

Monolitikus kerámia restaurátumok színét befolyásoló tényezők

Doktori értekezés

Dr. Laki-Czigola Alexandra

Semmelweis Egyetem

Rácz Károly Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Borbély Judit PhD. egyetemi docens

Hivatalos bírálók: Dr. Szabó Bence Tamás PhD. egyetemi adjunktus

Dr. Lempel Edina PhD. egyetemi docens

Komplex vizsga szakmai bizottság:

Elnök: Dr. Barabás József PhD. egyetemi tanár

Tagok: Dr. Gerber Gábor PhD. egyetemi docens

Dr. Rakonczay Zoltán PhD. egyetemi tanár

Budapest

2022

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	6
1.1.	Monolitikus restaurátumok.....	8
1.2.	Monolitikus restaurátumok kerámia anyagai	9
1.2.1.	Szilikátkerámiák.....	9
1.2.1.1.	IPS e.max CAD.....	10
1.2.2.	Oxidkerámiák	12
1.2.3.	Hibridkerámiák.....	13
1.3.	Monolitikus kerámia koronák végleges színét befolyásoló tényezők	15
1.3.1.	A csonkszín befolyásoló hatása a fogpótlás végleges színére.....	16
1.3.2.	A kerámia anyagának befolyásoló hatása a fogpótlás végleges színére .	16
1.3.2.1.	A kerámia transzlucenciája	17
1.3.2.2.	A kerámia színezete	18
1.3.2.3.	Kerámia rétegvastagsága	19
1.3.2.4.	A kerámia égetések száma	19
1.3.3.	A ragasztócement színének hatása a fogpótlás végleges színére	20
1.4.	Kerámia fogpótlások színének kiválasztásához használható eszközök.....	23
1.4.1.	Vizuális fogszín-meghatározás	23
1.4.1.1.	Vita Classical fogszínkulcs	25
1.4.1.2.	Vita 3D-master fogszínkulcs	26
1.4.1.3.	Vita Classical és Vita 3D-master fogszínkulcsok összehasonlítása	27
1.4.1.4.	Más gyártók kizárólagos forgalomba hozott fogszínkulcsai	28
1.4.1.5.	Csonkszínkulcsok	29
1.4.2.	Digitális fogszínmérés.....	30
1.4.2.1.	Képalkotó RGB rendszerek	30
1.4.2.2.	Digitális kamerák.....	30
1.4.2.3.	Koloriméterek	31
1.4.2.4.	Spektrofotométerek.....	32
1.4.2.5.	Intraorális szkennerekbe épített fogszín-meghatározó eszközök.....	33
1.4.3.	Szintér és a színekülönbség (ΔE) kiszámítása	35
2.	Célkitűzések	38

3.	Módszerek	39
3.1.	In vitro vizsgálat	39
3.1.1.	Műfogak előkészítése	39
3.1.2.	Kerámia koronák tervezése	41
3.1.3.	A koronák marása és végső szinterelés	42
3.1.4.	A vizsgálatban használt csonkok és próbacementek	43
3.1.5.	A színmérés folyamata	45
3.1.6.	Statisztikai analízis	46
3.2.	Klinikai vizsgálat	47
3.2.1.	A vizsgáló hallgatók oktatása	49
3.2.1.1.	Ishihara teszt	51
3.2.1.2.	Dental Color Matcher	52
3.2.2.	Fogszín-meghatározás	53
3.2.3.	Digitális lenyomatvétel	54
3.2.4.	A legjobbnak választott fogszín	55
3.2.5.	Intrapersonális megismételhetőség, az 1. és 10. alkalommal vizsgálat páciens adatainak összehasonlítása	56
3.2.6.	Statisztikai analízis	56
4.	Eredmények	57
4.1.	In vitro vizsgálatunk eredményei	57
4.1.1.	A csonk színének hatása a kerámia koronák végleges színére	57
4.1.2.	A kerámia rétegvastagság hatása a végleges színre	58
4.1.3.	Kerámia transzlucenciájának hatása a végleges színre	59
4.1.4.	A próbapaszta színének hatása a kerámia koronák végleges színére	60
4.2.	Klinikai vizsgálatunk eredményei	61
4.2.1.	Legjobbnak választott fogszínek	61
4.2.2.	Intrapersonális megismételhetőség, az első és tizedik vizsgálat eredményeinek összehasonlítása	61
4.2.2.1.	3D-master színek összehasonlítása	63
4.2.2.2.	A Vita Classical fogszínek összehasonlítása	64
4.2.3.	A fogszín-meghatározásokhoz szükséges idők meghatározása	65
5.	Megbeszélés	66

