proLékaře.cz | 19.11.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 114,
2014, 2,
s. 35–39

Srovnání tradičních sádrových studijních modelů a jejich ekvivalentů získaných 3D tiskem

(Původní práce – statistická studie)

Comparison of Dental Study Plaster Cast and it´s 3D Printed Equivalents

(Original Article – Statistic Study)

Kašparová M.[1], Gráfová L.[2], Dvořák P[2]., Dostálová T[1]., Procházka A.[2]

[1]Stomatologická klinika dětí a dospělých 2. LF UK a FN Motol, Praha
[2]Ústav počítačové a řídicí techniky, Vysoká škola chemicko-technologická, Praha

SOUHRN

Úvod a cíle práce: Sádrové studijní modely jsou standardem uchovávání dat pacienta ve 3D podobě. S rozvojem digitálních technologií se vyvinuly také možnosti, jak z digitálních dat vytvořit fyzický objekt – 3D tiskem. Cílem této práce bylo: (1) srovnat přesnost lineárních měření na sádrových studijních modelech a jejich 3D rekonstruovaných kopiích, (2) zhodnotit nové možnosti, výhody a nevýhody použití 3D tisku při použití ve stomatologii a (3) zjistit, do jaké míry mohou 3D tištěné modely nahradit tradiční modely.
Materiál a metody: Deset sádrových studijních modelů ortodontického oddělení Stomatologické kliniky dětí a dospělých 2. LF UK a FN Motol bylo naskenováno a digitální data se použila pro open source 3D tiskárnu RepRap. Na modelech z tiskárny bylo provedeno měření stejných vzdáleností v rovinách x, y a z, jako na tradičních sádrových modelech. Získaná data se statisticky vyhodnotila.
Výsledky: 3D tisk je vhodnou metodou k převodu digitálních dat do fyzické podoby. 3D repliky vykazují výhodnější vlastnosti než tradiční sádrové modely zejména z hlediska mechanické odolnosti a možnosti získání fyzického modelu jen v případě potřeby, především pro dlouhodobou kontrolu terapie u pacienta či pro forenzní řízení. Studie prokázala, že 3D tisky mohou být alternativou k tradičním sádrovým modelům a je možné na nich provést přesnou analýzu rozměrů zubních oblouků.

Klíčová slova: ***3D tisk – stomatologie – analýza studijních modelů***

SUMMARY

Introduction: Plaster casts present golden standard in keeping patients data in 3D. The aim of this work was (1) to compare linear measurements made on traditional plaster casts and 3D printed copies of dental plaster casts, (2) to find new possibilities of reconstruction of digital data, its reliability based on various criteria and (3) to determine whether 3D printed copies obtained using open source system RepRap can replace traditional plaster casts in dental practice.
Material and methods: 10 dental plaster casts from the Orthodontic department, Department of stomatology for children and adults, 2nd Faculty of medicine, Charles University Prague, Czech Republic were scanned by inEos Blue scanner and printed on 3D printer RepRap. Linear measurements between selected points on the dental arches of upper and lower jaws on plaster casts and their 3D copies were recorded and statistically analyzed.
Results: Use of 3D printed copies has many advantages over use of traditional plaster casts, mainly mechanical durability and keeping the data in digital form unless needed for example for forensic reasons.

proLékaře.cz | 19.11.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 114,
2014, 2,
s. 35–39

The precision and accuracy of the RepRap 3D printed copies of plaster casts were confirmed based on the statistical analysis. Our study proved that 3D printed copies can replace traditional plaster casts and it is possible to use them for detailed analysis.

Key words: ***3D printing – stomatology – analysis of study plaster cast***

Čes. Stomat., roč. 114, 2014, č. 2, s. 35–39

ÚVOD

Sádrové dokumentační modely spolu s fotografiemi a vyšetřením pomocí zobrazovacích technik, jako je RTG nebo CT, představují standard zaznamenávání průběhu léčby nejen u ortodontického pacienta [1]. Z dlouhodobých analýz je zřejmé, že sádrové modely jsou přesné a data z nich jsou spolehlivě odečitatelná a reprodukovatelná.

Vzhledem k možnosti dlouhodobě sledovat léčbu, popřípadě recidivy vady, je nutné sádrové modely uchovávat. Skladování sádrových modelů přináší nevýhody, které komplikují práci s nimi – jde zejména o náročnost na skladovací prostory, ale také na manipulaci a s tím spojenou možnost potenciálního zničení modelu při pádu nebo odštípnutí [12, 15]. K poškození nemusí docházet jen při skladování, ale může dojít ke ztrátě modelů také při jejich transportu, který je nezbytný v případě nutnosti konzultace plánu léčby s odborníky jiných specializací (maxilofaciální chirurg, praktický stomatolog apod.).

