

Zsugorodási stressz hatásainak vizsgálata fogászati kompozitok különböző tömés technikái esetén

az azonos című PhD-értekezés tézisei

Dr. Néma Viktória

Témavezetők:

Dr. habil Lempel Edina

Dr. habil Fráter Márk



Szegedi Tudományegyetem

Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola

Szeged

2024

A tézis alapjául szolgáló publikáció

Néma Viktória; Sály Tekla; Szántó Lili Fanni; Braunitzer Gábor; Fráter Márk Tibor: *Rövid üvegszál megerősítésű kompozit által kifejtett polimerizációs stressz. Előzetes tanulmány [Polymerization shrinkage-stress of short fiber-reinforced composite. Pilot study]. FOGORVOSI SZEMLE, 115 (4). pp. 178-182. ISSN 0015-5314 (2022)*

Néma V, Sály T, Szántó FL, Szabó B, Braunitzer G, Lassila L, Garoushi S, Lempel E, Fráter M. Crack propensity of different direct restorative procedures in deep MOD cavities. Clin Oral Investig. 2023 May;27(5):2003-2011. doi: 10.1007/s00784-023-04927-1.

IF:3.4 (2022) Q1, D1

Néma V, Kunsági-Máté S, Óri Z, Kiss T, Szabó P, Szalma J, Fráter M, Lempel E. Relation between internal adaptation and degree of conversion of short-fiber reinforced resin composites applied in bulk or layered technique in deep MOD cavities. Dent Mater. 2024 Feb 16:S0109-5641(24)00030-7. doi: 10.1016/j.dental.2024.02.013.

IF: 5 (2022) Q1, D1

Kapcsolódó publikáció:

Fráter M, Sáros T, **Néma V**, Braunitzer G, Vallittu P, Lassila L, Garoushi S. Fatigue failure load of immature anterior teeth: influence of different fiber post-core systems. *Odontology*. 2021 Jan;109(1):222-230. doi: 10.1007/s10266-020-00522-y.

Bevezetés

A fogászati rezin bázisú kompozitok (RBC) a leggyakrabban használt direkt restaurációs anyagok, és világszerte a legtöbb fogorvos első számú választása lett mind az anterior, mind a poszterior fogak helyreállítására. A kompozitokkal kapcsolatos állandó problémát a polimerizációs zsugorodás jelenti. Ez a zsugorodás nemcsak magában a restaurációban, valamint a restauráció és a fog közötti határfelületen, hanem a fogszerkezetben is stressz kialakulását okozza. A polimerizációs stressz következményei számos klinikailag releváns problémához vezethetnek, mint például marginális és belső rések kialakulása, mikroszivárgás, amely nyál és baktériumok beszivárgásához vezet, sőt, akár a csücskök elhajlásához is. Ezek a tényezők viszont veszélyeztethetik a restauráció hosszú távú sikerességét.

A polimerizációs zsugorodás és a hozzá kapcsolódó feszültség mérséklését célzó legújabb fejlesztés a rövid szálerősítésű kompozit (SFRC) bevezetése. Jellegzetes mechanikai tulajdonságai miatt elsősorban dentin pótlására indikálják a nagy igénybevételnek kitett területeken. A szakirodalom szerint az SFRC a hagyományos kompozithoz képest csökkent polimerizációs zsugorodást mutat. Továbbá az SFRC kisebb tendenciát mutat a zsugorodás okozta repedésképződésre a MOD-üregekben, akár bulk-, akár rétegzéses-technikával alkalmazzuk.





Korábbi tanulmányok bizonyították az SFRC anyagok kiemelkedő mechanikai tulajdonságait. Nem állnak azonban rendelkezésre olyan tanulmányok, amelyek összehasonlítanák az SFRC-anyagok bulk-fill és rétegezési technikával történő felhasználását annak megállapítására, hogy klinikailag releváns előnye van-e az egyiknek a másikhoz képest. Ez felveti azt a kérdést, hogy a különböző applikációs technikák eredményeznek különbséget a polimerizációs zsugorodásban és annak későbbi hatásaiban. Vizsgálataink célja az volt, hogy felmérjük a különböző direkt helyreállító eljárásokkal kapcsolatos repedésképződést (I. vizsgálat) mély II. osztályú MOD-üregekben. Emellett célunk volt a belső adaptáció, a porozitás és a konverziós rátának értékelése (II. tanulmány) az említett restaurációs technikák esetében, mély MOD-üregekben.

