

Mély MOD kavitások helyreállítása szálerősítésű direkt restaurátummal vitális és gyökérkezelt fogak esetében

az azonos című PhD-értekezés tézisei

Dr. Volom András

Témavezető:

Dr. habil. Fráter Márk PhD, M.Sc.



Szegedi Tudományegyetem

Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola

Szeged

2024

Tartalom

A tézis alapjául szolgáló és ahhoz szorosan kapcsolódó publikációk listája	3
Rövidítések listája	5
1. Bevezetés.....	6
2. Anyag és módszertan	12
3. Eredmények és Megbeszélés.....	20
4. Konklúzió	22
Referencia.....	24

A tézis alapjául szolgáló és ahhoz szorosan kapcsolódó publikációk listája

A tézis alapjául szolgáló publikációk:

Fráter M, Sály T, Vincze-Bandi E, **Volom A**, Braunitzer G, Szabó P B, Garoushi S, Forster A. Fracture Behavior of Short fibre-Reinforced Direct Restorations in Large MOD Cavities. *Polymers (Basel)*. 2021 Jun 23;13(13):2040. doi:10.3390/polym13132040. (Q1)

Dr. Volom András, Dr. Fráter Márk. Transzmurális szálerősítéses merevítés a nagyméretű MOD kavitások mechanikai ellenállóképességének növelésére – technikai leírás. *FOGORVOSI SZEMLE* 112. évf. 3. sz. 2019. 82-86.

Jakab A, **Volom A**, Sály T, Vincze-Bandi E, Braunitzer G, Alleman D, Garoushi S, Fráter M. Mechanical Performance of Direct Restorative Techniques Utilizing Long fibres for "Horizontal Splinting" to Reinforce Deep MOD Cavities-An Updated Literature Review. *Polymers*

(Basel). 2022 Apr 1;14(7):1438.
doi:10.3390/polym14071438. (Q1)

Volom A, Vincze-Bandi E, Sary T, Alleman D, Forster A, Jakab A, Braunitzer G, Garoushi S, Frater M. Fatigue performance of endodontically treated molars reinforced with different fibre systems. Clin Oral Investig. 2023 Jun;27(6):3211-3220. doi: 10.1007/s00784-023-04934-2. (Q1, D1)

Kapcsolodo publikaciok:

Sary T, Garoushi S, Braunitzer G, Alleman D, **Volom A**, Frater M. Fracture behaviour of MOD restorations reinforced by various fibre-reinforced techniques - An in vitro study. J Mech Behav Biomed Mater. 2019 Oct;98:348-356. doi:10.1016/j.jmbbm.2019.07.006. Epub 2019 Jul 9. Erratum in: J Mech Behav Biomed Mater. 2020 Feb;102:103505. (Q1)

Rövidítések listája

- CEJ: zománc-cement határ
- FRC: szálerősítésű kompozit
- MOD: mezio-okklúzo-disztális
- SFC: rövid üvegszál-megerősítésű kompozit
- UHMWPF: ultra-magas molekulásúlyú polietilén rost

1. Bevezetés

A régi restaurációs anyagok csak a hiányzó foganyagot voltak képesek pótolni. Ezzel szemben a modern restaurációs anyagoktól elvárjuk, hogy funkcionális helyreállítást is biztosítsanak a fogaknak. A poszterior régió direkt helyreállítására használt anyagainak vizsgálatakor azt láthatjuk, hogy a legtöbb nagy szuvaságot hosszú ideig amalgámtöméssel látták el. Azonban mind a vizsgálatok, mind a mindennapi klinikai gyakorlat azt mutatja, hogy az amalgámtömések mellett a repedések és törések száma jelentősen magasabb, mint más direkt helyreállítások mellett [1,2]. Jelenleg, az amalgám világméretű kivonásával, a nagy kavitások (pl. mezio-okklúzo-disztális (MOD) üregek) helyreállítása mechanikai szempontból mindennapos problémát jelent a gyakorló fogorvosok számára [3-5]. Kimutatták, hogy a záróléc jelenléte vagy hiánya az egyik legkritikusabb tényező az üreg falában keletkező feszültségek kialakulásában [6]. Reeh és mtsai. vizsgálatai szerint a MOD üregek esetében, ahol mindkét záróléc feláldozásra vagy elvesztésre került, a csücskök merevségének

