



Otpornost na lom cirkonijumskih keramičkih kruna izrađenih na bazi linijske preparacije zuba

Fracture toughness of zirconia ceramic crowns made by feather-edge tooth preparation design

Nemanja Mirković*, Aleksandra Špadijer Gostović†, Zoran Lazić*,
Branka Trifković†

*Klinika za stomatologiju, Vojnomedicinska akademija, Beograd, Srbija;

†Stomatološki fakultet, Beograd, Srbija

Apstrakt

Uvod/Cilj. Otpornost na lom uslovljava čvrstoću krune u toku funkcionalnih opterećenja i sprečava oštećenje keramike u toku mastikacije. U literaturi nema podataka o otpornosti na lom kruna izrađenih na bazi linijske preparacije. Mehaničkim testiranjem keramičkih uzoraka treba pokazati da li se linijska preparacija zuba može primeniti bez rizika od degradacije mehaničkih osobina keramičkih kruna. Ovo istraživanje sprovedeno je sa ciljem da se utvrdi uticaj linijske preparacije zuba na otpornost na lom pojedinačnih cirkonijumskih keramičkih kruna. **Metode.** Istraživanje je obavljeno kao eksperimentalna studija. Izrađeno je ukupno 60 keramičkih kruna na nekarioznim ekstrahovanim humanim premolarima. Ukupno 30 kruna izrađeno je na bazi linijske preparacije (prva eksperimentalna grupa), dok je u drugoj grupi izrađeno 30 kruna na osnovu preparacije oblika pravouglog stepenika sa unutrašnjim zaobljenjem. Za izradu kruna korišćen je kopir-frez sistem "Zirkonzahn" (Zirkonzahn GmbH, Gais, Germany). Za određivanje otpornosti na lom primenjen je test pritiska sa sferičnim opterećenjem – keramičkom kuglom prečnika 6 mm. Sila potrebna da dovede do loma keramičke krune zabeležena je na univerzalnoj mašini za testiranje materijala Zwick, tipa 1464, koja se kretala brzinom od 0,05 mm/min. **Rezultati.** Rezultati ovog ispitivanja ukazali su na značajne razlike između otpornosti na lom dve ispitivane grupe kruna. Prosečna otpornost na lom obe grupe kruna bila je iznad 2 000 N, što je dvostruko više od preporučene vrednosti. Krune na bazi linijske preparacije imale su prosečnu vrednost otpornosti na lom od 2 090 N, dok je u drugoj grupi otpornost iznosila 2 214 N. **Zaključak** Eksperimentalnim ispitivanjem utvrđena je visoka otpornost na lom cirkonijumskih keramičkih kruna izrađenih na osnovu linijske preparacije zuba. Ispitivane krune imale su otpornost na lom na dovoljnoj distanci u odnosu na minimalne vrednosti funkcionalnog opterećenja. Neophodna su dalja istraživanja funkcionalnog opterećenja ovakvih kruna u uslovima *in vivo* kao i ispitivanje rubnog zaptivanja cementiranih kruna i inflamatornog odgovora gingive.

Ključne reči:

krune; cirkonijum; zub, preparacija; biomehanika.

Abstract

Background/Aim. Fracture toughness determines functional crown strength and prevents damages on ceramics during mastication. There is a lack of relevant literature data about fracture toughness of crowns made by feather-edge preparation. Mechanical testing of ceramic samples is supposed to show if feather-edge tooth preparation is a successful method for making ceramic crowns without any risk of reduction of their mechanical properties. This research was done to establish effects of feather-edge tooth preparation on fracture toughness of single zirconia ceramic crowns. **Methods.** The research was performed as an experimental study. Sixty (60) ceramic crowns were made on non-carious extracted human premolars. Thirty (30) crowns were made on the basis of feather-edge preparation (experimental group I). The group II included 30 crowns made on 1 mm rounded shoulder. Crowns fabrication was executed on a copy mill production system "Zirkonzahn" (Zirkonzahn GmbH, Gais, Germany). The spherical compression test was used to determine fracture toughness, using 6 mm diameter ceramic ball. Fracture load for damaging ceramic crown was recorded on a universal testing machine – Zwick, type 1464, with the speed of 0.05 mm/min. **Results.** The results of this research introduced significant differences between fracture toughness of ceramic samples in every examined group. However, fracture toughness of crowns from both group was above 2 000 N, what was double beyond a recommended value. The mean value of fracture toughness in the feather-edge group was 2 090 N, and in shoulder group it was 2 214 N. **Conclusion.** This research showed a high fracture toughness of zirconia crowns made on feather-edge preparation. The examined crowns showed a fracture resistance at a sufficient distance in relation to the minimum values of functional loads. Further research of functional loads of these crown is necessary, as well as research of marginal adaptation of cemented crowns and gingival inflammatory response.

