/category/tematicke-rady/zdravotnicka-statistika/vrozene-vady>).

Častěji se vrozené vady vyskytují u chlapců než u dívek. Nejčastějšími vrozenými vadami byly vrozené vady srdeční, u chlapců pak také vady pohlavních orgánů. S rozštěpem rtu nebo rozštěpem patra (Q35–Q37) se v roce 2010 narodilo 115 chlapců a 83 dívek (Obr. 2). Změny souvisejí s porodností, spontánními i plánovanými potraty, kdy rozštěpová vada je sdružená s jinými malformacemi (Cimminelo F.S. et al., 2009). V roce 2010 požádalo o umělé přerušení těhotenství 54% žen, u jejichž plodu byla prenatalně diagnostikována vrozená vývojová vada.



Obr. 2: Vývoj počtu vrozených rozštěpových vad u živě narozených v letech 1994 – 2011 (Zdroj: <http://www.uzis.cz/category/tematicke-rady/zdravotnicka-statistika/vrozene-vady>).

Etiologie rozštěpů obličeje je multifaktoriální (Tabulka 1).

Vada těžce deformuje obličej esteticky, výrazně komplikuje příjem potravy /žvýkání, polykání/ a u rozštěpů patra by neoperovaná znemožnila vývoj řeči. Léčba rozštěpů začíná těsně po narození a končí v dospělosti. Podílí se na ní tým specializovaných odborníků: plastický chirurg, neonatolog, otorinolaryngolog, foniatr, logoped, stomatolog, ortodontista i maxillofaciální chirurg, důležitá je i funkce klinického psychologa (péče o děti i rodiče).

Teratogenní činitel	Zvýšení relativního rizika	Zdroj
Alkohol (> 5 drinků denně)	3,4 x	Shaw a Lammer (Shaw, 1999)
Kouření (> 20 cigaret/d)	1,78 x	Chung a spolupracovníci (Chung, 2000)
Dilantin	10 x	Johnston a Milličovský (Johnston, 1985)
Vitamin A (> 10000 IU / d)	4,8 x	Rothman, 1995 (Rothman, 1995)
Kortikoidy	4,3-5,3 x	Carmichael a Shaw (Carmichael, 1999)
NSAID – Naproxen	2,61 x	Ericson, 2001
Vyšší nadmořská výška	1,57 x	Castilla a kol. (Castilla, 1999)

Tabulka 1: Zvýšení relativního rizika rozštěpové vady obličeje vlivem exogenních faktorů. (Zdroj: upraveno dle Dvořák Z., 2009).

Při terapii rozštěpových vad se multidisciplinární tým setkává s celou řadou problémů. Jedním z nich je problém hojení ran před a po narození, ve kterém existují zásadní rozdíly, přičemž před narozením se hovoří spíše o regeneraci tkání. Fetální hojení bez jizvy je charakteristické vytvářením dermis s normální strukturou a bez známek zánětlivé reakce (Dang C. et al., 2003) a jeví se jako možná cesta k esteticky a funkčně uspokojivému výsledku chirurgické korekce rozštěpu. Při klasickém operačním postupu může formování jizvy vzniklé po operaci rtu i patra významně ovlivnit pružnost tkání a tak zapříčinit opožděný růst horní čelisti (Pěnkava J. et al., 1977). Na hojení rány uzavírající rozštěp, ať již rtu nebo patra, navazují obtíže spojené s vhodnou, funkčně a esteticky hodnotnou náhradou a modelací


























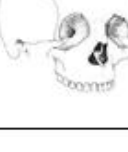
chrupu, udržování orálního zdraví a faktu, že konec léčby lze očekávat až v dospělosti pacienta.



Obr. 3: Novorozenci s pravostranným rozštěpem rtu různého rozsahu.

Chlapci jsou rozštěpovými vadami postiženi dvakrát více než dívky (Obr. 3). Léčba pacientů s rozštěpovou vadou je v České republice komplexní a multidisciplinární. V roce 1964 byl založen genetický registr a v současnosti obsahuje více než 4500 rodin (Peterka M. et al., 1995).

Vzhledem k šíři možných kombinací vad a postižení je nezbytně nutná multidisciplinární spolupráce, dlouhodobá léčba a sledování. Klasifikace obličejových rozštěpů dle Tessiera, která je nejkomplexnější a zahrnuje rozštěpy označené čísly 0-4 vzhledem k poloze rozštěpu k orbitě, je uvedena na Obr. 4. Definitivní řešení je však nutné odložit do doby ukončení růstu čelistí – do dospělosti. Tým odborníků zajišťující terapii pacienta s rozštěpem rtu a patra se skládá z plastického chirurga, ortodontistu, logopeda, psychologa, otolaryngologa, genetika, pediatra, stomatologa a sociálního pracovníka. V průběhu moderních ošetrovacích postupů se v současnosti výrazně uplatňují nové technologie 3D zobrazení a 3D tisku.

No. 0			No. 7		
No. 1			No. 9		
No. 2			No. 10		
No. 3			No. 11		
No. 4			No. 12		
No. 5			No. 13		
No. 6			No. 14		
No. 6,7,8			No. 30	Střední rozštěp mandibuly	

Obr. 4: Tessierova klasifikace obličejových rozštěpů. (Zdroj: Dvořák Z., 2009).

1.2 Multidisciplinární péče o pacienty s obličejovými rozštěpy

1.2.1 Chirurgická léčba

Zmínky o pokusech o chirurgickou terapii rozštěpových vad obličeje nacházíme již staletí před naším letopočtem (Pantaloni M., 2001). V průběhu rozvoje vědomostí z anatomie a chirurgie byly vyvinuty různé techniky operativy, které řešily nové otázky zejména problém

omezení růstu horní čelisti po sutuře horního rtu nebo vznik lineární jizvy při některých metodách operativy. V roce 1952 C.V. Tennison použil techniku sutury rtu s použitím trojúhelníkovitého laloku z laterální strany nad hranicí retní červeně a založil tak moderní směr estetického uzávěru rozštěpu rtu. Prof. F. Burian vložil do chirurgie rozštěpových vad poznání, že se nejedná pouze o nespojení dvou částí tkáně, ale o kvantitativní úbytek tkání, což představuje podstatnou informaci pro plánování chirurgické korekce. Významnou osobností v dalším vývoji byl zejména P. Randall, který v r. 1959 modifikoval Tennisonovu metodu a přesně matematicky definoval rozměry jednotlivých tkání. Načasování operativy rozštěpu rtu představuje v dnešní době stále kontroverzní téma i v celosvětovém měřítku. Úlohou plastického chirurga je operace rtu v některém případě spojená s korekcí nosu (buď u novorozence nebo v období do 3 měsíců věku), operace patra (kolem 9 měsíce věku) a později (kolem 8 let věku) rekonstrukce defektu v čelisti spongiosou odebranou z lopaty kosti kyčelní. Obnovení funkce svalů v okolí rozštěpové štěrbin, rekonstrukce rozštěpového defektu spolu se stomatologickou a ortodontickou péčí jsou nutné proto, aby všechny tyto struktury mohly plnit svoji funkci (Borský J. et al., 2012).

V České republice jsou sledovány 2 protokoly chirurgického řešení rozštěpů:

A) primární sutura rozštěpu rtu co nejdříve po narození

Mezi rozštěpovými centry u nás i ve světě se již řadu let vedou diskuze o co nejvhodnějším načasování operativní léčby. Otázkou zůstává, zda je lepší provést primární suturu rtu těsně po narození, kdy přetrvává tzv. fetální způsob hojení, v anglické literatuře označované „scarless healing“ - tedy hojení bez jizvy, nebo zda je výhodnější operovat až mezi 3-6 měsícem, kdy je operace technicky snazší a dítě nemusí být hospitalizováno na novorozenecké jednotce intenzivní péče. Jizvy operovaných novorozenců vypadají lépe, než u dětí operovaných v pozdějším věku a negativní vliv primární sutury rtu na růst čelisti zatím nebyl prokázán (tj. po 4 letech sledování) (Borský J. et al., 2012).

Předmětem diskuse je i technika operace rozštěpu rtu. V Čechách se primární sutura rtu provádí dle Tennisona-Randala, Millarda či modifikovanou metodou (Borský J. et al., 2007)
- Obr. 5.

Primární sutura rtu je prováděna co nejdříve po narození pacienta, ale jen v případě, že vada není asociována s jiným systémovým onemocněním a dítě je schopno podstoupit celkovou anestezii. Při tomto postupu jsou vkládány naděje do tzv. „fetálního hojení“, přičemž výzkum prokazující metabolické a biochemické rozdíly v tkáních těsně před narozením a v době klasické operace dosud nepřinesly jasné výsledky.




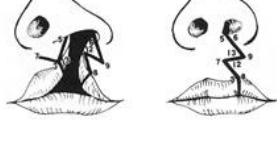

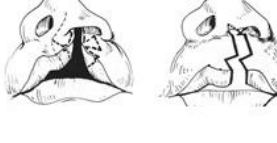

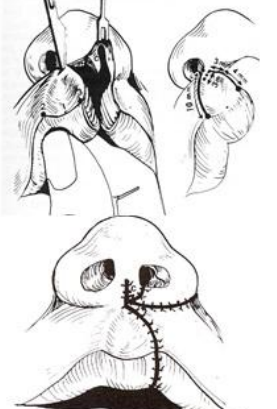
Borský et al. ve své práci, kdy modifikovanou technikou sutury rozštěpu rtu dle Tennisona hodnotil estetické výsledky u 97 novorozenců, prokázal, že časná sutura rozštěpu rtu má výborné estetické výsledky a pozitivní efekt na psychiku rodiny pacienta narozeného s rozštěpem rtu (Borský J. et. al., 2012).



Obr. 5: Pacient s pravostranným rozštěpem rtu po narození a ve věku 8 měsíců, chirurgická léčba časnou suturou rozštěpu rtu.

B) klasický protokol uzavření rozštěpu rtu ve 3 měsících života pacienta

Sutura rtu se provádí ve třetím měsíci života dítěte obvykle po splnění „pravidla desíti“ – věk víc než 10 týdnů, hmotnost dítěte vyšší než 10 liber a hladina Hb v krvi vyšší než 10 g/dl (Shaw W.C. et al., 2001). Celosvětově se nejčastěji užívá metoda trojúhelníkovitého lalůčku dle Tennisona-Randala nebo metoda rotačně-posuvného laloku publikovaná Millardem (Obr. 6). Sutura měkkého a tvrdého patra se obvykle provádí do 1 roku věku nejčastěji metodami dvojlalokové plastiky, Wardill-Kilnerovou metodou nebo dvojitou reverzní Z-plastikou dle Furlowa (Dvořák Z., 2009).

 <p>Charles Tennison (1952)</p>			<p>Metoda trojúhelníkovitého laloku, principem je dolní Z - plastika. Zachovává Cupidův oblouk a umísťuje jej do normální pozice.</p>
 <p>Peter Randall (1959)</p>			<p>Modifikoval předchozí metodu redukcí dolního trojúhelníkového laloku a matematicky vyměřil výšku, aby bylo dosaženo symetrie.</p>
 <p>T. Skoog 1915 - 1977</p>			<p>Metoda velmi podobná Randallově modifikaci, ale Z - plastika je v dolní i horní části rtu - druhý klínek je pod kolumelou.</p>
 <p>Ralph Millard jr. (1955)</p>			<p>Rotaton - advancement /rotace - posuvný lalok/. Velmi vhodná pro malé a inkompletní rozštěpy, jizvy pěkné, zvedá práh nozdry, upravuje úpon kolumely. Nevýhoda: neuvolňuje tenzi nad kožně slizniční hranici (metoda dle Tennisona, Le Mesurierera ano), nozdra má tendenci se zužovat. U těžkých vznikají těžkosti s vytvořením Cupidova oblouku, ale možno zařadit malou Z - plastiku nad červeň. Princip této metody je praktickým základem většiny moderních metod.</p>

Obr. 6: Techniky uzávěru rozštěpu rtu. (upraveno dle Dvořák Z., 2009).

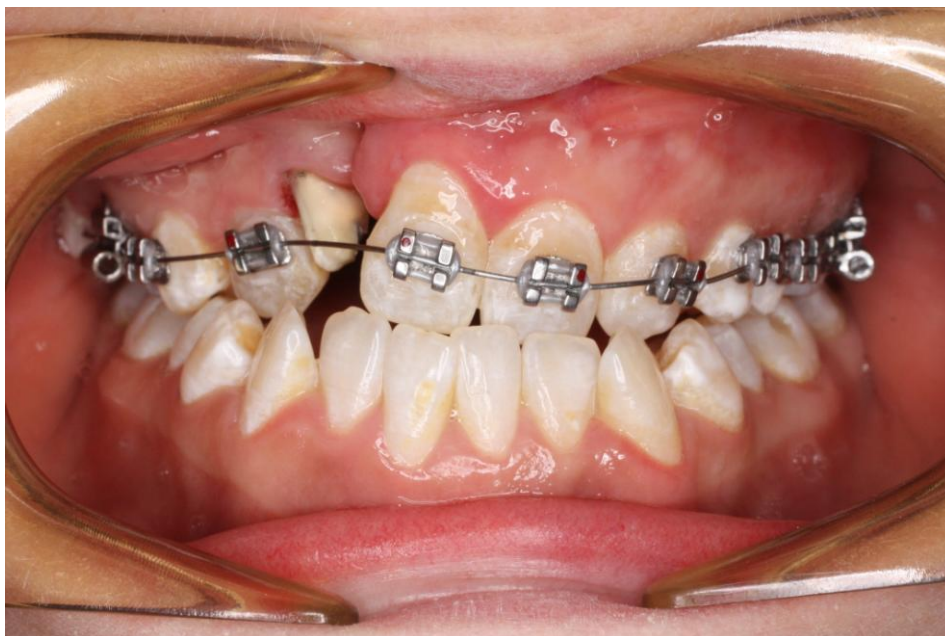
1.2.2 Ortodontie

Ortodontie jako specializace stomatologie hraje významnou roli v plánování chirurgické terapie a doplňuje výsledky dosažené chirurgicky. Pacienti s rozštěpy obličeje jsou sledováni ortodontistou od raného dětství nejen vzhledem k postižení čelistí, ale také pro různé anomálie počtu a tvaru zubů dočasného i stálého chrupu.

Rozštěpový defekt čelisti často vede k tomu, že některé zuby v čelisti zcela chybí (nejčastěji premoláry a laterální řezáky). Mohou být také přítomny další ortodontické anomálie jako např. inklinace a rotace jednotlivých zubů nebo obrácený skus (Peterka J. et al., 1980). Dalším problémem je zmenšení velikosti zubního oblouku díky defektu samotnému nebo jako důsledek chirurgické korekce rozštěpu. Bylo prokázáno, že ihned po narození je rozměr zubního oblouku větší díky nespojení patrových desek (Pěnkava J. a Peterka J., 1977; Peterka J., 1984). Délka horní čelisti – měřeno od papila insiciva po střed spojnice mezi tuber

maxillae obou stran, je od narození až do dospělosti kratší (Pěnkava J. a Peterka J., 1977; Peterka J. et al., 1980; Peterka J., 1984; Šmahel Z. et al., 2003). Po chirurgickém zásahu a s přibývajícím věkem se zubní oblouk zužuje (Atherton J.D., 1967; Aduss H. a Pruzansky S., 1968; Pěnkava J. a Peterka Z., 1977; Peterka J., 1984; Šmahel Z. et al., 2003; Šmahel Z. et al. 2004; Dostálová T. et al. 2006; Šmahel Z. et al., 2009). Ortodontická léčba u rozštěpového pacienta často začíná brzy po narození a v době prořezání stálých zubů je následována obdobím retence – stabilizace výsledků pomocí fixních ortodontických aparátů (Obr. 7).

U 50% pacientů je součástí terapie přenos štěpů k uzavření rozštěpového defektu čelistí (Sameshima G.T. a Smahel Z., 2000; Arctander K. et al., 2005). Ortodontická terapie je zakončena po ukončení růstu skeletu ve spolupráci s protetikem za využití fixních protetických prací (Hayashi I., 1976; Peterka J. et al., 1980).



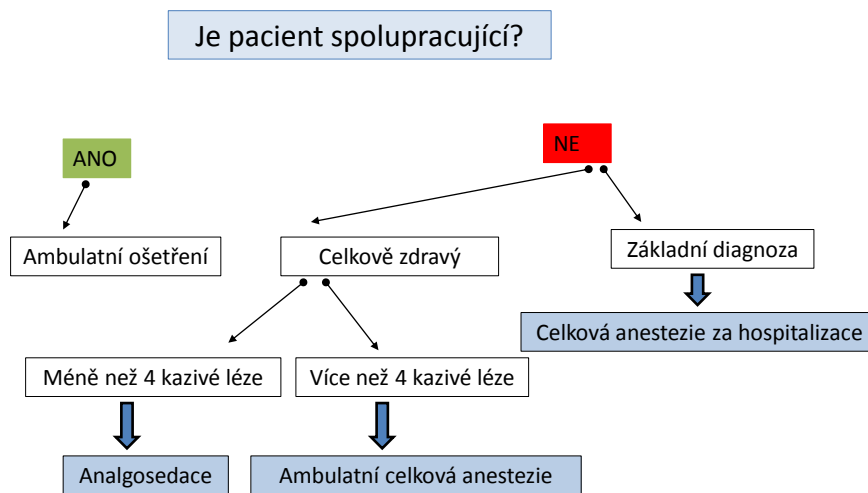
Obr. 7: Pacient s pravostranným rozštěpem alveolu a patra s různými dentálními (ageneze zubu 12) a ortodontickými anomáliemi (obrácený skus, stěsnání zubů).

1.2.3 Stomatologická péče

Stomatologická péče o hendikepované pacienty, zahrnující i pacienty s rozštěpy, obsahuje ošetření od preventivní péče, konzervačního ošetření počátečních stádií zubního kazu, nahrazení předčasně ztracených zubů snímatelnými protetickými pracemi až po definitivní funkční a estetickou rehabilitaci stomatognátního systému.

Při ošetření pacientů s hendikepem není výjimkou ani indikace ošetření chrupu v celkové anestezii, zejména pokud ošetření zahrnuje extrakční terapii. Dalšími možnostmi jsou ošetření

pacienta v sedaci při vědomí (Midazolam, Entonox, Dormicum). Rozhodovací schéma terapie o hendikepovaného pacienta, včetně pacientů s orofaciálními rozštěpy je uvedeno na Obr.8.



Obr. 8: Rozhodovací schéma ošetření hendikepovaného pacienta.

Pandey S.C. a Pandey R.K. (2005) ve svém výzkumu ukázali souvislost mezi stavem parodontu a hojením rozštěpového defektu a zvýšený výskyt plaku u pacientů s CLP v porovnání s pacienty ortodonticky léčenými pro běžné ortodontické anomálie. Úloha pedostomatologa v týmu odborníků je tedy pevně daná a nezastupitelná. Správně sanovaný chrup bez mezer vzniklých předčasnou ztrátou dočasných zubů je důležitý pro korektní a symetrický růst zubních oblouků, řeč a příjem potravy.

Na trend zvyšující se kazivosti zubů u dětí s rozštěpem rtu a patra se názory v literatuře liší (Cheby L.K. et al., 2007). K porovnání prevalence zubního kazu u pacientů s CLP bylo ve světě provedeno několik epidemiologických studií. Dostupné studie však vykazují výrazné rozdíly ve výsledcích. Mutarai T. et.al. (2008) uvádí, že přítomnost rozštěpu nemá na prevalenci kazu žádný vliv. Stejně tak Hasslöf P. a Twetman S. (2007) nenašli žádný důkaz vyšší kazivosti zubů u pacientů s rozštěpy. Naopak Stec-Slonicz M. et.al. (2007), Besseling S. a Dubois L. (2004) zaznamenali vyšší přítomnost zubního kazu u pacientů s rozštěpy než u pacientů bez defektu rtu a patra stejně jako Al-Dajani M. (2009). K predisponujícím faktorům akumulace plaku patří nejenom rozštěpový defekt samotný, ale také aplikace pomůcek do

dutiny ústní (obturátory, ortodontické aparátky) nebo hypoplasie skloviny řezáků v okolí rozštěpového defektu (Hasslöf P. a Twetman S., 2007).

Mezi další dentální anomálie spojené s rozštěpy alveolárního výběžku a patra patří anomálie tvaru, postavení a velikosti zejména řezáků, a to jak dočasných, tak stálých (Obr.9). Dále chybné vzájemné postavení zubů v čelistech, ageneze zubů (Anil V. et al., 2005).



Obr. 9: OPG pacienta s levostranným rozštěpem rtu a alveolu a agenezí horního laterálního řezáku vlevo.

Rehabilitace pacientů s rozštěpovou vadou je velmi obtížná a vyžaduje dlouhodobou spolupráci pacienta a jeho rodiny. Začíná operativou v brzkém novorozeneckém věku, pokračuje ortodontickou terapií, která v některých případech v závislosti na povaze postižení může dosáhnout uspokojivého konečného výsledku, následuje fáze protetická, která začíná po ukončení růstu skeletu, kolem 18 roku. Pro protetickou fázi je podstatný příznivý tvar a velikost zubních oblouků bez anomálií. Rozštěpová vada je často spojená s chyběním některých zubů (nejčastěji premoláry, postranní řezáky) a dalším ortodontickými anomáliemi, ať už je to zkřížený skus, obrácený skus ve frontálním úseku a různá anomální postavení zubů (inklinace, rotace atd.).