csökkenése 63% körüli [7]. Az MOD üregekhez képest Plotino és mtsai. kimutatták, hogy abban az esetben, ha csak csak egy záróléc hiányzik, a szerkezeti gyengülés 46% [8]. Több szerző szerint nem csak az üreg alakja, hanem mélysége is nagyban befolyásolja a fog mechanikai ellenállóképességét [6,9,10]. Forster és mtsai. részletesen elemezték az üreg kiterjedésének, mélységének és falvastagságának hatását a törési ellenállásra [11]. Megállapították, hogy a falvastagság másodlagos tényező az üreg mélységéhez képest a csücsök törési ellenállása szempontjából [11]. Ez összhangban van más tanulmányokkal, amelyek szerint minél nagyobb és mélyebb az üreg, annál nagyobb a csücsök elhajlása [12,13]. Hood kijelentette, hogy minden olyan restaurációs módszer, amely gátolja a csücsök terhelés során történő elhajlását, javítja a fogak túlélését [14]. Tanulmányában sikerült kimutatnia, hogy az üreg mélységének növekedésével a kavitás falaira és a csücsökre ható erő is növekszik [14].

Megállapítható, hogy minden olyan erő, amely az üreg falát és következésképpen a szemben lévő bukkális és

lingvális csücsköket eltávolítja egymástól, veszélyezteti a fog szerkezeti stabilitását, különösen a mély kavitások esetében. Emiatt a szemben lévő falak stabilizálása nagy jelentőséggel bír a mély MOD üregek esetében. Ez a téma lesz a tézis középpontjában. Jelenleg a direkt kompozit restaurációk jelentik az elsődleges választást a szuvasság miatt kialakult kavitások helyreállítására a poszterior régióban, melyeket magas klinikai sikeresség és tartósság jellemez [15-17]. A polimerizációs zsugorodás és a kapcsolódó stressz azonban még mindig releváns kérdés a direkt kompozit restaurációk esetében. A polimerizációs zsugorodás feszültséget generál a kompozit-kompozit és a kompozit-fogszövet közötti határfelületen, valamint a fogszerkezeten belül [18]. Ez különböző problémákhoz vezethet, többek között marginális rés kialakulásához [19], mikrorepedésekhez (a restaurációs anyagban és/vagy keményszövetben), marginális elszíneződésekhez és a csücskök elmozdulásához [20]. Ezek viszont posztoperatív érzékenységhez, pulpális komplikációkhoz és a restauráció elvesztéséhez vezethetnek [21,22]. Ha erős és stabil adhéziót érünk el, a polimerizációs zsugorodás várhatóan a csücskök deformációját és

zománcrepedést okoz [23-25]. A direkt kompozit tömőanyagok másik fő velejáráó problémája a polimerizációs zsugorodás és a következtében kialakuló stressz mellett, a nem megfelelő töréssel szembeni szívóosság a dentinhez képest [26]. A modern kompozit anyagok merevek; szilárdságuk nem hiányzik, de töréssel szembeni szívóosságuk igen [26]. A töréssel szembeni szívóosság egy olyan mechanikai tulajdonság, amely a rideg anyagok ellenállását írja le a hibák katasztrofális terjedésével szemben terhelés hatására [27]. Ily módon leírja a sérüléstűrést, és a fáradási ellenállás mérőszámának tekinthető, amely előre jelzi a vizsgált anyag szerkezeti teljesítményét [27,28]. Hangsúlyozni kell, hogy a töréssel szembeni szívóosság hiánya a kiterjedt direkt restaurációk (pl. mély vitális és gyökérkezelt MOD-üregek) esetében igen fontos tényező, mivel ezekben az esetekben a restaurációs anyag térfogata megnő [10]. Eddig néhány tanulmány kimutatta, hogy a hagyományos direkt kompozit helyreállítások nem képesek a mély MOD-üregek megerősítésére [11,28].

