

2/2021

ročník 121

ČESKÁ STOMATOLOGIE

A PRAKTICKÉ ZUBNÍ LÉKAŘSTVÍ

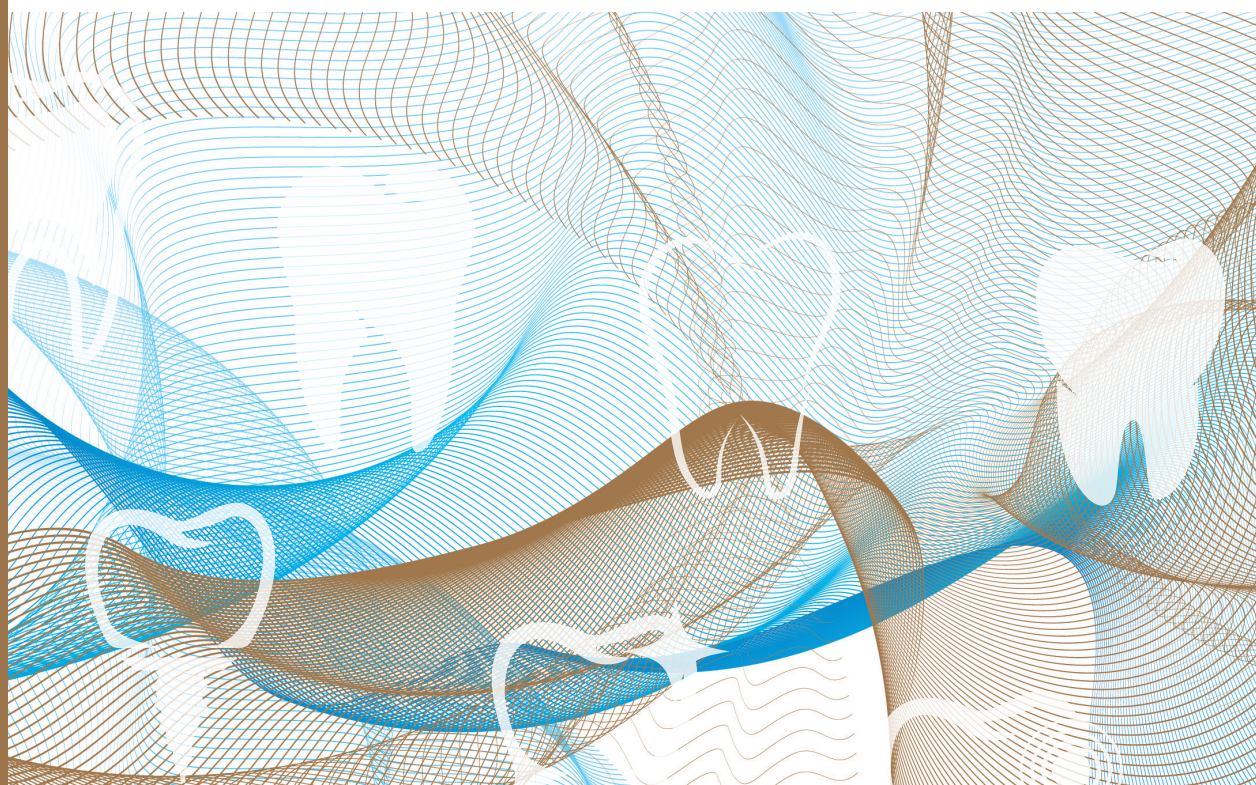
CZECH DENTAL JOURNAL



RECENZOVANÝ ČASOPIS / PEER-REVIEWED JOURNAL

Indexováno: Bibliographia Medica Československa, EBSCO Academic Search Complete,
Seznam recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR

ISSN 1213-0613 (Print), ISSN 1805-4471 (Online)



Zkušenosti s léčbou odontogenních keratocyst
Odontogenic keratocysts treatment – our experience

Praktické využití endodontických sealerů na bázi biokeramiky
Bioceramic-based root canal sealers – use in endodontics

Dentálne kompozitné výplňové materiály ako možný zdroj toxické záťaže
ľudského organizmu
*Dental composite filling materials as a potential risk of toxicity for human
organism*

Souhrn poznatků o 3D tisku a jeho využití v zubním lékařství
Summary of knowledge about 3d printing and its use in dentistry



Česká stomatologická komora Vás srdečně zve na

PRAŽSKÉ DENTÁLNÍ DNY

Kongres PDD 2021 se bude konat společně s veletrhem Pragodent 2021



15. – 16. října 2021 | PVA EXPO PRAHA, Praha-Letňany

24. ROČNÍK MEZINÁRODNÍHO KONGRESU

V odborném programu vystoupí:

- Jan Derks, DDS, PhD
 - Domenico Ricucci, MD, DDS
 - MUDr. Ladislav Gregor
 - MUDr. Martin Tomeček
 - MUDr. Ivo Marek
 - MUDr. Jiří Zvolánek
- a řada dalších odborníků

**Early bird registrace
na PDD do 31. 7. 2021**



Sledujte aktuality na www.dent.cz

ČESKÁ STOMATOLOGIE A PRAKTICKÉ ZUBNÍ LÉKAŘSTVÍ CZECH DENTAL JOURNAL

ročník 121, červen 2021, č. 2

První číslo vyšlo v roce 1900

ŠÉFREDAKTOR

doc. MUDr. Jan Veverka, CSc.

ZÁSTUPKYNĚ ŠÉFREDAKTORA

PhDr. Iva Žáková

ČLENOVÉ REDAKČNÍ RADY

doc. MUDr. Pavlína Černochová, Ph.D.

MUDr. Simona Dianišková, Ph.D., MPH (SR)

prof. MUDr. Tatjana Dostálová, DrSc., MBA

prof. MUDr. Jana Dušková, DrSc., MBA

prof. dr. Steven P. Engebretson (USA)

dr. Hans-Rainer Fischer (SRN)

doc. MUDr. et MUDr. Lukáš Hauer, Ph.D.

MUDr. Robert Houba, Ph.D.

MUDr. Martin Kapitán, Ph.D.

MUDr. Ladislav Korábek, CSc., MBA

RNDr. Petra Bořilová Linhartová, Ph.D.

doc. MUDr. Vlasta Merglová, CSc.

stomatolog Yuliya Morozova, Ph.D.

doc. MUDr. Luděk Peřinka, CSc.

prof. MUDr. Antonín Šimůnek, CSc.

doc. MUDr. Roman Šmucler, CSc.

doc. MUDr. Antonín Zicha, CSc.

OBSAH

Profesor Miroslav Průcha zemřel 34

Zkušenosti s léčbou odontogenních keratocyst 35

Odontogenic keratocysts treatment – our experience

Fabián J., Pazdera J., Kolář Z.

Praktické využití endodontických sealerů na bázi biokeramiky 41

Bioceramic-based root canal sealers

– use in endodontics

Somolová L., Zapletalová Z., Rosa M., Harvan L.,

Voborná I., Morozova Y.

Dentálne kompozitné výplňové materiály ako možný zdroj toxické záťaže ľudského organizmu 48

Dental composite filling materials as a potential risk of toxicity for human organism

Tkáčiková S., Sabo J.

Souhrn poznatků o 3D tisku a jeho využití v zubním lékařství 55

Summary of knowledge about 3D printing and its use in dentistry

Savková N., Harvan L., Jůsků A., Saygili S., Jezdinská K.,

Hulvert J.



Vážené kolegyně,
vážení kolegové,

zdá se, že se začíná
blýskat na lepší časy.
Celá společnost se po-
stupně vrací k normální-
mu životu. My, tedy na-
še profesní komunita,
se těšíme, že nás ještě
do konce roku čeká řada
zajímavých a hlavně „ži-
vých“ odborných i spo-
lečenských událostí.

Česká stomatologická komora letos slaví třicáté výročí svého založení. Byla to to doba intenzivní práce, na které se podíleli schopní funkcionáři na úrovni centrálních orgánů a oblastních komor a tisíce vstřícných kolegů – členů Komory. Je to čas nejenom bilancování, ale také startu do další nové etapy naší profesní organizace.

Přeji vám i vašim pacientům pevné zdraví a krásné letní měsíce!

doc. MUDr. Jan Veverka, CSc.

šéfredaktor

**ČESKÉ
STOMATOLOGICKÉ
KOMORY**

**30
let**

Uzávěrka čísla: 2. 6. 2021. **Datum vydání:** 14. 6. 2021.

Místo vydání: Praha. **Vydavatel:** Česká stomatologická komora, Slavojská 22, Praha 2, PSČ 128 00, IČO: 00224286.

Náklad: 500 výtisků. **Vychází jako recenzovaný**

odborný časopis 4x ročně. ISSN 1213 – 0613 (Print);

ISSN 1805-4471 (Online). Evidenční číslo Ministerstva kultury

ČR: MK ČR E 102. **Indexováno:** Bibliographia medica

Čechoslovaca; EBSCO Academic Search Complete;

Seznam recenzovaných neimpaktovaných periodik Rady pro výzkum, vývoj a inovace Úřadu vlády ČR.

Adresa redakce: ČSK, Slavojská 22, 128 00 Praha 2, +420 234 709 625, csk@dent.cz, www.dent.cz.

Redaktorka: Mgr. Stanislava Beranová.

Sekretariát redakce a předplatné: Ing. Jolana Kunrtová, tel.: +420 234 709 630, kunrtova@dent.cz.

Inzerce: Tereza Soukupová, DiS., tel.: +420 770 134 250, soukupova@dent.cz.

Grafický design a sazba: RoonSwenson, s. r. o.

Výroba: Helma Beta, spol. s r. o. **Distribuce:** Česká pošta, s. p.

Fotografie: Archiv autorů odborných sdělení (s. 35–62);

Ladislav Šolc (s. 34).

Elektronická verze ČSPZL, včetně podmínek pro publikaci: www.prolekare.cz.

PROFESOR MIROSLAV PRŮCHA ZEMŘEL

Dne 14. dubna 2021 zemřel prof. MUDr. Miroslav Průcha, DrSc., ve věku nedožitých 89 let.



V letech 1959–1997 pracoval nepřetržitě na Stomatologické klinice LF UK v Plzni, od roku 1989 jako její přednosta. Středem jeho odborného zájmu byla stomatologická chirurgie s fyziologickým přístupem k operačním výkonům. Měl velkou zásluhu na zavedení kryoterapie k léčbě řady patologických stavů v orofaciální oblasti v tehdejší Západočeském kraji. Publikoval přes šede-

sát odborných vědeckých prací. V letech 2002–2005 byl členem čestné rady České stomatologické komory (ČSK). Byl nositelem čestného titulu **Osobnost české stomatologie**, který mu ČSK udělila v roce 2001.

**S úctou vzpomínají spolupracovníci
plzeňské Stomatologické kliniky
a Česká stomatologická komora**

PŘEDPLATNÉ ČSPZL NA ROK 2021 PRO ČESKO

Formulář pro objednávku předplatného najdete na www.dent.cz (Vzdělávání / Časopisy).

Celoroční předplatné (vychází 4x ročně):

- Pro členy ČSK a studenty zubního lékařství: **300 Kč**
- Pro firmy, instituce, soukromé osoby: **650 Kč**

Objednávku předplatného zašlete na adresu:

ČSK, Slavojova 22, 128 00 Praha 2
Ediční oddělení – Ing. Jolana Kunrtová
e-mail: kunrtova@dent.cz, tel.: +420 234 709 630

PŘEDPLATNÉ ČSPZL NA ROK 2021 PRO SLOVENSKO

Celoroční předplatné: 30 € s DPH (cena 7,5 € / 1 vydání)

Distribuci formou předplatného na Slovensku zajišťuje:

Mediaprint-Kapa Pressegrasso, a. s., oddelenie inej formy predaja
Stará Vajnorská 9, P. O. BOX 183, 830 00 Bratislava 6

Infolinka: +421 800 188 826, e-mail: predplatne@abompkapa.sk, www.ipredplatne.sk

Zirkonzahn®

VYSOKÁ KVALITA OD ZIRKONZAHN

PROTETIKA NESENÁ IMPLANTÁTY
VŠECHNY KOMPONENTY Z JEDNOHO ZDROJE
ZÁRUKA AŽ 30 LET!



***NOVINKA!** TITANIUM BASES K85, TITANIUM BASES K80 ANGLED SCREW CHANNEL (ASC), MULTI UNIT ABUTMENT ANGLED 17°, ZZ LOC-CONNECTOR



Zirkonzahn Worldwide – info@zirkonzahn.com – www.zirkonzahn.com

ZKUŠENOSTI S LÉČBOU ODONTOGENNÍCH KERATOCYST

Původní práce, retrospektivní studie

ODONTOGENIC KERATOCYSTS TREATMENT – OUR EXPERIENCE

Original article, retrospective study

Fabián J.¹, Pazdera J.¹, Kolář Z.²

¹Klinika ústní, čelistní a obličejové chirurgie, Lékařská fakulta Univerzity Palackého a Fakultní nemocnice, Olomouc

²Ústav klinické a molekulární patologie, Lékařská fakulta Univerzity Palackého a Fakultní nemocnice, Olomouc

SOUHRN

Úvod: Odontogenní keratocysty (OKC) jsou stále častou klinicko-patologickou jednotkou, která je specifická pro své lokálně agresivní projevy. Jejich růst je v antero-posteriorním směru, a proto dlouho zůstávaly skryté. V dnešní době zlatého standardu ortopantomogramu již není diagnostika těchto cystických lézí obtížná. Pro jejich časté pooperační recidivy zůstává obtížná volba správné terapie. V této retrospektivní studii autoři porovnávají možnosti operačních modalit a jejich úspěšnost.

Metodika: Do souboru bylo zařazeno celkem 62 pacientů s nově diagnostickými nebo recidivujícími OKC čelistních kostí. Všechny klinické případy byly operovány na Klinice ústní, čelistní a obličejové chirurgie LF a FN Olomouc. V letech 2000–2019 bylo operováno celkem 77 keratocystických lézí, a to v lokální i celkové anestezii. Pacienti byli rozděleni do skupin podle typu OKC, podle solitární a mnohočetné cystické léze. Do studie byli zařazeni pacienti s Gorlinovým-Goltzovým syndromem, kteří měli potvrzenou mutaci genu *PTCH* (*Patched 1* je gen, který kóduje protein).

Výsledky: U 62 pacientů bylo provedeno celkem 98 operací odontogenních keratocyst. Šestnáct případů bylo řešeno v lokální anestezii a 82 bylo operováno v celkové anestezii. Tyto léze byly svým výskytem nepatrně častější u žen. Nejvyšší frekvence výskytu pacientů byla zaznamenána ve druhém a šestém věkovém deceniu. Nejčastější lokalizací výskytu OKC byla v 68 % oblast úhlu a větve mandibuly. Z jedné čtvrtiny byla diagnostika zaměřena do oblasti maxilly a zbývajících šest procent připadalo na frontální oblast mandibuly. Solitární cystické léze se vyskytly u 50 pacientů. U dvanácti zbylých byly léze vícečetné. Provedeným genetickým vyšetřením mutace *PTCH* genu byl potvrzen Gorlinův-Goltzův syndrom u osmi pacientů. Z celkového počtu 98 operací byla u 38 pacientů provedena prostá cystektomie. Jednalo se o primární záchyt OKC s verifikací pooperačně histologickým vyšetřením. Z toho u 18 pacientů (49 %) bylo nutné provedení reoperace pro recidivy. Druhá nejčastější operační modalita je cystektomie s použitím Carnoyova roztoku, která byla vykonána u 51 operací. Pooperační recidivy byly pozorovány v 11 případech (22 %).

U tří pacientů ošetřených fenestrací s odloženou cystektomií došlo v průběhu dalších šesti až devíti měsíců k výrazné redukci objemu cysty. S odstupem 15 až 72 měsíců po odložené cystektomii se recidiva již neobjevila. Cystektomie s aplikací augmentačního materiálu se z celkového počtu pěti operací zkomplikovala jedinou recidivou (20 %). U dvou nemocných bylo nutné vzhledem k opakovaným pooperačním recidivám provést parciální resekci mandibuly s využitím titanové rekonstrukční dlahy, popřípadě kostního štěpu. Oba výkony proběhly bez komplikací.

Závěr: Optimální terapeutický postup není v případě těchto lézí s konečnou platností stanoven. Nutný je individuální přístup; pacient by měl být seznámen s rizikem pooperačních relapsů a dlouhodobě dispenzarizován.

Klíčová slova: odontogenní keratocysty, cystektomie, Carnoyův roztok, marsupializace

SUMMARY

Introduction: Odontogenic keratocystics are benign intraosseous lesions. They are characterised by an local aggressive behaviour. Expansion is in anterior-posterior direction. These lesions were hidden for a long time. Orthopantomogram is gold standard examination, so nowadays diagnostics is not so difficult. But still there is relatively high recurrence rate and the choice of operation method is not definite. In this retrospective study is presented treatment modalities and success rate.

Methods: In this retrospective study 62 patients are presented. These lesions were treated from 2000 to 2019 on Department of Oral and Maxillofacial Surgery in Faculty Hospital Olomouc. In this period 77 new and recurrence lesions of OKC were reported. These lesions were treated in local and general anaesthesia. OKC lesions are divided in several modalities: unilocular and multilocular and syndromic cysts. In this study, eight patients were treated with Gorlin-Goltz's syndrome. Mutation of gen *PTCH* has been confirmed.

Result: Altogether 98 operations were carried out during nine years. Together 62 patients were treated.

In local anaesthesia were treated 16 cases, in general anaesthesia 82 cases. The number of male and female was approximately same. Majority of cystic lesions (57 cases = 74%) occurred in lower jaw. Localization in lower jaw was majority in angle and branch of mandible. (52 cases = 68%). More frequency on the right. five cysts (6%) were occurred in frontal part of lower jaw. In maxilla, there were 20 cases (26%) of odontogenic keratocysts. Most number of OKC were diagnosed in second and sixth aged decade. Solitary OKC occurred in 50 patients; eight patients with multiple OKC were genetic treated with confirmed Gorlin-Goltz syndrome. In one patient, seven years after first operation of OKC was malignancy on odontogenic carcinoma, 22 patients (35.5%) were

reoperated for after surgery relaps. In relation between localization, postoperated relaps, authors compare succes of various operating methods (marsupialization, enucleation, enucleation with Carnoy's solution, enucleation with augmentative methods, resection with and without free flap).

Conclusion: The choice of the treatment has always been difficult. And correct treatment modality is not complete. Patients should know various operation modalities, risk of recurrence and recommendation for long term dispenzarization.

Key words: odontogenic keratocyst, cystectomy, Carnoy's solution, marsupialization

Fabián J, Pazdera J, Kolář Z.

Zkušenosti s léčbou odontogenních keratocyst.

Čes stomatol Prakt zubní lék. 2021; 121(2): 35–40. doi: 10.51479/cspzl.2021.005

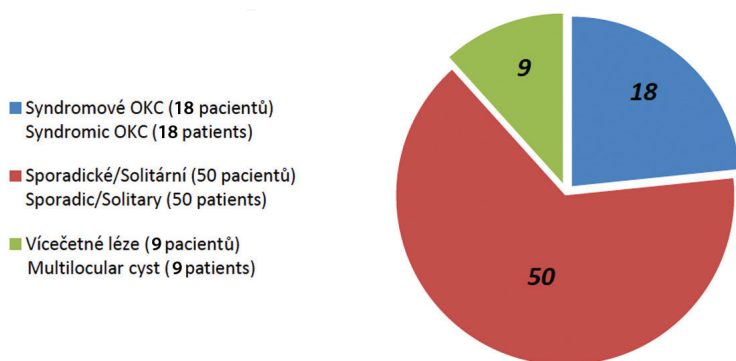
ÚVOD

Odontogenní keratocysty (OKC) jsou samostatnou klinickou jednotkou s charakteristickou mikroskopickou strukturou a klinickým chováním. Vznikají proliferací epitelových zbytků zárodečné dentální lišty. Kritéria histopatologické klasifikace stanovili Pindborg a Hansen v roce 1963 [1]. Od jiných čelistních cyst se OKC liší zejména svým agresivním chováním, podmíněným vysokou mitotickou aktivitou buněk bazální vrstvy tenké vazivové výstelky složené z vrstvy pěti až osmi buněk dlaždicového epitelu. Vysoká tendence k pooperačním recidivám se vysvětluje výskytem dceřiných cyst uložených mimo základní cystickou dutinu. Výsledkem je ne zcela předvídatelné biologické chování a vysoká pravděpodobnost výskytu pooperačních recidiv – podle některých zdrojů až v 60 % [2]. Zmíněné vlastnosti odontogenních keratocyst vedly WHO v letech 2005–2017 k dočasné změně jejich klasifikace a zařazení mezi

benigní odontogenní tumory [3, 4]. V souvislosti s mnohočetným výskytem OKC je nutné uvažovat o manifestaci Gorlinova-Goltzova syndromu (Nevoid basal cell carcinoma syndrom, NBCCS). Jedná se o autosomálně dominantní dědičné onemocnění s vysokou penetrací a variabilní expresivitou. Ve 35–50 % případů jde o nové genové mutace. Mutace genu Gorlinova-Goltzova syndromu je lokalizována na devátém chromozomu a je označována genem *PTCH* (*Patched 1* je gen, který kóduje protein). V předložené práci jsou demonstrovány zkušenosti s léčbou sestavy 62 pacientů léčených pro 77 odontogenních keratocyst (OKC) na Klinice ústní, čelistní a obličejové chirurgie LF a FN Olomouc v letech 2000–2019.