Finální fází rekonstrukce chrupu u pacienta s rozštěpem alveolárního výběžku je protetická rekonstrukce (Obr. 10), která je ovšem hned z několika důvodů komplikovaná a přistupuje se k ní po ukončení růstu skeletu. Důvodů, které vedou k obtížím při konstrukci a

funkci celkových zubních náhrad je několik. Především hovoříme o diskrepanci ve vzájemných vztazích mezi čelistmi, podmíněná omezováním růstu maxilárních segmentů jako následek chirurgického uzávěru defektu, deformace a plochý reliéf protézniho lože, to vše násobené vysokou reziliencí zesílené sliznice a atypickými úpony mohutných slizničních laloků užitých k uzávěru defektů. Klasické celkové náhrady proto nespĺňují nároky na stabilitu a kvalitu při běžném užívání. Reálnou metodou volby ať už při nahrazování chybění jednotlivých zubů nebo zhotovování celkové náhrady je aplikace implantátů. Užití podmíněně snímatelné konstrukce nesené implantáty je ideální metodou volby u atypické morfologie čelisti nejen proto, že postavení implantátů je třeba proteticky modifikovat, ale i proto, že dovoluje s odstupem kontrolovat implantát, protézni lože i stav sliznice a i simulovat nedostatečné množství tvrdých i měkkých tkání v dutině ústní. Množství, délka i rozložení implantátů je dáno přítomností jizevnaté tkáně.



Obr. 10: Pacient s levostranným rozštěpem rtu, alveolu a patra před s po finální protetickém ošetření fixním mústkem v rozsahu 11-23.

1.2.4. Foniatrie

Foniatr sleduje pacienty s rozštěpovými vadami patra v rámci multidisciplinární komplexní péče. První vyšetření je zpravidla ještě před realizací palatoplastik při podezření na submukosní rozštěp. Po operaci patra posuzuje funkci měkkého patra vzhledem k očekávanému rozvoji řeči. Zásadní v posuzování řečového vývoje je zhodnocení příznaků jeho opoždění včetně diagnostiky vývojových poruch řeči (vývojová dysfázie, vývojová dysartrie) a participaci případných sluchových poruch či vad. Individualita řečových schopností dětí je rovněž určující pro stanovení optimální doby pro zahájení péče klinického logopeda.

Při současně uplatňovaném časovém plánu palatoplastik je jednoznačně zřejmé, že včasná operace patra před 1. rokem věku dítěte minimalizuje vznik a následnou fixaci

patologických stereotypů artikulace a nedochází tedy k rozvoji typické poruchy řeči – palatolalii, která byla u pacientů operovaných mezi 2. - 4. rokem věku, tj. v období již probíhajícího vývoje artikulace, podstatně častěji manifestována. Včasně uzavření defektu patra s vytvořením dostatečného velofaryngeálního uzávěru zároveň zlepšuje zvukovou stránku řeči s minimální poruchou rezonance řeči a hlasu, kdy je eliminován typicky huhňavý zvuk zejména samohlásek (Kuthanová B., 1994). Po domluvě s plastickým chirurgem může být indikována další korekční operace, například prodloužení patra Z plastikou. Nezastupitelná je v rámci foniatrické péče v dané problematice i cílená edukace rodičů směřující k osvojování vhodných motivačně stimulačních přístupů k řečové rehabilitaci.

1.3 Zobrazovací metody využívané v diagnostice, dokumentaci a terapii rozštěpů obličeje

Vzhledem k rozvoji nových zobrazovacích metod a možností moderní medicíny, lze v dnešní době rozštěpovou vadu diagnostikovat již prenatálně. Prenatální diagnostika dává rodičům možnost volby porodu nebo umělého ukončení těhotenství a lékařům pak možnost plánovat vhodný zákrok vzhledem k celkovému zdraví pacienta.

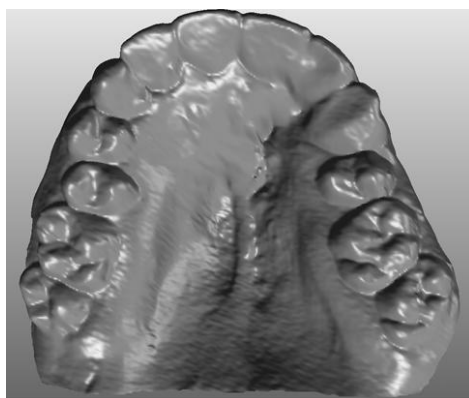
V terapii rozštěpových vad obličeje se pak velmi výrazně uplatňuje počítačová tomografie (CT), zhotovování rentgenových snímků v různých projekcích (OPG, i.o. RTG, CBCT). Je známo, že i když je na sonografickém vyšetření možno dobře zobrazit rozštěp rtu, rozštěp patra spolehlivě identifikovatelný není (Stourstrup Smith A. et. al, 2004). Magnetická rezonance se ukázala jako spolehlivou metodou prenatální diagnostiky fetálních abnormalit vývoje v porovnání se sonografickým vyšetřením a přináší nové informace důležité pro diagnostiku (Levine D et al., 1999; Sonigo P.C. et al., 1998). Wang a kol. se ve své práci zabývali využitím MRI pro prenatální diagnostiku rozštěpu rtu a patra s velmi pozitivními výsledky, kdy rozštěp rtu a patra byly správně identifikovány u všech 12 vyšetřovaných plodů (Wang G., 2001).

Sádrové dokumentační modely, spolu s fotografiemi a vyšetřením pomocí zobrazovacích technik jako RTG nebo CT, představují standart zaznamenávání průběhu léčby nejen u ortodontického pacienta (Bell A. et al., 2003). Z dlouhodobých analýz je zřejmé, že sádrové modely jsou přesné a data z nich jsou spolehlivě odečitatelná a reprodukovatelná.

Vzhledem k nutnosti dlouhodobě sledovat léčbu, případně její recidivy, je nutné sádrové modely uchovávat. Skladování sádrových modelů přináší nevýhody, které komplikují práci s nimi – jedná se zejména o náročnost na skladovací prostory, ale také na manipulaci a s tím spojenou možnost potenciálního zničení modelu při upadnutí nebo odštípnutí (McQuinness

N.J. et al., 1992; Santoro M. et al., 2003). K poškození nemusí docházet jen při skladování, ale také může dojít ke ztrátě modelů při jejich transportu, který je nezbytnou součástí léčby, např. v případě nutnosti konzultace plánu léčby s odborníky jiných specializací (maxillofaciální chirurg, praktický zubní lékař apod.).

Digitalizace v různé formě (CBCT, CAD CAM technologie, laboratorní techniky, 3D zobrazování) zasahuje v dnešní době do téměř všech odvětví medicíny, stomatologii nevyjímaje (Chapuis J. et al., 2007; Kondo T. et al., 2004).



Obr. 11: Digitální zobrazení modelu horní čelisti rozštěpového pacienta získané skenováním sádrového modelu.

Mnoho studií se již zabývalo spolehlivostí převodu fyzického sádrového modelu do 3D digitální podoby a prokázalo jejich přesnost (Quimby M.L. et al., 2004; Sohmura T. et al., 2000; Tomassetti J.J. et al., 2001). Leifert et al. se ve své práci zabýval srovnáváním sádrových studijních modelů a jejich 3D obrazů a zjistil, že výsledná odchylka 0,5mm mezi měřeními na těchto dvou typech objektů je akceptovatelná pro klinickou praxi (Leifert F.M. et al., 2009). Digitální studijní modely byly také uznány jako přesná alternativa tradičních modelů v plánování ortodontické léčby u pacientů s II. tř. dle Angela autorem Whetten et al. (Whetten L. J. et al., 2006). Všechny studie se také zabývaly nevýhodami digitálních modelů (Obr. 11), mezi které patří především hrozba ztráty dat, možnost vzniku technických chyb a v poslední řadě také riziko zneužití-elektronických dat pacienta.

Pokud je tedy prokázáno, že digitální model je validní alternativou sádrového studijního modelu, vyvstává problém následného „zhmotnění“ digitálních dat v případě potřeby, často i z forezních důvodů.

3D obraz, 3D tisk – využití v diagnostice a terapii rozštěpů

Potvrzením zastupitelnosti měření rozměrů čelistí na sádrových modelech počítačových 3D digitálních modelech se další výzkum posunul na další úroveň a vznikla otázka jakým způsobem získat opět fyzicky 3D model v případě potřeby. Tímto problémem se zabývala studie autora Keating et al., kde digitální data získána skenováním sádrového modelu byla použita pro 3D tiskárnu. Pomocí metody stereolitografie byly vytištěny 3D kopie dvou naskenovaných sádrových modelů (Keating A.P. et al., 2008). Bylo konstatováno, že získané modely nejsou přesné a tudíž nemohou tradiční modely nahradit.

V dnešní době je na trhu mnoho různých typů 3D tiskáren, které jsou schopné „tisknout“ 3D objekty různými technologiemi. Nejrozšířenějšími jsou tzv. FDM tiskárny (zkratka z angl. Fusion Deposition Modeling), kdy objekt vzniká skládáním tenkých vrstev materiálu, např. open source systém RepRap. Jinou technologií je metoda nanášení částic prášků se spojovací hmotou, např. Zcorp nebo metoda SLS (zkratka z angl. Selective Laser Sintering), u kterého je nylon nebo termoplastický prášek spojován laserem. SLA (zkratka z angl. stereolitography) představuje metodu tisku využívající pryskyřici tvrdnoucí UV světlem. Nevýhodou této metody dosud zůstává vysoká cena finálního výtisku a poměrně dlouhá doba tisku.

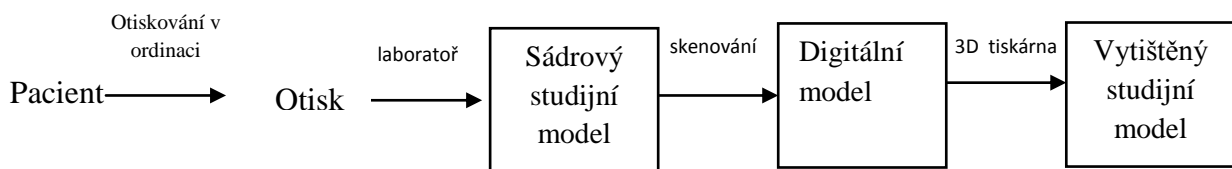
1.4 Studijní modely v ortodontické a stomatologické praxi

Studijní modely jsou nedílnou součástí určení správné diagnózy a postupu terapie nejen ve stomatologii a ortodoncii. Umožňují nám shromáždit spolehlivé a přesné údaje, které věrně reprodukuje stav před zahájením léčby (Wachsman K., 1926). V ortodoncii a protetice jsou základním diagnostickým záznamem tohoto stavu modely chrupu. Modely chrupu patří mezi standardní ortodontickou dokumentaci spolu s fotografiemi pacienta, rentgenovými snímky typu ortopantomogramu (OPG) a kefalometrického snímku (Výbor České ortodontické společnosti, 1993).

1.4.1 Zhotovování studijních modelů

Pro potřeby dokumentace a plánování terapie ve stomatologii jsou používány sádrové dokumentační modely zhotovované laboratorně na základě otisků pacienta alginátovou otiskovací hmotou. Algináty patří k hydrokoloidním otiskovacím hmotám, dvousložkovým, kdy smícháním prášku a vody v přesně stanoveném poměru lze dosáhnout vlastností dostačujících k otiskování zubních oblouků pro zhotovení studijních modelů (Dostálová T., 2004). Modelová sádra užívaná k vylévání otisků, by měla mít určité ideální vlastnosti - objemovou stabilitu, dostatečnou manipulační dobu, přesnou reprodukci detailů, žádné

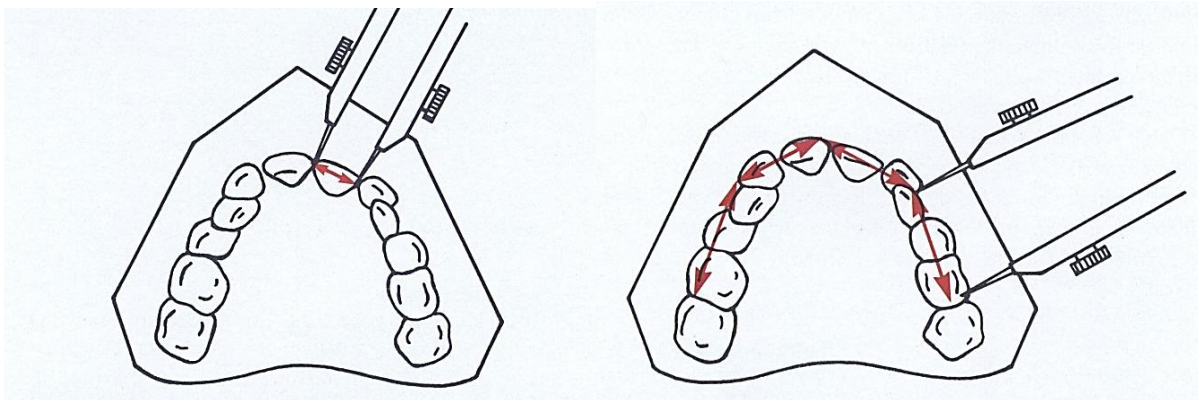
dodatečné změny po ztuhnutí způsobené kontaktem s otiskovacím materiálem, hladký, neporézní povrch, dostatečnou pevnost v tlaku a ohybu. Nejčastěji používanou sádrou je tzv. „stone“. I při dodržení všech technologických postupů zůstává sádra materiálem, který není zcela mechanicky odolný, proto je třeba dokumentační modely skladovat bezpečně s ohledem na tento fakt. Ze všech diagnostických materiálů vytvářejících konečnou diagnózu, zvláště u vzácnějších typů onemocnění, studijní modely nabízejí nezastupitelné informace. Je proto nutné věnovat jim dostatek času a péče (van der Linden F.P.G.M. a Boersma H., 1987). Možnost digitalizace naskenovaných studijních modelů a jejich následného 3D tisku je znázorněna na Obr. 12.



Obr. 12: Postup zhotovování otisků pacienta a jeho archivace a event. 3D tisk.

1.4.2 Měření na modelech

Při proměření rozměrů zubních oblouků se studijní modely používají nejenom pro snadnou manipulaci, 3D pohled na všechny struktury v ústech, ale také pro možnost dodatečné informace – pohledu na okluzní vztahy z lingvální strany – tohoto nelze dosáhnout ani přímým klinickým vyšetřením. Mezi nejčastěji prováděná měření na ortodontických modelech patří stanovení velikosti zubů (Obr. 13) a zubních oblouků a z nich odvozených hodnot jako je velikost diskrepance v zubních obloucích, analýza smíšené dentice, určení Boltonových indexů a v neposlední řadě výpočet různých indexů hodnotících okluzi a ortodontické anomálie (Mazurová K., 2013). U pacientů s rozštěpy zasahujícími zubní oblouky a kostěné struktury patra pak mezi důležité měřitelné údaje patří zejména šířka zubních oblouků.



Obr. 13: schéma měření na ortodontických modelech (segmentální analýza) (Zdroj: Proffit W.R., 2003).

1.5 Digitalizace ve stomatologii

V průběhu minulého století se nejen odborná, ale i široká veřejnost začala zajímat o využití digitálních dat pro usnadnění diagnostiky a monitoraci péče o pacienty. Digitální data jsou takovým typem záznamů, který je možné zapsat pomocí jejich číselného popisu, založeném na dvojkové soustavě, čistě za pomoci čísel 0 a 1 a příslušného matematického aparátu, tzv. Booleovy algebry. Nejmenší digitální informační jednotkou je jeden bit (jednotka b). Bit je hodnota nabývající jednoho ze dvou předem definovaných stavů, např. pravda-nepravda, 0-1, černá- bílá, apod. Digitální obraz je pouze formou digitálních dat (Žára J. et al., 1992).

Pokud chceme studovaný objekt vyšetřovat v digitální formě, je třeba si uvědomit, že musíme rozlišit informace, které jsou pouze povrchové nebo které jsou objemové. Objemová data lze získat např. pomocí počítačové tomografie (CT) nebo magnetické resonance (MR) a umožňují udělat si obraz o vnitřní struktuře objektu. Objemové skenovací techniky produkují objemové elementy - voxely, které tvoří jakýsi box malých kostiček. Objemová data se zobrazují obvykle jako mnohočetné řezy, které jsou porovnatelné se standardním 2D zobrazením. Jejich reprezentací je nejmenší element digitálního obrazu pixel. Každý pixel má své umístění v souřadnicové ose a poskytuje informaci o odstínech šedé nebo barevné škály.

Přístroje používané registraci povrchu objektů a případně i jejich textury či barvy se nazývají skenery. Jimi získaná data mohou být využita k vytvoření a analýze třídimenzionálních virtuálních objektů. Výhodou je menší množství získaných dat oproti

objemové digitalizaci, jednodušší záznamová technologie a v některých případech možnost zaznamenání textury a barvy, avšak informace o vnitřní struktuře zůstává skryta.

Základní typy povrchových skenerů představují **kontaktní skenery** a **bezkontaktní skenery**.

Kontaktní skenery

Kontaktní skenery registrují objekt, který je předmětem zkoumání, prostřednictvím fyzického kontaktu. Některé systémy využívají magnetického pole, zatímco jiné používají senzorické rameno (Weber G.W. a Booksetin F.L., 2011). Ramenový digitizér je zařízení skládající se z kloubně propojených ramen a na konci posledního ramene je umístěn digitalizační hrot. Digitalizace probíhá tak, že se hrot přiloží k určenému bodu a podle polohy ramen a kloubů digitizéru se vypočítá a zaznamená trojrozměrná poloha bodu do počítače (Šplíchalová, 2012). Tato měření jsou velmi přesná pro mechanické systémy. Nevýhodou je to, že musí být s objektem v kontaktu. Měkké tkáně jako kůže mohou být deformovány nebo může dojít k poškození povrchu digitalizovaného objektu. Kontaktní skenery jsou pomalejší než jiné postupy a přinášejí mnohem méně dat. Kontaktní skenery se široce využívají k měření bodů a křivek. Méně často se aplikují k získání plošných dat, ačkoli i to je možné náhodným nebo systematickým pohybem čidla po objektu, zatímco poloha je průběžně zaznamenávána. Objekt zájmu musí být pevně fixován před započítáním a po celou dobu měření.

Bezkontaktní skenery

Bezkontaktní skenery mohou být rozděleny na aktivní a pasivní podle druhu záření, které potřebují ke své funkci.

a) Aktivní skenery- aktivní bezkontaktní skenery emitují určitý druh záření (světlo, laserový paprsek, ultrazvuk), aby bylo možné zkoumat objekt pomocí detekce jeho odrazu (Obr. 14).

3D laserový skener

U tohoto typu skeneru je transmitován laserový paprsek k záznamu povrchu objektu. Existují dvě laserové skenovací techniky: první měří dobu, kterou potřebuje laserový paprsek k tomu, aby se vrátil do transmiteru, při druhé metodě je laserový paprsek vyslán transmiterem a zároveň přijímač (kamera) měří, kde se laserová tečka ve skutečnosti na objektu nachází. Zdroj laserového paprsku, zobrazený bod paprsku na objektu a senzor vytváří trojúhelník. Jako výsledek tvar a velikost trojúhelníku je plně podmíněn pozicí laserové tečky na objektu a je tak možné určit polohu. Na malé vzdálenosti do několika metrů

vykazuje tato metoda přesnost na desítky mikronů. Kromě prostorové geometrie může být zaznamenána i barva. Tato spíše dražší technologie vytváří velmi realistické záznamy.

Skenery využívající strukturovaného světla

Tyto povrchové skenery vysílají světelný paprsek na objekt a vyhodnocují deformaci promítaného vzoru. Kamera v určitém úhlu k projekci zaznamená křivku, která není rovná, ale deformuje se podle tvaru objektu, na který je světlo promítáno. Protože je úhel mezi osou kamery a osou projektoru známý, odchylná optická triangulace pak může vypočítat vzdálenost mezi kamerou a jakýmkoli projektovaným bodem. Jak se linie světla pohybuje po celém zorném poli, je povrch objektu digitalizován řádek po řádku. Výpočet vzdálenosti se stává o něco složitějším, a to zejména u povrchů, které mají otvory, podsekřiviny nebo při náhlých změnách jejich prostorové hloubky.

Skenery využívající strukturovaného světla nabízejí vysoké rozlišení a přesnost měření při velké rychlosti. Každý dílčí pohled může být zaznamenán pouze v několika málo sekundách, protože celé zorné pole je registrováno v jednom procesu, a ne bod po bodu. Tímto se také redukuje riziko artefaktů a distorze způsobené pohybem.



Obr. 14: Bezkontaktní skener inEosBlue (Sirona).

b) Pasivní skenery- pasivní skenery nevyzařují záření samy o sobě, ale zaznamenávají odražené záření z okolí (obvykle viditelné světlo, někdy infračervené záření).

Stereoskopické skenery

Stereoskopické systémy obvykle využívají dvou fotoaparátů o známé poloze, které se zaměřují na stejnou scénu z mírně odlišných úhlů. Analýzou rozdílů mezi obrazy obdrženy každou kamerou v metodě podobné biologickému stereoskopickému vidění, můžeme určit vzdálenost každého jednotlivého bodu v obraze.

Stereofotogrammetrie

Stereofotogrammetrie je hojně využívaná pro velké scénérie (jako například budovy) nebo pro mapování zemského povrchu zachyceného pomocí satelitu (dálkový průzkum Země). Tato metoda je variantou výše zmíněné stereoskopie, ale na rozdíl od ní využívá pouze jednu pohybující se kameru namísto dvou fixovaných. Vztah mezi dvěma pozicemi kamery se počítá od polohy bodů, které jsou viditelné na každém z těchto dvou obrazů.

Stereofotogrammetrická metoda je schopna velmi vysoké přesnosti, dokonce do té míry, že napraví optické zkreslení objektivu fotoaparátu samotného. Aby bylo možné měření vzdáleností, musí být na obraze zachyceno měřítko nebo dvojice bodů o přesně známé vzdálenosti.

