

Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Mihaela Vrebać

UTJECAJ RAZLIČITIH RESTAURATIVNIH
TEHNIKA KOD ENDODONTSKI LIJEČENIH ZUBI
NA FRAKTURNU OTPORNOST KRUNE ZUBA

Znanstveni rad

Zagreb 2022.

Rad je ostvaren na *Zavodu za endodonciju i restaurativnu stomatologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zavodu za konstruiranje – Katedra za konstruiranje i razvoj proizvoda i Zavodu za tehnologiju – Katedra za preradbu polimera i drva Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu*. Rad je izrađen pod mentorskim vodstvom prof. dr. sc. Nade Galić i komentorstvom izv. prof. dr. sc. Ane Pilipović te je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2021./2022.

Sadržaj

<i>1. UVOD</i>	<i>1</i>
1.1. Frakture zubi	1
1.2. Kompoziti ojačani staklenim vlaknima	3
<i>2. CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA</i>	<i>5</i>
<i>3. MATERIJALI I POSTUPCI</i>	<i>6</i>
3.1. Prikupljanje uzoraka za istraživanje	6
3.2. Kontrolna skupina	6
3.3. Eksperimentalne skupine	6
3.3.1. Priprema uzoraka – preparacija kaviteta i endodontsko liječenje	6
3.3.2. Restauracija eksperimentalnih skupina	7
3.4. Postava u akrilatne kalupe i termocikliranje	10
3.5. Skeniranje površine i ispitivanje pritisnih svojstava zubi.....	10
3.6. Statistička analiza.....	13
<i>4. REZULTATI</i>	<i>14</i>
<i>5. RASPRAVA</i>	<i>24</i>
<i>6. ZAKLJUČCI</i>	<i>27</i>
<i>7. ZAHVALE</i>	<i>28</i>
<i>8. LITERATURA</i>	<i>29</i>
<i>9. PRILOG</i>	<i>31</i>
<i>10. SAŽETAK</i>	<i>33</i>
<i>11. SUMMARY</i>	<i>34</i>

Kratice

BF = eksperimentalna skupina restaurirana bulk-fill kompozitom

CCS = caklinsko cementno spojište

EX = eksperimentalna skupina restaurirana kompozitom ojačanim kratkim staklenim vlaknima

FRC = kompozit ojačan vlaknima (eng. *fiber reinforced composite*)

KS = kontrolna skupina

MOD = meziokluzijskodistalni kavitet

SFRC = kompozit ojačan kratkim staklenim vlaknima (eng. *short fiber reinforced composite*)

SIC = staklenoionomerni cement / eksperimentalna skupina restaurirana zatvorenom sendvič-tehnikom
(eng. *sandwich technique*)

1. UVOD

Nakon endodontskog liječenja zuba, nužno je omogućiti pravilnu poslijeendodontsku opskrbu kojom se nadoknađuje smanjena otpornost preostalog zubnog tkiva. Uspjeh endodontske terapije, osim o intraradikularnom punjenju, ovisi i o kvaliteti koronarne restauracije. Neadekvatna restauracija može rezultirati frakturom krune avitalnog zuba, koja često dovodi do ekstrakcije istog. Stoga je potrebno postaviti pravilnu indikaciju koja će odrediti kada se koristiti konvervativnom, a kada protetskom terapijom.

1.1. Frakture zubi

Primarna funkcija žvačnog sustava je mehaničko mljevenje hrane, fonacija, estetika i opće zdravlje. Normalna sila žvakanja ovisi o hrani koja se uzima npr. uzimanjem kašaste hrane sila iznosi tek nekoliko njutna (N), kod žvakanja žilavog mesa iznosi 150 N, a kod jako tvrde hrane i do 200 N. Djelovanje opterećenja parodonta tijekom žvakanja je od 0,1 do 1 sekunde, a idealno usmjerenje sile na zub je aksijalno (1). S godinama, naš žvačni sustav trpi povremeno opterećenje (a sukladno tome i naprezanje) zbog čega dolazi do postupnog "zamora materijala" koja se može prezentirati frakturom zuba (2). Rivera i Walton razlikuju pet tipova longitudinalnih fraktura: infrakcija cakline (eng. *craze lines*), lom kvržice (eng. *fractured cusp*), lom zuba (eng. *cracked tooth*), razdvojeni fragmenti zuba (eng. *split tooth*) i vertikalna fraktura korijena (eng. *vertical root fracture*). U literaturi često možemo naići na termine potpune i djelomične frakture. Oni se odnose na dubinu propagacije frakturne pukotine koja može preći na drugu stranu zuba ili je završila unutar zubnih struktura, odnosno, pulpne komore. Prema tome, u djelomične frakture svrstavamo infrakciju cakline i lom zuba, potpunu frakturu predstavlja razdvojeni fragmenti zuba (eng. *split tooth*), dok se lom kvržice i vertikalna fraktura korijena smatraju i djelomičnim i potpunim frakturama (2,3).

Karijes, abrazija, erozija, malokluzija, okluzijska trauma, starenje, dehidracija zuba, neki su od čimbenika koji smanjuju otpornost zuba na frakturu. Ostali faktori kao i faktori koji povećavaju iznos sile koja djeluje na zub su navedeni u Tablici 1 (2,4). Fraktura zuba koja se ne može ponovno restaurirati jedan je od glavnih razloga ekstrakcije endodontski liječenih zubi (5,6). Vidljivo u Tablici 1, restaurirani i endodontski liječeni zubi su, iz više razloga, skloniji frakturama zuba. Stoga, za definitivni uspjeh endodontskog liječenja i trajnost rada, potrebno je uspostaviti adekvatnu koronarnu restauraciju (7,8).

Tablica 1. Predisponirajući faktori za nastanak potpunih i djelomičnih fraktura po Ellisu i suradnicima (4).

FAKTORI KOJI POVEĆAVAJU IZNOS SILE KOJE DJELUJU NA ZUBE	
Ne –	<ul style="list-style-type: none"> • vanjska trauma
iljatrogene	<ul style="list-style-type: none"> • endogena trauma <ul style="list-style-type: none"> – mastikatorna povreda – nekontrolirani kontakt s antagonistom – traumatska okluzija – parafunkcijske kretnje • lokacija zuba (mandibularni kutnjak) • morfologija zuba i okluzijski odnosi (<i>interlock</i>) • izolirani zubi
Ijatrogene	<ul style="list-style-type: none"> • Endodontsko liječenje (instrumentacija i punjenje kanala) • Postavljena nadogradnja (preparacija kanala i cementiranje)
FAKTORI KOJI SMANJUJU OTPORNOST ZUBI NA FRAKTURU	
Ne –	<ul style="list-style-type: none"> • Karijes
iljatrogene	<ul style="list-style-type: none"> • Trošenje zuba (atricija, abrazija, erozija) • Endodontsko liječenje (krhkost avitalnog zuba) • Aspekti razvoja: <ul style="list-style-type: none"> – zubi manje dimenzije – hipoplazija cakline – dentinogenesis imperfecta
Ijatrogene	<ul style="list-style-type: none"> • Oblik i dizajn kaviteta: <ul style="list-style-type: none"> – veliki broj zubnih ploha – istmus (vestibulooralna širina) kaviteta veća od $\frac{1}{3}$ interkuspidalne udaljenosti – duboko pulpno dno • Restauracije bez zaštite kvržica • Neprimjereni restaurativni materijal i tehnika • Endodontsko liječenje (trepanacijski otvor i instrumentacija) • Nadogradnja (preparacija korijenskog dijela) • Parapulpni kolčići (eng. <i>Dentine pins</i>)
POVIJEST PRETHODNIH FRAKTURA ZUBA	
	<ul style="list-style-type: none"> • Isti zub • Drugi zub
PARODONTNE BOLESTI	
	<ul style="list-style-type: none"> • Patološke frakture zuba • Prisutni gubitak kosti
TEMPERATURNI STRES	
DOB	

1.2. Kompoziti ojačani staklenim vlaknima

U današnje vrijeme kompozitni materijali su postali prvi izbor kod direktnih restauracija zubi u fronti i stražnjem segmentu. Popularnost su stekli zahvaljujući napretku adhezivne tehnike, zadovoljavajućoj estetici te pristupačnijoj cijeni u odnosu na keramičke nadomjeske (9). Ipak, polimerizacijsko skupljanje i polimerizacijski stres smatraju se glavnim nedostacima konvencionalnih kompozitnih materijala, a njihov se efekt povećava veličinom kaviteta (10–12). Prema Anvanforoshu i suradnicima, neuspjeh kompozitnih restauracija se povećao u odnosu na prethodna dva desetljeća (2006 – 2016) kada se glavnim uzrokom neuspjeha kompozitnih restauracija smatrao sekundarni karijes (12,13). Danas, vodeći čimbenici neuspjeha su frakture ispuna te samih zuba. Iz tog su razloga proizvođači dentalnih materijala usmjerili interes u razvoju kompozitnih materijala s boljim mehaničkim svojstvima koja omogućuju veću otpornost na frakture (8,12).

Kompoziti ojačani vlaknima (eng. *fiber reinforced composites; FRC*) imaju široku kliničku primjenu u dentalnoj medicini zahvaljujući svojom mogućnošću da poboljšavaju mehanička svojstva konvencionalnih kompozita te na taj način omogućuju primjene kompozitnih materijala za opsežne restauracije u stražnjem segmentu (9,14,15). FRC kompoziti imaju dvije sastavnice: vlaknasta komponenta koja osigurava krutost i mehaničku otpornost, te matrica koja je inkorporirana između vlakana i omogućuje obradivost materijala. Vlakna koja se najčešće upotrebljavaju u dentalnoj medicini su polietilenska, staklena, polipropilenska i ugljična, a matrica je sastavljena od epoksidne smole čija je uloga zadržavanje položaja i orijentacije vlakana. Njihov kapacitet otpornosti ovisi o izboru smole, obliku i količini vlakana unutar matrice, dužini i orijentaciji vlakana, adheziji vlakana i matrice te impregnaciji vlakana smolom (9,12,15–18). Upotreba kompozita ojačanim vlaknima se već 1960-tih godina smatrala valjanom opcijom. Danas su to materijali koji pokazuju zadovoljavajuće rezultate i imaju široku primjenu u dentalnoj medicini; od parodontološkog splintiranja, ortodontskih retainera pa sve do mosnih konstrukcija malih raspona (13,15,17).

Godine 2013., GC korporacija predstavila je kompozite ojačane kratkim vlaknima (eng. *SFRC; short fiber reinforced composite – everX Posterior*) kako bi imitirali svojstvo dentina pri apsorpciji opterećenja. Materijal se prvenstveno primjenjuje s namjerom debeloslojnog postavljanja kako bi u velikim kavitetima nadomjestio dentinsku jezgru koja predstavlja područje velikog naprezanja (9,13,16,19,20). Kapacitet otpornosti se osniva na prijenosu mehaničkog naprezanja iz polimerne matrice na staklena vlakna koji zaustavljaju nastalu frakturu unutar materijala (7,9). Indiciran je kod restauracija vitalnih i avitalnih zubi s opsežnim i dubokim kavitetima klase I i II (13). *EverX Posterior* se sastoji od E-staklenih vlakana i barijevih staklenih vlakana optimalne veličine i kombinacije koji su inkorporirani u polimernu matricu. Postavlja se u sredinu kaviteta kojemu su aproksimalne stijenke nadomještene konvencionalnim kompozitom. Nanosi se u 4 mm debelom sloju te se okluzalno prekriva konvencionalnim kompozitom. Boja je univerzalna (transparentna) što omogućuje optimalna estetska svojstva.

