

Adhezivno cementiranje cirkonij-oksidnih keramičkih nadomjestaka

Matija Borovac, dr. med. dent. [1]

prof. dr. sc. Marko Jakovac [2]

[1] Zavod za parodontologiju, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

[2] Zavod za fiksnu protetiku, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

SAŽETAK

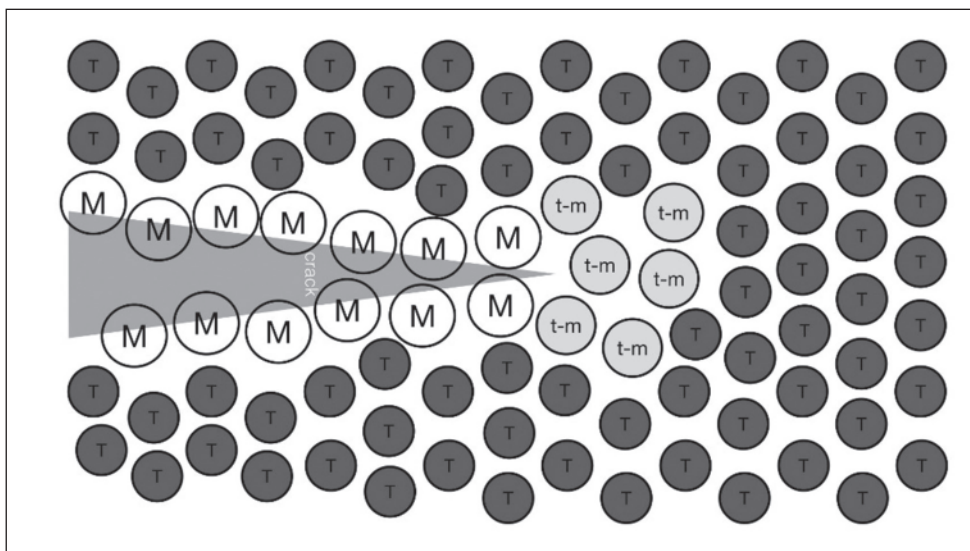
Cirkonij-oksidna keramika zauzima ključno mjesto u suvremenoj fiksnoj protetici zahvaljujući iznimnim mehaničkim, estetskim i biološkim svojstvima. U svakodnevnom kliničkom radu primjenjuju se različiti protokoli cementiranja ovisno o vrsti nadomjestka, morfologiji preparacije i individualnim zahtjevima slučaja. S obzirom na kemijsku inertnost cirkonijeva dioksida i njegovu polikristaliničnu strukturu za uspješno povezivanje sa zubnim tkivima nužno je poštivanje specifičnih kliničkih postupaka. Najčešće je preporučena tehnika adhezivnog cementiranja, no njegova učinkovitost uvelike ovisi o pravilnoj provedbi svakog koraka protokola. U članku su opisana svojstva cirkonij-oksidne keramike, osnovna načela adhezivnog cementiranja te razlike u odnosu na konvencionalne tehnike. Opisane su indikacije primjene materijala te klinički protokoli cementiranja, uključujući površinsku obradu, vrste cementa i najčešće pogreške koje mogu utjecati na ishod. Posebno je prikazan APC protokol (engl. *Airborne-particle abrasion – Primer – Composite resin cement*), koji se smatra standardom u adhezivnom cementiranju cirkonij-oksidnih radova. Cilj je članka pružiti pregled znanstveno utemeljenih preporuka i aktualnih kliničkih smjernica koje omogućuju bolju kliničku predvidivost i dugoročan uspjeh terapije.