6.	Következtetések.....	72
6.1.	Monolitikus fogpótlások színét befolyásoló tényezők vizsgálata	72
6.2.	Fogpótlások színének meghatározásához alkalmazott módszerek klinikai vizsgálata	73
6.3.	Új megállapítások	74
7.	Összefoglalás.....	76
8.	Summary	77
9.	Irodalomjegyzék.....	78
10.	Saját publikációk jegyzéke.....	90
11.	Köszönetnyilvánítás	91

Rövidítések jegyzéke

- AT: acceptibility threshold, azaz elfogadhatósági küszöbértéknek nevezzük azt a határértéket ahol a vizsgálók 50%-a még elfogadhatónak tartja a színeltérést, 50%-a pedig nem.
- CAD/CAM: Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, azaz számítógép vezérelte tervezés és számítógép vezérelte gyártás.
- CIE L*a*b* rendszer: A színek 3D-s ábrázolására létrehozott koordináta rendszer. L* a világosság mértéke (fekete-fehér tengely), az a* a vörösség (a>0) vagy a zöldeesség (a<0) mértéke és a b* a sárgaság (b>0) vagy a kékség (b<0) mértéke.
- CIE L*C*h* rendszer: A színek 3D-s ábrázolására létrehozott hengeres koordináta rendszer. Az L (Lightness) a világosság mértéke, a C (Chroma) a szín telítettsége, és a h (hue) azaz a színezet mértéke.
- CIE: Commission Internationale de l'Eclairage, azaz Nemzetközi Világítástechnikai bizottság.
- DCM: Dental Color Matcher program, a 3D-master színelméletet gyakoroltató, Vita LinearGuide fogszínkulcsot használó online program, melyet a houstoni egyetem professzora Rade D. Paravina dolgozott ki (<https://scadent.org/>).
- DSLR: digital single lens camera, azaz digitális tükörreflexes fényképezőgép.
- ES: Vita Easysahde Advance 4.0 spektrofotométer.
- FDI: Fédération Dentaire Internationale, azaz a Fogorvosok Világszövetsége.
- HT: High Translucency, azaz magas transzlucenciájú.
- LG: LinearGuide 3D-master fogszínkulcs.
- LS2: Lítium-diszilikát kerámia.
- LT: Low Translucency, azaz alacsony transzlucenciájú.
- PMMA: poli-metil-metrakrilát.
- PT: perceptibility threshold, azaz észlelési küszöbérték, ahol a vizsgáló személyek 50%-a lát különbséget a két szín közt, 50% pedig nem.

- TR: 3Shape Trios 3 intraorális szkennerek.
- VC: Vita Classical A1-D4 fogszínkulcs.
- ΔE : Empfindung, azaz két szín közötti különbség számított értéke.

1. Bevezetés

A CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) technika forradalmasította a fogászatot az elmúlt években. Rohanó világunkban a funkcionálisan és esztétikailag is tökéletesen illeszkedő fogpótlások mellett, manapság a restaurátum elkészülésének gyorsasága is kulcsfontosságú. A CAD/CAM technológiát három fő cél elérésére fejlesztették ki: a fogpótlások megfelelő fizikai tulajdonságainak és ellenállóképességének biztosítására; a természetes megjelenésű restaurátumok készítésére; valamint a könnyebben, gyorsabban és pontosabban elkészülő fogpótlások készítésére (Davidowitz és Kotick 2011). Az új technológiák elterjedésével újabb és újabb magas esztétikájú fogászati kerámiák jelennek a piacokon, melyek blokkokban (tömbökben) kaphatók és digitális módszerekkel dolgozhatók fel. CAD/CAM technológiával feldolgozható kerámiák helyettesítik a teljes kerámia restaurátumok készítéséhez használt hagyományos ecsetfelhordásos technológiákat, hiszen egy jobban kontrollálható munkafolyatot biztosítanak, illetve az elkészült fogpótlásokban kevesebb a hiba lehetősége, a porozitás mértéke (Della Bona 2009). Ezen anyagok akár ultravékony, illetve monolitikus restaurátumokként is használhatók. A monolitikus vagy teljes kontúrú (full contour) restaurátumok esetén a fogpótlás teljesen anatómikusan kerül megtervezésre, így nincs szükség további kerámiarétegezésre, leplezésre. Napjainkban a monolitikus kerámiák feldolgozása döntően marással történik, de a digitális világban járatos szakértők szerint a 3D nyomtatás térhódítása hamarosan a kerámiákra is kiterjed majd (Della Bona és mtsai 2021).

