proLékaře.cz | 21.11.2020

MERANIE ROZMEROVEJ STABILITY MODELOV ZUBNÝCH OBLÚKOV Z TERMOPLASTICKÝCH MATERIÁLOV VYTLAČENÝCH METÓDOU FUSED DEPOSITION MODELING POČAS PROCESU VÁKUOVANIA

Pôvodná práca – experimentálna štúdia

MEASUREMENT OF DIMENSIONAL STABILITY OF DENTAL ARCH MODELS PRINTED FROM THERMOPLASTIC MATERIALS WITH THE FUSED DEPOSITION MODELING METHOD DURING THE VACUUMING PROCESS

Original article – experimental study

English fulltext: www.prolekare.cz

Hlavenková Z., Milde J., Thurzo A., Dianišková S.
Katedra čeľustnej ortopédie, Lekárska fakulta, Slovenská zdravotnícka univerzita, Bratislava

SÚHRN

Úvod a cieľ práce: V posledných desaťročiach prechádza celá oblasť medicíny digitálnou revolúciou. Tá nevynecháva ani stomatologické odbory a čoraz viac pracovných postupov je aj v čeľustnej ortopédii pretransformovávaných do digitálnej formy. Digitálny model zubných oblúkov sa získava vďaka intraorálnemu skeneru a je možné ho potom následne vytlačiť na 3D tlačiarni do fyzickej formy. Dentálne modely sú v čeľustnoortopedickej ambulancii potrebné ako študijné modely na diagnostickú analýzu a určenie terapeutického plánu, no po skončení čeľustnoortopedickej terapie sú veľmi dôležité aj ako pracovné modely na výrobu retenčných aparátov. Veľmi často indikovaným a s obľubou používaným retenčným aparátom sú termoplastické retenčné dlahy. Tie sa vyrábajú za vysokej teploty vo vákuovacom prístroji v procese známom aj ako vákuovanie a konvenčne sa tento proces vykonáva na sadrových modeloch. Pri stúpajúcej popularite digitálnych dentálnych modelov a ich následnej 3D tlači je dôležité vedieť, či sú aj takto zhotovené dentálne modely na výrobu termoplastických dláh vhodné. V súčasnosti vo všeobecnosti najpoužívanejšia metóda na 3D tlač sa nazýva Fused Deposition Modeling a na tlač využíva natavené plasty.
Cieľom tohto výskumu bolo zhodnotiť tri termoplastické materiály – ABS, ASA a Z-Ultrat a zistiť ich reakciu na podmienky, ktorým budú vystavené vo vákuovacom prístroji. Dôležité bolo určiť, ktorý z nich si pri daných podmienkach zachová najlepšiu rozmerovú stabilitu.
Metódy: K získaniu potrebných dát sme najprv pomocou intraoráleho skenera iTero vytvorili intraorálne skeny horného zubného oblúka dvoch pacientov, a tie boli následne použité na výrobu fyzických 3D modelov pomocou 3D tlačiarne Zortrax M200. Pri 3D tlači boli nastavené nasledovné parametre: hrúbka vrstvy 0,09 mm, hustota vnútornej výplne 70 % a orientácia modelu v osi Z bola 45°. Fyzické 3D modely boli potom naskenované 3D skenerom GOM ATOS TripleScan, vložené do vákuovacieho prístroja a potom znovu naskenované. Na vyhodnotenie rozmerovej presnosti vyrábaných dielov bol použitý softvér GOM Inspect. Maximálna klinicky akceptovateľná odchýlka medzi prvým 3D skenom a skenom fyzického modelu po vákuovaní bola autormi určená na ± 0,50 mm.
Výsledky: U všetkých troch skúmaných termoplastických materiálov bola zaznamenaná štatisticky významná zmena rozmerov zubných modelov. Veľkosť týchto odchýlok je však v praxi akceptovateľná. Maximálnu klinicky prípustnú odchýlku ± 0,50 mm splnili všetky modely vytlačené z materiálu ABS a Z-Ultrat.
Záver: Najlepšiu rozmerovú stálosť vykazoval certifikovaný materiál Z-Ultrat s chemickým zložením PC-ABS. Na základe obdržaných dát je možné usúdiť, že modely zubných oblúkov vytlačených metódou FDM môžu byť v praxi používané ako pracovné modely na výrobu termoplastických dláh.

Kľúčové slová: čeľustná ortopédia, 3D digitalizácia, digitálne dentálne modely, retencia, termoplastické dlahy, vákuovanie, Fused Deposition Modeling, akrylonitrilbutadiénstyrén, akrylonitrilstyrénakrylát, Z-Ultrat

SUMMARY

Introduction and aim: In recent decades, the whole field of medicine has been undergoing a digital revolution. This phenomenon is making its way into dental fields as well, including orthodontics, and gradually more and more workflow procedures are being digitalized. The digital models of dental arches can be obtained with

prolékaře.cz | 21.11.2026

the help of an intraoral scanner, and afterwards, using a 3D printer, they can be transformed into physical models. In the field of orthodontics, dental models are needed as study models for diagnostic analysis and determining the therapeutical plan. Dental models at the end of orthodontic therapy are very important as working models for the production of retention devices. The thermoplastic retention plates are very frequently given to patients as retention apparatus and are very popular among them. They are being manufactured at high temperatures in a vacuum machine in a process also known as vacuuming. Conventionally this manufacturing tends to be performed on classic gypsum models. With the growing popularity of digital dental models and their subsequent 3D printing, it is important to know whether dental models made in this way are also suitable for the production of thermoplastic retention plates. Currently, the most widely used method for 3D printing is called Fused Deposition Modeling, using molten plastics as a material for the printing.

The aim of this research was to evaluate 3 thermoplastic materials - ABS, ASA, and Z-Ultrat and to measure their dimensional stability while being exposed to the conditions of vacuuming during the production of the thermoplastic plates. It was important to determine which of them would retain its dimensional stability under given conditions in the best way.

Methods: To obtain the necessary data, we first made intraoral scans of the upper dental arch of two patients using an iTero intraoral scanner. With the use of Zortrax M200 3D printer, these scans were then used to produce physical 3D models. The following parameters were set for the 3D printing: layer thickness - 0.09 mm, density of the infill - 70%, and orientation of the model in the Z axis - 45°. The physical 3D models were then digitized again with GOM ATOS TripleScan extraoral 3D scanner, placed in a vacuum machine, and then scanned again. GOM Inspect software was used to evaluate the dimensional accuracy of manufactured parts. The maximum clinically acceptable deviation between the first 3D scan and the scan of the physical model after vacuuming was determined by the authors to be +/- 0.50 mm.

Results: Dental models from all 3 examined thermoplastic materials have shown a statistically significant change in their dimensions. However, the magnitude of these deviations is acceptable for clinical practice. All models printed from ABS and Z-Ultrat met the maximum clinically permissible deviation of +/- 0.50 mm.

Conclusions: Certified material Z-Ultrat, having a chemical composition of PC-ABS, showed the best dimensional stability. Based on the obtained data, it can be concluded that the models of dental arches printed by the FDM method can be used in practice as working models for the production of thermoplastic retention plates.

