

HIBRID KERÁMIÁK ÉS LÍTIUM-DISZILIKÁT ÜVEGKERÁMIÁK FEDŐKÉPESSÉGE

(Color reproduction ability of polymer-infiltrated ceramic-
network materials and lithium disilicate glass-ceramics)

Tézisfüzet

Dr. Saláta József

Semmelweis Egyetem Doktori Iskola
Fogorvostudományi Tagozat



Témavezetők:

Dr. Borbély Judit habil. PhD, egyetemi docens

Dr. Ábrám Emese PhD, egyetemi adjunktus

Hivatalos bírálók:

Dr. Lempel Edina habil. PhD, egyetemi docens

Dr. Szabó Bence Tamás PhD, egyetemi adjunktus

A komplex vizsgabizottság elnöke:

Dr. Gerber Gábor habil. PhD, egyetemi tanár

A komplex vizsgabizottság tagjai:

Dr. Gera István habil. PhD, egyetemi tanár

Dr. Nagy Ákos PhD, egyetemi docens

Budapest
2025

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben jelentős fejlődés ment végbe az esztétikai fogászat területén, ami nagyrészt a digitális technológiák integrációjának és a korszerű kerámiaanyagok megjelenésének tudható be. Az intraorális és laboratóriumi szkennerek széleskörű elterjedése, valamint a CAD/CAM-technológia (computer-aided design/computer-aided manufacturing, számítógép által támogatott tervezés és előállítás) térnyerése napjaink fogászatának meghatározó elemei. Az esztétikai eredménnyel szemben támasztott elvárások folyamatosan nőnek mind a páciensek, mind a fogorvosok részéről. Következésképpen megkerülhetetlen és igen lényeges feladat a felhasznált kerámiaanyagok optikai tulajdonságainak ismerete, azok széleskörű vizsgálata. A dolgozat két eredeti közlemény eredményein alapul, melyek a polimerinfiltrált kerámiahálózatos anyagok (polymer-infiltrated ceramic-network, PICN) és a lítium-diszilikát üvegkerámiák (lithium disilicate glass-ceramic, LDGC) fedőképességét vizsgálták. A fémmentes restaurátumok esetén a mechanikai tulajdonságokon túl döntő tényező a természetes fogszövetekhez való hasonlóság, az esztétikus, kiszámítható eredmény. A monolitikus kerámiarendszerek esetén a végleges restaurátum esztétikáját olyan további tényezők is

befolyásolják, mint például a csonkszín, a kerámia vastagsága és transzlucenciája. Bár a szakirodalom az elmúlt években fokozott érdeklődést mutat a téma iránt, a megfelelő következtetések levonásához nem állnak rendelkezésünkre számszerű adatok. A fogászati anyagok optikai vizsgálatához a spektrofotometria a legelterjedtebb eljárás. A reflexiós spektrum mérésével számíthatóak az L^* , a^* , b^* színparaméterek, melyek a színtérbeli elhelyezkedést pontosan meghatározzák.

A színérzékelést az említett paramétereken túl nagyban befolyásolja a kerámia felszíne, annak reflexiós tulajdonságai. A fény visszaverődése lehet tükrös, diffúz, illetve ezek különböző arányú keveréke. Mivel a spektrofotométerek egy tárgy színét saját fényforrással történő megvilágítással, majd a reflexió mérésével határozzák meg, a megfelelő mérési beállítás kulcsfontosságú a művelet során. Az integrálogömbbel rendelkező laboratóriumi spektrofotométerek alkalmasak a különböző fogászati anyagok nagypontosságú vizsgálatára, mert beállítástól függően a visszaverődés tükrös komponensét mérni képesek (specular component included, SCI), vagy ki tudják zárni a mérésből (specular component excluded, SCE).

2. Célkitűzés

A dolgozat alapját képező *in vitro* vizsgálat célja spektrofotometriai módszerrel meghatározni, hogy (a) a polimerinfiltrált kerámiahálózatos anyagok (PICN) és (b) a lítium-diszilikát üvegkerámiák (LDGC) fedőképességét hogyan befolyásolja a kerámiavastagság, a kerámiatransztlucencia és a csonkszín.