A gyártást megelőzi a digitális tervezés, mely készülhet intraorális szkennelrel vett lenyomatra vagy a hagyományos lenyomatból készült minta laboratóriumi szkennelrel készített digitális mintájára. A teljes digitális munkafolyamatokhoz és a CAD/CAM módszerek széles körű alkalmazásához az egyik legfontosabb lépés az intraorális szkennerek használatának megtanulása és integrálása a mindennapos fogorvosi gyakorlatunkba. Ugyanis a digitális technológiákkal a protetikai munkafolyamatok egyszerűbbé és kiszámíthatóbbá válhatnak, elkerülve a hagyományos módszerek hibalehetőségeit, ilyenek például a hagyományos lenyomatvétel hibái vagy többek között a lenyomat kiöntéséhez használt gipsz zsugorodása. Monolitikus restaurátumok elkészítéséhez

akár a mintakészítés ki is hagyható, tovább egyszerűsítve a munkafolyamatokat (Joda és mtsai 2000), nincs szükség a minták tárolására sem, illetve ha szükséges egy korábban elkészített restaurátum egyszerűen újra legyártható (Koch és mtsai 2015). A digitális lenyomatvétel gyorsabb lehet a hagyományos lenyomatvételnél (Sfondrini és mtsai 2018), illetve a restaurátum elkészítése is rendkívül gyors; például Cerec Primemill chairside maró esetén egy szülő cirkónium-dioxid restaurátum marási ideje körülbelül 5 perc (56). Ebben az esetben a páciens akár a preparáció napján megkaphatja a végleges koronát, nincs szükség ideiglenes restaurátumra és egy második időpontra (Mörmann és mtsai 1989).

A fogorvos egyik legnehezebb feladata a megfelelő restaurációs anyag kiválasztása a ma rendelkezésünkre álló széles termékpalettából. Minimálinvazív preparációt követően a vékony kerámia restaurátumokat egyre jobb minőségű és szélesebb színpalettájú ragasztócementekkel tudjuk rögzíteni. A kerámia anyag élethűvé tétele érdekében növelik az anyag áttetszőségét (transzlucencia), azonban számos tényező, mint például a restaurálni kívánt csonk színe, a ragasztó cement színe vagy a kerámia rétegvastagsága is befolyásolhatják a fogpótlások végső színét. A fogorvos sok esetben nem tudja megváltoztatni a csonk színét és ez negatívan befolyásolhatja a végleges pótlás esztétikai megjelenését. Ezekre az esetekre megoldások kellene különösen akkor, ha a végleges kívánt szín egy világosabb színárnyalat, mint például az esztétikai fogászatban gyakori A1 vagy B1 színek és monolitikus restaurátumokat kívánunk alkalmazni, amelyek esetén a kerámia színének esetleges módosítását csupán csak az individualizációhoz használt festékekkel kísérhetjük meg.

A természetes fogszín meghatározása és annak reprodukálása kerámia anyaggal nagy kihívás a fogászatban. A színben jól illeszkedő fogpótlás elkészítése kétlépcsős folyamat. Az első a megfelelő fogszín kiválasztása, mely a fogszínkulcsos választás szubjektivitása, illetve a fogszínkulcsok restaurációs anyagoktól való különbözősége miatt nehéz feladat. A második pedig a megfelelő szín reprodukálása a megfelelő anyag és technika kiválasztásával (Shiraishi és mtsai 2011). Egy korábbi vizsgálatban azt találták, hogy a fogorvosok az esetek mintegy 65%-ban azért nem tudják átadni az elkészült restaurátumot mert a fogszín nem megfelelő (Bücking 2006). Számos módja van a tökéletesen illeszkedő szín kiválasztásának.

A hagyományos vizuális módszerek mellett, digitális eszközökkel objektíven is mérhetjük a fogszínt. Korábban a digitális technika fogszínmérő eszközei elsősorban spektrofotométerek, koloriméterek és RGB (red, green, blue azaz vörös, zöld, kék) rendszerek voltak. Ma a digitális lenyomatvétel elterjedésével számos intraorális szkennerek is alkalmas a fogszín mérésére is. Egy korábbi cikkben leírják, hogy a fogorvosok-hallgatók leggyakrabban csupán csak a Vita Easyshade spektrofotométerrel találkozhatnak, mint digitális fogszínmérő eszköz, tanulmányaik során (Dozic és mtsai 2011). A hagyományos módszerek hátránya, hogy függenek a környezeti tényezőktől (pl. megvilágító fény) és a vizsgáló személytől is (pl. szem színérzékelő receptorainak fáradása vagy a vizsgáló tapasztalata). A környezet befolyásoló hatásának csökkentésére a természetes nappali fénynek megfelelő színhőmérsékletű (5500K) lámpák kerültek forgalomba (pl. Smile Lite lámpa). Korábbi irodalmi adatok szerint a spektrofotométerek megbízhatóbbak a fogszín-meghatározás terén, összehasonlítva vizuális társaikkal (Paul és mtsai 2004; Browning és mtsai 2009; Derdilopoulou és mtsai 2007). A szakirodalomban azonban kevés és eltérő adat áll rendelkezésre az intraorális szkennerek fogszín-meghatározási módszereinek hatékonyságáról, összehasonlítva a spektrofotométerekkel vagy a hagyományos fogszínkulcsokkal.