Intraorální skenery

Protože všechny shora uvedené skenery mohou ve stomatologii sloužit pouze ke skenování modelů chrupu mimo ústa, což je označováno jako nepřímý postup, intraorální skenery mají schopnost získat informaci o postavení zubů přímo z pacientových úst (Pani S.C a Hedge A.M., 2008). Toto může být velmi výhodné u pacientů, u kterých je vyšší riziko aspirace otiskovací hmoty (pacienti s rozštěpy, oro-nasální komunikací) nebo u pacientů s výrazným dávivým reflexem (Yourtee D et al., 2000). I když intraorální skenery v současné době nejsou standardní výbavou běžných stomatologických praxí a mají mnoho omezení, zejména pak limity přesnosti v oblasti přechodu bílé barvy dentice a růžové barvy měkkých tkání, studie provedena autorkou Cuperus A. M. R. et al. Potvrdila přesnost a reprodukovatelnost údajů získaných z 3D výtisků modelů chrupů získaných skenováním intraorálním skenerem (Cuperus A.M.R et al., 2012).

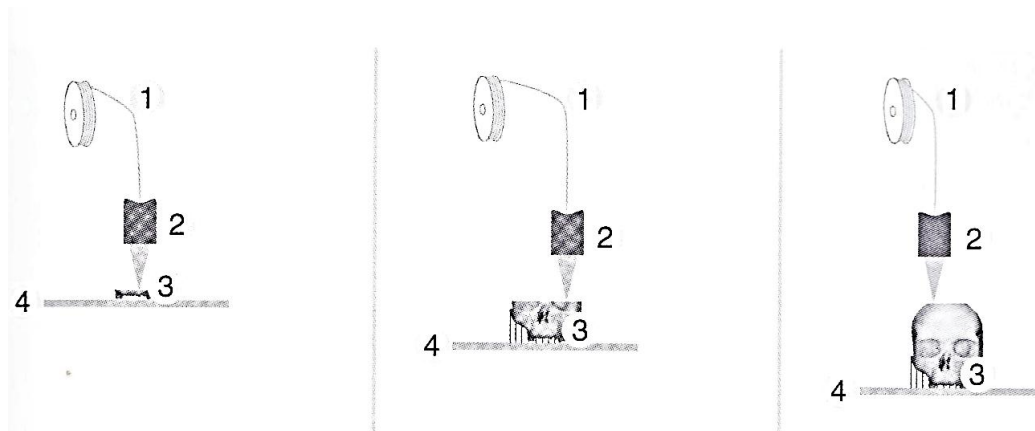
1.6 Rapid prototyping, 3D tisk

Rapid prototyping (RP) je společný název z 80. let pro výrobní procesy využívané k rychlé výrobě dílů založených na digitálních datech. Jsou jakými si 3D kopírovacími procesy, ve kterých jsou virtuální objekty transformovány do reálné podoby. Data pochází z oblasti CAD (Computer Aided Design) nebo ze 3D skenerů, jako jsou tomografické procesy nebo povrchové skenery. RP procesy jsou nejvíce ze všeho, primární procesy tvarování, pomocí, kterých je beztvary nebo neutrálně tvarovaný materiál možné upravit na odpovídající tvar za účasti fyzikálního anebo chemického působení. Modely jsou konstruovány ve vrstvách vytvrzováním nebo slučováním příslušné použité suroviny. Zpočátku tyto modely sloužily pouze k zobrazovacím účelům, dnes ale již existuje široká paleta využití, které se pohybuje od proporciónálních modelů k ergonomii, designu a funkčním modelům a dokonce i k hotovým výrobkům s uživatelskými funkcemi. Cílem v průmyslovém sektoru je obecně uplatňovat koncepce do skutečných položek, tak efektivně, jak jen to možné, bez (přílišného) zapojení manuální práce, a díky automatizaci snížit výrobní náklady. Mezi největší přednosti RP modelu patří možnost vytvořit libovolnou geometrii, dokonce i když ji tvoří dutiny, má podsekřiviny nebo velmi jemné struktury. Kvalita modelů závisí na jedné straně na kvalitě dat, ze kterých se bude vycházet a na druhé straně na zvolené metodě výroby. Převrat mezi RP technologiemi přinesly technologie SLS (svou všestranností) a FDM (nízkými náklady).

1.6.1 Fused deposition modeling (FDM)

Fused deposition modeling (FDM) je metodou představenou S. Scottem Crumpem v 80. letech minulého století a uveden v široké povědomí v roce 1990, kdy byl představen firmou Stratasys a stal se hlavním pojmem 3D tisku (Chee at al., 2003). Po vypršení patentu se tento způsob tisku stal oblíbeným pro open-source komunitu, která nadále zkvalitňuje a zrychluje 3D tisk pomocí FDM. Kvalita tisku však není stejná jako u STL. FDM využívá jako materiál tavitelné plasty nebo vosk. 3D model je vytvořen vytlačováním materiálu po vrstvách přes mobilní nahřívací trysku různého průměru, dnes v rozmezí 0,130 mm a 0,330 mm (extruzní tisk). Vlákno materiálu se po zahřátí roztaví a po nanesení na určené místo ztuhne, přičemž vytvoří pevné spojení s okolním materiálem (Obr. 15). Tato technologie využívá dvou materiálů – stavěcího a podpůrného, každý vstříkovaný jinou hlavicí. Pro výrobu modelu může být použit jakýkoli tavitelný materiál – polykarbonát (PC), polyethylen (HDPE). Nejčastěji jsou však využívány ABS plasty (akrylonitrilbutadienstyreny) a polykarbonáty z důvodů jejich nízké teploty tání. Podpůrný materiál se na konci výrobního procesu odláme

nebo rozpustí ve speciální ultrazvukové lázni. Konstrukční čas modelu je tak poměrně dlouhý, i když s vývojem se zkracuje z hodin na desítky minut.

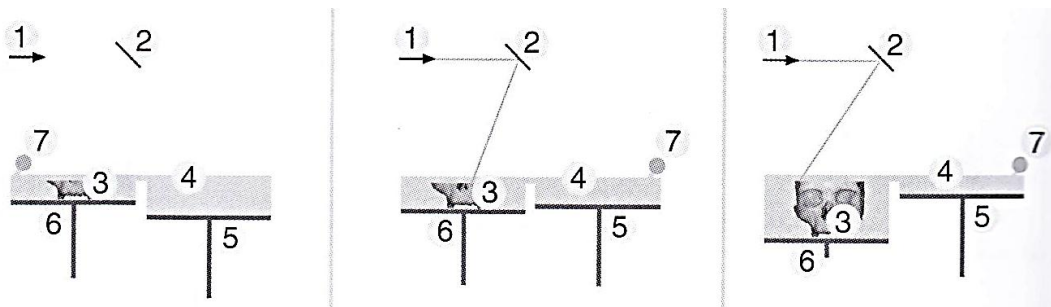


Obr. 15: Ilustrace FDM. 1- vlákno materiálu, 2- tavná tryska, 3- model, 4- podložka. (Weber G.W., Bookstein F.L., 2011).

1.6.2 Selective laser sintering (SLS)

Selektivní laserové sintrování je zvláště užitečné v průmyslu pro výrobu funkčních prototypů, kde do značné míry není třeba vytvářet povrchové detaily. Model je opět vytvářen vrstvu po vrstvě a to lokálním sintrováním vrstev práškového materiálu za použití soustředěného laserového paprsku. Postup je podobný jako u STL. Ze zásobníku je válcem nanесena vrstva prášku, která je pomocí laserového paprsku sintrována podle geometrie žádaného modelu. Poté zásobník, který nese vytvářený objekt, klesne o velikost jedné vrstvy a proces se opakuje (Obr. 16). Velkou výhodou tohoto postupu je, že není třeba podpůrných struktur, protože jako podpora slouží prášek, který nebyl sintrován. Nejčastěji jsou využívány termoplasty (polyamid, polystyrol), vosk a kovy. Větší modely mohou být vyrobeny z několika částí slepením.

Tato technologie jako jediná umožňuje výrobu 3D modelu z kovů. Využívá se jí především v případech, kdy materiálové vlastnosti jsou důležitější než přesné struktury objektu.

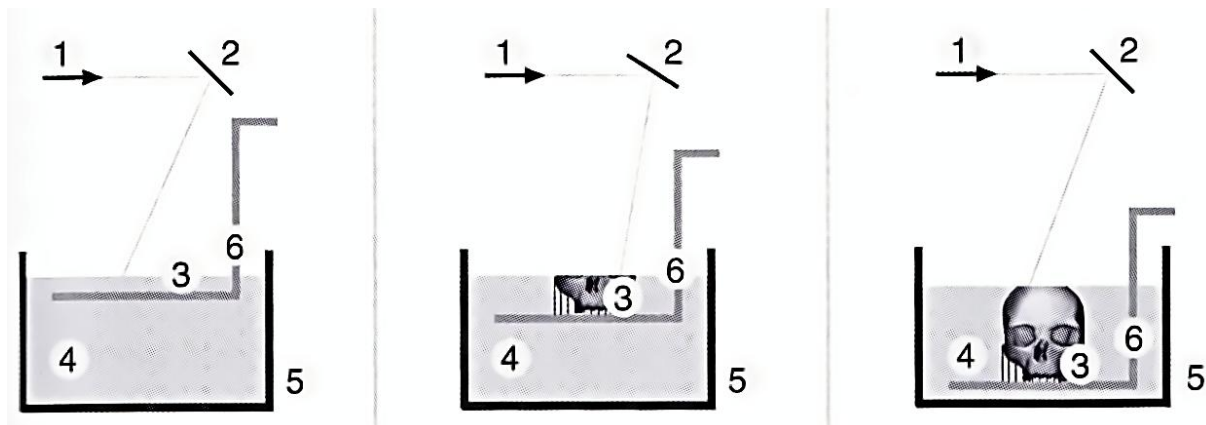


Obr. 16: Ilustrace SLS. 1- laser, 2- zrcadlo, 3- model, 4- prášek, 5- zásobník prášku, 6- podložka, 7- válec (Weber G.W., Bookstein F.L., 2011).

1.6.3 Stereolithografie (STL, SL)

Stereolithografie (STL) byla prvním RP procesem používaným běžně v širším měřítku, od ní se pak odvíjely všechny následné procesy. Poprvé byla komerčně představena v roce 1987. Na základě interakce mezi UV zářením a barvou tvrdnoucí UV zářením, lékař Charles W. Hull sestavil přístroj umožňující vytvořit trojrozměrný objekt vrstvu po vrstvě. Stereolithografie představuje revoluční proces pro vývoj produktů: vytváření vrstvy po vrstvě UV senzitivního tekutého polymeru pomocí laserové emise. STL údaje získané v průběhu přípravy slouží k řízení mobilního zrcadla, které navádí UV laserový paprsek v souladu s geometrií vrstvy. Kapalný akrylát nebo epoxidová pryskyřice ztuhnou tam, kde přijdou do styku s ultrafialovým (UV) laserovým paprskem. Pak je tato část vznikajícího objektu ponořena hlouběji do kapalné lázně s polymerem, o šířku jedné vytvrzené vrstvy, která se pohybuje v rozmezí 0,025- 0,150 mm. Povrch musí být vyrovnán nejprve pomocí nanášení dalšího polymeru a pak se teprve vytvrzuje další vrstva (Obr. 17). Proces pokračuje automaticky, dokud není 3D objekt dokončen. Pak se plošina, na které jsou umístěny předměty, odstraní ze stavebního prostoru a zbývající kapalná pryskyřice se smyje ethanolem. Podpůrné části modelu jsou pak odstraněny ručně, skalpelem nebo jinými pomůckami. Celý model je potom znovu vytvrzen v UV komoře. Stereolithografie umožňuje velmi vysoký stupeň detailního rozlišení. Faktory, jako je velikost laserového ohniska, vlnová délka použitého světla, transparentnost materiálu mají vliv na toto rozlišení. Na počátku vývoje této metody se využívaly akryláty, které však měly nepříznivé vlastnosti s ohledem na zkreslení a teplotní stabilitu. Nyní se téměř výhradně používají epoxidové pryskyřice.

Stejně tak, jak se posunují hranice ve všech oborech, hranice rozlišení se posunuje u stereolithografie přes mikrometry do řádu nanometrů.



Obr. 17: Ilustrace stereolithografického postupu: 1- laser, 2- zrcadlo, 3- model, 4- tekutý polymer, 5- nádoba, 6- pohybující se podložka (Weber G.W., Bookstein F.L., 2011).

1.6.4 Laminated Object Manufacturing (LOM)

LOM spočívá ve vyřezávání a následném lepení vrstev objektu, tvar každé vrstvy je vyříznut do fólie tenké obvykle 0,2mm, na kterou se následně nanese vrstva lepidla. Další vyřezané vrstvy lepené laminovacím lepidlem se postupně nakládají na první folii, až se z nich vytvoří celý objekt. Tento druh tisku má relativně nízké náklady na tvorbu a tisk je poměrně rychlý. Velkou nevýhodou je ale vznik přebytečného materiálu, který vzniká po vyříznutí každé z vrstev (zhruba 50 % odpadu).

2. Hypotéza a cíle práce

Hypotéza: 3D tištěné studijní modely mohou nahradit tradiční sádrové modely i u hendikepovaných pacientů včetně pacientů s obličejovým rozštěpem.

Hlavními cíli předložené práce bylo:

1. Ověřit možnosti moderních technologií v terapii a plánování léčby u hendikepovaných pacientů, posoudit vliv multidisciplinární terapie na rozvoj zubních oblouků a tvar tvrdého patra u pacientů s rozštěpem rtu a/nebo patra po ukončené chirurgické, ortodontické a protetické terapii.
2. Potvrdit zastupitelnost digitalizovaných modelů zubních oblouků a klasických sádrových zubních modelů.
3. Objasnit použití nové metody tvorby 3D modelů v diagnostice a terapii rozštěpů obličeje. Jejich aplikace a využití v multidisciplinární péči o hendikepované pacienty.

3. Metodika

3.1 Srovnání měření rozměrů zubních oblouků na 3D digitálních modelech a sádrových studijních modelech

Analýza studijních modelů je jedním ze základních nástrojů diagnostiky a plánování léčby v ortodoncii, v dnešní době zahrnuje i 3D zkoumání čelistí, zubních oblouků a jejich vztahů. Tvar zubních oblouků, rozměry a změny v průběhu léčby jsou již mnoho let předmětem různých vědeckých studií (Ghislanzoni L.T.H. et al., 2013). Někteří autoři se snažili definovat geometrickou křivku, která by charakterizovala ideální zubní oblouk (Murad S.M a Al-Mulla A.A., 2010). Již v průběhu minulého století se objevily první studie zvažující důležitost 3D analýzy zubních oblouků, nejen v ortodoncii. Bonwill a Hawley popsali postavení horních frontálních zubů jako část kružnice, zatímco MacConaill a Scher ve své práci popisovali zubní oblouk jako okrouhlou křivku (Tweed C. H., 1954; MacConaill M. A., 1949). Izard pak v souvislosti s rozměry obličeje popsal zubní oblouky jako eliptické křivky (Izard G., 1927). Jak manuální měření na sádrových modelech, tak měření na digitálních modelech má své výhody i nevýhody (Adaskevicius R. a Vasiliauskas A., 2012; Grauer D., 2010; Al-Khatib A.R. et al., 2012; El-Zanaty H. M. et al., 2010) a ty mohou ovlivnit vlastní měření a tím mohou být významné pro plánování léčby a vlastní terapii (Rosati R. et al., 2010).

Geometrická analýza (Kondo T. et al., 2004; Yaqi M. a Zhongke L., 2010) představuje nový přístup k hodnocení variability nejenom v medicíně (Obr. 18). Tato metoda je založena na 3D souřadnicích shodných bodů na popisovaných objektech. Tyto souřadnice charakterizují daný objekt a představují potřebné informace pro jeho analýzu (Slice D. E., 2007). Kvantifikace tvaru a velikosti objektu pak poskytuje přesnější informace než výsledky získané jinými metodami a tím zvyšuje přesnost a spolehlivost měření v klinické praxi (Stevens D.R. et al., 2006).



Obr. 18: Měření hrotů špičáků v digitální podobě u stejného pacienta před a po ukončení terapie ortodontickými aparáty.

Materiál a metody

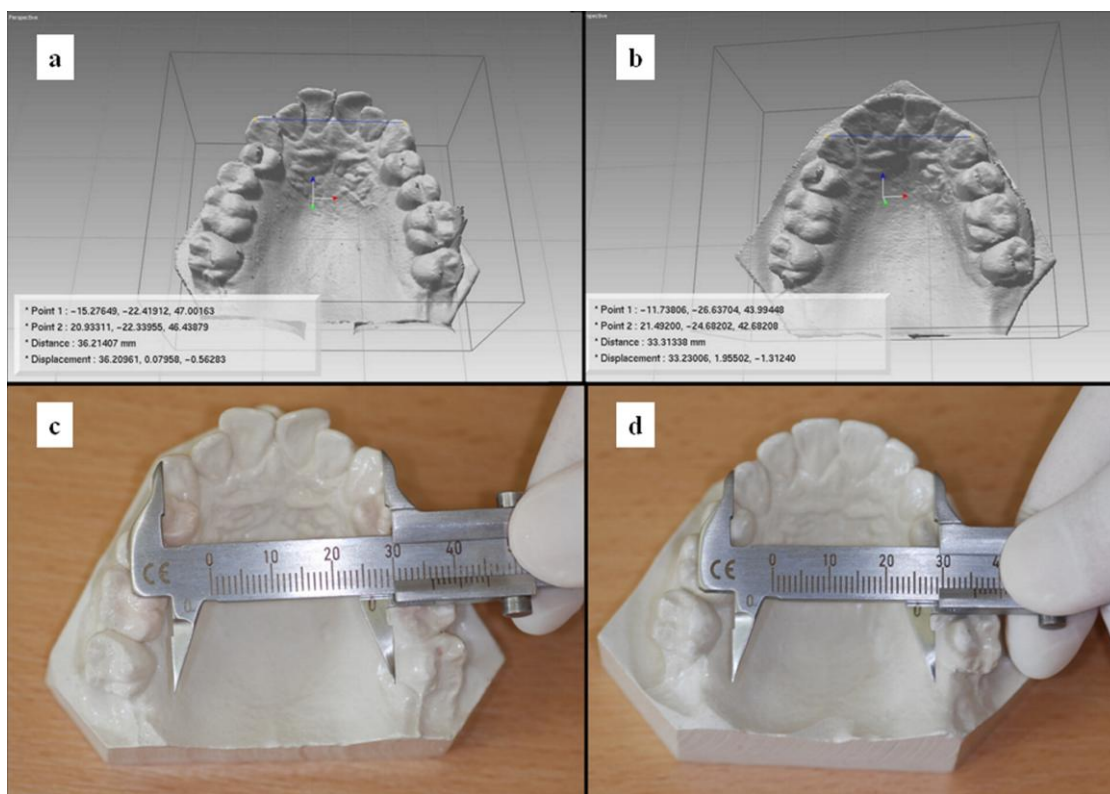
Pro hodnocení spolehlivosti měření manuálního vs. digitálního bylo použito 24 párů sádrových modelů pacientů Ortodontického oddělení Stomatologické klinicky dětí a dospělých 2.lf UK a FN Motol, všichni vybraní pacienti byli léčeni pro II. třídu okluze dle Angela a byly vybrány jejich modely před započítím a po ukončení ortodontické terapie. Všechny 24 párů bylo naskenováno skenerem Roland LPX-250 (Roland DG, Hamamatsu, Japonsko). Jedná se o bezdotykový laserový skener a automatickou kalibrací a dvojitým způsobem skenování – rotační a založený na skenování v několika osách. Laserový paprsek skenuje povrch sádrového modelu uloženém na otáčející se podložce, tloušťka řezu je 0,4mm. Tento typ laseru pracuje automaticky se softwarem programu Dr. Picza, který naskenovaná data převádí do digitální formy pomocí dalšího softwaru - Pixform (Roland DGA Corp.). Tato úprava zahrnuje odstranění abnormálních povrchových charakteristik, mazání dat přesahujících fyzicky model atd. Vzniklý model může být pak dále v digitální podobě měřen a analyzován.

Tímto jsme získali digitální data (Tabulka2) z virtuální kartotéky a poté byly digitální modely proměřeny na samotných modelech a na jejich 3D obrazech ve dvou rozměrech – 3-3 (vzdálenost hrotů špičáků) a 5-5 (vzdálenost bukálních hrbolek druhých premolárů). Všechny modely byly zobrazeny ve stejné barvě a zvětšení. Celkem bylo měření provedeno na 48 modelech a opakováno v odstupu 72 hod. Výsledky byly statisticky zpracovány.