Módszerek

Vizsgálatunkhoz 200, orthodonciai okból extrahált alsó bölcsességfogot használtunk fel. A kiválasztott ép fogak a következő méretekkel rendelkeztek: 8-10 mm orovesztibuláris átmérő, 9-11 mm mezio-disztális átmérő és 6-7 mm koronamagasság a cement-zománc határtól mérve. A teljes vizsgálati időszak alatt, a mérések között a fogakat 0,9%-os sóoldatban, szobahőmérsékleten tároltuk. A kiválasztott fogakba II. osztályú MOD-üregeket készítettünk. Az üregek 5 mm mélyek voltak, és bukkális és - vesztibuláris faluk egyenként 2,5 mm széles volt. Az

üregek elkészítése után a fogakat a D-Light Pro (GC Europe, Leuven, Belgium) segítségével „detektáló üzemmódban”, 4,3-szoros nagyítással vizsgáltuk a zománcrepedések szempontjából.

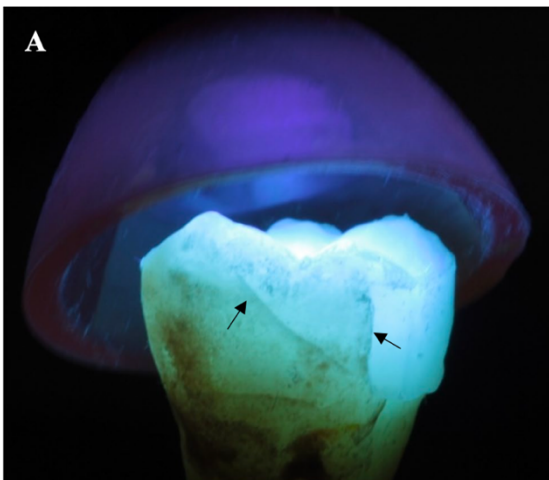
Minden preparált fogon ugyanazt az adhezív kezelést végeztük el. A II. osztályú üregeket először centripetális technikával I. osztályúvá módosítottuk, az approximális falakat hagyományos kompozittal (G-aenial Posterior A3, GC Europe) felépítve. Ezután az üregeket az I. és a II. vizsgálatban is az alábbi módok valamelyikével restauráltuk: A vizsgálati csoportokat, az alkalmazási módszereket, a vizsgált anyagokat és azok összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

Group	Application method	Material	Manufacturer	Shade	Organic matrix	Filler	Filler loading (vol%/wt%)
Group 1*	 HV SFRC 4mm bulk layer	EverX Posterior	GC Europe, Leuven, Belgium	U	BisGMA, TEGDMA, PMMA	0.7µm barium glass (65.2%), 17µm x 1-2mm short E-glass fibers (9%)	53.6/74.2
Group 2*	 HV SFRC in 2x2mm incremental layers						
Group 3*	 LV bulk-fill RBC in 4mm	Surefil SDR Flow+	Dentsply, Milford, DE, USA	U	Modified UDMA, TEGDMA, DMA, TMA	4.2µm Ba-Al-F- B silicate glass, Sr-Al-F silica, YbF	47.4/70.5
Group 4 (Control)	 HV conventional RBC in 2x2mm incremental layers	G-aenial Posterior	GC Europe, Leuven, Belgium	A3	UDMA, TCDDD, DMA	F-Al-silicate, Sr-glass, lanthanide-F	65.0/77.0

*1.táblázat A vizsgált RBC anyagok vizsgálati csoportjai, anyagai, alkalmazási módszerei, gyártói és összetétele. * 1 mm-es borítás G-aenial posterior RBC-vel*

I.vizsgálat. A restaurált fogak értékelése a kialakult repedések tekintetében

A repedések vizsgálatát a D-Light Pro (GC Europe) készülékkel végeztük 4,3-as nagyítással, átvilágítás mellett, „detektáló üzemmódban”, két vizsgáló egyetértését igénylő protokollt alkalmazva (1A. ábra). A fogakat két alkalommal vizsgáltuk a repedések szempontjából: először az utolsó polimerizációs fázis után, majd 1 héttel később. A két vizsgálat között a fogakat fiziológiás sóoldatban tartottuk.