1.1.Monolitikus restaurátumok

A monolith szó a görög mono (egy darab) és lithos (kő) szavakból származik. A monolitikus restaurátumokat, azaz a teljesen anatómikus formára kimart (full-contour) restaurátumokat, a minimálinvazív preparáció és a leplező kerámia lepattanásából eredő hibák elkerülése tette népszerűvé (Bageio és mtsai 2019; Bayne és mtsai 2019). Ezen restaurátumok a preparált fogak anatómikus formájának pótlására egy anyagból kerülnek elkészítésre, így ellenállóbbakká váltak a vékony leplezőréteggel ellátott kerámiákhoz képest. Ezen restaurátumok további előnye, hogy mivel nem igényelnek leplezést, ezért a CAD/CAM chairside, azaz szék melletti rendszerekhez is használhatók. Ebben az esetben a fogorvos és az asszisztens festéssel teheti egyedivé az elkészült restaurátumot (staining and glazing).

Mivel kevés lehetőség van ezen anyagok individualizációjára ezért esztétikailag fontos front területeken kihívást jelent a használatuk.

1.2.Monolitikus restaurátumok kerámia anyagai

Korábban főleg posterior régióban alkalmazták az ellenállóbb monolitikus restaurátumokat, míg front területekre a törékenyebb leplezéssel ellátott esztétikus fogpótlások kerültek. A gyártók azonban újabb természetes fogakéhoz hasonló esztétikai tulajdonságú, front területre monolitikus fogpótlásokként is alkalmazható kerámia anyagokat hoznak forgalomba, melyek mechanikai tulajdonságaikban is kiemelkedőek. Ezen kerámiák blokkokban kerülnek forgalomba különböző transzrucenciában, akár több színt is tartalmazó, többrétegű a nyak-, a test- és az élszíneknek megfelelően, ún. multilayer tömbökben. Elsőként monolitikus restaurátumokhoz használható anyagként a fogászati piacokon a lítium-diszilikátok jelentek meg; a préseléses technikához használható IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) és az előkristályosított formában kapható, CAD/CAM technológiához használható IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Ma már számos anyag használható monolitikus fogpótlások készítéséhez.

1.2.1. Szilikátkerámiák

A szilikátkerámiák anyagcsoportjai közül az első csoportba tartoznak az üvegalapú rendszerek, melyek legfőképpen por/folyadék rendszerek és leplezőkerámiaként használhatók. Köztük nincsenek CAD/CAM rendszerrel feldolgozhatók.

A következő alcsoport az üvegkerámiák, melyek közül számos kerámia feldolgozható CAD/CAM rendszerekkel és monolitikus fogpótlásokhoz is alkalmazhatók. Kezdetben a székemlelti rendszerek csak kisebb hajlítószilárdságú (150-185 MPa), alacsony-közepes leucittartalmú földpátkerámiák feldolgozására voltak alkalmasak. Monolitikus fogpótlásokhoz alkalmazhatók a földpátkerámiák közül a Vitablocs monokromatikus (azaz egyszínű) verziója a Mark II., a polikromatikus (4 rétegben színezett) Trilux Forte vagy a multikromatikus (3D rétegezett színezettség) RealLife (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen,

Németország) földpátkerámiák. Ezen anyagok szülő restaurátumokhoz alkalmazhatók. Minimális preparálási rétegvastagságuk héjak esetén vestibulárisan az incizális harmadban 0,7 mm, továbbá labiálisan 0,5 mm, de nyaki területeken akár 0,2 mm rétegvastagságban is alkalmazhatók. Anterior területeken koronák esetében a kívánt minimális incizális rétegvastagság 1,5 mm, míg posterior régióban ez a csücskök esetében már minimum 1,5-2,0 mm (64).

Az IPS Empress CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), már a következő anyagcsoportba, a magasabb leucit (kb. 50%) tartalommal rendelkező üvegkerámiák közé tartozik, mely anyagot az előzőkhöz hasonlóan szülő restaurátumokhoz (betét, héj, korona) ajánl a gyártó. 185 MPa elenállással rendelkeznek, minimális preparálási rétegvastagság héjak esetén a nyaki területeken 0,5 mm, incisálisan 1,0 mm, míg koronák esetén anterior régióban ez már 1,5 mm, posterior régióban 2,0 mm a csücskök területén. Polikromatikus verziója az IPS Empress CAD multi (58).

