

Rīgas Stradiņa universitāte

Rezidentūras studiju fakultāte

“Zobu Protežēšana”

Lūzuma izturības salīdzinājums implantu balstītām monolītiskām un CAD-on cirkonija dioksīda keramikas fiksētām zobu protēzēm.

Darba autors: Zobu protežēšanas 3.gada rezidents Mārtiņš Reiņikovs

Darba vadītājs: Dr. Kārlis Ozoliņš

Rīga, 2023

Anotācija

Šī zinātniski pētnieciskā darba mērķis ir in-vitro pētījumā salīdzināt lūzuma izturību implantu balstītām monolītiskām un trīs slāņu cirkonija dioksīda keramikas fiksētām zobu protēzēm. Noskaidrot un izvērtēt CAD-ON konstrukciju potenciālu. Analizēt iespējamus ieguvumus un negatīvos aspektus kā konstrukciju izgatavošanā, tā klīniskajā pielietojumā. Izvērtējot in-vitro testa rezultātus varam secināt, ka CAD-ON tehnoloģijā izgatavotas implantu balstītas fiksētas zobu protēzes uzrāda augstākus lūzuma izturības rādītājus, salīdzinot ar monolītiska cirkonija restaurācijām. Ir nepieciešami papildus in-vitro pētījumi, lai pilnvērtīgi izvērtētu CAD-ON restaurāciju klīniskā pielietojuma iespējas.

Atslēgas vārdi: zobu protēzes, klasifikācija, cirkonijs, keramika, monolītisks, “computer-aided design and computer-aided manufacturing”, lūzuma izturība, pārklājošā keramika, zoba implants.

The aim of this research is to evaluate and compare flexural strength of CAD-ON both zirconia framework and veneering part luted together using composite cement with the same design monolithic zirconia restoration. Review the potential of CAD-ON fixed dental prosthesis. Summarize potential benefits and possibilities of failure in clinical appliance. After evaluation of in-vitro fracture resistance test results it can be concluded that CAD-ON group presents higher fracture toughness than same design monolithic zirconia implant supported fixed dental prosthesis. More in-vitro research is necessary to draw complete conclusions about CAD-ON type prosthesis conformity to clinical practice.

Keywords: dental prostheses, classification, zirconia, all-ceramics, monolithic, computer-aided design and computer-aided manufacturing, fracture toughness, veneering ceramic, dental implant.

Saturs

<i>Anotācija</i>	2
<i>Saturs</i>	3
<i>Lietotie saīsinājumi</i>	4
<i>Ievads</i>	5
<i>Zobu protezēšanā lietotās keramikas un to klasifikācija</i>	6
<i>Cirkonija dioksīda keramika</i>	8
1.1 Cirkonija dioksīda keramikas fizikālās un ķīmiskās īpašības	9
1.2 Cirkonija keramikas fiskētu zobu protēžu ražošana un apstrāde	11
1.3 Implantu balstītas konstrukcijas – slodze, pasiv fit, komplikācijas, estētika	Error!
Bookmark not defined.	
<i>Materiāli un metodes</i>	14
<i>Rezultāti</i>	16
<i>Diskusija</i>	19
<i>Secinājumi</i>	23
<i>Atsauces</i>	24

Lietotie saīsinājumi

Mol%	Mola procenti
KN	Kiloņūtoni
Mpa	Megapaskāls
%	Procentuālais daudzums pēc masas
m	monoklīniskais
t	tetragonāls
k	kubiskais
ZrO ₂	Cirkonija dioksīds
Y-TZP	Itrijs stabilizēts tetragonāls cirkonija polikristāls
CAD/CAM	Computer aided design / computer aided manufacturing
ZTD	Zemas temperatūras degradācija
SD	Standarta deviācija
TIK	Termiskās izplešanās koeficients

Ievads

Funkcionāls, estētisks un ilgtspējīgs ārstēšanas rezultāts ir zobu protezēšanas mērķis. Atskatoties pagātnē, fiksētu zobu protēžu izgatavošanā lietotās keramikas ir attīstījušās no trausliem laukšpata porcelāniem līdz augstas izturības polikristālu keramikām, kuras varam lietot gan viena zoba, gan lielu zobu rindas defektu atjaunošanā (1). Mūsdienās, tīras keramikas restaurācijas tiek uzskatītas par labāko izvēli, lai aizvietotu bojātos zoba audus, dēļ lieliskās biosaderības, estētikas un fizikālajām īpašībām (2, 3). Apvienojot labus materiālus ar CAD/CAM (computer-aided design / computer-aided manufacturing) ražošanas un apstrādes tehnoloģijām iespējams atdarināt dabu visā tās krāšņumā. Īpaši kad runājam par 3 mol% itrija tetragonālu cirkonija polikristālu (3Y-TZP) keramiku (4, 5).

Jo caurspīdīgāka keramika, jo tā kļūst trauslāka un otrādi. Šī ir problēma, kuru monolītiskās cirkonija dioksīda (ZrO_2) restaurācijas nevar pilnībā atrisināt. Jaunākās paaudzes 4Y-TZP un 5Y-TZP monolītiskas keramikas protēzes uzrāda uzlabotu estētiku un izturību. Tomēr neraugoties uz uzlabotām fizikālām īpašībām šie materiāli nav pietiekami stipri, lai tos lietotu lielu fiksētu zobu protēžu izgatavošanā (6, 7).

Lai panāktu vēlamu izturību tiek lietota cieta ZrO_2 keramika, kura tiek pārklāta ar trausliem porcelāniem, lai uzlabotu gaismas laušanas spējas un dabīgāk atveidotu zoba audus. Dažādu materiālu kombinēšana rezultējas ar pārklājošās keramikas lūzumiem, kas ir visbiežāk sastopamā komplikācija divu slāņu restaurācijās (7-11).

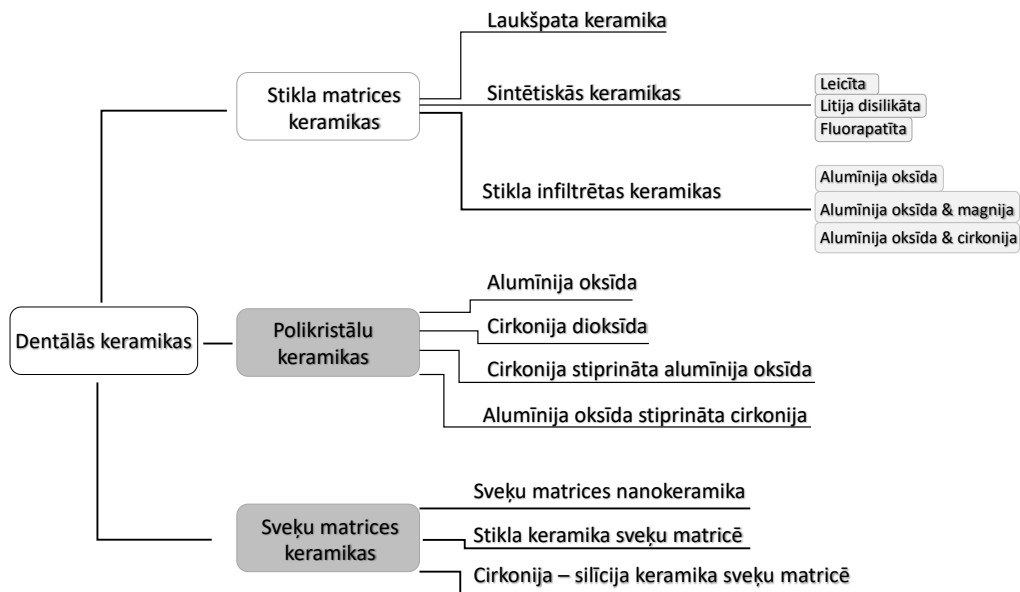
Šī pētījuma mērķis ir salīdzināt lieces izturību CAD-on un monolītiskām cirkonija dioksīda keramikas fiksētām zobu protēzēm. Nulles hipotēze: starp CAD-ON un monolītiska cirkonija fiksētām zobu protēzēm nepastāv statistiski ticama lūzumu izturības atšķirība. Ir akūta nepieciešamība izprast CAD-on konstrukciju dabu un izturību. Trīs slāņu cirkonija konstrukcijas potenciāli ļauj samazināt pārklājošās keramikas lūzuma risku, uzlabo estētiku, kā arī ievērojami samazināt protēzes izgatavošanas laiku.