Ključne riječi: cirkonijev dioksid; adhezivno cementiranje; površinska obrada; kompozitni cement; APC protokol

Cirkonijev dioksid kao materijal u stomatologiji

Cirkonijev dioksid (ZrO_2) danas je jedan od najvažnijih materijala u fiksnoj protetici. Kao polikristalinična keramika u dentalnu je medicinu uveden s ciljem proširenja indikacija primjene potpuno keramičkih nadomjestaka, a razvojem CAD/CAM tehnologije omogućena je precizna izrada nadomjestaka s ponovljivošću do 4 μm (1, 2). Odlikuju ga visoka mehanička čvrstoća, otpornost na trošenje i lom, kao i stabilnost u oralnim uvjetima. Koristi se za pojedinačne krunice, mostove i implantoprotetske konstrukcije, uz povoljniju biokompatibilnost i estetiku

u odnosu na metalne legure (3). Najčešće se koristi tetragonalno stabilizirani cirkonijev dioksid - Y-TZP, u kojem itrijev oksid stabilizira tetragonsku fazu i omogućuje transformacijsko očvršćuće, mehanizam koji povećava otpornost na širenje pukotina. U uvjetima lokalnog naprezanja (Slika 1.) dolazi do fazne transformacije iz tetragonske u monoklinsku fazu, pri čemu nastaje volumno povećanje od približno 3 – 5 %. To povećanje volumena uzrokuje tlačna naprezanja oko pukotine i tako mehanički blokira njezino širenje. Zahvaljujući ovom mehanizmu, 3Y-TZP keramika ima visoku savojnu čvrstoću (800 – 1200 MPa), tvrdoću i lomnu žilavost usporedivu s metalima (1, 2, 4,



Slika 1. Y-TZP oblik cirkonijeva dioksida s prikazom pukotine. Preuzeto s dopuštenjem autora prof. dr. sc. Marka Jakovca.

5). Mikrostruktura utječe na fizikalna svojstva, a ovisi o temperaturi sinteriranja: manja zrna povećavaju čvrstoću i otpornost na trošenje, a veća translucenciju. Preveliki rast zrna iznad veličine 0,5 μm može destabilizirati fazu i smanjiti otpornost materijala (4, 6). Novije generacije (4Y, 5Y) s većim udjelom kubne faze nude bolju translucenciju, ali slabija mehanička svojstva, pa su prikladnije za manje i estetski zahtjevnere radove (2, 4, 7, 8).

Nadomjesci mogu biti monolitni ili slojevani. Monolitni se izrađuju iz jednog komada materijala, a zbog visoke mehaničke otpornosti i otpornosti na lom najčešće se koriste u stražnjim regijama. Izrađuju se CAD/CAM obradom iz predsinteriranih blokova (Slika 2.), a nakon oblikovanja slijedi sinteriranje tijekom kojeg dolazi do smanjenja volumena za približno 20 – 25 %. Zbog toga svaki proizvođač definira faktor uvećanja koji mora unijeti u softver kako bi se kompenzirao gubitak volumena i postigla visoka preciznost rada. Razvoj višeslojnih (*multi-layer*) diskova dodatno je unaprijedio estetske mogućnosti – unutar jedne ploče kombiniraju se slojevi s različitim udjelima kubne i tetragonske faze, radi prirodnijeg prijelaza boje. Bitno ih je razlikovati od *multi-color* diskova koji su samo različito pigmentirani u više slojeva, bez stvarne razlike u strukturi materijala. Slojevani (*veneered*) nadomjesci, kod kojih se na jezgru cirkonijeva dioksida nanose estetske glinična keramika ili staklokeramika, i dalje su izbor u situacijama kada je estetika prioritet, iako su skloniji otkrhućima (*chipping*). Otkrhuće estetske kera-

mike najčešće se javlja zbog razlike u koeficijentima termičke ekspanzije. Za razliku od metal-keramičkih sustava, kod kojih vanjski sloj ostaje pod tlačnim naprezanjem, istraživanja su pokazala da se u dubokim slojevima obložne keramike cirkonij-oksidnih sustava javljaju vlačna naprezanja, što znatno povećava rizik od pojave pukotina (4, 9). Slojevanje se provodi različitim tehnikama: ručno nanošenje, *press-on-technique*, *cut-back* tehnika, a razvijeni su i CAD-ON sustavi u kojima se litij-disilikatna keramika preša na precizno izrađeni skelet od cirkonijeva dioksida (1, 4, 8, 10). U kliničkoj se praksi češće izrađuju monolitni nadomjesci zbog pouzdanosti i jednostavnije obrade, dok slojevani nadomjesci ostaju standard u situacijama gdje su estetski zahtjevi iznimno visoki. Pre-