Az elmúlt években számos különböző innovatív helyreállítási technika és új anyag jelent meg, amelyekben szálerősítést alkalmaznak. A rostok fogászatban való alkalmazása kibővítette a direkt restaurációk alkalmazási lehetőségeit, mivel képesek a restauráció megerősítésére [29]. A rövid üvegszál erősítésű kompozit (Short Fiber-Reinforced Composite, SFC) anyagok jó lehetőséget jelentenek a dentin pótlására kiterjedt preparációkban, mivel feszültségelnyelő réteggként képesek működni a restaurációban [30]. Az SFC anyagokban a szálak véletlenszerűen orientáltak, és a megerősítés a tér mindhárom irányában történik. Ezzel szemben a kétirányú és a szövött folytonos szálak csak két irányban biztosítanak megerősítést; ez a megerősítés azonban erősebb, mint az SFC anyagokban. A kétirányú szálerősítésű kompozit (Fiber-Reinforced Composite, FRC) (pl. EverStick Net; GC Europe, Leuven, Belgium) és az ultra-nagy molekulatömegű polietilén-szál (Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fiber, UHMWPF) szalag (Ribbond THM; Ribbond Inc., Seattle, WA, USA) különböző direkt helyreállító technikákban került felhasználásra. Amellett, hogy ezek a szálak képesek

feszültségelnyelő réteggként működni a restaurációban, feltételezhető, hogy belső sínként is funkcionálnak a töréssel szembeni ellenállás növelése érdekében [31,32]. A szálak hosszú, egyirányú szálként is kaphatók, amelyek csak egy irányban képesek erősíteni, azonban nagyobb mértékben, mint a kétirányú vagy véletlenszerűen orientált szálak. Egyirányú hosszú szálakat FRC csapok formájában az elmúlt évtizedekben gyökérkezelt fogak helyreállítására használtak, hogy növeljék a csonkfelépítő anyag retencióját [33]. Felmerül a kérdés, hogy a szálerősítésű anyagok használata megerősítheti-e a fent említett, jelentős foganyagvesztéssel bíró, kihívást jelentő klinikai helyzeteket.

A nullhipotézisek a következők voltak:

(1) A folyékony SFC-vel helyreállított mély, nem gyökérkezelt MOD üregek hasonló mechanikai ellenállást mutatnak, mint a hagyományos kompozit tömással helyreállított fogak.

(2) A törésminta a mély, nem gyökérkezelt MOD üregekben független az alkalmazott restaurációs technikától.

(3) A gyökérkezelt MOD üregekben vizsgált, folytonos szálakat használó direkt restaurációs lehetőségek, csücsökborítással vagy anélkül, nem különböznek a kontrollcsoporttól a fáradásos túlélés tekintetében.

(4) A vizsgált, folytonos szálakat használó direkt restaurációs technikák, csücsökborítással, vagy anélkül, nem különböznek a kontrollcsoporttól a gyökérkezelt moláris MOD üregek törésmintázatában.

2. Anyag és módszertan

A vizsgálatokhoz összesen kétszázhatvan, parodontális vagy fogszabályozási okból eltávolított alsó harmadik moláris fog került kiválasztásra. A vizsgálati kritériumok a következők voltak: fogszuvasodás vagy gyökérrepedések vizuális hiánya, valamint korábbi endodonciai kezelés, fogpótlás, korona vagy reszorpció hiánya.

A **nem-gyökérkezelt moláris vizsgálatban** száz fogat választottunk ki, és a fogakat egyenletesen 5 csoportra (n=20) osztottuk. Minden fog standardizált MOD-üregpreparációt kapott 4,5-5 mm mélységgel és 2,5 mm falvastagsággal mind a vestibuláris, mind az orális oldalon a Forster és mtsai. által leírtak szerint [11]. Adhezív kezelés után az üregeket az alábbiak szerint restauráltuk:

1. csoport: Az üreg helyreállítása folyékony SFC (EverX Flow Bulk Shade, GC Europe) bulk injektálásával történt, és az okkluzális 2 mm-t ferde rétegzéses technikával, hagyományos paszta kompozittal (G-aenial Posterior A2, GC Europe) csücskönként állítottuk helyre.

