

3D skenery v ortodoncii

(Přehledový článek)

3D Scanners in Orthodontics

(Review)

ČESKÁ
STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 1,
s. 13–24

Konvalinková M.^{1,2}, Kořová M.^{1,2}

¹Oddělení ortodoncie a rozštěpových vad Stomatologické kliniky 3. LF UK a FNKV, Praha

²Klinika zubního lékařství LF UP a FN, Olomouc

SOUHRN

Cíl: Cílem sdělení je seznámit čtenáře s aktuální situací v možnostech využití 3D skenerů ve stomatologických a ortodontických praxích.

Úvod: Digitalizace modelů přináší nespočet výhod, ať už se jedná o měření na modelech, komunikaci postupu léčby s jinými odborníky, skladování modelů či jejich zhotovování.

Materiál a metodika: Laboratorní a intraorální skenery dostupné na současném trhu.

Výsledky: Přesnost a vysoká úroveň technických parametrů všech popsaných skenerů je příznivá pro použití v lékařské praxi. Z laboratorních skenerů je u ortodontistů v České republice oblíbená značka 3Shape pro její rychlé snímání. Z intraorálních skenerů je nejvíce využívaný skener Trios (3Shape) a nyní čím dál více iTero® pro jeho přímou návaznost na systém Invisalign.

Závěr: 3D skenery jsou pro ortodontisty praktickými pomocníky a pro pacienty příjemným komfortem. Rozšiřují a usnadňují odbornou komunikaci a jsou také prostředkem pro názornou demonstraci postupu a variant terapie pro konkrétního pacienta. V průběhu několika let se nepochybně stanou běžnou součástí většiny stomatologických praxí.

Klíčová slova: 3D skenery – ortodoncie – digitalizace

SUMMARY

Objective: The aim of the paper is to familiarize the reader with the current status in the possibilities of using 3D scanners in dental and orthodontic practices.

Introduction: The digitization of models brings countless benefits, whether it is measurement on models, communication of treatment with other professionals, storage or making them.

Material and methodology: Laboratory and intraoral scanners available in the current market.

Results: The accuracy and high level of technical parameters of all the scanners described is favorable for use in medical practice. From the laboratory scanners, the 3Shape is a favorite for orthodontists in the Czech Republic for its fast scanning. From intraoral scanners, Trios (3Shape) is the most widely used scanner, and now more and more iTero® for its direct connection to the Invisalign system.

Conclusion: 3D scanners are practical helpers for the orthodontists, for patients' pleasurable comfort. They are expanding and facilitating professional communication, and they are also a means of illustrating the progress and variants of therapy for a particular patient. Over the course of several years, they will undoubtedly become a common part of most dental practices.

Keywords: 3D scanners – orthodontics – digitization

Čes. Stomat., roč. 118, 2018, č. 1, s. 13–24

ÚVOD

Digitalizace je dnes běžnou součástí života a výjimkou není ani stomatologie a ortodoncie.

Zhotovování digitálních rentgenových snímků a fotodokumentace je pro řadu praxí rutinní každodenní záležitostí. Dokumentační a pracovní modely jsou však ve většině stomatologických i ortodontických

praxí stále zastoupeny pouze v sádrové podobě a jejich skladování s sebou nese velké prostorové i ekonomické nároky. Digitální modely nabízejí mnoho nových diagnostických i pracovních možností, navíc bez jakýchkoliv nároků na skladovací prostory.

NEVÝHODY SÁDROVÝCH MODELŮ

Tradičně používané sádrové studijní modely jsou křehké, mohou se snadno rozbít. Manipulací s nimi se může sádra otírat, což snižuje přesnost diagnostických analýz. Existuje také riziko jejich potenciální ztráty při transportu [2]. Jejich skladování v boxech představuje problémy jak prostorové, tak časové. Vytížená ortodontická praxe může ročně zahájit léčbu až 300 nových pacientů. Pro uskladnění jednoho tisíce sádrových modelů je třeba více než 17 m³ prostoru a vždy je nutné jejich dlouhodobé uskladnění. Nejkratší období, po které by měla být dokumentace pacienta uchovávána, vychází ze zákonem daných podmínek o promlčení lhůtě, během které může být podaná žaloba pro zanedbání péče. Tato doba se liší stát od státu a pohybuje se od 5 do 15 let. Pro orientaci při 300 zdokumentovaných případech ročně po dobu 10 let se jedná o 6 000 sad modelů před léčbou a po léčbě, jejichž uložení zvyšuje náklady praxe. Dalším problémem je poškození modelů při transportu. Složitá je i komunikace mezi jednotlivými lékaři v rámci interdisciplinární spolupráce, pokud existují pouze jedny studijní modely pacienta. Ošetřující ortodontista pak musí dublovat studijní modely pacienta a odesílat je, což představuje opět jak časové, tak finanční náklady [24].

LIMITY DIGITÁLNÍCH MODELŮ

Nevýhodou digitálních modelů je nedostatek taktilního vjemu pro ortodontisty a riziko ztráty nebo úniku elektronických dat. Čas potřebný k seznámení se s používáním softwarového systému je velmi individuální. Většina programů je sice srozumitelných a uživatelsky přívětivých a jejich použití nevyžaduje speciální školení, nicméně nějaký čas trvá seznámení se s programem, případně jednotlivými odlišnostmi každého z nich, stejně jako manipulace s modely a chrupem [30].

Naskenovaný 3D obraz je znázorněn na 2D obrazovce a podle Stevense a kol. [31] mohou být proto obtížné při zobrazování zkříženého skusu. Na obrazovce se může zdát, že má horní zubní oblouk v distální části pozitivní překus, i když tomu tak ve skutečnosti není, a naopak zkřížený skus můžeme mylně diagnostikovat i tam, kde se nevyskytuje. Pokud však máme nějakou nejasnost ohledně zkříženého

skusu, můžeme se o situaci jednoduše přesvědčit pomocí funkce zobrazující průřez zubních oblouků. Podrobnosti okluzní anatomie a opotřebenosti zubních plošek nemusí být na digitálním modelu tak jasné jako na modelu sádrovém. Také hodnocení vztahů zubních oblouků v sagitální rovině může být někdy problematické. Navzdory těmto omezením představuje 3D digitální model cenný zdroj informací a neustálý vývoj technologií přináší způsoby, jak překonat jeho nedostatky.

VÝHODY DIGITÁLNÍCH MODELŮ

1. Jsou ihned dostupné k vizualizaci, diagnostice a plánování léčby. Dále k provedení virtuální analýzy, přesnějšímu a jednoduššímu zhotovení přestavby a možnosti superimpozice modelů před léčbou a po ní [4].