Később viszont megjelentek a nagyobb hajlítószilárdságú kerámia tömbök is, melyek akár rövidebb hidak készítéséhez is használhatók, így például a lítium-diszilikátok (IPS e.max, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), vagy a cirkónium erősítésű lítium-szilikátok (Vita Suprinity, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Németország), melyek a gyártó ajánlása szerint az előzőkhöz képest még jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. A VITA Suprinity 420 MPa hajlítószilárdságú, minimális preparálási rétegvastagsága incisálisan és okkluzálisan 1,5 mm (66). A később leírásra kerülő in vitro vizsgálatunkban IPS e.max CAD kerámiát használtunk, így ez az anyag részletesebben kerül tárgyalásra.

1.2.1.1. IPS e.max CAD

A kerámiák osztályozásának alapját az üvegmátrix és a kristály összetevők egymáshoz viszonyított aránya adja. Az üvegkerámiák üveg bázisú anyagok különböző kristályos fázissal. Az általunk vizsgált IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), a fogorvosi praxisokban gyakran használt anyag, a lítium-diszilikát (LS2) kerámia is ebbe az anyagcsoportba tartozik. Az Ivoclar Vivadent cég hozta őket forgalomba IPS Empress 2 (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) névvel a '90-es években: amely 65 térfogat%

lítium-diszilikátot tartalmazott 3-6 μm x 0,8 μm nagyságú tűhegy kristályokkal üvegmátrixba ágyazva és rendkívül jó ellenállóképességgel (hajlítószilárdságuk 350 MPa) rendelkeztek. Először ingot-ként jöttek forgalomba és préseléssel lehetett őket feldolgozni. Később leplezőkerámiájuk is megjelent egy nagyon áttetsző fluorapatit kerámia, amely 19-23% fluorapatit kristályt ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) tartalmaz üvegmátrixba ágyazva. A feldolgozási paraméterek optimalizálásának köszönhetően, amely lehetővé tette a kisebb és egyenletesebb eloszlású kristályok képződését, 2005-ben az LS2 új néven az IPS e.max Press-ként került forgalomba, amely jobb mechanikai és optikai tulajdonságokkal rendelkezett (hajlítószilárdság: 370–460 MPa), ami sokkal magasabb, mint a korábbi üvegkerámiáké volt. Az IPS e.max Press lehetővé tette klinikai indikációjának kiterjesztését a monolitikus restaurációkra is, leplezőkerámia nélkül, individualizálása festéssel történt és a leplezett kerámiákhoz képest ellenállóbbak voltak.

A digitális technológiák elterjedése vezetett az IPS e.max CAD megjelenéséhez 2006-ban, mely már maróegységben feldolgozható, akár chairside (szék melletti) restaurátumok készítéséhez is. A lila színű részben előkristályosított blokkokat, amelyek a lítium-diszilikát kristálymagok ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) mellett 40% metaszilikátot is (Li_2SiO_3) tartalmaznak, mérsékelt ~ 130 MPa hajlítószilárdság jellemzi (Zarone és mtsai 2016). Így könnyebb és gyorsabb a megmunkálhatóságuk, illetve a marószerszámok kevésbé kopnak. Marás után kerülnek a kerámia kályhába (840-850 °C-on 10 percre), amely a metaszilikát kristályokat lítium-diszilikáttá alakítja ($\sim 70\%$), növelve a hajlítószilárdságukat 262 ± 88 MPa értékig (59). Különböző transzlucenciájú blokkok kaphatók (HT-high translucency, MT-medium translucency, LT-low translucency, MO-medium opacity, I-impulse opaleszens blokk), melyet az üveges mátrixban lévő kristályok mérete és eloszlása határoz meg. A HT kerámia $1,5 \times 0,8$ mm-es kristályokat tartalmaz az üvegmátrixban, míg az LT kerámia kisebb kristályokat: $0,8 \times 0,2$ mm a nagyobb sűrűségű mátrixban (Denry és Holloway 2010). Korábbi in vitro vizsgálatok kimutatták, hogy a monolitikus e.max CAD koronák jobb törésállóságot mutatnak, és jobban ellenállnak a ciklikus terheléseknek a moláris régióban is, mint a leplezett cirkónium-dioxid restaurátumok, amelyek hajlamosabbak a kerámia repedésére. Az LS2 az egyik legsokoldalúbb fémmentes anyag, mind természetes fogak restaurátumaként, mind pedig implantátumokon elhorgonyzott fogpótlásokhoz használható,

a szőlő koronáktól a hidakig (3 tagú hidak a 2. premolárisig), beleértve a héjakat és betéteket is (Zarone és mtsai 2019).