2. csoport: Az üreg centrális részét az 1. csoportban leírtakkal megegyező módon restauráltuk. Az okkluzális réteget 2 mm vastagságban, ferde rétegzéses technikával magas töltésű, alacsony viszkozitású, folyékony kompozittal (G-aenial Universal Injectable Flow A2, GC Europe) restauráltuk.

3. csoport: Az üreg centrális részét folyékony SFC-vel (EverX Flow Bulk Shade) rétegzéses technikával

(rétegenként legfeljebb 2 mm vastagságban) restauráltuk, az okkluzális 2 mm-t ferde rétegzéses technikával, hagyományos paszta kompozittal (G-aenial Posterior A2) csücskönként állítottuk helyre.

4. csoport: Az üreg centrális részét a 3. csoportban leírtakkal megegyező módon restauráltuk. Az okkluzális részt csücskönként, 2 mm vastag, ferde rétegekben, magas töltésű, alacsony viszkozitású, folyékony kompozittal (G-aenial Universal Injectable Flow A2) restauráltuk.

Kontroll csoport: Az üreget 2 mm vastagságú, ferde rétegzéses technikával alkalmazott hagyományos paszta kompozittal (G-aenial Posterior A2) restauráltuk.

A **gyökérkezelt moláris vizsgálatban** a többi fogat egyenlően osztottuk 6 csoportba ($n = 20$). Standardizált, 5 milliméter mély, 3 mm falvastagságú MOD üregeket készítettünk Forster és mtsai. [11] módszere szerint. Az üregkészítést követően minden fogat gyökérkezelésnek vetettünk alá. Az endodonciai kezelést pontosan Szabó és mtsai. [34] tanulmányában leírtak szerint végeztük. Miután a guttaperchát 2 mm-rel az orificiumok alatt

visszavágtuk és a következő előzetes módosításokat végeztük el. A csücsökborítással helyreállított csoportokban (SFC+CC, PFRC + CC, GFRC + CC csoport, a csoportok jelölését lásd az 1. táblázatban) minden csücsköt 2 mm-rel csökkentettünk. A folytonos FRC rendszerrel restaurált csoportokban (PFRC, PFRC + CC, GFRC, GFRC + CC csoport) mind a bukkális, mind a lingvális falon egy körülbelül 3 mm átmérőjű mesterséges alagutat készítettünk mindkét fal okkluzális harmadában. A nyílások és a pulpakamra paljának üvegeionomer cementtel (Equia Forte, GC Europe, Leuven, Belgium) történő fedése után minden mintát adhezívan kezeltünk.

Csoport	Megerősítés módja	Csücsökborítás (CC)
SFC (kontroll)	Nem folytonos SFC	Nem
SFC+CC	Nem folytonos SFC	Igen (hagyományos kompozit)
PFRC	Folytonos FRC polietilén szalag formájában	Nem

PFRC+CC	Folytonos FRC polietilén szalag formájában	Igen (hagyományos kompozit)
GFRC	Folytonos FRC üvegszálcsap formájában	Nem
GFRC+CC	Folytonos FRC üvegszálcsap formájában	Igen (hagyományos kompozit)

- 1.** táblázat: *Különböző szálerősítésű rendszerek és restaurátumok csücsökborítással (n=20/csoport)*

A továbbiakban az üregek helyreállítása a következőképpen történt:

SFC csoport (kontrollcsoport): A kavitást két 4-5 mm vastag folyékony SFC réteggel (EverX Flow Bulk Shade) restauráltuk, okkluzálisan 1,5-2 mm vastag réteget hagyva a folyékony SFC fedőtömésnek (EverX Flow Dentin Shade, GC Europe).

SFC+CC csoport: Az üreg helyreállítása folyékony SFC-vel (EverX Flow Bulk Shade) történt, az okkluzális redukció szintjéig. A korábban redukált csücsköket szilikonindex segítségével magas töltésű, folyékony kompozittal (G-aenial Universal Injectable A3) építettük vissza.