Dosadašnje *in vitro* studije koje su ispitivale otpornost na frakture kod SFRC i FRC materijala su pokazali statistički značajnu razliku u odnosu na konvencionalne i bulk-fill kompozite te veću incidenciju pojavnosti reparabilnih fraktura (9,16,21). U navedenim istraživanjima, MOD preparacije veličinom su odgovarale $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ vestibulookluzalne širine krune (isthmus kaviteta) ili 2-2,5 mm debljine bukalne i oralne stijenke (7,8,13,14,16,21). Prema trenutnim preporukama struke, ako su preostale stijenke zuba nakon endodontskog liječenja manje od 1,5 mm debljine, tada je poželjno postaviti intrakanalni kolčić te nadograditi krunu bataljka za fiksno protetski rad (21,22). Međutim, u kliničkoj praksi se često, radi pacijentovih ograničenih mogućnosti, pristaje na kompromis te se izravnim postupkom (izrdom ispuna) zbrinjavaju endodontski liječeni zubi koji su indicirani za protetsku terapiju. U takvim slučajevima pacijenta se mora upozoriti na potencijalni rizik i neuspjeh izravne poslijeendodontske opkrbe takvog zuba.

U ovom se istraživanju željelo procijeniti mehaničko svojstvo SFRC materijala kada su vestibularne i oralne stijenke zuba reducirane tj. kada je istmus kaviteta veći od $\frac{2}{3}$ vestibulooralne širine; pokazuje li takva MOD restauracija veću otpornost na frakture i veći broj reparabilnih fraktura u odnosu na konvencionalne metode restauracije – bulk-fill kompozitom ili sendvič-tehnikom. Otpornost na frakture se uobičajeno mjeri ispitivanjem pritisnih svojstava na univerzalnoj kidalici gdje se mjere maksimalna i pritisna sila u njutnima (N). Za razliku od navedenih istraživanja (7,14,16), u radu je dodatno izmjerena tlačna i prekidna čvrstoća koje nam govore koliko je iznos naprezanja (N/mm^2 ; MPa) zuba prije pojave frakture.

2. CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Svrha ovog istraživanja bila je odrediti maksimalnu silu i prekidnu silu, te izračunati tlačnu i prekidnu čvrstoću koje će uzrokovati frakturu krune na endodontski liječenim zubima koji su poslijeendodontski opskrbljeni različitim restaurativnim tehnikama: zatvorena sendvič-tehnika, restauracija bulk-fill kompozitom te restauracija kompozitom ojačanim kratkim vlaknima, kao i na intaktnim zubima, koji su služili kao kontrolna skupina, *in vitro*. U ovom slučaju maksimalna sila je označavala silu pri kojoj dolazi do prve pojave loma, dok je prekidna sila označavala silu pri kojoj zub pukne u cijelosti. Pored navedenoga, cilj ovoga rada bio je i utvrditi broj fraktura iznad caklinsko-cementnog spojišta, koje se smatraju povoljnima za daljnji opstanak zuba te broj fraktura ispod caklinsko-cementnog spojišta, koje se smatraju nepovoljnima za daljnji opstanak zuba u svim navedenim skupinama.

NULTE HIPOTEZE

- Zubi restaurirani kompozitom ojačanim kratkim vlaknima (SFRC) pokazuju veću otpornost na frakturu u odnosu na restauraciju s bulk-fill kompozitom i restauraciju zatvorenom sendvič-tehnikom.
- Zubi restaurirani kompozitom ojačanim kratkim vlaknima (SFRC) imaju veći broj povoljnih fraktura krune (iznad razine caklinsko cementnog spojišta) u odnosu na ostale skupine.

3. MATERIJALI I POSTUPCI

3.1. Prikupljanje uzoraka za istraživanje

Tijekom dva mjeseca, prikupljeno je četrdeset intaktnih, ekstrahiranih trećih molara bez kavitirane karijesne lezije na *Zavodu za oralnu kirurgiju*. Zubi su se nakon dezinfekcije 1% otopinom kloramina u trajanju od tri dana čuvali u fiziološkoj otopini do analize, a kamenac i mekotivne naslage na uzorcima su uklonjene parodontološkim strugačem. Svakom pojedinačnom uzorku je uz pomoć pomične mjerke izmjerena dimenzija krune i korijena. Nakon mjerenja, zubi različitih dimenzija su podjednako sistematizirani u tri eksperimentalne i jednu kontrolnu skupinu s jednakim brojem gornjih i donjih molara ($n = 40$).

3.2. Kontrolna skupina

Kontrolna skupina ($n = 10$) predstavlja intaktne zube bez preparacije krune i bez endodontskog liječenja. Zubi su se čuvali u fiziološkoj otopini do završetka pripreme uzoraka eksperimentalne skupine. Radi jednostavnosti, uzorcima kontrolne skupine je dodana kratica KS.

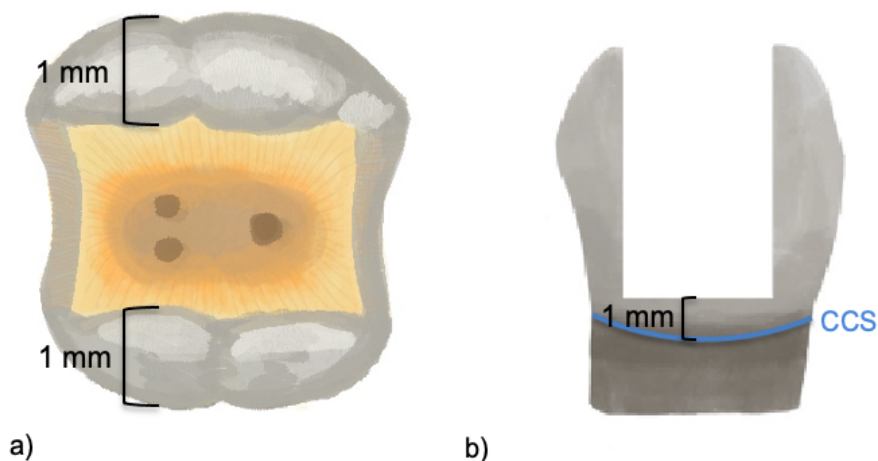
3.3. Eksperimentalne skupine

3.3.1. Priprema uzoraka – preparacija kaviteta i endodontsko liječenje

Kavitet krune se preparirao zelenim dijamantrnim kruškolikim svrdlom s povećanom brzinom okretaja turbine i vodenim hlađenjem prema sljedećim pravilima (Slika 1):

1. debljina bukalne stijenke iznosi 1 mm
2. debljina palatinalne/lingvalne stijenke iznosi 1 mm
3. udaljenost dna kaviteta od caklinsko cementnog spojišta iznosi 1 mm
4. trepanacijski otvor proširen samo u okvirima pulpne komore

lingvalna stijenka i bukalna stijenka su međusobno paralelne i okomite na dno kaviteta



Slika 1. Granice preparacije uzoraka eksperimentalne skupine: a) okluzalno, b) aproksimalno

Nakon trepanacije, pulpa je ekstirpirana hestromom. Dezinfekcija kanala se provodila irigacijom 2,5 % NaOCl i EDTA (*Calcinase EDTA solution, Lege Artis, Dettenhausen, Njemačka*). Radna dužina kanala je određena proširivačem na #20 i naknadno proširena strojnom tehnikom (*ProTaper Universal, Dentsply Sirona, Milford, DE, USA*). Prije konačnog punjenja kanali su se posušili papirnatim štapićima (*Paper Points, DiaDent Group International, Burnaby, Kanada*). Za punjenje kanala se primjenila tehnika hladne lateralne kondenzacije gutaperkom (*Gutta Percha Points, DiaDent Group International, Burnaby, Kanada*) i cementom na bazi smole (*AH Seal +, AHL, Tonbridge, UK*). Višak gutaperke je uklonjen vrućim potiskivačem (*pluggerom*), a kavitet je dodatno očišćen s dugačkim okruglim karbidnim Miller svrdlom. Na dentin se oko ulaza u kanale, nakon kondicioniranja (*Dentin conditioner liquid, GC Corporation, Tokyo, Japan*), ispiranja i sušenja postavila staklenoionomerna podloga debljine 1 mm (*FUJI II LC, GC Corporation, Tokyo, Japan*). Radi jednostavnosti, eksperimentalnim skupinama su pridodane kratice: SIC (restauracija zatvorenom sendvič-tehnikom), BF (restauracija bulk-fill kompozitom) i EX (restauracija kompozitom ojačanim staklenim vlaknima).

3.3.2. Restauracija eksperimentalnih skupina

Radi uklanjanja zaostatnog sloja, provedeno je selektivno jetkanje cakline 30 sekundi, nakon čega slijedi 30 sekundi ispiranja i 5 sekundi sušenja pusterom. Postavljena je MOD matrica sa stezačem. Materijali primijenjeni za restauraciju zubi su navedeni u Tablici 2.

Tablica 2. Materijali primjenjeni za restauraciju eksperimentalnih skupina.

Materijal	Tip	Proizvođač	Sastav
caviEtch; Phosphoric Acid Etchant	ortofosforna kiselina za jetkanje	AHL, Tonbridge, UK	40 % ortofosforna kiselina
Dentin conditionerliquid	poliakrilna kiselina za kondicioniranje	GC Corporation, Tokyo, Japan,	poliakrilna kiselina (10 %)
Fuji II LC	Smolom modificirani staklenoionomerni cement	GC Corporation, Tokyo, Japan,	prah: fluoro-aluminij-silikat tekućina: kopolimeri poliakrilne i maleične kiseline, HEMA
G Premio Bond	Jednokomponentni svjetlosno polimerizujućii univerzalni adheziv	GC Corporation, Tokyo, Japan,	metakrilatni monomeri; MDP, 4- MET, MDTP prah silicijevog oksida
G-aenial Universal Flo	Niskoviskozni tekući kompozit	GC Corporation, Tokyo, Japan,	P: Silicijev oksid stroncijevog staklo M: UDMA, Bis-MEPP, TEGDMA
G-aenial Posterior	Viskoviskozni mikrohibridni kompozit	GC Corporation, Tokyo, Japan,	P: Fluoro-alumino-silikat , silicijev oksid, Prepolimerizirano P: silicijev oksid, stroncijev i lantanoidni fluprid M: UDMA, dimetakrilatni komonomer
Filtek One Bulk Fill	Debeloslojni bulk-fill kompozit	3M, Saint Paul, Minnesota, SAD	P: silicijev oksid, cirkonijev oksid, mješani cirkonijev-silicijev oksid, iterbijev trifluorid M: AUDMA, UDMA, DDMA
Ever X Posterior	Kompozit ojačan kratkim staklenim vlaknima (SFRC)	GC Corporation, Tokyo, Japan,	P: kratka E-staklena vlakna, barijevo borosilikatno staklo M: Bis-GMA, PMMA, TEGDMA

P - anorgansko punilo, M – organska matrica

3.3.2.1 Grupa SIC: Restauracija zubi zatvorenom sendvič-tehnikom ($n = 10$)

Nakon selektivnog jetkanja, dno kaviteta i postranične stijenke su se kondicionirale 15 sekundi poliakrilnom kiselinom, isprale vodom i posušile. Nakon postave MOD matrice slijedi 10 sekundi aplikacije adheziva 8. generacije na aproksimalne stijenke i 2 sekundi sušenja. Adheziv se polimerizirao 10 sekundi s VALO LED Cordless lampom za polimerizaciju (Ultradent, South Jordan, USA) standardne jačine 1000 mW/cm^2 . Na rubove aproksimalnih stijenki je apliciran tekući kompozit koji je također polimeriziran 20 sekundi. Inkrementnom tehnikom viskoviskoznim mikrohibridnim kompozitom su restaurirane mezijalne i distalne stijenke, a svaki sloj se polimerizirao 20 sekundi. Sredina kaviteta se ispunila staklenoionomernim cementom koji se ručno miješao prema uputama proizvođača (Slika 2a). Cement se aplicirao u kavitet do 1 mm ispod okluzalne plohe te se polimerizirao 20 sekundi. Kada se cement stvrdnuo, ponovljen je postupak aplikacije i polimerizacije adheziva. Kavitet je finalno restauriran inkrementnom tehnikom viskoviskoznim mikrohibridnim kompozitom

