

Debreceni Egyetem Orvos és Egészségtudományi Centrum Fogorvostudományi Kar,
Fogpótlástani és Bioanyagtan Tanszék

Folyékony kompozitok és töltetlen kompozit gyanta polimerizációs zsugorodásának összehasonlító vizsgálata

DR. BUKOVINSZKY KATALIN, DR. MOLNÁR LILLA, BAKÓ JÓZSEF,
SZALÓKI MELINDA, DR. HEGEDŰS CSABA

A fogászati kompozitok polimerizációs zsugorodásának minimalizálása és az ebből származó zsugorodási stressz csökkentése a tudomány és a gyártók érdeklődésének középpontjában áll. Több tényező bonyolult egymásra hatása befolyásolja a kapott értékeket, ezek közül fontosabb jelentőséggel a konverzió és a hajlítási szilárdság rendelkezik. Vizsgálatunk célja, hogy három folyékony kompozit (Charisma Opal Flow, SDR, Filtek Ultimate) zsugorodási tulajdonságait (zsugorodás, zsugorodási stressz, rugalmassági modulus és konverzió mértéke), hasonlítsuk össze egy töltőanyag nélküli kompozit gyanta tulajdonságaival. A vizsgálatok során hárompontos hajlítási szilárdságot, a konverziót Furrier Infravörös Spektrofotometriával, a zsugorodási stresszt „Bonded disc” technikával és az átlagszugorodást Archimedes elvét használva speciális analitikai mérlegen mértük. Eredményeink szerint a kompozit gyanta rendelkezik a legnagyobb polimerizációs zsugorodás (8,26%) és \sim stressz (0,8 MPa), valamint konverziós (38%) értékkel, és a legkisebb rugalmassági modulussal (3047,02 MPa). Az általunk mért értékek egybehangzóak voltak a szakirodalmi adatokkal. A töltőanyag hiányában növekszik a gyanta zsugorodási hajlama, növekszik a zsugorodási stressz értéke, azonban nagyobb rugalmasságot (alacsony modulus értéket) mérhetünk. Az egyes kompozitok közötti különbségek tisztázására további vizsgálatokat tervezünk.

Kulcsszavak: polimerizációs zsugorodás, zsugorodási stressz, folyékony kompozit, kompozit gyanta, rugalmassági modulus

Bevezetés

Az fogászatban széles körben alkalmazott kompozitok többféle alak és térfogatváltozást szenvednek mind a tömés technikai kivitelezése alatt, mind a szájban jellemző nedves milió hatásaként. Ma a tömőanyag polimerizációja során jelentkező zsugorodás az egyik legintenzívebben kutatott probléma, melynek megoldása kihívást jelent a cégek fejlesztő mérnökei számára is [4., 17., 18.]. A polimerizációs zsugorodás során a kompozit gyantáját alkotó monomerek, miközben polimerre formálódnak, kovalens kötésnyi távolságra kerülnek egymástól, ezáltal kisebb térfogathoz képest. Ez a nem kívánt mellékhatás, nem kívánt következményekkel jár. A zsugorodásból származó húzó erő az üreg falán keresztül hat a környező fog szövetekre, ezáltal a foganyag hajlását, beropadását, vagy törését is okozhatja [7.]. Az adhezív tömés technikának köszönhetően a ragasztó anyag is átveszi, közvetíti a polimerizációs zsugorodásból származó erőt. Amennyiben ez az erő, meghaladja az adhéziós erőket, a tömőanyag, ragasztó, fogszövet határfelületek között rés keletkezik, mely posztopera-

tív érzékenységhez, hosszabb távon szekunder karieszhez vezet. Néhány esetben a zsugorodás ereje nem okoz széli záródási problémát, viszont a tömőanyagban koncentrálódva a tömésben mikro repedések keletkezéséhez vezet [10.].