Key words:

crowns; zirconium; tooth preparation; biomechanics.

Uvod

Keramičke krunice predstavljaju fiksne zubne nadoknade čija mehanička otpornost zavisi prevashodno od čvrstoće materijala od koga su izrađene¹. U poređenju sa metalnim legurama, dentalna keramika ima neuporedivo manju čvrstoću, što sužava indikaciono područje bezmetalne keramike na izradu pojedinačnih kruna prednjih zuba – sekutića i očnjaka². Razvoj novih keramičkih materijala pokušao je da proširi polje njihove primene i na izradu pojedinačnih kruna bočnih zuba – premolara i molara³.

Najreprezentativniji keramički materijal danas je keramika od cirkonijum-dioksida (cirkonijumska keramika). Ova vrsta keramike ulazi u stomatološku praksu u poslednjih nekoliko godina kao novi materijal sa izuzetno velikom čvrstoćom na savijanje i otpornošću na lom. Cirkonijumska keramika, u pravom smislu reči, omogućava trenutnu revoluciju u stomatologiji zasnovanu na upotrebi CAD-CAM tehnologije. Sistemi CAD-CAM pojednostavljaju proces izrade zubnih nadoknada eliminišući pojedine konvencionalne kliničke i laboratorijske faze^{4,5}.

Demarkacija oblika stepenika širine 1 mm bila je najzastupljeniji oblik demarkacije u početku razvoja keramičkih materijala. Ovakva demarkacija jasno ukazuje zubnom tehničaru na lokalizaciju gingivalnog ruba krune, pri čemu debljina ruba krune od 1 mm daje kruni potrebnu mehaničku otpornost.

Demarkacija oblika polužleba širine 0,5–1 mm je alternativna demarkaciji oblika stepenika zbog bržeg i jednostavnijeg izvođenja u kliničkim uslovima. Razni autori uvrđili su da demarkacija oblika polužleba uslovljava manju čvrstoću gotovih keramičkih kruna⁶⁻⁹. Ako se keramičke krunice cementiraju adhezivnim načinom, uz upotrebu savremenog kompozitnog cementa, demarkacija oblika polužleba nema uticaja na čvrstoću keramičkih kruna^{10,11}.

Demarkacija oblika linije (linijska demarkacija preparacije) je najčešće izvođena vrsta demarkacije u svakodnevnoj stomatološkoj praksi kod nas¹². Razlozi za to su: lako izvođenje, nedovoljna obučenosť stomatologa za izvođenje demarkacije oblika stepenika i polužleba i strah stomatologa od povrede zubne pulpe u toku brušenja zuba. Linijska preparacija uklanja najmanju količinu zubne supstance, posebno u gingivalnoj trećini brušenog zuba. Time se zdravo zubno tkivo čuva od preteranog brušenja. Ipak, gingivalni rub krune je tanji nego kod prethodna dva oblika demarkacije, pa je mehanička otpornost ovakvih kruna manja prilikom funkcionalnih opterećenja¹³⁻¹⁵. Ovakav tip preparacije je indikovano u slučajevima rotiranih i lingvalno nagnutih zuba, kao i zuba za jako produženom kliničkom krunom. Demarkaciona linija preparacije nije dovoljno jasna, pa se kao česta greška dešava da su gotove krunice ili predugačke – kada prekrivaju i nebrušeni deo zuba, ili prekratke – kada ne prekrivaju brušene površine¹². Metal-keramičke krunice izrađene prema ovom tipu preparacije najčešće imaju predimenzioniran rub, jer na tanak metalni rub treba naneti keramički sloj i zatim kompletan rub smestiti u zonu gingivalnog sulkusa, što može provocirati hroničnu inflamatornu reakciju gingive. Zato se linijska demarkacija može primeniti ako je rub krune izrađen samo od metala¹⁶.

Mogućnost za izradu keramičkih kruna na bazi linijske demarkacije pomenula je firma “Wolceram” (WDT, Ludwigshafen, Nemačka). Sistem je predstavljen javnosti 1999. godine, a kod nas se pojavio krajem 2004. Specifičnost ovog sistema je primena koloidnog rastvora *in-ceram alumina* ili *in-ceram zirconia* keramičkog materijala koji se putem elektroforeze nanosi na gipsani model brušenog zuba¹⁷.