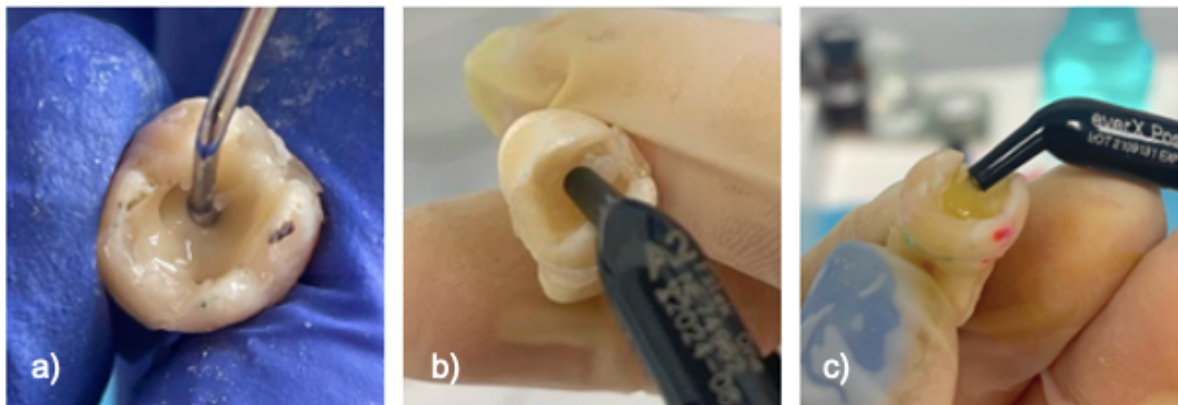
u debljini 1 mm, a svaki sloj se polimerizirao 20 sekundi (Slika 3a). Po završetku restauracije, uslijedilo je poliranje dijamantrnim crvenim i žutim svrdlima s visokim brojem okretaja i vodenim hlađenjem te gumicom za poliranje.

3.3.2.2. Grupa BF: Restauracija zubi bulk-fill kompozitom ($n = 10$)

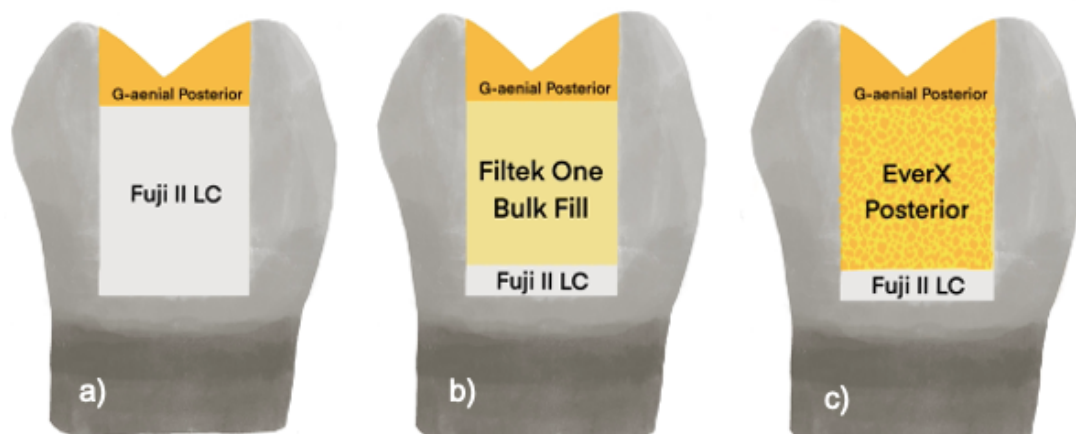
Aplikacija i polimerizacija adheziva je provedena kao u prethodnoj skupini. Nakon restauracije mezijalne i distalne stijenke, sredina kaviteta je ispunjena bulk-fill kompozit u dva sloja, a svaki sloj je polimeriziran 20 sekundi (Slika 2b). Kompozit se aplicirao do 1 mm ispod okluzalne plohe. Okluzalna ploha se finalno restaurirala visokoviskoznim mikrohibridnim kompozitom. Ispun je završno finiran i poliran kao u prethodnoj skupini (Slika 3b).

3.3.2.3. Grupa EX: Restauracija krune kompozitom ojačanim kratkim vlaknima ($n = 10$)

Aplikacija i polimerizacija adheziva, kao i restauracija aproksimalnih ploha je provedena kao i u prethodnim skupinama. U sredinu kaviteta se postavlja kompozit ojačan staklenim vlaknima u jednom sloju polimeriziran 40 sekundi (Slika 2c). Okluzalna ploha je restaurirana visokoviskoznim mikrohibridnim kompozitom. Ispun je završno finiran i poliran kao u prethodnim skupinama (Slika 3c).



Slika 2. Postavljanje središnjeg sloja u uzorke eksperimentalnih skupina: a) SIC skupina b) BF c) EX skupina



Slika 3. Restauracije eksperimentalnih skupina: a) SIC skupina b) BF skupina c) EX skupina

3.4. Postava u akrilatne kalupe i termocikliranje

Nakon restauracije, korijenovi svih zubi su izolirani rozim voskom i uloženi u silikonski kalup ispunjen nestvrdnutim autopolimerizirajućem akrilatom (*M+W SELECT DENTA-O-RESIN*, *M+W Dental*, Bidingen, Njemačka). U ovom postupku je bitno da je aksijalna os zuba okomita na plohu na kojoj je položen kalup i da se zubi ulažu u akrilat do 1 mm apikalnije od CCS. Kada se akrilat polimerizirao, zubi se izvlače iz sada napravljene individualne “umjetne alveole”. Vosak se uklanja, zubi se pripremaju za termocikliranje, a kalupi se čuvaju do nakon termocikliranja. Svi zubi su postavljeni u uređaj za termocikliranje (*Thermocycler THE-1100 SD Mechatronik*) na 5500 ciklusa između 5 i 55 °C gdje su se držali 30 sekundi unutar svake kupelji (Slika 4.). Nakon termocikliranja, akrilatni kalupi su ispunjeni silikonskim otisnim materijalom (*Oxasil Light Flow + Activator Paste*, Kulzer Hanau, Njemačka) koji imitira parodontni ligament i zubi su uloženi u vlastitu individualnu alveolu. Uzorci su se do testiranja čuvali 5 dana u laboratorijskom inkubatoru pri temperaturi 37 °C.



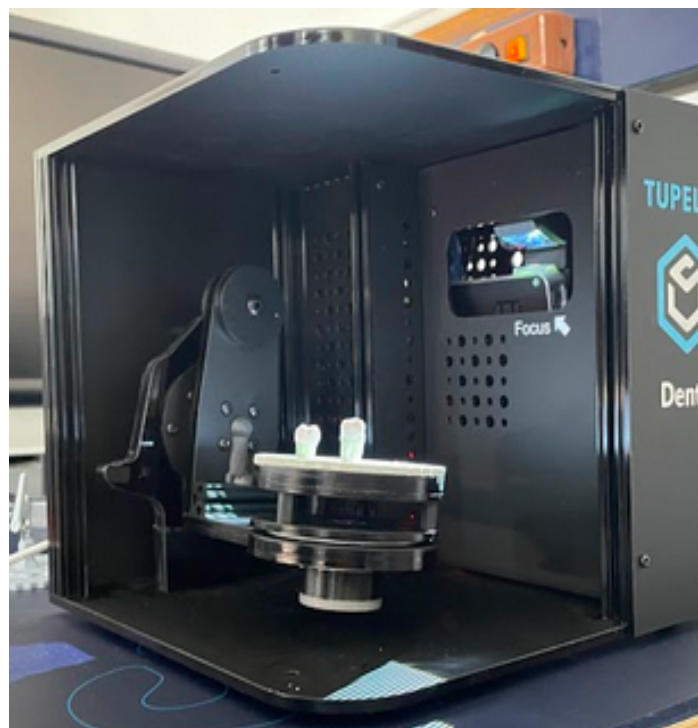
Slika 4. Termocikliranje uzoraka

3.5. Skeniranje površine i ispitivanje pritisnih svojstava zubi

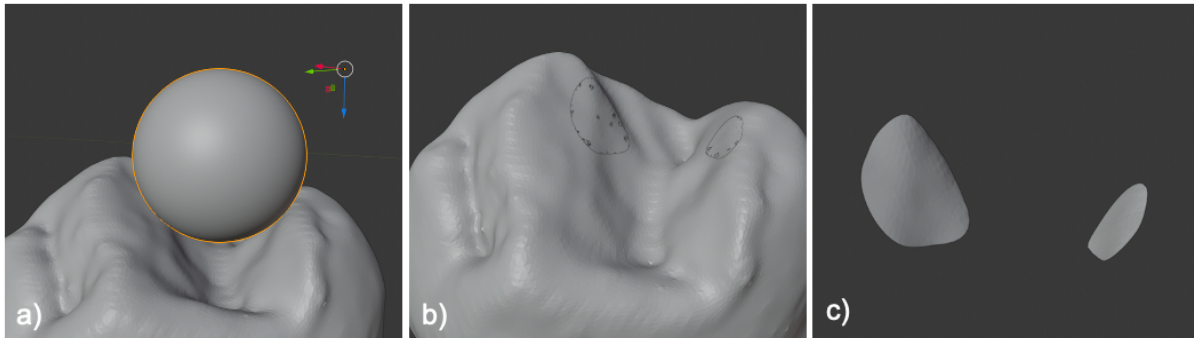
Na *Katedri za preradbu drva i polimera (Fakultet strojarstva i brodogradnje)*, provedeno je ispitivanje pritisnih svojstava na univerzalnoj kidalici *AGS-X, Shimadzu (Shimadzu, Japan)* i obrađeni u računalnom programom *TrapeziumX*. Čeljusti za ispitivanje sastoje se od donje ravne ploče i gornje oblika šiljka promjera 4 mm. Uzorci su postavljeni ispod šiljka i podvrgnuti silom okomitog smjera na zub pri brzini od 0,5 mm/min pri sobnoj temperaturi kako bi se utvrdila otpornost na lom (Slika 5). Prije ispitivanja, na *Katedri za konstruiranje i razvoj proizvoda (Fakultet strojarstva i brodogradnje)* se provelo skeniranje zubi na skeneru *Tupel 3D Dental* (Slika 6). Skenovi su prebačeni u grafički 3D softver *Blender* gdje se uzorci stavljaju u trodimenzionalni odnos s virtualnom sferom identičnog promjera kao i testni šiljak. Kada se dovede sfera i zub u međusobni odnos, dobije se dodirna površina dvaju tijela tj. dvotočkasti ili trotočkasti kontakti zuba u “okluziji” (Slika 7).



Slika 5. Ispitivanje zuba na univerzalnoj kidalici.



Slika 6. Skeniranje zubi.



Slika 7. Virtualni odnos sfere (šiljka) i zuba: a) postavljanje sfere na površinu zuba b) prikazana površine dodira c) izolirana površina dodira tzv. dvotočkasti kontakt.