Zobu protezēšanā lietotās keramikas un to klasifikācija

Nav noslēpums, ka ar tīras keramikas materiāliem var lieliski atveidot zaudētus zoba audus kā vizuālā tā fizikālā aspektā (12). Estētika ir lielākā šīs materiālu grupas priekšrocība, salīdzinājumā ar materiāliem, kuri lietoti agrāk. Mūsdienās pieejamie keramiskie materiāli ir attīstījušies tik tālu, lai tos varētu lietot gan viena zoba estētikas uzlabošanai, gan lielu zobu rindas defekta atjaunošanai, jebkurā zobu loka rajonā, lai pacients atgūtu kā vizuāli skaistu, tā funkcionālu smaidu. Ar adhezīvās cementēšanas palīdzību, keramiskie materiāli ļauj veidot daļējas zobu restaurācijas, pretstatus klasiskam kronim, kas nozares profesionāļiem ļauj sniegt pacientam maz invazīvu, saudzīgu un mūsdienīgu ārstēšanu (1, 12, 13). Bezmetālkeramikas restaurāciju ilgtermiņa klīniskie veiksmes rādītāji ir līdzīgi protezēšanas “zelta standartam” - metālkeramikas restaurācijām, kas bezmetālkeramikas restaurācijas padara par uzticamu alternatīvu (10, 13-16). Tomēr, ar īpašu piesardzību jāskatās uz jauniem materiāliem, jo nereti tie ir testēti tikai in-vitro un ne vienmēr rezultāti korelē ar klīnisko situāciju (5, 17).

Neskatoties uz lielo materiālu klāstu tirgū, ir skaidrs, ka vieni keramiskie materiāli tiek lietoti biežāk par citiem. Piemēram, cirkonija keramika sānu zobu restaurācijās vai laukšpata porcelāns smalkos priekšzobu venīros. Katrā klīniskā situācijā vēlamu mērķu sasniegšanai, iespējams lietot vairākus keramiskos materiālus. Lai atvieglotu restauratīvā materiāla izvēli talkā nāk keramiku klasifikācija (1, 18).

Vēsturiski keramikas ir klasificētas ļoti dažādi. Deviņdesmito gadu sākumā tās klasificēja laukšpata porcelānos un ar alumīnija oksīdu stiprinātos laukšpata porcelānos. Vēlāk bija mēģinājumi klasificēt keramiku pēc kušanas temperatūrām, termiskās izplešanās koeficienta, apstrādes metodēm, klīniskajām indikācijām, lieces izturības, caurspīdīguma un cietiem parametriem (19-22). Industrijai attīstoties un aizvien jauniem materiāliem ienākot tirgū radās haoss. Tos nevarēja pievienot jau esošajām keramiku klasifikācijām. 2015. gadā Gracis et al. “International Journal of Prosthodontics” klasificē keramikas pēc ķīmiskā sastāva (sk. 1. att.) iedalot tās trīs lielās grupās: stikla matricēs keramika, polikristālu keramika un sveķu matricēs keramika (1).



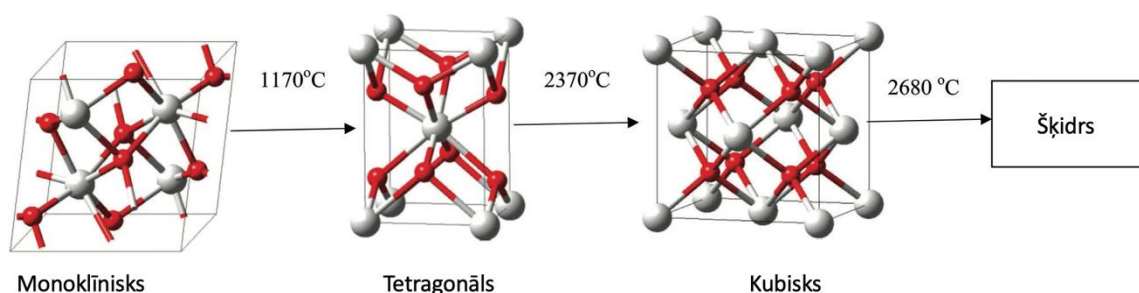
1.att Keramiku klasifikācija (1)

Keramiku klasificēšana pēc ķīmiskā sastāva nodrošina visaptverošu materiālu pārskatu, kā arī ļauj jauniem materiāliem tikt pievienotiem kādai no grupām vai apakšgrupām nemainot klasifikācijas pamatus (1). Materiāla dabu nosaka tā ķīmiskais sastāvs. Šāda veida klasificēšana ne tikai ļauj ērti pārskatīt pieejamos materiālus, bet arī nozares speciālistiem sniedz informāciju par fizikālajām īpašībām, cementēšanas procesiem un klīniskajām indikācijām (23).

Cirkonija dioksīda keramika

Cirkonija dioksīda keramika (ZrO_2) ir viens no biežāk lietotajiem materiāliem mūsdienu modernajā zobārstniecībā. Augstās izturības, bioloģiskās saderības un optisko īpašību dēļ cirkonija oksīda keramika ir lieliski izmantojama fiksētu zobu protēžu izgatavošanā (24, 25). Pateicoties straujai digitālo tehnoloģiju attīstībai cirkonija oksīda keramikas ražošana un apstrāde ir kļuvusi no ļoti komplicēta procesa par relatīvi vienkāršu un pieejamu vairumam nozares speciālistu.

Cirkonija dioksīds ir polimorfa viela, kura ir sastopama trīs alotropiskos stāvokļos atkarībā no apkārtējās vides temperatūras (sk. 2.att). ZrO_2 kristālrežģis var būt monoklīnisks (m), tetragonāls (t) vai kubisks (k) (16).



2.attēls. Cirkonija dioksīda kristālrežģa maiņa atkarībā no temperatūras (24).

Katram kristālrežģa veidam piemīt atšķirīgas fizikālās un ķīmiskās īpašības. Fiksētu zobu protēžu izgatavošanā no fizikālajiem raksturlielumiem kā svarīgākos var atzīmēt: optiskās īpašības, cietību un lieces izturību. No ķīmiskajiem parametriem svarīga ir materiāla bioloģiskā saderība un inertums.

Monoklīniskais cirkonija dioksīds temperatūrā līdz 1170 °C sastopams baltu 20-60 nm lielu lodīšveida kristālu formā (26). Temperatūrai paaugstinoties atomu izkārtojums mainās uz tetragonālu struktūru un cirkonija dioksīds veido cietu, baltu un viendabīgu kristālu. Tetragonālas fāzes pāreja kubiskā fāzē notiek pie 2370 °C, kad veidojas ļoti ciets un caurspīdīgs kristāls. Kubiskā fāzē ZrO_2 pastāv līdz kušanas temperatūrai 2680 °C (6, 16, 18, 24).

Zobu protezēšanā tiek izmantota cirkonija dioksīda keramikas tetragonāla un kubiska fāze. Lai panāktu šo kristālrežģu veidošanos un nesabrukšanu istabas temperatūrā ir nepieciešams pievienot stabilizējošas molekulas. Stabilizēšanai izmanto oksīdus, tādus kā: kalcija oksīds

(CaO), magnija oksīds MgO, itrija oksīds (Y_2O_3), cēzija oksīds (CeO_2). Par vispiemērotāko oksīdu ZrO_2 daļējai vai pilnīgai stabilizēšanai tiek uzskatīts Y_2O_3 (26). Stabilizējošā oksīda daudzumu polikristālā raksturo ar mol%. Palielinot procentuālo itrija oksīda daudzumu pieaug polikristāla stabilitāte (7, 24, 27). Citiem vārdiem – cirkonija dioksīds spēj saglabāt tetragonālu un kubisku kristālrežģi pie daudz zemākām temperatūrām. Lai stabilizētu tetragonālu fāzi istabas temperatūrā nepieciešams vismaz 3 mol% Y_2O_3 . Itrijs stabilizētu cirkonija dioksīda keramiku apzīmē - 3Y-TZP (3 mol% Ytria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal), kur skaitlis pirms abreviatūras norāda itrija procentuālo daudzumu keramikā. Itrijs daudzums keramikā rezultējās ar cirkonija dioksīda keramikas fizikālo un ķīmisko īpašību maiņu, atšķirīgiem apstrādes protokoliem, kā arī klīnisko pielietojumu fiksētu zobu protēžu izgatavošanā (27-29).

1.1 Cirkonija dioksīda keramikas fizikālās un ķīmiskās īpašības

Jebkuras protētiskas konstrukcijas uzdevums ir pretoties kā augstas, tā zemas intensitātes mehāniskām slodzēm, temperatūru svārstībām un ķīmiskām reakcijām ilgtermiņā saglabājot savu integritāti un vizuālo izskatu. Tomēr ir skaidrs, ka visi materiāli fizikālu spēku ietekmē noveco (18). Kā klīnicistiem, tā zobu tehniķiem ir būtiski izprast cirkonija dioksīda polikristālu keramikas uzbūvi un dažādos sastāvus, lai izvēlētos vispiemērotāko keramiku attiecīgās restaurācijas izgatavošanā.