Az IPS e.max CAD elérhető a Vita Classical A1-D4 színekben, beleértve a fehéritett fogszíneket is. A legtöbb fogászati kerámiához hasonlóan az anyag színét a mátrixba diszpergált színező ionok határozzák meg. Az IPS e.max CAD esetében ezek az ionok a következők: V^{4+}/V^{3+} (kék/sárga), Ce^{4+} (sárga) és Mn^{3+} (barna) (59). Ezen ionokat a lila színű előkristályosított kerámia már tartalmazza. A kész restaurátum végső színének további finomítása végezhető úgy, hogy a fogpótlás felületét a fogtechnikus megfesti. Másik lehetőség az anyag cut-back technológiával történő tervezése és kimarása, majd leplezése. Ebben az esetben a fogtechnikus a bukkális felszín anatómikus formára történő kimarása helyett ezen a felszínen egy redukáltabb formát hoz létre a tervezés során, helyet hagyva a keplező kerámiának, mellyel később még esztétikusabbá teheti a végleges restaurátumot.

Héjak esetén minimális preparálási rétegvastagságuk 0,5-0,7 mm, míg koronák esetén akár anterior akár posterior régióban ez 1,5 mm (59).

1.2.2. Oxidkerámiák

Az oxidkerámiák kezdetben labor kapcsolattal rendelkező CAD/CAM rendszerekkel voltak feldolgozhatók, ma már léteznek chairside (szék mellett) feldolgozhatók is köztük. Az oxidkerámiák közül került ki az első CAD/CAM rendszerrel feldolgozható polikristályos kerámia a Procera AllCeram (Nobel Biocare Göteborg, Svédország és Procera Sandvik AB, Stockholm, Svédország) az 1990-es évek közepén (1985) a Nobel Biocare cég által. Ezt vázanyagként használták és földpát kerámiával lehetett leplezni (Helvey és mtsai 2010). Anyagtani szempontból ide tartoznak a kristályalapú rendszerek üveg töltőanyaggal, az infiltrációs kerámiák is. Ilyen az in-Ceram (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Németország) termékcsalád (Alumina, Spinell, Zirconia), melyek az előszinterelt tömbökkel széles indikációs területet felölelnek, így a szőlő restaurátumok mellett 3 tagú hidak is készíthetők belőlük. In Ceram Spinell anterior restaurátumok vázanyagaként használható 400 MPa ellenálló képességgel rendelkeznek. Az in-Ceram Alumina 500 MPa ellenálló képességével

már posterior 3 tagú hidak vázanyaga. Az in-Ceram Zirconia 600 MPa ellenállóképességgel rendelkezik, hidak és koronák vázanyaga. Minimális szükséges rétegvastagságuk anterior területen 0,7 mm incizálisan és posterior területen 1,0 mm (52).

A polikristályos kerámiák közé tartozik a már említett Procera AllCeram ittriummal stabilizált cirkónium-dioxid (1100 MPa hajlító szilárdsággal), amit kezdetben vázanyagként használtak és esztétikussá tételéhez szükség volt az anyag további leplezésére. Ezen anyag 3 mol% ittriumot tartalmaz. Ma már kapható multilayer (azaz több színréteget tartalmazó a dentinnek és zománcnak megfelelő) tömbökben is. A 4 mol% ittriumot tartalmazó, nagyobb áttetszőségű tetragonális szerkezetű cirkónium-dioxidot már monolitikus és leplezhető anyagként vezették be a gyártók. Ennek az anyagnak azonban kisebb az áttetszősége, mint a természetes fogaké. A később forgalomba kerülő magasabb transzlucenciájú cirkónium-dioxidot ittrium-oxid és egyéb oxidok (5 mol%) hozzáadásával állítják elő, valamint ezekben redukálják a magnézium-oxid és alumínium-oxid mennyiségét. Ezek a változások szobahőmérsékleten stabilizálják a cirkónium köbös fázisát nagyobb izotróp kristályokkal. Ezen kívül ezek a változások csökkentik a cirkónium-dioxid törésállóságát is. A gyártók azt állítják, hogy az 50%-os köbös fázisú cirkónium-dioxid transzlucenciája megegyezik a nagy áttetszőségű kerámiákéval és zománcéval (Zadeh és mtsai 2018; Kolakarnprasert és mtsai 2019), így akár monolitikus restaurátumként is használhatók, akár esztétikus régióban is.