Nullhipotézisek:

- a/1) A PICN anyag kizárólag diffúzan reflektálja a fényt, tükrös komponens nélkül.
- a/2) A PICN anyag fedőképességét nem befolyásolja szignifikánsan a kerámiavastagság.
- a/3) A PICN anyag fedőképességét nem befolyásolja szignifikánsan a csonkszín.
- a/4) A PICN anyag fedőképességét nem befolyásolja szignifikánsan a kerámiatransztlucencia.
- b/1) Az LDGC fedőképességét nem befolyásolja szignifikánsan a kerámiavastagság.
- b/2) Az LDGC fedőképességét nem befolyásolja szignifikánsan a csonkszín.
- b/3) Az LDGC fedőképességét nem befolyásolja szignifikánsan a kerámiatransztlucencia.

3. Módszerek

Az *in vitro* vizsgálathoz 2M2 árnyalatú, két különböző transzlucenciájú (transzlucens 'T' és magas transzlucenciájú 'HT') PICN anyagból (VITA ENAMIC, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Németország) és A2 árnyalatú, két különböző transzlucenciájú (alacsony 'LT' és magas 'HT' transzlucenciájú) LDGC anyagból (IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) mintaszeleteket készítettünk. A téglatest alakú kerámiamintákat előre gyártott blokkokból 12 x 14 mm oldalhosszúsággal, 0,5 mm; 1,0 mm; 1,5 mm; 2,0 mm és 2,5 mm (+/- 0,05 mm) rétegvastagságban állítottuk elő. A szeletek vízhűtés mellett végzett vágásához és méretezéséhez gyémánttárcsás szeletelőgépet (T-CG-04 01/2016, Tenzi, Hungary), csiszológépet (T-CG-05 04/2018, Tenzi, Hungary) és SiC800 csiszolóport használtunk, majd a mintákat 0,5 µm-es cérium-oxid porral políroztuk. Az LDGC minták végleges szinterelését Programat P300 készülékkel (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) végeztük a gyártó utasításai szerint. A kerámiaszeletek vastagságát digitális mikrométerrel (Mitutoyo, Kavaszaiki, Japán) ellenőriztük. Referenciaként 2M2 árnyalatú, T

és HT transzlucenciájú VITA ENAMIC tömböt és A2 árnyalatú, LT és HT transzlucenciájú IPS e.max CAD tömböt használtunk.

A vizsgálatok során a preparált csont szimulálásához különböző csontanyagokat is felhasználtunk, melyek speciális, fényre polimerizálódó kompozitból (IPS Natural Die Material, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) készültek kilenc árnyalatban (ND1, ND2, ND3, ND4, ND5, ND6, ND7, ND8 és ND9).

A rétegzett mintákat a kerámiaszeletek, a csontanyagok és átlátszó próbacement (Variolink Esthetic Try-In Paste (Neutral), Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) felhasználásával állítottuk össze. A próbacement egyenletes, 100 µm-es rétegvastagságának biztosítása érdekében 100 µm vastagságú távtartó acéllemezt és automata pipettát alkalmaztunk. Minden kerámiamintát minden csontanyaggal kombináltunk, így összesen 180-féle rétegzett mintát kaptunk a vizsgálathoz.

A referenciablokkok és rétegzett minták spektrofotometriai mérését Konica Minolta CM-3720d spektrofotométerrel (Konica Minolta, Tokió, Japán) végeztük 360 nm és 740 nm közötti hullámhossztartományban 10 nm-es lépésközzel, d/8 mérési geometriát alkalmazva. A készülék 6 hüvelykes bárium-szulfát

bevonatú integrálgömbbel van felszerelve, amely kiváló optikai tulajdonságokkal rendelkezik, lehetővé téve a minták spektrális reflexiójának mérését. Az L^* , a^* , b^* értékeket a CIE (Commission Internationale de l'Éclairage, Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság) D65 szabványmegvilágításnak megfelelően számítottuk ki. Ezek az értékek L^* , C^* , h° polárkoordinátává alakíthatók. Három mérést végeztünk a minták elmozdítása nélkül, és a kapott értékeket átlagoltuk. A reflexió tükrös komponensének vizsgálata érdekében a 2,5 mm vastag T PICN minta spektrális reflexióját a spektrofotométer SCI és SCE beállításaival mértük.