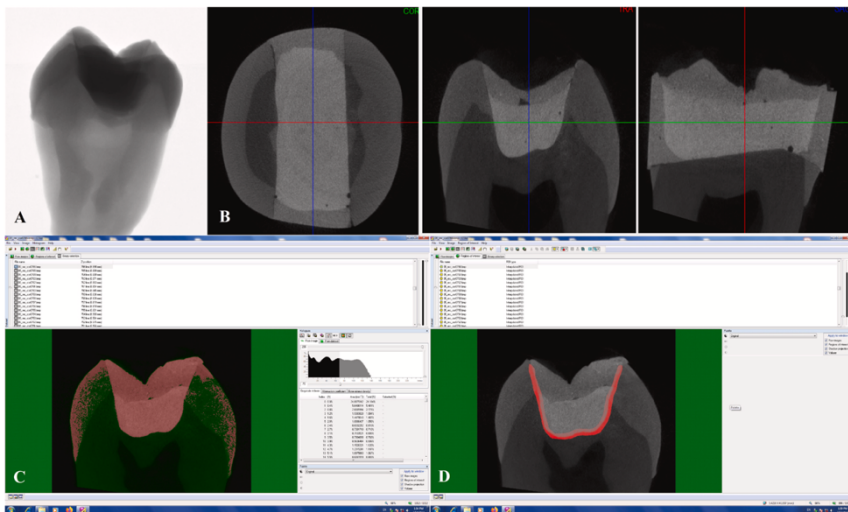


1.A ábra. Példák a polimerizációs folyamat során kialakuló repedésekre (nyilak)

II. vizsgálat Belső adaptáció és a konverziós ráta értékelése

Mikro komputer tomográfia mérés – 3D belső adaptáció és porozitás

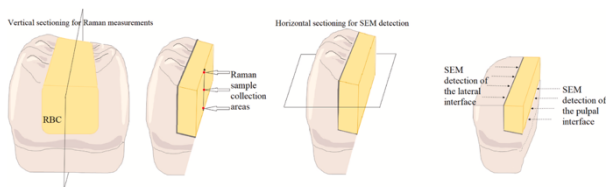
A 3D belső adaptáció és a zárt pórustérfogat elemzéséhez mikro-komputer tomográfias (mikro-CT) vizsgálatokat végeztünk (Skyscan 1176 Control Program: 1.1 verzió (build 12), Bruker, Kontich, Belgium) 80 mintán a polimerizáció után egy hónappal.



2. ábra A 3D belső határfelületi adaptáció elemzésének munkafolyamata: nyers kép (A), többsíkú képsorozat (B), rekonstruált kép (C), tárgyérdekű tartomány (ROI) azonosítása és kijelölése az axiális szeleteken (D).

Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) - Belső határfelületi adaptáció

Egy hónapos fiziológiás sóoldatban való tárolás után minden csoportból öt restaurált fog gyökerét eltávolítottuk 2 mm-rel a zománc-cement határ alatt. A koronákat a középpontjukon keresztül mezo-disztális irányban szekcionáltuk, a fogak egyik felét pedig vízhűtéses gyémántpengével vízszintesen tovább szekcionáltuk. A dentin-restauráció határfelületet a pulpális és az axiális falakon vizsgáltuk. A SEM-kép skálását használtuk a kalibráláshoz, és a rések (nem illeszkedő határfelület) hosszát mikrométerben kaptuk meg. Az adatokat összegeztük, és kiszámítottuk a nem illeszkedő határfelületi hosszt a kijelölt szakasz teljes hosszának függvényében [(nem illeszkedő hossz/összes hossz) x100 = határfelületi rés százalékos aránya = IG%].



3. ábra. A mikro-Raman és pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) mérésekhez szükséges minta előkészítésének sematikus ábrája. A rezin bázisú kompozit (RBC) kitölti az üreget, amely pontosan azonos szélességű (2,5 mm) és mélységű (5 mm) okkluzo-proximálisan. Mezo-disztális függőleges metszés biztosította a mintát a mikro-Raman

mérésekhez az RBC okkluzo-pulpális dimenziója mentén három különböző ponton. A vízszintes metszés szolgáltatta a mintát a dentin-restauráció határfelület mentén végzett SEM-mérésekhez az axiális és a pulpális fal 200 µm-es metszetében.