1.2.3. Hibridkerámiák

A kerámia és a polimerek előnyös tulajdonságainak ötvözésére jöttek létre a hibridkerámiák (Buyukkaplan és mtsai 2017), melyek kevésbé kemények, mint a kerámiák, viszont rugalmasabbak náluk, és a törésekkel szemben is jobban ellenállnak (Coldea és mtsai 2013). Mivel ezen anyagok a kerámiákhoz képest puhábbak, így gyorsabb marási idővel feldolgozhatók és emellett nincs szükség utólagos kerámia kályhában történő égetésre sem, így főleg rendelői felhasználásra tervezték őket. Ilyen rezin nanokerámia például a Lava Ultimate (3M ESPE, Minneapolis Egyesült Államok), amely 80%-ban kerámiát tartalmaz, 200 MPa hajlítószilárdsággal, minimális preparálási rétegvastagsága 1,5 mm (53). Ebbe a csoportba tartozik a Cerasmart (GC Dental Products Tokió, Japán) blokk is 230 MPa

hajlítoszilárdsággal, ugyancsak 1,5 mm minimális preparálási rétegvastagsággal (57). Gunal és Ulusoy által vizsgált 7 monolitikus anyag (VITA Suprinity T, VITA Enamic T, VITA Mark II, GC Cerasmart LT, Lava Ultimate LT, IPS e.max CAD LT és Prettau Anterior blokk) közül a Cerasmart és a Lava Ultimate anyaga bizonyult a legranzsparesebbnek (Gunal és Ulusoy 2018), illetve egy másik vizsgálatban is összehasonlítva őket a Vita Enamic hibridkerámiával is transzparesebbnek bizonyultak (Egilmez és mtsai 2018). A Vita Enamic hibridkerámia (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Németország), egy üvegkerámia resin-interpenetráló mátrixban, 86 tömeg%-os kerámia összetételű, 150 MPa hajlító szilárdsággal rendelkezik, a minimális preparálási rétegvastagsága kisebb, mint a korábban említetteké; axiálisan 0,8 mm, míg incisalisan és csücsköknél 1,0 mm (65). A Vita Enamic kisebb transzlucenciájú mint más rezin kerámiák ennek oka a magasabb alumínium-oxid koncentrációja (kb. 23 tömeg%) (Gunal és Ulusoy 2018). A Grandio Blocks (VOCO GmbH, Cuxhaven, Németország) ugyancsak 86%-ban tartalmaz kerámiát, 1,5 mm minimális rétegvastagságú preparálást igényel és a korábban említett hibridkerámiákhoz képest magasabb, 333 MPa hajlítoszilárdsággal rendelkezik (68). A Shofu Block HC (SHOFU DENTAL GmbH, Ratingen, Németország) pedig egy cirkónium-szilikát kerámia resin-interpenetráló mátrixban, minimum 60 tömeg%-os kerámia tartalommal, 1,5 mm okkluzális helyigénnyel és 190 MPa hajlítoszilárdsággal rendelkezik (62).

A fent említett monolitikus kerámia anyagokat összefoglalva az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Monolitikus fogpótlások kerámia anyagai összefoglaló táblázat példákkal. (saját ábra)

Monolitikus kerámia anyagok							
Kerámiák fő csoportjai	I. Szilikátkerámiák		II. Oxidkerámiák		III. Hibridkerámiák		
Alcsoportok	Üveg alapú rendszerek	Üvegkerámiák	Polikristályos kerámiák	Üveginfiltrált	Üvegkerámia resin-interpenetráló mátrixban	Rezin nano kerámiák	Cirkónium-szilikát kerámia resin-interpenetráló mátrixban
Odontotechnológiai megmunkálás	Szinterezés	Préselés, CAD/CAM	CAD/CAM	In-Ceram infiltrációs eljárás, CAD/CAM	CAD/CAM	CAD/CAM	CAD/CAM
Példák	Ileplezőkerámiák	<ul style="list-style-type: none"> Vitablocks (Vita Zahnfabrik) IPS Empress CAD (Ivoclar Vivadent) IPS e.max (Ivoclar Vivadent) Vita Suprinity (Vita Zahnfabrik) 	<ul style="list-style-type: none"> Alumínium-oxid: Procera AllCeram (Nobel Biocare), Cirkónium-dioxid kerámiák 	<ul style="list-style-type: none"> in-Ceram Alumina, Spinell, Zirconia (VITA Zahnfabrik) 	<ul style="list-style-type: none"> Vita Enamic (VITA Zahnfabrik) 	<ul style="list-style-type: none"> Lava Ultimate (3M ESPE) Cerasmart (GC Dental Products Tokió, Japán) Grandio Block (VOCO GmbH, Cuxhaven) 	<ul style="list-style-type: none"> Shofu Block HC (SHOFU DENTAL GmbH, Ratingen)

1.3. Monolitikus kerámia koronák végleges színét befolyásoló tényezők

Számos cikk vizsgálja a teljes kerámia koronák végleges színét befolyásoló tényezőket. Könnyű belátni, hogy a transzluens kerámiák végleges színét a helyreállítani kívánt csont színe nagymértékben befolyásolja (Chaiyabutr és mtsai 2011; Niu és mtsai 2013). A kerámiák rögzítéséhez leggyakrabban adhezív technikát ajánlanak a gyártók. A cementeket forgalmazók többféle színű ragasztócementet hoznak piacra, hogy ezekkel a végleges fogpótlások esztétikai megjelenését tovább javítsák. Ezen ragasztócementek színének hatása azonban nagymértékben függ az alkalmazott kerámia restaurátumok rétegvastagságától (Nakamara és mtsai 2002) és transzluenciájától (Dozic és mtsai 2003). A továbbiakban e tényezők részletesebben kerülnek tárgyalásra.