Key words: orthodontics, 3D digitalization, digital dental models, retention, thermoplastic foils, vacuuming, Fused Deposition Modeling, acrylonitrile butadiene styrene, acrylonitrile styrene acrylate, Z-Ultrat

Hlavenková Z, Milde J, Thurzo A, Dianišková S.
Meranie rozmerovej stability modelov zubných oblúkov z termoplastických materiálov vytlačených metódou Fused Deposition Modeling počas procesu vákuovania.
Čes stomatol Prakt zubní lék. 2022; 122(3): 67–78. doi 10.51479/cspzl.2022.008

ÚVOD

Každá čeľustnoortopedická liečba pozostáva z dvoch častí: aktívnej a retenčnej fázy. Počas aktívnej fázy čeľustno-ortopedické aparáty generujú silu, ktorá priamo pôsobí na zuby a následkom tohto dlhotrvajúceho pôsobenia sa kosť v okolí zubného koreňa pomaly remodeluje a zuby sa dostávajú do novej želanej polohy. Túto novonadobudnutú polohu je však potrebné považovať za potenciálne nestabilnú. Na dosiahnutie excelentných dlhodobých výsledkov a zabezpečenie stability dosiahnutého stavu je kľúčové od ortodontickej kontroly postavenia zubov upúšťať postupne – je potrebné zuby v novonadobudnutej polohe udržiavať retenčnými aparátmi. Existujú dve hlavné skupiny retenčných aparátov: fixné retainery a snímateľné retainery.

Často indikovaným a obľúbeným typom snímateľných retainerov sú termoplastické retenčné dlahy. Vyrábajú sa z rovných transparentných fólií na báze polypropylénu. Tie sa počas procesu vákuového tvarovania vo vákuovacom prístroji najprv zohrejú do viskóznoelastickej oblasti a následne pevne pritlačia na zubný model a vďaka podtlaku presne skopírujú jeho tvar. Termoplastické dlahy si v posledných desaťročiach získali veľkú popularitu a momentálne sú v hornom zubnom oblúku najpoužívanejším retenčným aparátom [1]. Pri konvenčnom spôsobe výroby termoplastickej dlahy je potrebné pacientovi zhotoviť alginátový odtlačok vyrovnaného zubného oblúka, ktorý sa potom vylieva zo sadry, čím sa vytvorí tvrdý sadrový pracovný model. V súčasnosti však môžeme byť svedkami trendu digitalizácie a ten je stále viac citeľný aj v zubných ambulanciách. Popri fotografiách, RTG záznamoch či 3D vizualizáciách výsledku ortognátnej operácie sú dentálne modely posledným

proLékaře.cz | 21.11.2020

diagnostickým údajom zatiaľ využívaným prevažne vo fyzickej forme. No postupne sú nahradzované ich digitálnou verziou a stále viac čeľustných ortopédov, oceňujúc ich výhody, si zvyká na prácu s nimi. Pri tomto novom postupe sa vyrovnaný zubný oblúk nasníma s použitím intraorálneho skenera, a tým obdržíme digitálny model zubného oblúka. Ten je potom možné v krátkom čase previesť do fyzickej formy vďaka jednej z metód Rapid Prototyping (RP).

Metódy RP môžu byť definované ako „proces rýchleho zhotovenia fyzického modelu s použitím dát 3D väčšinou vo forme STL; 3D skenovanie je väčšinou na jednom konci a 3D tlačiareň na druhom konci tohto reťazca" [2]. Technológie RP sa dajú rozdeliť na dve základné kategórie: technológie odoberania materiálu a technológie pridávania materiálu – nazývané aj aditívne technológie (Additive Manufacturing, AM) [3].

Metóda AM použitá v tomto experimente sa nazýva Fused Deposition Modeling (FDM). Zo všetkých aditívnych technológii je FDM vo všeobecnosti používaná najviac a pozostáva z nanášania vrstiev natavených polotekutých plastov [4].

Pod vplyvom digitalizácie sa v čeľustnoortopedických ambulanciách čoraz častejšie získava model zubného oblúka digitálnou formou. Vzniká potom potreba pretransformovania digitálneho modelu do fyzickej formy za účelom vytvorenia pracovného modelu na výrobu retenčnej termoplastickej dlahy.

Tento modernejší spôsob získavania čeľustno-ortopedických dát a vytvárania pracovného modelu (za použitia intraorálneho skenera a výrobnej technológie FDM) je spojený s mnohými výhodami. V prvom rade je uľahčená archivácia údajov o pacientoch, pretože dentálne modely vytlačené na 3D tlačiarni metódou FDM vážia oveľa menej ako sadrové dentálne modely. A vďaka možnosti uchovávania dát v elektronickej forme častokrát potreba fyzického priestoru na ich skladovanie odpadá úplne. Ďalšími výhodami je rýchosť obdržania diagnostických dát, možnosť transferu informácií digitálnou formou, praktická hlavne pri interdisciplinárnej spolupráci, alebo možnosť tvorby virtuálneho set-upu. Pri výrobe termoplastickej dlahy na sadrovom modeli taktiež dochádza pri jej snímaní z modela veľmi často k odlomeniu zubov, hlavne vo frontálnej oblasti. Modely vyrobené z termopolyméru sú pružnejšie ako sadra, a teda pri snímaní termoplastickej dlahy zostávajú nepoškodené. Pre mnohých čeľustných ortopédov je príjemné, že pri tomto procese výroby odpadá potreba miešania alginátu a potom sadry, čo robí celý proces čistejším. V neposlednom rade je tento proces pre pacientov pohodlnejší, lebo sa vyhnú nie práve príjemnému zážitku z alginátového odtlačku [5–7].

Z dôvodu narastajúceho záujmu o tento modernejší proces – získanie zubného modela v digitálnej forme intraorálnym skenerom a následné pretransformovanie do fyzickej formy metódou FDM – je dôležité zistiť, ktoré materiály využívané pri metóde FDM sú pre daný účel najvhodnejšie. V tomto experimente boli porovnávané tri termoplastické materiály – ABS, ASA a Z-Ultrat. Hlavným cieľom experimentu bolo vyhodnotiť, ktorý z troch skúmaných materiálov si zachová najlepšiu rozmerovú stabilitu pri vystavení podmienkam vo vákuovacom prístroji pri výrobe retenčnej essix dlahy.

3D MODELY HORNÝCH ZUBNÝCH OBLÚKOV POUŽITÉ NA EXPERIMENT

Digitálne informácie, ktoré sú priamo poskytnuté intraorálnym skenerom, však samé o sebe automaticky nepostačujú na výrobu fyzických modelov, pred tlačou je potrebné isté spracovanie. Obdržaný 3D sken zuboradí zobrazuje len vonkajší povrch zubného oblúka – je zospodu otvorený, dutý, nemá rovnú základňu a obsahuje obrysy aj okolitých tkanív. Ako prvé musia byť odstránené nepotrebné dáta a artefakty, všetko, čo nie je súčasťou zubného oblúka. Potom je vytvorený súradnicový systém a digitálne modely sú doň vložené tak, aby ich základne sedeli na ploche vytvorenej osou X a Y. Duté modely sú úplne vyplnené a povrch podstavcov modelov je zarovnaný a zrezaný. Pre účely tohto experimentu a zabezpečenie správneho umiestnenia vytlačených modelov do 3D skenera GOM ATOS TripleScan bol v oblasti medzi centrálnymi rezákmi vytvorený tzv. element na ustavenie v tvare kocky. Všetky tieto úpravy boli vykonané v softvérovom programe s názvom MeshMixer [8].