Digitalizace v různé formě (CBCT, CAD CAM technologie, laboratorní techniky, 3D zobrazování) zasahuje v dnešní době do téměř všech odvětví medicíny, stomatologii nevyjímaje [3, 7].

Mnoho studií se již zabývalo spolehlivostí převodu fyzického sádrového modelu do 3D digitální podoby a prokázalo jejich přesnost [5, 14, 16, 17, 19]. Leifert a kol. se ve své práci zabývali srovnáváním sádrových studijních modelů a jejich 3D obrazů a zjistili, že výsledná odchylka 0,5 mm mezi měřeními na těchto dvou typech objektů je akceptovatelná pro klinickou praxi [8]. Digitální studijní modely byly také uznány jako přesná alternativa tradičních modelů v plánování ortodontické léčby u pacientů s II. tř. podle Angela autory Whetten a kol. [18]. Všechny studie se také zabývaly nevýhodami digitálních modelů, mezi které patří především hrozba ztráty dat, možnost vzniku technických chyb a v neposlední řadě také riziko zneužití osobních 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 forenzních důvodů.

Tímto problémem se zabývala studie autorů Keating a kol., kde digitální data získaná skenováním sádrového modelu byla použita pro 3D tiskárnu. Pomocí metody stereolitografie byly vytištěny 3D kopie dvou naskenovaných sádrových modelů [6]. 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 Modelling), 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 které 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.

MATERIÁL A METODY

Pro naši studii bylo náhodně vybráno 10 sádrových modelů pacientů ortodontického oddělení 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 až 10, na modelech nebyla uvedena osobní data. Všechny použité modely zobrazovaly zubní oblouky v celém rozsahu, nebylo na nich přítomno mechanické poškození ani známky abraze.

Ke skenování sádrových modelů byl použit skener InEos Blue (Sirona, Rakousko), vždy ve stejném protokolu skenování. K bezkontaktnímu skenování využívá krátkovlnné modré světlo. 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. 1), poté se převedla formátem MeshLab do formy, která

proLékaře.cz | 19.11.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 114,
2014, 2,
s. 35–39

byla použita pro samotný 3D tisk. Velikost dat jednoho modelu byla asi 3 MB.

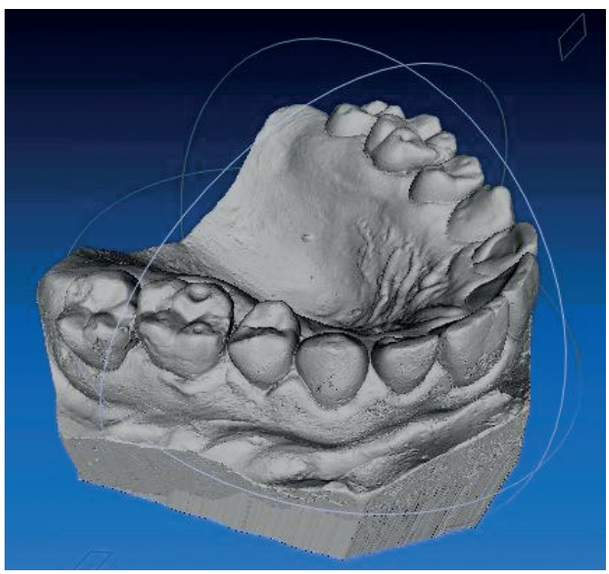
Po této úpravě bylo všech 10 modelů vytištěno na 3D tiskárně RepRap. Použitým materiálem byl ABS plast, modrá barva, tloušťka vrstvy 0,35 mm (obr. 2).

Na sádrových modelech i 3D tištěných modelech se měřily stejné vzdálenosti v osách x, y, z:

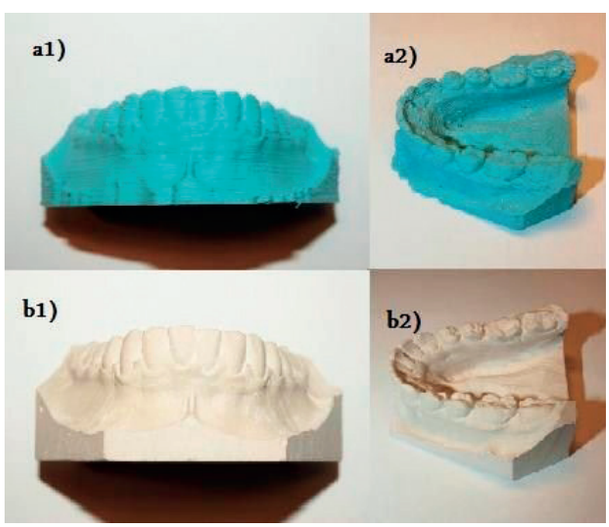
x: vzdálenost mezi hroty špičáků jedné čelisti,

y: vzdálenost mezi hrotem špičáku a mezio-bukálním hrbolkem prvního stálého moláru,

z: výška klinické korunky špičáku.