Sádrové studijní modely byly proměřeny ve shodných rozměrech ve stejném časovém odstupu pomocí digitálního posuvného měřítka Festa (Čína) s přesností 0,01mm. (Obr. 19)

Model	Měření na digitálních modelech				Měření na sádrových modelech				
	1		2		1		2		
	3.3	5.5	3.3	5.5	3.3	5.5	3.3	5.5	
1	(i)	29.98	39.96	28.78	40.03	28.2	40.1	28.6	40.3
	(ii)	30.14	37.58	31.14	37.77	29.7	37.6	29.6	38.0
2	(i)	36.63	43.46	36.75	42.81	35.0	42.7	36.2	42.5
	(ii)	34.57	40.73	33.77	40.20	33.3	41.9	33.9	41.2
3	(i)	33.44	44.23	33.54	43.49	32.5	44.8	32.6	44.8
	(ii)	32.52	40.15	32.62	38.25	31.8	39.5	32.3	39.8
4	(i)	33.38	40.60	33.90	39.96	31.9	40.4	32.4	40.0
	(ii)	33.37	39.56	34.06	40.04	32.6	40.6	33.3	41.8
5	(i)	36.02	46.86	36.12	46.95	35.4	47.1	35.2	47.0
	(ii)	33.38	40.67	33.72	40.18	32.8	40.8	33.3	40.9
6	(i)	29.60	42.77	29.72	42.15	29.0	43.1	29.9	43.5
	(ii)	32.04	42.61	31.80	41.91	31.2	42.8	31.8	42.8
7	(i)	37.85	47.17	38.31	47.58	37.1	46.8	37.4	47.9
	(ii)	36.24	42.46	36.58	41.61	36.1	47.8	35.4	42.4
8	(i)	34.26	41.06	33.79	41.11	33.1	41.8	33.8	41.3
	(ii)	33.11	40.65	33.96	39.50	32.9	40.5	33.1	40.8
9	(i)	37.38	42.02	37.86	41.11	36.7	42.4	36.0	42.1
	(ii)	34.26	39.42	33.96	39.50	34.1	39.8	34.1	40.2
10	(i)	37.53	44.16	37.74	44.42	34.7	43.9	33.9	44.0
	(ii)	37.13	42.69	37.70	42.16	37.3	41.9	37.6	42.1
11	(i)	36.44	45.11	36.29	44.97	35.9	43.8	36.0	44.1
	(ii)	35.50	42.53	36.01	42.41	35.5	44.9	35.9	44.8
12	(i)	31.19	38.52	30.18	39.21	31.2	39.0	32.9	39.9
	(ii)	33.48	40.70	34.12	40.39	32.4	39.4	33.0	39.7
13	(i)	28.53	42.92	28.67	42.81	28.1	42.9	28.5	42.8
	(ii)	33.25	40.68	32.59	41.27	33.4	40.4	32.8	40.0
14	(i)	37.76	46.42	37.41	46.93	36.8	46.9	36.7	45.5
	(ii)	37.84	44.74	37.62	44.72	37.6	44.0	37.6	43.8
15	(i)	37.87	42.65	38.08	42.94	37.5	42.0	37.2	41.9
	(ii)	37.72	42.25	37.86	41.62	37.9	42.2	37.8	42.0
16	(i)	33.28	37.88	32.86	37.78	32.6	37.8	32.1	38.1
	(ii)	33.30	41.04	33.33	40.37	33.9	41.5	32.8	41.2
17	(i)	33.93	41.86	33.61	41.70	33.0	41.5	33.1	42.0
	(ii)	33.71	41.08	33.52	41.24	33.1	40.8	32.6	41.8
18	(i)	35.77	43.61	36.56	43.56	35.4	43.4	35.0	43.6
	(ii)	36.07	41.89	35.81	42.91	35.8	41.4	35.3	41.9
19	(i)	28.84	41.28	29.44	41.02	28.9	41.1	29.1	41.4
	(ii)	33.64	37.90	33.49	38.08	33.0	38.9	32.6	38.4
20	(i)	30.67	42.75	29.99	42.64	30.0	42.9	30.3	42.4
	(ii)	34.95	41.88	34.51	42.26	34.2	41.2	33.8	41.9
21	(i)	35.17	40.89	35.73	41.24	34.6	41.0	34.0	41.1
	(ii)	35.25	41.27	35.62	40.52	34.3	41.4	34.9	40.7
22	(i)	42.58	47.39	43.06	48.19	41.6	47.9	40.6	47.8
	(ii)	39.22	45.14	39.31	45.82	39.0	45.3	39.1	45.7
23	(i)	34.51	40.47	34.81	40.86	34.4	40.6	33.7	41.0
	(ii)	35.13	41.96	34.46	41.17	34.3	40.8	34.8	41.1
24	(i)	29.64	33.26	29.39	32.72	29.1	33.1	29.1	32.9
	(ii)	32.30	39.20	31.88	39.20	31.4	38.9	31.2	39.0

Tabulka 2: Data získaná měřením na digitálních a sádrových modelech v rozměrech 3-3 a 5-5.



Obr. 19: Digitální modely naskenovaných studijních modelů horní čelisti u ortodontického pacienta před terapií a po jejím skončení.

Zpracování dat

Častým předpokladem statistického zpracování dat je Gausovského rozložení chyb (Freedman D.A., 2005; Gardiner W.P., 1997). Pro diference $d\{n\}$, $n=1,2,\dots,N$ opakovaných měření provedených na digitálních modelech a sádrových odlitcích lze určit jejich průměr a směrodatnou odchylku

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(i) \quad a \quad s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d(i) - \bar{d})^2} \quad (1)$$

pro pozorované hodnoty před léčbou a po jejím ukončení. Následně lze stanovit 100 (1- α) % intervaly spolehlivosti (obvykle 95 % či 99 %) základních statistických veličin

$$\mu \in \left(\bar{d} - t_{N-1, \frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{N}}, \bar{d} + t_{N-1, \frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{N}} \right) \quad (2)$$

$$\sigma^2 \in \left(\frac{(N-1)s^2}{\chi_{N-1, \frac{\alpha}{2}}^2}, \frac{(N-1)s^2}{\chi_{N-1, 1-\frac{\alpha}{2}}^2} \right) \quad (3)$$

pro t a χ^2 rozdělení a zvolenou hladinu významnosti α (obvykle 0.05 či 0.01 %).

Porovnání výsledků získaných na základě počítačového modelu a manuálního měření sádrových odlitků (Fleming F.A. et al., 2011) bylo provedeno na základě histogramů a rozdělení měřených hodnot. Rozdíly diferencí byly testovány párovým t -testem. Stejný test byl využitý pro měření před a po léčbě každého z pacientů. Přesnost měření byla dále posouzena standardním F-testem (Brandt S., 1999).

Následně byly testovány souvislosti vzdáleností 3-3 a 5-5 před a po léčbě. Pokud označíme vzdálenosti 3-3 symbolem $x(i)$ a vzdálenosti 5-5 symbolem $y(i)$ pro pacienta s indexem $i=1, 2, \dots, N$, lze určit korelační koeficient těchto posloupností vztahem

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sqrt{C_{xx}C_{yy}}} \quad (4)$$

pro vzájemnou kovarianci

$$C_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x(i) - \bar{x})(y(i) - \bar{y}) \quad (5)$$

a střední hodnoty

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i) \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y(i) \quad (6)$$

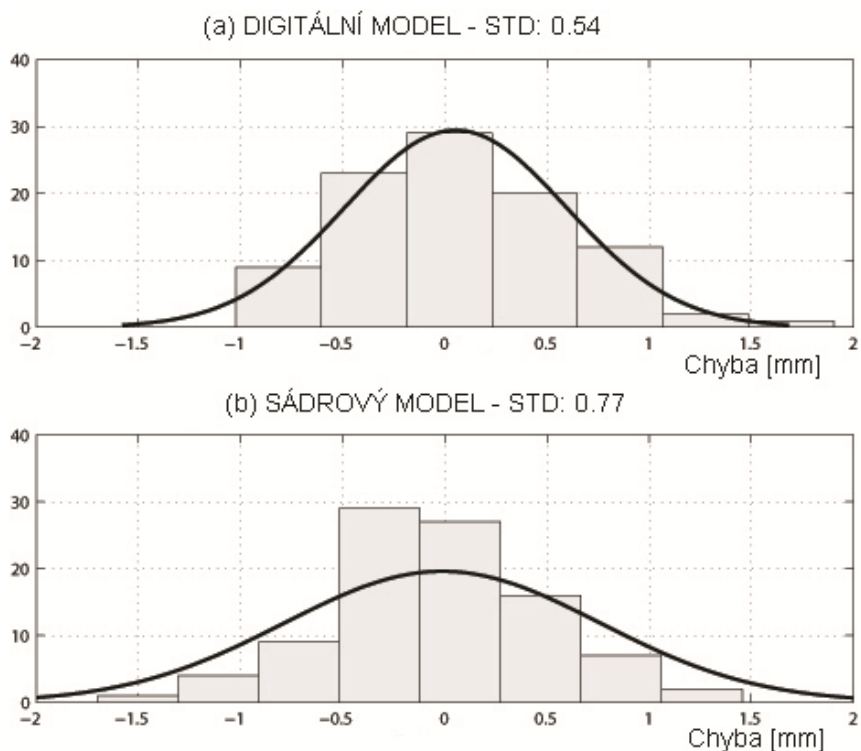
Veškeré testy byly přitom provedeny na hladině významnosti $\alpha=0.05$ s využitím statistické knihovny programového systému MATLAB.

Charakteristika	Střední hodnota [mm]	95% CI	Std [mm]	95% CI
DM diference	0.05	-0.06; 0.16	0.54	0.48; 0.63
PC diference	-0.01	-0.17; 0.14	0.77	0.68; 0.89
DM 3-3 před léčbou	34.27	32.71; 35.82	3.68	2.86; 5.16
PC 3-3 před léčbou	33.48	32.09; 34.87	3.30	2.56; 4.63
DM 5-5 před léčbou	42.36	40.97; 43.75	3.29	2.56; 4.61
PC 5-5 před léčbou	42.39	41.04; 43.75	3.21	2.49; 4.50
DM 3-3 po léčbě	34.53	33.65; 35.41	2.09	1.63; 2.93
PC 3-3 po léčbě	34.09	33.13; 35.05	2.28	1.77; 3.19
DM 5-5 po léčbě	41.08	40.31; 41.85	1.83	1.42; 2.57
PC 5-5 po léčbě	41.38	40.55; 42.21	1.96	1.53; 2.76

Tabulka 3: Statistické charakteristiky včetně intervalu spolehlivosti (CI) pro digitální modely (DM) a sádrové odlitky (PC) před a po léčbě.

Výsledky

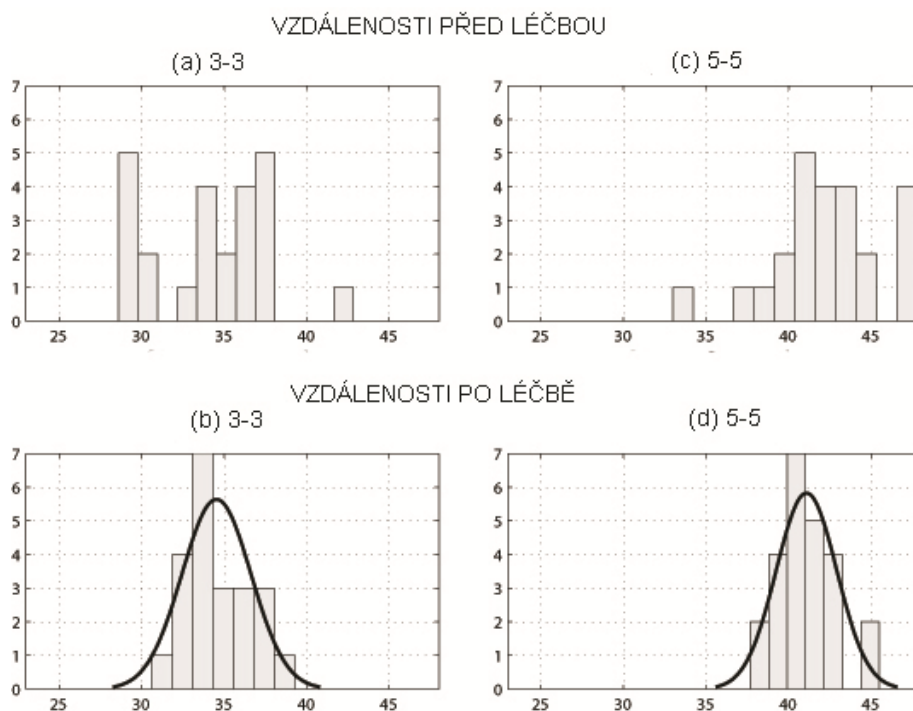
Tvarové změny v průběhu léčby byly posouzené na základě příčných vzdáleností 3-3 a 5-5. Míry získané z digitálních modelů a sádrových odlitků (Creed B., 2011) dosahovaly srovnatelné přesnosti. Střední hodnota diferencí se v obou případech blížila nule s podobnou směrodatnou odchylkou podle tabulky 3. Obr. 20 představuje distribuci 96 chyb pro 192 digitálních měření na modelech a manuálních měřeních na sádrových odlitcích. Digitální měření přitom poskytuje mírně lepší výsledky s nižší směrodatnou odchylkou. Tabulka 2 shrnuje dále 95% intervaly spolehlivosti určení těchto vzdáleností.



Obr. 20: Rozdíl měření u digitálního a sádrového modelu.

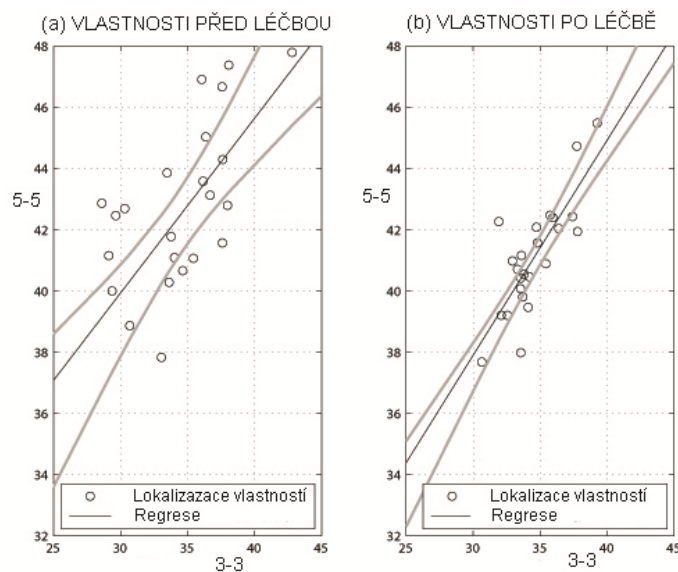
Statistický t-test užitý pro posouzení vzdáleností měřených na digitálních modelech a sádrových odlitcích prokázal, že data jsou vzorky normálního rozdělení se stejným průměrem a směrodatnou odchylkou na 5 % hladině významnosti s 95 % intervalem spolehlivosti pro rozdíly vzdáleností 3-3 v rozmezí $\langle -0.55; 1.78 \rangle$ [mm] a pro rozdíly vzdáleností 5-5 v rozmezí $\langle -1.25; 0.92 \rangle$ [mm]. F test prokázal, že nulová hypotéza shody rozptylů může být přijata na hladině významnosti 5 %.

Výsledky léčby měly za následek změny ve vzdálenostech mezi odpovídajícími objekty. Obr. 21 prezentuje rozdělení těchto změn pro digitální měření 24 pacientů uvedených v tabulce 3. Zatímco rozdělení těchto diferencí před léčbou pokrývá široké rozmezí hodnot, je blízké normálnímu rozdělení po ukončení léčby.



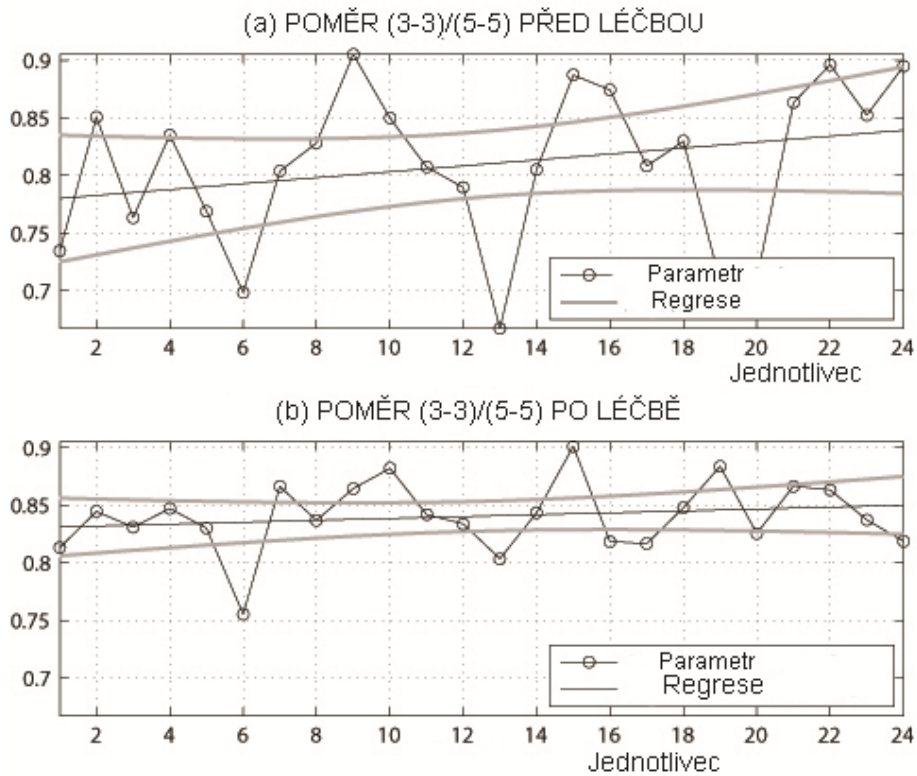
Obr. 21: Rozdíly měření u 24 modelů v digitální a sádrové podobě.

Obr. 22 prezentuje posouzení vzdáleností 3-3 a 5-5 před léčbou a po jejím ukončení. Za předpokladu lineární regrese byl určen korelační koeficient, který vzrostl z hodnoty $RC=0.64$ před léčbou na hodnotu $RC=0.8$ po léčbě. Určený regresní koeficient $CC=0.70$ definuje přitom typický poměr vzdáleností 5-5 a 3-3. Obr. 4 zahrnuje i 95 % intervaly spolehlivosti pro korelační koeficient.



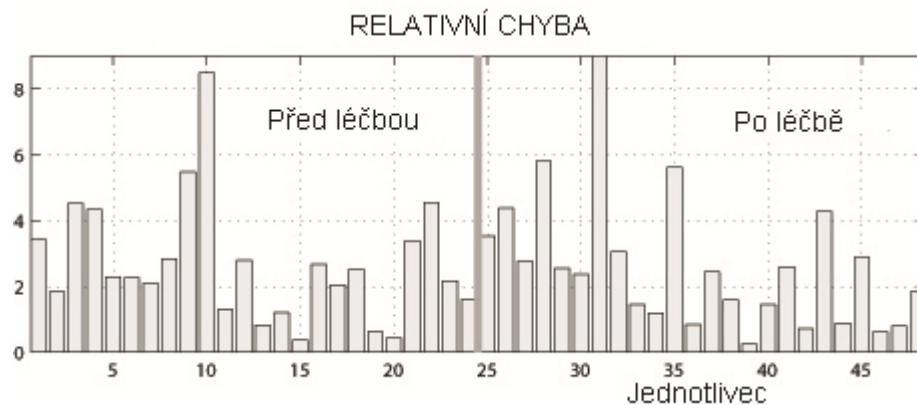
Obr. 22: Měření vzdáleností 3-3 a 5-5 před léčbou a po jejím ukončení.

Poměr vzdáleností 3-3 a 5-5 před léčbou a po jejím ukončení pro 24 pacientů uvedený na obr. 23 představuje veličinu charakterizující výsledek léčby. Regresní koeficient se snížil z hodnoty $RC=0.0026$ na hodnotu $RC=0.0008$. Tento poměr se střední hodnotou 0.84 a směrodatnou odchylkou 0.03 je téměř konstantní pro pacienty s uzavřenou léčbou.



Obr. 23: Poměr vzdáleností před a po léčbě.

Obr. 24 uvádí možnosti náhrady manuálního měření na sádrových modelech digitálním modelem. Kriteriem byl přitom poměr odpovídající vzdáleností určených z digitálního modelu a manuálního měření, který se odlišoval se střední chybou 3 %.



Obr. 24: Poměr vzdáleností určených z digitálního modelu a manuálního měření.

Závěr

Sádrové modely byly analyzovány pomocí klasických metod a geometrické morfometrie. Změny v transverzálním rozměru růstu čelistí byly stanoveny jako vzdálenost hrotů stálých špičáků pravé a levé strany a hrotů druhých premolárů.

Rozměry získané z digitálních modelů a sádrových modelů měly stejnou přesnost. Střední hodnota změn mezi těmito hodnotami měla hodnotu blízkou nule jak pro digitální modely, tak pro sádrové modely a měly podobnou hodnotu směrodatné odchylky.

Obě měření jsou pro 3-3 stejně přesná a pro rozměr 5-5 je měření na virtuálních modelech přesnější resp. reprodukovatelnější.

3.2. Využití analýzy digitálního obrazu v hodnocení růstu a rozvoje tvrdého patra u pacientů s rozštěpem rtu a patra

Pro tuto část studie byl využit set studijních modelů dvou pacientů léčených kompletně pro rozštěp alveolu a patra na Stomatologické klinice dětí a dospělých 2. LF UK a FN Motol v Praze, od narození po úplnou rehabilitaci v dospělosti. Digitalizované modely byly proměřeny a naměřené hodnoty srovnány s hodnotami rozměrů patra u zdravé populace získaných z dřívější studie doc. Peterky, která je brána jako referenční - Peterka et al. 1980.

Oba pacienti byli sledováni stomatologem, ortodontistou, maxillo-faciálním chirurgem a protetikem. V průběhu ošetření byly odebrány otisky horní čelisti v klíčových momentech léčby – před chirurgickou terapií rozštěpu, v období dočasného chrupu, po uzavření rozštěpu patra, v období smíšeného chrupu, v období stálého chrupu a po ukončení protetického ošetření. Celkem bylo k dispozici 5 resp. 7 studijních modelů. (Obr. 25).

Individuální růst a vývoj obou pacientů byl pak srovnáván s kontrolní skupinou tvořenou 147 zdravými pacienty ve věku 3-19 let a skupinou 89 pacientů z Kliniky plastické chirurgie, fakultní nemocnice Královské Vinohrady v Praze s jednostranným rozštěpem rtu, alveolu a patra (Peterka et al. 1980).