A polimerizációs zsugorodásból származó húzó erő a kavitás falain stresszt generál, melynek mértéke számos faktortól függ: a tömőanyag és a fog anyagainak rugalmassági modulusától (compliance/kompenzációs képesség), a tömőanyagban lévő töltőanyag/anorganikus komponens mennyiségétől, típusától (opacitás), az átalakult monomer arányától (konverzió), a tömés formai adottságaitól (C faktor) [9.]. A C faktor egy olyan arányszám, mely a tömés ragasztott és szabad felszíneinek hányadosaként adható meg. Minél nagyobb az értéke, annál nagyobb stressz generálódhat az üregben. Egy I. osztályú üreg esetében a $C = 5$, míg III. osztályú üregnél $C = 2$. [10.].

A polimerizációs zsugorodás és zsugorodási stressz csökkentésére léteznek technikák, melyeket a tömés készítése során alkalmazhatunk. Ezeknek a lényege, hogy minél kisebb mennyiségű anyagot helyezünk az üregbe egyszerre. Törekedjünk alacsony „C” értékű

üreg preparálására. A behelyezett rétegek a lehető legkevesebbé kössék össze az üreg egymással szemben elhelyezkedő oldalfalait [10.]. Az anyagok megválasztásával is méréselhetjük a zsugorodás kellemetlen határait [6., 14.]. A folyékony kompozitok jó példája ennek

Anyag és módszer

Méréseink során három kompozitot és egy töltőanyag nélküli gyantát vizsgáltunk. Az anyagokat, és a legfontosabb tulajdonságaikat az alábbi táblázatban foglaltuk össze (1. táblázat).

1. táblázat

	Gyártó	Töltőanyag típusa (a gyártó adatai)	Töltőanyag aránya/ mérete (a gyártó adatai)	gyanta összetétele (a gyártó adatai)
Töltetlen kompozit gyanta	S und C	–	–	Bisz-GMA, TEGDMA
Charisma Opal Flow	Heraeus Kulzer	Ba-Al-F szilikát YbF3 SiO2	65 tömeg%, 41 térfogat%/ 0,02-5µm	UDMA, EBADMA etoxilált-bisz-fenol- DMA
SDR	Dentsply DeTrey	Ba-Al-F-B, Sr-Al-F-B szilikát üveg	65 tömeg%, 44 térfogat%/ 4,2µm	módosított UDMA, EBPADMA, TEGDMA
Filtek Ultimate	3M ESPE	YbF3 üveg, szilikát üveg, cirkónium	65 tömeg%, 46 térfogat%/ 0,1-5µm, 20-75µm, (4-11µm cirkónium szemcsék)	Bisz-GMA, TEGDMA, Prokrylát

a lehetőségnek. Ezek az anyagok alacsonyabb töltőanyag tartalmúak, így a gyanta rugalmassága jobban érvényesül bennük. Ezáltal kompenzálhatják az ébredő stresszt a tömésben, stressz elnyelő réteggént vékonyan a tömés alján fejthetik ki hatásukat, bár ennek megítélésében a szakirodalom nem egységes [3., 15.]. A polimerizációs stratégiák helyes alkalmazása is segíthet jobb minőségű tömések készítésében. A nagy intenzitású fényforrások helyett alacsonyabb intenzitású lámpák használata ajánlható, illetve a fény intenzitásának időbeli változtatásával „soft start” polimerizációs technikával érhetünk el jobb eredményt [10.].

Intenzíven kutatott téma a polimerizációs zsugorodás kompenzációja a kompozitok higroszkópos expansziójával. A tömések utólagos vízfelvétele, azonban nem csak előnyökkel, hanem számos hátránnyal is járhat (gyengébb mechanikai tulajdonságok, elszíneződés, degradáció, toxikus hatások) [8.].

Természetesen a cégek kutatási eredményeinek köszönhetően, így egyre tökéletesebb anyagokat használhatunk. Sok fejlesztés célozza egyéb tulajdonságok tökéletesítése mellett a zsugorodás csökkentését, így jelenhettek meg a piacon a nanokompozitok, illetve a gyanta, mátrix fejlesztésének köszönhetően szabadalmaztatott hatékony, úgynevezett modulátor anyagokat tartalmazó tömőanyagok.