Obr. 1 Digitální model získaný skenováním sádrového studijního modelu pacienta



Obr. 2 Srovnání a) tradičních sádrových modelů a b) modelů získaných 3D tiskem: frontální pohled a1) a b1) a pohled semi-okluzální a2) a b2)



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

Měření prováděla dvakrát stejná osoba v intervalu jednoho týdne. Bylo použito digitální posuvné měřítko Festa (Čína) s přesností 0,01 mm (obr. 3). Celkem bylo získáno 120 údajů, které byly statisticky analyzovány.

STATISTICKÁ ANALÝZA A VÝSLEDKY

Veškerá pořízená a v článku prezentovaná data byla podrobně statisticky vyhodnocena. Reprodukovatelnost měření na sádrových modelech a na RepRap 3D tištěných kopiích byla testována pomocí párového t-testu [20] (tab. 1). Nutný předpoklad, že rozdíly opakovaných měření pocházejí z normálního rozdělení, byl ověřen pomocí Lillieforsova testu [4, 9, 10].

Přesnost měření na sádrových modelech a na RepRap 3D tištěných kopiích byla odhadnuta z rozdílů opakovaných měření (tab. 1). Nechť X, Y ~ N ($\mu,\sigma 2$) jsou hodnoty prvního a druhého nezávislého měření, potom Z ~ N ($0,2\sigma 2$) je jejich rozdíl (Z = X - Y).

Rovnost měření na sádrových modelech a na RepRap 3D tištěných kopiích byla ověřena pomocí párového t-testu (tab. 2). Pro tyto účely byla použita proměnná W ~ N ($0,\sigma 2/2$), přičemž W = (X + Y)/2.

Pomocí F-testu rovnosti rozptylů [2] bylo provedeno porovnání přesnosti měření na sádrových modelech a přesnosti měření na RepRap 3D tištěných kopiích (tab. 2).

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

Data získaná z komerčních 3D tištěných kopií nemohla být statisticky vyhodnocena pro nedostatek dat. Tabulka 3 také ukazuje rozdíly v měřeních porovnáním sádrových otisků, RepRap výtisků a komerčních výtisků.

proLékaře.cz | 19.11.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 114,
2014, 2,
s. 35–39

Tab. 1 Hodnoty rozdílů opakovaných měření

		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

Hodnoty rozdílů opakovaných měření na sádrových modelech a na RepRap 3D tištěných kopiích (RR), PM – zkratka z angl. Plaster Models, x – vzdálenost hrotů špičáků, y – vzdálenost hrotu špičáku a mezio-bukálního hrbolku prvního stálého moláru, z – výška klinické korunky špičáku.

Tab 2 Hodnoty rozdílů opakovaných měření

		Osa	Průměr [mm]	95% interval spolehlivosti		P hodnota	Výsledek párového t-testu	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

PM – sádrové modely, RR – RepRap 3D tištěné kopie

Tab. 3 Sumy směrodatných odchylek

	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

Std – sumy směrodatných odchylek – pro sádrové modely (W_{PM}) a pro RepRap 3D tištěné kopie (W_{RR})

Všechny testy byly provedeny na hladině významnosti p = 0,05, zvlášť pro vzdálenosti 3–3, 3–6 a Z. Všechny statistické výpočty byly provedeny pomocí Matlab Statistical Toolbox [13].

Všechny průměrné odchylky měření byly menší než 0,5 mm.

DISKUSE

V této práci byla představena spolehlivá metoda převodu digitálních dat do 3D podoby pomocí open source RepRap 3D tiskárny.

V minulosti se diskutovalo o některých výhodách 3D tisku [13, 16], nyní je uveden úplný seznam všech dosud známých výhod a nevýhod 3D tisku.

Výhody: nízká hmotnost výtisku, menší pravděpodobnost mechanického poškození v závislosti na použitém materiálu, vysoká odolnost proti abrazi, možnost snadného transportu i většího množství výtisků, možnost sdílení digitálních dat, možnost převodu dat do fyzické podoby jen v případě potřeby, možnost neomezeného počtu výtisků modelu, omezení potřeby rozsáhlých skladovacích prostor, zajímavé vlastnosti výtisků v závislosti na použitém materiálu (např. biodegradabilita, ekologičnost, možnost volby barvy výtisku, matu – lesku, míry průhlednosti atd.).

Nevýhody: v současnosti 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.

K redukci ceny 3D tisku přispívá rozvoj Open Source systémů typu RepRap.

3D tisk je vhodnou metodou k přípravě studijních modelů ve stomatologii a také jako 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.