Takto upravené 3D digitálne modely sú pripravené na tlač, a tak boli vo formáte STL vložené do „slicing programu" Z-Suite kompatibilného s 3D tlačiarňou Zortrax M200, ktorá bola využitá na ich tlač. V ňom boli definované presné parametre tlače. Experimentálne bolo dokázané, že si digitálne 3D modely pri ich pretransformovaní na fyzické modely 3D tlačou najlepšie zachovávajú svoje mechanické vlastnosti, keď je hustota ich vnútornej výplne nastavená na 70 %, hrúbka vonkajšej vrstvy je 0,09 mm a uhly, pod ktorými sa vertikálne vrstvy infillu dotýkajú vonkajšej steny modela, sú nastavené na 45°, takže parametre pri tomto experimente boli nastavené presne na tieto hodnoty [9].

prolékaře.cz | 21.11.2026

TRI MATERIÁLY – TERMOPLASTICKÉ POLYMÉRY

Fused Deposition Modeling je, pokiaľ sa berú do úvahy všetky odbory vrátane technických, najčastejšie používanou aditívnou technológiou. Na tlač týmto spôsobom výroby sa používajú roztavené termoplastické polyméry. Polyméry sú dlhoreťazové molekuly, ktoré vznikajú počas procesu polymerizácie spájaním veľkého množstva opakujúcich sa jednotiek – monomérov. Ak sa v polymérnom reťazci nachádza iba jeden druh monomérov, nazýva sa homopolymér. Ak sú v reťazci prítomné dva alebo tri druhy monoméru, označuje sa za kopolymér resp. terpolymér [10]. Termoplastické polyméry sú amorfné látky, nachádzajú sa v nich heterogenity rôzneho druhu, preto sa u nich nedá určiť špecifická teplota tavenia. Pri nízkych teplotách sú tvrdé a krehké, označuje sa to ako ich sklovitý stav. Zahrievaním prechádzajú do kaučukovitého stavu, v ktorom je ich deformačná schopnosť o niekoľko rádov vyššia, no táto deformácia je ešte úplne vratná, nazýva sa preto vysokoelastická deformácia. Teplotné rozmedzie medzi sklovitým a vysokoelastickým stavom sa nazýva teplota sklovitého prechodu Tg. Je to jedna zo základných vlastností, ktorá každý termopolymér charakterizuje. Ďalším zvyšovaním teploty sa polymér dostáva do plastického stavu, táto deformácia je už nevratná. Prechod medzi vysokoelastickým a plastickým stavom určuje teplotný interval označený ako teplota tečenia Tf. Po vychladnutí termopolyméry opäť stuhnú [11].

Fyzikálno-chemické vlastnosti termopolymérov sú určené typom použitých monomérov a ich distribúciou v reťazci. Na modifikáciu ich vlastností sa do nich môžu následne pridávať rôzne aditíva, ovplyvňuje sa tým napr. ich tuhosť, húževnatosť, odolnosť voči poveternostným vplyvom, rozmerová stabilita atď. [10].

Termoplasty používané na tlač procesom FDM sú na trhu k dispozícii od rôznych predajcov v rôznych cenových kategóriách. Výrobcovia ich skladujú navinuté na cievke vo forme dlhých a tenkých vlákien, preto sa pre ne používa názov filamenty [8].

Akrylonitrilbutadiénstyrén

Akrylonitrilbutadiénstyrén (ABS) je terpolymér vyrobený polymerizáciou monomérov akrylonitrilu, butadiénu a styrénu. Vyznačuje sa výbornou húževnatosťou, dobrou rozmerovou a geometrickou stálosťou, ľahkou spracovateľnosťou, chemickou odolnosťou a nízkou cenou. Jeho kľúčové vlastnosti sú nasledovné: hustota 0,9 g/cm^3 – 1,53 g/cm^3, teplota sklovitého prechodu ~105 °C. Štandardná teplota pre tlač je 230 °C [12].

Akrylonitrilstyrénakrylát

Akrylonitrilstyrénakrylát (ASA) je terpolymér, v ktorom sa spájajú monoméry akrylonitrilu, styrénu a akrylátu. Bol vyvinutý ako alternatíva k ABS s cieľom vytvoriť materiál s oveľa vyššou odolnosťou voči poveternostným vplyvom. ASA sa vyznačuje veľkou húževnatosťou a tuhosťou, dobrou chemickou odolnosťou a tepelnou stabilitou, má veľkú odolnosť proti starnutiu a žltnutiu a materiál je charakteristický vysokým leskom [13].

Z-Ultrat

Ide o pomerne nový a ešte nie príliš preskúmaný termoplastický materiál. Z chemického hľadiska ide o zmes polymérov, v ktorej je vo vhodnom pomere zmiešaný ABS s polykarbonátom (PC). PC sa pridáva do zmesi za účelom dosiahnutia ešte vyššej tvrdosti a odolnosti v porovnaní s bežným ABS. Výrobca sľubuje, že Z-Ultrat dokáže spoľahlivo dosiahnuť vlastnosti predmetov vyrábaných technológiou vstrekovania plastov. K vlastnostiam tohto materiálu patrí mimoriadna tvrdosť, odolnosť voči vysokým teplotám, výborná kvalita povrchu a jednoduchý postprocessing. Jeho hustota je 1,18 g/cm^3 a teplota sklovitého prechodu je 106,4 °C [14].

Cieľom tohto výskumu bolo zhodnotiť tieto tri termoplastické materiály a zistiť ich reakciu na podmienky, ktorým budú vystavené vo vákuovacom prístroji. Dôležité bolo určiť, ktorý z nich si pri daných podmienkach zachová najlepšiu rozmerovú stabilitu.

MATERIÁL A METODIKA

Prvým krokom experimentu bolo za použitia intraorálneho skenera značky iTero (Align Technology, Spojené štáty americké) získanie intraorálnych skenov horného zubného oblúka dvoch pacientov. Tieto dva digitálne modely sa označujú ako CAD modely a v práci boli nazývané aj ako nominálne modely. Na oboch nominálnych modeloch boli v programe GOM ATOS Professional v7.5 SR2 vytvorené tri rôzne rezy: Rez 1 označujúci vzdialenosť medzi dvomi konkrétnymi bodmi na vestibulárnom povrchu druhých molárov, Rez 2 medzi dvomi špecifickými bodmi na vestibulárnom povrchu druhých premolárov a Rez 3 medzi dvomi špecifickými bodmi na vestibulárnom povrchu očných zubov. Následne boli tieto modely vo formáte STL vyexportované do programu

proLékaře.cz | 21.11.2020

Z-SUITE, CAM softvéru, určeného pre 3D tlačiareň Zortrax M200 (Zortrax, Poľsko).

Na 3D tlač CAD modelov boli vybrané tri termoplastické materiály – ABS, ASA (oba od výrobcu Gembird, Holandsko) a Z-Ultrat s chemickým zložením PC-ABS (Zortrax, Poľsko). Pred samotnou tlačou boli nastavené parametre pre tlač fyzických 3D modelov. Použité parametre boli nasledovné: hrúbka vrstvy 0,09 mm, hustota vnútornej výplne 70 % a orientácia modelu v osi Z 45°. Nominálne modely oboch pacientov boli vytlačené z každého termoplastického materiálu päťkrát, čím sa vytvorilo celkovo 30 fyzických 3D modelov, označovaných aj master modely. Následne bolo vykonané vyhodnotenie tvaru a rozmeru skúmaných vzoriek na optickom 3D skeneri GOM ATOS II Triple Scan (GOM, Nemecko) s meracím objemom MV 170 (170 × 130 × 130 mm). Tieto novonadobudnuté digitálne STL modely boli v práci označované aj ako aktuál č. 1. Na tieto STL modely boli aplikované rovnaké body ako na nominálny model, tým boli vygenerované nové hodnoty pre Rez 1, Rez 2 a Rez 3. Tieto nové hodnoty boli vlastne odchýlky dĺžky rezov medzi nominálnym modelom a každým aktuálom č. 1 a udávajú nám, nakoľko presne vytlačené fyzické modely odpovedajú situácii v ústnej dutine. Oba nominálne modely boli vytlačené z každého z troch materiálov päťkrát práve preto, aby mohla byť vypočítaná priemerná hodnota týchto troch vzdialeností a aby výsledky mali väčšiu výpovednú hodnotu **(obr. 1)**.