2. Nelze je fyzicky poškodit, nepráší se z nich.

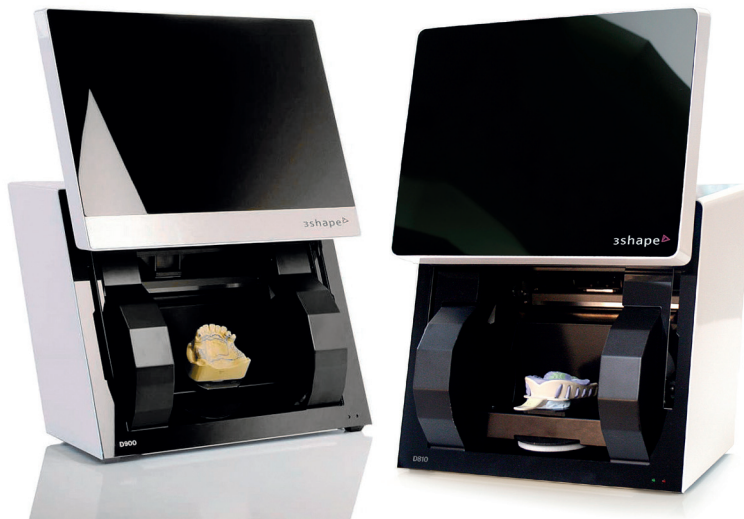
3. Vyhledávání je snadné a rychlé, protože modely jsou ukládány podle jmen a dat pacientů.

4. Vyžadují zanedbatelný úložný prostor. Digitální informace ke každému případu mohou být uloženy na pevném disku počítače v ordinaci, na přenosných úložných zařízeních, jako jsou kompaktní disky, nebo na centrálním serveru. Jedna sada digitálních modelů má menší velikost než 1 megabyte. Softwarové programy k prohlížení digitálních modelů jsou velké od 8 do 12 megabitů. Klasické 700 MB CD pojme přes 700 případů, 20 GB pevný disk kolem 24 000 případů [28].

5. Digitální modely mohou být začleněny do různých systémů pro správu pacientů, spolu s digitálními fotografiemi, rentgenovými snímky a klinickými poznámkami. Praktická je i možnost prohlížení digitálních modelů z jakéhokoli počítače propojeného s centrálním serverem v ordinaci. To umožní ošetření pacienta na různých místech se snadným přístupem k jeho záznamům.

6. Virtuální modely mohou být přeneseny kamkoli na světě pro účely konzultace apod. Elektronické soubory obsahují všechny informace o modelech a mohou být elektronicky odeslány kolegům, specialistům a pojišťovně. Lze vizualizovat a konzultovat léčebné alternativy mezi různými specialisty. Digitální modely také minimalizují problémy při předávání praxe a dokumentace.

7. Digitální modely jsou skvělým nástrojem pro poučení a motivaci pacienta. Současné mladší generaci pacientů jsou počítače a virtuální technologie blízké. Proto jim mohou být i digitální modely bližší. Lze je ukázat rodičům během konzultací léčebného plánu i v průběhu nebo po ukončení léčby. Existují také služby k založení bezpečných webových stránek



Obr. 1 Laboratorní skenery D900 a D700 (3Shape, Dánsko) pro nepřímou digitalizaci sádrových modelů a zubních otisků (převzato z: www.3shape.com)

se záznamy pacientů a informacemi o jejich léčbě, takže si může pacient prohlížet obrázky svého chrupu i z domova [27].

8. CBCT a digitální modely mohou být vzájemně překryty pro usnadnění plánování ortodonticko-chirurgické léčby.

9. Pokud je zapotřebí pracovní model k výrobě ortodontického aparátu, lze jej z digitálního modelu trojdimenzionálně vytisknout pomocí technologií rapid prototyping.

VYTVORENÍ DIGITÁLNÍHO MODELU

Digitální modely byly komerčně představeny v roce 1999 pomocí systému OrthoCAD™ (Cadent, NJ, USA) a v roce 2001 systémem emodels® (GeoDigm,

MN, USA). Navzájem se tyto technologie podstatně liší. OrthoCAD™ pracuje na principu tzv. destruktivního skenování, kdy se při tvorbě skenů model postupně odbrušuje v tenkých vrstvách, které přímo zobrazuje. Emodels® skenuje povrch kompletního sádrového modelu a následně je možné jednotlivé vrstvy „krájet“ [10]. V těchto počátcích se digitální modely vytvářely převážně prostřednictvím specializovaných společností, které je vygenerovaly na základě poskytnutých otisků chrupu. Přestože se nepotvrdilo, že by doba od otisknutí do odlití měla zásadní vliv na přesnost následného měření na digitálním modelu [3, 8], je tento systém poněkud nepraktický. Pokroky v CAD/CAM (computer aided design/ computer aided manufacturing) technologii umožnily, že jsou virtuální modely zhotovovány skenery přímo na pracovišti – ať už se jedná o vytváření modelů

na základě skenování otisků, sádrových modelů nebo – z praktického hlediska nejperspektivnějších – intraorálních skenů. Ty jsou pak uloženy v proprietárním nebo stereolitografickém (STL) formátu. STL je průmyslově využívaný standardní formát souboru, který je podporován většinou intraorálních skenerů a široce využíván pro rapid prototyping – počítačově řízenou výrobu. Další otevřený formát je PLY, polygon formát souboru (známý také jako Stanford triangle format), který se využívá k informaci o barvě či transparentnosti. V současnosti dosáhla kvalita skenovacích zařízení vysokého standardu. Stále se vyvíjí možnosti softwarů k analýze získaných dat. Pokračující technologický vývoj postupně redukuje cenu hardwarového vybavení a stejně tak softwaru, který je k práci potřeba [1].

ČESKÁ
STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 1,
s. 13–24



Obr. 2 Objemová data získaná digitalizací pomocí počítačové tomografie na přístroji Planmeca ProMax® 3D (Planmeca, Finsko) (převzato z: <http://www.midealtech.com.tw/eng/p2-products-1a.htm>).