ZÁVĚR

Přesnost měření lineárních vzdáleností na sádrových modelech a 3D tištěných modelech byla potvrzena. Nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v naměřených hodnotách stejných vzdáleností na sádrových modelech a 3D tištěných modelech.

Studie ukázala velký potenciál 3D RepRap tisku pro použití ve stomatologické praxi:

(1) Bylo prokázáno, že přesnost lineárních měření na sádrových studijních modelech a jejich 3D RepRap rekonstruovaných kopiích je srovnatelná.

proLékaře.cz | 19.11.2026

(2) Studie ukázala, že 3D RepRap tisk poskytuje oproti metodě sádrových modelů výtisky lepších vlastností (lehčí, odolné proti otěru, mechanickému poškození) s možností znovuvytvoření, a tudíž absencí potřeby rozsáhlých úložných prostor. Momentálně jeho hlavní nevýhodou je potřeba specialisty k úpravě dat a k obsluze 3D tiskárny,

(3) Vzhledem ke skutečnosti, že pro 3D tisk jsou sádrové modely potřeba, nelze těmito výtisky sádrové modely zcela nahradit.

LITERATURA

1. **Bell, A., Ayoub, A. F., Siebert, P.:** Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. J. Orthod., roč. 30, 2003, č. 3, s. 219–223.
2. **Box, G. E. P.:** Non-Normality and Tests on Variances. Biometrika, roč. 40, 1953, č. 3–4, s. 318–335.
3. **Chapuis, J., Schramm, A., Pappas, I., Hallermann, W., Schwenzer-Zimmerer, K., Langlotz, F., Caversaccio, M.:** A new system for computer-aided preoperative planning and intraoperative navigation during corrective jaw surgery. IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine, roč. 11, 2007, č. 3, s. 274–287.
4. **Conover, W. J.:** Practical nonparametric statistics, 2nd ed. New York, Wiley, 1980.
5. **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, s. 1–16.
6. **Keating, A. P., Knox, J., Bibb, R., Zhurov, A. I.:** A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. J Orthodontics, roč. 35, 2008, s. 191–201.
7. **Kondo, T., Ong, S. H., Foong, K. W. C.:** Tooth segmentation of dental study models using range images. IEEE Transaction on Medical Imaging, roč. 23, 2004, č. 3, s. 350–362.
8. **Leifert, F. M., Leifert, M. M., Efstratiadis, S. S., Cangialosi, J. T.:** Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop., roč. 136, 2009, s. 16.e1–16.e4.
9. **Lilliefors, H. W.:** On the Komogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. J. Amer. Statistical Ass., roč. 62, 1967, s. 399–402.
10. **Lilliefors, H. W.:** On the Komogorov-Smirnov test for the exponential distribution with mean unknown. J. Amer. Statistical Ass., roč. 64, 1969, s. 387–389.
11. **Martinez, W. L., Martinez, A. R.:** Computational statistics handbook with MATLAB. Londýn, Chapman & Hall/CRC, 2008.
12. **McGuinness, N. J., Stephens, C. D.:** Storage of orthodontic study models in hospital units in the U. K. Br. J. Orthod., roč. 19, 1992, s. 227–232.
13. **Motohashi, N., Kuroda, T.:** A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery. Eur. J. Orthod., roč. 21, 1999, s. 263–274.
14. **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 Orthod., roč. 74, 2004, s. 298–303.
15. **Santoro, M., Galkin, S., Teredesai, M., Nicolay, O. F., Cangialosi, T. J.:** Comparison of measurements made on digital and plaster models. Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop., roč. 124, 2003, s. 101–105.
16. **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., roč. 84, 2000, s. 345–352.
17. **Tomassetti, J. J., Taloumis, L. J., Denny, J. M., Fischer, J. R.:** A comparison of 3 computerized Bolton tooth-size analyses with a commonly used method. Angle Orthod., roč. 71, 2001, s. 351–357.
18. **Whetten, L. J., Williamson, C. P., Heo, G., Varnhagen, C., Major, P.:** Variations in orthodontic treatement planning decisions of Class II patients between virtual 3-dimensional models and traditional plaster study models. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop., roč. 130, 2006, 485–491.
19. **Zilberman, O., Huggare, J. A., Parikakis, K. A.:** Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. Angle Orthod., roč. 73, 2003, s. 301–306.
20. **Zimmerman, D. W.:** A note on interpretation of the paired-samples t Test. J. Educational Behavioral Statistics, roč. 22, č. 3, 1997, s. 349–360.

Studie byla podporována projektem IGA MZ ČR číslo 13351-4.

MUDr. Magdaléna Kašparová
Stomatologická klinika dětí a dospělých
2. LF UK a FN Motol
V Úvalu 84
150 06 Praha 5
e-mail: magdalena.kasparova@fnmotol.cz

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 114,
2014, 2,
s. 35–39