Tetragonāliem cirkonija polikristāliem (3Y-TZP) ārēju fizikālu faktoru iedarbības rezultātā piemīt spēja mainīties uz monoklīniskiem ($t \rightarrow m$). Šo īpašību sauc par transformācijas rūdīšanos (eng. transformation toughening). Šīs pārvērtības padara keramikas restaurāciju izturīgāku apturot plaisu izplatību, jo $t \rightarrow m$ transformācijas rezultātā pieaug tilpums (V) no 3-5% un tiek aizpildītas radušās plaisas. Tilpuma pieaugums rada papildu spriegumu materiālā, kas paaugstina kopējo lieces izturību, bet vienlaikus rodas fāžu nestabilitāte un materiāls noveco (25, 26, 30). Transformācijas rūdīšanās ir daļa no procesa kuru dēvē par hidrotermālo novecošanos vai zemas temperatūras degradēšanos (ZTD). Plaisu attīstība un fāžu maiņa no $t \rightarrow m$ pamazām noārda cirkonija polikristālu, kas var rezultēties ar fiksētu zobu protēžu lūzumiem. ZTD norises straujums raksturo materiāla ilgmūžību un fizikālo īpašību maiņu (18, 31, 32). Cirkonija zobu protēžu glazēšana var mazināt ZTD efektu, jo stikla keramikas glazūra kalpos kā barjera un neļaus ūdens molekulām nonākt uz polikristāla virsmas (27). No cirkonija keramiku izgatavošanas un zobu tehniskā aspekta svarīgi atzīmēt, ka jebkura mehāniska fiksētu

zobu protēžu apstrāde rada fāžu maiņu un mikro plaisas uz cirkonija polikristāla virsmas. Lai mazinātu spriegumu keramikā un likvidētu plaisas nepieciešama materiāla termiska apstrāde. Atkarībā no cirkonija ražotāja un sastāva temperatūras variē no 900-1000°C. Karstumā notiek monoklīnisko kristālu transformācija tetragonālos (m→t) un mazinās kompresijas spēki restaurācijā (25, 33, 34).

Kubiskās fāzes kristāli ir noturīgi un nepakļaujas fāžu transformācijai (29). Tie ir lielāki izmērā. Kristāliem ir augstāka caurspīdīguma pakāpe un labākas gaismas laušanas īpašības salīdzinot ar tetragonālas fāzes kristāliem (35). Tomēr, tie ir trauslāki, jo kubiskā fāzē nepastāv transformācijas rūdīšanās – plaisu progresēšana netiek apturēta. Kubiskās fāzes kristāli ir sastopami 4Y-TZP, 5Y-TZP un 6Y-TZP keramikās. Jo vairāk itrija tiek pievienots, jo vairāk keramikā būs sastopami kubiskās fāzes kristāli. Tiks uzlabotas keramikas optiskās īpašības, bet zaudēta lieces izturība (sk. 1.tab.) (7, 27, 36, 37). Jaunākās paaudzes Y-TZP keramikās sastopams graduāls itrija piesātinājums keramikas diskā. Šo jautājumu sīkāk apskatīsim runājot par restaurāciju izgatavošanu.

1.tabula Cirkonijs: caurspīdīgums un lieces izturība (7)

Cirkonijs	Caurspīdīgums (%)	Lieces izturība (Mpa)
3Y-TZP	20	1200
3Y-TZP (↓ Al₂O₃)	25	1000
4Y-TZP	30	900
5Y-TZP	35-40	500

Cirkonija oksīda keramikām piemīt izcila biosaderība. Tā ir spēja sadarboties ar dzīvjiem audiem un neizraisīt negatīvas blakus parādības. Y-TZP biosaderība tiek pētīta jau no pagājušā gadsimta sešdesmitiem gadiem (38). Izgatavojot fiksētas zobu protēzes uzmanība jāpievērš restauratīvā materiāla reakcijai ar mīkstajiem audiem, jo tas ir viens no faktoriem, kas nosaka protēzes ilgmūžību. Cirkonija dioksīda keramika uzrāda lielisku mijiedarbību ar smaganu fibroblastiem. Fibroblastu adhēzija un proliferācija blakus cirkonija keramikām ir pārāka par titānu vai citiem zobu protezēšanā lietotajiem materiāliem (39, 40). Hemidesmosomu fiksācija pie pulēta cirkonija virsmas nodrošina veiksmīgu peri-implanta audu stabilitāti un barjeras funkciju (39). Adu adhēzijas kontekstā svarīgi izvērtēt cirkonija anti-bakteriālās īpašības un baktēriju spēju kolonizēt keramikas virsmu. To varam salīdzināt ar sacensību starp mīkstajiem audiem un mutes dobuma mikrofloru, kurā vēlamies stimulēt audu

proliferāciju un inhibēt bakteriālo kolonizāciju. Baktēriju saistību ietekmē virsmas raupjums. Jo augstāks virsmas raupjums, jo izteiktāka baktēriju adhēzija (41). Adhēzijas samazināšanai labākā ir pulēta cirkonija virsma (42). Papildus pulēšanai baktēriju saistību var inhibēt ar dažādiem virsmas pārklājumiem. Kā populārāko var minēt plazmas apstrādi, kuras rezultātā pulētā cirkonija virsma tiek pārklāta ar aktīvā skābekļa un slāpekļa molekulām (43, 44).

Kā restaurācijas, tā antagonista zoba nodilums ir svarīgs faktors zobu protezēšanā. Tas ir faktors, kuru varam apskatīt arī biosaderības kontekstā, jo jebkurš zoba audus aizvietojošs materiāls tiks iekļauts mutes dobuma fizioloģiskajos procesos (37, 45). Cilvēka emaljai kontaktējot un slīdot gar keramikas restaurācijām rodas lieli spiediena un lieces spēki, kuru ietekmē var lūzt gan keramika, gan zoba emalja. Cieti stikla keramikas kristāli abrāzijas ceļā pārmērīgi deldē dabīgos zoba audus (46, 47). Pretstatā, zoba nodilums pret pulēta Y-TZP virsmu ir mazāks salīdzinot ar metālkeramikas vai stikla keramikas kroņiem (37, 48).

1.2 Cirkonija keramikas fiksētu zobu protēžu ražošana un apstrāde.

Cirkonija dioksīda keramikas tiek izgatavotas lietojot CAD/CAM tehnoloģijas. Šo tehnoloģiju pielietojums un popularitāte ir ļoti pieaugusi pēdējā desmitgadē. CAD/CAM tehnoloģiju attīstības pamatā vēsturiski ir bijušas trīs problēmas: izturīgu sānu zobu protēžu izgatavošana (cietu materiālu apstrāde), dabīga izskata restaurācijas, protēžu izgatavošanas ātrums un precizitāte(4). CAD/CAM tehnoloģiju ienākšana zobārstniecībā salīdzināma ar pirmo datoru attīstību, jo līdz tam visu zobu protēžu izgatavošana balstījās tikai uz cilvēka roku darbu (49).

Fiksētu zobu protēžu izgatavošana sākas ar “informācijas” pārnesi no pacienta mutes uz zobu tehnisko laboratoriju. To iespējams īstenot ņemot konvencionālu nospiedumu vai digitālā ceļā - izmantojot intra-orālu skeneri (50). No konvencionāla nospieduma tiks atliets ģipša modelis, kuru ar speciāla laboratorijas skenera (piem. Ceramill Map) palīdzību digitalizēs, lai uzsāktu vēlamās restaurācijas modelēšanu tam paredzētā programatūrā. Ja agrāk kroņu modelēšana no vaska varēja aizņemt vairākas stundas, tad šobrīd izmantojot iepriekš sagatavotas digitālas zobu formu bibliotēkas, tas paveicams daudz ātrāk. Tiklīdz vēlamās restaurācijas forma ir gatava noslēdzas CAD posms. CAM etaps sākās ar cirkonija dioksīda frēzēšanu no blokiem vai diskiem, neatkarīgi izgatavojot implantu vai zobu balstītas fiksētas protēzes. Y-TZP frēzēšana iespējama divos veidos atkarībā no materiāla cietības (26, 51). Iespējams frēzēt jau sinterizētu cirkoniju, kurš sastāv no sakausētiem kristāliem. Tā apstrāde ir

ilga un rada lielu iekārtu nodilumu, tādēļ tā tiek reti izmantota. Daudz populārāka un ērtāka ir pre-sinterizēta cirkonija frēzēšana. Y-TZP kristāli nav sakausēti kopā. Diskā vai blokā tie ir saspiesti un šāda materiāla frēzēšana notiek daudz ātrāk un ar mazāku iekārtu nodilumu. Būtiska atšķirība tehnoloģiskajā procesā ir mērogs, kādā protēzes tiek izgatavotas. Atkarībā no Y-TZP ražotāja, pre-sinterizētā stāvoklī protēzes tiek frēzētas 15-20% lielākā izmērā, jo sinterizācijas procesā tās saraujas (7, 52). Sinterizēšana jeb sakausēšana notiek speciālās krāsnīs pēc precīzi noteikta karsēšanas un dzesēšanas protokola. Katram cirkonija dioksīda keramikas materiālam tas atšķiras. Temperatūru neievērošana vai neatbilstība noved pie restaurācijas precizitātes zuduma vai plīsuma. Īpaši svarīga apstrādes protokola ievērošana ir izgatavojot lielas implantu balstītas zobu protēzes. CAD/CAM tehnoloģiju precizitāte ir augsta – tā variē robežās no 50-120 μ m (53, 54).