Mikro-Raman-spektroszkópiai mérések - konverziós ráta

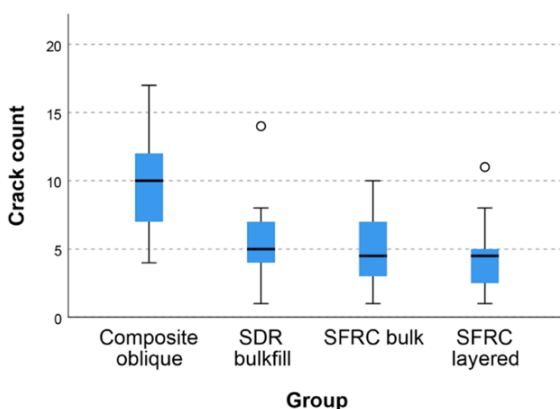
A függőleges keresztmetszetű fogakat (csoportonként $n = 5$) (3. ábra) egy univerzális tartóra szereltük, amely lehetővé tette a minta mozgatását, így különböző mélységben lehetett a gerjesztő lézerténynek kitenni. Egy hónappal a restaurálás utáni konverziós fok értékeit konfokális Raman-spektrométerrel (Labram HR 800, HORIBA Jobin Yvon S.A.S., Longjumeau Cedex, Franciaország) értékeltük. A Raman-spektrumokat a restaurálás három mélységéből gyűjtöttük: 0,5 mm-rel az okkluzális felszín alatt (felül); a minta felső és alsó része közötti távolság geometriai középpontjában (középen); és 0,5 mm-re az üreg aljától okkluzálisan (alul). A mérések során a kitett mintafelület átmérője kb. 0,2 mm volt, az integrációs idő 10 s volt.

Eredmények

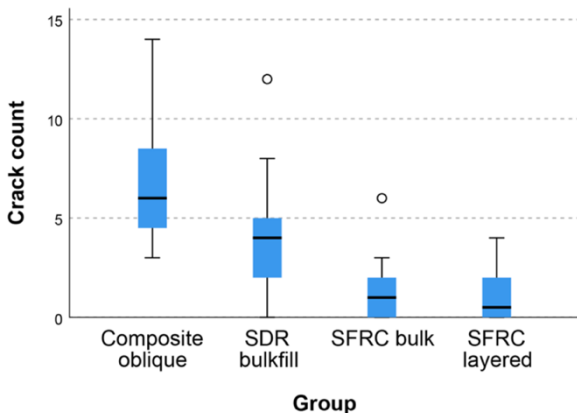
I. vizsgálat A restaurált fogak értékelése a kialakult repedések tekintetében

A repedések számát tekintve közvetlenül a restaurációs eljárás után az SFRC restaurációkban (1. és 2. csoport) szignifikánsan kevesebb polimerizáció okozta repedés volt megfigyelhető, mint a kontrollcsoportban (rétegzéses kompozit tömés). A nem rövid-üvegszál megerősítésű csoportokat (3. csoport és a kontrollcsoport) vagy az SFRC-csoportokat (1. és 2. csoport) összehasonlítva az eredmények nem mutattak szignifikáns különbséget (4. ábra).

Ami a két időpont közötti összehasonlítást illeti (A restaurálást követően közvetlenül és 1 hét elteltével), egy hét után minden csoportban szignifikánsan több repedést számoltak. Azonban csak a kontrollcsoport (rétegzéses kompozit tömés) különbözött szignifikánsan az összes többi csoporttól, a többi csoport között nem volt szignifikáns különbség (5. ábra).



4. ábra A repedésszám boxdiagramja közvetlenül a restaurálást követően



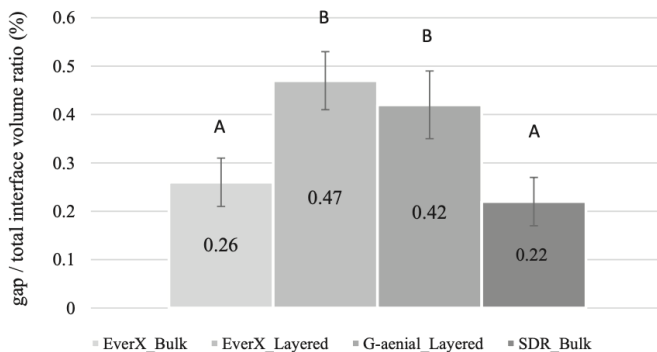
5. ábra A repedésszám boxdiagramja 1 hét elteltével a restaurálást követően.