Nakon ispitivanja zubi na kidalici, zabilježila se maksimalna pritisna i prekidna sila, a dobivena vrijednost je uvrštena zajedno s površinom dvotočkastih/trotočkastih dodira u jednadžbe za računanje čvrstoća:

Tlačna čvrstoća [MPa ili N/mm²]:

$$\sigma_c = \frac{F_m}{A_0}$$

Gdje je: F_m [N] – maksimalna sila, A_0 [mm²] – površina u zahvatu zuba s ispitnim šiljkom

Prekidna čvrstoća [MPa ili N/mm²]:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_0}$$

Gdje je: F_p [N] – prekidna sila, A_0 [mm²] – površina u zahvatu zuba s ispitnim šiljkom

Dobivene i izračunate vrijednosti su statistički analizirane. Frakture na uzorcima su se analizirale pod mikroskopom *Zeiss Stemi 508 KMAT* (uvećanja 0,63x – 5,0x.) te rasporedile u dvije skupine: frakture iznad razine CCS-a (povoljne frakture) i frakture ispod razine CCS-a (nepovoljne frakture). Primjenjeno je uvećanje od 0,63x. Nakon testiranja, dva uzorka unutar kontrolne skupine su pokazali prisutnost karijesne lezije koja se prezentirala nakon frakture zuba. Ispitivanja su provedena na 10 zubi po pojedinoj skupini, osim kontrolnoj gdje je zbog karijesa (Slika 8 i 9) izbačena 2 zuba iz analize te su izračunate srednje vrijednosti i standardne devijacije. U prilogu se nalaze svi rezultati.



Slika 8. Uzorak (1) kontrolne skupine s prisutnom karijesnom lezijom (snimljeno stereo mikroskopom *ZEISS Stemi 508* na povećanju 0,63x)



Slika 9. Uzorak (2) kontrolne skupine s prisutnom karijesnom lezijom (snimljeno stereo mikroskopom *ZEISS Stemi 508* na povećanju 0,63x)

3.6. Statistička analiza

Statistička analiza provedena je ANOVA testom - Jednosmjernom analizom varijance za nezavisne uzorke (One way ANOVA) u *SPSS 23.0* programu (*SPSS Inc.*, Chicago, IL) te Tukey HSD post hoc testom za procjenu statističke značajnosti dobivenih rezultata. Razina statističke značajnosti bila je određena na 5 %, a statistički značajnom smatrala se vrijednost $p < 0,05$.

4. REZULTATI

Tablica 3. Prikaz deskriptivnih podataka ($N = 38$).

	SKUPINA	N	M	SD	SE	Min	Max
Maksimalna sila	KS	8	1837,486	453,720	160,414	1145,060	2613,290
(N)	BF	10	458,538	228,651	72,306	49,691	801,772
	SIC	10	321,710	163,425	51,680	71,861	674,906
	EX	10	645,481	295,453	93,430	230,786	1156,560
Prekidna sila	KS	8	1866,190	493,920	174,627	1145,060	2613,290
(N)	BF	10	490,651	261,058	82,554	37,786	837,898
	SIC	10	361,212	221,312	69,985	46,611	706,355
	EX	10	639,964	294,496	93,128	230,786	1150,110
Tlačna čvrstoća	KS	8	981,311	338,298	119,606	561,303	1479,810
(N/mm ² ; MPa)	BF	10	304,017	203,919	64,485	26,773	655,290
	SIC	10	200,402	193,287	61,123	58,046	728,840
	EX	10	307,302	269,702	85,287	98,753	994,892
Prekidna čvrstoća	KS	8	1011,309	396,454	140,168	497,737	1479,810
(N/mm ² ; MPa)	BF	10	310,424	196,707	62,204	20,359	650,478
	SIC	10	217,656	200,284	63,335	37,650	728,840
	EX	10	304,319	267,592	84,620	98,753	989,344

* M – aritmetička sredina, SD – standardna devijacija, SE – standardna pogreška, min – minimum, max – maksimum

Iz podataka prikazanih u Tablici 3 vidljivo je da su vrijednosti aritmetičkih sredina svih sila i čvrstoća najviše unutar skupine KS; maksimalna sila (1837,486 N), prekidna sila (1866,190 N), tlačna čvrstoća (981,311 N/mm²) i prekidna čvrstoća (1011,309 N/mm²), a najniže vrijednosti se postižu unutar skupine SIC; maksimalna sila (321,710 N), prekidna sila (361,212 N), tlačna čvrstoća (200,402 N/mm²) i prekidna čvrstoća (217,656 N/mm²). Vidljivo je da se iznosi aritmetičkih sredina maksimalne sile (645,481 N) i prekidne sile (639,964 N) u skupini EX razlikuju u odnosu na maksimalnu silu (458,538 N) i prekidnu silu (490,651 N) skupine BF. Razlike aritmetičke sredine tlačne (307,302 N/mm²) i prekidne čvrstoće (304,319 N/mm²) skupine EX te tlačne (304,017 N/mm²) i prekidne čvrstoće (310,424 N/mm²) skupine BF su neznčajne. Provjerena je homogenost varijanci Lenovovim testom (Tablica 4.) te je proveden test normaliteta Kolmogorov-Smirnov te Shapiro-Wilk testom.

S obzirom da nisu zadovoljene pretpostavke normaliteta i homogenosti provedena je transformacija podataka korjenovanjem (eng. *square root* transformacija).

Tablica 4. Prikaz rezultata Levenovog testa homogenosti varijanci na transformiranim podacima.

	Statistic	df1	df2	p
Maksimalna sila	0,400	3	34	0,754
Prekidna sila	0,018	3	34	0,997
Tlačna čvrstoća	0,543	3	34	0,656
Prekidna čvrstoća	0,165	3	34	0,919

*<0,05, **<0,01

Transformacijom rezultata, dobile su se drugačije raspodjele normaliteta po skupinama te je riješen problem heterogenosti (Tablica 5). Podaci ukazuju da se varijance svih sila i čvrstoća ($p < 0,05$), ne razlikuju statistički značajno, te je na ovakvim podacima moguće provesti ANOVU.

Tablica 5. Prikaz rezultata jednosmjerne analize varijance na transformiranim rezultatima.

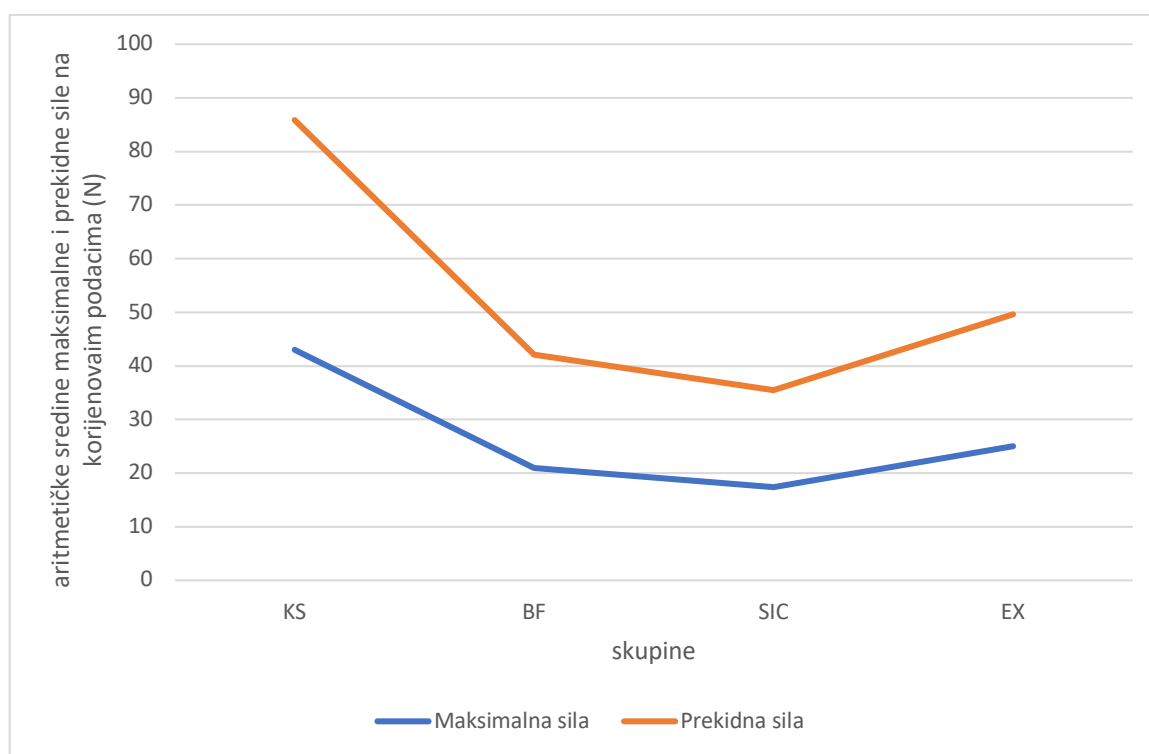
		Suma kvadrata	df	Kvadrirana suma	F	p
Maksimalna sila	Između skupina	3242,308	3	1080,769	34,201	$p < 0,01$
	Unutar skupina	1074,414	34	31,600		
	Ukupno	4316,722	37			
Prekidna sila	Između skupina	3155,425	3	1051,808	26,395	$p < 0,01$
	Unutar skupina	1354,863	34	39,849		
	Ukupno	4510,288	37			
Tlačna čvrstoća	Između skupina	1602,308	3	534,103	14,750	$p < 0,01$
	Unutar skupina	1231,137	34	36,210		
	Ukupno	2833,445	37			
Prekidna čvrstoća	Između skupina	1612,255	3	537,418	13,547	$p < 0,01$
	Unutar skupina	1348,792	34	39,670		
	Ukupno	2961,047	37			

Rezultati provedene jednosmjerne ANOVA-e impliciraju kako se skupine KS, BF, SIC i EX statistički značajno razlikuju s obzirom na maksimalnu silu ($p < 0,01$), prekidnu silu ($p < 0,01$), tlačnu čvrstoću ($p < 0,01$) te prekidnu čvrstoću ($p < 0,01$).

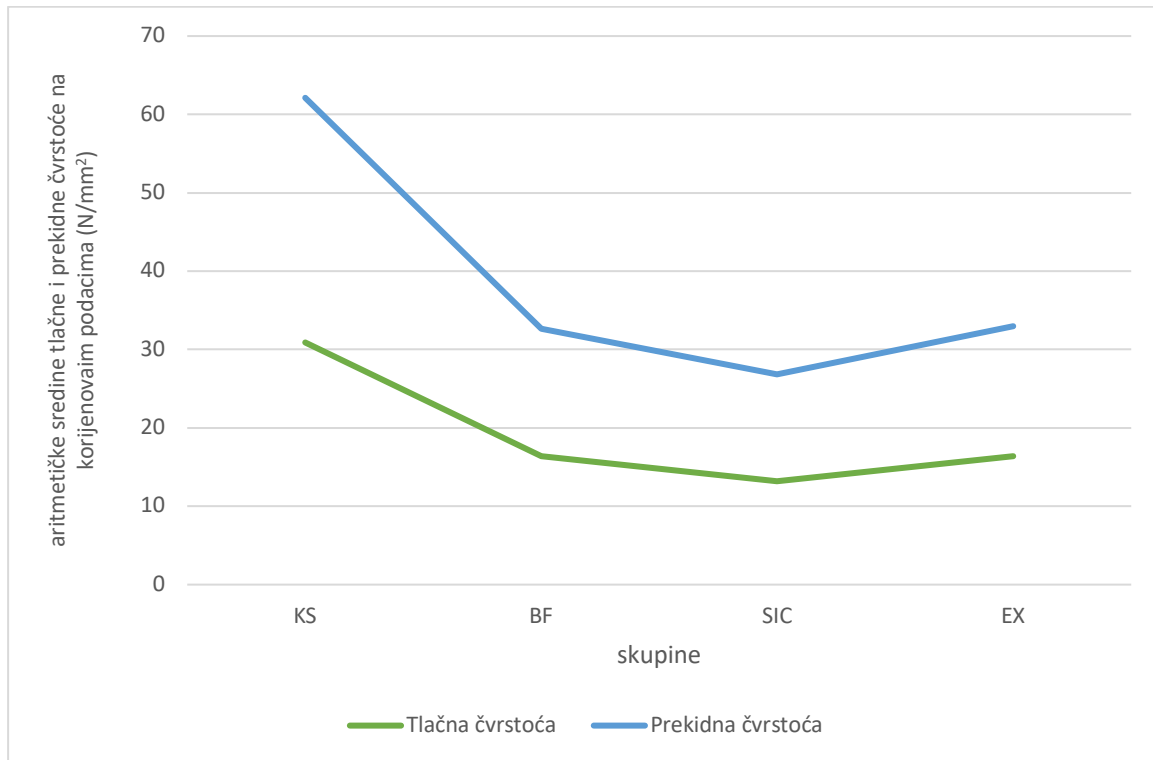
Tablica 6. Prikaz rezultata Tukey HSD testa na korijenovanim podacima.