Vizsgálatunk célja, hogy három folyékony kompozit zsugorodási tulajdonságait (zsugorodás, zsugorodási stressz, rugalmassági modulus és konverzió mértéke), hasonlítsuk össze egy töltőanyag nélküli kompozit gyanta tulajdonságaival.

Konverzió, átalakult monomer arány mérése

A mérést infravörös spektrofotométerrel végeztük (Nicolet, 6700 FT-IR, Thermo Scientific, USA), csökkentett visszaverődésű gyémánt ablakon keresztül, KBr optikai fényosztóval/szűrővel, MCT (Mercury, Cadmium, Tellurid) detektorral. 1637 cm⁻¹, 1610 cm⁻¹ hullámszámoknál vizsgáltuk a polimerizáció (60s) előtti és utáni abszorpciós spektrumokat. A polimerizációt fénykályhában Dentacolor XS (Heraeus Kulzer, Germany) végeztük. A spektrofotométer mintánként 16 mérést végzett. A kritikus hullámszámoknál regisztrált abszorbancia értékeket az alábbi képletbe helyettesítve számoltuk az átalakult monomerek arányát.

$$DC(\%) = \left[1 - \frac{\text{Abszorbancia}_{\text{polim. alifás}} - \text{Abszorbancia}_{\text{pol}}}{\text{Abszorbancia}_{\text{alifás}} - \text{Abszorbancia}_{\text{arc}}} \right]$$

A képletben az Abszorbancia_{polim. alifás} és Abszorbancia_{polim. aromás} az abszorpciós spektrumok megfelelő sorrendben 1610 cm⁻¹ és 1637 cm⁻¹ hullámszámainál a polimerizáció után mért abszorbancia értékeit jelölik. Az Abszorbancia_{alifás}, Abszorbancia_{aromás} hasonlóan az előző logikához, de a polimerizáció előtti abszorbancia értékeknek felelnek meg.

Zsugorodás

A zsugorodás mérésére, sűrűség mérésre is alkalmas analitikai mérleget használtunk (ADAM PW 254, Adam Equipment Company, UK). A vizsgálat során anyagon-

ként 15 mérést végeztünk. Megmértük az anyag tömegét polimerizáció előtt száraz körülmények között. Ez után 23 °C-os desztillált vízben a mérleg speciális feltétele segítségével mértük az anyag sűrűségét. Ezt követően polimerizációs kályhában (Dentacolor XS, Heraeus Kulzer, Germany) 90 másodperces polimerizációt követően (a kályhán a legrövidebb beállítható idő 90 másodperc volt) újra vizsgáltuk a sűrűségét. A lemért sűrűség és tömegek értéke segítségével az alábbi képlet felhasználásával térfogatváltozást számoltunk, ahol $V_{polim.e}$ a polimerizáció előtti, $V_{polim.u}$ polimerizáció utáni térfogatot jelöl.

$$\Delta V(\%) = \frac{V_{polim.e} - V_{polim.u}}{V_{polim.e}} \cdot 100$$

Zsugorodási stressz

A méréseket Instron 5544-es (Illinois Tool Works Inc., USA) berendezéssel, húzó üzemmódban végeztük. A berendezéshez speciális üveg rudak befogására alkalmas feltételeket alkalmaztunk. Az alsó üveg rúd felől a rudak közé bemért anyagot, kompozit hengereket 200 másodpercen át folyamatosan (Translux EC; Kulzer, Germany) polimerizációs lámpával világítottuk meg, és eközben a keletkező erőt regisztráltuk (1. ábra). A 200 másodperces megvilágítást a maximális stressz értékek kialakulásáig eltelt idő alapján választottuk. A „C” faktort



1. ábra. A polimerizációs zsugorodást mérő műszer központi része mérés közben.

konstans értéken $C=r/2h=2$ tartottuk, ahol h minta magasságát, az üveg rudak közötti távolságot, d az üveg rudak átmérőjét jelöli. Anyagonként 12 mérést végeztünk, majd a maximális erő és stressz értékek átlagát számoltunk.