„Kopir-frez“ sistem za izradu keramičkih kruna na bazi linijske demarkacije pod nazivom “Zirkonzahn”, istoimene nemačke firme (Zirkonzahn GmbH, Gais, Germany) razvijen je 2005. godine. Sistem koristi sopstvene predsinterovane (polusinterovane) keramičke blokove, od kojih se postupkom manualnog kopirajućeg frezovanja dobijaju keramičke supstrukture – kapice. Nakon osmočasovnog sinterovanja u specijalnoj peći, ove supstrukture dobijaju definitivni oblik i čvrstoću sinterovanog cirkonijum-dioksida. Sistem “Zirkonzahn” veoma je ekonomičan i pojednostavljen sistem, koji uz minimalnu obuku zubnih tehničara omogućava izradu različitih keramičkih nadoknada, od pojedinačnih kruna do višočlanih mostova.

Cilj ovog rada bio je da se na eksperimentalnom modelu utvrdi otpornost na lom keramičkih kruna izrađenih na osnovu linijske demarkacije preparacije, i izvrši komparativna analiza u odnosu na eksperimentalne vrednosti otpornosti na lom keramičkih kruna izrađenih na osnovu preparacije oblika pravouglog stepenika sa unutrašnjim zaobljenjem.

Metode

Nosači keramičkih kruna izrađeni su od nekarioznih ekstrahovanih prvih premolara, koji su izvađeni iz ortodontskih razloga (slika 1). Do početka ispitivanja ekstrahovani zubi su čuvani na sobnoj temperaturi u 0,1% rastvoru timola, kao antibakterijskom i antioksidativnom sredstvu, ne duže od tri meseca. Ukupno 60 premolara podeljeno je u dve eksperimentalne grupe: grupu A u kojoj se nalazilo 30 zuba planiranih za linijsku preparaciju i grupu B sa 30 zuba planiranih za preparaciju oblika stepenika pod uglom od 90°, sa unutrašnjim zaobljenim uglom.



Sl. 1 – Premolari ekstrahovani iz ortodontskih razloga

Da bi se imitirala fiziološka pokretljivost zuba, zubni korenovi su obloženi tankim slojem gumaste smole do nivoa 2 mm ispod cementnogledne granice. Ovaj sloj, debljine 0,25

mm, dobija se kao imitacija periodontalne membrane prema-
zivanjem korena gotovim fabričkim preparatom – Anti-
Rutsch-Lack (Wenko-Wenselaar GmbH, Germany). Zubni
korenovi zatim su uronjeni u samovezujući akrilat “Techno-
vit” (Heraeus Kulzer GmbH, Germany), koji imitira koštanu
potporu zuba. Zamešani akrilat stavljen je u posebne plastične
kalupe – posude, i zubi su uronjeni u njega pomoću nosa-
ča do potpunog vezivanja akrilata (slika 2).



Sl. 2 – Premolar postavljen u autopolimerizujući akrilat

Preparacijom (brušenjem) zuba obezbeđuje se prostor
za buduću keramičku krunu. Većina proizvođača CAD-CAM
sistema daje sledeće smernice za redukciju zubne supstance:
okluzalna redukcija od 1,5 do 2 mm, aksijalna redukcija od 1
do 2 mm, demarkaciona linija preparacije u vidu pravouglog
stepenika sa unutrašnjim zaobljenjem, ili u vidu polužleba.

Preparaciju zuba za prihvatanje krune izvršio je jedan
operator – kliničar, koristeći odgovarajući komplet bušilica
za uklanjanje zubne supstance i postizanje željene forme
preparacije – komplet oznake 800-841-4522 (Brasseler,
USA). Preparacija je izvedena turbinskim radnim nastavkom
modela Sirona T1 (Siemens, Germany) uz hlađenje vodenim
sprejom. Kod oba tipa preparacije aksijalna konvergencija
iznosila je 6°, dok je stepenik prepariran pod uglom od 90°
sa unutrašnjim zaobljenjem ukupne širine od 1mm (slika 3).