Obr. 1
Vytlačené FDM modely

Fig. 1
Printed FDM models



Obr. 2
Výroba termoplastických dláh

Fig. 2
Manufacturing of essix plates

Všetkých 30 master modelov bolo následne vložených do vákuovacieho prístroja Erkoform3d+(Erkodent,Nemecko),abynanich boli vyrobené termoplastické dlahy **(obr. 2)**. Fólie zvolené na experiment boli značky Ercodur (Erkodent, Nemecko) a mali hrúbku 1 mm. Skúmané master modely boli potom opakovane skenované pomocou optického 3D skenera GOM ATOS II Triple Scan. Novozískané STL modely boli v práci označované ako aktuál č. 2 a znova na ne boli aplikované body na identické miesta ako na nominálnom modeli. Opätovne tak boli získané nové hodnoty pre Rez 1, Rez 2 a Rez 3. Znova bol vypočítaný aritmetický priemer medzi hodnotami na všetkých piatich modeloch. Tieto nové hodnoty udávajú informáciu, do akej miery vákuovanie zmenilo tvar vytlačených fyzických modelov s porovnaním stavu v ústnej dutine.

Všetky hodnoty získané počas výskumu boli zobrazené v dvoch sadách tabuliek. Prvá sada obsahuje všetky hodnoty rezov pred vákuovaním, konkrétne vzdialenosť bodov na nominálnom modeli a odchýlku od nej na každom z 30 aktuálov č. 1.

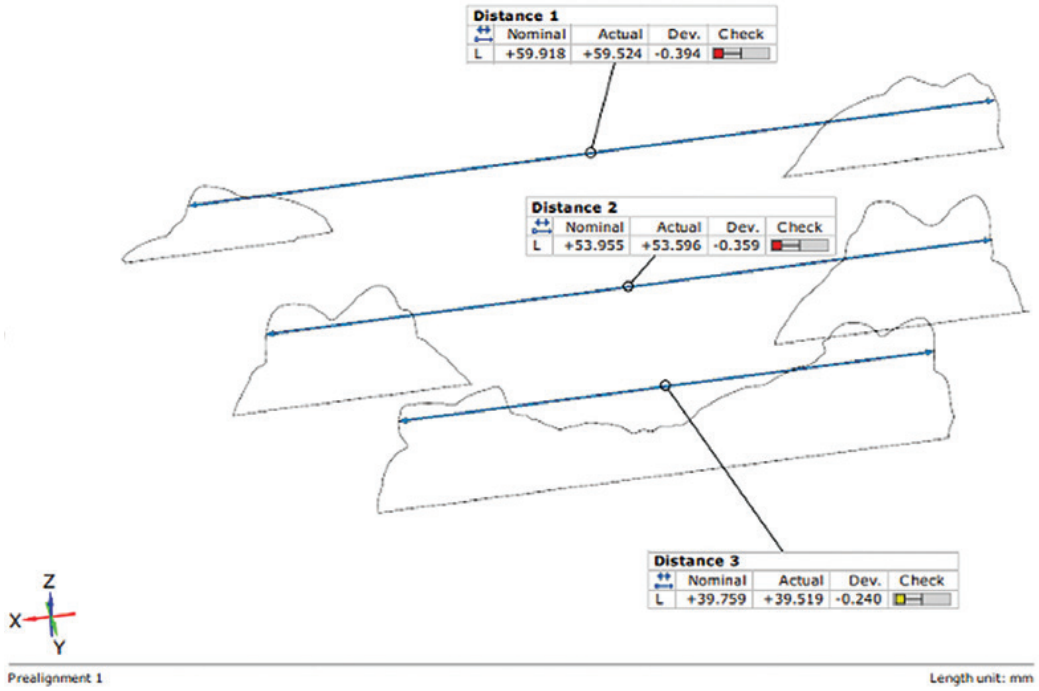
Druhá sada obsahuje všetky hodnoty vzdialeností bodov na nominálnom modeli a odchýlku od nej na každom z 30 aktuálov č. 2. Udáva nám teda zmenu rozmerov master modelu po vákuovaní.

Aritmetický priemer odchýlok vzdialeností medzi bodmi bol zaznamenaný do grafov.

Väčšia pozornosť bola venovaná porovnávaniu hodnôt Rezov medzi nominálnym modelom a aktuálom č. 2 **(obr. 3)**.

Štatistické spracovanie nadobudnutých dát bolo vykonané v štatistickom softvéri IBM SPSS 19. Na porovnanie hodnôt spojitých náhodných premenných (v našom prípade odchýlky dĺžky rezov od nominálu) pred zásahom (vákuovaním) a po ňom bol použitý párový t-test, keďže pre rozdiely hodnôt pred zásahom a po zásahu nebolo zamietnuté normálne rozdelenie. Porovnania boli urobené zvlášť pre každého pacienta a pre každý materiál. Pracovali sme na hladine významnosti $\alpha = 0,05$. Na sledovanie zmien odchýlok rezov

prolékaře.cz | 21.11.2026



Obr. 3
Porovnanie nominálneho a aktuálneho modelu, vzdialenosti bodov vo všetkých troch rezoch

Fig. 3
Comparision between Nominal and Actual, the difference of the values of all three cuts

od nominálu po vákuovaní bol použitý všeobecný lineárny model pre opakované merania. Bol pritom braný do úvahy vplyv pacienta aj materiálu.

VÝSLEDKY

Obe sady tabuliek (pred vákuovaním aj po vákuovaní), do ktorých boli zapísané výsledky meraní, boli zostavené podľa rovnakého vzoru. V prvom riadku bolo zaznačené, či sa jedná o výtlačok zubného oblúka pacienta 1 alebo pacienta 2, materiál, z ktorého bola súčiastka vytlačená a či meraná skúmaná súčiastka ešte neprešla alebo už prešla procesom vákuovania. V riadkoch boli zaznačené jednotlivé rezy v osi Y; Rez 7–7 (zjednodušene v práci označený aj ako Rez 1), Rez 5–5 (Rez 2) a Rez 3–3 (Rez 3). Prvý stĺpec obsahuje hodnoty vzdialeností medzi bodmi na nominálom modeli (intraorálnom skene v dutine ústnej), je teda vo všetkých tabuľkách rovnaký. V nasledujúcich piatich stĺpcoch sú hodnoty rozmerovej zmeny rezov jednotlivých výtlačkov voči nominálnemu modelu a v poslednom stĺpci bol zapísaný aritmetický priemer hodnôt odchýlok všetkých piatich vytlačených modelov. Maximálna klinicky prípustná odchýlka rozmerového rozdielu medzi skenom a modelom po vákuovaní bola autormi určená na ± 0,50 mm.

Namerané hodnoty boli následne vynesené do grafov, pričom na lepšie znázornenie zmeny boli pre každý materiál zaznačené hodnoty do jedného grafu tak pred vákuovaním (modrá krivka), ako aj po vákuovaní súčiastky (červená krivka). Farebný bod je hodnota aritmetického priemeru hodnôt a čierna čiarka znázorňuje rozptyl hodnôt všetkých piatich výtlačkov so zakomponovaním štandardnej chyby odchýlok.

V tabuľkách 1, 3, 5, 7, 9 a 11 bol nominál porovnaný s aktuálom č. 1 – tieto čísla ukazujú, nakoľko presne vytlačené fyzické modely zodpovedajú situácii v ústnej dutine, intraorálnemu skenu. V tabuľkách 2, 4, 6, 8, 10 a 12 bol nominál porovnaný s aktuálom č. 2 – tieto čísla udávajú, do akej miery proces vákuovania zmenil tvar vytlačených fyzických modelov, čiže nakoľko po vákuovaní zodpovedajú fyzické modely situácií v ústnej dutine, intraorálnemu skenu **(tab. 1–12, grafy 1–6)**.