Hajlítási szilárdság, rugalmassági modulus (Young modulus) vizsgálata

Hajlítási szilárdság mérésére három pontos hajlítási szilárdsági vizsgálatot végeztünk. A próbatesteket erre a célra gyártott teflon forma segítségével készítettük. A minták paraméterei 2 mm x 2 mm x 25 mm voltak. A próbatesteket Dentacolor XS (Heraeus Kulzer, Germany) fotopolimerizációs kályhában 90 másodperces polimerizáltuk, ezt követően, hasonlóan más szerzők által is alkalmazott tárolási körülményeknek megfelelően, 24 órán át szobahőmérsékletű helyen tároltuk. Közvetlenül a mérés előtt a próbatestek pontos szélességét és vastagságát mikrométer segítségével három ponton lemértük, majd számtani középértéket számoltunk. A mérés során az alátámasztási pontok távolsága, azaz a támaszköz hossza 20 mm, a keresztfej sebessége 1 mm/perc, az előterhelés pedig 0,2 N volt.

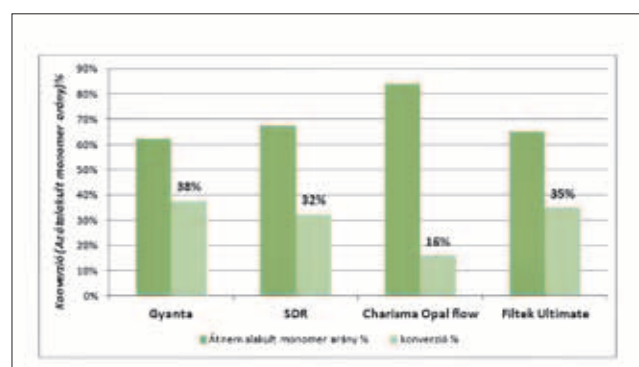
Eredmények

A konverzió mérés során a gyantában található monomerek átalakulási aránya 38%, ezt követte a Filtek Ultimate 35%, majd az SDR 32% és végül a Charisma Opal Flow 16%. (II. táblázat, 2. ábra)

A zsugorodás vizsgálatok a legnagyobb zsugorodási értéket a gyanta mutatta 8,26% ($SD \pm 0,02$), ezt

II. táblázat

	DC %
Gyanta	38%
SDR	32%
Charisma Opal flow	16%
Filtek Ultimate	35%

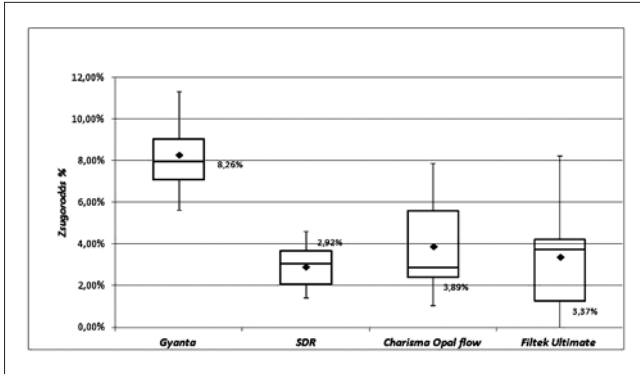


2. ábra. A vizsgált anyagok konverzió értékei

követtek csökkenő sorrendben a vizsgált kompozitok: Charisma Opal Flow 3,89% ($SD \pm 0,02$), Filtek Ultimate 3,37% ($SD \pm 0,02$), SDR 2,92%. ($SD \pm 0,01$). A III. táblázatban, 3. ábrán foglaltuk össze a zsugorodás mérés eredményeit.