Sl. 3 – Ispreparisani premolari: uzorak levo – preparacija sa
stepenikom; uzorak desno – linijska preparacija

Preko ispreparisanih zuba uzet je finalni otisak dvofaz-
nom metodom pomoću silikonskih otisnih masa tipa Express
(3M Espe, St. Paul, USA). Otisci su izliveni tvrdim gipsom
tipa Fujirock (GC, Europe).

Kod obe eksperimentalne grupe, keramičke krune izra-
đene su od dve vrste gradivnih keramičkih materijala: cir-
konijumske keramike za izradu supstrukture i kompatibilne
feldspatne keramike za prekrivanje supstrukture i dobijanje
definitivne morfologije krune premolara. Tehnička aparatura
predstavlja „kopir frez“ sistem za izradu keramičkih krana na
bazi linijske demarkacije pod nazivom „ZirkonZahn“, isto-
imene nemačke firme (slika 4). Fabrički blokovi cirkonijum-
dioksida pod nazivom „ICE Zirconia Blanks“ (ZirkonZahn
GMBH, Gais, Germany) izrađuju se u različitim veličinama
prema postojećoj indikaciji – za izradu pojedinačnih krana
pa sve do jednokomadnih mostova od 16 članova. Blokovi se
veoma lako mašinski obrađuju jer cirkonijum nije prethodno
sinterovan, već je samo tvrdo presovan i ima veoma visoku
primarnu gustinu. Blokovi se dobijaju postupkom hladnog
izostatskog presovanja čime nastaju keramičke preforme,
koje svojim izgledom podsećaju na kredu i nazivaju se svež
ili sirovi cirkonijum.



Sl. 4 – Uređaj za kopirajuće frezovanje keramičkih blokova,
tipa “Zirkograph” (ZirkonZahn, Germany)

Debljina sinterovanog jezgra izrađenog od cirkonijum-
ske keramike iznosila je 0,5 mm što je preporuka proizvođa-
ča za izradu pojedinačnih krana premolara. Ova debljina iz-
rađivana je uniformno na svim površinama brušenih zuba.
Debljina jezgra kontrolisana je meračem debljine materijala
marke Renfert. Merena je debljina kompozitnih supstrukture
(služe kao model za kopiranje), koja je uvećana za iznos ka-
snije kontrakcije sinterovanja cirkonijumske keramike. Deb-
ljina gotovih cirkonijumskih supstrukture kontrolisana je is-
tim meračem i po potrebi korigovana prikladnim dijamant-
skim rotirajućim brusnim elementima.

Materijal za prekrivanje keramičkih supstrukura (fasetna keramika) distribuirana se pod imenom "ICE Zirconia Ceramics". Materijal se koristi za definitivno modelovanje i sinterovanje zubne nadoknade pri čemu se dobija željena morfologija zuba koji se nadoknađuje.

Gotove krunice cementirane su za zube nosače upotrebom kompozitnog adhezivnog sistema sa dvostrukim (svetlosnim i hemijskim) vezivanjem. Korišćen je adhezivni cement "Panavia F" proizvođača "Kuraray" (Tokyo, Japan). Posle nanošenja cementa uzorci su držani pod statičkim pritiskom od 40 N u trajanju od 7 min što predstavlja vreme vezivanja ovog cementa (slika 5).



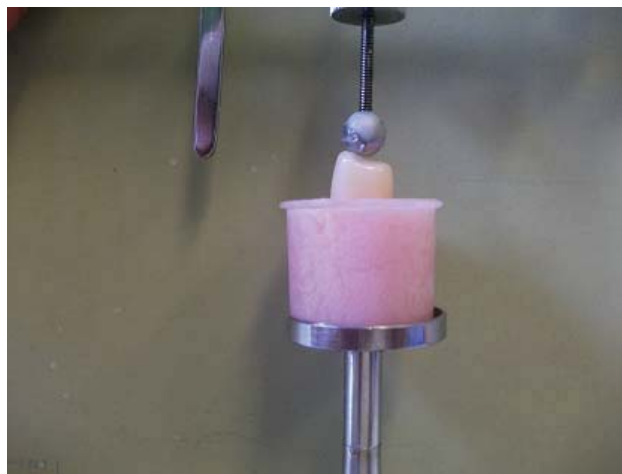
Sl. 5 – Keramička krunica cementirana na ispreparisanim premolarima

Za procenu mehaničke otpornosti korišćen je test pritiska sa sferičnim opterećenjem. To je najčešće korišćen test za procenu čvrstoće keramičkih krunica, blizak realnoj kliničkoj situaciji. Univerzalna elektromehanička mašina za testiranje materijala firme Zwick, tip 1464 (Ulm, Germany) kretala se brzinom 0,5 mm/min do pojave loma keramičkih krunica (slika 6).