Materiál a metody

Dva pacienti mužského pohlaví narození v r. 1990, byli sledováni na Stomatologické klinice dětí a dospělých 2.LF UK a FN Motol pro diagnózu jednostranný rozštěp rtu, alveolu a patra od narození do dospělosti. V rámci terapie na klinickém pracovišti prošli všemi etapami léčby od chirurgické korekce rozštěpu rtu, přes chirurgické řešení rozštěpu tvrdého patra včetně augmentace vlastní kosti do rozštěpového defektu, ortodontickou terapií až po finální protetickou rekonstrukci. Tabulka 4 zachycuje jednotlivé kroky jejich léčby.

Pacient 1	Pacient 2
Nar. 8/1990 Dg.: cheilognathopalatoschisis l.sin Fallotova tetralogie	Nar. 2/1990 Dg.: Cheilognathopalatoschisis l.sin.
10/1991 – sutura rtu FN KV	10/1990 – sutura rozštěpu rtu FN KV
11/1995 – plastika patra FN KV	1993 – plastická operace patra
1995 – 2003 ortodontická terapie snímacím aparátem – modifikace expanzních patrových desek dle vývoje terapie	1996 – 2002 – ortodontická terapie snímacím ort. aparátem (terapie pseudoprogenie a zkříženého skusu vlevo v HČ) – modifikace patrové desky dle vývoje terapie
03/2001 uzávěr vestibulonasální komunikace, korekce levé nozdry, FN KV	
1/2005 – v CA a ATB cloně pro běžnou prevenci IE byla provedena maxillotomie v linii Le Fort I a peroperačně fixován orto. aparát Hyrax, 3. pooperační den zahájena aktivace aparátu Hyrax ráno a večer 2x ¼ otáčky, posun celkově o 8mm	
2005 – 2008 fixní aparát v HČ – Rothův kroužkový aparát	2002 – nasazení fixního orto. aparátu (Rothův kroužkový aparát)
11/2005 - v CA a ATB cloně pro běžnou prevenci IE proveden uzávěr oronasální komunikace, odběr kostního štěpu z kyčle, který byl vložen do defektu rozštěpu, nasazení krycí desky fixované Repinem	2003- v LA extrakce zubu 24 a zařazení zubu 23, který byl eruptován palatinálně
4/2008 - v CA a ATB cloně pro běžnou prevenci IE chir. vybaveny zuby 18,28,38,48 , odběr kostních štěpů dist. od zubů 38,48 a jejich augmentace loco 22- fixace Ti šroubkem, krytí měkkou patrovou deskou + Repin	2007 - rhinoplastika 2008 –sejmutí fixního orto. aparátu 2008 - chir.vyb.zubů 18,28,38,48 v CA, prim. uzávěr OA komunikace
1/2009 - v LA preparace na fixní můstek rozsahu 11-24 pod dohledem anesteziologa, otisk HČ (alginát, silikon A)	2008 - odevzdání definitivní protetické práce
1/2009 – odevzdání celokeramického můstku (fix FUJI one)	

Tabulka 4: Přehled léčby dvou pacientů s rozštěpem alveolu a patra od narození do dospělosti.

Studijní sádrové modely horní čelisti byly u pacienta č.1 zhotoveny 7x a to krátce po pacientově narození (ve věku 8 měsíců) a poté ve věku 3,4,5,9,18 a 19 let (Obr. 26). U pacienta č.2 celkem 5x ve věku 14 měsíců a poté 7,15,17 a 18 let.



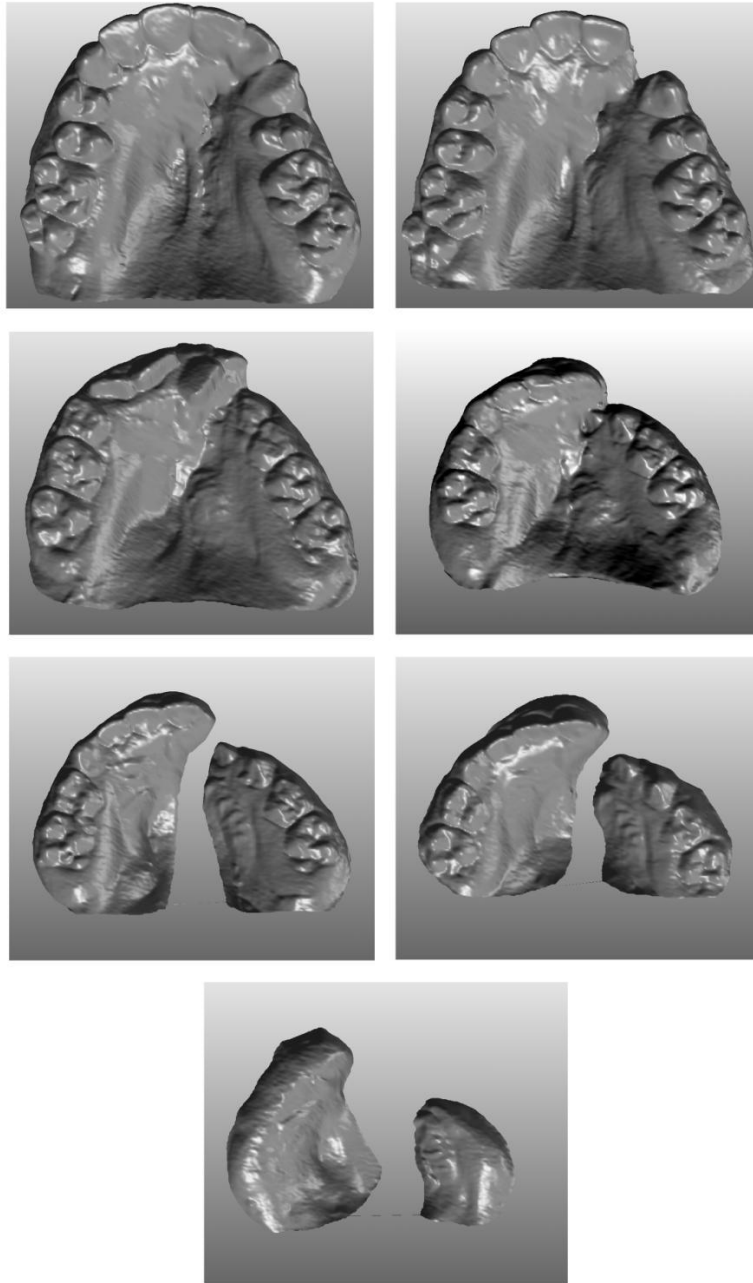
Obr. 25: Sádrové studijní modely a jejich 3D digitální obrazy (Pacient 2).

K převodu do digitální formy byl využit bezkontaktní laserový skener Roland LPX-250 (Roland DG, Hamamatsu, Japan) s rozlišením 200 μm . Skenování bylo řízeno softwarem Dr. Picza 3 (Roland DG). Studijní modely byly skenovány na rotující podložce kolmo na okluzní rovinu, výstupní data pak byla zpracována softwarem Pixform (Roland DG) – to zahrnovalo úpravu povrchu, sjednocení opakovaných skenů, vyplnění „defektů“, čištění a odstranění nadbytečných informací.

Vybrané digitální modely pacientů pořízené v důležitých časových úsecích (před a po palatoplastice) byly použity k objasnění hlavních změn ve velikosti a tvaru patra v průběhu růstu pacienta a byla provedena registrace obrazů. Registrace je proces, kdy překrytím dvou obrazů na základě stanovených neměnných bodů lze změřit a vizualizovat změny, které nastaly v průběhu času mezi odebráním prvního a druhého modelu (obrazu). Probíhá manuálně po zadání bodů, které jsou neměnné a poté i automaticky.

Změny v transverzálním růstu čelisti byly charakterizovány pomocí vzdálenosti hrotů dočasných resp. stálých špičáků, značených jako 3-3. Abychom byli schopni popsat a zaznamenat také změny v oblasti alveolu a tvrdého patra, byla použita metoda finite element scaling analysis (FESA) (Hammond P. et al. 2004). Singh et al. prokázal, že touto metodou je možné graficky znázornit změny tvaru anatomických struktur (Singh G.D. et al. 1999). Výsledkem FESA analýzy byla barevná mapa růstových okrsků pokrývající celý model (Singh and Thind 2003). Jednotlivé okrsky lišící se barvou znázorňovaly změny tvaru popisované plochy, oblasti s největší pozitivní změnou byly znázorněny růžově, s největší negativní změnou tmavě modře a beze změny zeleně.

Další možná metoda využívající pevných, neměnných bodů na dvou objektech je překrývání obrazů, které umožňuje detailněji znázorňovat změny transversálních rozměrů v určitých časových obdobích za předpokladu, že tyto jsou dokumentovány shodnou metodou (v našem případě pomocí sádrových studijních modelů).



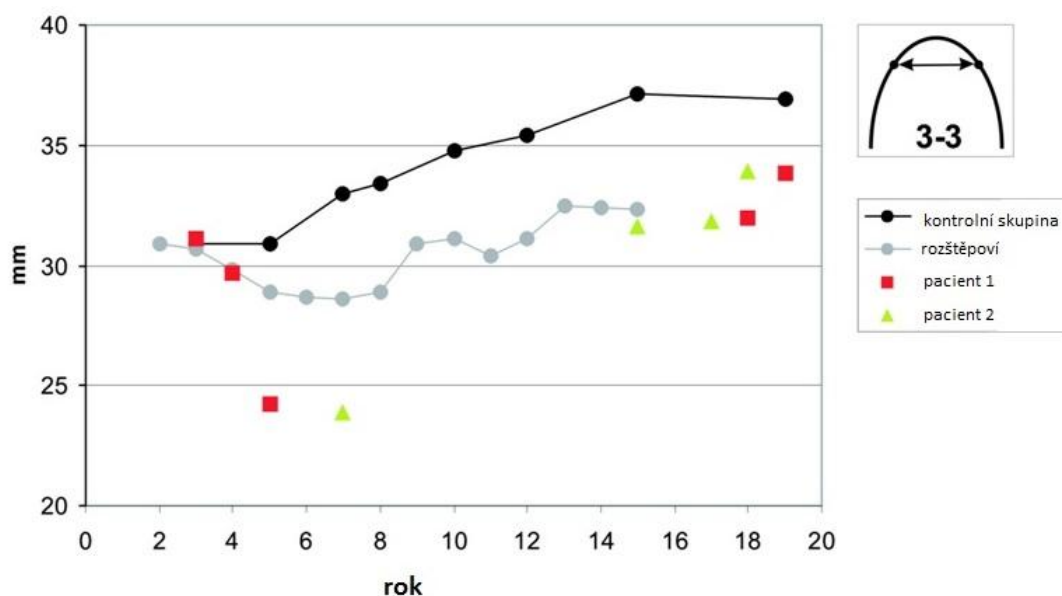
Obr. 26: Pacient 1 – digitální modely demonstrující chronologicky růst a rozvoj tvrdého patra pacienta s rozštěpem alveolu a patra včetně zubních oblouků ve věku 8 měsíců, 3, 4,5,9,18 a 19 let.

Vzdálenost 3-3 charakterizuje pozici předních maxillárních pólů a růst horní čelisti v oblasti špičáků.

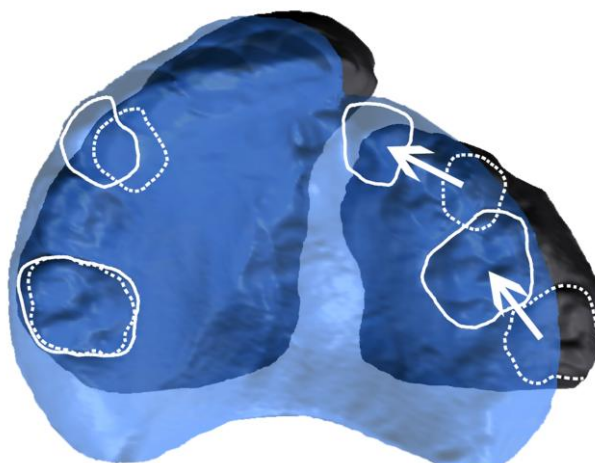
V kontrolní skupině střední hodnota 3-3 vzrostla o cca 6mm v období mezi 3 a 15 lety věku pacienta. Ve věku 3 let byla hodnota 3-3 u pacientů s jednostranným rozštěpem rtu, alveolu a patra prakticky srovnatelná se zdravou populací. Po chirurgické korekci rozštěpu tvrdého patra, ve věku kolem 4-5 let nacházíme v této hodnotě propad o cca 2,1mm a rozdíl

oproti datům v kontrolní skupině zdravých pacientů je významný. Ve věku 8- 15 let u pacientů s jednostranným rozštěpem rtu, alveolu a patra vzdálenost 3-3 roste o cca 3,4 mm zejména díky intenzivní ortodontické terapii.

V případě našich dvou pacientů jsme mohli pozorovat pokles hodnoty rozměru 3-3 o 6mm a 7mm po chirurgické korekci rozštěpu tvrdého patra. Následná ortodontická léčba kombinací snímatelných a fixních ortodontických aparátů pak zvětšila rozměr 3-3 průměrně o 32mm. V dospělosti provedená protetická rekonstrukce pak šířku horního zubního oblouku zvětšila ještě o další 2mm (Obr. 27). Analýza digitálních obrazů umožňuje proti běžným metodám nejen měření vybraných transverzálních rozměrů, ale i zkoumání změn růstu v prostorovém měřítku, mapování povrchu patra v průběhu vývoje pacienta. Výsledky změn v rozměrech tvrdého patra, ovlivněné prořezáváním zubů, chirurgickou, ortodontickou a protetickou léčbou, byly u obou pacientů dokumentovány chronologicky uspořádanými digitálními modely horní čelisti. Vliv palatoplastiky je pak dokumentován překrytím (superimpozicí) dvou digitálních modelů, k němuž bylo využito druhého dočasného moláru a řezáků na straně čelisti bez rozštěpu jako referenčních, pevných, bodů (Obr. 28). Výsledkem pak je výrazné zúžení tvrdého patra a mesiální posun zubů na rozštěpové straně zubního oblouku.

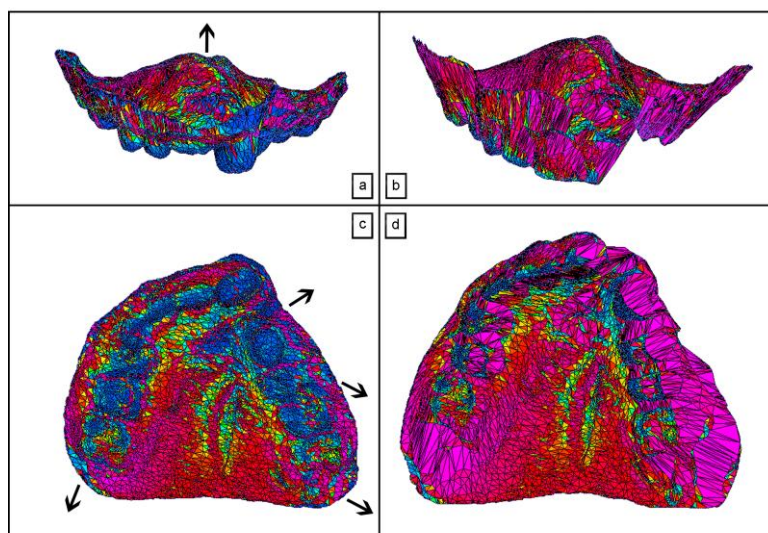


Obr. 27: Hodnoty šířky zubních oblouků. Černá čára představuje průměrné hodnoty u kontrolní skupiny 147 zdravých pacientů mužského pohlaví ve věku 3-19 let, šedá čára – průměrné hodnoty u 136 pacientů s jednostranným rozštěpem rtu, alveolu a patra ve věku 3-15 let. Černý čtverec značí hodnoty u pacienta 1, šedé trojúhelníky pak u pacienta 2.



Obr. 28 : Překrytí obrazů studijních modelů před (tmavě modrá, věk 3 roky) a po (světle modrá, transparentní, věk 5 let) plastice tvrdého patra , při kterém bylo použito zubu 55 a okluzní linie řezáků na straně kontralaterální ke straně rozštěpové jako fixních bodů, pacient 1.

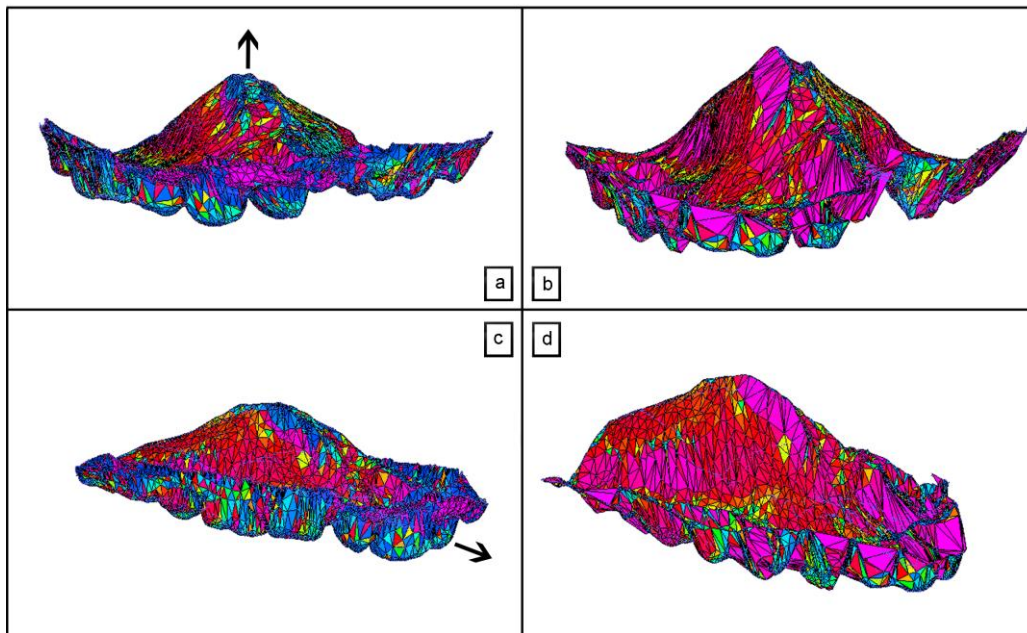
Pro detailnější analýzu změn tvaru patra v 3D zobrazení ve věku 9-18 let byl vybrán pacient číslo 1.



Obr. 29: Kazuistika 1. Změny rozměrů tvrdého patra v průběhu růstu pacienta v 9 letech (a, c) a 18 letech (b, d) z předního a okluzálního pohledu.

Výsledkem FESA analýzy u obou pacientů pak je barvená mapa povrchu tvrdého patra, která nám umožňuje získat informaci o změnách v rozměrech zubních oblouků a patra (Obr. 29, 30). Růžová barva značí největší růstový potenciál, zelená pak neutrální změny, tmavě

modrá pak záporné změny). Šipky ukazují nejvýznamnější změny v rozměrech patra – nárůst výšky patra a laterální posun postranních zubů po ortodontické terapii, což mělo za následek harmonizaci růstu a symetrický rozvoj horní čelisti. V obou případech bylo zvýšení výšky patra největší změnou. Tato informace dodává zcela nový rozměr plánování a hodnocení léčby rozštěpových pacientů.



Obr. 30: Barevná mapa jako výsledek FESA analýzy u pacienta č.2. Nejvýznamnějším nálezem je změna výšky tvrdého patra a) a změna postero-anteriorního rozměru tvrdého patra (c).

Závěr:

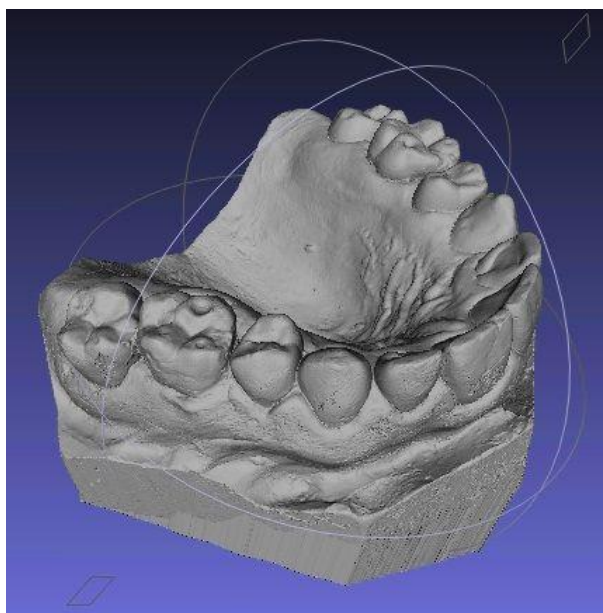
Pomocí FESA analýzy a metody překrývání obrazů bylo prokázáno, že prostorové změny u pacientů s rozštěpem rtu, alveolu a patra, související s terapií a prořezáváním zubů (rozšíření dist. úseků horní čelisti podmíněné prořezáváním prvního stálého moláru, rozdílný růstový potenciál částí tvrdého patra na straně rozštěpového defektu oproti straně kontralaterální) odpovídají hodnotám zjištěným v předchozích studiích. FESA analýza a 3D zobrazení navíc poskytlo informaci, která není z hodnocení 2D obrazu a studijních modelů zcela zřejmá – kromě rozměrů transversálních došlo k významným změnám ve „výšce“ tvrdého patra.

3.3 Obecné ověření přesnosti 3D tištěných modelů a jejich srovnání se studijními sádrovými modely

Pro tuto část studie bylo náhodně vybráno 10 sádrových modelů pacientů Odd. ortodontie Stomatologické kliniky dětí a dospělých 2.lf UK a FN Motol v Praze.