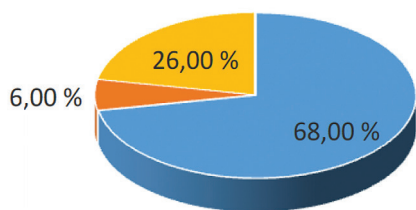
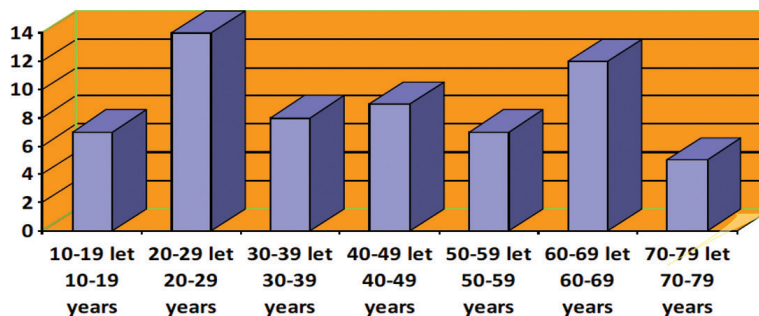
MATERIÁL A METODIKA

Na klinice bylo ošetřeno v letech 2000 až 2019 celkem 62 pacientů s nově diagnostikovanými nebo recidivujícími OKC čelistních kostí. Celkem bylo operováno 77 keratocystických lézí (**graf 1**). U většiny nově diagnostikovaných případů se jednalo o asymptomatické kostní cysty náhodně zjištěné na ortopantomogramu. V sestavě pacientů převládaly ženy, 28 mužů ku 34 ženám. Většina cyst se vyskytovala v oblasti dolní čelisti (57 případů = 74 %). Predilekční lokalizací byly úhel a větev mandibuly (52 případů = 68 %) s vyšším výskytem vpravo. Pět cyst (6 %) se manifestovalo ve frontálních partiích těla mandibuly. V oblasti horní čelisti bylo diagnostikováno 20 keratocyst (26 %) (**graf 2**). **Graf 3** uvádí distribuce pacientů podle věku. Nejvyšší frekvence výskytu byla zaznamenána



Graf 1 Celkový počet cystických lézí

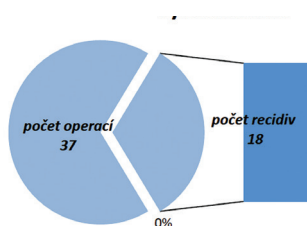
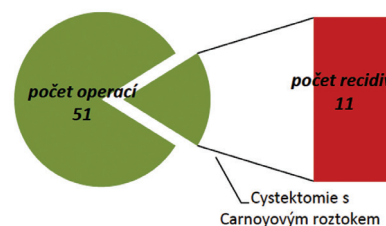
Graph 1 Complete number of OKC

**Graf 2** Lokalizace cystických lézí**Graph 2** Localization of cystic lesions**Graf 3** Věkové rozložení pacientů**Graph 3** Age distribution of patients

u osob ve druhém a šestém věkovém dekadu. Solitární cystické léze se vyskytly u 50 pacientů. U osmnácti z nich došlo k pooperačním recidivám s nutností opětovného operačního řešení. U osmi pacientů byl Gorlinův-Goltzův syndrom potvrzen genetickým vyšetřením. U většiny z nich byly kromě OKC postupně excidovány také mnohočetné kožní bazaliomy v obličeji, vlasaté části hlavy a na krku.

Základním terapeutickým postupem, který byl použit ve většině případů, byla enukleace cystické léze z intraorálního přístupu vykonaná v injekční nebo celkové anestezii s ohledem na objem léze a stáří pacienta. Operační preparáty byly standardním způsobem vyšetřeny Ústavem patologie LF a FN UP. Pokud histopatologické vyšetření potvrdilo diagnózu OKC, byli pacienti informováni o riziku pooperační recidivy onemocnění a zařazeni do dispenzární péče. V rámci dispenzarizace byli nemocní dvakrát ročně ambulantně klinicky vyšetřeni. Na ortopantomogramy čelistních kostí byli pacienti zváni jedenkrát ročně. U 18 nemocných s pooperačními recidivami OKC byl chirurgický přístup modifikován. Po odstranění obsahu cysty a exstirpaci cystické výstelky byl do zbytkové kostní dutiny aplikován po dobu 120 sekund leptavý Carnoyův roztok (směs alkoholu, kyseliny octové a chloroformu) na mulovém tamponu (**graf 4**). Poté byly stěny kostní dutiny znovu vizuálně revidovány a byly odstraněny případné zbytky cystického vaku. Fenestrace cystické dutiny s dlouhodobou drenáží do

úst byla vykonána u tří pacientů. U dvou pacientů s opakovanými pooperačními recidivami bylo nutno provést parciální resekci větve a úhlu mandibuly s náhradou rekonstrukční dlahou, a to u jednoho pacienta bez kostního štěpu (**obr. 1**), u dalšího s náhradou volnou fibulou (**obr. 2**).

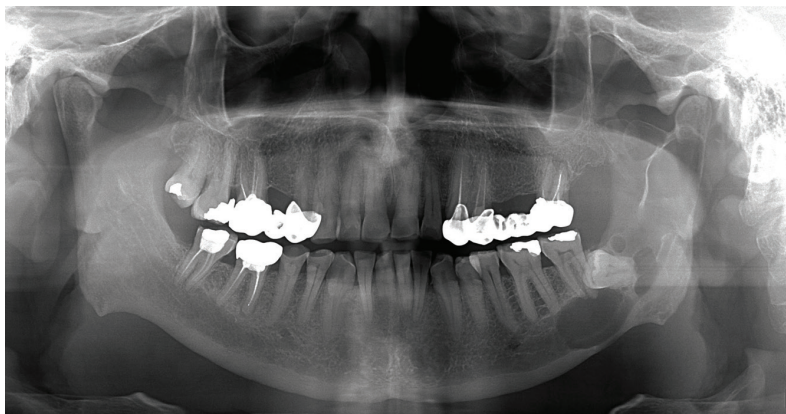
**Graf 4A** Provedené cystektomie**Graph 4A** Cystectomies**Graf 4B** Cystektomie s Carnoyovým roztokem**Graph 4B** Cystectomy with Carnoy's solution

VÝSLEDKY

Na našem pracovišti bylo u 62 pacientů provedeno celkem 98 operací odontogenních keratocyst. V lokální anestezii bylo řešeno 16 případů, 82 bylo operováno v celkové anestezii. Tyto léze byly svým výskytem nepatrně častější u žen. V **tabulce 1** je vyznačen počet operačních metod a výskyt pooperačních recidiv u jednotlivých modalit. Z celkového počtu 98 operací byla provedena prostá cystektomie u 38 pacientů.

Tab. 1 Počet operačních metod a výskyt pooperačních recidiv u jednotlivých modalit**Tab. 1** Number of surgical methods and incidence of postoperative recurrences in individual modalities

Operační metody	Počet operací	Pooperační recidivy
Cystektomie	37	18 (49 %)
Cystektomie s použitím Carnoyova roztoku	51	11 (22 %)
Fenestrace s odloženou cystektomií	3	0
Cystektomie s aplikací augmentačního materiálu	5	1 (20 %)
Resekce čelisti s náhradou	1	0
Resekce čelisti bez náhrady	1	0



Obr. 1A
Multilokunární cystická léze
před primární operací

Fig. 1A
Multilocular cyst before first
operation

Jednalo se o primární záchyt OKC s verifikací pooperačně histologickým vyšetřením. Z toho u 18 pacientů (49 %) bylo nutné provést reoperaci pro recidivu. Druhá nejčastější operační modalita, cystektomie s použitím Carnoyova roztoku, byla užita u 51 operací (**graf 4**). Pooperační recidivy byly pozorovány v 11 případech (22 %). U tří pacientů ošetřených fenestrací s odloženou cystektomií došlo v průběhu šesti až devíti měsíců k výrazné redukci objemu cysty. S odstupem 15–72 měsíců po odložené cystektomii se neobjevila recidiva. Cystektomie s aplikací augmentačního materiálu z celkového počtu pěti operací byla komplikována jedinou recidivou (20 %). U dvou nemocných bylo nutné vzhledem k opakovaným pooperačním recidivám provést parciální resekci mandibuly s využitím titanové rekonstrukční dlahy anebo kostního štěpu. Oba výkony proběhly bez komplikací.

DISKUSE

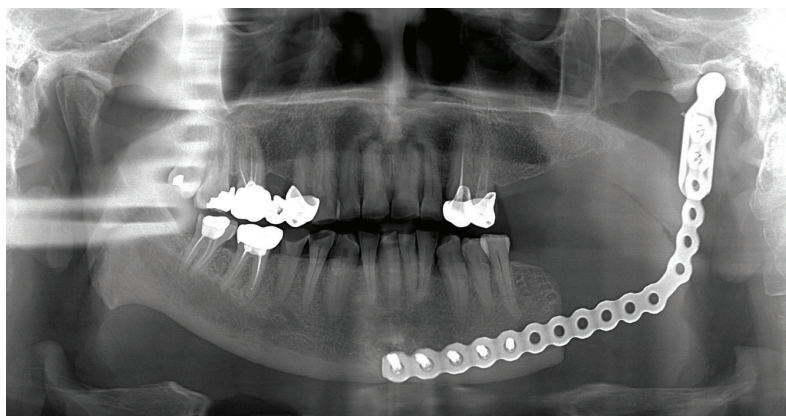
Odontogenní keratocysty rostou velmi často asymptomaticky, v anteroposteriorní dimenzi, často s vazbou na neprořezané zuby – nejčastěji třetí moláry (možnost záměny s folikulárními cystami). Často bývají náhod-

ným nálezem na ortopantomogramu zhotoveném z jiných indikací. Objemné léze na sebe mohou upozornit dislokací nebo viklavostí zubu, zánětlivou atakou [5, 6]. Nejčastější výskyt byl zaznamenán u mladších jedinců ve druhé věkové dekádě, následně pak v šesté životní dekádě (**graf 3**). Na rentgenogramu se OKC jeví jako dobře ohraničené projasnění s jemnými radioopáknými okraji (**obr. 3**). Multifokální manifestace bývá poměrně častá, zejména u syndromových lézí. Poměrně tenká výstelka OKC tvořená vrstevnatým dlaždicovým epitelem je složena zpravidla z šesti až deseti vrstev s typickým palisádovitým uspořádáním bazální buněčné vrstvy. Směrem do lumina je povrch výstelky nerovný, zvrásněný, se známkami parakeratózy a ložisky ortokeratinu. V pojivové tkáni pouzdra bývají přítomny satelitní mikrocyty. Vzácnější „ortokeratinizovaná odontogenní cysta“ je považována za méně agresivní, s nižší tendencí k pooperačním recidivám a bez vztahu ke Gorlinovu-Goltzovu syndromu. Bazální vrstva epitelu je plošší, povrch směrem do lumina hladký. V diagnostické rozvaze je třeba odlišit OKC od folikulární cysty, ameloblastomu, ameloblastického fibromu nebo jiného, vzácnějšího odontogenního tumoru. U mladších pacientů přichází v úvahu ještě centrální obrovskobuněčný granulom nebo idiopatická kostní dutina. V souvislosti s biologickým chováním odontogenních keratocyt jsme se v minulosti zabývali také imunohistochemickou analýzou epiteliálních buněčných markerů v OKC [1, 7]. Dospělo se k závěru, že fenotyp OKC se liší od radikulárních i folikulárních cyst širším spektrem apoptózy a exprese proteinu vázaného na buněčný cyklus, kde dominuje vyšší exprese *Bcl-2*, *Bax*, *p27*, *Kip1* a *c-erbB-2*, nižší proliferace v bazální vrstvě, a naopak vyšší proliferace v suprabazální buněčné vrstvě. Vzájemně odlišný je také fenotyp syndromových a sporadických OKC.

Terapie odontogenních keratocyst je vždy chirurgická. Nejčastějším terapeutickým výkonem je cystektomie s následným histopatologickým vyšetřením operačního preparátu. Cystostomie, případně fenestrace cystické dutiny s odloženou exstirpací je indikována u extrémně objemných lézí. Z terapeutického hlediska je velmi nepříjemná zejména vysoká tendence OKC k pooperačním recidivám. Tato vlastnost keratocyst není zcela objasněna. S ohledem na velmi tenké křehké pouzdro cysty může být příčinou neúplné odstranění cystického vaku. Další příčinou mohou být perzistující mikroskopické zbytky dentální lišty nebo drobné

Obr. 1B
Stav po resekci čelisti
s náhradou pomocí
rekonstrukční titanové dlahy

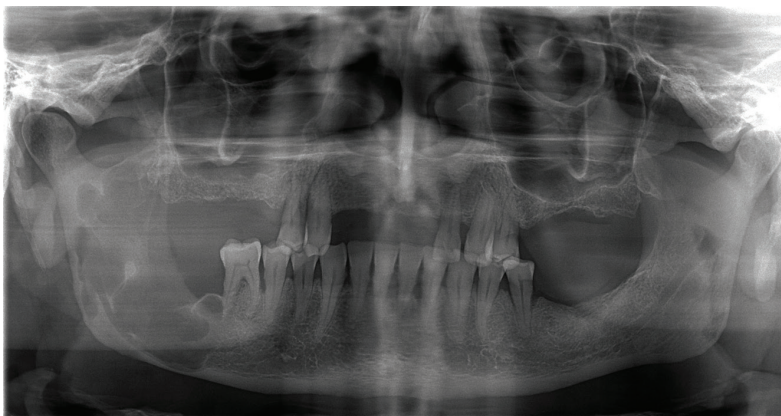
Fig. 1B
Result after resection of the
jaw with reconstruction with
titan splint



satelitní cysty v přilehlé kostní tkáni. Jistou roli mohou hrát také biologické vlastnosti buněk cystického epitelu, zejména mitotický index a produkce faktorů indukujících kostní resorpci.

V pooperační dispenzarizaci je třeba se zaměřit zejména na depistáž recidiv. Je třeba mít na paměti, že tendence k pooperačním recidivám je vyšší u multifokálních OKC než u solitárních lézí. V těchto případech je třeba pomýšlet na klinickou manifestaci Gorlinova-Goltzova syndromu a zajistit nemocným genetické vyšetření. Z klinického hlediska zůstává problémem komplikovaného hojení objemných pooperačních kostních defektů jejich prolongovaná osifikace a v případě OKC také vysoké procento pooperačních recidiv s určitým, byť malým rizikem maligního zvratu. Detailní analýzu současných metod léčby OKC prozkoumali například Blanas a kol. [8]. S ohledem na vysokou tendenci k pooperačním recidivám OKC po jejich prosté enukleaci je snaha operační výkon nějakým způsobem modifikovat. Patrně nejstarší metodou je aplikace silně leptavého Carnoyova roztoku do zbytkové kostní dutiny s cílem eliminovat potenciální zdroje případných recidiv. Metoda použitá poprvé Culterem a Zollingerem v roce 1933 pravděpodobnost pooperačních recidiv snižuje, ale zcela nevylučuje [4]. Zajímavé srovnání různých modifikací operačních metod pozorovali čínští autoři, kteří publikovali zkušenosti s léčením sestavy 489 pacientů s OKC v průběhu 37 let [9]. Po prosté enukleaci cysty zaznamenali pooperační recidivy u 18 % případů, u modifikovaných exstirpací s využitím Carnoyova roztoku v šesti procentech případů. Naproti tomu u 52 pacientů s objemnými lézemi, které ošetřili fenestrací cystické dutiny s odloženou exstirpací, nedošlo k pooperační recidivě.

Z hlediska prevence recidiv je samozřejmě nejspolehlivější radikální resekce postižené části čelisti s následnou rekonstrukcí kostním štěpem. Tato metoda je ale jen stěží použitelná u multifokálních lézí, které jsou součástí klinické manifestace Gorlinova-Goltzova syndromu. Další z možných cest by byla augmentace zbytkové kostní dutiny vhodným biologickým nebo alogenním materiálem. Požadavky na vlastnosti takového materiálu definovali Sailer kol. [10]. Použitý materiál musí mít osteoinduktivní účinek, být biokompatibilní, rentgen-kontrastní, snadno aplikovatelný a také cenově dostupný. V současné době můžeme volit z řady možností. Z biologických materiálů je to zejména autologní nebo homologní mletá kostní tkáň, xenogen-



Obr. 2A

Recidiva po sedmi letech od primóoperace OKC pravého úhlu a větve mandibuly s progresí po semilunární incizure

Fig. 2A

Angulus and ramus of the jaw with progression to mandibular notch. There is relapse of OKC after seven years of first operation

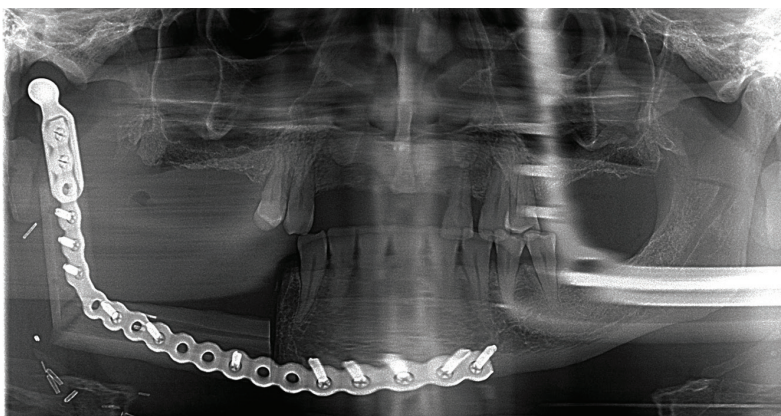
ní (heterologní) preparáty získané zpracováním hovězích nebo prasečích kostí Bio-Oss, Bio-Gide (Geistlich Pharma AC, Wohlhusen, Švýcarsko), případně syntetické preparáty na bázi hydroxyapatitu nebo trikalciumfosfátu, například Novabone (Osteogenics Biomedical, Lubbock TX 79424, USA). Z racionálního hlediska se jeví jako nejvýhodnější náhrada kostního defektu autotransplantátem. Za nejvhodnější odběrová místa jsou považována oblast brady, čelistního úhlu, případně hřebene kosti kyčelní. Odběr kostního štěpu i enukleace cysty jsou prováděny v jedné operační době. Bezprostředně před augmentací je třeba kost zpracovat (nejlépe rozemlít kostním mlýnkem). U objemných cyst může být problémem získat dostatečné množství kostní tkáně. Původně jednoduchá operace se tak může změnit v náročný chirurgický výkon, který je pro pacienta poměrně zatěžující. Jinou možností je využít k augmentaci homologní lyofilizovanou mletou kostní tkáň dodanou tkáňovou bankou. Touto metodou jsme se na našem pracovišti zabývali v nedávné minulosti a vlastní zkušenosti publikovali [7]. Širší využití syntetických nebo kompozitních materiálů s osteoinduktivním účinkem je limitováno jejich vysokou cenou,

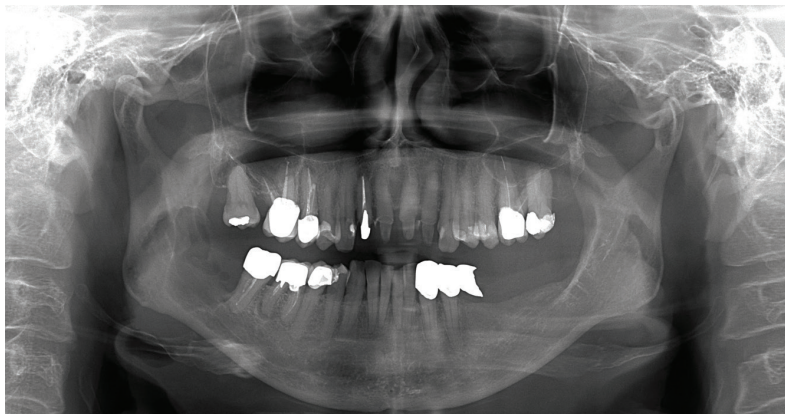
Obr. 2B

Stav po resekci mandibuly 45 – proc. coronoideus s náhradou pomocí rekonstrukční dlahy vč. kloubní hlavice a rekonstrukcí volným lalokem z fibuly

Fig. 2B

Situation after resection of the jaw – localization: regio 45 – coronoid process. There is reconstruction with fibula free flap





Obr. 3
Ovoidní projasnění sahající od kořene zubu 47 distálně do poloviny výšky ramus mandibulae l.dx.

Fig. 3
Ovoid cyst lesion from radix of tooth 47 to ramus of mandible on the right side

zejména v případech objemných keratocyst. V pooperační dispenzarizaci je třeba se zaměřit zejména na depistáž recidiv. Je třeba mít na paměti, že tendence k pooperačním recidivám je vyšší u multifokálních OKC než u solitárních lézí. V těchto případech je třeba pomýšlet na klinickou manifestaci Gorlinova-Goltzova syndromu a zajistit nemocným genetické vyšetření.

ZÁVĚR

Odontogenní keratocysty nejsou v současnosti diagnostickým problémem. Ortopantomogramy, které jsou běžnou součástí vstupního stomatologického vyšetření, umožňují

diagnostikovat i zcela asymptomatické kostní léze. Problémem zůstává spíše volba optimálního léčebného postupu, který by spolehlivě vyloučil poměrně vysokou pravděpodobnost pooperačních relapsů. Z prognostického hlediska jsou závažnějším problémem „syndromové“ OKC (s vazbou na Gorlinův-Goltzův syndrom) s ohledem na multifokální výskyt a s vyšší tendencí k pooperačním recidivám. Operační metody je proto nutné modifikovat. Enukeleace doplněná aplikací Carnoyova roztoku pravděpodobnost relapsů sice snižuje, ale zcela ji nevylučuje. Nadějnější, i když časově náročnější je fenestrace cystické dutiny s následnou odloženou exstirpací. Další možností je bezprostřední pooperační augmentace zbytkové kostní dutiny vhodným biologickým nebo syntetickým materiálem. Optimální terapeutický postup není v případě těchto lézí s konečnou platností stanoven. Nutný je individuální přístup; pacient by měl být seznámen s rizikem pooperačních relapsů a dlouhodobě dispenzarizován.