ČESKÁ
STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 1,
s. 13-24

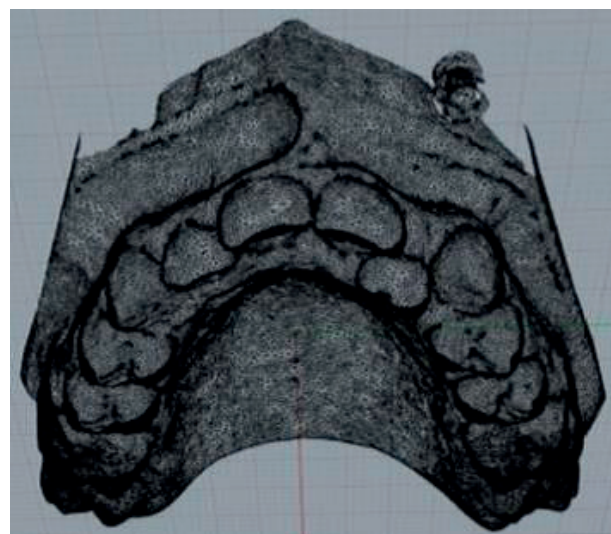


Obr. 3 Ordinační skener TRIOS® (3Shape, Dánsko) pro přímou metodu digitalizace (převzato z: http://heraeus-kulzer.com/int2/int/dentist/products_from_a_to_z/cara_16/cara_trios.aspx)

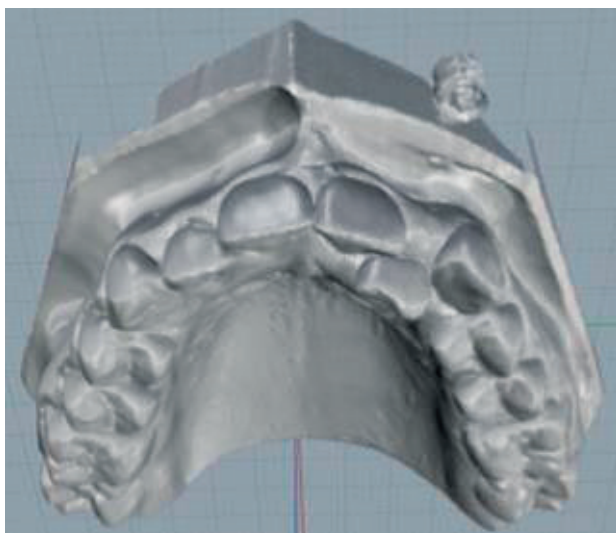
Digitální modely lze získat přímou nebo nepřímou metodou [10]. Nepřímá metoda pracuje se skenováním alginátových otisků nebo sádrových modelů z nich zhotovených pomocí povrchového skeneru (obr. 1), případně i intraorálního skeneru nebo výpočetní tomografií na ConeBeam CT přístroji (obr. 2). Přímou metodou se prostřednictvím intraorálního skeneru zachycuje situace v ústech pacienta (obr. 3). Při tomto způsobu zhotovení digitálního modelu je zcela eliminována nezbytnost zhotovení alginátového otisku i sádrového modelu. Ordinační doba pro pořízení digitálních dat potřebných pro zhotovení modelů (tj. čas pacienta na křesle) může být ale někdy delší, a to především při počáteční adaptaci skenující osoby na novou techniku [8]. Intraorální skenování se jeví jako výhodná metoda u pacientů s výrazným dávivým reflexem nebo u pacientů s rozštěpem patra, u kterých je při přítomné oronazální komunikaci riziko zatečení, případně aspirace otiskovací hmoty [7].

Nejvíce používanou technikou digitálního zobrazování je v současnosti stereofotogrammetrie. Vyvinula se z fotogrammetrických technik (rekonstrukce trojrozměrné morfologie z fotografického záznamu). Stereofotogrammetrie využívá jednu nebo více sbíhajících se částí zobrazení k vytvoření 3D modelu, který může být následně zobrazen z jakékoli perspektivy a měřen z jakéhokoli směru. Kartézský systém souřadnic pro 3D zobrazení sestává ze tří os. Generování virtuálního modelu probíhá v několika

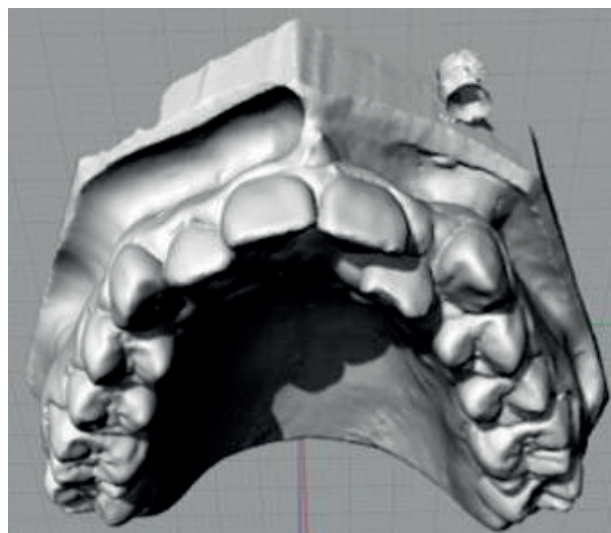
krocích. Nejprve dojde k matematické „modelaci“ popisující fyzické vlastnosti objektu. Modelovaný objekt je vizualizován jako „drátěná konstrukce“ nebo „polygonální síť“ tvořená trojúhelníky nebo polygony (obr. 4). Součástí fáze modelace je přidání povrchu na objekt umístěním vrstvy pixelů; tomu se říká „mapování textur“ nebo „zobrazení“. Dalším krokem je přidání světla a stínů, což přináší do 3D



Obr. 4 Digitální model ve formě polygonální sítě („drátěný model“) (s laskavým souhlasem MDDr. Kateřiny Mazurové, Ph.D., převzato z: Mazurová, K.: Digitální ortodontické modely. Atestační práce. Olomouc, 2013)



Obr. 5 Digitální model s povrchovou texturou (s laskavým souhlasem MDDr. Kateřiny Mazurové, Ph.D., převzato z: Mazurová, K.: Digitální ortodontické modely. Atestační práce. Olomouc, 2013)



Obr. 6 Finální digitální model (s laskavým souhlasem MDDr. Kateřiny Mazurové, Ph.D., převzato z: Mazurová, K.: Digitální ortodontické modely. Atestační práce. Olomouc, 2013)

ČESKÁ
STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 1,
s. 13-24

objektu více realismu (obr. 5). Posledním krokem je tzv. renderování, kdy počítač převede anatomická data získaná od pacienta do iluze „živoucího“ 3D objektu zobrazeného na počítačové obrazovce (obr. 6). Virtuální model je možno převést do fyzické podoby pomocí některé z metod rapid prototyping (obr. 7). Nejčastěji pomocí stereolitografie.

3D SKENERY V ORTODONTICKÉ PRAXI

Laboratorní skenery

Laboratorní 3D skenery byly sestrojeny k vytvoření 3D snímků jak otisků, tak sádrových modelů za účelem jejich digitalizace. Technologie skenování využívá nedestruktivního laserového paprsku a několika digitálních kamer k reprodukci vysokého rozlišení obrazů cílových povrchů. Otisky, modely nebo skusový registrát jsou umístěny uvnitř na pohyblivém podstavci, který se během skenování automaticky otáčí a naklání, aby se dosáhlo kompletního víceúhlového pokrytí geometrie modelu. Na objekt je promítáno laserové světlo a kamera obdrží jeho zrcadlový obraz z povrchu [5]. Po naskenování je vytvořen stereolitografický model.