PFRC csoport: Először egy 1 mm széles darab LWUHMW polietilén szalagszálat (Ribbond Ultra Orthodontic, Ribbond Inc., Seattle, WA, USA) helyeztünk el a bukkális és a lingvális falban korábban elkészített alagutakon keresztül, így egy "transzkoronális sánt" kaptunk az üregben. Polimerizációt követően az üreget tömöríthető kompozit anyaggal (G-aenial Posterior PA3)

állítottuk helyre, amelyet ferde rétegzéses technikával alkalmaztunk.

PFRC+CC csoport: Az üregek helyreállítása a 3. csoportban leírtak szerint történt, az okkluzális redukció szintjéig. A korábban redukált csücsköket szilikonindex segítségével magas töltésű, folyékony kompozit anyaggal (G-aenial Universal Injectable A3) építettük vissza.

GFRC csoport: Egy darab FRC csapot (FibreKleer, Petron, Orange, CA, USA) helyeztünk be a fennmaradó üregfalak mesterséges alagútjain keresztül. Az FRC-csap horizontális alkalmazása után az üregeket ferde rétegzéses technikát alkalmazva tömöríthető kompozit anyaggal (G-aenial Posterior PA3) restauráltuk.

GFRC+CC csoport: csoport: Az üregeket az 5. csoportban leírtak szerint, az okkluzális redukció szintjéig restauráltuk. A korábban redukált csücsköket szilikonindex segítségével magas töltésű, folyékony kompozit anyaggal (G-aenial Universal Injectable A3) építettük vissza.

A **nem-gyökerkezelt és gyökerkezelt moláris** mintákat metakrilát gyantába ágyasztuk, körülbelül 2 mm-re a zománc-cement-határtól (Cemento-Enamel Junction, CEJ), hogy a csontszintet utánozzuk. A mechanikai vizsgálatok elvégzéséhez a restaurált mintákat gyorsított fáradásos vizsgálatnak vetettük alá. A nem-gyökerkezelt moláris vizsgálatban a túlélő mintákon statikus terhelésetörés vizsgálatot is végeztünk. A törést szenvedett fogakat szemrevételezéssel és sztereomikroszkóp segítségével, különböző nagyításban és megvilágítási szögek mellett vizsgáltuk. A vizsgálat célja a törés típusának és helyének, valamint a repedések terjedési irányának azonosítása volt. A helyreállítható törést úgy definiáltuk, mint a CEJ felett elhelyezkedő törést, ami azt jelenti, hogy a fog potenciálisan helyreállítható. Ezzel szemben a nem helyreállítható törés a CEJ alá terjedt, ami azt jelezte, hogy a fog valószínűleg foghúzást igényel.

3. Eredmények és Megbeszélés

A nem-gyökerkezelt moláris vizsgálatban nem volt statisztikailag szignifikáns különbség a túlélés tekintetében a vizsgált csoportok között. A statikus terheléses-törés mechanikai vizsgálat elvégzésekor a folyékony SFC-t használó valamennyi csoport statisztikailag szignifikánsan nagyobb törési ellenállást mutatott a kontrollcsoporthoz képest ($p < 0,05$). A szálerősítésű vizsgálati csoportok között nem volt szignifikáns különbség a törésállóság tekintetében.

Ami a nem-gyökerkezelt moláris minták törésmintázatát illeti, az összes, folyékony SFC-t használó restaurációval ellátott fog túlnyomórészt helyreállítható töréstípust mutatott, míg a kontrollcsoportban a nem helyreállítható törések domináltak.

A gyökerkezelt moláris vizsgálatban a PFRC+CC csoportot szignifikánsan magasabb túlélés jellemezte az összes csoporthoz képest ($p = 0,000$ az SFC+CC csoport esetében, $p = 0,030$ a PFRC csoport esetében, $p = 0,000$ a GFRC csoport esetében és $p = 0,014$ a GFRC+CC csoport

esetében), kivéve a kontrollcsoportot (SFC, $p = 0,317$). Ezzel szemben a GFRC-csoport szignifikánsan alacsonyabb túlélést mutatott az összes csoporthoz képest ($p = 0,001$ az SFC-csoport esetében, $p = 0,005$ a PFRC-csoport esetében, $p = 0,000$ a PFRC+CC-csoport esetében és $p = 0,006$ a GFRC+CC-csoport esetében), kivéve az SFC+CC-csoportot (SFC fedéssel, $p = 0,118$). A kontrollcsoport statisztikailag magasabb túlélést mutatott, mint az SFC+CC csoport ($p = 0,037$) és a GFRC csoport ($p = 0,001$), de nem különbözött a többi csoporttól.