Pre lepší prehľad reakcie jednotlivých termoplastických materiálov na identické podmienky vákuovania, ktorým boli vystavené, boli hodnoty rozmerových odchýlok všetkých troch materiálov zaznačené spolu do jedného grafu. Vznikli tak štyri grafy – graf 7 pre model pacienta 1 pred vákuovaním, graf 8 pre model pacienta 1 po vákuovaní, graf 9 pre model pacienta 2 pred vákuovaním a graf 10 pre model pacienta 2 po vákuovaní. Modrá farba znázorňuje hodnoty pre materiál ABS, červená farba hodnoty pre ASA a zelená farba hodnoty pre Z-Ultrat **(graf 7–10)**.

Tabuľka 13 sumarizuje porovnanie odchýlok dĺžek rezov od nominálu pred vákuovaním a po ňom.

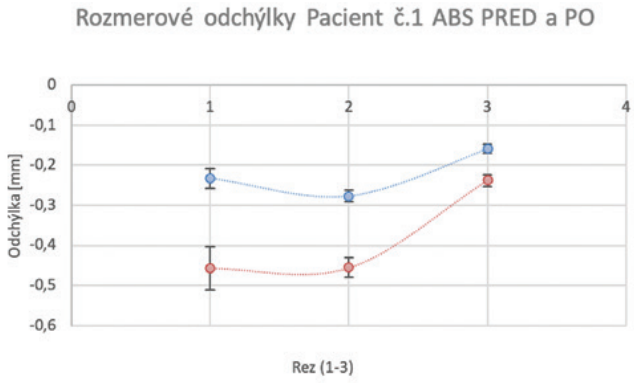
proLékaře.cz | 21.11.2020

Tab. 1 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 1 vytlačeného z materiálu ABS pred vákuovaním
Tab. 1 *Dimensional deviations of the ABS master model before vacuuming (patient 1)*

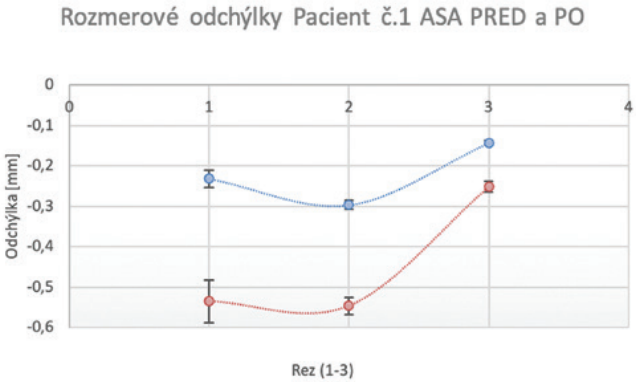
Pacient 1 ABS_PRED							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,624	-0,275	-0,236	-0,215	-0,22	-0,218	**-0,2328**
Rez 5-5	50,522	-0,259	-0,266	-0,279	-0,29	-0,292	**-0,2772**
Rez 3-3	36,624	-0,15	-0,158	-0,153	-0,177	-0,154	**-0,1584**

Tab. 2 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 1 vytlačeného z materiálu ABS po vákuovaní
Tab. 2 *Dimensional deviations of the ABS master model after vacuuming (patient 1)*

Pacient 1 ABS_PO							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,624	-0,395	-0,5	-0,415	-0,518	-0,458	**-0,4572**
Rez 5-5	50,522	-0,422	-0,459	-0,439	-0,481	-0,476	**-0,4554**
Rez 3-3	36,624	-0,219	-0,26	-0,245	-0,234	-0,233	**-0,2382**



Graf 1 *Rozmerové odchýlky, pacient 1 pred a po vákuovaní, materiál ABS*
Graph 1 *Dimensional deviations before and after vacuuming, patient 1 (material ABS)*



Graf 2 *Rozmerové odchýlky, pacient 1 pred a po vákuovaní, materiál ASA*
Graph 2 *Dimensional deviations before and after vacuuming, patient 1 (material ASA)*

Tab. 3 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 1 vytlačeného z materiálu ASA pred vákuovaním
Tab. 3 *Dimensional deviations of the ASA master model before vacuuming (patient 1)*

Pacient 1 ASA_PRED							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,624	0,205	-0,23	-0,224	-0,265	-0,234	**-0,2316**
Rez 5-5	50,522	0,288	-0,297	-0,299	0,285	-0,314	**-0,2966**
Rez 3-3	36,624	-0,139	-0,146	-0,147	-0,148	-0,135	**-0,143**

Tab. 4 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 1 vytlačeného z materiálu ASA po vákuovaní
Tab. 4 *Dimensional deviations of the ASA master model after vacuuming (patient 1)*

Pacient 1 ASA_PO							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,624	-0,476	-0,501	-0,517	-0,598	-0,583	**-0,535**
Rez 5-5	50,522	-0,512	-0,537	-0,556	-0,56	-0,565	**-0,546**
Rez 3-3	36,624	-0,254	-0,249	-0,254	-0,266	-0,229	**-0,2504**

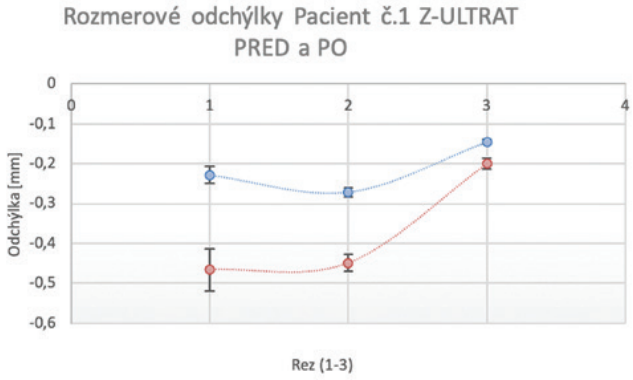
prolékaře.cz | 21.11.2026

Tab. 5 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 1 vytlačeného z materiálu Z-Ultrat pred vákuovaním
Tab. 5 *Dimensional deviations of the Z-Ultrat master model before vacuuming (patient 1)*

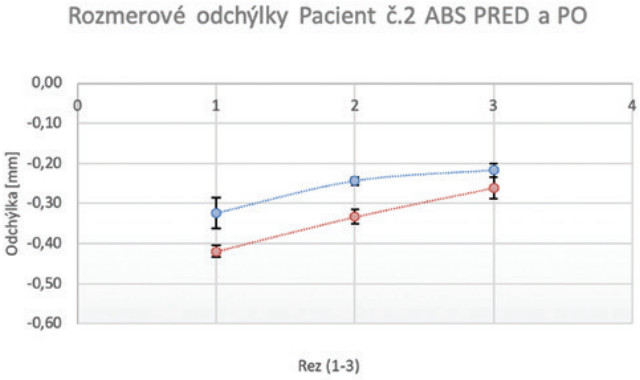
Pacient 1 Z-Ultrat_PRED							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,624	-0,279	-0,3	-0,211	-0,187	-0,166	**-0,2286**
Rez 5-5	50,522	-0,266	-0,3	-0,221	-0,289	-0,28	**-0,2712**
Rez 3-3	36,624	-0,138	-0,15	-0,11	-0,181	-0,147	**-0,1452**

Tab. 6 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 1 vytlačeného z materiálu Z-Ultrat po vákuovaní
Tab. 6 *Dimensional deviations of the Z-Ultrat master model after vacuuming (patient 1)*