A kerámiaminták fedőképességének meghatározásához két minta között a színkülönbséget (ΔE_{00}) a CIE által javasolt CIEDE2000 képlet segítségével számítottuk ki:

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}}$$

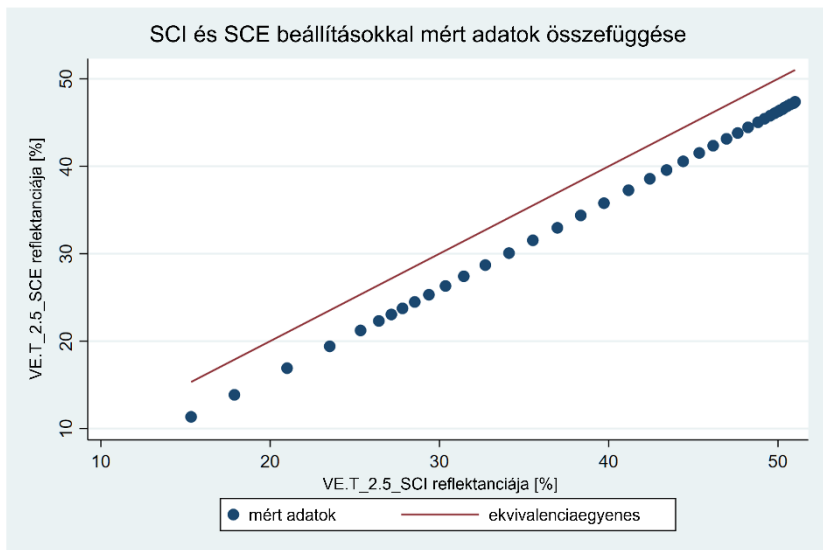
Az eredmények kiértékelése a $PT_{50:50\%} = 0,8$ (50:50% észlelési küszöb) és $AT_{50:50\%} = 1,8$ (50:50% elfogadhatósági küszöb) ΔE_{00} értékek alkalmazásával történt.

Az SCE és SCI beállítások közötti különbség vizsgálatához a 2,5 mm vastag T PICN minta reflexiós spektrumát mértük a két beállítással, majd összehasonlítottuk őket egymással. A statisztikai kiértékelést lineáris regressziós analízissel végeztük ($p < 0,05$).

A kerámiatransztlucencia, a kerámiavastagság és a csonkszín fedőképességre gyakorolt hatását rétegzett minták segítségével vizsgáltuk. A fedőképesség kiértékelése érdekében színelkülönbségeket (ΔE_{00}) számítottunk az egyes rétegzett minták és a referenciaminták között. A HT PICN anyagot tartalmazó rétegzett minták eredményeit a HT PICN blokk (mint célszín) eredményeivel, a T PICN anyagot tartalmazó rétegzett minták eredményeit pedig a T PICN blokk eredményeivel hasonlítottuk össze. Az LDGC esetében a HT LDGC-t tartalmazó rétegzett minták eredményeit a HT LDGC blokk eredményeivel, az LT LDGC-t tartalmazó rétegzett minták eredményeit pedig az LT LDGC blokk eredményeivel vetettük össze. Az eloszlás vizsgálatához Kruskal–Wallis-próbát használtunk ($p < 0,05$). A kerámiavastagság és a csonkszín fedőképességre gyakorolt hatását lineáris regresszióval elemeztük ($p < 0,05$).