Ami a gyökérkezelt moláris fogak törésmintázatát illeti, a horizontális FRC csappal megerősített restaurációkat tartalmazó összes minta (GFRC CC-vel és CC nélkül) túlnyomórészt helyreállítható töréseket mutatott, míg a többi csoportban vagy túlnyomórészt nem helyreállítható töréseket (kontroll csoport és PFRC csoport), vagy egyenlő számú helyreállítható és nem helyreállítható törést (SFC+CC csoport és PFRC+CC csoport).

4. Konklúzió

Az ex vivo vizsgálat korlátain belül megállapítható, hogy:

- A mély, nem gyökérkezelt MOD üregek mind szálerősítésű, mind nem szálerősítésű direkt restaurációkkal helyreállíthatók, amíg a rágóerők a normál tartományban vannak.
- Szélsőséges erők esetén a mély, nem gyökérkezelt MOD üregek helyreállítására szolgáló, folyékony SFC-t használó direkt restaurációk jobban teljesítenek a hagyományos kompozit tömésekhez képest. A folyékony SFC használata kedvező törési profilt tesz lehetővé.
- A gyökérkezelt MOD moláris üregek transzkoronális rögzítésével, polietilén szálakkal történő direkt helyreállítása esetén a helyreállított fog túlélésének növelése érdekében a direkt csücsökborítás ajánlott.
- A gyökérkezelt MOD moláris üregek FRC-csappal, horizontális sínezéssel történő direkt helyreállítása esetén a helyreállított fog túlélésének

növelése érdekében ajánlott a direkt csücsökborítás.

- A gyökérkezelt MOD moláris üregek folyékony SFC-vel történő direkt csücsökborítás nélküli helyreállításakor tanácsos maximalizálni a szálak mennyiségét.

Referencia

1. Opdam, N.J.M.; Bronkhorst, E.M.; Loomans, B.A.C.; Huysmans, M.-C.D.N.J.M. 12-Year Survival of Composite vs . Amalgam Restorations. *J Dent Res* **2010**, *89*, 1063–1067, doi:10.1177/0022034510376071.
2. Danley, B.; Hamilton, B.; Tantbiroj, D.; Goldstein, R.; Versluis, A. Cuspal Flexure and Stress in Restored Teeth Caused by Amalgam Expansion. *Operative Dentistry* **2018**, *43*, E300–E307, doi:10.2341/17-329-L.
3. Ástvaldsdóttir, Á.; Dagerhamn, J.; Van Dijken, J.W.V.; Naimi-Akbar, A.; Sandborgh-Englund, G.; Tranæus, S.; Nilsson, M. Longevity of Posterior Resin Composite Restorations in Adults – A Systematic Review. *Journal of Dentistry* **2015**, *43*, 934–954, doi:10.1016/j.jdent.2015.05.001.
4. Mikulás K.; Linninger M.; Takács E.; Kispélyi B.; Nagy K.; Fejérdy P.; Hermann P. Paradigmaváltás a fogmegtartó kezelésben: az amalgámkorszak vége. *Orvosi Hetilap* **2018**, *159*, 1700–1709, doi:10.1556/650.2018.31215.
5. FDI Policy Statement on Dental Amalgam and the Minamata Convention on Mercury. *International Dental Journal* **2014**, *64*, 295–296, doi:10.1111/idj.12151.