Sl. 6 – Uređaj za ispitivanje otpornosti materijala tipa "Zwick 1464" (Zwick, Germany)

Oštećenje koje se registrovalo podrazumevalo je potpun lom ispitivanih krunica, što se odnosilo na lom fasetne keramike i samog jezgra krunica izrađenog od cirkonijumske keramike. Dinamometar Zwick ima mogućnost registrovanja najveće sile otpornosti koja nastaje u materijalu pre potpunog loma krunice što predstavlja meru otpornosti na lom ispitivanih krunica izraženu u njutnima (N). Na glavi mašine je montirana keramička kuglica prečnika 6 mm, koja je delovala normalno na centralnu zonu grizne površine svake ispitivane krunice preko folije od kalaja debljine 1 mm da bi se postigla homogena distribucija napona u materijalu (slika 7). Sila pritiska potrebna da dovede do potpunog loma krunice je automatski beležena na displeju uređaja, posle čega su oštećene krunice fotografisane (slika 8). Klinički prihvatljivom mehaničkom otpornošću smatrale su se vrednosti veće od 1 000 N (100 kg).



Sl. 7 – Test vertikalnog opterećenja do loma keramičke krunice (u alatu za mehaničko testiranje)



Sl. 8 – Lom keramičke krunice pod dejstvom opterećenja

Istraživanje je sprovedeno kao eksperimentalna studija. U statističkoj obradi je primanjen deskriptivni statistički metod, a rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost i standardna devijacija. Značajnost razlika između obeležja posmatranja utvrđena je Studentovim *t*-testom i prihvatana na nivou od 0,05 i većem.

Rezultati

Rezultati određivanja otpornosti na lom cirkonijumskih keramičkih kruna izrađenih na bazi linijske demarkacije preparacije i demarkacije oblika stepenika prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1
Otpornost na lom keramičkih kruna izrađenih na osnovu linijske demarkacije i demarkacije (A) oblika stepenika (B) iskazana u Njutnima (N)

| Grupa uzoraka | Broj merenja | $\bar{x} \pm SD$ | (min-max) |
|---------------|--------------|------------------|-----------------|
| A | 30 | 2 214 \pm 149* | (1 947–2 352)** |
| B | 30 | 2 090 \pm 164 | (1 855–2 204) |

SD – standardna devijacija; min – minimalna vrednost; max – maksimalna vrednost
* $p < 0,01$; ** $p < 0,05$

Obe grupe ispitivanih uzoraka demonstrirale su srednju vrednost otpornosti na lom veću od 2 000 N.

Prosečna vrednost otpornosti na lom keramičkih kruna u grupi uzoraka izrađenih na osnovu preparacije sa stepenikom, iznosila je 2 214 N. U ovoj grupi izmerena je i najveća vrednost otpornosti na lom od svih ispitivanih kruna koja je iznosila 2 352 N. Najniža utvrđena otpornost u ovoj grupi kruna imala je vrednost od 1 947 N.

Krone iz grupe uzoraka izrađenih na osnovu linijske preparacije pokazale su manju prosečnu vrednost otpornosti na lom u odnosu na prethodnu grupu, i ona je iznosila 2 090 N. U ovoj grupi izmerena je najmanja vrednost otpornosti na lom od svih ispitivanih uzoraka – 1 855 N. Maksimalna vrednost otpornosti na lom u ovoj grupi kruna bila je 2 204 N.

Utvrđena je statistički značajna razlika između prosečnih vrednosti ispitivanih parametara, pri čemu je otpornost na lom kruna izrađenih na bazi preparacije sa stepenikom bila veća od kruna izrađenih na osnovu linijske preparacije ($p < 0,01$). Takođe, utvrđena je statistički značajna razlika kada se porede maksimalne i minimalne izmerene vrednosti otpornosti na lom u obe grupe uzoraka ($p < 0,05$).

Diskusija

Funkcionalna trajnost keramičkih zubnih nadoknada u prvom redu zavisi od njihove mehaničke čvrstoće – otpornosti na lom. Cirkonijumska keramika ima veliku otpornost na lom protetske konstrukcije u toku opterećenja zahvaljujući svojim strukturnim osobinama.