Příklady laboratorních skenerů

Ortho Insight 3D™ (Motion View Software, LLC, Chattanooga, Tennessee, USA) byl představen v roce 2012. Je to skener nabízející vysoké rozlišení, robotické skenování s přesností 4-200 mikrometrů.



Obr. 7 Model z 3D tiskárny (převzato z: <http://www.prodways.com/en/material/plastcure-model-310/>)

Automatizovaný laserový skener je koncipovaný k zachycení otisku jak celého zubního oblouku, tak sádrových modelů a skusových registrátů a následnému vytvoření 3D digitálních modelů [5]. Sken jednoho modelu a jeho následná virtuální rekonstrukce trvá přibližně pět až sedm minut. Ortho Insight 3D™ software umožňuje digitální uchovávání záznamů pacientů, analýzu modelů a obsahuje mnoho funkcí pro plánování léčby. Je možno provádět nejrůznější měření, vyznačovat body, měřit diskrepanci, rozdělovat zuby do segmentů a hodnotit okluzi. Doplnkové moduly softwaru zahrnují možnosti nepřímého lepení a kefalometrii.

R500, R700, R900 (3Shape, Kodaň, Dánsko). Společnost 3Shape nabízí tři laboratorní 3D skenery, které dokážou skenovat jak sádrové modely, tak

otisky s různým rozlišením a rychlostí. Série R500 a R700 používá technologii červeného laserového světla se dvěma 1,3megapixelovými digitálními kamerami, které zajišťují přesnost 20 mikrometrů [34]. Uváděná doba skenování se skenerem série R500 je 2 minuty 20 sekund pro sádrový model a 6 minut 40 sekund pro otisk, zatímco se skenerem řady R700 je to 1 minuta 30 sekund pro sádrový model a 7 minut pro otisk, což dělá tento skener vhodným pro středně velké ortodontické praxe a laboratoře. Skener 3Shape řady R900 využívá technologie modrého LED laseru a dále čtyři 5,0megapixelové kamery, které zajišťují skenovací přesnost 15 mikrometrů s barevnou texturou. Sádrový model skenuje 1 minutu 20 sekund a otisk 2 minuty 10 sekund, takže je vhodný pro velkoobjemové laboratoře. Ortho Analyzer™ je softwarový balíček společnosti 3Shape na zobrazování digitálních modelů, který obsahuje aplikace k ořezávání a rebazím, široké spektrum nástrojů k měření, k simulaci pohybu zubů, překrývání studijních modelů s fotografiemi nebo CBCT skeny, ale také digitální výrobu ortodontických aparátů nebo zubních náhrad.

Maestro 3D (AGE Solutions, Pisa, Itálie) je další zařízení pro laboratorní skenování, které umožňuje převod modelů a otisků na digitální a jejich následné ukládání. Systém skeneru má LED projektor s dvěma digitálními kamerami, které zachycují skeny s rozlišením 0,07 mm a přesností 10 mikrometrů [32]. Maestro 3D skener nabízí několik modulů:

- software Easy Dental Scan pro prohlížení digitálních modelů a jejich úpravy;
- Ortho Studio software pro měření zubů, oblouků, hloubky skusu, incizálního schůdku, provádění řezů v modelech a ke kontrole okluze;
- modul Virtual Setup pro pohyb se zuby, strapping, animace posunů, hodnocení kontaktů, vytváření attachmentů, export pro 3D tisk.

Přesnost 3D skenerů byla ověřována v mnoha odborných pracích. Studie Kima a kol. z roku 2014 hodnotila přesnost skenů sádrových modelů naskenovaných na Ortho Insight 3D™ vůči měření posuvným měřítkem na sádrových modelech při měření šířky zubu a perimetru a šířky zubního oblouku [15]. Signifikantní rozdíly byly zjištěny v meziodistální šířce horních molárů, dolních premolárů a molárů, v šířce horního zubního oblouku v oblasti premolárů a perimetru oblouku, nicméně 90 % rozdílů bylo menších než 0,2 mm. V roce 2013 Hayashi a kol. srovnávali spolehlivost tří skenovacích systémů in vitro (SureSmile OraScanner, Konica Minolta VIVID910 a 3Shape R700) ke zlatému standardu – digitálním modelům vytvořeným SLP250 Laser Probe. Autoři

zjistili, že odchylné hodnoty v každém srovnání byly malé (< 0,048 mm), nebyly statisticky signifikantní a každé skenovací zařízení vytvořilo dostatečně přesné digitální modely pro použití v klinické praxi [14]. Studie Correia a kol. z roku 2014 dokumentuje i mírné, nesignifikantní rozdíly v měření velikosti zubu a délky oblouku na digitálních modelech 3Shape R700 a sádrových modelech [5]. Ve srovnání s intraorálními skenery mají některé laboratorní skenery vyšší digitalizační přesnost v oblastech s velkými změnami zakřivení a podsekřivinami, ale nižší přesnost v reprodukci mezizubních prostor [11].