Implantu balstītas fiksētas zobu protēzes

Implantu balstītas fiksētas zobu protēzes ir lieliska ārstēšanas metode zaudētu zobu aizvietošanai. Iespējams aizvietot gan vienu zobu, gan protezēt visa alveolārā loka ietvaros. Protēzes dizains un veids atkarīgs no klīniskās situācijas un sasniedzamajiem ārstēšanas mērķiem (55). Neizņemamu konstrukciju gadījumā implants kalpo kā protēzes balsts, neatkarīgi no izvēlēta restauratīvā materiāla. Protēzes pie implanta balsta var tikt skrūvētas vai fiksētas ar cementu (56). Svarīgs aspekts salīdzinot implantu un zobu ir oseointegrācija. Starp zoba saknes virsmu un alveolas sienām atrodas periodontālās saites, kuras nodrošina amortizāciju funkcijas laikā. Implantu kontekstā periodontālo saišu nav un amortizācijas funkcija neeksistē. Oseointegrācija rada rigidu savienojumu un vienmērīgu košanas spēka pārvadi uz alveolāro kaulu. Totālas zobu rindas protezēšanas gadījumā, trūkst arī mehanoreceptori, kuri nodrošina taktīlo jutību (57). Taktīlās jutības neesamība ir viens no faktoriem, kuru dēļ komplikāciju risks implantu balstītām protēzēm ir augstāks, nekā zobu balstītām neizņemamām protēzēm. Biežāk sastopamās komplikācijas ir protēžu daļēji vai pilnīgi lūzumi. Retāk sastopami abatmentu vai pašu implantu lūzumi (55).

Izgatavojot implantu balstītas fiksētas protēzes lielu zobu rindas defektu aizvietošanai, ļoti svarīga ir adekvātu materiālu izvēle. “Zelta standarts” ilgus gadus zobu protezēšanā ir bijusi metālkeramikas restaurācija. Tā sastāv no metāla karkasa un porcelāna, kurš veido protēzēs estētisko jeb redzamo daļu. Metālkramikas restaurācijas uzrāda labus izdzīvošanas rādītājus ilgtermiņā, tomēr bieži novērojama keramikas atdalīšanās no metāla karkasa (11, 27, 58). Mūsdienās metālkeramiku lielās fiksētās zobu protēzēs sāk aizvietot cirkonija dioksīda keramiku restaurācijas. Modernām ražošanas tehnoloģijām attīstoties, pastāv iespēja precīzi apstrādāt oksīdu keramikas, kas ir īpaši svarīgi. Oksīdu keramikas pēc savas uzbūves ir kristāli. Tie ļoti slikti vai nemaz nepakļaujas plastiskām deformācijām (24, 26, 27). Jebkura neprecizitāte fiksētas protēzes izgatavošanas laikā var radīt spriegumu, kurš agri vai vēlū rezultēsies ar protēzes lūzumu. Implantu balstītās fiksētās konstrukcijas liela nozīme ir pasivitātei. Citiem vārdiem – iekšēju spriegumu neesamībai un vienīgā slodze, kura protēzēm ir jāiztur ir košļāšanas spēks. Liela nozīme slodzes vienmērīgā sadalījumā ir centrālām attiecībām un zobu anatomijai. Pauguru morfoloģija un kontakta virsma ar zobiem antagonistiem spēlē lielu lomu keramiku lūzuma riska mazināšanā. Zobi uz periodontālo saišu rēķina spēj kompensēt nevienmērīgu oklūziju un izlīdzināt košanas spēkus. Implantu balstītās konstrukcijās šāda kompensatora mehānisma nepastāv, pateicoties oseointegrācijai (13, 59).

Materiāli un metodes

Tika izgatavoti 10 cirkonija keramikas implantu balstīti tilti un sadalīti divās grupās (n=5). Tilti bija veidoti no četrām zobu vienībām - no pirmā premolāra līdz otrajam molārām (divas starpdaļas). Eksperimentālo grupu veidoja CAD-ON trīsslāņu cirkonija keramikas tilti (Katana HT / Panavia V5 / Katana UTML). Kontroles grupa sastāvēja no monolītiskiem ZrO₂ tiltiem (Katana YML). Standarta augšžokļa plastmasas modelis (Frasaco GmbH) ar integrētiem implantu analogiem (Ankylos, Dentsply Sirona) tika izmantots kā bāze cirkonija tilta dizaina izstrādē. Modeļu skenēšanai un pārnesi digitālajā pasaulē tika izmantoti skenēšanas transfēri (Elos Medtech) un laboratorijas skeneris Ceramill Map 600 (Amann Girrbach AG). Tiltu dizaina zīmēšanai tika lietota ExoCAD (exocad GmbH) programatūra. Cirkonija daļu frēzēšana tika īstenota izmantojot imes-icore Coritec 350i (imes-icore GmbH) frēzēšanas iekārtu, lietojot frēzi ar diametru 1mm. Gan cirkonija karkasi no Katana HT, gan monolītiskā kontroles grupa no Katana YML tika frēzēti no cirkonija diska zemākā slāņā, lai iegūtu visaugstāko iespējamo izturību. CAD-ON grupas sedzošā daļa tika frēzēta no Katana UTML diska augšējās daļas, lai iegūtu augstāko estētiku. Keramikā tika sinterizēta atbilstoši ražotāja instrukcijām kalibrētā Dekema 664i krāsnī.

Monolītiskā grupa:

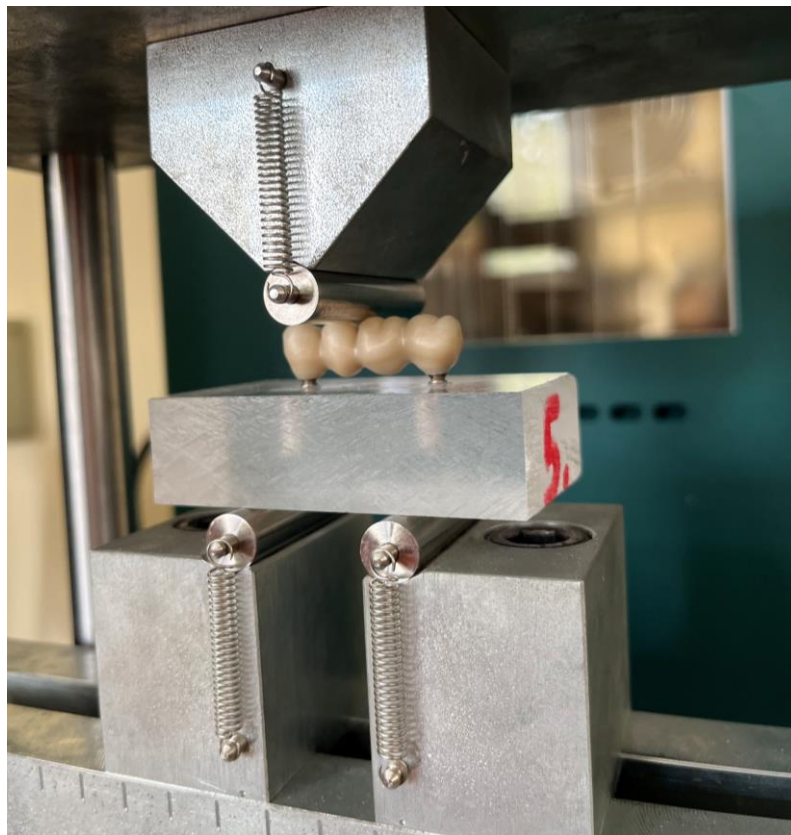
Tika izgatavots anatomisks pilnas formas Katana YML cirkonija četru vienību implantu balstīts tilts. Minimālais šķērsriezuma laukums starpdaļā 36mm². Pēc frēzēšanas papildus individualizēšana un starpdaļu separēšana nenotiek. Keramikā tika sinterizēta 7 stundas 1550°C. Abatmentu sēžas un titāna bāzes tika apstrādātas ar 50 μm alumīnija oksīda strūklu no 10mm liela attāluma 2 bāru spiedienā 90° leņķī. Apstrādātās detaļas tiek mazgātas 99% izopropanola ultraskaņas vannā un pārklātas ar Ceramic primer pluss (Katana Medical Inc.). Cementēšanā izmantojam duāli cietējošu Panavia V5 (Clear) cementu.