Pacient 1 Z-Ultrat_PO							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,624	-0,47	-0,451	-0,479	-0,495	-0,437	**-0,4664**
Rez 5-5	50,522	-0,466	-0,443	-0,437	-0,445	-0,454	**-0,449**
Rez 3-3	36,624	-0,195	-0,174	-0,189	-0,224	-0,22	**-0,2004**



Graf 3 *Rozmerové odchýlky, pacient 1 pred a po vákuovaní, materiál Z-Ultrat*
Graph 3 *Dimensional deviations before and after vacuuming, patient 1 (material Z-Ultrat)*



Graf 4 *Rozmerové odchýlky, pacient 2 pred vákuovaním a po vákuovaní, materiál ABS*
Graph 4 *Dimensional deviations before and after vacuuming, patient 2 (material ABS)*

Tab. 7 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 2 vytlačeného z materiálu ABS pred vákuovaním
Tab. 7 *Dimensional deviations of the ABS master model before vacuuming (patient 2)*

Pacient 2 ABS_PRED							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,918	-0,345	-0,26	-0,261	-0,313	-0,324	**-0,3006**
Rez 5-5	53,955	-0,254	-0,271	-0,259	-0,254	-0,244	**-0,2564**
Rez 3-3	39,759	-0,201	-0,235	-0,212	-0,193	-0,217	**-0,2116**

Tab. 8 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 2 vytlačeného z materiálu ABS po vákuovaní
Tab. 8 *Dimensional deviations of the ABS master model after vacuuming (patient 2)*

Pacient 2 ABS_PO							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,918	-0,405	-0,383	-0,413	-0,406	-0,419	**-0,4052**
Rez 5-5	53,955	-0,37	-0,369	-0,373	-0,342	-0,333	**-0,3574**
Rez 3-3	39,759	-0,313	-0,302	-0,26	-0,257	-0,26	**-0,2784**

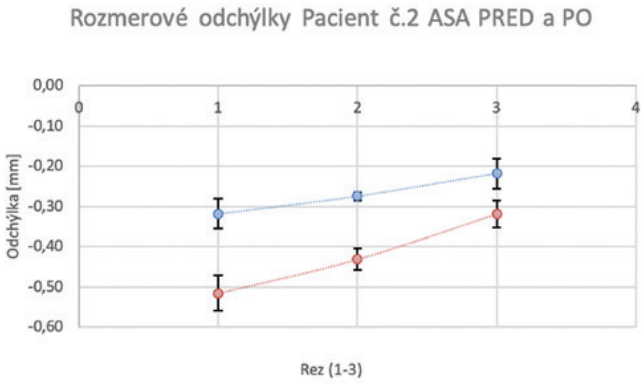
proLékaře.cz | 21.11.2020

Tab. 9 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 2 vytlačeného z materiálu ASA pred vákuovaním
Tab. 9 *Dimensional deviations of the ASA master model before vacuuming (patient 2)*

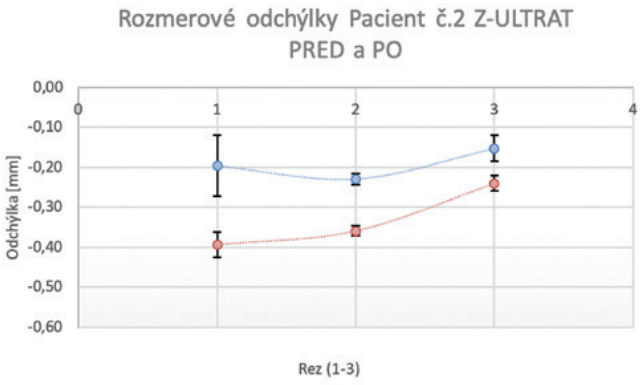
Pacient 2 ASA_PRED							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,918	-0,337	-0,354	-0,259	-0,338	-0,318	**-0,3212**
Rez 5-5	53,955	-0,254	-0,269	0,28	-0,264	-0,274	**-0,2682**
Rez 3-3	39,759	-0,204	-0,168	-0,235	-0,266	-0,218	**-0,2182**

Tab. 10 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 2 vytlačeného z materiálu ASA po vákuovaní
Tab. 10 *Dimensional deviations of the ASA master model after vacuuming (patient 2)*

Pacient 2 ASA_PO							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,918	-0,524	-0,54	-0,432	-0,534	-0,515	**-0,509**
Rez 5-5	53,955	-0,432	-0,452	-0,397	-0,469	-0,431	**-0,4362**
Rez 3-3	39,759	-0,308	-0,283	-0,317	-0,374	-0,319	**-0,3202**



Graf 5 *Rozmerové odchýlky, pacient 2 před vákuovaním a po vákuovaní, materiál ASA*
Graph 5 *Dimensional deviations before and after vacuuming, patient 2 (material ASA)*



Graf 6 *Rozmerové odchýlky, pacient 2 pred vákuovaním a po vákuovaní, materiál Z-Ultrat*
Graph 6 *Dimensional deviations before and after vacuuming, patient 2 (material Z-Ultrat)*

Tab. 11 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 2 vytlačeného z materiálu Z-Ultrat pred vákuovaním
Tab. 11 *Dimensional deviations of the Z-Ultrat master model before vacuuming (patient 2)*

Pacient 2 Z-Ultrat_PRED							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,918	-0,404	-0,311	-0,278	-0,252	-0,196	**-0,2882**
Rez 5-5	53,955	-0,232	-0,248	-0,222	-0,213	-0,229	**-0,2288**
Rez 3-3	39,759	-0,216	-0,222	-0,202	-0,157	-0,152	**-0,1898**

Tab. 12 Rozmerové odchýlky master modelu pacienta 2 vytlačeného z materiálu Z-Ultrat po vákuovaní
Tab. 12 *Dimensional deviations of the Z-Ultrat master model after vacuuming (patient 2)*

Pacient 2 Z-Ultrat_PO							
	Nominálny rozmer [mm]	Výtlačok 1 [mm]	Výtlačok 2 [mm]	Výtlačok 3 [mm]	Výtlačok 4 [mm]	Výtlačok 5 [mm]	Priemerná odchýlka [mm]
Rez 7-7	59,918	-0,423	-0,43	-0,359	-0,431	-0,394	**-0,4074**
Rez 5-5	53,955	-0,348	-0,365	-0,334	-0,346	-0,359	**-0,3504**
Rez 3-3	39,759	-0,254	-0,276	-0,281	-0,282	-0,24	**-0,2666**

prolékaře.cz | 21.11.2026

DISKUSIA

Z výsledkov vyplýva, že jednotlivé materiály vykazujú rozličnú rozmerovú stálosť. Zaujímavé bolo sledovanie, že vytlačené fyzické modely vykazovali voči skenu zubného oblúka v ústnej dutine (nominálu) u oboch pacientov v každom z troch rezov zmrštenie. Po vložení do vákuovacieho prístroja vykazovali master modely (aktuál č. 2) približne dvakrát také veľké zmrštenie voči nominálu ako master modely pred vákuovaním (aktuál č. 1). Pred vákuovaním sa zmrštenie pohybovalo od hodnoty -0,143 mm v Reze 3 u pacienta 1 v modeloch vytlačených z termoplastického materiálu ASA po hodnotu -0,3212 mm v Reze 1 u pacienta 2 rovnako v modeloch vytlačených z termoplastického materiálu ASA. Po vákuovaní bola najmenšia miera zmrštenia s hodnotou -0,2004 mm u pacienta 1 v Reze 3 v modeloch vytlačených z termoplastického materiálu Z-Ultrat a najväčšia miera zmrštenia s hodnotou -0,546 mm u pacienta 1 v Reze 2 v modeloch vytlačených z termoplastického materiálu ASA. Je teda zjavné, že frontálnejšie časti dentálnych modelov podliehali pred aj po vákuovaní menšej rozmerovej zmene ako posteriórnejšie časti modelov.