Veliki broj kliničkih i laboratorijskih ispitivanja do sada je bio vezan za otpornost na lom keramičkih kruna izrađenih na bazi preparacije sa stepenikom^{7, 8, 18–22}. Istraživanja na bazi linijske preparacije uglavnom su sprovedena u vezi sa njihovim rubnim zaptivanjem i merenjem marginalne diskrepance^{23, 24}.

Akesson i sar.²⁴ eksperimentalnim ispitivanjima pokazali su da mehanička otpornost keramičkih kruna izrađenih na linijskoj preparaciji zuba u velikoj meri zavisi od debljine cirkonijumske supstrukture.

Rezultate je potrebno dovesti u vezu sa prosečnim mastikatornim silama u bočnoj regiji (regiji premolara i molara). Većina autora sugerisala je da funkcionalna sila od 500 N predstavlja fiziološki maksimum u prirodnoj denciji^{25–27}. Autori smatraju da se mastikatorne sile kreću u rasponu od

50 do 250 N u toku normalne mastikacije, a preko 500 u slučaju parafunkcija kao što je bruksizam. Zbog toga Tinschert i sar.²⁸ smatraju da se keramičke krune za bočne zube mogu prihvatiti kao terapijska mogućnost jedino ako je njihova minimalna otpornost na lom 500 N. Tako se može održati si-

gurna distanca u odnosu na prosečne sile žvakanja u bočnoj regiji zubnog niza. Veliki broj keramičkih sistema danas može da pređe tu tehnološku granicu.

Poznato je da dentalna keramika može da podlegne degradaciji sopstvenih mehaničkih osobina što se dovodi u vezu sa starenjem materijala²⁹. Ovakvo smanjenje mehaničke otpornosti cirkonijuma može biti uzrokovano boravkom nadoknade u vlažnoj sredini i uticajem periodičnog opterećenja slabijeg intenziteta³⁰. Dakle, usled kombinovanog dejstva pljuvačke i cikličnog mehaničkog opterećenja funkcionalna otpornost cirkonijumskih zubnih nadoknada može opasti do 50% u odnosu na prvobitnu otpornost materijala pre izlaganja ovim faktorima^{31–33}. Schmitt i sar.³⁴ ispitivali su otpornost na lom cementiranih cirkonijumskih keramičkih kruna prednjih zuba izrađenih na bazi linijske preparacije u uslovima funkcionalnih opterećenja kod 19 bolesnika, kroz period od tri godine, pri čemu ni u jednom slučaju nisu registrovali makroskopska oštećenja keramike.

U ovoj studiji keramičke krune iz obe grupe imale su otpornost na lom veću od 2 000 N. Ako se pretpostavi da u toku funkcionalnih opterećenja u ustima usled starenja materijala dođe do degradacije čvrstoće materijala, otpornost na lom ispitivanih kruna će se smanjiti do vrednosti nešto većih od 1 000 N. Sa ovim vrednostima i dalje će se održati dvostruko veća distanca do minimalno propisanih vrednosti od 500 N.

Dobijeni rezultati su približni rezultatima Tinscherta i sar.³⁵ koji su dobili vrednosti otpornosti na lom od 1 937 N za nefasetirani cirkonijum i 2 289 N za cirkonijum obložen fasetnom keramikom. Sundh i sar.³⁶ dobili su vrednosti od 2 237 N i 1 973 N za dve grupe cirkonijumskih kruna obloženih različitom vrstom fasetne keramike. Takođe, oni su ispitivali otpornost cirkonijumskih konstrukcija posle dinamičkog opterećenja u vodi i dobili vrednosti od 1 450 N, odnosno 1 900 N³⁶.

Kao posledica supkričnog rasta pukotina u dentalnoj keramici pod uticajem opterećenja koje dovodi do zamora materijala, keramika gubi i do 50% od svoje inicijalne čvrstoće. Ova degradacija mehaničke otpornosti mora se uzeti u obzir prilikom određivanja minimalne zahtevane otpornosti na lom koja će omogućiti dugotrajnu kliničku stabilnost nadoknade^{37, 38}. Zato se čini razumnim predlog da inicijalna otpornost na lom keramičkih kruna za bočne zube treba da iznosi 1 000 N.

Zaključak

Sprovedenim ispitivanjem utvrđena je visoka eksperimentalna otpornost na lom cirkonijumskih keramičkih kruna izrađenih na osnovu linijske preparacije zuba. Savremeni polikristalni cirkonijum sa sadržajem cirkonijum-dioksida približno 95%, zahvaljujući svojoj jednofaznoj homogenoj mikrostrukturi, omogućava izradu kruna velike čvrstoće. Otpornost na lom ovakvih kruna je na dovoljnoj distanci u odnosu na minimalno propisane vrednosti funkcionalnog opterećenja.