III. táblázat

	Zsugorodás %	SD +/-
Gyanta	8,26%	0,02
SDR	2,92%	0,01
Charisma Opalflow	3,89%	0,02
Filtek Ultimate A2	3,37%	0,02

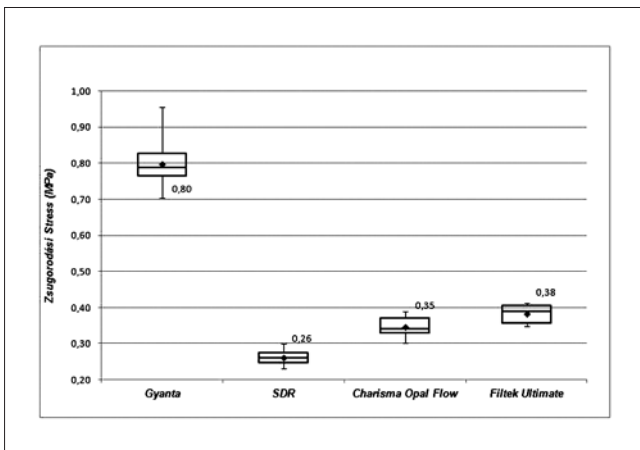


3. ábra. A vizsgált anyagok polimerizációs zsugorodás értékei

A polimerizációs zsugorodási stressz mérési eredményei szerint a legnagyobb stressz értékkel a gyanta rendelkezett 0,80 MPa (SD± 0,07), Ezt követték a tömőanyagok a következő sorrendben: Filtek Ultimate 0,38 MPa (SD±0,03), Charisma Opal flow 0,35 MPa (SD± 0,03) SDR 0,26 MPa (SD± 0,02). Az eredményeket a IV. táblázat és 4. ábra foglalja össze.

IV. táblázat

	Zsugorodási Stressz (MPa)	SD +/-
Gyanta	0,80	0,07
SDR	0,26	0,02
Charisma Opal flow	0,35	0,03
Filtek Ultimate	0,38	0,03

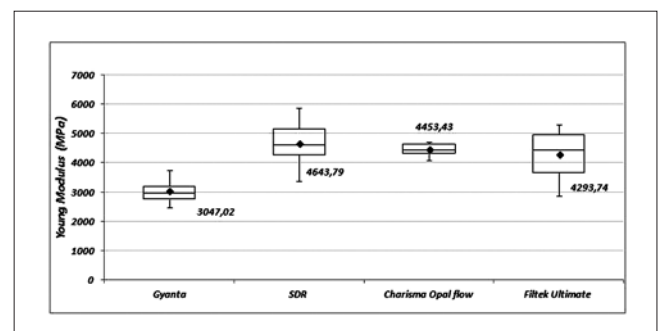


4. ábra. A vizsgált anyagok polimerizációs zsugorodási stressz értékei

A hajlítási szilárdság mérésakor a legnagyobb modulus értékkel a kompozitok rendelkeztek: SDR(flow) 4643,79 MPa (SD± 749,73), Charisma Opal Flow 4453,43 MPa (SD± 214,61), Filtek Ultimate A2 4293,74 MPa (SD± 802,85), míg a gyanta a legrugalmasabb 3047,02 MPa (SD± 396,64) értékkel (V. táblázat, 5. ábra).

V. táblázat

	Young Modulus (MPa)	SD +/-
Gyanta	3047,02	396,64
SDR	4643,79	749,73
Charisma Opal flow	4453,43	214,64
Filtek Ultimate	4293,74	802,85



5. ábra. A vizsgált anyagok rugalmassági modulus (Young)