MDDr. Jakub Fabián

Klinika ústní, čelistní
a obličejové chirurgie FN a LF
I. P. Pavlova 6 – Nová Ulice
779 00 Olomouc
e-mail: fabianjakub0@gmail.com

LITERATURA

- Pazdera J, Zbořil V, Geierová M, Kolář Z, Novotný J, Tvrđý P.** K problematice odontogenních keratocyst. Čes Stomat. 2004; 104: 171–179.
- Pazdera J, Kolář Z, Zbořil V, Tvrđý P, Pink R.** Odontogenic keratocysts / Keratocystic odontogenic tumours: Biological characteristic, clinical manifestation and treatment. Bio Med Pap. 2014; 158(2): 170–174.
- Gao L, Wang XL, Li SM, Ren WH, Zhi KQ.** Decompression as treatment for odontogenic cystic lesions of the jaw. J Oral Maxillofac Surg. 2014; 72(2): 327–333.
- Cassoni A, Valentini V, Della Monaca M, Pompa G, Ianetti G.** Keratocystic odontogenic tumor surgical management: Retrospective analysis on 77 patients. Eur J Inflammation. 2014; 01: 209–215.
- Wushou A, Zhao YJ, Shao ZM.** Marsupialization is the optimal treatment approach for keratocystic odontogenic tumour. J Cranio-Maxillofac Surg. 2016; 42(7): 1540–1544.
- Moubayed SP, Khorsandi A, Urken ML.** Radiological challenges in distinguishing keratocystic odontogenic tumor from ameloblastoma: An extraordinary occurrence in the same patient, Am J Otolaryngol – Head Neck Med Surg. 2016; 37(4): 362–364.
- Pazdera J, Zbořil V, Tvrđý P, Kolář Z, Geierová M, Novotný J.** Rekonstrukce kostních defektů po operacích objemných čelistních cyst. Čes Stomat. 2005; 105(3): 82–87.
- Blanas N, Freund B, Schwartz M, Furst IM.** Systematic review of the treatment and prognosis of the odontogenic keratocyst. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2000; 90(5): 553–558.
- Zhang Q, Li W, Han F, Huang X, Yang X.** Recurrent keratocystic odontogenic tumor after effective decompression. J Craniofac Surg. 2016; 27(5): 490–491.
- Sailer H, Pajarola G.** Oral surgery for the general dentist. Stuttgart – New York: G. Thieme, 1999, 187–192.
- Leung YY, Lau SL, Troi KYY, Ma HL, Ng CL.** Results of the treatment of keratocystic odontogenic tumours using enucleation and treatment of the residual bony defect with Carnoy's solution. Inter J Oral Maxillofac Surg. 2016; 45(9): 1154–1158.
- Güler N, Sencift K, Demirkol O.** Conservative management of keratocystic odontogenic tumour of jaws. Sci World J. 2012; 2012: 680397.
- Ecker J, Horst RT, Koslovsky D.** Current role of Carnoy's solution in treating keratocystic odontogenic tumours. J Oral Maxillofac Surg. 2016; 74(2): 278–282.
- Pogrel MA.** Keratocystic odontogenic tumour (KCOT) – An odyssey. Inter J Oral Maxillofac Surg. 2015; 44(12): 1565–1568.
- De Molon RS, Verzola MH, Pires LC, Cirelli A, Barbeiro RH.** Five years follow-up of a keratocyst odontogenic tumor treated by marsupialization and enucleation: A case report and literature review. Contemporary Clin Dent. 2015; 6(5): 106–110.
- Dashow JE, McHugh JB, Braun TM, Helman JJ, Ward BB.** Significantly decreased recurrence rates in keratocystic odontogenic tumor with simple enucleation and curettage using Carnoy's versus modified Carnoy's solution. J Oral Maxillofac Surg. 2015; 73(11): 2132–2135.

PRAKTICKÉ VYUŽITÍ ENDODONTICKÝCH SEALERŮ NA BÁZI BIOKERAMIKY

Praktické sdělení

BIOCERAMIC-BASED ROOT CANAL SEALERS – USE IN ENDODONTICS

Practical report

Somolová L., Zapletalová Z., Rosa M., Harvan L., Voborná I., Morozova Y.

Klinika zubního lékařství, Lékařská fakulta Univerzity Palackého a Fakultní nemocnice, Olomouc

SOUHRN

Úvod a předmět sdělení: Sealery na bázi kalciumsilikátů označované také jako biokeramické sealery mohou díky svým vlastnostem zabezpečit hermetické zapečetění kořenových kanálků zubů v endodoncii. Doporučená monokónická hydraulická metoda plnění za studena nebo případně metoda laterální kondenzace gutaperči za studena se jeví jako vhodný způsob využití tohoto typu sealerů při endodontické obturaci. Při správném výběru hlavního gutaperčového čepu, který přesně odpovídá apikálnímu rozměru po opracování kořenového kanálku, lze dosáhnout spolehlivého zapečetění ve spojení se sealerem aplikovaným jako filler. Díky vysoké míře biokompatibility případná extruze materiálu do periodontia nepůsobí žádnou nebo jen malou pooperační citlivost. Sealery na bázi biokeramiky mají schopnost vyplnit i anatomické nepravidelnosti kořenového kanálku, případně utěsnit iatrogeně vzniklé defekty. Minimální preparace koronárního dentinu, chemická vazba na dentin a relativně malý kondenzační tlak při plnění kořenového kanálku přispívají ke snížení rizika fraktury kořene. Plnění kořenových kanálků pomocí této skupiny sealerů poskytuje podle dostupných informací minimálně srovnatelné výsledky jako zlatý standard v endodoncii – plnění metodou laterální kondenzace gutaperči.

Při postendodontickém ošetření je doporučována finální výplňová terapie v téže návštěvě, a to nejlépe s použitím adhezivních výplňových materiálů. Důležitým bodem je přitom prostorové oddělení biokeramického sealeru, který je hydrofilní, od přípravků pro adhezivní úpravu kavity, které jsou hydrofobní. Jako mezerník se v praxi doporučuje použití malého množství horké gutaperči nebo skloionomerní cement. V závislosti na klinické situaci lze k postendodontické rekonstrukci využít i FRC čepy (Fiber Reinforced Composite) zaváděné v téže návštěvě nebo následně protetické řešení.

Sekundární endodontické ošetření je v případě použití sealerů na bázi biokeramiky možné, ale odstranění materiálu, který má chemickou vazbu ke stěnám kořenového kanálku, je obtížné a patří spíše do rukou endodontického specialisty.

Závěr: Biokeramické sealery mohou zjednodušením pracovního postupu přispět ke zkvalitnění obturace v ordinaci praktického zubního lékaře. Přínos ale mohou představovat i pro práci endodontického specialisty, a to nejen při řešení komplikovaných případů. Ke konečnému zhodnocení tohoto typu sealerů v endodoncii je však třeba dalších výzkumů.

Klíčová slova: plnění kořenového kanálku, biokeramika, kalciumsilikátový endodontický sealer

SUMMARY

Introduction and aim: Calcium silicate-based sealers, also referred to as bioceramic-based sealers, can, thanks to their properties, ensure hermetic sealing of root canals in endodontics. The recommended single-cone hydraulic cold obturation method or possibly the method of cold lateral condensation of gutta-percha seems to be a suitable way of using this type of sealers in endodontic obturation. With the correct selection of the main gutta-percha cone, which corresponds exactly to the apical dimension after the root canal has been instrumented, reliable sealing can be achieved in conjunction with a sealer applied as a filler. Due to the high degree of biocompatibility, the possible extrusion of the material into the periodontal tissues does not cause any or only a small postoperative sensitivity. Bioceramic-based root canal sealers have the ability to fill in the anatomical irregularities of the root canal, or to seal iatrogenic defects. The minimal necessary preparation of coronary dentin, chemical bonding to dentin and relatively low condensation pressure when filling the root canal contribute to reducing the risk of root fracture. Filling the root canals with this group of seals provides, according to the available information, at least comparable results as the gold standard in endodontics – obturation by the method of lateral condensation of gutta-percha.

For post-endodontic treatment, it is recommended to perform the final filling therapy at the same visit, preferably using adhesive filling materials. An important point is the separation of the bioceramic sealer, which is hydrophilic in nature, from the adhesive materials,

which are hydrophobic. In practice, it is recommended to use a small amount of hot gutta-percha or glass ionomer cement as such a spacer. Depending on the clinical situation, FRC posts introduced at the same visit or a subsequent prosthetic solution can also be used for postendodontic reconstruction.

Secondary endodontic treatment is possible with the use of bioceramic-based sealers, but the removal of material that has a chemical bond to the walls of the root canal is difficult and belongs more to the hands of an endodontic specialist.

Conclusion: By simplifying the work procedure, bioceramic-based sealers can contribute to the improvement of obturation in a general dentist's office. However, they can also be of benefit to the work of an endodontic specialist not only in solving complicated cases. However, further research is needed to finally evaluate this type of sealer in endodontic field.

Key words: root canal obturation, bioceramics, calcium silicate-based sealer

Somolová L, Zapletalová Z, Rosa M, Harvan L, Voborná I, Morozova Y.

Praktické využití endodontických sealerů na bázi biokeramiky.

Čes stomatol Prakt zubní lék. 2021; 121(2): 41–47. doi: 10.51479/cspzl.2021.006

ÚVOD A CÍL

S uvedením biokeramických sealerů na dentální trh dochází ke změně náhledu na endodontické ošetření [1]. Tyto materiály mohou vzhledem ke svým fyzikálním, chemickým a biologickým vlastnostem nahradit dosud běžně užívané sealery na bázi pryskyřic nebo zinkoxideugenolových sloučenin [2]. Nabízejí trvalé spolehlivé zapečetění kořenového kanálku bez nutnosti časově náročné kondenzace gutaperči. Biokeramické sealery jsou schopny díky dokonalé smáčivosti a viskozitě v kombinaci se speciálně tvarově přizpůsobenými gutaperčovými čepy zaplnit prostorové variance či neopracovaná místa kořenového kanálku, popřípadě utěsnit chyby vzniklé při opracování kořenového systému [1]. Schopností adheze k dentinu a minimální nutné preparace koronární části kanálku zvyšují odolnost zubu vůči frakturám, které jsou občasnou komplikací po endodontickém ošetření [1, 3, 4, 5]. Metody plnění kořenových kanálků pomocí této kategorie materiálů vykazují podle údajů z literatury minimálně rovnocenné výsledky ve srovnání s laterální kondenzací gutaperči jako zlatým standardem endodontické obturace [1, 6].

Cílem našeho sdělení je popsat praktické postupy používané při plnění kořenových kanálků s využitím biokeramických sealerů včetně problematiky postendodontického ošetření a otázky sekundární endodoncie.

METODY PLNĚNÍ KOŘENOVÉHO SYSTÉMU DOPORUČENÉ PRO SEALERY NA BÁZI BIOKERAMIKY

Biokeramické sealery jsou obecně vhodné pro metody obturace kořenového systému zubu za studena [2]. Při aplikaci tepla se snižuje vazba sealeru na dentin a dochá-

zí k výraznému ovlivnění času tuhnutí [1, 7, 8, 9]. Výjimku tvoří materiály typu HiFlow, které jsou přímo určeny pro metody plnění za tepla. Sealery typu HiFlow jsou dodávány v předemíchané formě a při aplikaci za tepla disponují nižší viskozitou [10, 11]. Společnost Henri Schein (Henri Schein, Inc. Melville, USA) uvedla na trh EndoSequence BC a Sealer HiFlow, který v kombinaci se speciálními gutaperčovými čepy EndoSequence BC GP 150 a peletami pro injektáž nahřáté gutaperči při 150 °C, lze využít pro metodu vertikální kondenzace gutaperči za tepla [10, 12]. Pro stejné účely nabízí firma FKG Dentaire (La Chaux-de-Fonds, Švýcarsko) materiál TotalFill BC Sealer HiFlow [11].

Pro biokeramické sealery je vhodná metoda plnění označovaná jako monokónická metoda hydraulické kondenzace za studena [1, 5, 13]. Tyto typy sealerů je však také možné využít pro klasickou laterální kondenzaci gutaperči [1, 5, 14]. Monokónická hydraulická kondenzace je definována jako metoda plnění kořenového kanálku za použití jednoho gutaperčového čepu, který přesně odpovídá rozměrům posledního nikltitanového nástroje použitého k opracování kořenového kanálku. V některých aspektech se podobá plnění metodou centrálního čepu [15, 16]. Historicky je metoda centrálního čepu považována za kompromisní a jednoduchý způsob vyplnění kořenového kanálku, u kterého však není možné zabezpečit dlouhodobý hermetický uzávěr kořenového systému. Monokónická metoda hydraulické kondenzace je modifikací této v minulosti tradiční, ale dnes již opsolentní metody [1, 9, 14, 15, 17, 18, 19]. V zahraniční literatuře je monokónická metoda hydraulické kondenzace označována jako „single-cone technique“, „matching-taper single-cone technique“, „tapered single-cone

technique“, „hydraulic condensation“ nebo její variace [7, 15, 20, 21, 22]. Ke strojovému opracování kořenového kanálku je nezbytné použít systém nástrojů, u kterého je k dispozici dedikovaný soubor gutaperčových čepů s odpovídajícím apikálním rozměrem a kónicitou pro dosažení apikálního utěsnění [4]. Biokeramický sealer zaujímá při metodě hydraulické kondenzace funkci tzv. filleru a stává se hlavním výplňovým materiálem v kořenovém kanálku [5, 15, 16, 23] (**obr. 1, 2**). Vybraný gutaperčový čep pouze napomáhá transportu materiálu do kanálku, kde se hydraulicky kondenzuje. Vrstva sealeru – filleru se doporučuje ad maximum.

Sealer dodávaný jako dvousložkový se po namíchání do homogenní hmoty ručně aplikuje do kořenového kanálku pomocí hlavního gutaperčového čepu (**obr. 3**), a to opakovaně a ve větším množství s přebytkem materiálu v cavum pulpae [16] (**obr. 4**). Opakovaným vertikálním stíravým pohybem gutaperčového čepu dochází k nejlepším výsledkům zaplnění kořenového systému, včetně obturace mechanicky neopracovaných míst, jako jsou postranní kanálky (**obr. 5**), vnitřní resorpce (**obr. 6**), istmus nebo defekty způsobené iatrogenním působením (**obr. 7, 8**). Po finálním zavedení hlavního gutaperčového čepu do kanálku čep zkrátíme nahřátým pluggerem nebo ultrazvukovou koncovkou bez chlazení a použijeme vertikální kondenzaci pluggerem (**obr. 9**). Délka zkrácení gutaperčového čepu závisí na plánovaném post-endodontickém ošetření. Čep je vhodné zkrátit minimálně do úrovně vrcholu alveolární kosti. Pro vyhovující koronární postendodontické zapečetění kavity a také jako prevence dyskolorací vzhledem k radioopákním aditivům některých biokeramických sealerů se doporučuje čep zkrátit až dva milimetry pod úroveň alveolární kosti. Důležité je vyhnout se nadměrné aplikaci tepla při práci s kořenovou výplní, neboť zvýšená teplota negativně ovlivňuje kvalitu vazby sealeru na dentin a zkracuje čas tuhnutí [1, 7, 8, 9]. Kvalitu obturace kořenového kanálku stejně jako hloubku koronárního ukončení kořenové výplně je nezbytné zhodnotit na kontrolním rentgenovém snímku (**obr. 10**). Rentgenkontrastnost sealerů na bázi biokeramiky je pro klinické využití dostatečná [8, 24]. Také v případě předmíchaných produktů dostupných v jedné aplikační kanyli je nutné dopravit do kanálku dostatečné množství filleru. Nejprve se materiál deponuje do koronární třetiny kanálku a při tom je nutné dbát, aby aplikační kanyla nebyla umístěna hlouběji.



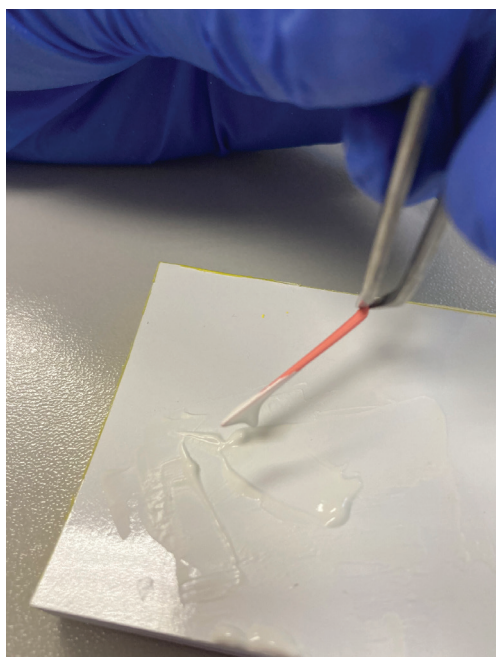
Obr. 1
Makroskopická fotografie znázorňuje podélný řez kořenovým kanálkem zaplněným biokeramickým sealerem (in vitro) – kořenový kanálek s pravidelným průběhem

Fig. 1
Macroscopic photograph show longitudinal section of extracted tooth obturated with a bioceramic sealer, where part of the space and irregularities of the root system are filled by the sealer – root canal with regular shape



Obr. 2
Makroskopická fotografie znázorňuje podélný řez kořenovým kanálkem zaplněným biokeramickým sealerem (in vitro) – nástřik apikálních ramifikací sealerem

Fig. 2
Macroscopic photograph show longitudinal section of extracted tooth obturated with a bioceramic sealer, where part of the space and irregularities of the root system are filled by the sealer – apical ramifications of root canal filled with sealer



Obr. 3
Materiál na gutaperčovém čepu ve větším množství připravený k nanášení do kořenového kanálku jako filler

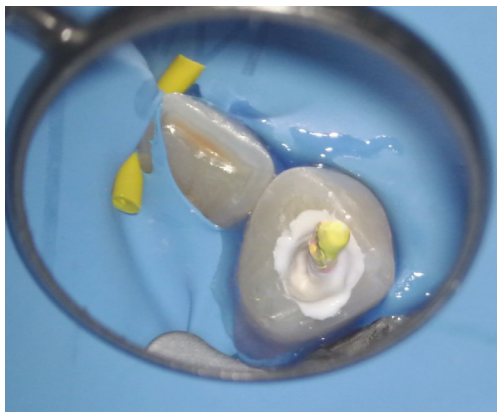
Fig. 3
Material on gutta-percha cone, ready for application in large quantities

Obr. 4

Pohled do dřeňové dutiny zubu, kanálek byl vyplněn fillerem a kalibrovaným gutaperčovým čepem

Fig. 4

Root canal filled with calibrated gutta-percha cone and bioceramic-based sealer in abundance

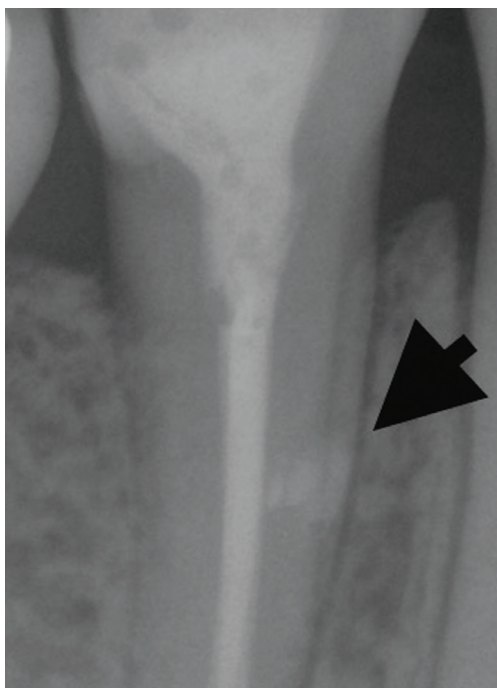


Obr. 5

RTG snímek zobrazující schopnost sealeru vyplnit i mechanicky nepracovaná místa kořenového kanálku, jako je laterální akcesorní kanálek

Fig. 5

X-ray image showing the ability of a bioceramic-based sealer to fill the mechanically uninstrumented space in the root canal, as a lateral root canal



Obr. 6

RTG snímek zobrazující schopnost sealeru vyplnit nepravidelnosti kořenového kanálku jako prostor způsobený vnitřní resorpcí

Fig. 6

X-ray image showing the ability of a bioceramic-based sealer to fill irregularities in the root canal space, eg the space caused by internal resorption



Ve druhém kroku se vybraný gutaperčový čep obalí dostatečným množstvím sealeru a zavede na stanovenou pracovní délku [3, 15, 16]. Následný postup koronárního zkrácení čepu a úpravy kořenové výplně je obdobný jako při použití dvousložkových materiálů. Pracovní čas sealerů na bázi biokeramiky se pohybuje podle údajů výrobců v rozmezí 10–30 minut, podle typu výrobku [14, 25]. Podle údajů výrobců a některých studií by měl biokeramický sealer zajistit prostřednictvím chemické a mechanické vazby k takto upraveným čepům zapečetění kořenového systému ve formě monobloku. Jedním z hlavních důvodů nedostatečné adheze gutaperči k biokeramickým sealerům je hydrofobní charakter standardně používaných gutaperčových čepů [26, 27]. Podle in vitro studie může obturace pomocí speciálně upravených čepů snížit riziko fraktury kořene ve srovnání s použitím konvenčních gutaperčových čepů [28]. V dostupných publikacích ale není prozatím prokázána statisticky vyšší úspěšnost klinického ošetření biokeramickými sealeri ve spojení se speciálně upravenými gutaperčovými čepi než při obturaci s použitím konvenčních gutaperčových čepů [26, 27]. Případná extruze biokeramického sealeru do periodontia působí relativně malou nebo žádnou pooperační citlivost a nemá vliv na dlouhodobý výsledek endodontické terapie [4, 17, 29, 30] (**obr. 11, 12**).

SPECIFIKA POSTENDODONTICKÉHO OŠETŘENÍ

Podle rozsahu destrukce tkáně zubu je obvyklou metodou volby postendodontického ošetření přímá fotokompozitní výplň, adhezivní rekonstrukce s aplikací FRC čepu nebo protetické řešení. Po obturaci kanálku je podle většiny autorů doporučována realizace definitivního konzervačního ošetření v téže návštěvě, a to s využitím adhezivních výplňových materiálů. Po zkrácení gutaperčového čepu a jeho vertikální kondenzaci za studena dochází ve většině případů k plošnému uzavření vstupu do kořenového kanálku tenkou vrstvou gutaperči (**obr. 9**). V případě, že je toto uzavření nedostatečné, je nezbytné zabezpečit separaci hydrofilního sealeru od prostoru cavum pulpa. Leptání kyselinou fosforečnou při využívání adhezivních technik práce může negativně ovlivňovat mechanické vlastnosti biokeramických materiálů [31, 32]. Adhezivní systémy jsou hydrofobní a jejich vazba na biokeramické materiály je minimální [31, 33]. Metodou volby pro případnou

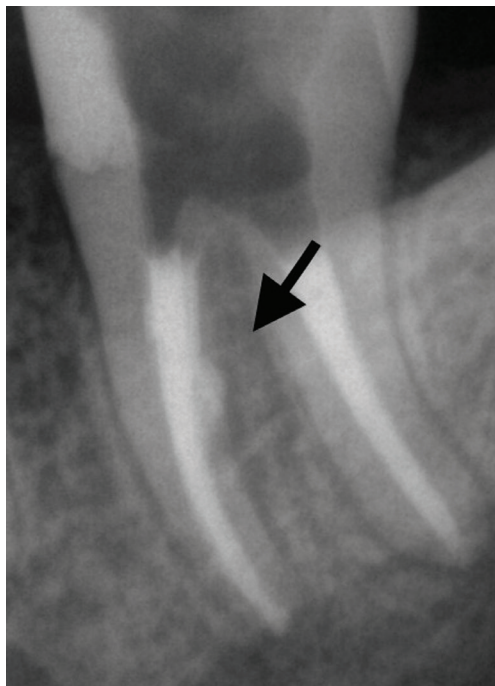
separaci je injektáž nahřáté gutaperči doplněná vertikální kondenzací za studena nebo aplikace skloionomerního cementu [31, 34]. Částice plniva skloionomerního cementu mají tendenci se navázat na keramické částice kalciumsilikátového sealeru [35]. Po vyčištění dřevné dutiny pomocí vodního spreje je možné přistoupit k přímé adhezivní rekonstrukci zubu.