II. vizsgálat Belső adaptáció és a konverziós ráta értékelése

Mikro komputer tomográfia mérés – 3D belső adaptáció és porozitás

A határfelületi rés térfogatának és a teljes határfelületi térfogatnak az arányát a 6. ábra mutatja be. A vizsgált teljes határfelülethez viszonyítva a legnagyobb résképződés a rétegzéses technikával applikált SFRC csoportban volt kimutatható, eközben az SDR_Bulk mutatta a legjobb belső alkalmazkodást. A rétegzéses [EverX_Layered és. G-aenial_Layered] és a bulk-fill

csoporthok [EverX_Bulk és SDR_Bulk] között azonban nem volt statisztikailag szignifikáns különbség.

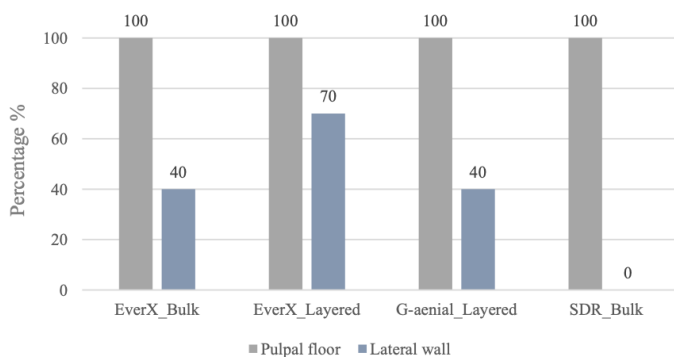


6. ábra A határfelületi rés térfogatának aránya a kijelölt vizsgált határfelületi terület (tárgyérdekű tartomány, ROI) teljes térfogatához képest, amelyet 3D mikrokomputer tomográfias mérésekkel értékeltünk. A különböző nagybetűk statisztikailag szignifikáns különbséget jeleznek az egyirányú ANOVA és a Tukey-féle post hoc tesztek szerint.

Pásztázó elektronmikroszkóp - Belső határfelületi adaptáció

A dentin-kompozit pulpális és axiális határfelületeinek kiegészítő SEM-elemzése a vizsgált kompozit-típusok és alkalmazási módszerek hasonló teljesítményét mutatta a pulpális falon, azonban az axiális falakon eltérő eredmények voltak láthatóak. A pulpális határfelületen hasonló hosszúságú (IG% = 100%)

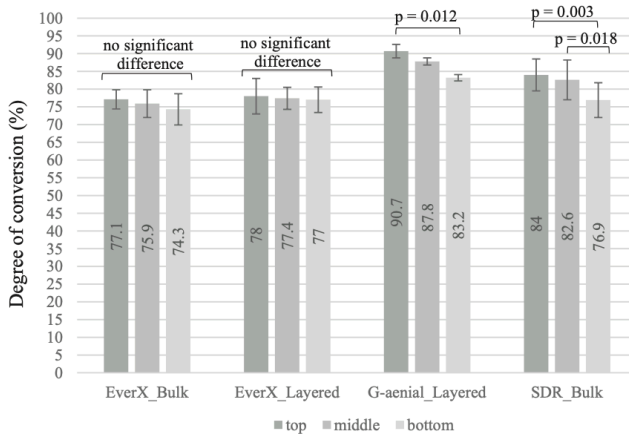
határfelületi defektusokat észleltünk minden vizsgált csoport esetében. A határfelületi rés többnyire az adhezív-kompozit határfelület között alakultak ki. Jól illeszkedő (IG% = 0%) belső adaptációt mutattunk ki az SDR_bulk axiális határfelületein. A rétegzett EverX SEM-felvételei 70%-os határfelületi résképződést mutattak, míg a hagyományos rétegzett kompozit és a bulk-fill technikával alkalmazott EverX csoportok 40%-os résképződést mutattak a vizsgált axiális határfelületi szakasz mentén. Az axiális falak mentén látható rések az adhezív réteg és a dentin között alakultak ki.