ZV	(I) SKUPINA	(J) SKUPINA	I-J	SE	p
Maksimalna sila	KS	BF	22,037*	2,666	p < 0,01
		SIC	25,189*	2,666	p < 0,01
		EX	17,797*	2,666	p < 0,01
	BF	KS	-22,037*	2,666	p < 0,01
		SIC	3,153	2,514	0,598
		EX	-4,240	2,514	0,346
	SIC	KS	-25,190*	2,666	p < 0,01
		BF	-3,153	2,514	0,598
		EX	-7,393*	2,514	0,029
	EX	KS	-17,797*	2,666	p < 0,01
		BF	4,240	2,514	0,346
		SIC	7,393*	2,514	0,029
Prekidna sila	KS	BF	21,771*	2,994	p < 0,01
		SIC	24,758*	2,994	p < 0,01
		EX	18,180*	2,994	p < 0,01
	BF	KS	-21,771*	2,994	p < 0,01
		SIC	2,987	2,823	0,717
		EX	-3,591	2,823	0,587
	SIC	KS	-24,758*	2,994	p < 0,01
		BF	-2,987	2,823	0,717
		EX	-6,579	2,823	0,111
	EX	KS	-18,180*	2,994	p < 0,01
		BF	3,591	2,823	0,587
		SIC	6,578	2,823	0,111
Tlačna čvrstoća	KS	BF	14,535*	2,854	p < 0,01
		SIC	17,707*	2,854	p < 0,01
		EX	14,528*	2,854	p < 0,01
	BF	KS	-14,535*	2,854	p < 0,01
		SIC	3,172	2,691	0,644
		EX	-0,006	2,691	1,000
	SIC	KS	-17,707*	2,854	p < 0,01
		BF	-3,172	2,691	0,644
		EX	-3,179	2,691	0,643
	EX	KS	-14,528*	2,854	p < 0,01
		BF	0,006	2,691	1,000

Prekidna čvrstoća	KS	BF	14,631*	2,988	p < 0,01
		SIC	17,582*	2,988	p < 0,01
		EX	14,927*	2,988	p < 0,01
	BF	KS	-14,631*	2,988	p < 0,01
		SIC	2,950	2,817	0,723
		EX	0,295	2,817	1,000
	SIC	KS	-17,589*	2,988	p < 0,01
		BF	-2,950	2,817	0,723
		EX	-2,656	2,817	0,782
	EX	KS	-14,927*	2,988	p < 0,01
		BF	-0,295	2,817	1,000
		SIC	2,655	2,817	0,782

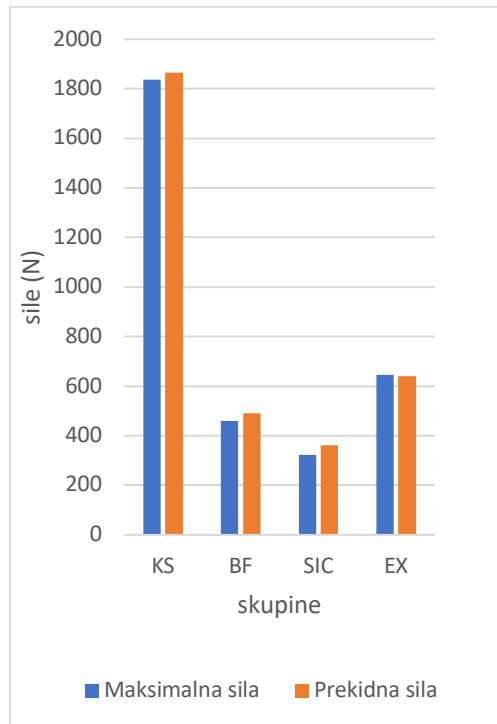


Graf 1. Prikaz aritmetičkih sredina podacima maksimalne sile i prekidne sile na korijenovanim podacima za različite skupine zubi

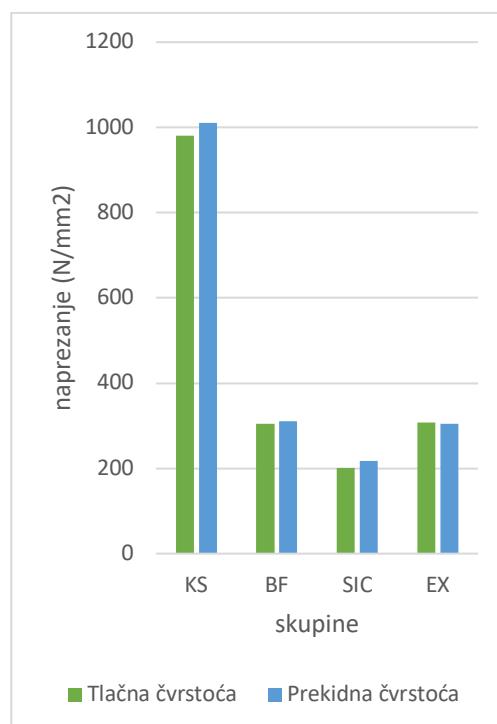


Graf 2. Prikaz aritmetičkih sredina podacima tlačne i prekidne čvrstoće na korijenovanim podacima za različite skupine zubi

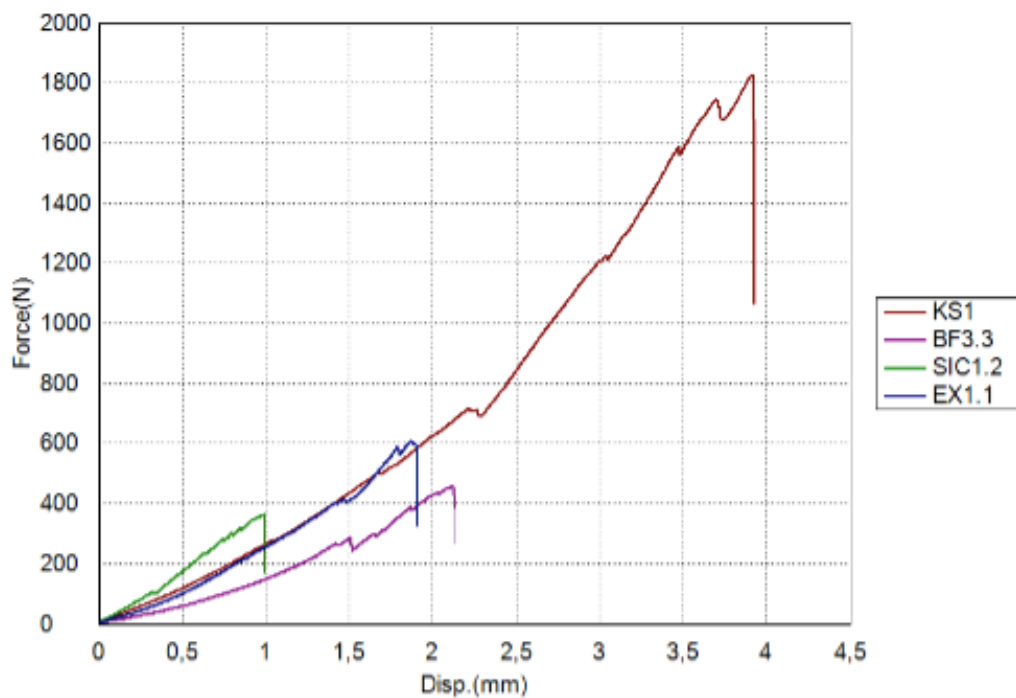
Rezultati *Tukey HSD* (Tablica 6) potvrđuju rezultate ANOVA-e, te ujedno pokazuju značajnu razliku KS skupine od svih ostalih skupina s obzirom na maksimalnu silu ($p < 0,01$), prekidnu silu ($p < 0,01$), tlačnu čvrstoću ($p < 0,01$) te prekidnu čvrstoću ($p < 0,01$), na način da su prosječne vrijednosti svih sila i čvrstoća značajno više u kontrolnoj skupini nego u ostalima. Kada se govori o maksimalnoj sili, iz tablice (Tablica 6) i grafičkog prikaza (Graf 1) primjetno je da osim navedenih razlika u KS, postoje razlike i između SIC i EX, na način da su prosječne vrijednosti maksimalne sile statistički značajno niže u SIC skupini u odnosu na EX skupinu ($p < 0,05$). Osim spomenutih razlika, ne postoje statistički značajne razlike između ostalih skupina s obzirom na maksimalnu silu i prekidnu silu (Graf 1) te tlačnu čvrstoću i prekidnu čvrstoću (Graf 2).



Graf 3. Prikaz iznosa maksimalne i prekidne sile unutar skupina



Graf 4. Prikaz iznosa tlačne i prekidne čvrstoće unutar skupina



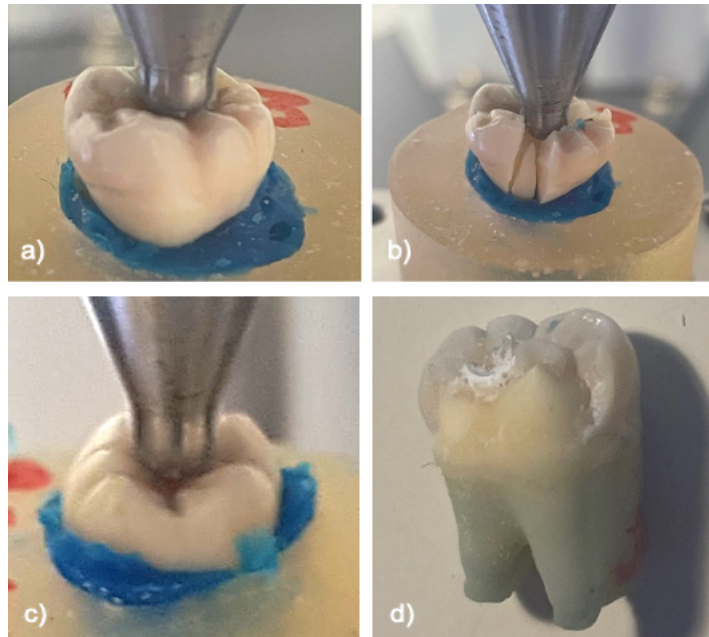
Graf 5. Dijagram pritiska sile – pomak

U priloženim dijagramima vidimo aritmetičke iznose za računatu maksimalnu i prekidnu silu (*Graf 3*) te tlačnu i prekidnu čvrstoću unutar svake skupine (*Graf 4*). Odnos pritiska sile i pomaka je prikazan u dijagramu s krivuljama srednjih vrijednosti po pojedinim skupinama (*Graf 5*).