Megbeszélés

A kompozitok gyantájában tapasztalható konverzió mértéke a mátrix alkotóelemivel magyarázható. Ezen belül is a Bisz-GMA és a TEGDMA arányával és a molekulák térszerkezetével. A szakirodalmi adatok szerint a konverzió fokozódásával a mátrix zsugorodási hajlama is emelkedik. A mátrix zsugorodásáért felelősnek elsősorban a TEGDMA (trietilén-glikol-dimetakrilát) molekulát tartják, melynek oka a molekula kedvező sztereokémiája, és relatíve kis molekula súlya. A bisz-GMA molekula ellenkezőleg képes a zsugorodást befolyásolni, arányának növelésével a kísérletes gyantákban kimutatható volt a zsugorodás mértékének, és a konverzió csökkenése. A nagy bisz-GMA molekula rigid aromás csoportjának és reaktív hidroxil csoportjának köszönheti ezt a tulajdonságát. A töltőanyag tartalom és a konverzió összefüggéseit elemző vizsgálatok azzal magyarázták a konverzió mértékének a töltőanyag tartalom növekedésével párhuzamos csökkenését, hogy a kis partikulumok/fillerek közé beékelődő monomerek mozgási lehetősége/szabadsága korlátozottabb, a polimerré fejlődés nehezített [1.]. Az általunk végzett konverziómérés szerint a legnagyobb konverziós képessége a töltetlen gyantának volt, ezt követték a kompozitok értékei. Az eredmények a szakirodalomban tapasztalattal megegyezően mutatják a töltetlen gyanta magasabb konverziós értékét a töltött kompozitokhoz képest. Az kompozitok közötti különbségeket az anyagok

pontos összetételének ismerete nélkül nehezen lehet meghatározni.

A kompozitok *zsugorodási tulajdonsága* több faktor által befolyásolt folyamat, ezek közül az egyik leglényegesebb a töltőanyag mennyisége és aránya a gyantához képest. A kutatások szerint minél magasabb a töltőanyag aránya/mennyisége egy kompozitban annál kisebb a zsugorodás és zsugorodási stressz értéke. Fontos faktor lehet a részecskék morfológiája is. Kísérletes kompozitokon végzett vizsgálatok azt mutatják, hogy szférikus formájú részecskéket tartalmazó kompozitok zsugorodási értékei alacsonyabbak. Sikertelenül olyan kapcsolatot is kimutatni egyes szerzőknek, amely szerint a kisebb részecske méret nagyobb zsugorodási értékekkel párosulhat. **Az első vizsgálatok szerint irreguláris formájú részecskék esetén a zsugorodás mértékének változása és a részecske méret változása egyenes arányosságot mutat, de szférikus részecskék és kevert részecske összetétel esetén ez nem ilyen egyértelmű [16].**

A részecske geometriát tekintve a Filtek Ultimate szférikus részecskéket tartalmaz, míg a Charisma Opal és az SDR irreguláris töltőanyaggal töltött kompozit. Végeztek méréseket a polimerizációs zsugorodás és zsugorodási stressz közötti összefüggések tisztázására is. Ezek a mérések azt mutatják, hogy a zsugorodási folyamat olyan multi faktoriális folyamat, melyben a befolyásoló faktorok bonyolult korrelációt mutatnak egymással, és az, hogy egy kompozitnak alacsony a zsugorodási értéke, még nem jelenti, hogy az üreg falán alacsony stressz értéket fog generálni [11.]. A kapott stressz értékek szempontjából a mérő műszer kompenzációs képessége is fontos faktor. Vizsgálatainkat olyan berendezéssel végeztük, mely magasabb kompenzációs képességű. Tehát a tömőanyag zsugorodásából származó húzó erőt a berendezés rugalmassága kompenzálja, így a mért értékek a valós értékekhez képes alacsonyabbak [13.]. Az általunk végzett vizsgálatok, összehasonlítva a töltetlen gyanta zsugorodási értékeit a kompozitokkal, alátámasztják a szakirodalmi adatokat. A töltőanyag hiányában a gyanta zsugorodási paraméterei a legnagyobbak (0.80 MPa, 8.26%), a kompozitok ehhez képest jóval alacsonyabb zsugorodási mutatókkal rendelkeznek. A vizsgált kompozitokban a töltőanyag aránya majdnem azonos, ezért a közöttük tapasztalható különbségeket egyszerűen a **töltőanyag arányával nem magyarázhatjuk. A legalacsonyabb zsugorodási (2.92%) és zsugorodási stressz (0.26 MPa) értékeket az SDR esetében mértünk. Ezeket az alacsony értékeket a gyártó leírása alapján az anyag elsősorban a speciális modulátor egységet tartalmazó szabadalmaztatott gyanta technológiának tulajdonítja, amely a polimerizáció folyamatában hat, az által, hogy a gyanta rugalmassági modulusát a polimer kialakulása közben csak mérsékelten engedi növekedni.**