CAD-ON grupa:

CAD-ON konstrukcijai par pamatu tiek ņemts kontroles grupas monolītiskā tilta dizains, kurš CAD programatūrā tiek sadalīts divās daļās – karkasā un virsējā slānī. Cirkonija karkass (Katana HT) ar šķērsriezuma laukumu starp starpdaļām 22 mm² un 1 mm platu 120° grādu noapaļotu pakāpi tiek izgatavots. Ārējo slāni veido no Katana UTML. Venīra daļa no iekšpuses tika reducēta 0.05mm, lai radītu vietu cementa slānim. Frēzēšana un sinterizācija

norit kā iepriekš aprakstīts. Karkasa ārējais slānis un venīra iekšējais slānis tika apstrādāts ar alumīnija oksīda 50 μm strūklū 2 bar spiedienā no 10mm attāluma 90° lenķī, lai radītu mikroreljefu un uzlabotu cementa retensiju. Cirkonija daļu virsmas tīrīšanai un attaukošanai izmantojam 99% izopropanola ultraskaņas vannu. Karkasa daļa no ārpuses un Katana UTML no iekšpuses pārklājām ar Ceramic primer plus. Abas tilta daļas un Ankylos titāna bāzes abatmentus cementējām ar Panavia V5 cementu atbilstoši ražotāja instrukcijām.

Katrs titāna bāzes abatments tika savienots ar laboratorijas analogu un fiksēts ar 15 Ncm lielu spēku. 10 organiskā stikla pamatnēs, atbilstoši tiltu analogu pozīcijām, tika sagatavoti 12 mm dziļi urbumi. Urbumos pēc iepriekšminētā protokola ar Panavia V5 cementu tika ielīmēti visi testējamie paraugi. In-vitro lieces izturības testēšanai tika izmantota Tinius Olsen (sk. 3.att.) universālā statistiskās testēšanas iekārta ar 25 KN sensoru un testēšanas ātrumu 0.1 mm/min. Attālums starp parauga fiksējošiem balstiem bija 25mm. Sensora indikators tika novietots starp molāru un premolāru – staprdaļām pa vidu. Lūzuma brīdis tika identificēts kā spēka (N) kritums grafikā.



3.att. Tinius Olsen universālā testēšanas iekārta un paraugs

Rezultāti

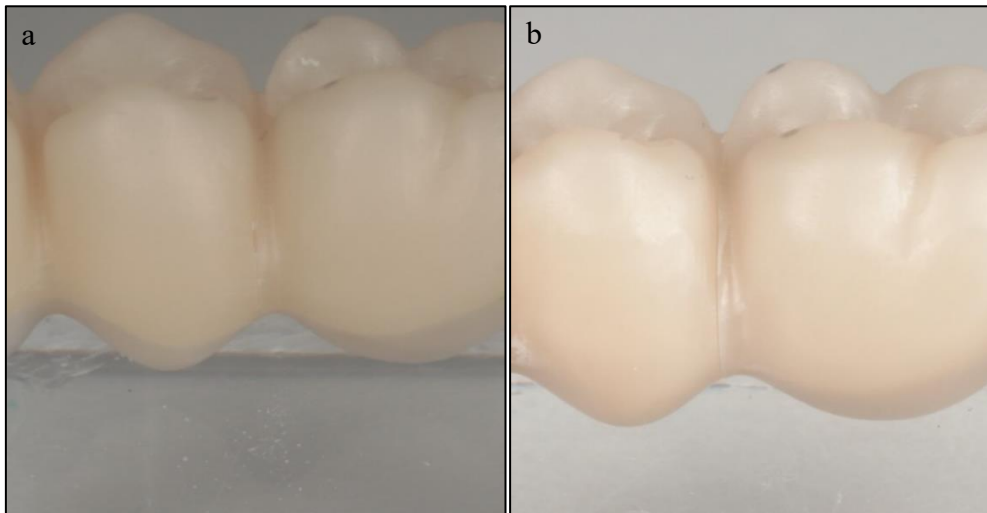
Paraugu lūzuma izturība (N), vidējās vērtības (Vid.) un standarta deviācija (SD) attēlota 2.tabulā.

2.tabula Lūzuma izturība (N)

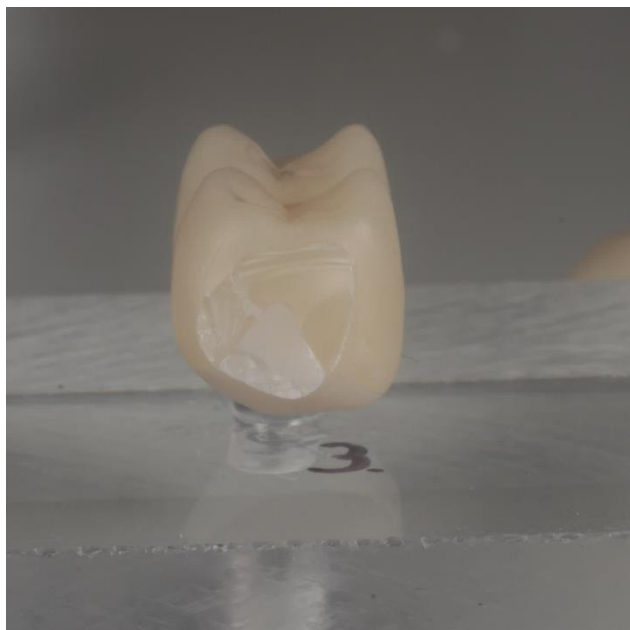
Parauga numurs	CAD-ON	Monolītisks (kontrolē)
1	2400*	2710*
2	4000	2910
3	3680	3470
4	4270	3470
5	4250	3190
Vid.	4050	3260
SD	238.6	232.2

*Paraugi, kuri tiek uzskatīti par neveiksmīgiem. Iegūtās vērtības netiek iekļautas aprēķinos.

Lūzuma izturība uzrāda statistiski ticamu atšķirību ($p < 0.05$) starp CAD-ON un monolītiska cirkonija fiksētām zobu protēzēm. CAD-ON grupa uzrādīja visaugstākos lūzuma izturības rādītājus ($4050 \text{ N} \pm 238.6$) salīdzinot ar monolītiskā cirkonija kontroles grupu ($3260 \text{ N} \pm 232.2$; $p < 0.015$). Visi 10 testētie paraugi lūza pa vidu – starp starpdaļām. Lūzuma līnijas abās testētajās grupās - vertikālas (sk.3.att). CAD-ON paraugu grupā netiek novērota karkasa un venīra daļas atcementēšanās (sk. 4.att.)



3.attlēs a) CAD-ON četru vienību fiksētas zobu protēzes lūzuma līnija, b) Monolītiskas četru vienību fiksētas zobu protēzes lūzuma līnija



4.att. Lūzuma līnijas šķērsriezums

Visiem testētajiem paraugiem cilindriskā sensora pieskares punkti sakrīt. Sensora cilindrs atbalstās uz molāra starpdaļas mezio-bukālā un mezio-distālā paugura, un premolāra palatinālo pauguru (sk. 5.att)

5.att. Sensora cilindra atbalsta punkti.



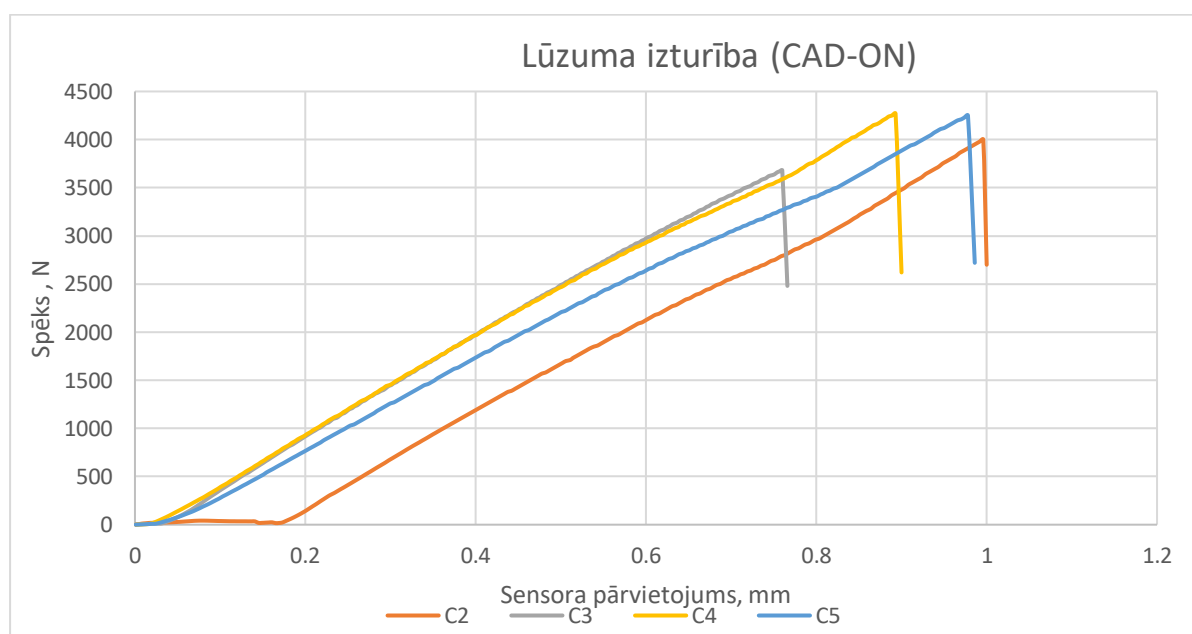
Implantu abatmentu vai analogu lūzums netiek konstatēts. Abu grupu pirmo paraugu balstošā plāksne tiek atzīta par defektīvu, līdz ar to iegūtie dati netiek ņemti vērā tālākā apstrādē.