Slika 2. Disk cirkonij-oksidne keramike. Preuzeto s dopuštenjem autora prof. dr. sc. Marka Jakovca.

paracija za monolitne krunice zahtijeva 0,5 – 1,0 mm redukcije zubnog tkiva okluzalno i lateralno, a za slojevane konstrukcije potrebna je veća redukcija (1,0 – 1,5 mm) uz zaobljenu stepenicu. Neovisno o vrsti konstrukcije važno je osigurati glatke prijelaze bez oštih rubova kako bi se spriječila koncentracija naprezanja i osigurala precizna CAD/CAM obrada.

Adhezivno cementiranje

Adhezivno cementiranje predstavlja temelj suvremene fiksne protetike jer osigurava trajnu stabilnost veze između nadomjestka i bataljka, poboljšava marginalno zatvaranje, smanjuje mikropropuštanje i produžuje kliničko trajanje nadomjeska (1 – 3). Veza se ostvaruje kombinacijom klasične mehaničke i mikromehaničke retencije (jetkanjem cakline i dentina radi stvaranja mikropovršine za infiltraciju monomera) te kemijske interakcije funkcionalnih skupina u adhezivnim smolama s hidrosilnim ili oksidnim skupinama na zubu ili nadomjestku. Kod silikatnih keramika za ostvarenje kemijske veze koristi se silan, dok se za cirkonij-oksidnu keramiku primjenjuju specifični monomeri poput 10-MDP (10-meta-kriloksidencil dihidrogen fosfat) (1, 3). Zbog visoke čvrstoće, estetskih svojstava i mogućnosti kemijske i mikromehaničke veze sa zubom i nadomjestkom najčešće se u adhezivnim protokolima koriste kompozitni cementi. Građeni su od smolaste matrice (BIS-GMA, UDMA, TEGDMA) i anorganskog punila koje poboljšava mehanička svojstva i radioopacitet, a dijele se na svjetlosno, kemijski i dvostruko polimerizirajuće. Dvostruko polimerizirajući cementi kombiniraju prednosti oba sustava, omogućuju stvrdnjavanje u dubokim ili tamnim područjima te

kontrolu početnog stvrdnjavanja (*snap-set* efekt), što olakšava uklanjanje viška cementa. Protokol adhezivnog cementiranja uključuje precizne korake za postizanje optimalne snage veze i dugoročnog kliničkog uspjeha (1, 2). Nužno je osigurati suho radno polje obzirom na to da se radi s kompozitnim materijalima. Zubna površina prvo se mehanički čisti plovućem (bez dodanog flora) na četkici ili gumici, nakon čega se dekontaminira uporabom 0,12 – 2 % otopine klorheksidina. Sredstva koja oslobađaju slobodne radikale kisika (poput H₂O₂) treba izbjegavati jer mogu inhibirati polimerizaciju smolastih cemenata. Na vitalnim zubima preporučuje se izbjegavati i alkohol zbog mogućnosti isušivanja dentina i posljedično slabije adhezije (3, 11). Zubna površina kondicionira se jetkanjem cakline 35 – 37 % ortofosfornom kiselinom 20 – 30 sekundi, dok se dentin jetka kraće (5 do 10 sekundi) ili se, ovisno o vrsti adheziva (*total-etch*, *self-etch*, *selective etch*) uopće ne jetka. Površina se zatim temeljito ispiri i lagano suši. Adhezivni sustav nanosi se utrljavanjem tijekom minimalno 20 sekundi na površinu bataljka, a zatim se ispuhuje kako bi se osigurao tanak, ali primjeren sloj adheziva. Adheziv se ne polimerizira prije cementa osim kada proizvođač sustava tako traži. Kod samoadhezivnih cemenata se ovaj korak preskače (12). Cement se aplicira na unutarnju površinu nadomjestka u dovoljnoj količini, pozicionira se na zub uz blagi pritisak, a inicijalna svjetlosna polimerizacija od 2 do 3 sekunde omogućuje uklanjanje viška cementa. Nakon toga slijedi potpuna svjetlosna polimerizacija kod prozirnih i poluprozirnih nadomjestaka u trajanju od minimalno 20 sekundi (optimalno 40) sa svake strane, poliranje i provjera okluzije (1, 8).