Da bi se dala preporuka za kliničku primenu cirkonijumskih keramičkih kruna na bazi linijske demarkacije preparacije potrebna su dodatna dugoročna ispitivanja ovih kruna u uslovima *in vivo*, odnosno praćenje njihove mehaničke otpornosti u uslovima realnog funkcionalnog opterećenja

kroz duži vremenski period. Ovo je potrebno zbog moguće degradacije mehaničkih osobina cirkonijumske keramike pod uticajem dugotrajnog periodičnog opterećenja u vlažnoj sredini.

Potrebno je uzeti u obzir i kvalitet rubnog zaptivanja – marginalne adaptiranosti ovako izrađenih keramičkih kruna, jer je precizno izrađen rub krune sa dobrim rubnim zaptivanjem jedan od najvažnijih uslova za očuvanje zdravlja gingive. Moguće proizvoljnosti u lokalizaciji gingivalnog ruba krune kod linijske demarkacije preparacije limitiraju parodontoprotektivnu dimenziju cementirane fiksne nadoknade i potenciraju gingivalni inflamatorni odgovor.

Na osnovu svega iznetog može se očekivati suženo indikaciono područje za kliničku primenu ovako dizajniranih keramičkih kruna.

L I T E R A T U R A

1. *Chong KH, Chai J, Takahashi Y, Wozniak W.* Flexural strength of In-Ceram alumina and In-Ceram zirconia core materials. *Int J Prosthodont* 2002; 15(2): 183–8.
2. *Sundh A, Molin M, Sjögren G.* Fracture resistance of yttrium oxide partially-stabilized zirconia all-ceramic bridges after veneering and mechanical fatigue testing. *Dent Mater* 2005; 21(5): 476–82.
3. *Lütjy H, Filser F, Loeffel O, Schumacher M, Gauckler LJ, Hammerle CH.* Strength and reliability of four-unit all-ceramic posterior bridges. *Dent Mater* 2005; 21(10): 930–7.
4. *Abboud M, Stark H, Koeck B.* Integration of all-ceramic restorations in reconstructive prosthetic dentistry: a case report. *Quintessence Int* 2004; 35(2): 103–7.
5. *Toksavul S, Ulusoy M, Toman M.* Clinical application of all-ceramic fixed partial dentures and crowns. *Quintessence Int* 2004; 35(3): 185–8.
6. *Goodacre CJ, Campagni WV, Aquilino SA.* Tooth preparations for complete crowns: an art form based on scientific principles. *J Prosthet Dent* 2001; 85(4): 363–76.
7. *Friedlander LD, Munoz CA, Goodacre CJ, Doyle MG, Moore BK.* The effect of tooth preparation design on the breaking strength of Dicor crowns: Part 1. *Int J Prosthodont* 1990; 3(2): 159–68.
8. *Doyle MG, Munoz CA, Goodacre CJ, Friedlander LD, Moore BK.* The effect of tooth preparation design on the breaking strength of Dicor crowns: 2. *Int J Prosthodont* 1990; 3(3): 241–8.
9. *Rammelsberg P, Eickemeyer G, Erdelt K, Pospiech P.* Fracture resistance of posterior metal-free polymer crowns. *J Prosthet Dent* 2000; 84(3): 303–8.
10. *Malament KA, Socransky SS.* Survival of Dicor glass-ceramic dental restorations over 14 years: Part I. Survival of Dicor complete coverage restorations and effect of internal surface acid etching, tooth position, gender, and age. *J Prosthet Dent* 1999; 81(1): 23–32.
11. *Bernal G, Jones RM, Brown DT, Munoz CA, Goodacre CJ.* The effect of finish line form and luting agent on the breaking strength of Dicor crowns. *Int J Prosthodont* 1993; 6(3): 286–90.
12. *Kostić Lj.* Preparation of the menth and teeth for fixed restorations. Belgrade: Nauka; 2005. (Serbian)
13. *Kent WA, Shillingburg HT Jr, Duncanson MG Jr.* Taper of clinical preparations for cast restorations. *Quintessence Int* 1988; 19(5): 339–45.
14. *Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J.* Contemporary Fixed Prosthodontics. 3rd ed. St. Louis: Mosby Inc; 2001.
15. *Arnetz G, Dornhofer R.* PREPassistant: a system for evaluating tooth preparations. *Int J Comput Dent* 2004; 7(2): 187–97. (English, German)
16. *Trifunović D, Vujošević Lj.* Dental prosthetics. Belgrade: ECPD; 1998. (Serbian)
17. *Todorović A.* Primena CAD/CAM technology in dental prosthetics. Belgrade: Autorsko izdanje; 2005. (Serbian)
18. *Strub JR, Beschmidt SM.* Fracture strength of 5 different all-ceramic crown systems. *Int J Prosthodont* 1998; 11(6): 602–9.
19. *Raigrodski AJ, Chiche GJ.* The safety and efficacy of anterior ceramic fixed partial dentures: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 2001; 86(5): 520–5.
20. *Fradeani M, D'Amelio M, Redemagni M, Corrado M.* Five-year follow-up with Procera all-ceramic crowns. *Quintessence Int* 2005; 36(2): 105–13.
21. *Bindl A, Richter B, Mörmann WH.* Survival of ceramic computer-aided design/manufacturing crowns bonded to preparations with reduced macroretention geometry. *Int J Prosthodont* 2005; 18(3): 219–24.
22. *Rammelsberg P, Eickemeyer G, Erdelt K, Pospiech P.* Fracture resistance of posterior metal-free polymer crowns. *J Prosthet Dent* 2000; 84(3): 303–8.
23. *Lin MT, Sy-Muñoz J, Muñoz CA, Goodacre CJ, Naylor WP.* The effect of tooth preparation form on the fit of Procera copings. *Int J Prosthodont* 1998; 11(6): 580–90.
24. *Akesson J, Sundh A, Sjögren G.* Fracture resistance of all-ceramic crowns placed on a preparation with a slice-formed finishing line. *J Oral Rehabil* 2009; 36(7): 516–23.
25. *Yoshinari M, Dérand T.* Fracture strength of all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 1994; 7(4): 329–38.
26. *Körber KH, Ludwig K.* Maximale Kaukraft als Berechnungsfaktor zahntechnischer Konstruktionen. *Dent Lab* 1983; 31: 55–60.
27. *Pröbster L.* Compressive strength of two modern all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 1992; 5(5): 409–14.
28. *Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H.* Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study. *Int J Prosthodont* 2001; 14(3): 231–8.
29. *Jones DW, Sutton EJ.* Stress corrosion failure of dental porcelain. *Br Ceram Tran J* 1987; 86: 40–3.
30. *Deville S, Chevalier J, Gremillard L.* Influence of surface finish and residual stresses on the ageing sensitivity of biomedical grade zirconia. *Biomaterials* 2006; 27(10): 2186–92.