4. Eredmények

A 2,5 mm vastagságú, T PICN anyag esetén a reflexió tükrös komponensének vizsgálata során az SCE beállítással mért értékek a teljes hullámhossztartományban az SCI értékek alatt helyezkedtek el (**1. ábra**). Megállapítható, hogy szisztematikus

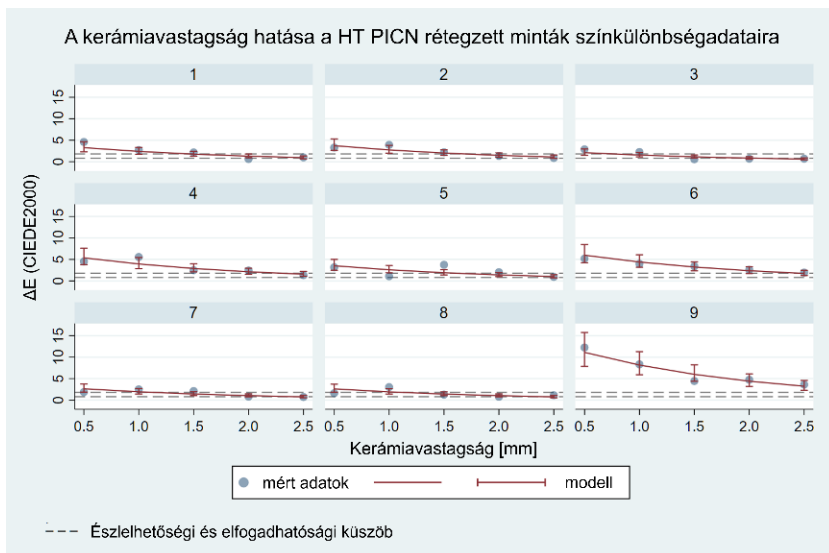


1. ábra A 2,5 mm vastagságú T PICN kerámiaminta SCI és SCE beállításokkal mért reflektanciájának összefüggése.

eltérés van az SCE és az SCI adatok között, ami a hullámhossztól és az SCI értéktől függ ($p < 0,0001$). Az a/1) nullhipotézist elvetettük, mert az eredmények értelmében a tükrös reflexió a PICN anyag meghatározó tulajdonsága.

Elvégeztük a HT és T PICN blokkok, illetve a HT és LT LDGC blokkok reflexiós spektrumának összehasonlító elemzését a négy kerámiatípus alapvető reflexiós jellemzőinek felmérésére. A két-két anyag reflektanciájának különbsége és a hullámhossz közötti összefüggést lineáris regresszióval elemeztük. A lineáris korrelációs együttható a PICN anyag esetén $R = 0,9914$, míg az LDGC anyagnál $R = 0,9848$, ami a lineáris korreláció rendkívül szignifikáns szintjét jelzi ($p < 0,05$).

Megvizsgáltuk a kerámiavastagság hatását a HT és T PICN és HT és LT LDGC rétegzett minták ΔE_{00} értékére. A HT PICN anyagra vonatkozó lineáris regressziós analízis eredményeit a **2. ábra** szemlélteti. A kilenc panel a kilenc csonkanyag eredményeit mutatja be. Az elemzés kimutatta, hogy a vizsgált 0,5-2,5 milliméteres tartományon belül a vastagság növekedésével egy állandó szorzószámnak megfelelő színkülönbség-változás tapasztalható. A HT minták esetében a vastagság 0,5 mm-es növekedése (feltételezve, hogy a csonkanyag nem változik) a ΔE_{00} érték csökkenését eredményezi a kezdeti érték 0,735-szeresére. Ez az összefüggés minden olyan két minta esetén megfigyelhető, melyeknél a kerámiavastagság 0,5 milliméterrel tér el egymástól.