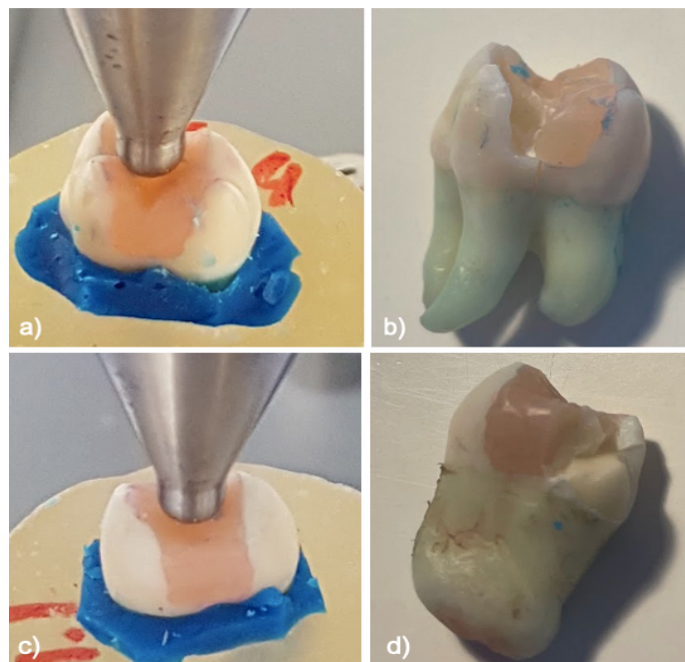
Tablica 7. Povoljne i nepovoljne frakture.

Skupine	Maksimalna sila (N)	Standardna devijacija (+/- N)	Broj uzoraka	Broj reparabilnih fraktura	Broj nereparabilnih fraktura	Postotak reparabilnih fraktura unutar skupine
KS	1837,5	453,7	8	3	5	37,5 %
BF	458,5	228,7	10	4	6	40 %
SIC	321,7	163,4	10	4	6	40 %
EX	645,5	295,5	10	4	6	40 %

U Tablici 8 je priložen broj povoljnih i nepovoljnih fraktura unutar svake skupine kao i postotak povoljnih fraktura po skupini. Frakture iznad CCS-a (povoljne) i ispod CCS-a (nepovoljne) unutar KS skupine su priložene unutar Slike 10. Slika 11 prikazuje frakture nastale nakon testiranja unutar skupine EX.

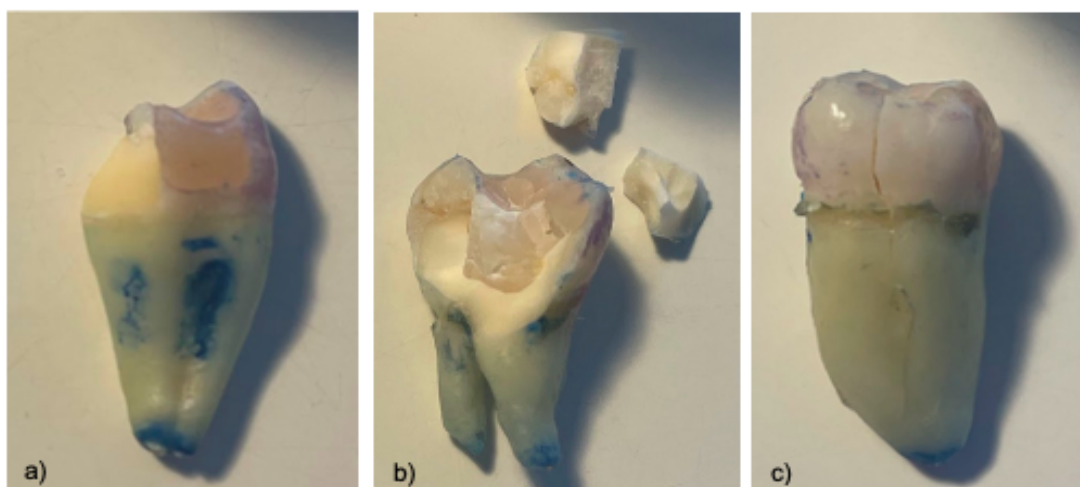


Slika 10. Uzorci skupine KS: a) uzorak (1) prije ispitivanja univerzalnom kidalicom b) uzorak (1) nakon ispitivanja univerzalnom kidalicom – nepovoljna fraktura c) uzorak (2) prije ispitivanja univerzalnom kidalicom d) uzorak (2) nakon ispitivanja univerzalnom kidalicom – povoljna fraktura

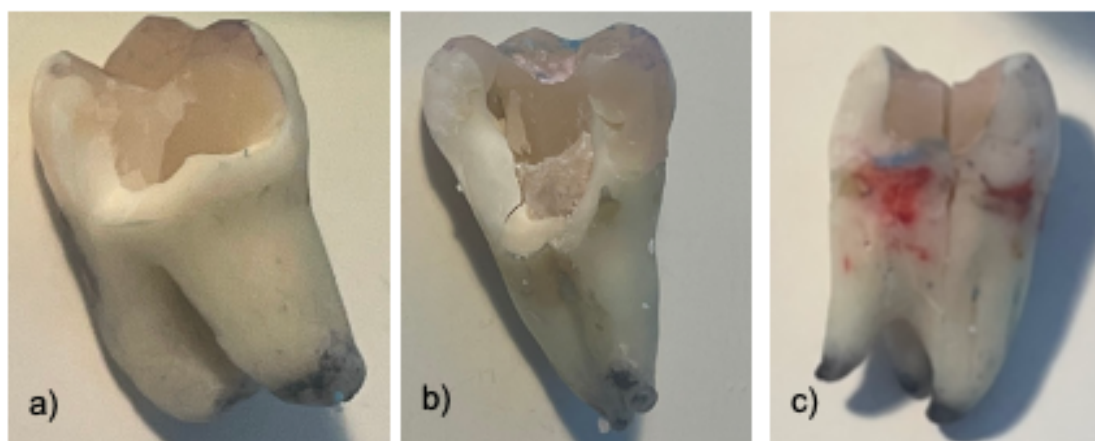


Slika 11. Uzorci EX skupine: a) uzorak (1) prije ispitivanja univerzalnom kidalicom b) uzorak (1) nakon ispitivanja univerzalnom kidalicom – nepovoljna fraktura c) uzorak (2) prije ispitivanja univerzalnom kidalicom d) uzorak (2) nakon testiranja univerzalnom kidalicom – povoljna fraktura

Pojavnost fraktura unutar SIC i BF skupine, mogu se vidjeti na Slici 12 i 13.



Slika 12. Frakture zuba unutar SIC skupine: a) fraktura iznad CCS-a, b) fraktura ispod razine CCS-a, c) fraktura krune i korijena



Slika 13. Frakture zuba unutar BF skupine: a) fraktura iznad CCS-a b) fraktura ispod razine CCS-a c) fraktura krune i korijena

Nakon ispitivanja, uzorci su se mikroskopski analizirali, a frakturane pukotine su se dokumentirale priloženim fotografijama (Slika 14, Slika 15, Slika 16).



Slika 14. Uzorak SIC skupine; povoljna fraktura (snimljeno stereo mikroskopom ZEISS Stemi 508 na povećanju 0,63x)



Slika 15. Uzorak BF skupine; povoljna fraktura (snimljeno stereo mikroskopom ZEISS Stemi 508 na povećanju 0,63x)



Slika 16. Uzorak EX skupine; nepovoljna fraktura (snimljeno stereo mikroskopom ZEISS Stemi 508 na povećanju 0,63x)

5. RASPRAVA

Cilj istraživanja je bio odrediti postoji li statistički značajna razlika sile i čvrstoće unutar pojedinih skupina koja će dokazati da skupina EX pokazuje veću otpornost na frakture i veći broj povoljnih fraktura čak i kod reducirane debljine vestibularne i oralne stijenke.

U deskriptivnim podacima (Tablica 3) vidljivo je da najvišu maksimalnu silu prilikom pojave frakture podnosi kontrolna skupina, zatim skupina restaurirana SFRC materijalom, skupina restaurirana bulk-fill kompozitom i zadnje, skupina restaurirana sendvič-tehnikom. Kontrolna skupina je pokazala značajnu razliku u odnosu na eksperimentalne skupine s obzirom na maksimalnu silu, prekidnu silu, tlačnu čvrstoću i prekidnu čvrstoću ($p < 0,01$). Jedina razlika unutar eksperimentalnih skupina se ostvarila između skupine EX i skupine SIC gdje je vrijednosti maksimalne sile bila statistički značajno niža u SIC skupini u odnosu na EX ($p < 0,05$). U svim drugim parametrima nije postojala statistički značajna razlika skupine EX u odnosu na ostale eksperimentalne skupine zbog čega je prva nulta hipoteza odbačena. Nakon ispitivanja otpornosti na lom i analiziranjem na mikroskopu, bez obzira na razlike iznosa maksimalne sile prilikom koje je došlo do loma uzorka, pokazalo se da unutar eksperimentalnih skupina ne postoji razlika u broju povoljnih fraktura (40 %). Postotak se jedino razlikuje u kontrolnoj skupini (37,5 %), što pridružujemo manjem broju uzoraka te stoga možemo odbaciti i drugu nultu hipotezu.

Istraživanje El-Helali i suradnika pokazuje da standardni MOD kaviteti u maksilarnim pretkutnjacima pokazuju 63 % gubitak otpornosti i krutosti kvržica koji je povezan s gubitkom marginalne stijenke, a posljedica je 50 % smanjena otpornost na frakture (14). Osim toga, pokazalo se da se deformacija kvržica povećava s veličinom kaviteta. Ono što iz kliničke prakse i *in vitro* istraživanja možemo potvrditi je što je veći volumen restauracije, veći broj ploha koje se moraju nadomjestiti i širi isthmus kaviteta, stvara se više opterećenje na preostale zubne strukture i povećava se mogućnost frakture zuba (7,16,19). Dosadašnja *in vitro* istraživanja pokazuju raznolike rezultate što se tiče frakturne otpornosti. Garlapati i suradnici (7) su testirajući frakturnu otpornost na molarima restauriranim s *EverX Posterior* dobili maksimalnu silu iznosom značajno višu i od iznosa maksimalne sile kontrolne skupine intaktnih zubi. Međutim, debljine bukalne i oralne stijenke su bile 2,5 mm i 1,5 mm, a uzorci su se ispitivali ispitnim šiljkom promjera 6 mm. U drugom istraživanju. Ozsevik i suradnici (19) su potvrdili da ne postoji značajna razlika između maksimalne sile uzoraka restauriranih s *EverX Posterioru* odnosu na kontrolnu skupinu. Za razliku od Garlapatijevog istraživanja, ispitivanje uzoraka se provelo manjim šiljkom od 5 mm. Tekçe i suradnici (9) su testiranje na molarima proveli sa šiljkom promjera 8 mm, a kao rezultat su dobili da *EverX Posteiror* zajedno s *Ribbond-om* pokazuju statistički značajnu manju otpornost na frakture u odnosu na kontrolnu skupinu. U istraživanju provedenom na premolarima Kemaloglu i suradnici (8,9) s 2,5 mm debljinom vestibularne i oralne stijenke, utvrdili su da *EverX Posterior* i *Ribbond* skupina međusobno ne pokazuju statistički značajnu razliku, ali pokazuju statistički značajnu razliku u frakturnoj otpornosti u odnosu na restauracije

nanohibridnim i bulk- fill kompozitom (8). Uspoređujući s prethodnim istraživanjima, u ovom radu je utvrđeno da dodatno smanjenje debljine bukalne i oralne stijenke dovodi do smanjene otpornosti zuba na frakture koja je prisutna neovisno o restaurativnom materijalu. Dobivene devijacije maksimalne i prekidne sile unutar skupina upućuju na moguću prisutnost drugih predisponirajućih faktora ne-ijatrogene etiologije koji su razlog smanjene otpornosti na frakture (morfologija zuba, okluzija i dob) (4). Osim toga, različite studije su izvijestile da je optimalna veličina testnog šiljka 6 mm jer ona ostvaruje ujednačene kontakte s funkcionalnim i nefunkcionalnim kvržicama (7). Prema Haebkost i suradnicima (23), promjer šiljka može utjecati na ishod frakturne otpornosti zuba. Primjena šiljka velikog promjera na uzorcima pokazuje višu otpornost na frakture u odnosu na šiljak manjeg promjera koji se koristio u ovom istraživanju.