Tablica 1. Razlike adhezivnog i konvencionalnog cementiranja.

Karakteristike	Adhezivno cementiranje	Konvencionalno cementiranje
Vrsta veze	mehanička + mikromehanička + kemijska veza	isključivo mehanička veza (makroretencija)
Retencijski zahtjevi preparacije	moguća minimalno invazivna preparacija	veća redukcija tvrdog zubnog tkiva (jasno definirana preparacija)
Cementi	kompozitni cementi	cink-oksifosfatni / staklenoionomerni cementi
Površinska obrada nadomjestka	pjeskarenje aluminijevim oksidom i primjena MDP – primera za cirkonij-oksidne nadomjestke	nije potrebna specifična obrada (osim čišćenja)
Izolacija radnog polja	suho radno polje uz preporuku korištenja koferdama	suho radno polje
Otpornost na mikropropuštanje	minimalno (uz pravilno izvođenje)	povećano mikropropuštanje tijekom vremena

Adhezivno cementiranje omogućuje minimalno invazivne zahvate, visok estetski rezultat i trajnu vezu između zuba, cementa i nadomjestka. Za razliku od konvencionalne tehnike cementiranja, kod koje se retencija osigurava principom trenja zbog precizno definirane geometrije preparacije zuba i cementima poput cink-oksifosfatnih, karboksilatnih i staklenoionomernih, adhezivni sustavi kombiniraju mehaničku, mikromehaničku i kemijsku vezu, omogućuju očuvanje tvrdog zubnog tkiva i minimaliziranje mikropropuštanja. Tablica 1. prikazuje glavne razlike između ove dvije skupine tehnika. Odabir između adhezivnog i konvencionalnog cementiranja ne treba promatrati kao izbor boljeg sustava, već je odluku potrebno temeljiti na kliničkoj indikaciji, materijalu nadomjestka, zahtjevima pacijenta te mogućnostima stomatologa i zubnog tehničara (8).

APC protokol za adhezivno cementiranje cirkonij-oksidnih nadomjestaka

Adhezivno cementiranje cirkonij-oksidnih keramičkih nadomjestaka zahtijeva prilagođeni klinički pristup zbog jedinstvene strukture i kemijske inertnosti ovog materijala. Ključ uspjeha veze leži u kombinaciji mehaničke i kemijske pripreme površine, budući da konvencionalni pristupi poput jetkanja fluorovodičnom kiselinom i silanizacije nisu primjenjivi. Zbog toga je razvijen tzv. APC (engl. *Airborne-particle abrasion – Primer – Composite resin cement*) protokol koji se danas smatra zlatnim standardom u adhezivnom cementiranju cirkonij-oksidnih fiksoprotetskih nadomjestaka (1, 13). Prvi korak u APC protokolu uključuje mehaničku obradu površine - pjeskarenje česticama aluminijske oksida veličine do 50 µm, pri tlaku od 0,1 do 0,2 MPa i pod kutom od 45° s udaljenosti od otprilike 1 cm, čime se stvara mikroskopska hrapavost za mikromehaničku retenciju cementa (14, 15). Preagresivno pjeskarenje može uzrokovati preranu transformaciju tetragonske u monoklinsku fazu, čime se smanjuje funkcionalna trajnost nadomjestka. U slučaju nepravilnog ili izostavljenog laboratorijskog pjeskarenja preporučuje se *chair-side* pjeskarenje neposredno prije cementiranja i/ili primjena kemijskih sredstava za reaktivaciju površine (16). Nakon pjeskarenja i kliničke probe u ustima,

unutarnja površina nadomjestka često je kontaminirana ostacima sline, glicerinskih pasti ili laboratorijskih sredstava što može smanjiti učinkovitost kemijskog vezanja jer fosfati iz sline kompetitivno inhibiraju vezu MDP-a s površinom cirkonijeva oksida (17, 18). Dekontaminacija je stoga obavezna, a najčešće se koristi Ivoclean (Ivoclar VivaDent, Schaan, Lihtenštajn), pasta visokog pH koja uklanja fosfate s površine cirkonijeva dioksida bez oštećenja keramičke strukture (19).