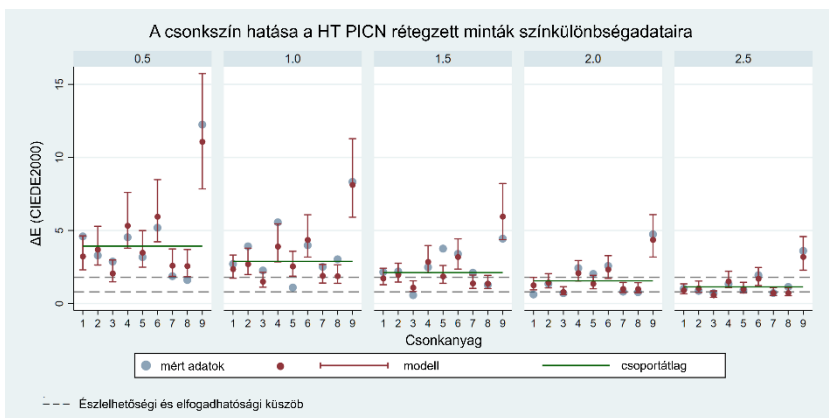


2. ábra A kerámiavastagság lineáris regresszióval modellezett multiplikatív hatása a HT rétegzett minták ΔE_{00} értékeire.

A megfigyelt hatás szignifikáns ($p < 0,0001$), a 95%-os konfidenciaintervallum 0,682 és 0,791 között van. A vastagságkülönbség növekedése hatványozott hatást eredményez. Például a vastagság 1,5 mm-es növekedése a ΔE_{00} értékének 0,735³-szoros csökkenését eredményezi. A T PICN minták esetében a vastagság 0,5 mm-es növekedése a ΔE_{00} érték 60,5%-ra csökkenését eredményezi ($p < 0,0001$). Ennek az értéknek a 95%-os konfidenciaintervalluma 0,553 és 0,661 között van. A HT LDGC minták esetében ez az érték 72,8%, míg az LT

LDGC esetén 71,1% ($p < 0,0001$). Az a/2) és b/1) nullhipotézist elvetettük, mert a PICN és LDGC kerámia esetén is szignifikáns összefüggést találtunk a kerámiavastagság és a fedőképesség között.

A csonkszín fedőképességre gyakorolt hatását szintén lineáris regressziós analízissel modelleztük. A HT PICN rétegzett minták eredményei a **3. ábrán** láthatók. Az öt panel az ötféle kerámiavastagság mellett mért eredményeket szemlélteti.



3. ábra A csonkszín lineáris regresszióval modellezett multiplikatív hatása a HT rétegzett minták ΔE_{00} értékeire. A csoportátlagokat minden panelen belül zöld vonal jelöli.

A csonkszín hatását egy állandó szorzószámmal jellemezhetjük, amely az anyagra jellemző tulajdonság. Ez a szorzó az adott

kerámiavastagság-csoportban megfigyelt átlagos ΔE_{00} és a rétegzett minták ΔE_{00} értékei közötti összefüggést modellezi. A paneleken belüli átlagos színkülönbség (zöld vonal) a kerámiavastagságtól függ. A hatás egy matematikai modellel ábrázolható, amely független a rétegvastagságtól és állandó. A diagramon azt az átlagtól való pozitív vagy negatív eltérést tekintjük szignifikánsnak ($p < 0,05$), ahol a pirossal jelölt konfidenciaintervallumok nem metszik az átlagértéket jelző zöld vonalat. A HT PICN anyag esetén ND3, ND6, ND7, ND8 és ND9, a T PICN anyag esetén ND4, ND6 és ND9, a HT LDGC kerámiánál ND3, ND4, ND5, ND6, ND7, ND8 és ND9, míg az LT LDGC kerámia esetén ND2, ND3, ND4, ND5, ND6, ND8 és ND9 csonkszíneknek volt szignifikáns hatásuk a fedőképességre, így az a/3) és b/2) nullhipotézist elvetettük.

A kerámiatransztlucencia fedőképességre gyakorolt szignifikáns hatása megnyilvánul a kerámiavastagság hatásánál az eltérő szorzószámokban, illetve a csonkszín hatásánál az eltérő, szignifikáns hatást kiváltó csonkszínekben, így az a/4) és b/3) nullhipotéziseket elvetettük.