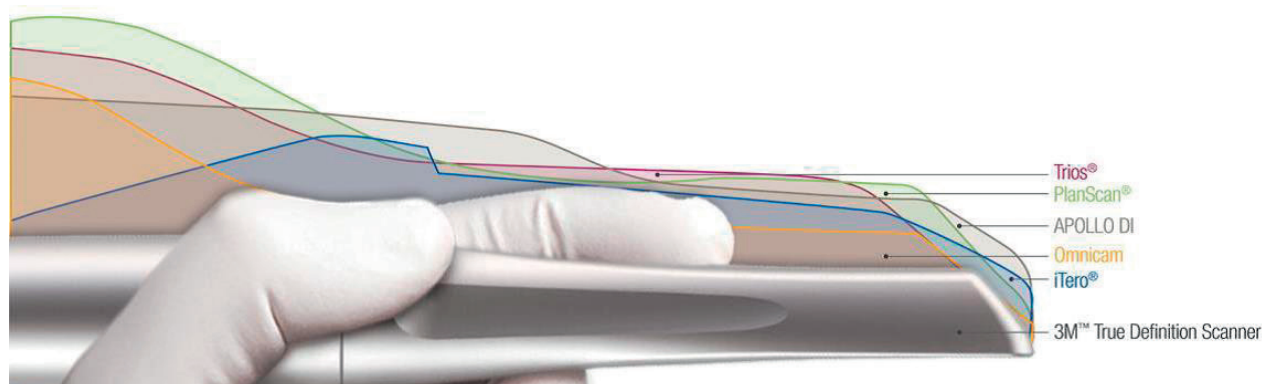
Intraorální skener

Digitální otisky byly poprvé představeny v roce 1987 s přístrojem Cerec 1 (Siemens, Německo), který pomocí infračervené kamery a optického prášku, který byl nanesen na zuby následně vytvořil virtuální model. Vývoj počítačových hardwarů a softwarů prodělal v průběhu let dramatický vývoj technologií, zcela nahrazujících tradiční otisky. K výrobě perfektně vyhovujících zubních náhrad dnes již většinou není zapotřebí ani použití optického prášku [16, 18, 23]. Zdokonalování v oblasti skenovacích technologií vedlo k vývoji přenosných systémů, které lze jednoduše přes USB kabel připojit k pracovní stanici, případně jakémukoli počítači. Ergonomické provedení, snížení hmotnosti skeneru a zmenšení velikosti hlavice je komfortnější jak pro personál obsluhující skener, tak pro pacienta. Optické skenery lze využít jak k in vivo zobrazení chrupu, tak k in vitro zachycení sádrového modelu pro vytvoření jeho digitální podoby. Intraorální skenery nabízejí, podobně jako laboratorní skenery, mnoho využití v ortodoncii, jako je digitální skladování modelů, software pro analýzu virtuálních modelů, stanovení identifikačních značek pro další srovnávání, měření šířky a délky zubního oblouku, segmentování modelů, hodnocení okluze atd. [16]. Dále umožňují lékaři získat digitální diagnostický set-up, připravit a provést nepřímé lepení zámek a exportovat digitální skeny do otevřených formátů zdrojového souboru. Elektronické soubory mohou být sdíleny s poskytovateli třetí strany a dále importovány.

Příklady intraorálních skenovacích systémů (obr. 8)

iTero®, Align Technology

Tento intraorální skener (obr. 9) byl vyvinut firmou Cadent Ltd. v roce 2006 a v roce 2011 odkoupen firmou Align Technology, Inc. (San José, CA, USA) [16]. Využívá konfokální laserovou mikroskopickou



Obr. 8 Srovnání skenovacích konzolí intraorálních skenerů (převzato z: http://solutions.3mcanada.ca/wps/portal/3M/en_CA/3M-ESPE-NA/dental-professionals/products/category/digital-materials/true-definition-scanner/).

techniku. Přístroj vysílá 100 000 rovnoběžných pársků červeného laserového světla, které dopadají na snímaný povrch. Odražené světlo je poté přeměněno z analogového signálu na digitální data pomocí analogově digitálního převodníku. Skenování nevyžaduje pokrytí zubů práškem, takže může být hlavice během skenování v těsném kontaktu se zuby. Skener snímá plynule a nepřetržitě, pro započítí nebo ukončení režimu skenování se stiskne tlačítko; vykreslení modelů je možné v kamenné nebo přirozené barvě; lze nastavit hlasové navádění při skenování a názorné ovládání. Pro ortodontické účely se skenuje horní a dolní čelist [12]. Nezbytných je pět různých směrů skenování dané oblasti: bukální, okluzální, lingvální a přilehlé aproximální plochy mezi sousedními



Obr. 10 Zuby a měkké tkáně jsou lehce posypány práškem oxidu titaničitého pro vytvoření reflexního povrchu; prášek poskytuje kontrastní body pro skenování a zvýší rychlost zachycování (převzato z: <http://www.dentalaegis.com/id/2009/10/lava-cos-digital-workflow-blends-the-lines-between-laboratory-based-and-dental-office-based-cad-cam-systems-to-digitally-record-tooth-preparations>)



Obr. 9 Intraorální skenovací systém iTero®, Align Technology (převzato z: <http://www.marketwired.com/press-release/align-technology-announces-next-generation-itero-element-intraoral-scanner-nasdaq-align-1998354.htm>, <http://www.invisalign-chicago.com/itero-digital-scanning/>)

zuby. Sken celých úst a registrace skusu může trvat od 10 do 15 minut. Ve dvouleté studii Garina a kol. z roku 2014 zahrnující 328 skenů byl nejrychlejší intraorální sken uskutečněn za 6 minut 22 sekund a nejdelší za téměř 18 minut [13]. Na konci skenování je k dispozici řada nástrojů k finálním úpravám otisku. V kterékoli oblasti s neúplnými údaji mohou být zhotoveny dodatečné skeny. Finální digitální modely jsou uloženy v online databázi MyAligntech na profilu poskytovatele služby a jsou dostupné pro export jako STL soubor.

True Definition, 3M ESPE

Skener byl oficiálně představen v roce 2013 jako aktualizovaná verze Lava™ ordinačního intraorálního skeneru, který byl velmi rozšířen ve stomatologii od roku 2006 [9]. Skener True Definition (3M Center St. Paul, MN, USA) vytváří 3D snímky

ČESKÁ
STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 1,
s. 13–24



Obr. 11 Intraorální skenovací systém True Definition, 3M ESPE (převzato z: <http://www.dentalproductsreport.com/dental/article/how-chairside-scanning-3m-true-definition-scanner-can-help-you-better-practice-dentis>)



Obr. 12 Intraorální skenovací systém Lythos™, Ormco (převzato z: www.orthodonticproductsonline.com)

pomocí vzorkování aktivní vlnoplochy na principu projekce strukturovaného světla. 3M ESPE pojmenoval tuto techniku skenování „3D-in-motion video technology“ [16]. Systém využívá rotující světelnou část umístěnou mimo osu v optickém zařízení buď

v zobrazovací, nebo ve světelné dráze, která měří průměr rozostření. Chrup je třeba osušit a lehce poprášit práškem oxidu titaničitého (obr. 10), aby mohl skener najít referenční body. Skener True Definition sestává ze skenovacího nástroje s ergonomickou skenovací hlavicí, pojízdného vozíku a počítače s vysoce výkonným procesorem a 22“ dotykovým monitorem (obr. 11). Lehká skenovací hlavička z nerezavějící oceli má vyhovující design rukojeti s přepínačem zapnutí a vypnutí, bez pohyblivých částí. Zachytí 20 snímků za sekundu a kompletní sken celých úst s registrací skusu se vytvoří za pět až osm minut. Po dokončení jsou digitální modely ihned dostupné pro 3D náhled, analýzu, překrývání, rozšířené měření a plánování léčby. Neomezené množství pacientových skenů může být uloženo na portálu Unitek™ pro správu léčby [9]. Otevřené STL soubory jsou k dispozici pro stažení, import do různých digitalizovaných postupů a sdílení s poskytovateli třetí strany.