Garlapati (7) tvrdi da su se frakture molara restauriranih s *EverX Posterior* pojavile većinom na adhezivnom spoju zuba i materijala. U istraživanju svi eksperimentalni restaurirani uzorci (*EverX Posterior*, hibridni kompozit i *Ribbond*) su pokazali veći broj reparabilnih fraktura. Sáry i suradnici (16) su u istraživanju na molarima koji nisu endodontski liječeni dobili veći broj nepovoljnih fraktura kod zubi restauriranih mikrohibridnim kompozitom u odnosu na *EverX Posterior*, *Ribbond* i *Everstick* restauraciju, a najveći broj povoljnih fraktura je pokazala kontrolna skupina. U istraživanju koje su proveli Kemaloglu i suradnici (16), veći broj povoljnih fraktura se ostvario s *EverX Posterior* i *Ribbond* skupinom u odnosu na restauracije nanohibridnim i bulk-fill kompozitom (8,9,16). Sriprakash i suradnici tvrde kako su premolari restaurirani s *EverX Posterior* pokazali najveći broj povoljnih fraktura, praćeno s *Ribbond* restauracijom, a restauracija s hibridnim kompozitom pokazuje najmanji broj povoljnih fraktura (21). Iz priloženog možemo reći da se broj povoljnih fraktura poprilično razlikuje od rezultata ovog istraživanja. Slične rezultate ovom istraživanju, s većom zastupljenošću nepovoljnih fraktura su pokazali Tekçe i suradnici (9), a taj podatak je primjenjiv za sve molare unutar kontrolnih i eksperimentalnih skupina koji su restaurirani *Ribbond* vlaknima i s *EverX Posterior*.

Ispitivanje pritisnih svojstava univerzalnom kidalicom su se primijenila kako bi se odredila učinkovitost preparacije kaviteta i restauracije na samu otpornost zuba iako je umjetno stvoreno opterećenje obično mnogo više od funkcijskih okluzijskih opterećenja. Ispitivanje ne predstavlja fiziološki koncept žvakanja i trošenja materijala, ali je prvi korak u postupku vrednovanja novih stomatoloških materijala i srodnih tehnika te se obično primjenjuje za stjecanje znanja o ponašanju fraktura i izdržljivosti restauriranih zuba. Stoga je nepohodno napraviti ispitivanje na uzorcima s cikličkim dinamičkim opterećenjem (16). Soares i suradnici (20) su primijenili takav postupak te su frakturnu otpornost pretkutnjaka ispitivali uz ciklični aksijalnu izometričnu simulaciju žvakanja. Uzorci su restaurirani izravnom metodom kompozitom ojačanim kratkim staklenim vlaknima, posrednom metodom kompozitnog inlay-a i CAD/CAM kompozitnog inlay-a. Rezultati su pokazali da sve tri restauracije pokazuju izvrsnu mehaničku otpornost čak i iznad fizioloških žvačnih opterećenja.

Aritmetičke vrijednosti tlačne i prekidne čvrstoće eksperimentalnih skupina nisu pokazale statistički značajno odstupanje. U okviru ovog istraživanja, možemo zaključiti da se restauracijom zuba

iznos tlačnog naprezanja značajno smanjuje te da nije ovisno o materijalu koji nadomještava kavitet. Potrebno je napraviti dodatna istraživanja koja ispituju tlačno naprezanje restauriranih zuba u okluziji statičkim ispitivanjem na univerzalnoj kidalici.

Iz priloženih istraživanja može se zaključiti da je restauracija SFRC materijalom povoljna za MOD restauracije s optimalnom debljinom bukalne i vestibularne stijenke koje će zajedno s materijalom zaustaviti propagaciju frakture te, ako se dogodi, biti će povoljnog karaktera. Ovo istraživanje je pokazalo da opsežni gubitak zuba zasjenjuje poželjna svojstva SFRC materijala. Stoga je potrebno razmotriti druge postupke nadomještavanja zuba. Ipak, ako se u dogovoru s pacijentom odluči na kompromis, poželjnije je u tom slučaju koristiti restauraciju SFRC materijalom ili bulk-fill kompozitom u odnosu na sendvič-tehniku koja je pokazala manju frakturnu otpornost. Kada postoji veći gubitak zubnog tkiva, primjenjuje se konvencionalni protetski postupak nadomjeska krune zuba; postavljanje intrakanalnog kolčića, inlay-a, overlay-a ili krunice (19). Proizvođači u uputama preporučuju korištenje *EverX Posterior* za restauraciju i oblikovanje dentinske jezgre (*eng. core build up*) nakon postavljanja intrakanalnog kolčića. U istraživanju Forster i suradnici(24) su proučavali različite metode intrakanalne nadogradnje krune zuba u endodontski liječenih premolara. Pokazali su da izravnim intrakanalnim slojevanjem SFRC materijala se postižu statistički slični uvjeti opterećenja kao i u prirodnih zubi, a ova tehnika s daljnim *in vitro* istraživanjima može postati sofisticirana alternativa restauracije endodontski liječenih zubi.

Kompoziti ojačani kratkim staklenim vlaknima su osmišljeni kako bi se približili prirodnoj konstrukciji zuba koja samom morfologijom te strukturom cakline i dentina zajedno s vitalnom pulpom predstavlja najbolju otpornost na žvačne sile koje dolaze u svim smjerovima. Caklinsko-dentinsko spojište predstavlja efektivnu barijeru za zaustavljanje frakture između dva materijala različite strukture gdje se tijekom žvačnog opterećenja, dentinska kolagena vlakna napinju i odupiru odvajanju, a sam pritisak kristala povisuje čvrstoću i krutost dentina te sprječava njegov lom. Ne smije se izostaviti propriocepcija i amortizacija parodonta koji se prilagođava djelovanju jakih funkcijskih i parafunkcijskih sila (21). Stoga, Garoushi i suradnici (25) preporučuju primjenu kompozita ojačanog kratkim staklenim vlaknima u području zuba izloženo velikom naprezanju. Prijenos sile i naprezanja iz polimerne matrice u vlakna je ključna. To je moguće samo ako vlakna imaju duljinu jednaku ili višu od kritične duljine vlakana. Kritična duljina vlakana E-stakla s bis-GMA polimernom matricom variraju između 0,5 i 1,6 mm (16). Zaključno se može reći da *Ribbond* vlakna i SFRC materijal značajno povećavaju otpornost na frakture poslijeendodontski opskrbljenih zubi u odnosu na druge materijale koji se koriste za izradu izravnih ispuna, no, ni približno razmjerima intaktnog zuba (9).

6. ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata ovog istraživanja može se zaključiti:

1. Zubi restaurirani kompozitom ojačanim kratkim vlaknima (SFRC) pokazuju veću maksimalnu silu, a time i otpornost na frakture u odnosu na restauraciju zatvorenim sendvič-tehnikom, ali ne pokazuju veću otpornost na frakture u odnosu na restauraciju s bulk-fill kompozitom.
2. Povoljne frakture zuba (iznad razine CCS-a) se podjednako pojavljuju kod restauracija SFRC materijalom, bulk-fill kompozitom i sendvič-tehnikom.
3. Opsežne MOD restauracije s širinom isthmusa većom od $2/3$ vestibulooralne širine značajno smanjuju otpornost zuba na frakture.
4. Ne postoji značajna razlika u tlačnoj i prekidnoj čvrstoći kod MOD restauracija SFRC materijalom, bulk-fill kompozitom i sendvič-tehnikom.

7. ZAHVALE

Ovim putem htjela bih se zahvaliti svojoj dragoj mentorici prof. dr. sc. Nadi Galić dr. med. dent. na prenesenom znanju, podršci i strpljivosti tijekom izrade ovog rada. Posebno hvala i dragoj komentorici, izv. prof. dr. sc. Ani Pilipović dipl. ing. na spremnosti, dobroj volji, pruženim saznanjima i tehničkoj izvedbi velikog dijela istraživanja obavljenog na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Neizostavno je zahvaliti se i Mislavu Tujmeru mag. ing. mech. te Filipu Valjku, mag. ing. mech. na pomoći te korištenju skenera i grafičkog programa za ovaj rad. Bilo je zadovoljstvo raditi ovo istraživanje u interdisciplinarnom timu. Hvala dr. sc. Mateju Paru dr. med. dent. što mi je omogućio korištenje uređaja za termocikliranje. Hvala Moniki Pejić na statističkoj obradi rezultata.

8. LITERATURA

1. Herbert F., Wolf EM, Rateitschak KH. Rateitschak. Parodontologija. Stomatološki atlas. 1. hrvatsko izdanje. Zagreb: Naklada Slap; 2008. 459 p.
2. Bhanderi S. Facts About Cracks in Teeth. *Prim Dent Jour.* 2021;10(1):20–7.
3. Rivera EM, R. E. Walton. “Cracking the cracked tooth code: detection and treatment of various longitudinal tooth fractures.” *Am Assoc End Colleagues for Excellence News Lett* 2 . 2008;1–19.
4. Ellis SGS, McCord JF, Burke FJT. Predisposing and Contributing Factors for Complete and Incomplete Tooth Fractures. *Den Upd.* 1999;26(4):150–8.
5. Touré B, Faye B, Kane AW, Lo CM, Niang B, Boucher Y. Analysis of Reasons for Extraction of Endodontically Treated Teeth: A Prospective Study. *J.of End.* 2011;37(11):1512–5.
6. Mollaverdi F, Bassir M, Labibzadeh A. The effect of amount of lost tooth structure and restorative technique on fracture resistance of endodontically treated premolars. *J of Cons Dent.* 2013;16(5):413.
7. Garlapati TG, Krithikadatta J, Natanasabapathy V. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with short fiber composite used as a core material—An in vitro study. *J of Prosth Res.* 2017;61(4):464–70.
8. Kemaloglu H, Emin Kaval M, Turkun M, Micoogullari Kurt S. Effect of novel restoration techniques on the fracture resistance of teeth treated endodontically. *Den Mat J.* 2015;34(5):618–22.
9. Tekçe N, Pala K, Tuncer S, Demirci M, Serim ME. Influence of polymerisation method and type of fibre on fracture strength of endodontically treated teeth. *Aust Endo J.* 2017;43(3):115–22.
10. Jafarnia S, Valanezhad A, Shahabi S, Abe S, Watanabe I. Physical and mechanical characteristics of short fiber-reinforced resin composite in comparison with bulk-fill composites. *J of Or Sci.* 2021;63(2):148–51.
11. Tarle Z. “Restaurativna dentalna medicina.” . Zagreb: Medicinska naklada ; 2019. 240 p.
12. Lassila L, Keulemans F, Vallittu PK, Garoushi S. Characterization of restorative short-fiber reinforced dental composites. *Dent Mat J.* 2020;39(6):992–9.
13. Garoushi S, Gargoum A, Vallittu PK, Lassila L. Short fiber-reinforced composite restorations: A review of the current literature. *J of Invest and Clin Dent.* 2018;9(3):e12330.
14. El-Helali R, Dowling AH, McGinley EL, Duncan HF, Fleming GJP. Influence of resin-based composite restoration technique and endodontic access on cuspal deflection and cervical microleakage scores. *J of Dent.* 2013;41:216–22.