Nakon čišćenja vezne površine ZrO₂ primjenjuje se *primer* koji sadrži 10-MDP, monomer s visokim afinitetom prema metalnim oksidima (uključujući ZrO₂) koji omogućuje stvaranje stabilne kemijske veze s organskom matricom cementa (20). Istraživanja pokazuju da kombinacija pjeskarenja i MDP *primera* znatno povećava vrijednosti sile smicanja i otpornost na termičko starenje u odnosu na mehaničku obradu bez kemijskog *primera* (16, 19). Alternativne metode poput tribokemijske silikatizacije ili nanošenja nanočestica silicijeva dioksida pokazuju obećavajuće rezultate, ali su još uvijek skupe, tehnički zahtjevne i nedovoljno istražene u kliničkoj praksi (19 – 21). Na tržištu su dostupni zasebni *primeri* s visokom koncentracijom 10-MDP koji se apliciraju direktno na prethodno pjeskarenu i očišćenu površinu, univerzalni adhezivi koji se mogu nanositi na zub i nadomjestak te samoadhezivni cementi s integriranim MDP-om, koji omogućuju cementiranje bez prethodne aplikacije zasebnog *primera*. Za cementiranje se preporučuje smolasti kompozitni cement, idealno s MDP monomerom. Istraživanja brojnih autora pokazala su da cementi s MDP monomerima, u usporedbi s konvencionalnim cementima, ostvaruju znatno veću čvrstoću veze s površinama od cirkonijeva dioksida (22). Cementi koji ne sadrže 10-MDP, kao i univerzalni adhezivi korišteni bez prethodne obrade površine, pokazuju znatno nižu veznu čvrstoću. Samoadhezivni cementi bez dodatnog *primera* ne ostvaruju pouzdanu kemijsku retenciju, osobito u dugoročnim uvjetima starenja (23). U svakodnevnoj praksi, bitno je paziti i na sam protokol cementiranja. Bez potpune kontrole vlage smanjuje se učinkovitost vezanja, a povećava rizik od marginalnog propuštanja. Dodatno, zakašnjelo uklanjanje viška cementa, nepravilna polimerizacija

i prekomjerna debljina cementnog sloja, često rezultiraju lošijim marginalnim zatvaranjem i smanjenom estetikom nadomjestka (1, 11, 24).

Uspješno cementiranje cirkonij-oksidsnih nadomjestaka zahtijeva dobro razumijevanje svojstava materijala, pažljivo izvođenje svih preporučenih kliničkih postupaka i kontrolu svakog koraka – od pripreme površina i izolacije, do izbora odgovarajućeg cementa i polimerizacije. U budućnosti se očekuje daljnji razvoj novih materijala i sustava koji bi mogli olakšati kliničku primjenu i smanjiti mogućnost pogreške. Ipak, dok se njihova dugoročna učinkovitost ne potvrdi u relevantnim kliničkim istraživanjima, od ključne je važnosti da se stomatolozi oslanjaju na preporučene protokole, prate aktualne stručne smjernice i kontinuirano usavršavaju kako bi osigurali predvidive, estetski prihvatljive i trajne kliničke rezultate (8).