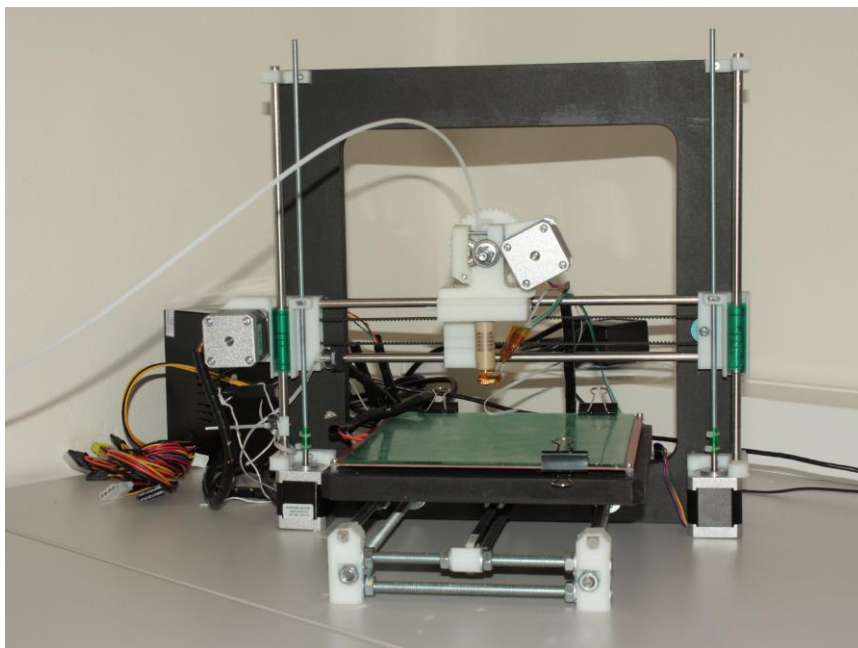
Všechny sádrové modely byly vyrobeny z běžně používaného materiálu a standardně upraveny ořezáním základny modelu. Modely byly označeny čísly 1 – 10, na modelech nebyla uvedena žádná osobní data. Všechny použité modely zobrazovaly zubní oblouky v celém rozsahu a nebylo na nich přítomno žádné mechanické poškození.

Ke skenování sádrových modelů byl použit skener InEos Blue (Sirona, Rakousko), vždy ve stejném protokolu skenování. Skener InEos Blue využívá krátkovlnné modré světlo k bezkontaktnímu skenování. Skeny byly provedeny tak, aby zahrnuly celý povrch sádrových modelů, včetně tvrdého patra. Data byla poté pomocí softwaru inLab Biogeneric (Sirona, Rakousko) převedena do 3D formy a uložena ve formátu STL (Obr. 31). Tato data byla poté převedena formátem MeshLab do formy, která byla použita pro samotný 3D tisk. Velikost dat jednoho modelu byla asi 3 MB.

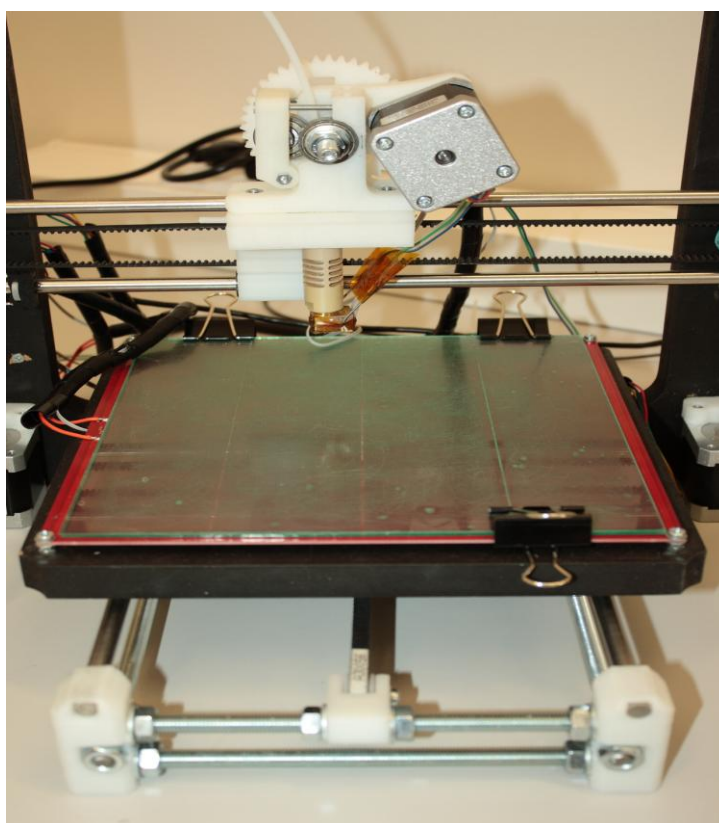


Obr. 31: Digitální model získaný skenováním sádrového studijního modelu pacienta.

Po této úpravě bylo všech 10 modelů vytištěno na 3D tiskárně RepRap (Obr. 32,33). Použitým materiálem byl ABS plast, modrá barva, tloušťka vrstvy 0,35 mm (Obr. 34).



Obr. 32: 3D tiskárna RepRap.



Obr. 33: Detail pracovní plochy tiskárny RepRap.

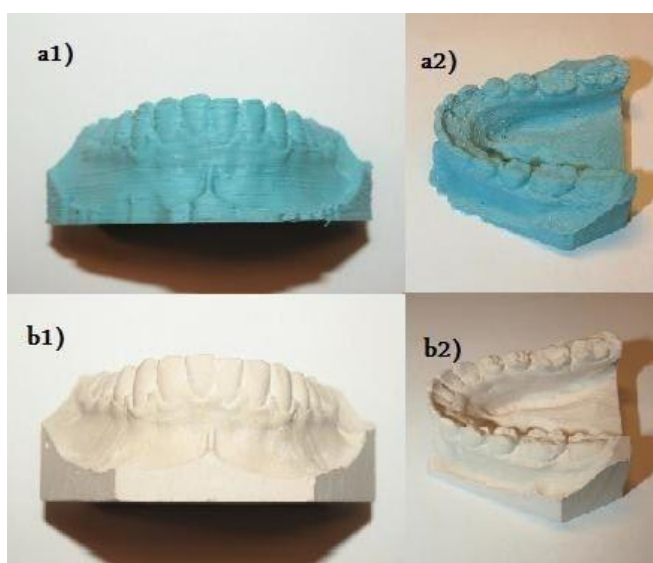
Na sádrových modelech i 3D tištěných modelech bylo provedeno měření stejných vzdáleností v osách x, y, z:

X: vzdálenost mezi hroty špičáků jedné čelisti (3-3)

Y: vzdálenost mezi hrotem špičáku a mesio-bukálním hrbolkem prvního stálého moláru (3-6)

Z: výška klinické korunky špičáku

Měření byla prováděna dvakrát stejnou osobou v intervalu mezi měřeními 1 týden. Bylo použito digitální posuvné měřítko Festa (Čína) s přesností 0,01mm (Obr. 35). Celkem bylo získáno 160 údajů, které byly statisticky analyzovány.



Obr. 34: Srovnání a) tradičních sádrových modelů a b) modelů získaných 3D tiskem: frontální pohled a1) a b1) a pohled na semi-okluzální a2) a b2).



Obr. 35: Měření digitálním posuvným měřítkem na modelu získaném 3D tiskem.

Statistická analýza

Veškerá pořízená a prezentovaná data byla podrobně statisticky vyhodnocena. Reprodukovatelnost měření na sádrových modelech a na RepRap 3D tištěných kopiích byla testována pomocí párového t-testu, viz Tabulka 4. Nutný předpoklad, že rozdíly opakovaných měření pocházejí z normálního rozdělení, byl ověřen pomocí Lillieforsova testu (Conover, 1980).

		Osa	Průměr [mm]	95% interval spolehlivosti		P hodnota	Std [mm]	95% interval spolehlivosti	
PM	pro 3-3	x	0.23	-0.24	0.69	0.30	0.46	0.32	0.84
	pro 3-6	y	0.05	-0.09	0.19	0.46	0.14	0.10	0.26
	pro 3	z	0.05	-0.04	0.13	0.28	0.09	0.06	0.16
RR	pro 3-3	x	0.12	-0.24	0.49	0.47	0.36	0.25	0.66
	pro 3-6	y	0.04	-0.04	0.12	0.33	0.08	0.06	0.15
	pro 3	z	0.11	-0.03	0.25	0.10	0.14	0.09	0.25

Tabulka 4: Tabulka ukazuje výsledky párového t-testu, kde nulová hypotéza předpokládá, že hodnoty rozdílů opakovaných měření na sádrových modelech (PM, zkratka z angl. Plaster Models) a na RepRap 3D tištěných kopiích (RR) pocházejí z normálního rozdělení s průměrem rovným 0 a neznámým rozptylem, proti alternativní hypotéze, že průměr není nulový.

Pomocí F-testu rovnosti rozptylů (Box, 1953) bylo provedeno porovnání přesnosti měření na sádrových modelech a přesnosti měření na RepRap 3D tištěných kopiích, viz Tabulka 5.

		Osa	Průměr [mm]	95% interval spolehlivosti		P hodnota	Value of the test statistic	95% interval spolehlivosti		P hodnota
PM-RR	pro 3-3	x	-0.17	-0.35	0.01	0.06	1.61	0.40	6.48	0.49
	pro 3-6	y	-0.05	-0.18	0.09	0.47	3.08	0.77	12.4	0.11
	pro 3	z	-0.03	-0.16	0.09	0.55	0.42	0.11	1.71	0.22

Tabulka 5: Výsledky párového t-testu.

Tabulka 5 pak ukazuje výsledky párového t-testu, kde nulová hypotéza předpokládá, že hodnoty rozdílů mezi měřeními na sádrových modelech (PM) a na RepRap 3D tištěných kopiích (RR) pocházejí z normálního rozdělení s průměrem rovným 0 a neznámým rozptylem, proti alternativní hypotéze, že průměr není nulový. Druhá část tabulky ukazuje výsledky F-testu, kde nulová hypotéza předpokládá, že hodnoty rozdílů opakovaných měření na sádrových modelech a hodnoty rozdílů opakovaných měření na RepRap 3D tištěných kopiích pocházejí z normálních rozdělení se stejným rozptylem, proti alternativní hypotéze, že pocházejí z normálních rozdělení s různým rozptylem.

Přesnost RepRap 3D tištěných kopií (pro měření vzdáleností) byla odhadnuta pomocí směrodatných odchylek rozdílů mezi sádrovými modely a RepRap 3D tištěnými kopiemi, viz Tabulka 6.

	Osa	Std (WPM) + Std (WPM)	Std (WPM -WPM)	WPM-WRR	WPM-WCP
pro 3-3	x	0.58	0.25	-0.19	-0.21
pro 3-6	y	0.16	0.36	-0.05	-0.07
pro 3	z	0.16	0.17	0.11	0.22

Tabulka 6: Tabulka ukazuje sumy směrodatných odchylek pro sádrové modely (W_{PM}) a pro RepRap 3D tištěné kopie (W_{RR}) a hodnoty směrodatných odchylek pro rozdíly mezi sádrovými modely a RepRap 3D tištěnými kopiemi. Druhá část tabulky ukazuje rozdíly mezi W hodnotami měření na sádrových modelech a W hodnotami měření na RepRap 3D tištěných kopiích ($W_{PR}-W_{RR}$), rozdíly mezi W hodnotami měření na sádrových modelech a W hodnotami měření na komerčních 3D kopiích ($W_{PM}-W_{CP}$).

Tabulka 6 také ukazuje rozdíly v měřeních porovnáním sádrových otisků, RepRap výtisků a komerčních výtisků.

Všechny testy byly provedeny na hladině významnosti $p = 0,05$, zvláště pro vzdálenosti 3-3, 3-6 a smíšené vzdálenosti. Všechny statistické výpočty byly provedeny pomocí Matlab Statistical Toolbox (Motohashi et al., 1999).

Závěr

Přesnost měření lineárních vzdáleností na sádrových modelech a 3D tištěných modelech byla potvrzena na obecném modelu běžného ortodontického pacienta. Nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v naměřených hodnotách stejných vzdáleností na sádrových modelech a 3D tištěných modelech. Všechny průměrné odchylky měření byly menší než 0,5 mm.

3.4 Aplikace výsledků obecné části na speciální případ – hendikepovaného pacienta s rozštěpem alveolu a tvrdého patra

Sádrové modely využívané jako dokumentační materiál při plánování terapie a sledování jejich výsledků představují u pacientů léčených pro rozštěp zvláštní případ vzhledem k přítomnosti jizev po operaci rozštěpu patra a alveolu a také vzhledem k faktu, že častým nálezem je také nestandardní postavení některých zubů v zubním oblouku. Představují tak zajímavý problém v technologii 3D tisku studijních modelů a je třeba ověřit přesnost 3D tisku i v tomto speciálním případě.

Materiál a metody

Pro tuto část studie náhodně vybrali 10 pacientů sledovaných pro rozštěpovou vadu na Stomatologické klinice dětí a dospělých 2.lf UK a FN Motol a jejich modely dokumentující průběh terapie jsme použili k hodnocení růstu a rozvoje horní čelisti, postavení zubů a srovnání přesnosti a reproducibility rozměrů na sádrových modelech a 3D tištěných modelech. Všechny modely byly naskenovány vždy ve stejném protokolu skenování skenerem InEos Blue, který využívá krátkovlnné modré světlo k bezkontaktnímu skenování. Data byla poté pomocí softwaru inLab Biogeneric (Sirona, Rakousko) převedena opět do 3D formy a uložena ve formátu STL. K získání fyzické kopie studijních modelů byla použita 3D tiskárna RepRap, modrý plast, tryska o síle 0,35mm (Obr. 36)



Obr. 36 : Sádrový model horní čelisti pacienta s rozštěpem alveolu a horního patra a jeho 3D tištěná kopie.

Data získaná měřeními shodných vzdáleností 3-3 (vzdálenost mezi hroty špičáků horní čelisti), 3-6 (vzdálenost mezi hrotem špičáku a mesio-bukálním hrbolkem prvního stálého

moláru) a šířka rozštěpové štěrbině (vzdálenost distálního růžku řezáku a hrotu špičáku ohraničující rozštěpový defekt) byla statisticky vyhodnocena. Vzdařlenost 3-6 byla měřena na straně zubního oblouku, kde se vyskytoval rozštěp alveolu. Měření byla prováděna dvakrát stejnou osobou v intervalu mezi měřeními 1 týden a byla provedena digitálním posuvným měřítkem Festa (Čína) s přesností 0,01mm. Získaná data byla statisticky zpracována.

Statistická analýza

1. Popisná statistika

Naměřené hodnoty jsou shrnuty v tabulce 7.

	1. měření			2. měření		
model	šířka oblouku (3-3)	délka oblouku (3-6)	šířka rozštěpové štěrbině	šířka oblouku (3-3)	délka oblouku (3-6)	šířka rozštěpové štěrbině
1	55,03	28,13	10,68	55,6	27,57	10,21
2	49,93	27,21	8,71	49,8	28,01	8,97
3	57,27	29,94	9,26	57,19	29,98	9,97
4	55,93	29,44	10,65	55,91	29,51	10,66
5	59,63	34,73	11,09	60,01	34,94	10,65
6	49,25	24,64	7,19	49,75	24,61	7,17
7	55,81	23,61	12,03	55,62	23,83	11,79
8	49,11	29,14	13,17	49,06	29,63	13,54
9	48,54	18,32	7,97	48,8	18,89	6,98
10	58,11	21,44	10,06	59,23	21,39	9,95
průměr	53,86	26,66	10,08	54,10	26,84	9,99

Tabulka 7: Naměřené hodnoty zkoumaných veličin v daném souboru 10 pacientů – sádra 1. a 2. měření.

Naměřené hodnoty zkoumaných veličin v daném souboru 10 pacientů – 3D tisk 1. a 2. měření jsou zaznamenány v Tabulce 8.

model	1. měření			2. měření		
	šířka oblouku (3-3)	délka oblouku (3-6)	šířka rozštěpové štěrby	šířka oblouku (3-3)	délka oblouku (3-6)	šířka rozštěpové štěrby
1	55,64	28,25	11,06	55,19	28,34	11,08
2	49,6	26,25	9,5	49,57	26,9	8,84
3	57,43	29,82	9,39	56,96	29,8	9,46
4	55,63	28,38	11,18	55,36	28,44	10,94
5	59,49	34,31	11,31	59,08	34,36	11,65
6	48,16	23,67	7,02	47,56	23,78	7,32
7	55,01	23,99	11,62	55,01	23,84	11,82
8	48,29	28,42	13,32	48,58	29,13	13,31
9	48,44	17,55	7,6	48,59	17,62	7,28
10	58,54	20,65	9,82	58,15	20,64	9,76
průměr	53,62	26,13	10,18	53,41	26,29	10,15

Tabulka 8: Soubor 10 pacientů – 3D tisk 1. a 2. měření.

Při prvním zpracování souboru naměřených hodnot námi zvolených veličin jsme se snažili popsat celý soubor pacientů jako celek z hlediska hodnot daných veličin a to názorným, ne příliš složitým a ne příliš rozsáhlým způsobem.

Jako reprezentativní hodnoty pro statistické zpracování byly vzaty průměry opakovaných měření, viz tabulka 9.

model	sádrové modely			3D tisk		
	šířka oblouku	délka oblouku	šířka rozštěpové štěrbin	šířka oblouku	délka oblouku	šířka rozštěpové štěrbin
1	55,32	27,85	10,45	55,42	28,30	11,07
2	49,87	27,61	8,84	49,59	26,58	9,17
3	57,23	29,96	9,62	57,20	29,81	9,43
4	55,92	29,48	10,66	55,50	28,41	11,06
5	59,82	34,84	10,87	59,29	34,34	11,48
6	49,50	24,63	7,18	47,86	23,73	7,17
7	55,72	23,72	11,91	55,01	23,92	11,72
8	49,09	29,39	13,36	48,44	28,78	13,32
9	48,67	18,61	7,48	48,52	17,59	7,44
10	58,67	21,42	10,01	58,35	20,65	9,79

Tabulka 9: Průměrné hodnoty opakovaných měření zkoumaných veličin v daném souboru 10 pacientů – sádrové modely a 3D tisk.

a) Testování statistických hypotéz

Normalita základních souborů byla ověřena pomocí Lillieforsova testu u všech zkoumaných veličin, viz tabulka 10.

Lillieforsův test je test dobré shody umožňující ověřit rozdělení pravděpodobnosti veličiny bez znalosti parametrů rozdělení. Test je možné použít i v případě malých náhodných výběrů.

Interpretace testu

Nulová hypotéza: Naměřená data veličiny pochází z normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Alternativní hypotéza: Naměřená data veličiny nepochází z normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Výsledek testu

Když je vypočtená p.hodnota větší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza nemůže být

zamítnuta.

Když je vypočtená p.hodnota menší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza by měla být zamítnuta a alternativní hypotéza přijata.

sádra		3D tisk	
veličina	p-hodnota	veličina	p-hodnota
šířka oblouku	0,33	šířka oblouku	0,18
délka oblouku	>0,5	délka oblouku	>0,5
šířka rozštěpové štěrbin	>0,5	šířka rozštěpové štěrbin	0,49

Tabulka 10: Lillieforsův test ověřující normalnost rozdělení pravděpodobnosti zkoumaných veličin.

b) Reprodukovatelnost měření

Reprodukovatelnost měření veličin byla ověřena pomocí párového t-testu (pro veličinu délka oblouku na 3D výtisku nemohla být testována). Nutná podmínka, že rozdíly opakovaných měření (Tab. 11) mají normální rozdělení, byla potvrzena pomocí Lillieforsova testu (Tab. 12).

Párový t-test ověřuje, zda normální rozdělení, z něhož pochází náhodný výběr tvořen „spárovanými“ dvojicemi hodnot, má střední hodnotu rovnu nule, přičemž rozptyl je neznámý (Tab. 13).

	sádrové modely			3D tisk		
model	šířka oblouku	délka oblouku	šířka rozštěpové štěrbin	šířka oblouku	délka oblouku	šířka rozštěpové štěrbin
1	-0,57	0,56	0,47	0,45	-0,09	-0,02
2	0,13	-0,80	-0,26	0,03	-0,65	0,66
3	0,08	-0,04	-0,71	0,47	0,02	-0,07
4	0,02	-0,07	-0,01	0,27	-0,06	0,24
5	-0,38	-0,21	0,44	0,41	-0,05	-0,34
6	-0,50	0,03	0,02	0,60	-0,11	-0,30
7	0,19	-0,22	0,24	0,00	0,15	-0,20
8	0,05	-0,49	-0,37	-0,29	-0,71	0,01
9	-0,26	-0,57	0,99	-0,15	-0,07	0,32
10	-1,12	0,05	0,11	0,39	0,01	0,06

Tabulka 11: Opakovaná měření a jejich rozdíly – sádrové modely a 3D tisk.

Interpretace testu

Nulová hypotéza: Rozdíl opakovaných měření veličiny pochází z normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Alternativní hypotéza: Rozdíl opakovaných měření veličiny nepochází z normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Výsledek testu

Když je vypočtená p.hodnota větší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza nemůže být zamítnuta.

Když je vypočtená p.hodnota menší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza by měla být zamítnuta a alternativní hypotéza přijata.

Sádra		3D tisk	
veličina	p-hodnota	veličina	p-hodnota
šířka oblouku	0,13	šířka oblouku	0,20
délka oblouku	0,50	délka oblouku	< 0,001
šířka rozštěpové štěrby	>0,5	šířka rozštěpové štěrby	>0,5

Tabulka 12: Lillieforsův test pro rozdíly opakovaných měření.