Diskusija

Starp abām testētajām paraugu grupām pastāvēja ievērojamas lūzuma izturības atšķirības, līdz ar to, nulles hipotēze neapstiprinās. Pētāmie paraugi tika sadalīti divās grupās, katrā iekļaujot 5 testējamus paraugus. Implantu balstītas fiksētas zobu protēzes tika izgatavotas no viena ražotāja cirkonija ievērojot katra izmantotā materiāla lietošanas instrukciju, izņemot Katana UTML keramiku. Iegūtie rezultāti atspoguļo cirkonija sastāva un ģeometrisku formu nozīmi fiksētu zobu protēžu izgatavošanā.

CAD-ON grupas lūzuma izturība atspoguļota 1.grafikā.

1.grafiks CAD-ON Lūzuma izturība (N)

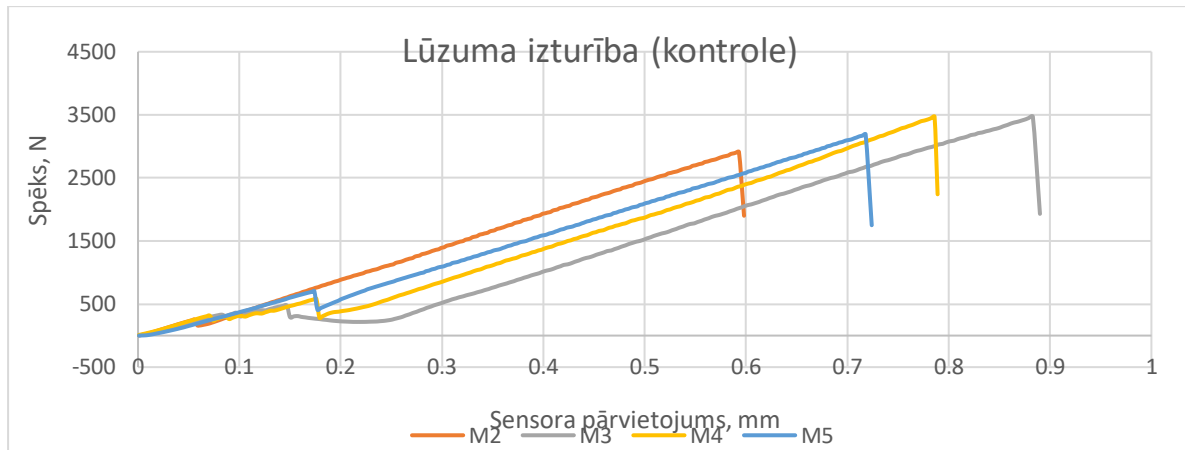


Testēšanas laikā netika novērota virsējā cirkonija slāņa ātrāka lūšana, ko atspoguļo vienmērīgs spēka pieaugums lineārā grafikā līdz pilnīgam konstrukcijas lūzumam. Tas varētu būt skaidrojams ar saites stiprību un cementa slāņa spēju pārvadīt slodzi no vājākas keramikas uz izturīgāku. Pārklājošas keramikas slānis lielākoties tiek pakļauts kompresijas spēkiem, kurus kubiskās fāzes kristāli spēj tolerēt salīdzinoši labi. Pēc šāda novērojuma varam secināt, ka CAD-ON konstrukcija slodzes testā performē līdzīgi pilnas formas restaurācijām. Katana UTML cirkonija keramika ir vistrauslākā no pētījumā lietotajām un ir paredzēta viena zoba restaurācijām. Kombinācijā ar izturīga cirkonija karkasu (Katana HT) potenciāli varam paplašināt 5Y-TZP cirkonija keramikas lietošanas indikācijas. Tomēr, nevaram izslēgt, ka

slodzes kritums venīra daļas lūzuma brīdī varētu būt tik mazs, ka 25KN sensors pie izvēlētajā testēšanas ātruma nespēj fiksēt spēka kritumu zem iepriekšējā mērījuma.

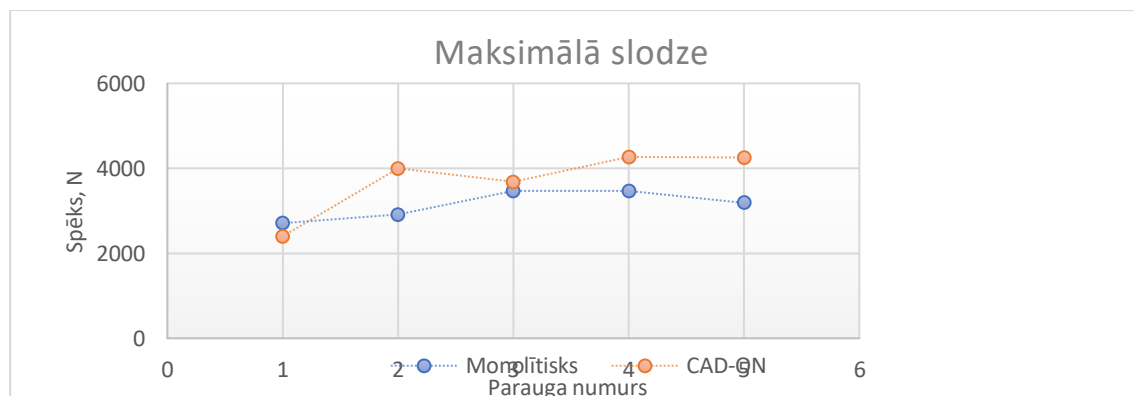
Monolītiskās grupas lūzuma izturība atspoguļota 2.grafikā.

2.grafiks Monolītiskās grupas lūzuma izturība (N)



Kontroles grupas paraugi tika izgatavoti no Katana YML cirkonija keramikas. Pēc ražotāja instrukcijām šī keramika ir lietojama gan viena zoba atjaunošanai, gan implantu balstītu protēžu izgatavošanai visu zobu aizvietošanai. Tā uzrāda labas fizikālās un optiskās īpašības (7, 60). Analizējot grafiku redzams nelielas spēka svārstības slodzes testa sākumā, kas varētu būt skaidrojamas ar paraugu centrēšanos pret sensora cilindru. Līdz ko centrēšanās ir notikusi, sāk lineāri pieaugt spēks līdz katastrofālam lūzumam. Lineārs spēka pieaugums un iegūtie dati mums ļauj secināt, ka abas testētās grupas ir salīdzināmas savā starpā un testēšana ir noritējusi veiksmīgi. Testēto paraugu salīdzinājums attēlots 3.grafikā.

3.grafiks Maksimālās slodzes salīdzinājums



Salīdzinot cirkonija dioksīda keramikas, svarīgs aspekts ir keramikas slāņu anatomija diskā, no kurām tās tiek frēzētas. Mūsdienās pieejami cirkonija diski ar graduālu trija piesātinājumu (multi-layer). Diska pamatnē parasti tiek lietots augstas izturības 3Y-TZP, vidējā daļā 4Y-TZP un 5Y-TZP virsējā slānī, lai iegūtu labākas optiskās īpašības. Slāņu biezumi ir atkarīgi no kopējā diska biezuma un ražotāja. Izgatavojot fiksētas zobu protēzes, ir iespēja restaurāciju nobīdīt vairāk izturīgā vai skaistā cirkonija virzienā atkarībā no klīniskās situācijas. Tomēr graduāla fizikālo īpašību maiņa cirkonija keramikā līdz galam nerisina problēmu lielās implantu balstītās fiksētās protēzēs. Novietojot restaurāciju vairāk 5Y-TZP zonā tiek kompromitēta izturība. Novietojot restaurāciju 3Y-TZP zonā iegūstam izturību, bet zaudējam optiskās īpašības. Monolītiskas restaurācijas šķērsgreizumā cirkonija slāņi sadala vertikālā virzienā no kožamās virsmas līdz abatmentam, bet nav iespējams sagitālā plaknē koriģēt cirkonija sastāvu. Šī iemesla dēļ tiek lietoti izturīgas cirkonija keramikas karkasi, kurus pārklāj ar porcelāniem, lai iegūtu vēlamo estētiku īpaši bukālā aspektā. Porcelānu pārklājuma lūzumi ir visizplatītākā komplikācija implantu balstītās fiksētās zobu protēzēs (3, 10). Galvenais iemesls porcelāna lūzumiem ir atšķirīgs termiskās izplešanās koeficients (TIK) starp cirkonija dioksīdu un stikla keramikām, kuram ir īpaša nozīme liela izmēra restaurācijās. Masīvs cirkonija karkass atdziest ļoti lēni, turpretim stikla keramikas pārklājums straujāk un rodas iekšēji spriegumi restaurācijā. Kombinācijā ar funkcionālu protēzes sloģošanu keramikas slāņi lūzt. Svarīgs aspekts ir oklūzija un pacienta sakodiens (6, 28, 61, 62). Lai samazinātu iekšēju spriegumu protēzē, pārklājošās keramikas daļu iespējams izgatavot atsevišķi un izmantojot cementus vai porcelānu fiksēt pie karkasa (60). Venīra daļu izgatavojot no stikla keramikām un fiksējot to ar sakausēšanas porcelānu, joprojām saglabājas potenciāls iekšējiem spriegumiem. Sakausēšanas porcelānu aizvietojo ar duāli cietējošu sveķu cementu nenotiek konstrukciju karsēšana, kā rezultātā tās izturību neietekmē TIK. Izvērtējot cirkonija keramikas CAD-ON restaurāciju ilgmūžību, kuras līmētas ar sveķu cementiem, svarīgs aspekts ir saites stiprība un cementa slāņa noturība mutes dobuma vidē (63). Ilgi ir pastāvējis uzskats, ka polikristālu keramikas nav iespējams ķīmiski saistīt ar sveķu cementiem, jo tajās nav stikla matrices. To cementēšana lielākoties ir balstījusies uz retensijas formu un mikromehāniku (64). Tomēr, mūsdienu adhezīvās sistēmas ar 10-MPD praimeriem uzrāda fosfāta saites veidošanos un ķīmisku saistību ar metāla oksīdu atomiem. Apvienojot retensijas formu, virsmas raupjumu un praimeru lietošanu varam panākt izturīgu un uzticamu cirkonija oksīdu saistību, lietojot adhezīvās sveķu cementu sistēmas (65, 66).