Některé zdroje uvádějí, že vzhledem k dlouhému času tuhnutí a zrání biokeramických materiálů je vhodnější přistoupit k post-endodontickému ošetření až v další návštěvě a doporučují vyplnění přístupové kavity gutaperčou nebo skloionomerním cementem [31, 34, 36].

Jednou z příčin neúspěchu endodontického ošetření jsou fraktury zubu. Filler na bázi biokeramiky může zlepšit integritu zubu díky schopnosti stmelit radikulární dentin s kořenovou výplní pomocí chemické vazby na dentin a penetrací do dentinových tubulů [14]. Podle in vitro studií jsou biokeramické sealery schopny posílit strukturu endodonticky ošetřeného zubu a jeho odolnost proti vertikálním frakturám ve srovnání s pryskyřičnými sealery a sealery na bázi hydroxidu vápenatého [3, 37, 38, 39]. Příčinou vertikální fraktury kořene může být také přílišný tlak vyvinutý při konvenčních kondenzačních metodách. Při plnění monokónickou metodou hydraulické kondenzace za studena se předpokládá výrazně nižší riziko peroperační fraktury kořene [40]. Odolnost vůči frakturám je také podpořena minimální preparací zubních tkání v koronární části kořenového kanálku [5].

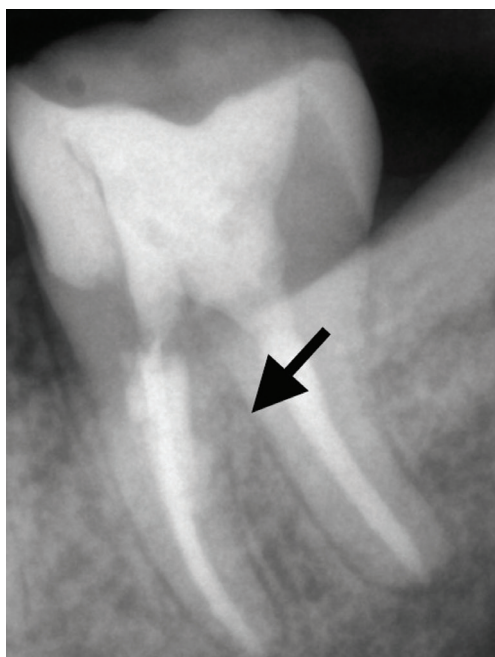
OTÁZKA SEKUNDÁRNÍ ENDODONCIE

Podle experimentálních studií je sekundární endodontické ošetření po plnění monokónickou metodou hydraulické kondenzace za studena možné, ale odstranění samotného biokeramického sealeru z kanálku je pracné [23, 41]. Gutaperčový čep přitom slouží jako vodící linie a usnadňuje cestu v kanálku zubu [1, 5, 15, 39, 41]. Za úspěšné provedení reenodoncie bylo ve studiích považováno dosažení pracovní délky a odstranění zbytků kořenového sealeru ze stěn kanálku. Nicméně i po dokonalém opracování kořenového kanálku byla u většiny vzorků pod elektronovým mikroskopem pozorována rezidua sealeru na stěnách [8, 39, 42]. Znovu obnovit pracovní délku a dosáhnout uspokojivých výsledků nebylo možné až v 20 % klinických případů [3]. Tento stav se vyskytoval zejména



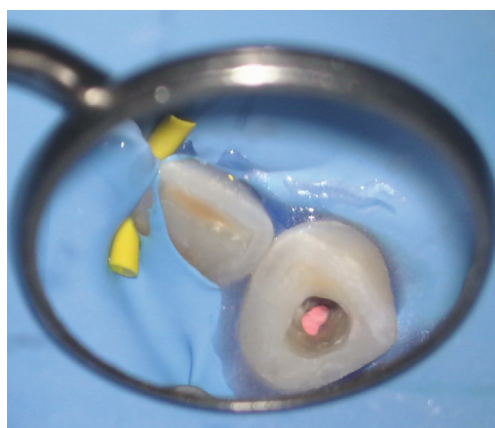
Obr. 7
RTG snímek znázorňující situaci, kde došlo k prošoupání stěny meziálního kořenového kanálku s viditelnou extruzí sealeru do interradikulárního prostoru

Fig. 7
X-ray image showing a situation where iatrogenic damage occurred – stripping of the medial root canal wall – extrusion of a sealer into the interradicular space visible in the image



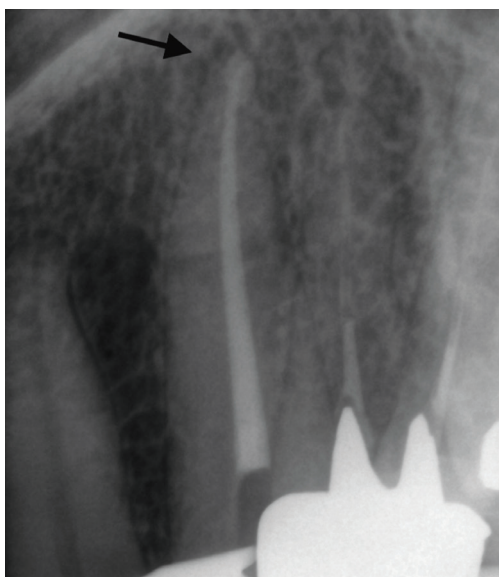
Obr. 8
Kontrolní RTG snímek zhotovený 12 měsíců po ošetření s patrným náznakem hojení v oblasti iatrogenní perforace

Fig. 8
Control X-ray taken 12 months after treatment with a clear sign of healing in the area of iatrogenic perforation



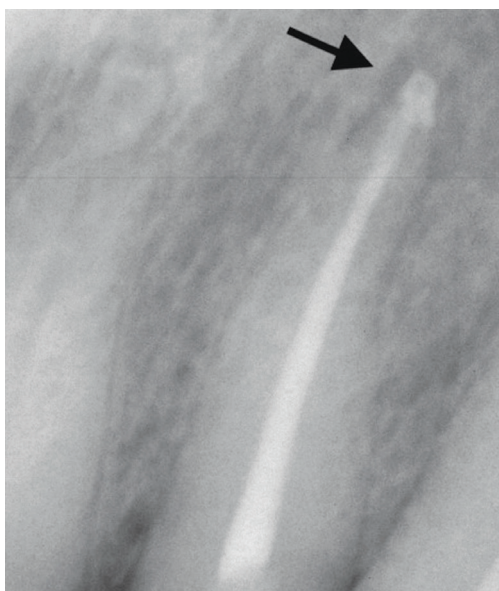
Obr. 9
Situace po zkrácení gutaperčového čepu a vertikální kondenzaci, pohled na spodinu dřevné dutiny po vyčištění

Fig. 9
Situation after shortening the gutta-percha cone with an ultrasonic tip without cooling and vertical cold condensation, view of the pulp chamber floor after cleaning



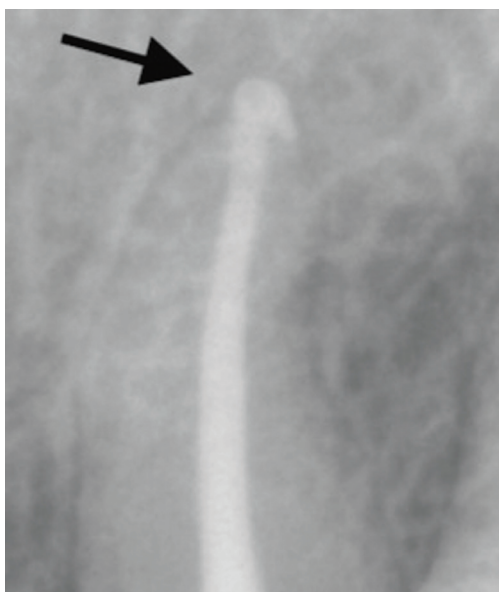
Obr. 10
Kontrolní RTG snímek po
plnění

Fig. 10
*Control X-ray after root canal
filling*



Obr. 11
RTG snímek bezprostředně
po zaplnění s extruzí
materiálu do periodontia

Fig. 11
*X-ray image immediately after
root canal filling with extrusion
of material into the apical
periodontal area*



Obr. 12
Kontrolní RTG snímek po
deseti měsících s viditelným
náznakem hojení v apikální
oblasti

Fig. 12
*Control X-ray after ten months
with visible sign of healing
in the apical area*

v situacích, kde zavedený gutaperčový čep nedosahoval plné pracovní délky a biokeramický sealer byl použit jako hlavní výplň kanálku – filler [3]. Pokud byl biokeramický sealer aplikován metodou centrálního čepu nebo metodou vertikální kondenzace gutaperči za tepla, nebyl podle studií při reendodontickém ošetření pozorován markantní rozdíl v obtížnosti odstranění kořenové výplně [23, 43, 44].

Doporučený způsob odstranění biokeramického sealeru

V oblasti koronární třetiny kořenového kanálku je vhodné použít ultrazvukovou koncovku s chlazením, nejlépe při zvětšení operačním mikroskopem. Gutaperčové jádro kořenové výplně lze dále odstranit nástroji určenými k reendodontickému ošetření v kombinaci s rozpouštědly gutaperči. Po dosažení pracovní délky je nezbytné kanálek dále opracovat pro očištění stěn od zbytků sealeru. Alternativou je dosažení apikálních dvou až tří milimetrů od apexu ručními nástroji, a poté pokračování strojovými systémy [3].

ZÁVĚR

Biokeramické sealery přinášejí posun paradigmatu v rámci endodontického ošetření. Díky absolutní objemové stálosti, hydrofilním vlastnostem a schopnosti tuhnout ve vlhkém prostředí nabízejí možnost spolehlivého zapečetění kořenového kanálku. Dobrá zatékavost materiálu umožňuje vyplnit celý prostor kořenového kanálku včetně jeho nepravidelností. Ve spojení s monokónickou hydraulickou metodou plnění kořenového kanálku za studena se tento typ sealerů zdá být efektivním prostředkem pro obturaci v endodoncii [14, 17, 39]. Materiály na bázi biokeramiky nabízejí zjednodušení postupů, a činí tím plnění kořenového systému snadněji proveditelné pro praktické zubní lékaře bez užší specializace v endodoncii [1].

Pouze čas a další klinické zkušenosti však ukáží praktickou míru spolehlivosti, výhody a nedostatky těchto sealerů v dlouhodobém horizontu.

**Publikace vznikla za podpory grantu
IGA_LF_2020_008.**

MDDr. Lucia Somolová

Klinika zubního lékařství LF UP a FN
Palackého 12
772 00 Olomouc
e-mail: lucia.somolova@gmail.com

LITERATURA

1. **Septodont.** Case Studies Collection No. 13 – March 2016. BioRoot™ RCS The new biomaterial for root canal filling. [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: https://www.septodont.ie/sites/ie/files/2019-04/CSC13_BioRoot™%20RCS%20a%20new%20biomaterial%20for%20root%20canal%20filling_3.pdf
2. **Somolová L, Zapletalová Z, Rosa M, Novotná B, Voborná I, Morozova Y.** Endodontické sealery na bázi biokeramiky. Čes stomatol Prakt zubní lék. 2021; 121(3)..
3. **Koch K, Brave DG, Nasseh AA.** A review of bioceramic technology in endodontics. Roots. 2013; 1: 6–13.
4. **Malhotra S, Hedge MN, Shetty C.** Bioceramic technology in endodontics. Brit J Med Medical Res. 2014; 4(12): 2446–2454.
5. **Trope M, Bunes A, Debelian G.** Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? Endod Topics. 2015; 32: 86–96.
6. **Septodont.** Case Studies Collection No. 15 – May 2017. BioRoot™ RCS A reliable bioceramic material for root canal obturation. [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: https://www.septodontusa.com/sites/default/files/2019-04/CSC15_BioRoot™%20RCS%20a%20reliable%20bioceramic%20material%20for%20root%20canal%20obturation_13.pdf
7. **Heran J, Khalid S, Albaaj F, Tomson PL, Camilleri J.** The single cone obturation technique with a modified warm filler. J Dent. 2019; 89: 103181. doi: 10.1016/j.jdent.2019.103181
8. **Septodont.** BioRoot™ RCS. Endo sealer or biological filler? [cit. 24. 5. 2020]. Dostupné z: <https://info.septodontusa.com/bioroot-rs-case-studies?hsCtaTracking=65731647-df31-43c0-80a8-9b74d1d07ede%7C6c93f3d9-b5bf-4c11-ba7f-8c4a5e077c0a>
9. **Viapiana R, Moizadeh AT, Camilleri L, Wesselink PR, Tanomaru Filho M, Camilleri J.** Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and Bioroot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. Int Endod J. 2016; 49(8): 774–782.
10. **Brasseler USA.** BC Sealer HiFlow Brochure. [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: http://media.brasselerusa.com/userfiles/IFU%2CManuals%2CBrochures/B_5019_ENG_HiFlow%20NPR.pdf
11. **FKG Dentaire.** TotalFill BC Sealer HiFlow – Flyer EN. [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: https://www.fkg.ch/sites/default/files/FKG_TotalFill%20BC%20Sealer%20HiFlow_Flyer_EN_WEB_202001.pdf
12. **Real World Endo.** Vertical Condensation with BC Sealer! [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: <https://realworldendo.com/vertical-condensation-with-bc-sealer/>
13. **Rosa M, Morozova Y, Moštěk R, Jusku A, Kováčová V, Somolová L, Voborná I, Kovalský T.** Vybrané vlastnosti súčasných endodontických sealerov: Časť 1. Čes stomatol Prakt zubní lék. 2020; 120(4): 107–115.
14. **Septodont.** BioRoot™ RCS Bioactive Root Canal Sealer. [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: <http://www.oraverse.com/bio/img/BioRoot-ScientificFile.pdf>
15. **Real World Endo.** Is hydraulic condensation a single cone technique? [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: <https://realworldendo.com/is-hydraulic-condensation-a-single-cone-technique-friday-questions/>
16. **Real World Endo.** FAQ: Hydraulic condensation. [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: <https://realworldendo.com/faq-hydraulic-condensation/>
17. **Chybowski EA, Glickman GN, Patel Y, Fleury A, Solomon E, He J.** Clinical outcome of non-surgical root canal treatment using a single-cone technique with endosequence bioceramic sealer: a retrospective analysis. J Endod. 2018; 44(6): 941–945.
18. **Cohen RG.** Successful single-cone obturation. Inside Dent. 2018; (14)3: 60–61.
19. **Koch KA, Brave GD, Nasseh AA.** Bioceramic technology: closing the endo-restorative circle, part 2. Dent Today. 2010; 29(3): 98, 100, 102–105.
20. **Koçak MM, Darendeliler-Yaman S.** Sealing ability of lateral compaction and tapered single cone gutta-percha techniques in root canals prepared with stainless steel and rotary nickel titanium instruments. J Clin Exp Dent. 2012; 4(3): 156–159.
21. **Krug R, Krastl G, Jahreis M.** Technical quality of a matching-taper single-cone filling technique following rotary instrumentation compared with lateral compaction after manual preparation: a retrospective study. Clin Oral Investig. 2017; 21(2): 643–652.
22. **Hegde V, Arora S.** Sealing ability of three hydrophilic single-cone obturation systems: An in vitro glucose leakage study. Contemp Clin Dent. 2015; 6(1): 86–89.
23. **Žižka R, Šedý J, Škrdlant J, Kučera P.** Kalciumsilikátové cementy – 2. část: Klinické využití. LKS. 2018; 28(3): 60–67.
24. **Žižka R, Šedý J, Škrdlant J, Kučera P, Čtvrtlík R, Tomašík J.** Kalciumsilikátové cementy – 1. část: Vlastnosti a rozdělení. LKS. 2018; 28(2): 37–43.
25. **Reszka P, Nowicka A, Lipski M, Dura W, Drożdżik A, Woźniak K.** A comparative chemical study of calcium silicate-containing and epoxy resin-based root canal sealers. Biomed Res Int. 2016; 2016: 9808432. doi: 10.1155/2016/9808432
26. **Real World Endo.** Should I use coated BC Cones or regular gutta percha with bioceramic sealer? [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: <https://realworldendo.com/should-i-use-coated-bc-cones-or-regular-gutta-percha-with-bioceramic-sealer-friday-questions/>
27. **Wang Z.** Bioceramic materials in endodontics. Endod Topics. 2015; 32: 3–30.
28. **Ghoneim AG, Lutfy RA, Sabet NE, Fayyad DM.** Resistance to fracture of roots obturated with novel canal-filling systems. J Endod. 2011; 37(11): 1590–1592.
29. **Kossev D, Stefanov V.** Ceramics-based sealers as new alternative to currently used endodontic sealers. Roots. 2009; 1: 42–48.
30. **Tyagi S, Mishra P, Tyagi P.** Evolution of root canal sealers: An insight story. Eur J Dent. 2013; 2(3): 199–218.
31. **Žižka R, Šedý J, Voborná I.** Ošetření zubu s neukončeným vývojem a dens invaginatus pomocí kalciumsilikátové zátky. LKS. 2020; 30(2): 26–31.
32. **Kayahan MB, Nekoofar MH, Kazandağ M, Canpolat C, Malkondou O, Kaptan F, Dummer PM.** Effect of acid-etching procedure on selected physical properties of Mineral Trioxide Aggregate. Int Endod J. 2009; 42(11): 1004–1014.
33. **Meraji N, Camilleri J.** Bonding over dentin replacement materials. J Endod. 2017; 43(8): 1343–1349.
34. **Bogen G, Kuttler S.** Mineral Trioxide Aggregate obturation: a review and case series. J Endod. 2009; 35(6): 777–790.
35. **DentistryIQ.** 5 tips for using bioceramics in the general dental practice. [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.dentistryiq.com/dentistry/endodontics/article/16353181/5-tips-for-using-bioceramics-in-the-general-dental-practice>
36. **Ree MH, Schwartz RS.** Long-term success of nonvital, immature permanent incisors treated with a Mineral Trioxide Aggregate plug and adhesive restorations: a case series from a private endodontic practice. J Endod. 2017; 43(8): 1370–1377.
37. **Patil P, Banga KS, Pawar AM, Pimple S, Ganeshan R.** Influence of root canal obturation using gutta-percha with three different sealers on root reinforcement of endodontically treated teeth. An in vitro comparative study of mandibular incisors. J Conserv Dent. 2017; 20(4): 241–244.
38. **Topçuoğlu HS, Tuncay Ö, Karataş E, Arslan H, Yeter K.** In vitro fracture resistance of roots obturated with epoxy resin-based, mineral trioxide aggregate-based, and bioceramic root canal sealers. J Endod. 2013; 39(12): 1630–1633.
39. **Debelian G, Trope M.** The use of premixed bioceramic materials in endodontics. Giornale Italiano di Endodonzia. 2016; 30(2): 70–80.
40. **Pocket Dentistry.** Etiology of vertical root fractures. [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z: <https://pocketdentistry.com/etiology-of-vertical-root-fractures/>
41. **Hess D, Solomon E, Spears R, He J.** Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. J Endod. 2011; 37(11): 1547–1549.
42. **Kakoura F, Pantelidou O.** Retreatability of root canals filled with gutta percha and a novel bioceramic sealer: A scanning electron microscopy study. J Conserv Dent. 2018; 21(6): 632–636.
43. **Kim H, Kim E, Lee SJ, Shin SJ.** Comparisons of the retreatment efficacy of calcium silicate and epoxy resin-based sealers and residual sealer in dental tubules. J Endod. 2015; 41(12): 2025–2030.
44. **Ersev H, Yilmaz B, Dinçol ME, Dağlaroğlu R.** The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers. Int Endod J. 2012; 45(8): 756–762.

DENTÁLNE KOMPOZITNÉ VÝPLŇOVÉ MATERIÁLY AKO MOŽNÝ ZDROJ TOXICKEJ ZÁŤAŽE ĽUDSKÉHO ORGANIZMU

Pilotná štúdia

DENTAL COMPOSITE FILLING MATERIALS AS A POTENTIAL RISK OF TOXICITY FOR HUMAN ORGANISM

Pilot study

Tkáčiková S., Sabo J.

Ústav lekárskej a klinickej biofyziky, Lekárska fakulta UPJŠ, Košice, Slovenská republika

SOUHRN

Úvod a cieľ: Kompozitné materiály používané v zubnom lekárstve sa stávajú čoraz populárnejšími z viacerých dôvodov – estetiky, precitlivenosti niektorých jedincov na amalgám a obáv z možného uvoľňovania reaktívnych iónov kovov z amalgámu a zároveň aj obmedzovania jeho používania kvôli negatívnemu vplyvu na životné prostredie jednak počas výroby ako aj pri jeho likvidácii. Kompozitné materiály sú zložené z monomérov, plniva, iniciačného systému polymerizácie a z ďalších látok zlepšujúcich vlastnosti výplňového materiálu. Po aplikácii do kavity výplňový materiál tuhne polymerizačným procesom, ktorý je iniciovaný chemicky alebo svetlom, prípadne duálne. Konverzia monomérov používaných v stomatológii nikdy nedosiahne sto percent, čo predstavuje jednu zo slabín týchto materiálov. Pri styku kompozitných materiálov s vodou, alkoholom ako aj kyslým prostredím sa zistilo, že niektoré komponenty ako napríklad nespolymerizované monoméry sa môžu z kompozitu postupne uvoľňovať. V ústnej dutine sú kompozitné výplne vystavené neustálemu pôsobeniu slín a zároveň aj potravín a nápojov, ktoré vplývajú na uvoľňovanie zložiek kompozitov. Tieto môžu spôsobovať lokálne alergické reakcie, ale prehltnutím slín s obsahom monomérov ovplyvňovať aj celý ľudský organizmus.