Lythos™, Ormco

Lythos™ systém digitálního otiskování (obr. 12) byl představen společností Ormco (Orange, CA, USA) v roce 2013. Intraorální skener Lythos™ snímá 2,5 milionu bodů za vteřinu [19], je přenosný, váží kolem 13 kg a lze ho umístit přímo na ordinační stůl. Přístroj je vybaven lehkou skenovací hlavicí, výsuvným dotekovým monitorem, který usnadňuje ovládání a Wi-Fi. Nejprve se skenuje dolní a následně horní zubní oblouk namířením hrotu k okluzní plošce a vedením zleva doprava [16]. Naskenovaná data jsou zobrazována ihned, skenuje se, dokud nejsou zachyceny všechny chybějící oblasti nebo dokud nejsou data dostačující pro osobu, která skenování provádí. Software také umožňuje vymazat nechtěně naskenovaná data. Sken obou čelistí ve vysokém rozlišení trvá přibližně sedm minut. Ormco umožňuje uživatelům ukládat digitální otisky na online portálu společnosti nebo skeny elektronicky ve formátu STL kamkoli exportovat.

CS 3500, Carestream

Společnost Carestream Dental (Atlanta, GA, USA) uvedla koncem roku 2013 na trh přenosný digitální otiskovací systém CS 3500 (obr. 13). Skener

Obr. 13 Intraorální skener CS 3500, Carestream (převzato z: www.orthodonticproductsonline.com)



využívá konfokální laserovou skenovací mikroskopii, která umožňuje zachycení skutečných barev 2D, vysokou angulaci 3D skenů až do 45° a hloubku pole -2 až 13 mm [6]. Rozlišení obrazu je 1024 × 728 pixelů a přesnost měření až 30 mikronů. Součástí systému není pojízdný vozík, ale pouze skener s USB kabelem, který může být připojen k jakémukoli počítači, což eliminuje potřebu samostatné pracovní stanice. Součástí jsou dvě různé velikosti skenovací hlavičky – pro děti a dospělé.

Vestavěný ohřívač zjednodušuje skenování tím, že zabraňuje zamřžování zrcátka. Žádné vnější ohřívání nebo prášek nejsou třeba. Skener CS 3500 má světelný systém, který uživatele vede během zachycování dat a získávání obrazu [16, 18]. Zelené světlo značí úspěšné skenování, zatímco oranžová kontrolka upozorňuje, že je třeba danou oblast naskenovat znovu. Kompletní otisk je zhotoven přibližně za deset minut. CS 3500 je kompatibilní se softwarem s otevřeným zdrojovým kódem nebo může být součástí jednotného Carestream CAD/CAM systému pro zubní náhrady.

TRIOS®, 3Shape

Společnost 3Shape (Kodaň, Dánsko) předvedla své řešení pro intraorální skenování v prosinci roku 2010 – systém TRIOS® (obr. 14). Skener pracuje na principu konfokální mikroskopie s rychlým skenováním



Obr. 14 Skenovací systém TRIOS®, 3Shape (převzato z: www.orthodonticproductsonline.com)

[34]. Finální 3D digitální otisk je vytvořen stovkami až tisíci 3D obrazů. Kamera s vysokým rozlišením se vyznačuje měřením odstínu zubů a umožňuje skeny v přirozené barvě nebo ve standardním nebarevném provedení [18]. Skener nevyžaduje použití prášku, hlavička má násadec, který lze sterilizovat, a ohřívač proti zamřžování. Sken celých úst trvá přibližně pět minut.

Digitální otiskovací systém 3Shape je dostupný jako TRIOS® „Cart“, což je vozík, na kterém je dotyková obrazovka, která poskytuje 3D vizualizaci, video konzultace, Wi-Fi a bluetooth připojení. Dále TRIOS® „Chair integration“, kdy je skenovací nástroj přímo součástí zubní soupravy, nebo konfigurace TRIOS® „Pod“, kdy je možno skenovací nástroj pomocí USB koncovky připojit k jakémukoli počítači či obrazovce, což nabízí možnost větší mobility.

V roce 2015 představila společnost 3Shape novinku TRIOS® 3, což je menší, lehčí a rychlejší verze skeneru. TRIOS® 3 je intraorální barevný skener třetí generace s vyšším rozlišením, jak v tvarovém provedení pro tužkové držení, tak s rukojetí, obě verze s možností upevnění k zubní soupravě. Malá velikost a menší kulatý snímač jsou šetrnější k pacientům. Skener sám automaticky rozeznává různé stupně odstínů zubů, funguje rovněž jako malá kamera nebo fotoaparát pro obrázky v HD rozlišení, má širší rozsah dentálních indikací (rozeznává můstky, implantáty, snímatelné části). Systém 3Shape nabízí software Ortho Analyzer™ pro analýzu studijních modelů a plánování léčby, který také ukládá CBCT skeny, fotografie pacienta, OPG snímky a analýzy kefalometrických snímků [34]. Digitální modely ukládá ve standardním STL formátu.

3D Progress, MHT Optic research

Digitální otiskovací systém 3D Progress je dodáván společností Medical Height Technology (Verona, Itálie) a MHT Optic research (Curych, Švýcarsko). Pracuje na principu technologie konfokální mikroskopie s detektorem Moiré vzoru [18]. Senzor přesně a rychle zachytí až 28 snímků za sekundu, které jsou spojeny do jednoho 3D obrazu za méně než jednu desetinu sekundy. Skener 3D Progress umožňuje rozsáhlý záběr skenování, v rozsahu 0–18 mm hloubky ostroty [33]. Skenování může být přerušeno a znovu spuštěno v kterémkoli okamžiku a části skenu mohou být upraveny nebo aktualizovány nově získanými daty. Digitální otisk celých úst může být kompletní přibližně za čtyři minuty.

Skener 3D Progress je přenosný, sestává z napájecího zdroje a lehkého skenovacího nástroje, který může být připojen k počítači přes USB. Systém obvykle nevyžaduje nanášení prášku, s výjimkou

mimořádně reflexních povrchů, jako jsou například abutmenty implantátů [33]. Kompletní skeny jsou vytvořeny jako mrak bodů a mohou být uloženy jako digitální 3D modely v běžném STL formátu, kompatibilním se všemi CAD systémy.