Najväčšie odchýlky boli na modeloch vytlačených z termoplastického materiálu ASA. ABS a Z-Ultrat mali vo všeobecnosti veľmi podobné hodnoty, čo je aj logické, lebo sa v oboch prípadoch jedná o materiál ABS. Z-Ultrat, chemickou štruktúrou PC-ABS, má v porovnaní s ABS vykazovať väčšiu tvrdosť a väčšiu odolnosť voči vysokým teplotám. Dá sa konštatovať, že výsledky experimentu túto hypotézu potvrdili. V každom reze u oboch pacientov pred vákuovaním aj po vákuovaní vykazoval materiál PC-ABS najmenšie hodnoty zmrštenia s tromi výnimkami. Prvou bola hodnota Rezu 3 u pacienta 1 pred vákuovaním, kde mal mierne menšiu odchýlku master model vytlačený z materiálu ASA. Druhou a treťou výnimkou bola hodnota Rezu 1 po vákuovaní, kde mal master model vytlačený z materiálu ABS u oboch pacientov mierne menšie zmrštenie ako master model vytlačený z materiálu Z-Ultrat.

Zaujímavé je tiež, že u dvoch odlišných modelov zubných oblúkov dochádzalo k najväčšiemu zmršteniu v odlišných miestach zubného oblúka. U pacienta 1 bola pred vákuovaním najväčšia kontrakcia v Reze 2, po vákuovaní bola veľmi podobná v Reze 1 a Reze 2. U pacienta 2 bola pred vákuovaním aj po ňom najväčšia kontrakcia v Reze 1. Použitý termoplastický materiál u oboch pacientov na tejto skutočnosti nič nemenil.

Zo štatistického vyhodnotenia vyplýva, že vo všetkých porovnaniach sa ukázal štatisticky významný rozdiel pred vákuovaním aj po vákuovaní. Zo štatistickej analýzy vyšiel najlepšie materiál Z-Ultrat a najhoršie materiál ASA.

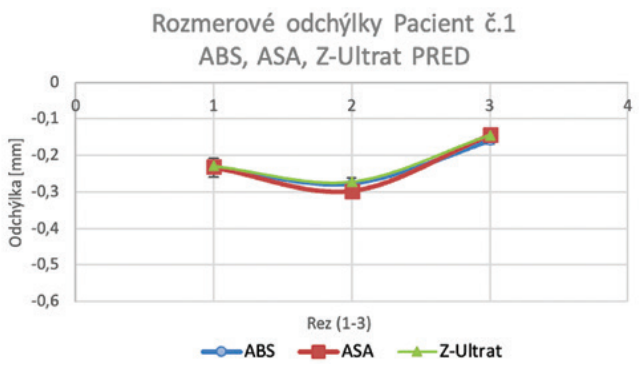
Výsledkom vyhodnotenia dát vo všeobecnom lineárnom modeli pre opakované merania bolo, že hodnoty pre Rez 1 a Rez 2 boli ovplyvňované aj materiálom, aj tým, o ktorého pacienta sa jednalo. Rez 3 bol ovplyvňovaný iba materiálom a na tom, od ktorého pacienta dáta pochádzajú, pri ňom nezáležalo. Nebola spozorovaná interakcia medzi štatistickými hodnotami, ktorá by naznačovala, že pre jedného pacienta je niektorý materiál lepší.

Pri pohľade na výsledky v tabuľkách je zjavné, že priemerné hodnoty odchýlok dĺžok rezov po vákuovaní (aktuál č. 2) od dĺžok rezov na prvotnom skene (nominál) sú menšie ako maximálna klinicky prípustná odchýlka autormi určená na ± 0,50 mm. Väčšie hodnoty vykazovali len tri výnimky, a síce Rez 1 a Rez 2 u pacienta 1 z materiálu ASA a Rez 1 u pacienta 2 tiež z materiálu ASA. Na základe uvedených dát možno konštatovať, že modely vytlačené metódou FDM, pokiaľ je použitý materiál ABS a Z-Ultrat, je možné používať ako pracovné modely na výrobu retenčných essix dláh. Čo sa týka porovnania materiálov Z-Ultrat a ABS, tak rozdiel hodnôt nameraných odchýlok medzi nimi je pre prax zanedbateľný a vzhľadom na výrazne vyššiu cenu termoplastického materiálu Z-Ultrat sa na tlač modelov odporúča bežný ABS. Materiál ASA na tlač dentálnych modelov na tento účel na základe obdržaných výsledkov odporúčaný nie je, a to z nasledovných dôvodov: má vyššiu cenu ako ABS a pri vystavení podmienkam vákuovania vykazuje väčšiu mieru zmrštenia.

V čase písanie atestačnej práce, v zime 2020, neboli v odbornej literatúre publikované žiadne články skúmajúce mieru rozmerovej stálosti modelov vytlačených z termoplastov metódou FDM počas procesu vákuovania. Preto namerané výsledky na týchto 30 vzorkách nie je možné porovnať s výsledkami od iných autorov. Publikované články na tému digitalizácie a 3D tlače v ortodoncii sa zatiaľ vo veľkej miere sústreďujú na porovnanie presnosti medzi stavom v dutine ústnej a intraorálnym skenom alebo medzi skenom a vytlačeným modelom. Nedostatok článkov komplexne spracovávajúcich túto problematiku bol jednou z motivácií tento výskum vykonať.

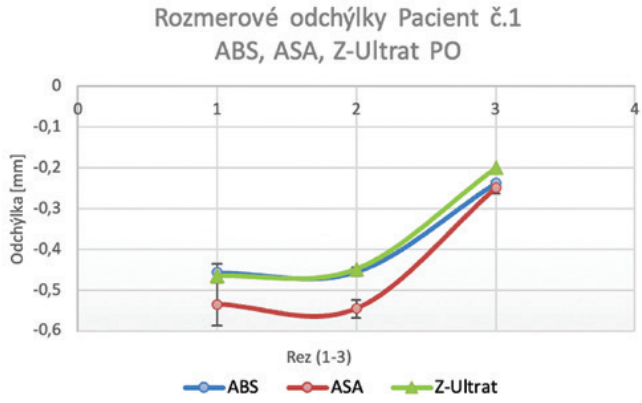
Výlučne v stomatológii sa medzi najviac používané aditívne technológie radia stereolitografia (SLA) a selektívne natavovanie laserom (DMLS) [15]. Aditívna technológia DMLS je

proLékaře.cz | 21.11.2020



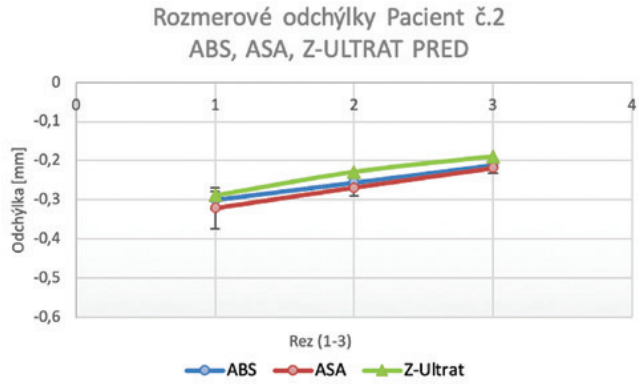
Graf 7 *Porovnanie všetkých troch materiálov, pacient 1, pred vákuovaním*