Metodika: V tejto práci bolo stanovené množstvo nespolymerizovaných monomérov uvoľnených z vybraných kompozitných materiálov pripravených v tvare valčeka s výškou približne 2 mm s priemerom 3 mm, s hmotnosťou približne 0,05 g a vytvrdených – spolymerizovaných podľa postupu udávaného výrobcom. Následne boli kompozity ponorené do nestimulovane odobratých slín pri teplote 37 °C a množstvo uvoľnených monomérov stanovené v niekoľkých časových intervaloch. Na analýzu slín bola použitá technika vysokoúčinnnej kvapalinovej chromatografie s UV detektorom. Experimentálne bolo sledované, aké množstvo monomérov sa vyplaví do slín s postupujúcim časom od vytvrdnutia kompozitu.

Výsledky: V priebehu uvoľňovania monomérov z kompozitných materiálov do slín postupne vzrastá ich množstvo, rôzne monoméry sa vyplavujú v rôznych koncentračných hladinách. Najväčšie množstvo uvoľnených monomérov

bolo namerané z kompozitných materiálov obsahujúcich trietylénglykol-dimetakrylát, najmenej sa vyplavil nespolymerizovaný bisfenol-A-glycidyl-metakrylát.

Záver: Vzhľadom na pomerne vysoké hladiny uvoľnených monomérov je pri vývoji kompozitných materiálov dôležité monitorovať ich hladiny v slinách v prvých hodinách po aplikácii ako aj v dlhodobom časovom odstupe za účelom výroby biologicky kompatibilnejšieho kompozitu.

Kľúčová slova: kompozitná výplň, sliny, uvoľňovanie monomérov, chromatografia

SUMMARY

Introduction, aim: Composite materials used in dentistry are increasingly used for several reasons – aesthetics, hypersensitivity of some individuals to amalgam and concerns about the possible release of amalgam metals, and at the same time limiting its use due to the negative impact on the environment both during production and disposal. Composite materials consist of monomers, filler, polymerization initiation system and other substances that improve the properties of the filler. After application to the cavity, the filler material solidifies by a polymerization process which is initiated chemically, by light or dual. The conversion of monomers used in dentistry will never reach 100%, which is one of the weaknesses of these materials. Upon contact of the composite materials with water, alcohol as well as an acidic environment, it has been found that some components, such as non-polymerized monomers, can be gradually released from the composite. In the oral cavity, composite fillings are exposed to the constant action of saliva as well as food and beverages, which affect the release of composite components. They can cause local allergic reactions, but they can also affect the whole human body by swallowing saliva-containing monomers.

Methods: In this work, the amount of unpolymerized monomers released from selected composite materials, prepared in the shape of a cylinder with a height of approx. 2 mm and diameter of 3 mm, weighing approximately 0.05 g and cured – polymerised according

to the procedure specified by the manufacturer, was determined. Subsequently, the composites were immersed in unstimulated saliva at 37 °C and the amount of monomers released was determined at several time intervals. A high performance liquid chromatography with a UV detector was used for saliva analysis. The amount of monomers released into saliva over time from the curing of the composite was monitored.

Results: During the elution of monomers from composite fillers into saliva, their amount gradually increases, different monomers leach out at different concentration levels. The largest amount of released monomers was measured

from composite materials containing triethylene glycol dimethacrylate, while bisphenol A-glycidyl methacrylate was eluted in the smallest quantity.

Conclusion: Due to the relatively high levels of released monomers, it is important in the development of composite materials to monitor their levels in saliva in the first hours after application as well as in the long term in order to produce a more biologically compatible composite.

Key words: composite material, saliva, monomer release, chromatography

Tkáčiková S, Sabo J.

Dentálne kompozitné výplňové materiály ako možný zdroj toxické záťaže ľudského organizmu.

Čes stomatol Prakt zubní lék. 2021; 121(2): 48–54. doi: 10.51479/cspzl.2021.007

ÚVOD

Podľa údajov štúdie Carvalho a Schiffnera viac ako deväťdesiat percent dospelých obyvateľov Európy vo veku 35–44 rokov má poškodené tvrdé zubné tkanivá zubným kazom [1]. Zubný kaz sa tak stal najčastejšou chronickou chorobou vo svete, ktorá ovplyvňuje ako zdravotný stav jedinca, tak aj zdravotný systém jednotlivých štátov. Konzervačné ošetrenie zubov po odstránení poškodenej skloviny a dentínu pokračuje rekonštrukciou pôvodného anatomického tvaru zuba pomocou rôznych výplňových materiálov. Tieto materiály musia mať vhodné mechanické a fyzikálne vlastnosti, ale s dôrazom na ich biokompatibilitu s ľudským organizmom. Medzi prvé priame estetické náhrady patrili silikátové cementy, ktoré však neboli odolné voči prostrediu ústnej dutiny. Neplnené akrylátové živice, ktoré ich nahradili, síce vykazovali väčšiu rezistenciu voči ústnemu prostrediu, ale mali nízku mechanickú odolnosť, pri vytvrdzovaní výrazne kontrahovali a nevyhovovali ani biologickými vlastnosťami. V roku 1962 Bowen predstavil prvý výplňový kompozit s obsahom monoméru bisfenol-A-glycidyl-metakrylát a kremičitého plniva, ktorý tuhne radikálovou polymerizáciou. Súčasné kompozitné materiály sú zložené zo zmesi monomérov, plniva, iniciátorov polymerizácie a z ďalších látok zlepšujúcich vlastností výplňového materiálu. Výber monomérov výrazne ovplyvňuje reaktivitu, viskozitu, polymerizačnú kontrakciu, mechanické vlastnosti a absorpciu vody kompozitom. Za účelom vylepšenia aplikačných a mechanických vlastností kompozitov a zvýšenia stupňa konverzie pri polymerizácii sa často kombinujú v jednom kompozite rôzne monoméry. Tie sú následne svetlom alebo chemicky

polymerizované in situ. Stupeň konverzie sa v dentálnych kompozitných materiáloch pohybuje zvyčajne v rozsahu 55–77 % [2, 3, 4]. Najčastejšie používanými monomérmi vo výplňových materiáloch sú dimetakrylátové monoméry bisfenol-A-glycidyl-metakrylát (Bis-GMA), trietylénglykol-dimetakrylát (TEGDMA) a uretán-dimetakrylát (UDMA). Ďalšími používanými sú etoxylovaný Bis-GMA (Bis-EMA), dietylénglykol-dimetakrylát (DEGDMA), 1,6-hexándiol-dimetakrylát (HDDM), bisfenol-A-dimetakrylát (Bis-DMA) a ďalšie.

Biokompatibilita kompozitných materiálov sa pri ich každodennom používaní v stomatologickej praxi dostáva čoraz viac do povedomia. Toxické účinky monomérov boli potvrdené štúdiami na viacerých bunkových líniiach, vrátane ľudských gingiválnych fibroblastov. Zistilo sa, že citlivosť rôznych bunkových línii na rôzne monoméry je rôzna a je v korelácii s koncentráciou monomérov ako aj s dĺžkou kontaktu buniek s materiálom [5, 6]. Yoshii vo svojej štúdii in vitro na HeLa S3 bunkách pozoroval vyššiu cytotoxicitu akrylátov v porovnaní s metakrylátmi a dimetakrylátmi. Zároveň zistil, že prítomnosť hydroxylovej skupiny v štruktúre akrylátov a metakrylátov zvyšuje ich cytotoxicitu [7]. Al-Hiyasat a kol. v roku 2004 pozorovali 54,5% redukciu tehotenstiev myší po vstrebaní TEGDMA v intestinálnom trakte [8]. Darmani a kol. v roku 2006 tiež poukázal na výrazný toxický vplyv Bis-GMA a TEGDMA na reprodukčné orgány samíc myší po enterálnej aplikácii počas 28 dní [9]. V súčasnosti je potvrdené in vitro aj in vivo, že bisfenol A (BPA) pôsobí ako endokrinný disruptor. Napriek tomu, že samotný BPA nie je súčasťou dentálnych výplní, jeho deriváty, najčastejšie Bis-GMA, sú bežne používané. Viaceré štúdie potvrdili prítomnosť

Tab. 1 Prehľad použitých kompozitných materiálov na vytvorenie analyzovaných vzoriek
Tab. 1 Overview of composite materials used to create the analyzed samples

Materiál	Obchodný názov	Výrobca	Prítomnosť monoméru podľa MSDS
A	Charisma Classic	Kulzer GmbH, Nemecko	Bis-GMA TEGDMA
B	Grandio Flow	VOCO GmbH, Nemecko	1, 6-hexándiol-dimetakrylát Bis-GMA TEGDMA
C	GC Gaenial Anterior	GC EUROPE N.V., Belgicko	UDMA

reziduí BPA v slinách aj moči u niektorých pacientov, ktorým boli aplikované takéto materiály. Predpokladá sa, že zdrojom môžu byť reziduá pochádzajúce z procesu výroby ako aj degradácia derivátov, napríklad hydrolyza v prípade Bis-DMA [10].

Cieľom tejto práce bolo stanoviť vysokoúčinnou kvapalinovou chromatografiou množstvo nespolymerizovaných monomérov uvoľnených z vybraných kompozitných materiálov po ich vytvrdení podľa návodu výrobcu a následnom lúhovaní v nestimulovaných slinách v závislosti od dĺžky časovej expozície. Týmto chceme poukázať na dôležitosť monitorovania hladín uvoľnených monomérov v slinách pacienta v prvých hodinách po zhotovení kompozitných výplní pacientovi a zistiť, či by bolo možné znížiť množstvo monomérov prijatých pacientom v súvislosti s aplikáciou týchto materiálov.

METODIKA

Na testovanie množstva uvoľnených monomérov z kompozitných materiálov boli použité nestimulované sliny od probanda s intaktným chrupom, odobrané formou vyplývania do odberovej skúmavky. Proband bol poučený, aby minimálne tridsať minút pred odberom neprijímal žiadne potraviny ani tekutiny. Pokus bol schválený etickou komisiou UPJŠ LF (12N/2017).

Na sledovanie uvoľňovania monomérov boli vybrané tri kompozitné materiály od tieňa A2, pri ktorých bolo merané množstvo monomérov Bis-GMA, TEGDMA a UDMA. Charakteristika týchto materiálov podľa MSDS (Material Safety Data Sheet) je uvedená v **tabuľke 1**.

Z každého materiálu boli vytvorené tri vzorky v tvare valčeka s výškou približne 2 mm s priemerom 3 mm, s hmotnosťou 0,05 g, ktoré boli vytvrdené s použitím polymerizačnej lampy Woodpecker LED E (Guilin, Kuej-lin, China) so svetelným výkonom 1200 mW.cm⁻², čas ožarovania bol 20 sekúnd z jednej strany. Vzorky boli následne ponorené do jedného mililitra slín v sklenej skúmavke a vytrepávané na termomixéri pri teplote 37 °C v tme počas presne sledovaného časového intervalu. Vzorky A1, B1, C1 po dobu 1,5 hodín, vzorky A2, B2, C2 po dobu šiestich hodín a vzorky A3, B3, C3 po dobu 24 hodín. Po uplynutí sledovaného času boli vzorky zo slín odstránené a extrakty zmrazené na -80 °C. Pred ďalším spracovaním boli extrakty rozmrazené, proteíny v slinách vyvrážané acetonitrilom (Merck, Darmstadt, Nemecko) v chlade pri 4 °C po dobu 60 minút s občasným pretrepaním a následne odstránené centrifugáciou 20 minút pri preťažení 14 000 g (Boecore, Inc., Colorado Spring, CO 80903, USA). Supernatant s vyplavenými monomérmi bol prefiltrovaný použitím striekačkového mikrofíltra 0,2 µm, Phenex-NY (Phenomenex, Torrance, Kalifornia, USA).

HPLC PODMIENKY STANOVENIA

Chromatografická analýza bola uskutočnená metódou vysokoúčinnnej kvapalinovej chromatografie (HPLC) na systéme Agilent Technologies Infinity 1260 s UV detektorom MWD VL (USA) v gradientovom móde použitím mobilnej fázy A (MF A) v zložení acetonitril – metanol (Merck, Darmstadt, Nemecko) – voda (Merck, Darmstadt, Nemecko) v obje-

Tab. 2 Časový priebeh gradientu pre chromatografickú separáciu monomérov Bis-GMA, TEGDMA a UDMA metódou HPLC/UV

Tab. 2 Gradient profile for chromatographic separation of monomers Bis-GMA, TEGDMA and UDMA by HPLC/UV method

Čas	0 min	2 min	10 min	18 min	18-led	20 min
% MFB	0	0	80	80	0	0

Tab. 3 Hodnoty limitov detekcie (LOD) a limitov kvantifikácie (LOQ) pre stanovenie monomérov v slinách metódou HPLC/UV pri vlnovej dĺžke 227 nm**Tab. 3** Detection limit (LOD) and quantification limit (LOQ) values of monomers in saliva by HPLC / UV at 227 nm

	Bis-GMA	TEGDMA	UDMA
LOD [ng.ml ⁻¹]	1,42	26,13	20,16
LOQ [ng.ml ⁻¹]	4,73	86,91	83,33

movom pomere 1/1/2 v/v/v a mobilnej fázy B (MF B) v zložení acetonitril – metanol v objemovom pomere 1/1 v/v s prietokom 0,6 ml. min⁻¹. Všetky rozpúšťadlá boli čistoty gradient grade. Pribeh gradientu je zobrazený v **tabuľke 2**.

Chromatografická analýza bola uskutočnená pri kontrolovanej teplote 40 °C na analytickej kolóne Zorbax Eclipse AAA, 3×150 mm, s veľkosťou častíc 3,5 µm (Agilent Technologies Santa Clara, CA, USA), s objemom nástreku vzorky 20 µl. Na prípravu zásobných roztokov s koncentráciou monomérov 1 mg.ml⁻¹ v metanole boli použité štandardy Bis-GMA (Sigma Aldrich, Nemecko), TEGDMA (SPEX CertiPrep, San Francisco, USA) a UDMA (Sigma, Aldrich, Nemecko). Zásobné roztoky boli uskladnené v mrazničke pri teplote -18 °C a nevykazovali zmenu koncentrácie po dobu minimálne šiestich mesiacov. Pracovné roztoky na zostrojenie kalibračnej krivky boli pripravené zo zásobného roztoku nariadením do MF A v rozsahu od 50 ng.ml⁻¹ do 3000 ng.ml⁻¹. Monoméry boli detegované pomocou UV detektora pri troch vlnových dĺžkach, 204 nm, 227 nm, a 275 nm, pre kvantifikáciu bola použitá vlnová dĺžka 227 nm. Použitá metóda bola validovaná pre interné potreby laboratória. Výťažnosť extrakcie

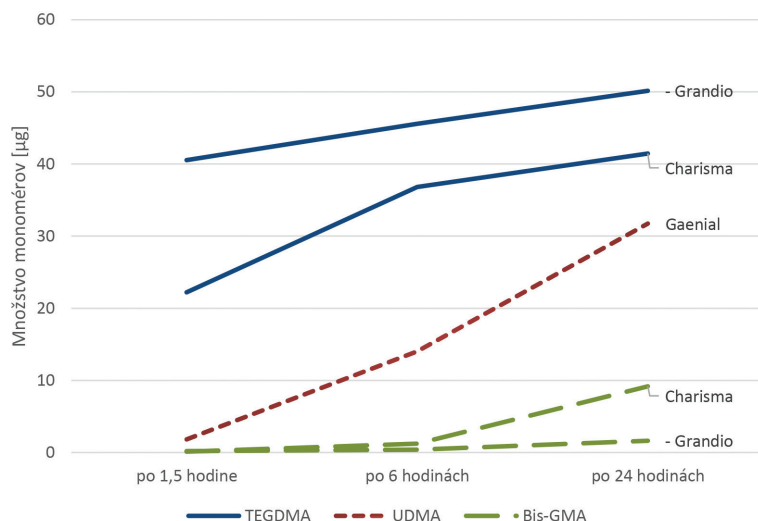
bola stanovená na 95–100 %. Limit detekcie (LOD) bol stanovený ako trojnásobok šumu základnej línie detektora a limit kvantifikácie (LOQ) ako desaťnásobok šumu základnej línie. Hodnoty LOD a LOQ pre jednotlivé monoméry sú uvedené v **tabuľke 3**.

Každý extrakt s vylúhovanými monomérmi bol po rozmrazení nezávisle nariadený trikrát, aby sa eliminovala chyba riedenia. Jeden z takto nariadených extraktov bol analyzovaný ihneď po nariadení, ostatné nariadené extrakty boli až do analýzy uskladnené pri teplote -20 °C. Bolo overené, že koncentrácia extrahovaných monomérov sa nemenila po celý čas uskladnenia, doba uskladnenia nepresiahla 15 dní. Každá vzorka bola meraná minimálne v dvoch rozdielnych dňoch na overenie opakovateľnosti merania. Na štatistické spracovanie výsledkov bol použitý Microsoft Excel, priemerné výsledky sú uvedené spolu so smerodajnou odchýlkou. Zároveň v každom sete analýz boli analyzované aj „slepé“ vzorky, tzv. blank samples. Pri meraniach bol opakovane zaradený tzv. prístrojový blank – injektovaním len samotného rozpúšťadla. Zároveň bola testovaná možná kontaminácia pri spracovaní vzorky spôsobená použitým materiálom a chemikáliami – extrakciou podľa celého extrakčného postupu

Tab. 4 Množstvá monomérov Bis-GMA, TEGDMA a UDMA vyplavených z kompozitných materiálov Charisma (vzorky A1–A3), Grandio (vzorky B1–B3) a Gaenial (vzorky C1–C3) do slín. Vzorky A1, B1, C1 extrahované po dobu 1,5 hod, vzorky A2, B2, C2 po dobu 6 hod a vzorky A3, B3, C3 po dobu 24 hod. Množstvá uvoľnených monomérov boli prepočítané na vzorku s hmotnosťou 0,05 g

Tab. 4 Amounts of Bis-GMA, TEGDMA and UDMA monomers leached from Charisma (samples A1–A3), Grandio (samples B1–B3) and Gaenial (samples C1–C3) composite materials into saliva. Samples A1, B1, C1 extracted for 1.5 hours, samples A2, B2, C2 for 6 hours and samples A3, B3, C3 for 24 hours. The amounts of monomers released were calculated on a sample of 0.05 g

Vzorka	Čas extrahovania vzorky v slinách [hod]	Množstvo eluovaného Bis-GMA [µg]	Smerodajná odchýlka [µg]	Množstvo eluovaného TEGDMA [µg]	Smerodajná odchýlka [µg]	Množstvo eluovaného UDMA [µg]	Smerodajná odchýlka [µg]
A1	1,5	0,12	0,01	22,2	0,3	-	-
A2	6	1,22	0,06	36,8	0,9	-	-
A3	24	9,17	1,22	41,5	0,7	-	-
B1	1,5	0,20	0,01	40,5	0,7	-	-
B2	6	0,40	0,03	45,6	1,8	-	-
B3	24	1,63	0,10	50,2	0,2	-	-
C1	1,5	-	-	-	-	1,8	0,0
C2	6	-	-	-	-	14,0	1,3
C3	24	-	-	-	-	31,7	0,7



Graf 1 Množství monomérů, uvolněných z kompozitních materiálů v závislosti od času extrakce (A – Charisma, B – Grandio, C – Gaenial) prepočítaných na vzorku s hmotnosťou 0,05 g

Graph 1 Amounts of monomers released from composite materials as a function of extraction time (A – Charisma, B – Grandio, C – Gaenial), calculated on a sample of 0.05 g

ako vzorky len s použitím rozpúšťadiel. Kvôli kontrole boli testované aj sliny probanda. Žiadne „blanky“ nevykazovali zvýšený signál oproti pozadiu v retenčných časoch, kedy eluujú sledované monoméry.

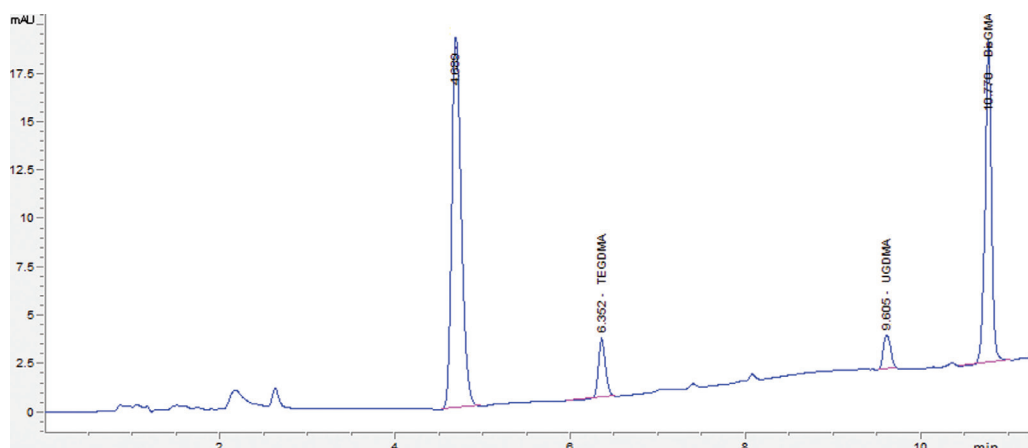
VÝSLEDKY

Počiatočná identifikácia monomérů bola uskutočnená na základe retenčných časov stanovených chromatografickou analýzou štandardných roztokov TEGDMA – 6,352 min, UDMA – 9,605 min a Bis-GMA – 10,770 min (**obr. 1**). Následne bola ich identita overená porovnaním absorbie pri troch vlnových dĺžkach ako aj metódou vnútorného prídavku. Kvantifikácia identifikovaných monomérů sa uskutočnila metódou externého štandardu pomocou kalibračnej krivky. Kalibračná krivka bola zostrojená na základe stanovenia plochy píku s korelačným koeficientom 0,994–0,998.