6. Wu, Y.; Cathro, P.; Marino, V. Fracture Resistance and Pattern of the Upper Premolars with Obturated Canals and Restored Endodontic Occlusal Access Cavities. *Journal of Biomedical Research* **2010**, *24*, 474–478, doi:10.1016/S1674-8301(10)60063-2.
7. Reeh, E.S.; Messer, H.H.; Douglas, W.H. Reduction in Tooth Stiffness as a Result of Endodontic and Restorative Procedures. *Journal of Endodontics* **1989**, *15*, 512–516, doi:10.1016/S0099-2399(89)80191-8.
8. Plotino, G.; Buono, L.; Grande, N.M.; Lamorgese, V.; Somma, F. Fracture Resistance of Endodontically Treated Molars Restored with Extensive Composite Resin Restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry* **2008**, *99*, 225–232, doi:10.1016/S0022-3913(08)60047-5.
9. Babaei, B.; Cella, S.; Farrar, P.; Prentice, L.; Prusty, B.G. The Influence of Dental Restoration Depth, Internal Cavity Angle, and Material Properties on Biomechanical Resistance of a Treated Molar Tooth. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* **2022**, *133*, 105305, doi:10.1016/j.jmbbm.2022.105305.
10. Braga, R.; Boaro, L.; Kuroe, T.; Azevedo, C.; Singer, J. Influence of Cavity Dimensions and Their Derivatives (Volume and ‘C’ Factor) on Shrinkage Stress Development and Microleakage of Composite

Restorations. *Dental Materials* **2006**, 22, 818–823, doi:10.1016/j.dental.2005.11.010.

11. Forster, A.; Braunitzer, G.; Tóth, M.; Szabó, B.P.; Fráter, M. In Vitro Fracture Resistance of Adhesively Restored Molar Teeth with Different MOD Cavity Dimensions. *J Prosthodont* **2019**, 28, e325–e331, doi:10.1111/jopr.12777.
12. Taha, N.A.; Palamara, J.E.A.; Messer, H.H. Cuspal Deflection, Strain and Microleakage of Endodontically Treated Premolar Teeth Restored with Direct Resin Composites. *J Dent* **2009**, 37, 724–730, doi:10.1016/j.jdent.2009.05.027.
13. Lin, C.; Chang, C.; Ko, C. Multifactorial Analysis of an MOD Restored Human Premolar Using Auto-mesh Finite Element Approach. *J of Oral Rehabilitation* **2001**, 28, 576–585, doi:10.1046/j.1365-2842.2001.00721.x.
14. Hood, J.A. Biomechanics of the Intact, Prepared and Restored Tooth: Some Clinical Implications. *Int Dent J* **1991**, 41, 25–32.
15. Haak, R.; Näge, T.; Park, K.-J.; Ziebolz, D.; Krause, F.; Schneider, H. Internal and Marginal Adaptation of High-Viscosity Bulk-Fill Composites in Class II Cavities Placed with Different Adhesive Strategies. *Odontology* **2019**, 107, 374–382, doi:10.1007/s10266-018-0402-1.

16. Opdam, N.J.M.; van de Sande, F.H.; Bronkhorst, E.; Cenci, M.S.; Bottenberg, P.; Pallesen, U.; Gaengler, P.; Lindberg, A.; Huysmans, M.C.D.N.J.M.; van Dijken, J.W. Longevity of Posterior Composite Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Dent Res* **2014**, *93*, 943–949, doi:10.1177/0022034514544217.
17. Demarco, F.F.; Corrêa, M.B.; Cenci, M.S.; Moraes, R.R.; Opdam, N.J.M. Longevity of Posterior Composite Restorations: Not Only a Matter of Materials. *Dent Mater* **2012**, *28*, 87–101, doi:10.1016/j.dental.2011.09.003.
18. Peutzfeldt, A.; Mühlebach, S.; Lussi, A.; Flury, S. Marginal Gap Formation in Approximal “Bulk Fill” Resin Composite Restorations After Artificial Ageing. *Oper Dent* **2018**, *43*, 180–189, doi:10.2341/17-068-L.
19. 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. *Dental Materials* **2024**, *40*, 581–592, doi:10.1016/j.dental.2024.02.013.
20. Soares, C.J.; Faria-E-Silva, A.L.; Rodrigues, M. de P.; Vilela, A.B.F.; Pfeifer, C.S.; Tantbiroj, D.; Versluis, A. Polymerization Shrinkage Stress of Composite Resins and Resin Cements - What Do We

Need to Know? *Braz Oral Res* **2017**, *31*, e62,
doi:10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0062.