31. *Chevalier J, Cales B, Drouin JM.* Low-temperature aging of Y-TZP ceramics. *J Am Ceram Soc* 1999; 82: 2150–54.
32. *Piconi C, Maccauro G.* Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 1999; 20(1): 1–25.
33. *Chevalier J.* What future for zirconia as a biomaterial? *Biomaterials* 2006; 27(4): 535–43.
34. *Schmitt J, Wichmann M, Holst S, Reich S.* Restoring severely compromised anterior teeth with zirconia crowns and feathered margin preparations: a 3-year follow-up of a prospective clinical trial. *Int J Prosthodont* 2010; 23(2): 107–9.
35. *Tinschert J, Zvez D, Marx R, Anusavice KJ.* Structural reliability of alumina-, feldspar-, leucite-, mica- and zirconia-based ceramics. *J Dent* 2000; 28(7): 529–35.
36. *Sundb A, Molin M, Sjögren G.* Fracture resistance of yttrium oxide partially-stabilized zirconia all-ceramic bridges after veneering and mechanical fatigue testing. *Dent Mater* 2005; 21(5): 476–82.
37. *Sorensen JA, Kang SK, Torres TJ, Knode H.* In-Ceram fixed partial dentures: three-year clinical trial results. *J Calif Dent Assoc* 1998; 26(3): 207–14.
38. *Marx R, Fischer H, Weber M, Jungwirth F.* Rissparameter und Weibullmodule: unterkritisches Risswachstum und Langzeitfestigkeit vollkeramischer Materialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 2001; 56: 90–8.

Primljen 20. VIII 2010.
Revidiran 28. X 2011.
Prihvaćen 26. I 2012.
OnLine-first februar, 2012.