Množstvo identifikovaných monomérů vyplavených z jednotlivých vzoriek kompozitov v závislosti od času extrahovania v slinách je uvedené v **tabuľke 4**. Tieto hodnoty predstavujú množstvá uvolnených monomérů v µg prepočítané na množstvo uvolnené zo vzorky priemernej veľkosti s hmotnosťou 0,05 g, ktorá bola voľne obmývaná slinami zo všetkých strán. Súhrnné grafické spracovanie nameraných údajov je uvedené v **grafe 1**.

DISKUSIA

Z **grafu 1** je zrejmé, že množstvo vyplavených nespolymerizovaných monomérů do slín závisí nielen od typu monoméru, ale aj od samotného výrobcu kompozitného materiálu. Pri porovnaní množstva Bis-GMA monoméru vyplaveného zo vzoriek A3 a B3 po 24 hodinách lúhovania bol pozorovaný výrazný rozdiel. V prípade materiálu Charisma bolo množstvo uvoľneného monoméru po 24 hodinách päť celých šesťkrát vyššie než v prípade materiálu Grandio. Z porovnania hodnôt uvoľnených monomérů v slinách vyplýva, že monomér TEGDMA sa vyplavuje najvýraznejšie a to ihneď po polymerizácii. Z materiálu Charisma v priebehu prvých 1,5 hodín dochádza k vyplaveniu viac ako 50 % monoméru (v porovnaní s množstvom, ktoré sa uvoľní po extrakcii po 24 hodinách). V prípade materiálu Grandio je zaznamenané vyplavenie dokonca až viac ako 80 %. Monomér UDMA sa vyplavuje pomalšie v porovnaní s monomérom TEGDMA. Počas prvých hodín bolo detegovaných približne len šesť percent monoméru, po šiestich hodinách približne 44 % z množstva, ktoré sa vyplaví za 24 hodín. Nárast elúcie UDMA je stále výrazný až do 24 hodín od vytvrdnutia kompozitného materiálu. Pri porovnaní celkového vyplaveného množstva nespolymerizovaných monomérů po 24 hodinách, množstvo monomérů Bis-GMA bolo výrazne nižšie ako pri monoméroch TEGDMA a UDMA. Pri kompozitoch, ktoré obsahovali oba monoméry, TEGDMA aj Bis-GMA, sa množstvo vyplaveného Bis-GMA pohybovalo v rozsahu 3–22 % oproti uvoľnenému množstvu TEGDMA. Avšak pri vplyve na organizmus je potrebné tiež zvážiť fakt, že v rade monomérů toxicita rastie od TEGDMA < UDMA < Bis-GMA [4, 5]. Najvýraznejšia elúcia monoméru Bis-GMA bola pozorovaná v čase medzi 6–24 hodín od vytvrdnutia kompozitu. Tieto pozorovania potvrdzujú, že TEGDMA ako menšia molekula oproti Bis-GMA a UDMA vykazuje vyššiu mobilitu, a je teda z materiálu vyplavená rýchlejšie [11]. Vzhľadom na to, že vymývanie monomérů z kompozitného materiálu v našom experimente bolo po celej jeho ploche, navyše neožarovaná časť v prípade zubnej výplne nie je v kontakte so slinami, ale dentínom, predpokladáme, že reálne hodnoty, ktoré prijme pacient, budú nižšie. Avšak niektoré štúdie poukazujú aj na možnosť prechodu monomérů do tela pacienta cez dentín [12, 13]. Metaanalýza Van Landuyta a kol. z údajov 72 vedeckých článkov potvrdila štatisticky významnú koreláciu medzi objemom extrakčného roztoku



Obr. 1
Chromatogram roztoku
standardov monomérov
Bis-GMA, TEGDMA a UDMA
s koncentráciou 1 $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$
s detekciou pri vlnovej dĺžke
227 nm

Fig. 1
Chromatogram of the
monomer standards solution
Bis-GMA, TEGDMA and UDMA
with a concentration of
1 $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$, detection at 227 nm

a množstvom uvoľnených monomérov [14]. Situácia v ústnej dutine predstavuje systém s kontinuálnym prísunom rozpúšťadla - slín, takže z tohto hľadiska množstvo uvoľnených monomérov môže byť naopak vyššie.

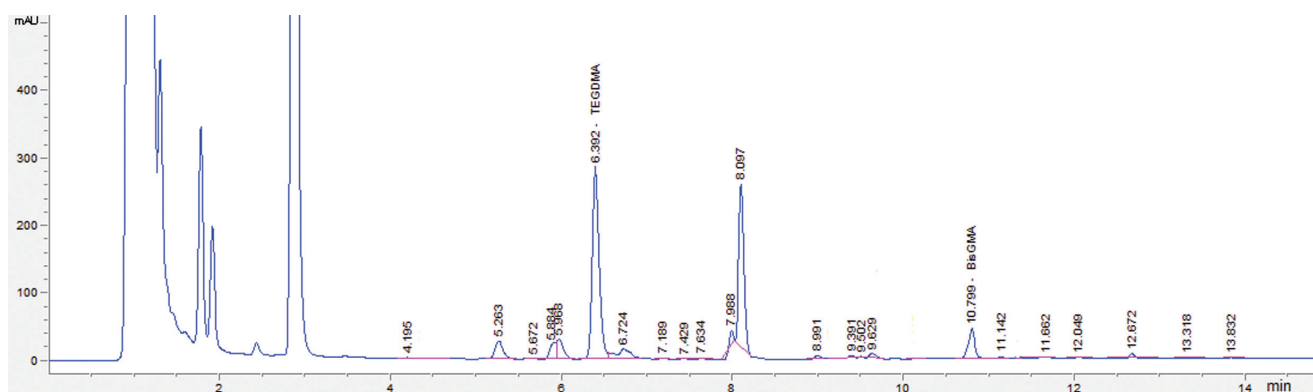
Z hľadiska kontroly potravín sú v členských krajinách EÚ legislatívne stanovené hodnoty najvyšších prípustných množstiev vybraných cudzorodých látok a ich hladiny sú pravidelne sledované ako samotnými producentami potravín, tak aj nezávislými kontrolnými orgánmi na základe štátnych objednávok. Keďže prehĺtané sliny s uvoľnenými monomérmi sa dostávajú do ľudského organizmu podobne ako potraviná, je potrebné aj tieto množstvá sledovať. Ak by boli bežne k dispozícii nezávisle získané údaje o množstve uvoľňovaných monomérov do slín v priebehu prvých 24 hodín z komerčne vyrábaného kompozitu, lekári, ako aj samotní pacienti by takouto informáciou získali ďalší ukazovateľ na jeho výber. V prípade pacientov, ktorým je nutné aplikovať väčšie množstvo kompozitných výplní v krátkom časovom slede, okrem charakteristík kompozitu z dentálneho hľadiska by bolo vhodné brať do úvahy aj zastúpenie jed-

notlivých monomérov a tým znížiť vplyv týchto materiálov na ľudský organizmus. V snahe znížiť množstvo prijatých vyplavených monomérov Sasaki a kol. zistili, že kloktanie teplou vodou 30 sekúnd po aplikácii výplne môže znížiť množstvo vyplaveného Bisfenolu A (BPA) [15]. Rueggeberg a kol. a Komurcuoglu a kol. uvádzajú, že keď sa po vytvrdnutí výplne obrúsil jej povrch pempou, tak sa výrazne eliminovalo množstvo reziduí monomérov, vyskytujúcich sa najviac na povrchu výplne, kde je najväčší kontakt so vzdušným kyslíkom, inhibujúcim polymerizáciu [16, 17]. V štúdiu Pongprueksa a kol. pozorovali signifikantne vyššie množstvá eluovaných monomérov z tzv. bulk-fill kompozitných materiálov, než materiálov s konvenčnou vrstviacou technikou [18].

Podľa Van Landuyt a kol. sa množstvá uvoľnených monomérov uvedených v sledovaných článkoch líšili v rozsahu až stotisíckrát medzi minimálnou a maximálnou namernou hodnotou, čo bolo najviac ovplyvnené typom materiálu, technikou spracovania pred samotným lúhovaním, ďalej lúhovacím roztokom ako aj analytickou technikou [14].

Obr. 2
Chromatogram slín po
extrakcii kompozitu Charisma
s pozitívnym nálezom
TEGDMA a Bis-GMA
s detekciou pri vlnovej dĺžke
227 nm

Fig. 2
Chromatogram of a saliva
after extraction of Charisma
composite with a positive
finding of TEGDMA and
Bis-GMA, detection at 227 nm



Z tohto dôvodu množstvo monomérov, ktoré by sa stanovilo priamo v slinách pacienta, môže poskytnúť reálnejší odhad (**obr. 2**).

ZÁVER

Aplikácia dentálnych kompozitných materiálov v ústnej dutine sa dnes týka väčšiny populácie. Vzhľadom na fakt, že stupeň konverzie monomérov nikdy nie je úplný, časť nespolymerizovaných monomérov sa dostáva priamo do slín pacienta. Toto množstvo môže spôsobovať toxickú záťaž pacienta pri ich prehltaní, ale aj dráždenie sliznice ústnej dutiny v dôsledku alergických reakcií citlivých jedincov. Pri výbere vhodného kompozitu je preto dôležité klásť dôraz na jeho zloženie, ale aj na optimalizáciu podmienok polymerizácie s dosiahnutím čo najvyššieho stupňa konverzie. V nadväzujúcej práci sa chceme zamerať na množstvo monomérov prítomných v slinách pacientov v prvých minútach

po aplikácii kompozitnej výplne ako aj po dlhšom časovom odstupe od aplikácie.

Podakovanie

Za odborné rady a konzultácie MUDr. Vladimíre Schwartzovej, PhD., MPH, z Kliniky Stomatológie a maxilofaciálnej chirurgie UPJŠ LF a UN LP, Rastislavova 43, Košice.

Štúdia vznikla za podpory grantu Vega 1/0196/20 a Európskeho fondu regionálneho rozvoja, kód ITMS2014+: 313011V446.

RNDr. Soňa Tkáčiková, PhD.

Ústav lekárskej a klinickej biofyziky
Lekárska fakulta Univerzity P. J. Šafárika
Tr. SNP 1, 040 11 Košice
Slovenská republika
e-mail: sona.tkacikova@upjs.sk

LITERATÚRA

1. Carvalho JC, Schiffner U.

Dental Caries in European Adults and Senior Citizens 1996–2016: ORCA Saturday Afternoon Symposium in Greifswald, Germany – Part II, Caries Res. 2019; 53: 242–252.

2. Lempel E, Czibulya Z, Kunsági-Máté S, Szalma J, Sümegi B, Böddi K.

Quantification of conversion degree and monomer elution from dental composite using HPLC and Micro-Raman spectroscopy. Chromatographia. 2014; 77(17–18): 1137–1144.

3. Lempel E, Czibulya Z, Kovács B, Szalma J, Tóth Á, Kunsági-Máté S, Varga Z, Böddi K.

Degree of conversion and Bis-GMA, TEGDMA, UDMA elution from flowable bulk fill composites. Int J Mol Sci. 2016; 17(5): 732.

4. Gupta SK, Saxena P, Pant AV, Pant AB.

Release and toxicity of dental resin composite. Toxicol Int. 2012; 19(3): 225–234.

5. Reichl FX, Esters M, Simon S, Seiss M, Kehe K, Kleinsasser N.

Cell death effects of resin-based dental material compounds and mercurials in human gingival fibroblasts. Arch Toxicol. 2006; 80: 370–377.

6. Geurtsen W, Lehmann F, Sphal W, Leyhausen G.

Cytotoxicity of 35 dental resin composite monomers/additives in permanent 3T3 and three human primary fibroblasts cultures. J Biomed Mater Res. 1998; 41: 474–480.

7. Yoshii E.

Cytotoxic effects of acrylates and methacrylates: relationships of monomer structures and cytotoxicity. J Biomed Mater Res. 1997; 37: 517–524.

8. Al-Hiyasat AS, Darmani H, Milhem MM.

Cytotoxicity evaluation of dental resin composites and their flowable derivatives. Clin Oral Invest. 2005; 9: 21–25.

9. Darmani H, Al-Hiyasat AS.

The effect of Bis-GMA and TEG-DMA on female mouse fertility. Dent Mater. 2006; 22: 353–358.

10. Dursun E, Fron-Chabouis H, Attal JP, Raskin A.

Bisphenol A release: Survey of the composition of dental composite resins. Open Dent J. 2016; 10: 446–453.

11. Cebe MA, Cebe F, Cengiz MF, Cetin AR, Arpag OF, Ozturk B.

Elution of monomer from different bulk fill dental composite resins. Dent Mater. 2015; 31(7): e141–149.

12. Gerzinaab TM, Humeab WR.

Diffusion of monomers from bonding resin-resin composite combinations through dentine in vitro. J Dent. 1996; 24(1–2): 125–128.

13. Ciucchi B, Bouillaguet S, Holz J, Pashley D.

Dentinal fluid dynamics in human teeth, in vivo. J Endod. 1995; 21(4): 191–194.

14. Van Landuyt KL, Nawrot T, Geebelen B, De Munck J, Snauwaert J, Yoshihara K, Scheers H, Godderis L, Hoet P, Van Meerbeek B.

How much do resin-based dental materials release? A meta-analytical approach. Dent Mater. 2011; 27(8): 723–747.

15. Sasaki N, Okuda K, Kato T, Kakishima H, Okuma H, Abe K, Tachino H, Tachida K, Kubono K.

Salivary bisphenol-A levels detected by ELISA after restoration with composite resin. J Mater Sci Mater Med. 2005; 16(4): 297–300.

16. Rueggeberg FA, Dlugokinski M, Ergle JW.

Minimizing patients' exposure to uncured components in a dental sealant. J Am Dent Assoc. 1999; 130(12): 1751–1757.

17. Komurcuoglu E, Olmez S, Vural N.

Evaluation of residual monomer elimination methods in three different fissure sealants in vitro. J Oral Rehabil. 2005; 32(2): 116–121.

18. Pongprueksa P, De Munck J, Duca RC, Poels K, Covaci A, Hoet P, Godderis L, Van Meerbeek B, Van Landuyt KL.

Monomer elution in relation to degree of conversion for different types of composite. J Dent. 2015; 43(12): 1448–1455.

SOUHRN POZNATKŮ O 3D TISKU A JEHO VYUŽITÍ V ZUBNÍM LÉKAŘSTVÍ

Přehledový článek

SUMMARY OF KNOWLEDGE ABOUT 3D PRINTING AND ITS USE IN DENTISTRY

Review article

Savková N.^{1,2}, Harvan L.¹, Jusku A.¹, Saygili S.³, Jezdinská K.⁴, Hulvert J.⁵

¹I. stomatologická klinika UPJŠ LF a UN LP, Košice

²Klinika zubního lékařství, Lékařská fakulta Univerzity Palackého a Fakultní nemocnice, Olomouc

³Lékařská fakulta, Istanbul University, Turecko

⁴Soukromá ambulance, Brusel, Belgie

⁵Soukromá zubní klinika 3DK, Praha

SOUHRN

Úvod a cíl: Množství publikací a investic do 3D tisku jsou důkazem nárůstu zájmu o tuto výrobní metodu. Za objevitele s prvním patentem v oboru se považuje Američan Charles W. Hull. Principem 3D tisku je tisk žádaného předmětu ve vrstvách na základě jeho předlohy, nejčastěji ve formátu .stl (stereolitografie). Existuje sedm základních technologických procesů tisku, pět z nich má využití v zubním lékařství. Text se blíže zabývá třemi nejčastěji využívanými metodami Vat Polymerisation, Material Extrusion a Powder Bed Fusion. Ve stomatologii má strojová aditivní výroba významnou úlohu již delší dobu. Zejména v implantologii pro tisk chirurgických šablon a v ortodoncii pro tisk studijních modelů a takzvaných neviditelných rovnátek. Aditivní výroba umožňuje také tisk retenčních aparátů a usnadňuje autotransplantace zubů, přičemž postupně získává na důležitosti i v jiných sektorech stomatologie, jako v konzervačním zubním lékařství při dostavbě IV. Blackovy třídy, v navigované endodoncii a také v protetickém zubním lékařství při tisku kovových konstrukcí a dalších komponent, ať již ve fixní, nebo snímatelné protetice v zubní laboratoři. Mezi aktuální aplikace patří také tisk příslušenství, jako například ochranných masek a štítů, nebo tisk 3D modelů skutečných zubů a demonstračních modelů za účelem zlepšení pregraduálního, postgraduálního a kontinuálního vzdělávání. V medicíně se tisk používá například pro výrobu biomateriálů. Využití je tedy rozsáhlé a vliv 3D tisku na stomatologii nezpochybnitelný. Nedostatků tisku jsou podrobovány neustálému výzkumu a je tedy jenom otázka, kdy a do jaké míry nahradí konvenční postupy.

Cílem tohoto přehledového článku bylo roztřídit základní informace o 3D tisku týkající se jeho historie, principu a typech tisku, ale hlavně shrnout jeho užití v zubním lékařství.

Klíčová slova: 3D tisk, aditivní výroba, řízená implantologie, transparentní ortodontické dlahy, estetické prodloužení korunek, 3D tištěné zubní modely, vzdělávání

SUMMARY

Introduction, aim: The rise of research papers and investments made into 3D printing are the proof of the increased interest about this manufacturing method. The American Charles W. Hull is considered to be the inventor with the first patent in the field. The principle of 3D printing is printing the desired item in layers according to its template, most often present in .stl format. There are seven main technological processes of 3D printing, five of them are used in dentistry. Text deals with the three methods that are used the most: Vat Polymerisation, Material Extrusion and Powder Bed Fusion. In dentistry, additive manufacturing already has an important role for a longer period of time especially in implantology for the printing of surgical guides and in orthodontics for printing of study models and so-called invisible aligners. Additive manufacturing also allows to print retention appliances, and it facilitates the autotransplantation of teeth, while its importance is slowly rising in other sectors of dentistry such as in conservative dentistry in Class IV reconstruction or in guided endodontics and in prosthetic dentistry for printing of metal substructures and other components either in fixed or removable prosthetics in dental laboratory. Printing of accessories such as protective masks and face-shields or printing of 3D models of the real teeth and demonstration models in order to improve undergraduate, postgraduate and continuous education are among current applications. In medicine the printing is used for example for the production of biomaterials. The range of applications is therefore vast and the impact of 3D

printing on dentistry is unquestionable. Shortcomings of printing are undergoing constant research and therefore it is just a matter of time until 3D printing will replace the conventional methods. The objective of this review paper was to sort the basic information about 3D printing with regards to its history, principle and types of printing but more importantly to summarise its use in dentistry.

Key words: 3D printing, additive manufacturing (AM), guided implantology, guided endodontics, clear aligner therapy (CAT), guided crown lengthening, 3D printed dental models, education

Savková N, Harvan L, Jusku A, Saygili S, Jezdinská K, Hulvert J.
Souhrn poznatků o 3D tisku a jeho využití v zubním lékařství.
Čes stomatol Prakt zubní lék. 2021; 121(2): 55–64. doi: 10.51479/cspzl.2021.008

ÚVOD A CÍL PRÁCE

Třidimenzionální (3D) tisk představuje technologický postup, při kterém je produkt tištěný ve vrstvách. Tento proces je nazýván také strojovou aditivní výrobou (additive manufacturing) nebo pevnou volno-tvarovou výrobou (solid freeform fabrication). Zájem o tuto technologii prokazuje především nárůst vědeckých publikací a velikost trhu, který se této problematice věnuje.

Podle Nesice a kol. se množství publikovaných článků na téma 3D tisk v zubním lékařství za poslední desetiletí značně zvýšilo, s počtem 139 publikovaných článků a 1800 citací v roce 2019 [1]. Aditivní výroba získala významnou popularitu a v posledních letech nabyla jak na objemu trhu, tak na aplikacích. Podle Wohlersovy zprávy se objem trhu zvyšuje každým rokem o 33 %. Také uvádí, že 3D tisk se rozšířil do všech průmyslových odvětví, přičemž využití v zubním lékařství a medicíně pokrývá 16 % veškerého objemu [2, 3].

Cílem tohoto přehledového článku je rozřadit základní informace o 3D tisku týkající se historie, principu a typech tisku, ale hlavně shrnout jeho využití v zubním lékařství.

VYNÁLEZ

První zařízení a materiály na aditivní výrobu byly vyvinuty na začátku osmdesátých let minulého století [4]. V roce 1984 se nápadu 3D tisku poprvé věnuje skupina tří francouzských vědců – Jean-Claude André, Alain le Méhauté a Olivier de Witte [5]. Patent na stereolitografii získal v roce 1986 Američan Charles W. Hull. Pracoval v té době jako zaměstnanec firmy, která používala ultrafialové světlo k polymeraci tenkých vrstev plastových dýh na stolní desky a nábytek. Uvědomil si, že pokládáním mnoha velmi tenkých vrstev plastu na sebe by dokázal vymodelovat trojrozměrný objekt. Svůj vynález popisuje jako systém pro vytváření trojrozměrných objektů spojením velkého množství průřezů

cíleného objektu [6, 7]. O pouhé dva roky později vznikají nezávisle na sobě další dvě metody využívané při 3D tisku. První je Selective Laser Sintering (SLS), která byla objevena Carlem Deckardem [8]. Poslední metoda, která dala základ modernímu 3D tisku, je Fused Deposition Modeling (FDM), patentována Stevenem Scottem Crumpem [9].