15. Tayab Tabassum, Akshay Shetty, G. Kayalvizhi. The Clinical Applications of Fiber Reinforced Composites in all Specialties of Dentistry an Overview. *Open J of Comp Mat.* 2015;5.1:18–24.
16. Sáry T, Garoushi S, Braunitzer G, Alleman D, Volom A, Fráter M. Fracture behaviour of MOD restorations reinforced by various fibre-reinforced techniques – An in vitro study. *J of the Mech Beh of Biom Mat.* 2019;98:348–56.
17. Safwat EM, Khater AGA, Abd-Elsatar AG, Khater GA. Glass fiber-reinforced composites in dentistry. *Bull.of the Nat Res Cent.* 2021;45(1):190.
18. Mangoush E, Garoushi S, Lassila L, Vallittu PK, Säilynoja E. Effect of Fiber Reinforcement Type on the Performance of Large Posterior Restorations: A Review of In Vitro Studies. *Polymers (Basel).* 2021;13(21):3682.
19. Ozsevik AS, Yildirim C, Aydin U, Culha E, Surmelioglu D. Effect of fibre-reinforced composite on the fracture resistance of endodontically treated teeth. *Aust Endo J.* 2016;42(2):82–7.
20. Soares LM, Razaghy M, Magne P. Optimization of large MOD restorations: Composite resin inlays vs. short fiber-reinforced direct restorations. *Dent Mat.* 2018;34(4):587–97.
21. Shah S, Shilpa-Jain DP, Velmurugan N, Sooriaprakas C, Krithikadatta J. Performance of fibre reinforced composite as a post-endodontic restoration on different endodontic cavity designs— an in-vitro study. *J of the Mech Beh of Biomed Mat.* 2020;104:103650.
22. Mastrogianni A, Lioliou EA, Tortopidis D, Gogos C, Kontonasaki E, Koidos P. Fracture strength of endodontically treated premolars restored with different post systems and metal-ceramic or monolithic zirconia crowns. *Dent Mat J.* 2021;40(3):606–14.
23. Habekost L v., Camacho GB, Pinto MB, Demarco FF. Fracture Resistance of Premolars Restored with Partial Ceramic Restorations and Submitted to Two Different Loading Stresses. *Oper Dent.* 2006;31(2):204–11.
24. Fráter M, Forster A, Jantyk Á, Braunitzer G, Nagy K, Grandini S. >In vitro< fracture resistance of premolar teeth restored with fibre-reinforced composite posts using a single or a multi-post technique. *Aust Endo J.* 2017;43(1):16–22.
25. Garoushi S, Säilynoja E, Vallittu PK, Lassila L. Physical properties and depth of cure of a new short fiber reinforced composite. *Dent Mat.* 2013;29(8):835–41.

9. PRILOG

Uzorak	Maksimalna sila	Prekidna sila	Površina u zahvatu zuba s ispitnim šiljkom	Tlačna čvrstoća	Prekidna čvrstoća
Mjerna jed.	N	N	mm ²	N/mm ²	N/mm ²
KS1	1605,13	1333,94	2,68	598,928	497,737
KS2	1515,76	1515,76	1,505	1007,15	1007,15
KS3**	262,907	181,487	1,851	142,035	98,0483
KS4**	372,251	366,537	4,228	88,0442	86,6927
KS5	1660,64	2161,46	1,469	1131,22	1472,39
KS6	2613,29	2613,29	1,969	1327,22	1327,22
KS7	1145,06	1145,06	2,04	561,303	561,303
KS8	2071,77	2071,77	1,972	1050,6	1050,6
KS9	2167,92	2167,92	1,465	1479,81	1479,81
KS10	1920,32	1920,32	2,766	694,26	694,26
Artimetička sredina	1837,486	1866,190	1,98325	981,311	1011,309
Standardna devijacija	453,720	493,920	0,401525	338,298	396,454
BF3.3	483,243	470,711	1,366	353,765	344,591
BF3.7	801,772	801,772	3,1725	580,994	580,994
BF2.10	482,949	479,403	1,38	655,29	650,478
BF3.4	487,344	485,894	0,737	329,286	328,307
BF3.2	430,549	405,981	1,48	301,083	283,903
BF1.6	753,821	739,109	1,43	388,768	381,18
BF2.3	436,74	837,898	1,939	129,251	247,972
BF1.9	153,783	142,466	3,379	115,626	107,118
BF1.10	49,6912	37,7862	1,33	26,7733	20,3589
BF3.8P	505,487	505,487	1,856	159,334	159,334
Artimetička sredina	458,538	490,651	1,807	304,017	310,424
Standardna devijacija	228,651	261,058	0,245	203,919	196,707
SIC1.2	186,464	587,222	2,15	86,7274	273,126
SIC1.3	308,21	280,067	2,112	145,933	132,608
SIC1.7	287,259	287,19	1,93	148,839	148,803
SIC2.1	268,828	213,486	1,3945	192,777	153,092
SIC2.2	354,041	348,425	1,899	186,435	183,478
SIC2.4	674,906	674,906	0,926	728,84	728,84
SIC2.8	71,861	46,6108	1,238	58,046	37,6501
SIC2.9	353,014	292,131	2,1905	161,157	133,363
SIC3.1	241,526	175,727	3,26	74,0877	53,9041
SIC3.5	470,994	706,355	2,1295	221,176	331,7
Artimetička sredina	321,71	361,212	1,923	200,402	217,656
Standardna devijacija	163,425	221,312	0,447	193,287	200,284

EX1.1	865,021	861,136	2,22	389,649	387,899
EX1.4	230,786	230,786	2,337	98,7531	98,7531
EX1.5	409,794	402,12	3,863	106,082	104,095
EX1.8	434,036	434,036	2,567	169,083	169,083
EX2.5	680,989	650,009	1,655	411,474	392,754
EX2.6	384,866	384,866	2,942	130,818	130,818
EX2.7	734,984	734,984	3,169	231,929	231,929
EX3.6	992,449	992,449	2,6535	374,015	374,015
EX3.9	1156,56	1150,11	1,1625	994,892	989,344
EX3.10	565,329	559,141	3,399	166,322	164,502
Arifmetička sredina	645,481	639,964	2,597	307,302	304,319
Standardna devijacija	295,453	294,496	0,609	269,702	267,592

** uzorci izbačeni iz statističke analize

10. SAŽETAK

Mihaela Vrebac

UTJECAJ RAZLIČITIH RESTAURATIVNIH TEHNIKA KOD ENDODONTSKI LIJEČENIH ZUBI NA FRAKTURNU OTPORNOST KRUNE ZUBA

Svrha rada: U *in vitro* istraživanju provedeno je ispitivanje frakturne otpornosti endodontski liječenih molara s MOD kavitetima restaurirani SFRC materijalom, bulk-fill kompozitom i sendvič-tehnikom te broj povoljnih fraktura u pojedinim skupinama. Ovim radom prikazane su krajnje granice MOD restauracije kaviteta koje prelaze u protetsku sanaciju zuba.

Materijali i metode: U istraživanju je primijenjeno 40 ekstrahiranih molara koji su preraspodijeljeni u četiri skupine ($n = 10$). Kontrolna skupina (KS) predstavlja intaktne zube bez preparacije. Eksperimentalne skupine su endodontski liječeni zubi s oblikovanim kompozitnim aproksimalnim plohamama. Sredina kaviteta se restaurirala odgovarajućim materijalom: skupina EX; EverX Posterior (GC Japan) + visokoviskozni mikrohibridni kompozit, skupina BF; Filtek One Bulk Fill (3M, SAD) + visokoviskozni mikrohibridni kompozit, skupina SIC; Fuji II LC (GC Japan) + visokoviskozni mikrohibridni kompozit. Nakon ulaganja u akrilatne kalupe i termocikliranja, uzorci su skenirani ekstraoralnim skenerom kako bi se izračunala površina zuba koja je potrebna za određivanje naprezanja. Testiranje frakturne otpornosti provelo se uz pomoć univerzalne kidalice. Rezultati su statistički analizirani ANOVA testom i Tukey's HSD post hoc testom.

Rezultati: Kontrolna skupina je pokazala značajnu razliku u odnosu na eksperimentalne skupine sobzirom na maksimalnu silu, prekidnu silu, tlačnu čvrstoću i prekidnu čvrstoću ($p < 0,01$). Jedinarazlika između eksperimentalnih skupina se ostvarila između skupine EX i skupine SIC gdje je vrijednosti maksimalne sile statistički značajno niža u SIC skupini u odnosu na EX ($p < 0,05$). Broj reparabilnih fraktura se podjednako pojavio unutar svih skupina (37,5 - 40 %).

Zaključak: Najvišu otpornost na frakture pokazuje kontrolna skupina, dok restauracija SFRC materijalom nije pokazala značajnu razliku u otpornosti s obzirom na druge skupine kada se postavi u MOD kavitet s ishtmusom većim od 2/3 vestibulooralne širine. Potrebna su daljnja istraživanja s većim brojem uzoraka kako bi utvrdili postoji li statistički značajna razlika SFRC i drugih restaurativnih materijala u kavitetima navedenog razmjera.

Ključne riječi: kompoziti ojačani kratkim staklenim vlaknima, frakturna otpornost, maksimalna sila, prekidna sila, tlačna čvrstoća, prekidna čvrstoća, postendodontska opskrba.

11. SUMMARY

Mihaela Vrebac

INFLUENCE OF DIFFERENT CORONAL RESTORATION TECHNIQUES ON FRACTURE RESISTANCE OF ENDODONTICALLY TREATED TOOTH

Purpose: In this research (*in vitro*) the fracture resistance of endodontically treated molars with MOD cavities was tested with the following restoration techniques; short fiber reinforced composite material, bulk-fill composite material, and sandwich technique restoration. Also, the number of favorable fractures was compared in individual groups. The aim was to point out the limits of MOD cavity restorations that are more prone to turn into a crown preparation.

Materials and methods: In the experiment was used 40 extracted molars that were divided into four groups ($n = 10$). The control group (KP) represents intact teeth without any endodontic and cavity preparation. Teeth inside the experimental group were endodontically treated. The approximal tooth surfaces were restored with hybrid composite by using the incremental technique. The specimens were prepared and restored with their respective core materials as follows; group EX; EverX Posterior (GC Japan) + high-level microhybrid composite, group BF; Filtek One Bulk Fill (3M, USA) + high-rise microhybrid composite, SIC group; Fuji II LC (GC Japan) + high-level microhybrid composite. After dipping the specimen in the resin molds and thermocycling, the specimens were scanned with an extraoral scanner to evaluate the tooth surface for the stress calculation. Fracture resistance was tested using the universal testing machine. The results were statistically analyzed using ANOVA and Tukey's HSD post hoc tests.

Results: The control group showed a significant difference from experimental groups within maximum force, break force, pressure strength and break strength ($p < 0.01$). The only difference between the experimental groups was made between the EX group and the SIC group where the maximum force values were statistically significantly lower in the SIC group compared to the EX ($p < 0.05$). The number of repairable fractures appeared equally within all groups (37.5 - 40%).

Conclusion: The greatest fracture resistance was demonstrated by the control group, while the SFRC restoration did not show a significant difference in resistance compared to other groups. The cause may be MOD preparation with an isthmus greater than 2/3 of the vestibulooral width. Further research with a larger number of samples is needed to determine whether there is a statistically significant difference between SFRC and other restoration materials with a similar amount of remaining buccal and oral wall thickness.

Keywords: short fiber-reinforced composite, fracture resistance, maximum force, breaking force, pressure strength, breaking strength, post endodontic restoration.