Az általunk vizsgált termékek folyékony kompozitok, melyekre általában jellemző, hogy alacsonyabb töltőanyag tartalommal rendelkeznek, mint a piacon kapha-

tó u.n. „kondenzálható” társaik. Ennek köszönhetően viszkozitásuk és rugalmassági modulusuk kisebb, mint a kondenzálható kompozitok esetében. Irodalmi adatok számot adnak arról is, hogy térkitöltés szempontjából a hibrid kompozitokban a változó méretű partikulumok jobban, ideálisabban tudnak térben elrendeződni, így rugalmassága ezeknek a tömőanyag típusoknak a legcsekélyebb, **összehasonlítva a homogénebb részecske eloszlású töltőanyaggal rendelkező kompozitokkal [12.].** Számos tanulmányban próbáltak összefüggést keresni az anyag rugalmassági modulusa és a zsugorodási stressz értéke között. Eleinte linearitást feltételeztek a Hooke törvény alapján, de a vizsgálatok eredményei jóval meghaladták a várt, kalkulált értékeket [5.]. Később rájöttek, hogy a modulus értéke a polimerizáció folyamán folyamatosan változik, emelkedik egy végső értékig, amely a már polimerizált anyagra jellemző állandó lesz. Így a rugalmassági modulus változását a konverzió változásával kapcsolták össze, és dinamikusán változó, de anyagként jellemző tulajdonságként fogják fel. A polimerizáció szempontjából a kezdeti pregél és gélesedési fázisok bírnak ebből a szempontból jelentőséggel, mert itt a polimer struktúrája még nem tökéletes, a kialakuló polimer molekulák képesek mozogni, a rendszer képes a zsugorodási stresszt kompenzálni [2.]. Vizsgálatunk a szakirodalomban leírtakkal összhangban van, hisz a legalacsonyabb modulus értéket a gyanta (3047,02 MPa) esetében tapasztaltuk, ennek a legalacsonyabb a töltőanyag tartalma, gyakorlatilag nincs. A három gyári termék modulus értéke nagyon hasonló. A közöttük adódó különbségeket további vizsgálatokkal szeretnénk tisztázni.

Irodalomjegyzék

1. AMIROUCHE-KORICHI A, MOUZALI M, WATTS C.D: Effect of monomer ratios and highly radiopaque fillers on degree of conversion and shrinkage-strain of dental resin composites. *Dent Mater* 2009; 25:1411–1418.
2. BRAGA R, BALLESTER R, FERRACANE J L: Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: A systematic review. *Dent Mater* 2005; 21: 962–970.
3. BRAGA R R, HILTON T J, FERRACANE J L: Contraction stress of flowable composite materials and their efficacy as stress-relieving layers. *JADA* 2003; 134: 721–728.
4. BUKOVINSZKI K, SZALÓKI M, HEGEDŰS Cs, BORBÉLY J: Kompozitok alkalmazhatósága A FOGÁSZATBAN. *MŰANYAG ÉS GUMI* 2003; 40 (8): 254–257.
5. CHOI K K, CONDON J R, FERRACANE J L: The effect of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite *J Dent Res* 2000; 79: 812–817.
6. CRAMER N B, STANBURY J W, BOWMAN C N: Recent Advances and developments in composite dental restorative materials. *J Dent. Res* 2011; 90: 402–416.
7. DAVIDSON C L, FEILZER A J.: Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 1997; 25: 435–440.
8. FERRACANE JL: Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater* 2006; 22: 211–222.
9. FEILZER A J, DE GEE A J, DAVIDSON C L: Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 1987; 66: 1636–1639.