PRINCIP 3D TISKU

Přestože koncept 3D tisku je poměrně jednoduchý, jednotlivé technologické fáze celého procesu jsou komplexní a zahrnují více rozličných stadií. Prvním krokem je naskenování či vymodelování daného předmětu díky computer-aided design (CAD) softwaru neboli programu na počítačem podporované navrhování. Dalším krokem je exportování daného designu do 3D souboru, který je zpravidla ve stereolitografickém neboli .stl formátu. Této zkratce bylo později připsáno více termínů, jako standard tessellation language, surface tessellation language, standard triangle language, solid-to-layer, nebo také standard template library. Po dokončení těchto kroků se STL soubor musí zpracovat pomocí softwaru „slicer“, který převede model na řadu tenkých vrstev a vytvoří G-kód soubor obsahující instrukce uzpůsobené konkrétnímu typu 3D tiskárny. Tento G-kód je pak vytištěn za použití uživatelského softwaru, který dokáže informace načíst a využít k instrukcím 3D tiskárny v průběhu výrobního procesu. Po vytištění produktu následuje fáze následného zpracování neboli post-processing, jehož úkolem je příprava předmětu k použití [10]. Jako příklad této fáze můžeme uvést máčení vytištěného produktu v izopropylalkoholu (Form Wash) za účelem odstranění nepolymerizované nebo jen částečně polymerizované pryskyřice, nebo také setrvávání produktu v zařízení zvaném Form Cure s cílem dosažení maximální tvrdosti u tiskáren značky Formlabs® (Form 3) a Prusa3D®

Tab. 1 Sedm základních technologických procesů 3D tisku

Tab. 1 Seven main 3D printing technological processes

Vat polymerisation „Kádová polymerace“	SLA (Stereolithography) DLP (Digital light processing) CDLP/CLIP (Continuous digital light processing)
Material extrusion „Vytlačování materiálu“	FDM (Fused deposition modelling)
Powder bed fusion „Spékání práškové vrstvy“	MJF (Multi jet fusion) SLS (Selective laser sintering) SLM/DMLS (Selective laser melting) EBM (Electron beam melting)
Material jetting	MJ (Material jetting) NPJ (Nano particle jetting) DOD (Drop on demand)
Binder jetting	BJ (Binder jetting)
Direct energy deposition	LENS (Laser engineering net shape) EBAM (Electron beam additive manufacture)
Sheet lamination	LOM (Laminated object manufacturing)

(Original Prusa S 11) využívající principu stereolitografie. Délka jednotlivých etap a teplota, při kterých se tyto procesy dějí, musí vždy odpovídat doporučení výrobce. U některých typů tiskáren následuje odstranění podpurných struktur neboli podpěr, které slouží jako opora vystouplých či převislých částí tištěného předmětu. Tiskárna nemůže tisknout „do vzduchu“, nepodložené části předmětu by se zdeformovaly [11, 12].

HLAVNÍ METODY 3D TISKU

Popisuje se následujících sedm základních technologických procesů 3D tisku, přičemž prvních pět má využití v zubním lékařství (**tabulka 1**). Níže jsou popsány některé z nejdůležitějších procesů výroby v zubním lékařství [10].

„Kádová polymerace“

(Vat polymerisation) – SLA, DLP a CDLP

Základním principem stereolitografie (SLA) je využití fotosenzitivní pryskyřice. Po vystavení ultrafialovému záření určité vlnové délky exponované dvourozměrné vzory tuhnou a postupným skládáním na sebe vzniká trojrozměrný objekt. Po dokončení polymerace první vrstvy se platforma posune o vrstvu výš nebo níž, záleží na typu tiskárny. Cyklus tisku se několikrát opakuje, čímž se vytvoří další dílčí vrstvy, až nakonec vznikne celý požadovaný trojrozměrný objekt. Velkou výhodou oproti jiným metodám je schopnost tisku z kvalitních materiálů, což umožňuje tisk detailnějších a propracovanějších předmětů [13, 14]. Jako u mnoha dalších 3D technologií i tato vyžaduje přítomnost podpurných struktur. Podpěry jsou tištěné ze stejného materiálu jako samotný předmět a jsou

manuálně odstraněny po vytištění. SLA tisk dosahuje detailnějších výsledků v porovnání s níže popisovaným typem tisku (FDM), ale je časově náročnější [15].

„Vytlačování materiálu“

(Material extrusion) – FDM

Tyto tiskárny fungují na principu extruze zahřátého termoplastického vlákna a jeho ukládání na podložku, čímž se vytváří jednotlivé vrstvy, které se kladou jedna na druhou, a tím postupně vzniká trojrozměrný objekt. Po vytištění jsou patrné jednotlivé vrstvy materiálu. Výtisk tedy není tak detailní jako u výše uvedené SLA metody. Pokud přepokládáme pevnost výrobku, je důležité si rozmyslet, jaká bude orientace modelu na podložce. Výtisk má totiž menší pevnost ve směru rovnoběžném s vrstvami než kolmo na vrstvy. Z vytištěného objektu je nutné odstranit podpurné struktury, pokud si je design předmětu vyžadoval. U některých novějších typů tiskáren jsou tyto struktury rozpustné, čímž je dosaženo hladšího výsledného povrchu. Další fáze následného zpracování, jako je úprava povrchu leštěním nebo barvením, nejsou povinné. Tato metoda je vhodná zejména pro tisk prototypů [10, 15].

„Spékání práškové vrstvy“

(Powder bed fusion) – MJF, SLS, SLM/DMLS, EBM

Selective laser sintering (SLS) je technika založená na zpracovávání prášku. Prášek je selektivně spájen laserovým paprskem tak dlouho, dokud spojením jednotlivých vrstev nedojde k vytvoření 3D objektu. Klíčovou výhodou této metody však je, že na rozdíl od SLA nebo FDM nejsou zapotřebí podpěry,

neboť tištěný objekt se nachází po dobu tisku v prášku. Nevyhnutelnou součástí následného zpracování je odstranění volného prášku z produktu. Tento typ tisku je vhodný pro výrobu produktů vyžadujících pevnost a komplexní geometrii [13, 15, 16].

VYUŽITÍ V ZUBNÍM LÉKAŘSTVÍ

Mezi hlavní obory, kde se 3D tisku využívá, patří medicína, letectví, architektura, stavitelství, móda, potravinářství a farmakologie. Další odvětví postupně přibývají. Jedním z hlavních důvodů, proč k tomu dochází, je, že se tato technologie stává stále více dostupnou díky expiraci předešlých patentů. Tím mají výrobci možnost vyvíjet nové 3D tiskárny. Nedávný rozvoj způsobil také snížení cen tiskáren a rozšířil jejich aplikaci v různých odvětvích [13, 17–25].

Využití v zubním lékařství je stále širší, přičemž někdy je možné ihned zhotovit finální produkt a někdy pouze meziprodukt. Pro přehlednost jsou uvedeny veškeré dnes nám známé aplikace v **tabulce 2**. Příklady užití zachycuje obrazová dokumentace (**obr. 1–7**).

Konzervační zubní lékařství

V konzervačním zubním lékařství je vhodné použití pryskyřičných indexů při pří-

mých kompozitních dostavbách. Například při traumatu, zvláště ve frontálním úseku, je zhotovení pryskyřičného klíče na základě scanu vyrobeného ještě před úrazem poměrně jednoduché a velmi praktické. V případě, že původní scan nemáme k dispozici, je možné vymodelovat virtuální wax-up, podle kterého se pak navrhne a vytiskne transparentní klíč z pryskyřice, který ulehčí realizaci přímé kompozitní dostavby. Podobný postup může být použit i při náhradě starších barevně nevyhovujících výplní ve frontálním úseku [10].

V klinické endodoncii nachází aditivní výroba aplikaci při resekci kořenového hrotu a u trepanace kosti. Šablony, které jsou tištěné pomocí 3D technologie, mohou být užitečnou úsporou času u kanálků s neobvyklými anatomickými variacemi či kalcifikacemi [26–31]. V klinické studii autorů Van der Meer a kol. byly digitální technologie využity pro ošetření horního centrálního řezáku s obliterovaným kořenovým kanálkem. Pacientovi byl zhotoven intraorální digitální otisk (.stl) a CBCT (Cone Beam Computed Tomography) a pomocí prohlížeče DICOM byly následně spojeny do jednoho souboru. Na základě těchto dat vytvořili autoři přístupovou šablonu na zabezpečení trepanace kanálku ve správném směru bez perforací [32].

Tab. 2 Využití 3D tisku v zubním lékařství

Tab. 2 The use of 3D printing in dentistry

Využití 3D tisku v zubním lékařství (ZL)	Konzervační ZL	navigovaná endodoncie, vedená resekce kořenového hrotu dostavba BI.IV třídy u traumatu nebo výměny již přítomné výplně pomocí pryskyřičného indexu dlahy na bělení zubů
	Čelistní ortopedie (ortodoncie)	studijní modely série průhledných dlah retenční dlahy a retenční aparáty šablony na přímé a nepřímé lepení zámečků šablony pro zavedení dočasných kotvicích zařízení (temporary anchorage devices, TADs) individualizované zámečky a vedoucí šablony při chirurgii impaktovaných/retinovaných zubů (snímatelné aparáty, aparáty na spánkovou apnoe – ve výzkumu)
	Dentoalveolární a maxilofaciální chirurgie	plánování ortognátních operací (např. adaptace a ohýbání chirurgických platniček používaných při rekonstrukci na modelu před zákrokem, interdisciplinární komunikace) lešení (scaffolds) při vedené kostní regeneraci (guided bone regeneration, GBR) maxilofaciální implantáty repliky zubů při autotransplantaci
	Implantologie a parodontologie	šablony na zavádění implantátů, miniimplantátů, šablony na kostní augmentaci estetické prodloužení korunky – šablony na provedení gingivektomie/ostektomie a osteoplastiky (individualizované implantáty – ve výzkumu)
	Protetické ZL	studijní modely provizorní korunky, můstky, mock-up šablony na preparaci zubů individuální otiskovací lžice částečné i celkové náhrady okluzní dlahy proti bruxismu kovové struktury, jako substruktura nebo suprastruktura na implantáty kovové části skeletových náhrad nebo výztuže parciálních náhrad
	Příslušenství	masky, štíty, savka na aerosol individualizovaný držák na fyziologický roztok a jiné
	Vzdělávání	3D tištěné endodontické modely zubů 3D tištěné zuby na preparaci 3D tištěné kosti lebky na nácvik chirurgických zákroků demonstrační modely

Ortodoncie

Jednou z nejčastějších aplikací 3D tisku je výroba anatomických studijních modelů, která je v současnosti široce užívána zejména v ortodontii [33]. Daná data lze digitálně uschovat a vytisknout pouze v případě potřeby. To vede k velkým úsporám prostor, které jsou nezbytné pro skladování fyzických modelů [3]. Využitím digitálních dat získaných intraorálními nebo extraorálními skenery, popřípadě CBCT, lze plánovat léčbu nebo také vyrobit ortodontický aparát [33]. Digitálním plánováním změn pohybu zubů a navrhováním individualizovaných zámečků a jejich přesným umístěním pomocí 3D šablon je možné získat preferované výsledky ošetření. Taktéž snímatelné ortodontické aparáty, jako Andersen a aparáty na spánkovou apnoe, mohou být vyrobené pomocí aditivní výroby, která zaručuje jejich uspokojivý dosed [33].

Změnou v ortodontii bylo zavedení léčby průhlednými dlahami (clear aligner therapy, CAT). Jako první představila své počítačem navrhované průhledné dlahy zvané Invisalign® společnost Align Technology (Align Technology Inc., San Jose, California, USA) již v roce 1998 [10]. Systém Invisalign® umožňuje po naskenování digitálně postavit zuby pacienta do ideálního oblouku [1]. Na základě 3D tištěných modelů se následně vyrobí série průhledných rovnátek, které postupně mění postavení zubů do požadované polohy. Tyto dlahy se doporučuje nosit minimálně 20 hodin denně po dobu 7–14 dnů a poté jsou vyměněny za další v sérii [34]. Invisalign® (Align Technology Inc., San Jose, California, USA,) je dnes však jen jeden z mnoha typů fólií pracujících na tomto principu [35].

Příkladem tisku s využitím více než jednoho typu materiálu mohou být dlahy používané k nepřímé aplikaci zámečků, které se tisknou jak z rigidního, tak z flexibilního materiálu pro přesné umístění zámečků [36]. Šablony na zavedení dočasných kotvicích zařízení (temporary anchorage devices, TADs) mohou také hrát v budoucnu významnou roli [37, 38].

Nevyhnutelnou součástí ortodontické léčby je retenční aparát. Existuje mnoho různých aparátů, které ji umožňují. Jednou z možností po použití Invisalign® léčby jsou průhledné retenční dlahy s názvem Vivera® (Align Technology Inc., San Jose, California, USA). Ty jsou vytvářeny podobným procesem jako průsvitné dlahy Invisalign, mohou být vakuově vyprodukované na základě 3D modelu .stl souboru vytvořeného buď podle plánovaných pohybů v CAD softwaru, nebo na základě scanu po ukončení



Obr. 1
Čerstvý výtisk okluzální dlahy s přítomnými podpurnými strukturami před post-processingem

Fig. 1
Freshly printed occlusal splint with its support structures before the post-processing

léčby [10]. Technologie 3D také umožňuje tisk fixních a snímatelných retenčních aparátů [39]. 3D tisk byl také využit při tvorbě individuálních ortodontických zámečků u terapie impaktovaných špičáků, které vyžadovaly chirurgickou intervenci. Nagib a kol. na základě CBCT vytvořili individualizovaný ortodontický biokompatibilní zámek z pryskyřice. Při designování zámečku byla vzata v úvahu pozice impaktovaného zubu, pokrytí kostí a směr dlouhé osy se snahou usnadnit chirurgickou intervenci. Báze zámečku byla uzpůsobena na palatinální stranu špičáku, aby došlo k vytvoření dobré adheze a minimalizaci selhání po dobu ortodontické trakce [40].

Podobný postup zvolili Faber a kol., kteří však vytiskli zámeček z kovu. V tomto případě byl vytištěn také celý model horní čelisti, který byl použit jak na diagnostiku, tak na plánování zákroku.

Chirurgie, implantologie a parodontologie

Cone beam computed tomography (CBCT) se stala široce dostupnou technologií v ordinacích zubních lékařů, která pomáhá upřesnit diagnostiku a léčbu [41, 42]. Po analýze tohoto 3D snímku v plánovacím softwaru získáváme virtuální model s ideální pozicí

Obr. 2a
Vodící šablona připravená v horní čelisti na gingivektomii laserem

Fig. 2a
Maxillary guide prepared for laser gingivectomy





Obr. 2b
Peroperační pohled, nalevo
už byl zákrok proveden,
napravo ne

Fig. 2b
Peroperative view, with
the surgery having been
performed on the left,
not yet on the right side

implantátu, kterou můžeme přenést pomocí 3D tištěné šablony do úst pacienta při chirurgickém zákroku [43]. Celý postup probíhá bez fyzických modelů. Spojením CBCT a intraorálního scanu je možné připravit virtuální design chirurgické šablony, která je následně vytištěna 3D tiskárnou. Používání šablony k implantační terapii se tedy stává běžné [44]. Chirurgický zákrok je díky nim přesnější, rychlejší, méně invazivní a výsledek předvídatelnější [45].



Obr. 3
Vytisknutý dočasný můstek

Fig. 3
3D Printed temporary bridge

Strojová aditivní výroba se také využívá u mukogingiválních zákroků ve frontální oblasti ústní dutiny. Používají se na míru vytištěné šablony, které jsou následně využity například u gingivektomie [46]. Tyto šablony jsou známy svou přesností a adaptací [3].

Dalším využitím, které popisuje literatura, je provedení autotransplantace zubů za pomoci 3D plánování a 3D tisku. Zubní autotransplantace spočívá v přenesení zubu z jeho původní pozice do extrakčního lůžka po vyjmutí jiného zubu nebo do lůžka uměle vytvořeného během chirurgického zákroku [47]. Jedním z klíčových faktorů úspěšné autotransplantace je správně připravené lůžko v místě transplantace kořene transplantovaného zubu, a tedy minimalizace počtu zkušebních pokusů u transplantovaného zubu

během zákroku, protože každým pokusem se zvyšuje pravděpodobnost poškození buněk periodontálního ligamenta a zvyšuje se i extraalveolární lůžka [50]. Na splnění výše uvedených podmínek existuje více doporučení, přičemž jedním z nich je využití počítačové tomografie (CT) nebo CBCT na výrobu plastové nebo kovové repliky donorského zubu za účelem vyzkoušení jeho vsazení do lůžka ještě před samotnou transplantací [51–53].

Strojová aditivní výroba se využívá také při plánování, simulacích a provádění maxilofaciálních operací [54]. Dále při tisku anatomických modelů, které umožňují předohýbání destiček pro osteosyntézu, při tisku vodičů šablon na vykonání osteotomie, při odběru kosti, umístění šroubů a při tisku personalizovaných implantátů, které jsou přesně uzpůsobeny anatomii pacienta. Z dostupné literatury vyplývá, že použití 3D tisku je spojeno s výrazným zkrácením délky operace [55].

Protetické zubní lékařství

Jednou z nejčastějších aplikací v protetice jsou pryskyřičné dočasné korunky. Mohou být vyrobeny jak pro zub, tak i pro abutment implantátu. Proces jejich vytvoření je zcela digitální již od prvního získání dat prostřednictvím intraorálního skeneru [10].

V protetice však není 3D tisk limitován jenom na dočasné práce, podle některých studií může být také použit na definitivní komponenty vyrobené z keramiky (lithium, disilikát, zirkon) nebo z kovu [56, 57].

Ve fixní a snímatelné protetice se dá terapie plánovat a upravovat v softwaru CAD poměrně jednoduše. Data vzniklá tímto postupem se dají využít k frézování nebo tisku provizorních korunek a můstků, abutmentů a struktur můstků. 3D tisk může být použit pro výrobu kovových struktur buďto nepřímou, vytištěním modelů z vosky nebo pryskyřice, se kterými se dále pracuje, nebo přímo tištěným z kovů či kovových slitin [58].

Přímá výroba uplatňuje nákladnější technologii. Má vlastní specifické požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost, takže je zapotřebí výrazných úprav předtím, než daný produkt můžeme klinicky uplatnit [59]. V některých případech se kombinuje frézování a obrábění s 3D tiskem, například při výrobě konstrukcí můstků nesených implantáty. Využívá se zde výhodných vlastností 3D tisku, který je schopen zajistit výrobu komplexních tvarů s minimálním odpadem a frézování, které zajistí vysokou přesnost spojovacích ploch [33].

Proces tvorby klasických snímatelných zubních náhrad je časově náročný a vyžaduje si

zkušeného zubního technika. Problém je zejména u pacientů s nadměrným dávivým reflexem, u pacientů po resekci tumoru, u pacientů se zjizvenými rty po resekci a s temporomandibulárními defekty nebo s orálními deformitami [60–62].

V současnosti probíhající výzkum prokazuje pozitivní výsledky fyzikálních a technických vlastností parciálních a totálních náhrad vytvořených aditivní metodou [63]. Jejich výhodou je, že v porovnání s konvenčním postupem má sníženou polymerační kontrakci [10]. Jejich nevýhodou je, že kvalita materiálu nedosahuje stejných výsledků jako u konvenčních materiálů a výsledná estetika také zatím zaostává.

Literatura popisuje také možnost zhotovení 3D tištěné šablony na vedenou preparaci zubů při zhotovování fixní protetické práce. V práci Lee a kol. byl rehabilitován pacient s výrazně abradovaným chrupem. Cílem bylo provedení minimálně invazivní preparace kvůli zvýšení skusu a rekonstrukci okluze. Na základě intraorálního digitálního otisku byla provedena 3D analýza a určena budoucí výška skusu. Následně byl vymodelován digitální wax-up, podle kterého mohla být určena míra preparace zubů. Oblasti zubů, které nesplňovaly minimální 1,5mm prostor pro budoucí náhradu, byly vyznačeny barevně. Následně byla navržena šablona pro preparaci zubů, která byla poté vytištěna z pryskyřice. Zuby byly minimálně preparovány pomocí šablony a kvalita i přesnost preparace byla zkontrolována superpozicí intraorálního skanu preparovaných zubů a virtuální preparace v diagnostickém programu [64, 65].



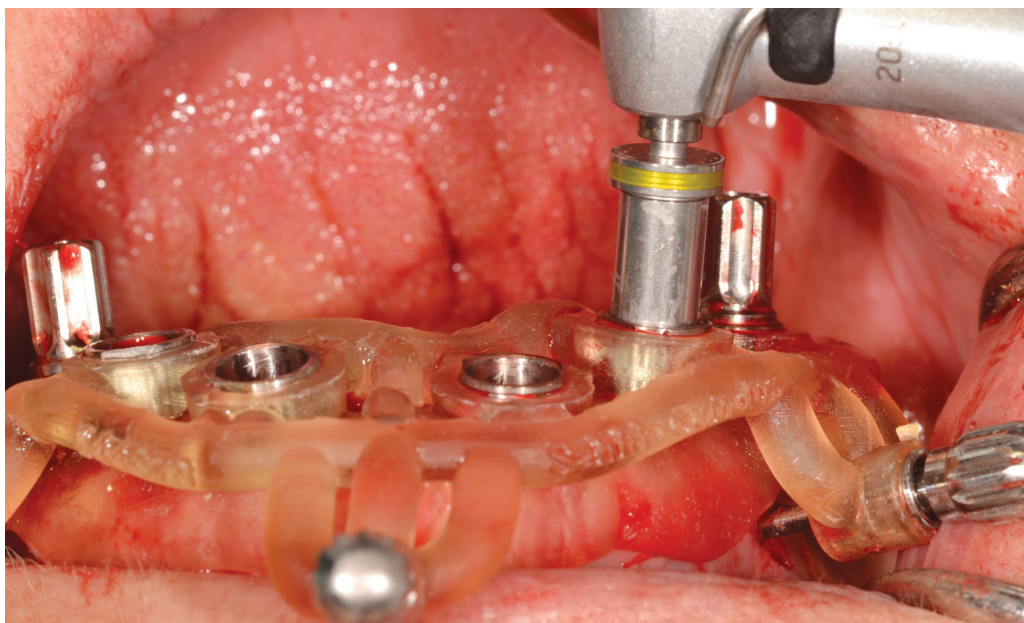
Obr. 4
3D vytištěný zubní model ze šedé pryskyřice s přípravou protetické rehabilitace

Příslušenství

Světová zdravotnická organizace vyhlásila nové onemocnění koronavirem 2019 (COVID-19) za světovou pandemii dne 12. března 2020 [66]. V průběhu pandemie došlo ve všech oblastech světa k nedostatku ochranných pomůcek. Rozšířila se řada producentů po celém světě, kteří s pomocí 3D tisku vyrobili velká kvanta těchto chybějících ochranných prostředků [67]. Mezi osobní ochranné prostředky, které byly tištěny po dobu pandemie, se zařadily i obličejové štíty, přilby a různé typy masek a respirátorů [68, 69].