7. ábra Pásztázó elektronmikroszkóp vizsgálat, bulk-fill vagy rétegzéses technikával alkalmazott rövid üvegszállal megerősített, hagyományos és folyékony bulk-fill kompozitokkal helyreállított kavitások pulpális falán és axiális falán kialakult határfelületi rés % (rés/összes mért felület).

Mikro-Raman-spektroszkópiai mérések - konverziós ráta (DC)

A minták felső, középső és alsó felületén a DC százalékos aránya 77,1-90,7%, 75,9-87,8%, illetve 74,3-83,2% között mozgott. A legmagasabb DC-értékeket a hagyományos rétegzéses technikával helyreállított csoport érte el, míg a bulk-fill technikával aplikált EverX a legalacsonyabb DC-értékeket adta. A minták felső, középső és alsó részén mért DC-értékek összehasonlításakor azt találtuk, hogy mind a bulk technikával alkalmazott EverX, mind a rétegzéses technikával alkalmazott EverX csoport a teljes mélységben közel azonos polimerizációs fokot ért el (8. ábra). Statisztikailag szignifikáns különbségeket találtunk az összes csoport DC%-a között a minták felső és középső részén, kivéve a bulk technikával és rétegzéses technikával aplikált EverX esetében. A minták alsó részén több csoport is hasonló DC-értékeket mutatott, kivéve az SDR_Bulk összehasonlítva a G-aenial_Layered csoporttal, EverX_Bulk a G-aenial_Layered csoporttal és az EverX_Layered összehasonlítva a G-aenial_Layered csoporttal.



8. ábra A konverziós ráta mértékének különbségei a minták felső, középső és alsó régiójában a vizsgált csoportokon belül. (Az összehasonlítást egyirányú ANOVA és Tukey-féle post hoc teszt segítségével végeztük).

Megbeszélés és Konklúzió és a tézis új megállapításai

SFRC kiemelkedő eredményeit a random elhelyezkedésű üvegszálaknak köszönheti, mely képes kontrollálni a polimerizációs zsugorodást. A résképződés elkerülhetetlen a kompozit restaurátumok esetén, ugyanakkor a mértéke függ a tömés technikától. A posztpolimerizációs zsugorodás által generált stresszt egyértelműen tükrözi az egy hét elteltével megnövekedett repedés szám. SFRC alkalmazása esetén nincs szignifikáns különbség a repedések számát tekintve eltérő (rétegzéses és bulk-fill) tömés technika alkalmazásakor.

Pulpális falon kialakult rész a dentin szerkezetével (dentintubulusok nagyobb átmérője), az adhezív rétegen kialakult oxigén inhibíciós réteg ozmózis effektusával és a zsugorodási vektor irányával magyarázható. Axiális falon csökkent mértékben képződtek rések a kedvezőbb dentinszerkezetnek köszönhetően.

Eredményeinket 1 hónapos vízben történő tárolást követően mértük, így azt befolyásolja a kompozit vízfelvétele. A kialakult rések expansziója nagyobb mértékben megy végbe rétegzéses technika esetén.

Az ex vivo vizsgálat korlátain belül megállapítható, hogy:

- A polimerizációs zsugorodási stressz anyag- és az applikációs technikától függő repedésképződést idézett elő a fogban, amely jelenség 1 héttel a restauráció után tovább folytatódott.
- Az SFRC ellenállóbb volt a zsugorodási stresszel szemben a restaurációs eljárás során; 1 hét elteltével azonban az SFRC mellett a bulk-fill kompozit is nagyobb ellenállást mutatott a polimerizációs zsugorodással összefüggő repedésképződéssel szemben, mint a rétegzéses kompozit tömések.
- Az SRFC csökkentheti a zsugorodási stressz okozta repedésképződést MOD üregekben.
- A bulk-fill töméstechnika alacsonyabb határfelületi rész térfogatot mutatott, és kielégítő

DC-t ért el mély üregekben, anélkül, hogy e paraméterek között jelentős korreláció lenne.

- A határfelületi rés és a DC értékeket túlnyomórészt a kompozit típusa és a töméstechnika befolyásolta.
- A legkevesebb határfelületi rés a folyékony, bulk-fill kompozittal (SDR_Bulk) helyreállított fogakban fordult elő. Az SFRC inkrementális behelyezése nem jelentett előnyt a belső adaptáció és a polimerizáltsági fok tekintetében a bulk behelyezéssel szemben.