21. Cardoso, M.; De Almeida Neves, A.; Mine, A.; Coutinho, E.; Van Landuyt, K.; De Munck, J.; Van Meerbeek, B. Current Aspects on Bonding Effectiveness and Stability in Adhesive Dentistry. *Australian Dental Journal* **2011**, *56*, 31–44, doi:10.1111/j.1834-7819.2011.01294.x.
22. Van Dijken, J.W.V.; Pallesen, U. Posterior Bulk-Filled Resin Composite Restorations: A 5-Year Randomized Controlled Clinical Study. *Journal of Dentistry* **2016**, *51*, 29–35, doi:10.1016/j.jdent.2016.05.008.
23. Néma, V.; Sáros, T.; Szántó, F.L.; 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 Invest* **2023**, *27*, 2003–2011, doi:10.1007/s00784-023-04927-1.
24. Batalha-Silva, S.; de Andrada, M.A.C.; Maia, H.P.; Magne, P. Fatigue Resistance and Crack Propensity of Large MOD Composite Resin Restorations: Direct versus CAD/CAM Inlays. *Dent Mater* **2013**, *29*, 324–331, doi:10.1016/j.dental.2012.11.013.
25. Magne, P.; Mahallati, R.; Bazos, P.; So, W.-S. Direct Dentin Bonding Technique Sensitivity When Using Air/Suction Drying Steps. *J Esthet Restor Dent* **2008**,

20, 130–138; discussion 139-140,
doi:10.1111/j.1708-8240.2008.00164.x.

26. Lassila, L.; Säilynoja, E.; Prinssi, R.; Vallittu, P.K.; Garoushi, S. Fracture Behavior of Bi-Structure Fiber-Reinforced Composite Restorations. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* **2020**, *101*, 103444, doi:10.1016/j.jmbbm.2019.103444.
27. Lassila, L.; Keulemans, F.; Säilynoja, E.; Vallittu, P.K.; Garoushi, S. Mechanical Properties and Fracture Behavior of Flowable Fiber Reinforced Composite Restorations. *Dental Materials* **2018**, *34*, 598–606, doi:10.1016/j.dental.2018.01.002.
28. Sáros, 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. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* **2019**, *98*, 348–356, doi:10.1016/j.jmbbm.2019.07.006.
29. Mangoush, E.; Garoushi, S.; Lassila, L.; Vallittu, P.K.; Säilynoja, E. Effect of Fiber Reinforcement Type on the Performance of Large Posterior Restorations: A Review of In Vitro Studies. *Polymers (Basel)* **2021**, *13*, 3682, doi:10.3390/polym13213682.

30. Garoushi, S.; Gargoum, A.; Vallittu, P.K.; Lassila, L. Short Fiber-Reinforced Composite Restorations: A Review of the Current Literature. *J Investig Clin Dent* **2018**, *9*, e12330, doi:10.1111/jicd.12330.
31. Rudo, D.N.; Karbhari, V.M. Physical Behaviors of Fiber Reinforcement as Applied to Tooth Stabilization. *Dent Clin North Am* **1999**, *43*, 7–35, v.
32. Belli, S.; Erdemir, A.; Ozcopur, M.; Eskitascioglu, G. The Effect of Fibre Insertion on Fracture Resistance of Root Filled Molar Teeth with MOD Preparations Restored with Composite. *Int Endodontic J* **2005**, *38*, 73–80, doi:10.1111/j.1365-2591.2004.00892.x.
33. Zicari, F.; De Munck, J.; Scotti, R.; Naert, I.; Van Meerbeek, B. Factors Affecting the Cement–Post Interface. *Dental Materials* **2012**, *28*, 287–297, doi:10.1016/j.dental.2011.11.003.
34. Szabó, B.; Garoushi, S.; Braunitzer, G.; Szabó P., B.; Baráth, Z.; Fráter, M. Fracture Behavior of Root-Amputated Teeth at Different Amount of Periodontal Support – a Preliminary in Vitro Study. *BMC Oral Health* **2019**, *19*, 261, doi:10.1186/s12903-019-0958-3.