Interpretace testu

Nulová hypotéza: Rozdíl středních hodnot opakovaných měření veličiny je roven nule.

Alternativní hypotéza: Rozdíl středních hodnot opakovaných měření veličiny není roven nule.

Výsledek testu

Když je vypočtená p.hodnota větší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza nemůže být zamítnuta.

Když je vypočtená p.hodnota menší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza by měla být zamítnuta a alternativní hypotéza přijata.

Sádra		3D tisk	
veličina	p-hodnota	veličina	p-hodnota
šířka oblouku	0,11	šířka oblouku	0,05
délka oblouku	0,18	délka oblouku	--
šířka rozštěpové štěrby	0,56	šířka rozštěpové štěrby	0,72

Tabulka 13: Párový t-test.

c) Přesnost měření

Přesnost měření zkoumaných veličin byla určena pomocí Dahlbergových proměnných *TEM* (zkratka z angl. Technical Error of Measurement), *rTEM* (zkratka z angl. Relative Technical Error of Measurement) a *SEM* (zkratka z angl. Standard Error of Measurement):

$$TEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{1i} - X_{2i})^2}{2n}}, \quad (1)$$

$$rTEM = \frac{TEM}{\frac{1}{2}(M_j + M_k)} \cdot 100\%, \quad (2)$$

$$SEM = TEM \cdot \sqrt{2}, \quad (3)$$

kde X_{ji} je j -tá hodnota měření jedince i , n je počet měření, M_j respektive M_k jsou průměry opakovaných sérií měření j respektive k . (Tab. 14, 15).

model	šířka oblouku	délka oblouku	šířka rozštěpové štěrbin
TEM	0,32	0,28	0,33
rTEM	0,60	1,06	3,29
SEM	0,46	0,40	0,47

Tabulka 14: Přesnost měření zkoumaných veličin – sádra.

Model	šířka oblouku	délka oblouku	šířka rozštěpové štěrbin
TEM	0,25	0,22	0,21
rTEM	0,47	0,85	2,03
SEM	0,36	0,31	0,29

Tabulka 15: Přesnost měření zkoumaných veličin – 3D tisk.

2. Rovnost měření na sádrových modelech a 3D výtiscích

Rovnost měření na sádrových a 3D výtiscích byla testována pomocí párového t-testu, nutný předpoklad normality rozdílu reprezentativních hodnot byl testován pomocí Lilleforsova testu. Rovnost měření byla potvrzena pro měření šířky rozštěpové štěrbin, viz tabulky 16, 17, 18. Tento rozměr je charakteristický pro rozštěpové pacienty.

model	šířka oblouku	délka oblouku	šířka rozštěpové štěrbin
1	-0,10	-0,45	-0,63
2	0,28	1,04	-0,33
3	0,04	0,15	0,19
4	0,42	1,07	-0,40
5	0,54	0,50	-0,61
6	1,64	0,90	0,01
7	0,71	-0,20	0,19
8	0,65	0,61	0,04
9	0,16	1,02	0,04
10	0,33	0,77	0,22

Tabulka 16: Rozdíly reprezentativních hodnot sádry a 3D tisku.

Interpretace testu

Nulová hypotéza: Rozdíly reprezentativních hodnot pochází z normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Alternativní hypotéza: Rozdíly reprezentativních hodnot nepochází z normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Výsledek testu

Když je vypočtená p.hodnota větší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza nemůže být zamítnuta.

Když je vypočtená p.hodnota menší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza by měla být zamítnuta a alternativní hypotéza přijata.

veličina	p-hodnota
šířka rozštěpové štěrbin	0,05

Tabulka 17: Test normality.

Interpretace testu

Nulová hypotéza: Rozdíl středních hodnot měření veličiny na Sádře a 3D výtisku je roven nule.

Alternativní hypotéza: Rozdíl středních hodnot měření veličiny na Sádře a 3D výtisku není roven nule.

Výsledek testu

Když je vypočtená p.hodnota větší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza nemůže být zamítnuta.

Když je vypočtená p.hodnota menší než hladina významnosti (0,05), nulová hypotéza by měla být zamítnuta a alternativní hypotéza přijata.

veličina	p-hodnota
šířka rozštěpové štěrbin	0,26

Tabulka 18: Párový t-test.

Závěr: 3D RepRap výtisky lze zaměnit za sádrové odlitky pro měření vzdáleností na zubním oblouku u rozštěpových pacientů.

3. Sledování léčebného efektu

a) Základní vyhodnocení dat

Z daného souboru 10 rozštěpových pacientů a 10 zdravých pacientů byly použity sádrové modely, digitální modely i RepRap výtisky.

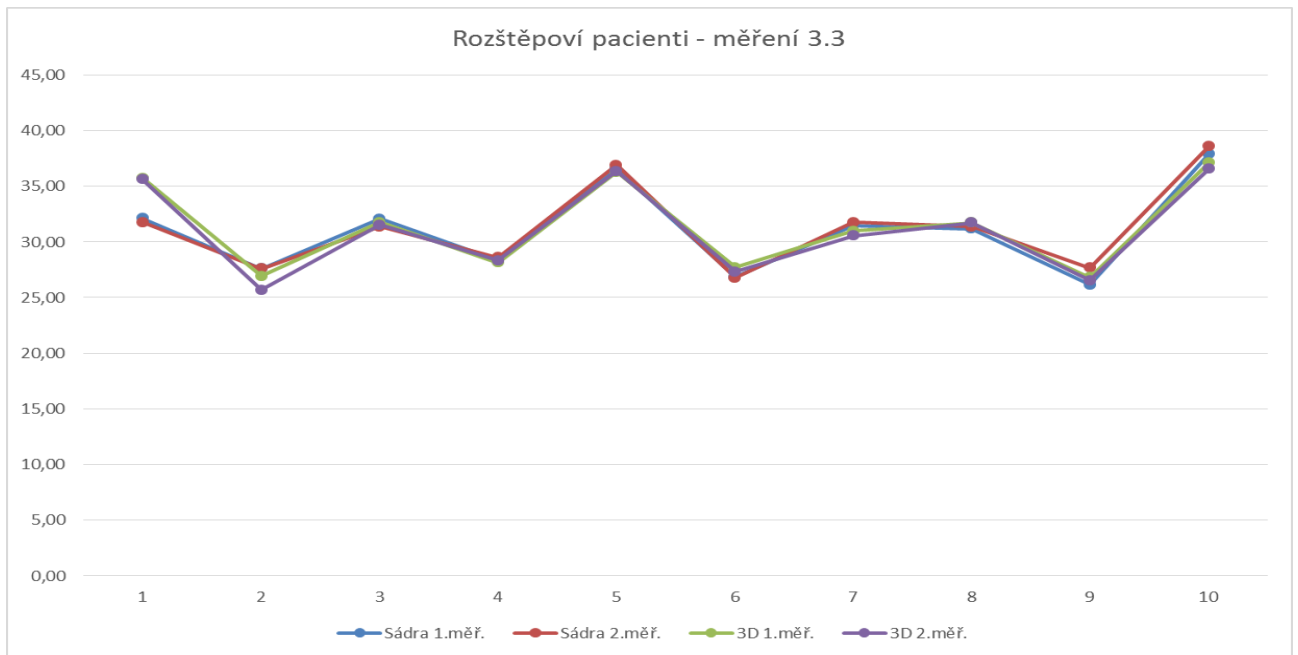
Pro sledování léčebního efektu byla měřena vzdálenost 3-3, viz tabulky 19, 20. Grafické znázornění naměřených dat je zachyceno na grafech 1, 2.

Model	Sádra		3D	
	1.měř.	2.měř.	1.měř.	2.měř.
1	32,10	31,77	35,71	35,62
2	27,60	27,59	26,93	25,69
3	32,05	31,36	31,77	31,54
4	28,38	28,60	28,13	28,32
5	36,53	36,88	36,29	36,35
6	26,85	26,75	27,70	27,31
7	31,48	31,77	30,98	30,56
8	31,17	31,35	31,71	31,72
9	26,14	27,65	26,79	26,55
10	37,86	38,58	37,10	36,56
Průměr	31,02	31,23	31,31	31,02
SD	3,94	3,94	3,96	4,09
Medián	31,33	31,36	31,35	31,05
SE	1,24	1,25	1,25	1,29

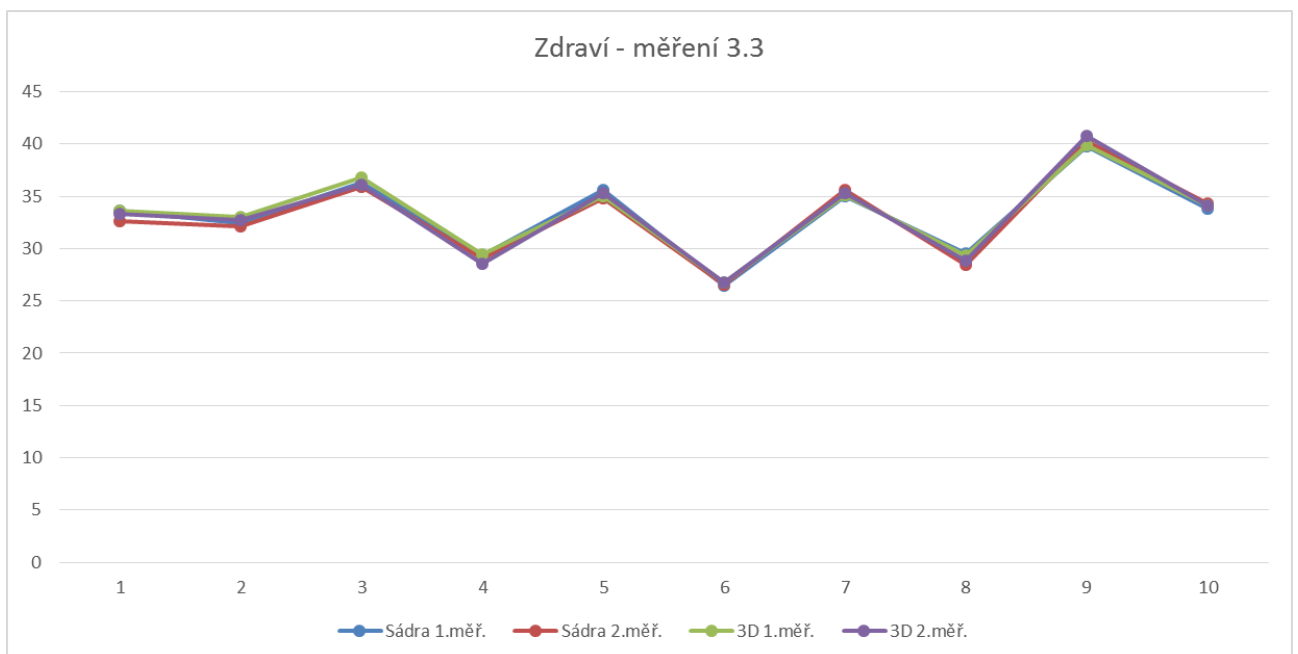
Tabulka 19: Rozštěpoví pacienti – měření 3-3 (SD = směrodatná odchylka, SE = standard error).

Model	Sádra		3D	
	1.měř.	2.měř.	1.měř.	2.měř.
1	33,62	32,58	33,59	33,29
2	32,39	32,14	33,04	32,74
3	36,26	35,93	36,77	36,15
4	29,37	29,02	29,44	28,59
5	35,61	34,79	35	35,28
6	26,51	26,57	26,72	26,73
7	35,01	35,58	35,14	35,3
8	29,58	28,41	29,35	28,85
9	39,74	40,28	39,87	40,81
10	33,8	34,34	34,14	34,09
Průměr	33,19	32,96	33,31	33,18
SD	3,87	4,11	3,89	4,20
Medián	33,71	33,46	33,87	33,69
SE	1,22	1,30	1,23	1,33

Tabulka 20: Skupina zdraví – měření 3-3.



Graf 1: Rozštěpoví pacienti – měření 3-3.



Graf 2: Skupina zdraví – měření 3-3.

b) Reprodukovatelnost

Nejsou statisticky významné rozdíly mezi 1. a 2. měřením ani u jedné skupiny (rozštěpoví, zdraví). V tabulce 21 je uvedena výsledná hodnota pravděpodobnosti (p) pro Studentův t-test. Měření na sádrových odlitcích a 3D výtiscích jsou reprodukovatelná.

Měření (p) 3-3			
Rozštěp		Zdraví	
Sádra	0,29	Sádra	0,30
3D	0,05	3D	0,47

Tabulka 21: Reprodukovatelnost měření.

c) Statistické porovnání rozdílů mezi skupinou rozštěpových a zdravých osob

V tabulce 22 je uvedena výsledná hodnota pravděpodobnosti (p) pro Studentův t-test.

	sádra		3D	
	1.měř.	2.měř.	1.měř.	2.měř.
měření 3-3	0,22930	0,34850	0,27044	0,25879

Tabulka 22: Statistické porovnání rozdílů mezi skupinou rozštěpových a zdravých osob.

d) Statistické porovnání rozdílů mezi modely (sádra, 3D)

V tabulce 23 je uvedena výsledná hodnota pravděpodobnosti (p) pro Studentův t-test.

	rozštěp		kontrolní skupina	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
rozměr 3-3	0,48931	0,70559	0,33161	0,12393

Tabulka 23: Statistické porovnání rozdílů mezi modely (sádra, 3D).

Není rozdíl mezi modely ani mezi měřeními, ani mezi skupinami pacientů. Měření na sádrových odlitcích může být zaměněno s měřením na RepRap 3D výtiscích.

d) Analýza rozptylu pro měření 3-3

Dle ANOVA analýzy rozptylu vychází významný rozdíl mezi skupinami osob – kontrolní skupina a rozštěpoví pacienti. Vzdálenost 3-3 lze použít pro měření léčebného efektu (je rozdíl v této vzdálenosti pro kontrolní skupinu a rozštěpové pacienty).

Závěr: Vzdálenost 3-3 lze použít pro měření léčebného efektu (je rozdíl v této vzdálenosti pro kontrolní skupinu a rozštěpové pacienty).

4. Výsledky

Tato část shrnuje dílčí výsledky jednotlivých, dříve podrobně popsaných, témat:

3.1 Rozměry získané z digitálních modelů a sádrových modelů měly stejnou přesnost. Střední hodnota změn mezi těmito hodnotami měla hodnotu blízkou nule jak pro digitální modely, tak pro sádrové modely a měly podobnou hodnotu směrodatné odchylky. Obě měření jsou pro 3-3 stejně přesná a pro rozměr 5-5 je měření na virtuálních modelech přesnější resp. reprodukovatelnější. Míry získané z digitálních modelů a sádrových odlitků (Creed B., 2011) dosahovaly srovnatelné přesnosti.

3.2 Pomocí FESA analýzy a metody překrývání obrazů bylo prokázáno, že prostorové změny u pacientů s rozštěpem rtu, alveolu a patra, související s terapií a prořezáváním zubů (rozšíření dist. úseků horní čelisti podmíněné prořezáváním prvního stálého moláru, rozdílný růstový potenciál částí tvrdého patra na straně rozštěpového defektu oproti straně kontralaterální) odpovídají hodnotám zjištěným v předchozích studiích. FESA analýza a 3D zobrazení navíc poskytlo informaci, která není z hodnocení 2D obrazu a studijních modelů zcela zřejmá – kromě rozměrů transversálních došlo k významným změnám ve „výšce“ tvrdého patra.

3.3 Přesnost měření lineárních vzdáleností na sádrových modelech a 3D tištěných modelech byla potvrzena na obecném modelu běžného ortodontického pacienta. Nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v naměřených hodnotách stejných vzdáleností na sádrových modelech a 3D tištěných modelech. Všechny průměrné odchylky měření byly menší než 0,5 mm.

3.4 3D RepRap výtisky lze zaměnit za sádrové studijní modely i u specifické skupiny rozštěpových pacientů pro měření vzdáleností na zubním oblouku.

5. Diskuze

Hendikepovaný pacient je ve stomatologii pacientem s potřebou zvláštních diagnostických i terapeutických metod. Šíře postižení a onemocnění vyžadujících ošetření stomatologem ať už samostatně nebo v rámci multidisciplinární péče je rozsáhlá a zahrnuje také pacienty s obličejovými rozštěpy.

Multidisciplinární terapie dnešní doby zahrnuje použití moderních metod již v počátcích plánování léčby, kdy je často třeba simulovat průběh a výsledky léčby. 3D zobrazení a 3D tisk je jednou z vhodných metod k přípravě studijních modelů ve stomatologii a představuje také možnost transformace 3D digitálních modelů do fyzické podoby. Vzhledem k rychlému rozvoji této oblasti lze očekávat, že kvalita dostupných open source 3D tiskáren se bude zvyšovat a s ním také zjednodušovat proces získávání digitálních dat pro tisk. Jednou z budoucích možností je získávání dat např. z CT vyšetření nebo z dat získaných intraorálním skenováním.

Díky stále se rozšiřujícím vědomostem o kraniofaciálním růstu a novým chirurgickým metodám a moderní ortodontické léčbě je diagnostika rozštěpů preciznější, léčba rychlejší a její výsledky stabilnější než v minulosti.

Rozměry zubních oblouků mohou být analyzovány z různých zdrojů – od fotografií, RTG, CBCT až po 3D zobrazení a sádrové studijní modely. K běžné analýze ve 2D přistupuje nyní i možnost převodu digitálních dat do fyzické podoby, což přináší nový pohled na vyšetření pacienta, nejenom s rozštěpovou vadou obličeje, 3D tištěné modely mají několik výhod – možnost uchovávat data v digitální formě a jejich převod do 3D jen v případě potřeby, mechanická odolnost modelů, postupně se snižující cena, pokud jsou digitální data získávána ze zobrazovacích metod, pak i omezení otiskování čelistí pacienta. Vedle výhod však k procesu digitalizace přistupují i problémy, ke kterým řadíme zejména právní opatření zneužití dat pacienta, možnost nelegálního šíření osobních dat, nutnost pořízení dalšího vybavení a event. Také osob, které budou tato zařízení obsluhovat nebo zajišťovat servis.

Překrývání obrazů může přinést do posuzování růstu a rozvoje tvrdého patra pacienta s rozštěpem čelisti a patra zcela novou informaci popisující změny polohy a šířky části patra

na rozštěpové straně mediálně, ale také směrem vpřed. Podobnou metodu jako v předložené práci použil ve své studii Cha pro znázornění pohybu zubů (Cha et al., 2007).

6. Závěr

1. V předložené práci bylo ověřeno několik technologií využívaných pro diagnostiku a evaluaci terapie u pacientů a hendikepem ovlivňujícím vývoj zubních oblouků a stomatognátního systému včetně rozštěpových pacientů. Každá z technologií vnáší do léčby pacientů nový prvek, který přispívá k rychlejšímu a přesnějšímu rozhodování a analýze aktuálního průběhu terapie. Mezi tyto technologie patří:

a) **3D digitální zobrazovací metody** – snadné posuzování a měření zubních oblouků bez nutnosti analyzovat fyzické sádrové modely.

b) **překrývání obrazů** – vizualizace změn růstu a postavení jednotlivých zubů i šířky zubních oblouků event. patra, kdy jako referenční bod slouží anatomická struktura, která se ve zkoumaném období nemění (již prořezaný zub, rugae palatinae)

c) **FESA analýza** – barevná mapa znázorňuje růst místa zkoumaného anatomického útvaru, pomocí barevné mapy pak přesně stanoví oblasti s vyšším nebo nízkým růstovým potenciálem. Tímto lze názorně prokázat i změna tvaru tvrdého patra ve vertikálním rozměru.

d) **3D tisk** – nejnovější možnost jak převést digitální data opět do fyzické podoby nabízející možnost analýzy chrupu i z pohledu „z úst“

2. zastupitelnost digitalizovaných modelů a klasických sádrových studijních modelů byla potvrzena statistickou analýzou dat získaných měřeními studijních modelů a jejich 3D výtisků. Nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v naměřených hodnotách stejných vzdáleností na sádrových modelech a 3D tištěných modelech. Všechny průměrné odchylky měření byly menší než 0,5 mm.

3. 3D digitální modely a jejich 3D výtisky mohou být vhodnou alternativou diagnostiky a sledování terapie u rozštěpových pacientů, jejich zastupitelnost byla potvrzena.

7. Význam pro praxi

Multidisciplinární péče o hendikepovaného pacienta začíná již využitím speciálních diagnostických metod od využití monografie v prenatálním období po využití RTG, CT nebo MRI v průběhu diagnostiky a terapie rozštěpů. Mezi základní vyšetřovací a dokumentační metody ve stomatologické praxi patří také sádrové studijní a dokumentační modely, které jsou získány na základě otisků čelistí a vyrobeny v zubní laboratoři. V této práci byla představena spolehlivá metoda převodu fyzických sádrových modelů přes digitální data opět do 3D podoby pomocí open source RepRap 3D tiskárny na skupině pacientů s běžným chrupem a ověřena na setu pacientů sledovaných pro rozštěpy rtu a/nebo alveolu a/nebo patra.

Hlavními výhodami 3D tištěných studijních modelů jsou: reprodukovatelnost tisku, menší pravděpodobnost mechanického poškození v závislosti na použitém materiálu, vysoká odolnost proti abrazi, možnost snadného transportu i většího množství výtisků, sdílení digitálních dat, schopnost převodu dat do fyzické podoby jen v případě potřeby, omezení potřeby rozsáhlých skladovacích prostor, zajímavé vlastnosti výtisků v závislosti na použitém materiálu (např. biodegradabilita, ekologičnost, volba barvy výtisku, matu-lesku, míry průhlednosti atd.).