Planmeca PlanScan®, E4D Technologies

Dříve známý jako skenovací a plánovací systém E4D NEVO, Planmeca PlanScan® od společnosti E4D Technologies (Richardson, Texas, USA) je intraorální skener s širokým využitím v zubním lékařství. PlanScan® využívá optickou koherentní tomografii s technologií modrého laserového paprsku [18]. Jeho menší vlnová délka (450 nm) je více reflexní, a obraz je tak ostřejší. Schopnost zachytit jemné detaily umožňuje větší přesnost [25]. Nastavitelné „field of view“ optimalizuje záběr při skenování tak, aby došlo k minimalizaci zachycení irelevantních dat, jako jsou rty, tváře a jazyk. Zamlžení v ústech brání aktivně vyhřívané zrcátko na hlavici skeneru [16]. Součástí intraorálního skeneru PlanScan® je výměnný nástavec dostupný ve více velikostech, který je možno sterilizovat v autoklávu pro dosažení maximální ochrany proti infekci. Planmeca CAD software se používá pro zpracování dat, analýzu a úpravy s využitím rozhraní Thunderbolt, díky němuž se lze připojit k jakémukoli počítači či pracovní stanici. Spolupráce s ostatními systémy je umožněna přes otevřený STL formát souborů [25].

ZHODNOCENÍ INTRAORÁLNÍCH SKENERŮ

Vyšší přesnost a časová efektivita intraorálních skenerů přispěly k jejich rostoucí popularitě ve stomatologických praxích. Publikované studie uvádějí srovnatelnou nebo vyšší přesnost intraorálních skenerů ve srovnání s konvenčními otisky [2, 10, 11, 28]. Literatura uvádí, že absolutní rozdíly v měření šířky zubů na digitálních a sádrových modelech se liší od 0 do 0,384 mm [7]. Naidu a Freer v roce 2013 analyzovali reprodukovatelnost iOC intraorálního skeneru (Cadent, Carlstadt, New Jersey, USA) srovnáním sádrových modelů a intraorálních skenů třiceti pacientů. Šířky zubů byly měřeny digitální šuplerou na sádrových modelech a softwarem OrthoCAD™ na virtuálních modelech. I když byly statisticky významné rozdíly mezi šířkami zubů a Boltonovými indexy, bias měření 0,024 mm nebyla považována za klinicky významnou [20]. Intraorální skeny byly doporučeny pro měření šířek zubů a výpočet Boltonových indexů s klinicky přijatelnou přesností a vynikající spolehlivostí [7, 21, 26, 30]. Provádělo se také měření diskrepance na CBCT skenech lebek a jejich digitálních modelech zhotovených iTero ske-

nerem. Jako vhodnější se ukázal iTero skener, avšak podle výsledků lze oběma metodami plně nahradit měření manuální, což dělá tyto metody vhodnými pro ortodontickou diagnostiku a plánování léčby [2]. Cuperus a kol. ve své studii prováděné intraorálním skenerem Lava v roce 2012 zjistili, že šířky zubů naměřené na virtuálních modelech jsou větší než šířky zubů naměřené na fyzických stereolitografických modelech [7].

Ortodontická léčba systémem Invisalign vyžaduje několik intraorálních skenů nebo polyvinyl siloxanových otisků [12]. Míra odmítnutí společností, která fólie vyrábí z předložených 328 případů naskenovaných iTero® intraorálním skenerem byla menší než 1 % [13]. Intraorální skeny prokázaly větší přesnost digitálních informací u některých typů malokluzí ve srovnání s běžnými otisky, a to: závažné stěsnání frontálního úseku, překrývající se řezáky, ektopicky uložené zuby, chybějící zuby, závažné stěsnání s plánovanými extrakcemi, extrémně hluboký skus a anomálie v pozdně smíšené dentici. Naskenovaná distální ploška druhého horního moláru u Angleovy II. třídy jevila dostatečnou přesnost, což odstraňuje nezbytnost opakovaného otiskování. V kvalitě, odolnosti a funkci Invisalign fólií nebyl žádný rozdíl u pacientů, u nichž byly místo polyvinyl siloxanových otisků použity intraorální skeny. Nicméně ortodontisté obdrží první ClinCheck mnohem dříve, někdy dokonce do 24 hodin od naskenování, takže mohou být fólie vyrobeny dříve a to umožňuje dříve začít s léčbou [12, 13].

I když mají na účinnost otiskovací techniky podstatný vliv individuální schopnosti, rychlost a zručnost lékaře, byla zkoumána doba trvání digitálního a konvenčního přístupu. Celková doba ošetření pacienta s otiskem na korunku implantátu byla konvenčním přístupem 24 minut 42 vteřin proti 12 minutám a 29 vteřinám s digitálním otiskem. Delší byla doba přípravy otiskovacího materiálu, pracovní čas a také bylo třeba otisk opakovat, aby byl vyhovující. V roce 2014 Patzelt a kol. zkoumali pracovní čas tří intraorálních skenerů in vitro ve třech různých protetických situacích. Ve srovnání s konvenční metodou zabraly digitální otisky v některém případě až o 23 minut méně času a ve všech testovaných situacích byl celý pracovní proces jednoznačně rychlejší [22].

Digitální skeny byly vyhodnoceny jako nejvhodnější otiskovací technika u studentů druhého ročníku zubního lékařství bez zkušeností s otiskováním. Úroveň obtížnosti digitální a konvenční otiskovací techniky byla vnímána 60 % účastníků ve prospěch intraorálních skenů, 7 % upřednostňovalo konvenční metodu a 33 % by volilo kteroukoli z těchto metod [17]. Naučit se pracovat s intraorálním skenerem se

jeví jako jednodušší, vyžadující méně zkušeností a znalostí než konvenční otiskování.

ZÁVĚR

3D skenery vnesly do stomatologie celou řadu nových dokumentačních, diagnostických i terapeutických možností. Jak lékařem, tak pacientem je oceňováno zejména otiskování chrupu, které je spojeno s řadou omezení. Jde o náročný pracovní postup spojený při klasickém otisku otiskovacími hmotami ve lžici s nepřesnou reprodukcí, trhlinami, špatnou objemovou stabilitou, omezeným časem pro zpracování otisku, s nezbytným laboratorním postupem při výrobě patřičných modelů a v neposlední řadě s komplikovaným transportem. Nevýhodou konvenčních otisků je také potřeba celý proces otiskování opakovat, pokud se otisk nepodaří. Navíc je otiskování pro pacienta zatěžující a nepříjemné.

Digitální otisky usnadňují a urychlují tradiční pracovní proces, snižují počet pacientových návštěv, zvyšují efektivitu a nezanedbatelně snižují náklady praxe.

3D skenery jsou pro lékaře praktickými pomocníky, pro pacienty příjemným komfortem. Rozšiřují a usnadňují odbornou komunikaci a jsou také prostředkem pro názornou demonstraci postupu a variant terapie pro konkrétního pacienta. V průběhu několika let se nepochybně stanou běžnou součástí většiny stomatologických praxí.