10. GIACHETTI L, SCAMINACI R D, BAMBI C, GRANDINI R: A review of polymerization shrinkage stress: current techniques for posterior direct resin restoration. *J Contemp Dent Pract* 2006; 7:79–88.
11. KLEVERLAAN C J, FEILZER A J: Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. *Dent Mater* 2005; 21: 1150–1157.
12. LABELLA R, LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B, VANHERLE G: Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater* 1999; 15:128–137.
13. MIN S, FERRACANE J, LEE I: Effect of shrinkage strain, modulus, and instrument compliance on polymerization shrinkage stress of light-cured composites during the initial curing stage. *Dent Mater* 2010; 26:1024–1033.
14. MOSZNER N, HIRT T: New polymer- chemical developments in clinical dental polymer materials: enamel-dentin adhesive and restorative composites. *Journal of Polymer Science part A* 2012; 50:4369–4402.
15. REIS A F, GIANNINI M, AMBROSANO G M, CHAN D C: The effect of filling techniques and a low-viscosity composite liner on bond strength to class II cavities. *J Dent* 2003; 31:59–66.
16. SATTERTHWAITE J D, VOGEL K, WATTS D C: Effect of resin composite filler particle size and shape on shrinkage-strain. *Dent Mater* 2009; 25:1612–1615.
17. SZALÓKI M, BUKOVINSZKI K, ÜVEGES A, HEGEDŰS Cs, BORBÉLY J: Fogászati kompozitok gyantájának módosítása reaktív polimer nanorészecskékkel. *Fogorv Szle* 2007; 100: 307–312.
18. SZALOKI M, GALL J, BUKOVINSZKI K, BORBÉLY J, HEGEDŰS Cs: Synthesis and characterization of cross-linked polymeric nanoparticles and their composites for reinforcement of photocurable dental resin. *Reactive and Functional Polymers* 2013; 73: 465–473.

BUKOVINSZKY K, MOLNÁR L, BAKÓ J, SZALÓKI M, PROF. HEGEDŰS Cs

Comparative study of polymerization shrinkage and related properties of flowable composites and an unfilled resin

Objectives: The polymerization shrinkage and shrinkage stress of dental composites are in the center of the interest of researchers and manufacturers. It is a great challenge to minimize this important property as low as possible. Many factors are related and are in complicated correlation with each other affecting the polymerization shrinkage. Polymerization shrinkage stress degree of conversion and elasticity has high importance from this aspect. Our aim was to study the polymerization shrinkage and related properties (modulus of elasticity, degree of conversion, shrinkage stress) of three flowable composite (Charisma Opal Flow, SDR, Filtek Ultimate) and an unfilled composite resin. **Materials and methods:** Modulus of elasticity was measured using three point flexure tests on universal testing machine. The polymerization shrinkage stress was determined using bonded-disc technique. The degree of conversion measurements were performed by FT-IR spectroscopy. And the volumetric shrinkage was investigated using Archimedes principle and was measured on analytical balance with special additional equipment. **Results:** The unfilled resin generally showed higher shrinkage (8,26%), shrinkage stress (0,8 MPa) and degree of conversion (38%), and presented the lowest modulus of elasticity (3047,02MPa). **Conclusions:** Highest values of unfilled resin correspond to the literature. The lack of fillers enlarges the shrinkage, and the shrinkage stress, but gives the higher flexibility and higher degree of conversion. Further investigations needs to be done to understand and reveal the differences between the composites.

Key words: polymerization shrinkage, polymerization shrinkage stress, flowable composite, composite resin, modulus of elasticity