Graph 7 *Comparison of all materials, patient 1, before vacuuming*



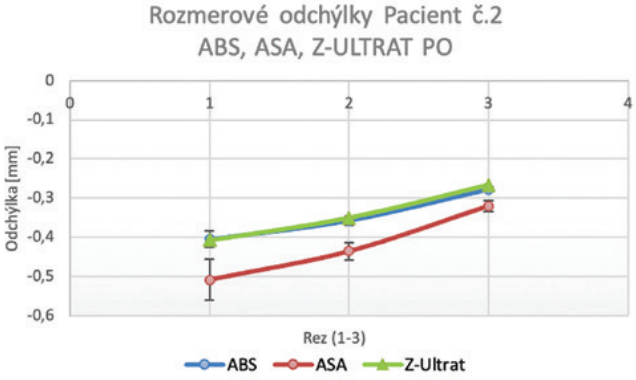
Graf 8 *Porovnanie všetkých troch materiálov, pacient 1, po vákuovaní*

Graph 8 *Comparison of all materials, patient 1, after vacuuming*



Graf 9 *Porovnanie všetkých troch materiálov, pacient 2, pred vákuovaním*

Graph 9 *Comparison of all materials, patient 2, before vacuuming*



Graf 10 *Porovnanie všetkých troch materiálov, pacient 2, po vákuovaní*

Graph 10 *Comparison of all materials, patient 2, after vacuuming*

Tab. 13 P hodnoty zistené štatistickým porovnaním hodnôt dĺžok rezov pred a po vákuovaní pre každého pacienta, materiál a rez

Tab. 13 *P values calculated by statistical analysis of differences of deviations before and after vacuuming for every patient, material and cut*

Pacient	Materiál	Rez	P hodnota (párový t-test)
Pacient 1	Materiál 1	Rez 1	**0,002**
		Rez 2	**0,000**
		Rez 3	**0,001**
	Materiál 2	Rez 1	**0,000**
		Rez 2	**0,000**
		Rez 3	**0,000**
	Materiál 3	Rez 1	**0,001**
		Rez 2	**0,000**
		Rez 3	**0,005**
Pacient 2	Materiál 1	Rez 1	**0,003**
		Rez 2	**0,000**
		Rez 3	**0,005**
	Materiál 2	Rez 1	**0,000**
		Rez 2	**0,000**
		Rez 3	**0,000**
	Materiál 3	Rez 1	**0,022**
		Rez 2	**0,000**
		Rez 3	**0,007**

prolékaře.cz | 21.11.2026

v stomatológii využívaná na tvorbu kovových konštrukcií. Stereolitografia je, rovnako ako FDM, používaná na pretransformovávanie digitálnych modelov do fyzickej formy, často využitých práve na výrobu v tomto experimente spomínaných retenčných dláh. Pri tejto aditívnej technológii je ako materiál využívaná tekutá živica, ktorá je po vrstvách vytvrdzovaná ultrafialovým laserovým lúčom [16]. Modely vytlačené touto technológiou sú pevnejšie a odolnejšie ako modely vytlačené metódou FDM, často je teda v čeľustnoortopedických ambulanciách na výrobu pracovných modelov využívaná práve táto aditívna technológia. SLA je však oproti metóde FDM výrazne finančne náročnejšia [17]. Je teda veľmi dobrou správou, že môže byť na tento účel spoľahlivo nahradená metódou FDM.

Odporúčame však vykonávať ďalšie výskumy na danú tému. V renomovaných odborných časopisoch nie sú prakticky žiadne dáta skúmajúce vplyv vákuovania na rozmerovú stabilitu modelov z termoplastov. Je preto žiaduce, aby výsledky pochádzajúce z tohto experimentu zozbierané len na základe 30 vzoriek boli doplnené.

ZÁVER

Z meraní v tomto experimente vyplýva, že počas vákuovania došlo u všetkých troch skúmaných termoplastických materiálov vo všetkých troch rezoch k štatisticky významnej zmene rozmerov zubných modelov vytlačených metódou FDM. Veľkosť týchto odchýlok je však malá a v praxi akceptovateľná. Maximálnu klinicky prípustnú odchýlku rozmerového rozdielu medzi skenom a modelom po vákuovaní autormi určenú na ± 0,50 mm splnili všetky modely vytlačené z materiálu ABS a Z-Ultrat. Vyššie hodnoty vykazovali len modely z materiálu ASA, a to u pacienta 1 v Reze 1 a Reze 2 a u pacienta 2 v Reze 1.

Výsledky meraní nám tiež potvrdili, že modely zubných oblúkov vytlačených metódou FDM môžu byť v praxi používané ako pracovné modely na výrobu termoplastických dláh.

Najlepšiu rozmerovú stálosť vykazoval certifikovaný materiál Z-Ultrat s chemickým zložením PC-ABS.

Prohlášení autorů

Daný výskum je súčasťou atestačnej práce MDDr. Zuzany Hlavenkovej, napísanej počas špecializačného štúdia na Katedre Čeľustnej ortopédie Lekárske fakulty Slovenskej zdravotníckej univerzity v Bratislave.

MDDr. Zuzana Hlavenková
Katedra čeľustnej ortopédie
Lekárska fakulta
Slovenská zdravotnícka univerzita
Limbová 12
833 03 Bratislava
Slovenská republika
e-mail: zuz.hlavenkova@gmail.com

LITERATURA

1. Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. Contemporary orthodontics. 4. vyd. St. Louis: Mosby Elsevier; 2013, 725.
2. Junek I. 3D technológie. Prešov: Centrum celoživotného a kompetenčného vzdelávania Prešovskej Univerzity v Prešove; 2019, 119.
3. Slota J, Mantič M, Gajdoš I. Rapid prototyping a reverse engineering v strojárstve. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta; 2010, 207.
4. Hudák R. Aditívne technológie v personalizovanej implantológii a tkanivovývh náhradách. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta; 2019, 64.
5. McGuinness NJ, Stephens CD. Storage of orthodontic study models in hospital units in the UK. Br J Orthod. 1992; 19: 227–232.
6. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. Orthod Craniofac Res. 2011; 14: 1–16.
7. Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007; 132: 346–352.
8. Hlavenková Z. Meranie rozmerovej stability modelov zubných oblúkov z termoplastických materiálov vytlačených metódou FDM počas procesu vákuovania [atestačná práca]. Slovenská zdravotnícka univerzita. Bratislava. 2021.
9. Milde J. Využitie 3D digitalizácie a aditívnych technológií v medicíne [dizertačná práca]. Trnava. Slovenská technická univerzita v Bratislave; Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave; Ústav výrobných technológií. 2018.
10. Hrivňák I. Progresívne materiály a technológie biokompatibilné materiály. Technická univerzita v Košiciach, Hutnícka fakulta: Emilena; 2010.
11. Porubská M. Termoplastické materiály. Nitra: Univerzita Konštantína filozofa; 2008, 88.
12. Milde J, Hrušecký R, Zaujec R, Morovič L, Görög A. Research of ABS and PLA materials in the process of Fused Deposition Modelling method. Ann DAAAM Proceedings. 2017; 28: 812–820.
13. Prospector. Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA) Plastic. [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: https://plastics.ulprospector.com/generics/8/acrylonitrile-styrene-acrylate-asa
14. Zortrax. Z-ULTRAT. [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: https://zortrax.com/filaments/z-ultrat/
15. Mohd Javaid, Abid Haleem. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. J Oral Biol Craniofac Res. 2019; 3: 179–185.
16. Materialise. Stereolitografie. [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/stereolitografie
17. 3D Solved. Resin-vs-Filament-cost-in-3D-printing. [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: https://3dsolved.com/resin-vs-filament-cost-in-3d-printing/