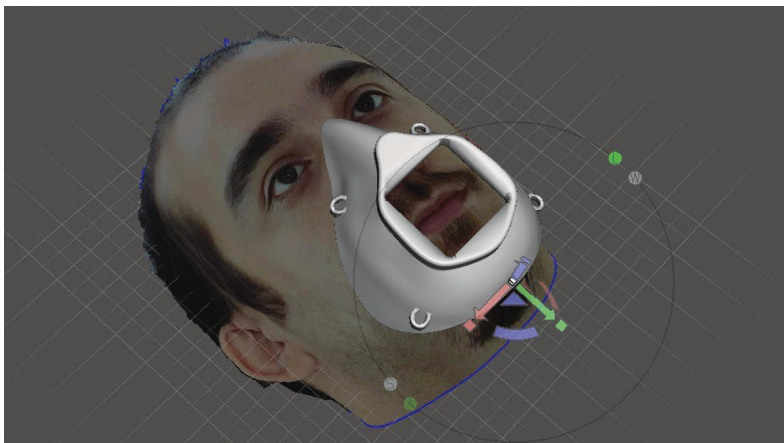
3D tiskem byla dosažena lepší adaptace příslušenství na jednotlivce, a to díky experimentování s různými flexibilními materiály, nebo skenování povrchu obličeje extraorálním skenerem (EOS), na který byl daný prostředek vytvářen [67].

Fig. 4
3D printed dental model from grey resin with preparation for the prosthetic rehabilitation



Obr. 5
Zavádění implantátu pomocí chirurgické vodící šablony

Fig. 5
Implant placement using surgical guide



Obr. 6
Pohled na design
personalizované ochranné
masky se skenem obličeje
Dr. Saygiliho

Fig. 6
View of the design of
personalised protective
mask with the face scan
of Dr. Saygili

Obr. 7
3D replika skutečného zubu,
konkrétně horní molár se
čtyřmi kořenovými kanálky
a replika zubní korunky
s kariézní lézí
(<https://biovoxel.tech/shop/>)

Fig. 7
3D printed tooth replica,
specifically upper molar with
four root canals and replica
of tooth's crown with a decay
(<https://biovoxel.tech/shop/>)



3D tisk a biomateriály

Biomateriály v orofaciální oblasti mohou být začleněny do následujících podskupin:

- Biomedicínské produkty, jako protézy a ortézy zhotovené na míru u kraniofaciálních defektů po úrazu nebo resekci tumoru.
- Biokompatibilní pomůcky užívané při rekonstrukcích, jako výše zmíněné šablony, fixační zařízení a jiné. Jejich cílem je usnadnit chirurgickou intervenci.
- Regenerace kosti nebo měkkých tkání a stimulace osteogeneze. Existují dvě metody tvorby tkání, například kosti. První představuje 3D tisk acelulárního lešení (scaffold) a následné vsazení buněk. Druhá metoda, zvaná biotisk (bioprinting), umožňuje tisk lešení a buněk najednou (buněk se nacházejí již v materiálu do tiskárny, tzv. bio-ink. Tyto aplikace jsou stále předmětem dalších výzkumů [1, 73].

Vzdělávání

Významnou úlohu mohou sehrávat 3D tištěné pomůcky při vzdělávání pregraduálních a postgraduálních studentů, ale také zubních lékařů při kontinuálním vzdělávání. Prostřednictvím skenování pacientů a získáváním reálných modelů dutiny ústní si mají studenti či lékaři možnost procvičit praktické zručnosti na fantomovém modelu, který je tradičně využíván. Tento koncept může být použit na provedení endodontického ošetření, preparaci rotovaných zubů nebo zubů s výplněmi [1, 71]. Zakomponování 3D tisku do výuky i postgraduálních studentů představuje významnou taktilní složku vzdělávání při chirurgických zákrocích, kde si můžou budoucí chirurgové nejdříve v in vitro podmínkách nacvičit daný úkon [10, 72].

ZÁVĚR

3D zobrazení a CAD technologie mají ve stomatologii velmi slibnou perspektivu [33]. Široké možnosti návrhů, individualizace a tvorba komplexních struktur jsou velkými výhodami 3D tisku [13]. Předměty vytvořené strojovou aditivní výrobou nevedou sice ke zkrácení celé procedury, avšak zkracuje se doba práce u samotného pacienta [74]. Výsledná kvalita práce je méně závislá na zkušenostech operátora, což může být výhodou u začínajících lékařů [27].

Výhodou 3D tisku je usnadnění komunikace mezi kolegy a také mezi ošetřujícím a pacientem, zejména v případech týkajících se plánování chirurgických zákroků. Ty se díky této technologii stávají více prediktabilní a méně invazivní [33].

3D tisk má obrovský potenciál na zlepšení péče o orální zdraví, ve výzkumu, v klinické léčbě, ale také ve vzdělávání v zubním lékařství [3]. Zakomponování této technologie do každodenní praxe si vyžaduje časovou a finanční investici. Každý musí zvážit individuálně, zda je jeho ambulance připravena na takový krok a jaké benefity to v dané situaci přinese.

Poděkování

Děkuji Dr. Miguelovi Cevallosovi za užitečné odborné připomínky a Dr. Pauline Minčíkové za neustálou podporu při psaní.

MDDr. Natália Savková

Palackého 1

040 01 Košice

Slovenská republika

e-mail: dr.nataliasavkova@gmail.com

LITERATURA

1. Nestic D, Schaefer BM, Sun Y, Saulacic N, Sailer I. 3D printing approach in dentistry: the future for personalized oral soft tissue regeneration. *J Clin Med*. 2020; 9(7): 2238. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: [/pmc/articles/PMC7408636/?report=abstract](https://pmc/articles/PMC7408636/?report=abstract)
2. Verhoef LA, Budde BW, Chockalingam C, García Nodar B, van Wijk AJM. The effect of additive manufacturing on global energy demand: An assessment using a bottom-up approach. *Energy Policy*. 2018; 112: 349–360. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.034>
3. Nejat Hasirci V, Wey Yong K, Agis H, Oberoi G, Nitsch S, Edelmayer M, et al. 3D printing-encompassing the facets of dentistry. *Front Bioeng Biotechnol*. 2018; 1: 172. [cit. 11. 8. 2020]. Dostupné z: www.frontiersin.org
4. Gokhare VG, Raut DN, Shinde D. A review paper on 3D-printing aspects and various processes used in the 3D-printing. *Int J Eng Res Technol*. 2017.
5. Mendoza HR, Le Méhauté A. The man who submitted patent for SLA 3D printing before Chuck Hull – 3DPrint.com The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. 2015. [cit. 4.10.2020]. Dostupné z: <https://3dprint.com/65466/reflections-alain-le-mehaute/>
6. Hull CW, Arcadia C. United States Patent (19) Hull (54) (75) (73) 21 22 (51) 52 (58) (56) Apparatus For Production Of Three-Dimensional Objects By Stereo Thography.
7. Ponsford M, Glass N. "The night I invented 3D printing" – CNN. 2014. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://edition.cnn.com/2014/02/13/tech/innovation/the-night-i-invented-3d-printing-chuck-hall/index.html>
8. Deckard CR, Beaman JJ, Darrah JF. Method and Apparatus for Producing Parts by Selective Sintering. US Pat 4,863,538. 1992; 12. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d2/84/74/eaf2b3d455fe/US4863538.pdf>
9. Crump S Scott, Priedeman WR, Hanson JJ. Rapid prototype injection molding. US 7,125,512 B2; 2006. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/51/07/73/991795f842c06e/US7125512.pdf>
10. Ahmad I, Al-Harbi F. 3D printing in dentistry – 2019/2020. 1st ed. Quintessence Publishing; 2019.
11. Walker W, Keeter M. Systems and methods of post-processing features for additive fabrication. US 10, 011, 075 B2; 2018.
12. Prusa3D – 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši. [cit. 1. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/>
13. Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, Nguyen KTQ, Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. 2018. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
14. Wang X, Jiang M, Zhou Z, Gou J, Hui D. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*. Elsevier; 2017; 110: 442–458.
15. Redwood B, Schffer F, Garret B. The 3D printing handbook. Technologies, design and applications. 1st ed. 2017. [cit. 28. 10. 2020]. Dostupné z: <https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/3199991>
16. Utela B, Storti D, Anderson R, Ganter M. A review of process development steps for new material systems in three dimensional printing (3DP). *J Manufacturing Processes*. Elsevier BV; 2008, 96–104.
17. Chen RK, Jin Y, Wensman J, Shih A. Additive manufacturing of custom orthoses and prostheses-A review. *Additive Manufacturing*. Elsevier BV; 2016, 77–89.
18. Jin YA, Plott J, Chen R, Wensman J, Shih A. Additive manufacturing of custom orthoses and prostheses – A review. In: *Procedia CIRP*. Elsevier BV; 2015, 199–204.
19. Jia W, Gungor-Ozkerim PS, Zhang YS, Yue K, Zhu K, Liu W, et al. Direct 3D bioprinting of perfusable vascular constructs using a blend bioink. *Biomaterials*. 2016; 106: 58–68.
20. Goyanes A, Wang J, Buanz A, Martínez-Pacheco R, Telford R, Gaisford S, et al. 3D printing of medicines: engineering novel oral devices with unique design and drug release characteristics. *Mol Pharm*. 2015; 12(11): 4077–4084. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.molpharmaceut.5b00510>
21. Ursan I, Chiu L, Pierce A. Three-dimensional drug printing: A structured review. *J Am Pharm Assoc*. 2013; 53(2): 136–144.
22. Kang HW, Lee SJ, Ko IK, Kengla C, Yoo JJ, Atala A. A 3D bioprinting system to produce human-scale tissue constructs with structural integrity. *Nat Biotechnol*. 2016; 34(3): 312–319. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/nbt.3413>
23. Wu P, Wang J, Wang X. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. Vol. 68, *Automation in Construction*. Elsevier BV; 2016, 21–31.
24. Sun L, Zhao L. Envisioning the era of 3D printing: a conceptual model for the fashion industry. *Fash text*. 2017; 4(1): 1–16. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://link.springer.com/articles/10.1186/s40691-017-0110-4>
25. Shahrubudin N, Lee TC, Ramlan R. An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. In: *Procedia Manufacturing*. Elsevier BV; 2019, 1286–1296.
26. Connert T, Zehnder MS, Amato M, Weiger R, Kühl S, Krastl G. Microguided Endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-guided technique. *Int Endod J*. 2018; 51(2): 247–255. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/iej.12809>
27. Moreno-Rabi C, Torres A, Lambrechts P, Jacobs R. Clinical applications, accuracy and limitations of guided endodontics: a systematic review. *Medicine; International Endodont J*. 2019. 28. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. *Int Endod J*. 2018; 51(9): 1005–1018. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/iej.12917>
29. Ye S, Zhao S, Wang W, Jiang Q, Yang X. A novel method for periapical microsurgery with the aid of 3D technology: A case report. *BMC Oral Health*. 2018; 18(1): 1–7. [cit. 11. 10. 2020]. Dostupné z: <https://link.springer.com/articles/10.1186/s12903-018-0546-y>
30. Sutter E, Lotz M, Rechenberg DK, Stadlinger B, Rücker M, Valdec S. Guided apicoectomy using a CAD/CAM drilling template. *Int J Comput Dent*. 2019; 22(4): 363–369. [cit. 11.10.2020]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31840144>
31. Krastl G, Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Kühl S. Guided endodontics: A novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. *Dent Traumatol*. 2016; 32(3): 240–246. [cit. 11. 10. 2020]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26449290/>
32. van der Meer WJ, Vissink A, Ng YL, Gulabivala K. 3D Computer aided treatment planning in endodontics. *J Dent*. 2016; 45: 67–72. [cit. 10. 1. 2021]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2015.11.007>
33. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. IN B R I E F 3D printing in dentistry. *Nat Publ Gr*; 2015.
34. Tuncay Orhan. The invisalign system. 1st ed. United Kingdom: Quintessence Publishing; 2006.
35. Kaminek M. Ortodoncie. Praha: Galén; 2014, 1–246.
36. Ciuffolo F, Epifania E, Duranti G, De Luca V, Raviglia D, Rezza S, et al. Rapid prototyping: A new method of preparing trays for indirect bonding. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2006; 129(1): 75–77.
37. Al Mortadi N, Eggbeer D, Lewis J, Williams RJ. CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2012; 142(5): 727–733.
38. Cassetta M, Altieri F, Di Giorgio R, Barbato E. Palatal orthodontic miniscrew insertion using a CAD-CAM surgical guide: description of a technique. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2018; 47(9): 1195–1198. [cit. 11. 10. 2020]. Dostupné z: <http://www.ijoms.com/article/S0901502718301048/fulltext>
39. Koizumi S, Seimiya K, Park H, Nakashizu T, Suzuki K, Otsuka T, et al. A metal retainer manufactured by 3D printing. *Orthod Waves*; 2020. [cit. 11. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13440241.2020.1814522>
40. Nagib R, Szuhanek C, Moldoveanu B, Negrutiu ML, Sinescu C, Brad S. Custom designed orthodontic attachment manufactured using a biocompatible 3D printing material. *Mater Plast*. 2017; 54(4): 757–758. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <http://www.revmaterialeplastic.ro>
41. Worthington P, Rubenstein J, Hatcher DC. The role of cone-beam computed tomography in the planning and placement of implants. *J Am Dent Assoc*. 2010; 141(10 suppl.): 19S–24S.
42. Kiarudi AH, Eghbal MJ, Safi Y, Aghdasi MM, Fazlyab M. The applications

of cone-beam computed tomography in endodontics: A review of literature. Iranian Association of Endodontics. Iranian Endodont J. 2015; 16–25. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: /pmc/articles/PMC4293575/?report=abstract

43. Flüge TV, Nelson K, Schmelzeisen R, Metzger MC. Three-dimensional plotting and printing of an implant drilling guide: Simplifying guided implant surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013; 71(8): 1340–1346.

44. Fortin T, Champeboux G, Lormée J, Coudert JL. Precise dental implant placement in bone using surgical guides in conjunction with medical imaging techniques. *J Oral Implantol.* 2000; 26(4): 300–303. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <http://meridian.allenpress.com/joi/article-pdf/26/4/300/2033147/1548-1336>

45. Dawood A, Tanner S, Hutchison I. Computer guided surgery for implant placement and dental rehabilitation in a patient undergoing sub-total mandibulectomy and microvascular free flap reconstruction. *J Oral Implantol.* 2013; 39(4): 497–502. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <http://meridian.allenpress.com/joi/article-pdf/39/4/497/2058338/aaaid-joi-d-11-00142.pdf>

46. Li Z, Liu YS, Ye HQ, Liu YS, Hu WJ, Zhou YS. Diagnosis and treatment of complicated anterior teeth esthetic defects by combination of whole-process digital esthetic rehabilitation with periodontic surgery. *Beijing Da Xue Xue Bao.* 2017; 49(1): 71–75. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28203007>

47. Ashkenazi M, Shashua D, Kegen S, Nuni E, Duggal M, Shuster A. Computerized three-dimensional design for accurate orienting and dimensioning artificial dental socket for tooth autotransplantation. *General dentistry. Quintessence Int.* 2018; 49(8): 663–671.

48. Kafourou V, Tong HJ, Day P, Houghton N, Spencer RJ, Duggal M. Outcomes and prognostic factors that influence the success of tooth autotransplantation in children and adolescents. *Dent Traumatol.* 2017; 33(5): 393–399. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/edt.12353>

49. Denys D, Shahbazian M, Jacobs R, Laenen A, Wyatt J, Vinckier F, et al. Importance of root development in autotransplantations: A retrospective study of 137 teeth with a follow-up period varying from 1 week to 14 years. *Eur J Orthod.* 2013; 35(5): 680–688. [cit. 28. 10. 2020]. Dostupné z: <https://academic.oup.com/ejo/article/35/5/680/496280>

50. Anssari Moin D, Derksen W, Verweij JP, Van Merkesteyn R, Wismeijer D. A novel approach for computer-assisted template-guided autotransplantation of teeth with custom 3D designed/printed surgical tooling. An ex vivo proof of concept. *J Oral Maxillofac Surg.* 2016; 74(5): 895–902.

51. Shahbazian M, Jacobs R, Wyatt J, Denys D, Lambrichts I, Vinckier F, et al. Validation of the cone beam computed tomography-based stereolithographic surgical guide aiding autotransplantation of teeth: Clinical case-

control study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2013; 115(5): 667–675.

52. Honda M, Uehara H, Uehara T, Honda K, Kawashima S, Honda K, et al. Use of a replica graft tooth for evaluation before autotransplantation of a tooth. A CAD/CAM model produced using dental-cone-beam computed tomography. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2010; 39(10): 1016–1019.

53. Cousley RJJ, Gibbons A, Nayler J. A 3D printed surgical analogue to reduce donor tooth trauma during autotransplantation. *J Orthod.* 2017; 44(4): 287–293. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14653125.2017.1371960>

54. Louvrier A, Marty P, Barrabé A, Euvrard E, Chatelain B, Weber E, et al. How useful is 3D printing in maxillofacial surgery? *J Stomat Oral Maxillofac Surg.* Elsevier Masson SAS. 2017; 118: 206–212.

55. Serrano C, van den Brink H, Pineau J, Prognon P, Martelli N. Benefits of 3D printing applications in jaw reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *J Cranio-Maxillofac Surg.* 2019; 47(9): 1387–1397.

56. Pimenta MA, Frasca LC, Lopes R, Rivaldo E. Evaluation of marginal and internal fit of ceramic and metallic crown copings using x-ray microtomography (micro-CT) technology. *J Prosthet Dent.* 2015; 114(2): 223–228.

57. Homsy FR, Özcan M, Khoury M, Majzoub ZAK. Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate inlays fabricated with milling, 3D printing, and conventional technologies. *J Prosthet Dent.* 2018; 119(5): 783–790.

58. Venkatesh KV, Nandini VV. Direct metal laser sintering: A digitised metal casting technology. *J Indian Prosthodontist Soc.* Springer. 2013; 389–392. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13191-013-0256-8>

59. Örtorp A, Jönsson D, Mouhsen A, Vult Von Steyern P. The fit of cobalt-chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: A comparative in vitro study. *Dent Mater.* 2011; 27(4): 356–363.

60. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: Evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health.* 2014; 14(1): 1–7. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://link.springer.com/articles/10.1186/1472-6831-14-10>

61. Kim JE, Kim NH, Shim JS. Fabrication of a complete, removable dental prosthesis from a digital intraoral impression for a patient with an excessively tight reconstructed lip after oral cancer treatment: A clinical report. *J Prosthet Dent.* 2017; 117(2): 205–208.

62. Unkovskiy A, Spintzyk S, Brom J, Huettig F, Keutel C. Direct 3D printing of silicone facial prostheses: A preliminary experience in digital workflow. *J Prosthet Dent.* 2018; 120(2): 303–308.

63. Chen J, Ahmad R, Suenaga H, Li W, Sasaki K, Swain M, et al. Shape optimization

for additive manufacturing of removable partial dentures - a new paradigm for prosthetic CAD/CAM. *PLoS One.* 2015; 10(7): e0132552. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0132552>

64. Liu CX, Gao J, Zhao YW, Fan L, Jia LM, Hu N, et al. Precise tooth preparation technique guided by 3D printing guide plate with quantitative hole. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2020; 38(3): 350–355. [cit. 11. 10. 2020]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32573148/>

65. Lee H, Fehmer V, Kwon KR, Burkhardt F, Pae A, Sailer I. Virtual diagnostics and guided tooth preparation for the minimally invasive rehabilitation of a patient with extensive tooth wear: A validation of a digital workflow. *J Prosthet Dent.* 2020; 123(1): 20–26. [cit. 11. 10. 2020]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31079881/>

66. Coronavirus disease (COVID-19). [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>

67. Tino R, Moore R, Antoline S, Ravi P, Wake N, Ionita CN, et al. COVID-19 and the role of 3D printing in medicine. 2020. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s41205-020-00064-7>

68. Ishack S, Lipner SR. Applications of 3D printing technology to address COVID-19 – related supply shortages. *Am J Med.* 2020; 133(7): 771–773. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7172844/>

69. Choong YYC, Tan HW, Patel DC, Choong WTN, Chen CH, Low HY, et al. The global rise of 3D printing during the COVID-19 pandemic. *Nat Rev Mater Nat Res.* 2020; 5: 637–639. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/543

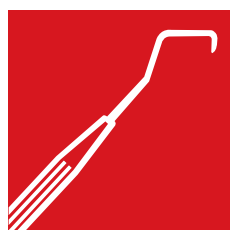
70. Hands-Free Door opener to prevent the spread of coronavirus – materialise. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/en/hands-free-door-opener>

71. Kröger E, Dekiff M, Dirksen D. 3D printed simulation models based on real patient situations for hands-on practice. *Eur J Dent Educ.* 2017; 21(4): e119–125. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/eje.12229>

72. Werz SM, Zeichner SJ, Berg BI, Zeilhofer HF, Thieringer F. 3D printed surgical simulation models as educational tool by maxillofacial surgeons. *Eur J Dent Educ.* 2018; 22(3): e500–505. [cit. 11. 10. 2020]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29479802/>

73. Maroulakos M, Kamperos G, Tayebi L, Halazonetis D, Ren Y. Applications of 3D printing on craniofacial bone repair: A systematic review. *J Dent.* 2019; 80: 1–14.

74. Martelli N, Serrano C, Van Den Brink H, Pineau J, Prognon P, Borget I, et al. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surgery (United States).* 2016; 159(6): 1485–1500. [cit. 4. 10. 2020]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26832986/>



PRAGODENT

28th INTERNATIONAL DENTAL FAIR

14–16 October 2021



AGAIN
LETŇANY
AT EXPO
GROUND

SIMULTANEOUSLY

 **PRAGUE DENTAL DAYS**

15–16 October 2021

pragodont.eu

ORGANIZER



VENUE



OFFICIAL CARS





NÁŠ VĚDECKÝ ČASOPIS

Vaše nové možnosti pro inzerci

Informace o inzerci v časopisu

**ČESKÁ STOMATOLOGIE
A PRAKTICKÉ ZUBNÍ LÉKAŘSTVÍ:**
Česká stomatologická komora

Tereza Soukupová, DiS., e-mail: soukupova@dent.cz
tel.: +420 770 134 250

Ceník inzerce:

www.dent.cz/o-vzdelavani/casopis/

www.prolekare.cz/casopisy/ceska-stomatologie/informace