Mezi nevýhody zahrnujeme v současnosti–zejména: potřeba specialisty k úpravě dat a k obsluze 3D tiskárny, právní omezení týkající se ochrany dat pacienta a jejich zabezpečení proti zneužití, možnost technických chyb při pořizování digitálního modelu a tisku 3D kopie modelu, vysoká cena výtisku u některých forem 3D tisku, omezení plynoucí z materiálu užitého při 3D tisku (plast) – nemožnost použít model jako pracovní model pro přímé modelace a např. vypalování kovových součástí náhrad.

Optimem bude intraorální skenování, které dovoluje vynechat fázi otiskování v ústech pacienta. Zejména u pacientů s hendikepem např. s rozštěpy nebo jinými diagnózami vedoucími ke vzniku oroantrální nebo oronasální komunikace by tento krok znamenal eliminaci možných nežádoucích komplikací vzniklých např. zatečením otiskovací hmoty nebo její aspirací.

8. Seznam použité literatury a zdrojů

1. Adaskevicius R, Vasiliauskas A: Three-dimensional determination of dental occlusion and facial structures using soft tissue cephalometric analysis. *Electron Electrical Eng: Syst Eng Comput Technol* 2012;121(5):93-96.
2. Aduss H, Pruzansky S: Width of cleft at level of the tuberosities in complete unilateral cleft lip and palate. *Plast. Reconstr. Surg.* 1968;4:113-123.
3. Al-Dajani Mahmoud : Comparison of dental caries prevalence in patients with cleft lip and/or palate and their sibling controls. *Cleft Palate-Craniofac Journal* 2009;46(5):529-532.
4. Al-Khatib AR, Rajion ZA, Masudi SM, Hassan R, Townsen GC: Validity and reliability of tooth size and dental arch measurements a stereo photogrammetric study. *Aust Orthod J* 2012;28(1):22-29.
5. Anil V Ankola, Nagesh L, Hedge P, Karipabasappa GN: Primary dentition status and treatment needs of children with cleft lip and/or palate. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2005;23(2):80-82.
6. Arctander K, Kolbenstvedt A, Aaløkken TM, Abyholm F, Frøslie KF., Computed tomography of alveolar bone grafts 20 years after repair of unilateral cleft lip and palate. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 2005;9(1):11-4.
7. Atheron JD: Morphology of facial bones in skull with unoperated unilateral cleft palate. *Cleft Palate J.* 1967;4:18-30.
8. Bell A, Ayoub AF, Siebert P: Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *J Orthod.* 2003 Sep;30(3):219-23.
9. Besseling S, Dubois L: The prevalence of caries in children with a cleft lip and/or palate in Southern Vietnam. *Cleft Palate Craniofac J.* 2004 Nov;41(6):629-32.
10. Borsky J et. al.: Successful early neonatal repair of cleft lip within first 8 days of life. *International journal of pediatric otorinolaryngology* 2012;(76):1616 – 1626.
11. Box G. E. P.: Non-Normality and Tests on Variances. *Biometrika* 1953;40(3/4):318–335.
12. Brandt S: *Data Analysis: Statistical and Computational Methods for Scientists and Engineers.* USA: Springer-Verlag New York Inc; 1999, 652 s.
13. Cha BK, Lee JY, Jost-Brinkmann PG, and Yoshida N: Analysis of tooth movement in extraction cases using three-dimensional reverse engineering technology. *Eur J Orthod* 2007;29 (4):325-331.

14. Chapuis J, Schramm A, Pappas I, Hallermann W, Schwenger-Zimmerer K, Langlotz F, and Caversaccio M: A new system for computer-aided preoperative planning and intraoperative navigation during corrective jaw Surgery IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine 2007 May;11(3): 274–287.
15. Cheby LL, Moor SL, Ho CT: Predisposing factors to dental caries in children with cleft lip and palate: a review and strategies for early prevention. Cleft palate Craniofac J 2007;44(1):67-72.
16. Chee KC; Kah FL, Chu: Rapid Prototyping. World Scientific. 2003; 124.
17. Ciminello, FS, Morin, RJ, Nguyen, TJ, Wolfe, SA: Cleft lip and palate: review. Compr Ther. 2009;35 (1): 37-43.
18. Conover W. J.: Practical Nonparametric Statistics, Wiley, 1980.
19. Creed B, Kau CH, English JD, Xia JJ, Lee RP: A comparison of the accuracy of linear measurements obtained from cone beam computerized tomography images and digital models. Elsevier: Semin Orthod 2011; 17(1):49–56.
20. Cuperus, AMR, Harms, MC, Frits, AR, Bronkhorst EM, Schols JGJ, Breuning KH: Dental models made with an intraoral scanner: A validation study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2012;142:208-13.
21. Dang C, Ting K, Soo C, Longaker MT, Lorenz HP: Fetal wound healing current perspectives. Clin Plast Surg. 2003; 30(1): 13-23.
22. Dostálová, T. Fixní a snímatelná protetika. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s, 2004. 220 s.
23. Dostálová T, Tauferová E, Teuberová Z, Seydlová M, Smutný V, Racek J, Bartonova M: Shape and size of dental arch – a five-year prospective study. Methods Inf. Med. 2006;45:191-194.
24. Dvořák Z., Funkční vývoj střední obličejové etáže u pacientů s rozštěpem patra, atestační práce, Brno 2009.
25. El-Zanaty HM, El-Beialy AR, El-Ezz AMA, Attia KH, El-Bialy AR, Mostafa YA: Three-dimensional dental measurements: an alternative to plaster models. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2010; 137(2):259-265.
26. Fleming PS, Marinho V, Johal A: Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. Orthod Craniofac Res 2011; 14(1):1–16.
27. Freedman D. A: Statistical Models. New York: Cambridge University Press; 2005, 458 s.

28. Gardiner WP: Statistics for the Biosciences. New York: Prentice Hall; 1997, 416 s.
29. Ghislanzoni LTH, Lineberger M, Cevidanes LHS, Mapelli A, Sforza C, McNamara JA: Evaluation of tip and torque on virtual study models: a validation study. *Prog Orthod* 2013; 14(19):1-6.
30. Grauer D: Three-dimensional applications in orthodontics. PhD thesis. University of North Carolina, Department of Oral Biology at the School of Dentistry; 2010.
31. Hasslöf, P, Twetman S.: Caries prevalence in children with cleft lip and palate-a systematic review of case-control studies. *Int J Paediatr Dent* 2007; 5(17):313-319.
32. Hyashi I, Sakuda M, Takimoto K, Miyazaki T: Craniophacial growth in complete unilateral cleft lip and palate: A roentgeno-cephalometric study. *Cleft palate J.* 1976; 13:215-237.
33. Izard G: New method for the determination of the normal arch by the function of the face. *Int J Orthod* 1927, 13(7):582-595.
34. Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI: A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *Journal of Orthodontics* 2008; 35: 191-201.
35. Kondo T, Ong SH, Foong KWC: Tooth segmentation of dental study models using range images, *IEEE Transaction on Medical Imaging* March 2004; 23(3):350–362.
36. Kuthanová B: Palatolalie. Závěrečná práce. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity, Brno 1994, 41 s.
37. Leifert FM, Leifert MM, Efstratiadis SS, Cangialosi JT: Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:16.e1 – 16.e4.
38. Levine D, Barnes PD, Madsen JR, Abbott J, Mehta T, Edelman RR. Central nervous system abnormalities assessed with prenatal magnetic resonance imaging. *Obstet Gynecol* 1999; 94:1011-9.
39. MacConaill MA, Scher E: The ideal form of the human dental arcade, with some prosthetic application. *Dent Rec* 1949; 69:285-302.
40. Mazurová K: Digitální ortodontické modely. Odborná práce kespecializační zkoušce z oboru ortodoncie. Praha 2013. 111 s.
41. McGuinness NJ, Stephens CD: Storage of orthodontic study models in hospital units in the U. K. *Br J Orthod* 1992; 19: 227–32.
42. Motohashi N, Kuroda T: A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery. *Eur J Orthod* 1999; 21: 263–74.

43. Murad SM, Al-Mulla AA: Accuracy of measurements made on digital and study models (A comparative study). *Malays Dental J (MDJ)* 2010; 7(1):71-82.
44. Mutarai T, Ritthagol W, Hunsrisakhun Factors influencing early childhood caries of cleft lip and/or palate children aged 18 to 36 months in southern Thailand. *J Cleft Palate Craniofac J.* 2008 Sep;45(5):468-72.
45. Pandey SC, Pandey RK: The status or oral hygiene in cleft lip, palate patients after surgical correction. *J Indian Soc. Pedod Prev Dent.* 2005;23:183-184.
46. Pani SC, Hedge AM. Impressions in cleft lip and palate - a novel two stage technique. *J Clin Pediatr Dent* 2008;33:93-6.
47. Pantaloni M, Byrd S: Cleft lip I: primary deformities, *SRPS* 2001; 9(21).
48. Pěnkava J, Peterka M: Anatomic changes of the upper jaw and dental arch after Schweckendiek's surgery for cleft palate. *Cesk. Stomatol.* 1977;77:297-311.
49. Peterka M: Upper alveolar arch development in patients with total bilateral cleft lip and palate. *Acta Chir. Plast.* 1984; 26:30-38.
50. Peterka M, Mullerová Ž, Pěnkava J: Causes of the development of orthodontic anomalies in patients with a total unilateral cleft. *Cesk. Stomatol.* 1980;80:100-109.
51. Peterka M, Peterková R, Likovský Z, Tvrdek M, Fára M. Incidence of orofacial clefts in Bohemia (Czech Republic) in 1964-1992. *Acta Chir Plast* 1995; 37: 122–126.
52. Proffit W R, Fields HW: Contemporary orthodontics. 4nd ed. St. Louis: Mosby- Year Book, 2007, 768 s.
53. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR: The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod* 2004;74:298–303.
54. Rosati R, DeMenezes M, Rossetti A, Sforza C, Ferrario V. F: Digital dental cast placement in 3-dimensional, full-face reconstruction: a technical evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138(1):84-88.
55. Samaras CD: Digital radiography: the standard of care. *Compend Contin Educ Dent* 2008; 29: 506, 508–509.
56. Sameshima GT, Smahel Z: Facial growth in adulthood after primary periosteoplasty or primary bone grafting in UCLP. *Cleft Palate Craniofac J.* 2000 Jul;37(4):379-84.
57. Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ: Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124:101–5.

58. Shaw WC, Semb G, Nelson P, Brattstrom V, Moised K, Prah-Andersen B, Gundlach KKH: The Eurocleft Project 1996–2000: overview, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* June 2001;29(3):131-140.
59. Slice DE: Geometric morphometrics. *Annu Rev Anthropol* 2007;36:261-281.
60. Smahel Z, Velemínská J, Trefný P, Müllerová Z: Three-dimensional morphology of the palate in patients with bilateral complete cleft lip and palate at the stage of permanent dentition. *Cleft Palate Craniofac J.* 2009 Jul;46(4):399-408.
61. Sohmura T, Kojima T, Wakabayashi K, Takahashi J: Use of an ultrahigh-speed laser scanner for constructing threedimensional shapes of dentition and occlusion. *J Prosthet Dent* 2000; 84: 345–52.
62. Sonigo PC, Rypens FF, Carteret M, Delezoide AL, Brunelle FO. MR imaging of fetal cerebral anomalies. *Pediatr Radiol* 1998;28:212-22.
63. Stec-Slonicz M, Szczepańska J, Hirschfelder U: Comparison of caries prevalence in two populations of cleft patients. *Cleft Palate Craniofac J.* 2007 Sep;44(5):532-7.
64. Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major PW: Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129(6):794-803.
65. Stroustrup Smith A, Estroff JA, Barnewolt CE, Mulliken JB, Levine D: Prenatal diagnosis of cleft lip and cleft palate using MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2004,183(1):229-35.
66. Šmahel Z, Trefný P, Formánek P, Müllerová Ž, Peterka M: Three-Dimensional Morphology of the Palate in Subjects With Isolated Cleft Palate at the Stage of Permanent Dentition. *Cleft Palate–Craniofacial Journal* 2003; 40(6).
67. Tomassetti JJ, Taloumis LJ, Denny JM, Fischer JR: A comparison of 3 computerized Bolton tooth-size analyses with a commonly used method. *Angle Orthod* 2001;71: 351–57.
68. Tweed CH: The frankfort mandibular incisor angle in orthodontic diagnosis, treatment planning and prognosis. *Angle Orthod* 1954;15:1212-1269.
69. van der Linden, FPGM, Boersma H: Diagnosis and treatment planning in dentofacial orthopedics. London, Chicago, Berlin: Quintessence, 1987.
70. Výbor České ortodontické společnosti: Dokumentace k ortodontické léčbě. *Ortodoncie* 1993;3(3):6-7.
71. Wachsman K, ml.: *Orthodontie*. Praha: nákladem vlastním, 1926.

72. Wang G, Shan R, Zhao L, Zhu X, Zhang X: Fetal cleft lip with and without cleft palate: Comparison between MR imaging and US for prenatal diagnosis. *European Journal of Radiology* September 2011;79(3): 437–442.
73. Weber GW, Bookstein FL: *Virtual anthropology. A guide to a new interdisciplinary field*. Wien, New York: Springer, 2011, 423 s.
74. Whetten LJ, Williamson CP, Heo G, Varnhagen C, Major P: Variations in orthodontic treatment planning decisions of Class II patients between virtual 3-dimensional models and traditional plaster study models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 130:485-91.
75. Yaqi M, Zhongke L: Computer aided orthodontics treatment by virtual segmentation and adjustment. In 2010 International Conference on Image Analysis and Signal Processing (IASP). *IEEE* 2010:336-339.
76. Yourtee D, Emery J, Smith RE, Hodgson B. Stereolithographic models of biopolymers. *J Mol Graph Model* 2000;18:26-8, 59-60.
77. Žára J a kol.: *Počítačová grafika – principy a algoritmy*. Praha: Grada, 1992, 472 s.

9. Seznam publikací disertanta:

a) s impact faktorem

1. **Kasparova M.**, Grafova L., Dvorak P., Dostalova T., Prochazka A., Eliasova H., Prusa J., Kakawand S.: Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *BioMedical Engineering OnLine* May 2013; 12:49.

IF = 1,74

2. **Kasparova M.**, Prochazka A., Grajciarova L., Yadollahi M., Vysata O., Dostalova T.: Evaluation of dental morphometrics during the orthodontic treatment. *BioMedical Engineering OnLine* 2014;13:68.

IF = 1,74

3. Grafova L., **Kasparova M.**, Kakawand S., Prochazka A., Dostalova T.: Study of Edge Detection Task in Dental Panoramic X-ray Images. *Dentomaxillofacial Radiology* July 2013;42: 20120391.

IF= 1,081

4. Blaha K., Borsky J., **Kasparova M.**, Steklacova A., Zajickova V., Pechova M., Matejova R., Kotaska K., Dostalova T.: Concentration of MMP-9 and TIMP-1 in lip tissue and their impact on cleft lip surgery healing. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*, 2012, 157(4): 363-6.

IF 0.990

5. Dostalova T., Hlinakova P., **Kasparova M.**: Effectivness of Physiotherapy and GaAIAs Laser in the Management of Temporomandibular Joint Disorders. *Photomedicine and Laser Surgery* 2012; 30(5):275 – 280.

IF = 1,255

6. Buckova M., **Kasparova M.**, Dostalova T., Jelinkova H., Sulc J., Nemecek M., Fibrich M., Bradna P., Miyagi M.: Er:YAG and CTH:YAG laser radiation: contact versus non-contact enamel ablation and sonic-activated bulk composite placement. *Laser Phys.* 2013; 23:055605, 8pp.

IF 2.545

7. Yadollahi M., Procházka A., **Kašparová M.**, Vyšata O.: The Use of Combined Illumination in Segmentation of Orthodontic Bodies, *SPRINGER: Signal, Image and Video Processing*, ON LINE, doi: 10.1007/s11760-014-0653-4, 2014

IF: 0.56

b) bez impact faktoru

1. Dostálová T., Kříž P., Patočková H., Seydlová M., Kašparová M.: Strategie léčby u hypodoncie, *Progresdent* 2010; 16 (4): 20-27.
2. Bláha K., Borský J., Průša R., Štekláčová A., Kašparová M., Otoupalová E., Matějová R., Pechová M., Kotaška K., Dostálová T.: **Vliv matriových metaloproteináz na hojení ran po operaci vroženého rozštěpu rtu.** *Čes-slov Pediatr* 2012; 67(1): 11-14.
3. Jiří Borský, Magdaléna Kašparová, Taťjana Dostálová, Miroslav Tvrdek, Milan Hubáček, Miloš Černý: **Fetální hojení u rozštěpu rtu – stabilita léčby po 4 letech.** *LKS - Časopis České stomatologické komory* 2011; 4: 74-77.
4. Jiří Borský, Milan Hubáček, Jiří Kozák, Magdaléna Kašparová, Jindřich Fišer, Taťjana Dostálová: **Rozštěpy rtu a patra, plánování terapie, multidisciplinární péče (souborný referát).** *Česká stomatologie - v tisku.* ISSN 1213-0613
5. Aleš Procházka, Oldřich Vyšata, Magdaléna Kašparová and Tatjana Dostálová: **Wavelet Transform in Biomedical Image Segmentation and Classification,** In *Proceedings of the 7th International Symposium: Image and Signal Processing and Analysis (ISPA 2011)*, pp. 519-522, Dubrovnik, Croatia, September 4-6, 2011, IEE CFP11504-CDR, ISBN: 978953184159-7, ISSN: 1845-5921.
6. Dostálová Taťjana, Kašparová Magdalena, Seydlová Michaela, Kříž Pavel, Patočková Helena: **Orthodontic patients - Growth of somatic structures including implants insertion – 3D longitudinal reconstruction.** 10th IEEE International Conference on Informatic Technology and Applications in Biomedicine, 2.-5.11.2010, Corfu, Greece, s. 54.

7. Dostálová Tatjana, Seydlová Michaela, Velemínská Jana, Müllerová Živa, Kašparová Magdalena, Peterka Miroslav: **Cleft patients – full ceramic treatment and longitudinal 3-D dental models computer evaluation.** Abstrakt book 34th Annual Conference of the European Prosthodontic Association, 23.-25.9.2010 Kosovo, s. 46.
8. Dostálová Tatjana, Kašparová Magdalena, Seydlová Michaela, Kříž Pavel, Patočková Helena: **Orthodontic patients - Growth of somatic structures including implants insertion – 3D longitudinal reconstruction.** Sborník abstrakt 10th IEEE International Conference on Informatic Technology and Applications in Biomedicine, 2.-5.11.2010, Corfu, Greece, s. 54.
9. Magdalena Kasparova, Tatjana Dostalova, Jiri Borsky, Karel Blaha: **Primary cleft lip reconstruction – stability of the therapy after 4 years from the therapy.** Sborník abstract 23rd Congress of the International Association of Paediatric Dentistry Athens, Greece, 15-18 June 2011, s. 99.
10. T. Dostalova, R. Gayerova, M. Sedivec, M. Kasparova: **Dens in dente.** Sborník abstrakt 10th IEEE International Conference on Informatic Technology and Applications in Biomedicine, 2.-5.11.2010, Corfu, Greece, s. 54.
11. Jana Velemínská, Tatjana Dostálová, Živa Müllerová, Magdaléna Kašparová, Veronika, Cagaňová, Miroslav Peterka: **Influence of therapy on the development of maxilla in two orofacial cleft patients: 3-D longitudinal evaluation.** Slov Antropol., 15:57–64.

c) Ústní Sdělení

1. Den výzkumných prací 2011, 3.června 2011: **Kašparová M.**, Dostálová T., Stejskalová S., Procházka A.: Srovnání manuálního měření rozměrů zubních oblouků na sádrových modelech a na jejich 3D obrazech.
2. 10th IEEE International Conference on Informatic Technology and Applications in Biomedicine, 2.-5.11.2010, Corfu, Greece: Dostálová Tatjana, **Kašparová Magdalena**, Seydlová Michaela, Kříž Pavel, Patočková Helena: Orthodontic patients -

Growth of somatic structures including implants insertion – 3D longitudinal reconstruction.

d) Poster

- 1. Magdalena Kasparova**, Tatjana Dostalova, Jiri Borsky, Karel Blaha: Primary cleft lip reconstruction – stability of the therapy after 4 years from the therapy – poster. 23rd Congress of the International Association of Paediatric Dentistry Athens, Greece, 15-18 June 2011.
- 2. Kašparová M.**, Bláha K., Dostálová T: Biochemické aspekty časného primárního uzávěru rozštěpu rtu. Studentská vědecká konference 2.lf UK Praha, 28.3. – 29.3.2012, Praha, Česká Republika.
- 3. Dvořák P.**, Procházka A., **Kašparová M.**, Dostálová T.: Orthodontic Data Acquisition and Visualization. 19th International Conference Technical Computing Prague, 2011, Prague, 8.11.2011.
- 4. M. Kasparova**, M. Buckova, T. Dostalova : Evaluation of the treatment under general anaesthesia of healthy and special needs patients. 12th Congress of the EAPD 5.6. – 8.6.2014, Sopoty, Polsko.
- 5. Kašparová, M.** PDD 2011 Časná primární rekonstrukce rozštěpu rtu – metoda volby?
- 6. Kašparová, M.** PDD 2013 Kontaktní versus nekontaktní preparace u Er: YAG a CTH: YAG laserů
- 7. Kašparová, M.** PDD 2014 Ošetřování zdravých a hendikepovaných pacientů sanací chrupu v celkové anestezii ve FN Motol v letech 2009-2012
- 8. Kašparová, M.**, M. Buckova, T. Dostalova, H. Jelinkova, J. Sulc, M. Nemeč, P. Bradna, M. Miyagi. Er:YAG and CTH:YAG laser radiation contact versus non-contact enamel ablation Laser Florence 2012 – **Best poster award.**