Kā nākamo CAD-ON konstrukcijas priekšrocību var minēt tās divdaļīgo uzbūvi ZTD kontekstā. Pret mutes dobumu, kurā ir mainīgi "laika apstākļi" ir vērsts 5Y-TZP cirkonijs, kurš

nepakļaujas ZTD, kā aprakstīts iepriekš. Ar mutes dobuma mīkstajiem audiem kontaktē pulēts 3Y-TZP. Tas stimulē fibroblastu augšanu un veido hemidesmosomālu savienojumu, tādējādi daļēji sevi pasargājot no ZTD (18, 27, 30, 67). Trešā komponente jeb cementa josla varētu tikt uzskatīta par trauslāko ķēdes posmu, tādēļ ir būtiski izvērtēt izvēlētajā cementa sastāvu un noturību mutes dobumā. Pie veiksmīgas protēzes dizaina cementa josla jānovieto subgingivāli, lai netiktu kompromitēta estētika. Subgingivālā rajonā fizioloģiski krājas vairāk aplikums un koncentrējas organiskās skābes, paaugstinot sveķu cementa noārdīšanās riskus (68, 69). Sveķu cementa noārdīšanās potenciāli varētu ietekmēt CAD-ON konstrukcijas izturību un veiksmes rādītājus ilgtermiņā. Velkot paralēles cementa degradācijai ar zobu balstītām netiešām restaurācijām varam prognozēt līdzvērtīgu vai pat labāku cementa slāņa integritāti, jo nepastāv “dentīna” komponente un hibrīdslānis (70).

Fiksētu zobu protēžu izgatavošana mēdz būt ļoti laukietilpīga, īpaši, ja runājam par lielām ar porcelānu pārklātām restaurācijām. CAD-ON restaurācijas ražošana ir ātrāka, jo neprasa tik lielu cilvēka darba ieguldījumu. Lielu darba daļu veic programatūra un frēzēšanas iekārta. Pastāv nepieciešamība izvērtēt un salīdzināt CAD-ON fiksētu zobu protēžu estētiku, lai izdarītu secinājumus par konstrukcijas piemērotību klīniskai praksei. Vērojot tehnoloģisko progresu, varam cerēt, ka nākotnē fiksētu zobu protēžu izgatavošanā varēsim iesaistīt mākslīgo intelektu, lai samazinātu cilvēka darbu.

Secinājumi

CAD-ON tehnoloģijā izgatavotas fiksētas zobu protēzes uzrāda labus izturības rādītājus. Veiktajā in-vitro lieces testā tās uzrāda augstākus lūzuma izturības rādītājus, kā monolītiska daudzslāņu cirkonija restaurācija, kura speciāli paredzēta lielu implantu balstītu fiksētu protēžu izgatavošanai. Anatomiska dizaina karkass un atsevišķi izgatavota fiksētas zobu protēzes virsējā daļa potenciāli var samazināt plaisu un lūzuma riskus. Lai izdarītu pilnīgākus secinājumus, jāveic vairāki in-vitro slodzes pētījumi un jāpalielina paraugu skaits.

Atsauces

1. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NRFA, Bonfante EA. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *The International Journal Of Prosthodontics*. 2015;28(3):227-35.
2. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dental Materials*. 2019;35(6):825-46.
3. Laumbacher H, Strasser T, Knüttel H, Rosentritt M. Long-term clinical performance and complications of zirconia-based tooth- and implant-supported fixed prosthodontic restorations: A summary of systematic reviews. *Journal of Dentistry*. 2021;111:103723.
4. Davidowitz G, Kotick PG. The Use of CAD/CAM in Dentistry. *Dental Clinics of North America*. 2011;55(3):559-70.
5. Makzoume J, Nasr E, Makhlof A-C, Zebouni E. All-ceramic Computer-aided Design and Computer-aided Manufacturing Restorations: Evolution of Structures and Criteria for Clinical Application. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2019;20:516-23.
6. Y Z, BR L. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *Journal of dental research*. 2018;97(2).
7. Jansen JU, Lümckemann N, Letz I, Pfefferle R, Sener B, Stawarczyk B. Impact of high-speed sintering on translucency, phase content, grain sizes, and flexural strength of 3Y-TZP and 4Y-TZP zirconia materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;122(4):396-403.
8. Larsson C, Vult Von Steyern P. Implant-supported full-arch zirconia-based mandibular fixed dental prostheses. Eight-year results from a clinical pilot study. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2013;71(5):1118-22.
9. BE P, U B, NP L, M Z. Comparison of survival and complication rates of tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs) and implant-supported FDPs and single crowns (SCs). *Clinical oral implants research*. 2007;18 Suppl 3.
10. Brandeburski SBN, Vidal ML, Collares K, Zhang Y, Della Bona A. Edge chipping test in dentistry: A comprehensive review. *Dental Materials*. 2020;36(3):e74-e84.
11. Pjetursson BE, Thoma D, Jung R, Zwahlen M, Zembic A. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years. *Clinical Oral Implants Research*. 2012;23(s6):22-38.
12. Bajraktarova-Valjakova E, Korunoska-Stevkovska V, Kapusevska B, Gigovski N, Bajraktarova-Misevska C, Grozdanov A. Contemporary Dental Ceramic Materials, A Review: Chemical Composition, Physical and Mechanical Properties, Indications for Use. *Open access Macedonian journal of medical sciences*. 2018;6(9):1742-55.
13. Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetursson BE. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dental Materials*. 2015;31(6):603-23.
14. Limones A, Molinero-Mourelle P, Azevedo L, Romeo-Rubio M, Correia A, Gómez-Polo M. Zirconia-ceramic versus metal-ceramic posterior multiunit tooth-supported fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *The Journal of the American Dental Association*. 2020;151(4):230-8.e7.
15. Pjetursson BE, Sailer I, Makarov NA, Zwahlen M, Thoma DS. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs. *Dental Materials*. 2015;31(6):624-39.
16. Santos M, Costa M, Rubo JH, Pegoraro L, Santos G. Current All-Ceramic Systems in Dentistry: A Review. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995)*. 2015;36:38-7.