LITERATURA

1. **Abizadeh, N., Moles, D. R., O' Neill, J., Noar, J. H.:** Digital versus plaster study models: How accurate and reproducible are they? *J. Orthodont.*, roč. 39, 2012, č. 3, s. 151-159.
2. **Akyalcin, S., Cozad, B. E., English, J. D., Colville, C. D., Laman, S.:** Diagnostic accuracy of impression-free digital models. *Am. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.*, roč. 144, 2013, č. 6, s. 916-922.
3. **Alcan, T., Ceylanoglu, C., Baysal, B.:** The relationship between digital model accuracy and time-dependent deformation of alginate impressions. *Angle Orthodont.*, roč. 79, 2009, č. 1, s. 30-36.
4. **Brusco, N., Andreetto, M., Lucchese, L.:** Metrological validation for 3D modeling of dental plaster casts. *Med. Enging. Phys.*, roč. 29, 2007, č. 9, s. 954-966.
5. **Correia, G. D., Habib, F. A., Vogel, C. J.:** Tooth-size discrepancy: A comparison between manual and digital methods. *Dental Press J. Orthodont.*, roč. 19, 2014, č. 4, s. 107-113.
6. **CS 3500 |** Intraoral Scanner from Carestream Dental. Dostupné na: <http://www.carestreamdental.com/us/en/scan/CS%203500#Features%20and%20Benefits/>.
7. **Cuperus, A. M. R., et al.:** Dental models made with an intraoral scanner: a validation study. *Amer. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.*, roč. 142, 2012, č. 3, s. 308-313.
8. **Dalstra, M., Melsen, B.:** From alginate impressions to digital virtual models: accuracy and reproducibility. *J. Orthodont.*, roč. 36, 2009, č. 1, s. 36-41.
9. **Digital Impressions: 3M™ True Definition Scanner.** Dostupné na: http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/3M-ESPE-NA/dental-professionals/products/category/digital-materials/true-definition-scanner/.
10. **Fleming, P. S., Marinho, V., Johal, A.:** Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthodont. Craniofacial Res.*, roč. 14, 2011, č. 1, s. 1-16.
11. **Flügge, T. V., Schlager, S., Nelson, K., Nahles, S., Metzger, M. C.:** Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.*, roč. 144, 2013, s. 471-478.
12. **Garino, F., Garino, B.:** The iOC intraoral scanner and Invisalign: a new paradigm. *J. Clin. Orthodont.*, roč. 46, 2012, č. 2, s. 115-121.
13. **Garino, F., Garino, G. B., Castrolforio, T.:** The iTero intraoral scanner in Invisalign treatment: a two-year report. *J. Clin. Orthodont.*, roč. 48, 2014, č. 2, s. 98-106.
14. **Hayashi, K., Sachdeva, A. U., Saitoh, S., Lee, S. P., Kubota, T., Mizoguchi, I.:** Assessment of the accuracy and reliability of new 3-dimensional scanning devices. *Am. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.*, 2013, 144, č. 4, s. 619-625.
15. **Kim, J., Heo, G., Lagravère, M. O.:** Accuracy of laser-scanned models compared to plaster models and cone-beam computed tomography. *Angle Orthodont.*, roč. 84, 2014, č. 3, s. 443-450.
16. **Kravitz, N. D., Groth, C., Jones, P. E., Graham, J. W., Redmond, W. R.:** Intraoral digital scanners. *J. Clin. Orthodont.*, 2014, 48, s. 337-347.
17. **Lee, S. J., Gallucci, G. O.:** Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. *Clin. Oral Implants Res.*, roč. 24, 2013, č. 1, s. 111-115.
18. **Logozzo, S., Zanetti, E. L., Franceschini, G., Kilpelä, A. R., Mäkynen, A. N. S.:** Recent advances in dental optics - Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Opt. Lasers Eng.*, 2014, 54, s. 203-221.
19. **Lythos Digital Impression System.** Dostupné na: <http://www.ormco.com/products/lythos/>.
20. **Naidu, D., Freer, T. J.:** Validity, reliability, and reproducibility of the iOC intraoral scanner: a comparison of tooth widths and Bolton ratios. *Am. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.*, roč. 144, 2013, č. 2, s. 304-310.
21. **Okunami, T. R., Kusnoto, B., BeGole, E., Evans, C. A., Sadowsky, C., Fadavi, S.:** Assessing the American Board of Orthodontics objective grading system: digital vs plaster dental casts. *Am. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.*, 2007, 31, s. 51-56.
22. **Patzelt, S. B. M., Emmanouilidi, A., Stampf, S., Strub, J. R., Wael, A.:** Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin. Oral Investig.*, 2014, 18, s. 1687-1694.
23. **Patzelt, S. B., Lamprinos, C., Stampf, S., Att, W.:** The time efficiency of intraoral scanners: an in vitro comparative study. *J. Am. Dent. Assoc.*, roč. 145, 2014, č. 6, s. 542-551.
24. **Peluso, M. J., et al.:** Digital models: an introduction. *Semin. Orthod.* Elsevier, 2004, č. 10, s. 226-328.
25. **Planmeca PlanScan®.** Dostupné na: <http://www.prodenta.cz/produkty/cad-cam/planmeca-planscan/>.
26. **Quimby, M. L., Vig, K. W., Rashid, R. G., Firestone, A. R.:** The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthodont.*, roč. 74, 2004, č. 3, s. 298-303.
27. **Redmond, W. R., Redmond, W. J., Redmond, J. R.:** Ortho bytes. *Am. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.*, 2000, 117, s. 240-241.

ČESKÁ
STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 1,
s. 13-24

ČESKÁ
STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 1,
s. 13-24

- 28. Rheude, B. R., Sadowsky, P. L., Ferreira, A., Jacobson, A.:** An evaluation of the use of digital study models in orthodontic diagnosis and treatment planning. *Angle Orthodont.*, 2005, 75, s. 300-304.
- 29. Russell, M.:** Destroying patient records. *California Association of Orthodontists Website* 2002. Dostupné na: www.caortho.org.
- 30. Santoro, M., Galkin, S., Teredesai, M., Nicolay, O. F., Cangialosi, T. J.:** Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Amer. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.*, roč. 124, 2003, č. 1, s. 101-105.
- 31. Stevens, D. R., et al.:** Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: Comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Amer. J. Orthodont. Dentofacial Orthop.*, roč. 129, 2006, č. 6, s. 794-803.
- 32. 3D Professional Scanner -3D Dental Scanner.** Dostupné na: <http://www.maestro3d.com/>.
- 33. 3D Progress Digital Impression.** Dostupné na <http://www.3d-progress.it/>.
- 34. 3Shape Orthodontics.** Dostupné na: <http://www.3shapedental.com/orthodontics.aspx/>.

MDDr. Mája Konvalinková

Luční 5
686 01 Uherské Hradiště
e-mail: konvalinkova@centrum.cz