5. Következtetések

- a/1) A polimerinfiltrált kerámiahálózatos anyagra mind a tükrös, mind pedig a diffúz reflexió jellemző.
- a/2) A polimerinfiltrált kerámiahálózatos anyag fedőképességét szignifikánsan befolyásolja a kerámiavastagság. A rétegvastagság növekedésével párhuzamosan egy konstans szorzószám szerint hatványozottan növekszik.
- a/3) A polimerinfiltrált kerámiahálózatos anyag fedőképességét a magas transzlucenciájú anyag esetén öt (ND3, ND6, ND7, ND8, ND9), transzlucens anyag esetén három (ND4, ND6, ND9) csonkszín szignifikánsan befolyásolja.
- a/4) A transzlucens és magas transzlucenciájú polimerinfiltrált kerámiahálózatos anyag fedőképessége szignifikánsan eltér egymástól.
- b/1) A lítium-diszilikát üvegkerámia fedőképességét szignifikánsan befolyásolja a kerámiavastagság. A rétegvastagság növekedésével párhuzamosan egy konstans szorzószám szerint hatványozottan növekszik.
- b/2) A lítium-diszilikát üvegkerámia fedőképességét a magas és alacsony transzlucenciájú anyag esetén is hét (ND3, ND4, ND5, ND6, ND7, ND8, ND9 és ND2, ND3, ND4, ND5, ND6, ND8, ND9) csonkszín szignifikánsan befolyásolja.
- b/3) A magas és alacsony transzlucenciájú lítium-diszilikát üvegkerámia fedőképessége szignifikánsan eltér egymástól.

6. Saját publikációk jegyzéke

A disszertációhoz kapcsolódó publikációk:

- **Saláta J**, Szabó F, Csuti P, Antal M, Márton P, Hermann P, Borbély J, Ábrám E. Quantitative examination of factors influencing the colour reproduction ability of lithium disilicate glass-ceramics. *BMC Oral Health*. 2024 Jun 5;24(1):660. doi: 10.1186/s12903-024-04429-w (**IF: 2,6**)
- **Saláta J**, Szabó F, Csuti P, Antal M, Márton P, Hermann P, Borbély J, Ábrám E. Effect of thickness, translucency, and substrates on the masking ability of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *J Esthet Restor Dent*. 2023 Sep;35(6):886-895. doi: 10.1111/jerd.13071 (**IF: 3,2**)
- **Saláta J**, Fehér D, Lenk S, Ujhelyi F, Borbély J, Hermann P, Ábrám E. Monolitikus cirkónium-dioxid fogpótlások anyagának spektrofotometriai vizsgálata. *Fogorvosi Szemle*. 2023;116(1):2-8. doi: 10.33891/FSZ.116.1.2-8
- **Saláta J**. A fogászati kerámiaanyagok fejlődésének történeti áttekintése. *Kaleidoscope: Művelődés- Tudomány- és Orvostörténeti Folyóirat*. 2021;2021/2022:284-293. doi: 10.17107/KH.2021.22.284-293
- Ábrám E, Gajdáty G, Fehér D, **Saláta J**, Beleznai S, Hermann P, Borbély J, Shen ZJ. Spectrophotometric examination of the optical effects of monolithic multilayered zirconia with different substrates. *Advances in Applied Ceramics*. 2020;119(5-6):261-266. doi: 10.1080/17436753.2019.1707412 (**IF: 2,088**)

A disszertációhoz nem kapcsolódó, egyéb publikációk:

- Török G, **Saláta J**, Ábrám E, Nemes B, Hermann P, Rózsa N, Kispélyi B. Prosthetic rehabilitation of a patient with ectrodactyly-ectodermal dysplasia-cleft lip/palate syndrome through a hybrid workflow: A case report with 2-year follow-up. *Spec Care Dentist*. 2024 Jan-Feb;44(1):96-102. doi: 10.1111/scd.12826 (**IF: 0,9**)
- **Saláta J**, Hermann P, Ábrám E. Króm- és nikkelallergiás páciens komplex protetikai ellátása. *Fogorvosi Szemle*. 2023;116(2):81-89. doi: 10.33891/FSZ.116.2.81-89
- Ábrám E, **Saláta J**. II.3. Részleges rögzített fogpótlások. In Hermann Péter, Kispélyi Barbara (szerk.): *Fogpótlástan*. Semmelweis Kiadó, Budapest, 2022, 289-301.