17. Argyrou R, Thompson GA, Cho S-H, Berzins DW. Edge chipping resistance and flexural strength of polymer infiltrated ceramic network and resin nanoceramic restorative materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2016;116(3):397-403.
18. Grech J, Antunes E. Zirconia in dental prosthetics: A literature review. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019;8(5):4956-64.
19. Noort Rv. *Introduction to dental materials* / Richard van Noort. London a.o.: London a.o. : Mosby; 1994.
20. Noort Rv. *Introduction to dental materials* / Richard van Noort. 2nd ed. ed. Edinburgh [et al.]: Edinburgh et al. : Mosby; 2002.
21. Craig RG, Powers JM. *Restorative dental materials* / edited by Robert G. Craig, John M. Powers. 11th ed. ed. St. Louis: St. Louis : Mosby; 2002.
22. Helvey G. Classification of Dental Ceramics. *Inside Dentistry*. 2013;April 2013.
23. McLaren EA, Figueira J. Updating Classifications of Ceramic Dental Materials: A Guide to Material Selection. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995)*. 2015;36(6):400-5.
24. Gautam C, Joyner J, Gautam A, Rao J, Vajtai R. Zirconia based dental ceramics: structure, mechanical properties, biocompatibility and applications. *Dalton Trans*. 2016;45(48):19194-215.
25. Zarone F, Di Mauro MI, Ausiello P, Ruggiero G, Sorrentino R. Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):134.
26. Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dental Materials*. 2008;24(3):299-307.
27. Camposilvan E, Leone R, Gremillard L, Sorrentino R, Zarone F, Ferrari M, et al. Aging resistance, mechanical properties and translucency of different yttria-stabilized zirconia ceramics for monolithic dental crown applications. (1879-0097 (Electronic)).
28. Koçak EF, Uçar Y, Kurtoğlu C, Johnston WM. Color and translucency of zirconia infrastructures and porcelain-layered systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;121(3):510-6.
29. Shahmiri R, Standard OC, Hart JN, Sorrell CC. Optical properties of zirconia ceramics for esthetic dental restorations: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;119(1):36-46.
30. Sen N, Us YO. Mechanical and optical properties of monolithic CAD-CAM restorative materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;119(4):593-9.
31. Sen N, Isler S. Microstructural, physical, and optical characterization of high-translucency zirconia ceramics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019.
32. Yang H, Xu Y-L, Hong G, Yu H. Effects of low-temperature degradation on the surface roughness of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal ceramics: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2021;125(2):222-30.
33. Hatanaka GR, Polli GS, Fais LMG, Reis JMdsN, Pinelli LAP. Zirconia changes after grinding and regeneration firing. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017;118(1):61-8.
34. Ramos GF, Pereira GK, Amaral M, Valandro LF, Bottino MA. Effect of grinding and heat treatment on the mechanical behavior of zirconia ceramic. LID - S1806-83242016000100012 [pii] LID - 10.1590/1807-3107BOR-2016.vol30.0012 [doi]. (1807-3107 (Electronic)).
35. Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümke N. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. *Quintessence International*. 2017;48(5):369-80.
36. Elsayed A, Meyer G, Wille S, Kern M. Influence of the yttrium content on the fracture strength of monolithic zirconia crowns after artificial aging. *Quintessence International*. 2019;50(5):344-8.

37. Kruzic JJ, Arsecularatne JA, Tanaka CB, Hoffman MJ, Cesar PF. Recent advances in understanding the fatigue and wear behavior of dental composites and ceramics. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2018;88:504-33.
38. Popescu S, Manolea H, Diaconu O, Mercut V, Monica S, Dascălu I, et al. Zirconia Biocompatibility in Animal Studies - A Systematic Review. *Defect and Diffusion Forum*. 2017;376:12-28.
39. Tang K, Luo M-L, Zhou W, Niu L-N, Chen J-H, Wang F. The integration of peri-implant soft tissues around zirconia abutments: Challenges and strategies. *Bioactive Materials*. 2023;27:348-61.
40. Okabe E, Ishihara Y, Kikuchi T, Izawa A, Kobayashi S, Goto H, et al. Adhesion Properties of Human Oral Epithelial-Derived Cells to Zirconia. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2016;18(5):906-16.
41. Gittens RA, Scheideler L, Rupp F, Hyzy SL, Geis-Gerstorfer J, Schwartz Z, et al. A review on the wettability of dental implant surfaces II: Biological and clinical aspects. *Acta Biomaterialia*. 2014;10(7):2907-18.
42. Scarano A, Piattelli M, Caputi S, Favero GA, Piattelli A. Bacterial Adhesion on Commercially Pure Titanium and Zirconium Oxide Disks: An In Vivo Human Study. *Journal of Periodontology*. 2004;75(2):292-6.
43. Yang Y, Zheng M, Li J, Su YF, Li HP, Tan JG. Inhibition of bacterial growth on zirconia abutment with a helium cold atmospheric plasma jet treatment. *Clinical Oral Investigations*. 2020;24(4):1465-77.
44. Zheng M, Yang Y, Liu XQ, Liu MY, Zhang XF, Wang X, et al. Enhanced biological behavior of in vitro human gingival fibroblasts on cold plasma-treated zirconia. *PLoS ONE*. 2015;10(10).
45. Deval P, Tembhurne J, Gangurde A, Chauhan M, Jaiswal N, Tiwari D. A Clinical Comparative Evaluation Of The Wear Of Enamel Antagonist To Monolithic Zirconia And Metal Ceramic Crowns. *The International Journal of Prosthodontics*. 2021;34.
46. Arsecularatne JA, Hoffman M. On the wear mechanism of human dental enamel. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2010;3(4):347-56.
47. Arsecularatne JA, Hoffman M. Ceramic-like wear behaviour of human dental enamel. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2012;8:47-57.
48. Souza JCM, Silva CS, Caramês J, Henriques B, Novaes de Oliveira AP, Silva FS, et al. Wear behavior of dental glass-ceramics: a scoping review on the damage of opposing tooth enamel surfaces. *Biotribology*. 2020;21:100116.
49. Belli R, Wendler M, de Ligny D, Cicconi MR, Petschelt A, Peterlik H, et al. Chairside CAD/CAM materials. Part 1: Measurement of elastic constants and microstructural characterization. *Dental Materials*. 2017;33(1):84-98.
50. Flügge TV, Att W, Metzger MC, Nelson K. Precision of Dental Implant Digitization Using Intraoral Scanners. *The International journal of prosthodontics*. 2016;29(3):277-83.
51. Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Australian Dental Journal*. 2011;56(s1):84-96.
52. Oh GJ, Yun KD, Lee KM, Lim HP, Park SW. Sintering behavior and mechanical properties of zirconia compacts fabricated by uniaxial press forming. *J Adv Prosthodont*. 2010;2(3):81-7.
53. Papadiochou S, Pissiotis AL. Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;119(4):545-51.
54. Tabesh M, Nejatidanesh F, Savabi G, Davoudi A, Savabi O, Mirmohammadi H. Marginal adaptation of zirconia complete-coverage fixed dental restorations made from digital

scans or conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020.

55. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years. 2012.

56. Boyce RA. Prosthodontic Principles in Dental Implantology: Adjustments in a Coronavirus Disease-19 Pandemic-Battered Economy. *Dent Clin North Am*. 2021;65(1):135-65.

57. Klineberg I, Murray G. Osseoperception: sensory function and proprioception. (0895-9374 (Print)).

58. Pjetursson BE, Fehmer V, Sailer I. EAO Position Paper: Material Selection for Implant-Supported Restorations. *Int J Prosthodont*. 2022;35(1):7-16.

59. Monteiro DR, Goiato MC, Filho HG, Pesqueira AA. Passivity in Implant-Supported Prosthesis. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2010;21(6).

60. Basso GR, Moraes RR, Borba M, Griggs JA, Della Bona A. Flexural strength and reliability of monolithic and trilayer ceramic structures obtained by the CAD-on technique. *Dental Materials*. 2015;31(12):1453-9.

61. Bankoğlu Güngör M, Karakoca Nemli S. Fracture resistance of CAD-CAM monolithic ceramic and veneered zirconia molar crowns after aging in a mastication simulator. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;119(3):473-80.

62. Yamauchi S, Miura S, Kasahara S, Sun J, Egusa H. A thick frame decreases the fracture toughness of veneering ceramics used for zirconia-based all-ceramic restorations. *Journal of Prosthodontic Research*. 2019;63(2):184-92.

63. Ghodsi S, Shekarian M, Aghamohseni MM, Rasaeipour S, Arzani S. Resin cement selection for different types of fixed partial coverage restorations: A narrative systematic review. *Clinical and Experimental Dental Research*. n/a(n/a).

64. van den Bremer CRG, Gresnigt MMM, Cune MS. Cementation of Glass-Ceramic Posterior Restorations: A Systematic Review. *Biomed Research International*. 2015;2015:148954-.

65. Carrilho E, Cardoso M, Marques Ferreira M, Marto CM, Paula A, Coelho AS. 10-MDP Based Dental Adhesives: Adhesive Interface Characterization and Adhesive Stability-A Systematic Review. *Materials (Basel)*. 2019;12(5).

66. Scaminaci Russo D, Cinelli F, Sarti C, Giachetti L. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Current Conditioning Methods and Bonding Materials. *Dent J (Basel)*. 2019;7(3).

67. Wiedenmann F, Klören M, Edelhoff D, Stawarczyk B. Bond strength of CAD-CAM and conventional veneering materials to different frameworks. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020.

68. Silva EM, Noronha-Filho Jd Fau - Amaral CM, Amaral Cm Fau - Poskus LT, Poskus Lt Fau - Guimarães JGA, Guimarães JG. Long-term degradation of resin-based cements in substances present in the oral environment: influence of activation mode. (1678-7765 (Electronic)).

69. Han L, Okamoto A, Fukushima M, Okiji T. Evaluation of Physical Properties and Surface Degradation of Self-adhesive Resin Cements. *Dental materials journal*. 2007;26:906-14.

70. Frassetto A, Breschi L, Turco G, Marchesi G, Di Lenarda R, Tay FR, et al. Mechanisms of degradation of the hybrid layer in adhesive dentistry and therapeutic agents to improve bond durability--A literature review. (1879-0097 (Electronic)).