Literatura

- Jakovac M, Stolica D, Marcutti N, editors. Protocol: Standardisation in fixed prosthodontics. Berlin New Malden: Quintessence Publishing; 2024. p. 257–69.
- Rosenstiel SF, Land MF, Walter RD. Contemporary Fixed Prosthodontics. 6. edition. Philadelphia: Elsevier; 2022. p. 739–57.
- Anusavice DMD KJ. Phillips' Science of Dental Materials - E-Book: Phillips' Science of Dental Materials - E-Book. 12th ed. Chantilly: Elsevier - Health Sciences Division; 2012.
- Špehar D, Jakovac M. New Knowledge about Zirconium-Ceramic as a Structural Material in Fixed Prosthodontics. Acta Stomatol Croat. 2015 Jun 15;49(2):137–44.
- Powers JM, Wataha JC. Dental materials: foundations and applications. Eleventh edition. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2017. 240 p.
- Denry I, Kelly J. State of the art of zirconia for dental applications. Dent Mater. 2008 Mar;24(3):299–307.
- Shillingburg HT, Sather DA, editors. Fundamentals of fixed prosthodontics. Fourth edition. Chicago Berlin Tokyo: Quintessence Publishing Co, Inc; 2012. p. 425–47.
- Borovac M. Adhezivno cementiranje cirkonij-oksidsnih keramičkih radova [Internet]. Available from: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:127:975329>
- Mainjot AK, Schajer GS, Vanheusden AJ, Sadoun MJ. Influence of veneer thickness on residual stress profile in veneering ceramic: Measurement by hole-drilling. Dent Mater. 2012 Feb;28(2):160–7.
- Tarle Z. Restaurativna dentalna medicina. Medicinska naklada; 2019. p. 330–31.
- Jakovac M, Kranjčić J. Pretklinička i laboratorijska fiksna protetika. Zagreb: Stega tisak; 2020. p. 205–14.
- Blatz MB, Mante FK, Saleh N, Atlas AM, Mannan S, Ozer F. Postoperative tooth sensitivity with a new self-adhesive resin cement—a randomized clinical trial. Clin Oral Investig. 2013 Apr;17(3):793–8.
- Blatz MB, Alvarez M, Sawyer K, Brindis M. How to Bond Zirconia: The APC Concept. Compend Contin Educ Dent Jamesburg NJ 1995. 2016 Oct;37(9):611–7; quiz 618.
- Erdem A, Akar G, Erdem A, Kose T. Effects of Different Surface Treatments on Bond Strength Between Resin Cements and Zirconia Ceramics. Oper Dent. 2014 Apr 1;39(3):E118–27.
- Wang C, Niu L na, Wang Y jie, Jiao K, Liu Y, Zhou W, et al. Bonding of Resin Cement to Zirconia with High Pressure Primer Coating. Divaris K, editor. PLoS ONE. 2014 Jul 3;9(7):e101174.
- Monaco C, Cardelli P, Scotti R, Valandro LF. Pilot evaluation of four experimental conditioning treatments to improve the bond strength between resin cement and Y-TZP ceramic. J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont. 2011 Feb;20(2):97–100.
- Krifka S, Preis V, Rosentritt M. Effect of Decontamination and Cleaning on the Shear Bond Strength of High Translucency Zirconia. Dent J. 2017 Nov 14;5(4):32.
- Takahashi A, Takagaki T, Wada T, Uo M, Nikaido T, Tagami J. The effect of different cleaning agents on saliva contamination for bonding performance of zirconia ceramics. Dent Mater J. 2018 Sep 27;37(5):734–9.
- Adhesion to Zirconia Used for Dental Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Adhes Dent. 2015 Feb 24;17(1):7–26.
- Bonding of Resin-based Luting Cements to Zirconia With and Without the Use of Ceramic Priming Agents. J Adhes Dent. 2012 Aug 15;14(4):385–92.
- Elsaka SE, Elnaghy AM. Mechanical properties of zirconia reinforced lithium silicate glass-ceramic. Dent Mater. 2016 Jul;32(7):908–14.
- Le M, Larsson C, Papia E. Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia. Dent Mater J. 2019 May 29;38(3):480–9.
- Sharafeddin F, Shoale S. Effects of Universal and Conventional MDP Primers on the Shear Bond Strength of Zirconia Ceramic and Nanofilled Composite Resin. J Dent Shiraz Iran. 2018 Mar;19(1):48–56.
- Farah R. Effect of Cement Type on Marginal Microleakage of Zirconia Crowns with or without Cervical Margin Relocation: An *In Vitro* Study. Oper Dent. 2025 Mar 1;50(2):194–203.