1.3.1. A csonkszín befolyásoló hatása a fogpótlás végleges színére

Számos cikkben láthattuk, hogy a korona alatt lévő csonk színe szignifikánsan befolyásolja a fogpótlás végleges színét (Al Ben Ali és mtsai 2014, Chongkavinit és mtsai 2021, Ge és mtsai 2006). Ha egy teljes kerámia koronát például gyökérkezelés miatt elszíneződött fogra helyezünk, esetleg egy fém csapos műcsonkra, akkor ez a végleges színt negatívan befolyásolhatja. A csonk színének áttűnése a fogpótlás nyaki régiójában lehet a legkifejezettebb, ugyanis itt lehet a legvékonyabb a kerámia rétegvastagsága (Chaiyabutr és mtsai 2011). Számos cikk vizsgálja az arany ötvözetek kerámia koronákra való hatását (Nakamara és mtsai 2002, Ge és mtsai 2006, Niu és mtsai 2016). Ezekkel a sárgásabb színezetű fémötvözetekkel természetesebb hatást lehet elérni, mint a fémes színű pl. NiCr ötvözetekkel, hiszen ez természetes fogakhoz hasonló sárgás, illetve világosabb színárnyalat felé változtatja a végleges fogpótlás megjelenését (Kourtis és mtsai 2004). A fémes szín elfedhető, ha a labialis felszínre egy vékony opak réteget viszünk fel. Azonban, ha túlságosan vastagon kerül felvitelre az opak anyag, akkor a korona természetellenes sárga színezetet kaphat, mely hátrányosan befolyásolhatja az esztétikai megjelenését (Ge és mtsai 2006).

A csonk színének elfedésére változtathatjuk a kerámia rétegvastagságát és a beragasztáshoz használt cement színét is. Chaiyabutr és munkatársai vizsgálatukban leírták, hogy a teljes kerámia koronák végleges színénél a kerámia koronák rétegvastagsága befolyásolhatja a transzluenciát, viszont a ragasztócement színe kevésbé befolyásoló tényező (Chaiyabutr és mtsai 2011). Egy határon túl viszont nem érdemes növelni a preparáció mértékét és így a kerámia koronák rétegvastagságát, hisz ez a pulpa közelsége miatt akár hiperszenzitivitást vagy a gyökérkezelés szükségességét vetítheti előre. Ebben az esetben érdemes lehet egy opakabb, azaz kevésbé transzluens kerámia anyagot választani.

1.3.2. A kerámia anyagának befolyásoló hatása a fogpótlás végleges színére

Az ideális fogpótlásnak természetes fogak kontúrájával, színével, felületi textúrájával, áttetszőségével, opaleszcenciájával és fluoreszcenciájával is harmonizálnia kell (Shirani és

mtsai 2021). Azzal minden szakirodalmi cikk egyetért, hogy a kerámia anyagtani tulajdonságai nagyban befolyásolják a végleges fogpótlás színét (Talibi és mtsai 2022, Sen és Isler 2020, Della Bona és mtsai 2015, Della Bona 2009) emellett befolyásoló tényező lehet az elkészülő fogpótlás rétegvastagsága vagy a kerámia égetések száma is. A továbbiakban ezek kerülnek tárgyalásra.

1.3.2.1. A kerámia transzlucenciája

Kerámiák optikai tulajdonságai az összetevőiktől függenek. A gyártók a transzlucencia, azaz a fényáteresztő képesség növelésével zománchoz hasonló tulajdonságokat kölcsönöznek ezeknek az anyagoknak. A transzlucencia mértékét a fény szóródása határozza meg (Bordbelt és mtsai 1980). Ha a kerámián áthaladó fény nagy része szórt és diffúz módon visszaverődik, az anyag opaknak tűnik. Ha a fénynek csak egy része szórt, és a legtöbb részét az anyag átengedi, a kerámia áttetszőnek tűnik (Kingery és mtsai 1976). Az elnyelt, visszavert és áteresztett fény mennyisége kerámiák üvegmátrixában lévő kristályok mennyiségétől, kémiai természetétől és a részecskék méretétől függ a beeső fény hullámhosszához (λ) képest. Azon kerámia anyagok ahol a kristályok mérete kicsi ($0,1\mu\text{m}$) kevésbé opakak, mint a nagyobb méretű kristályokat ($10\mu\text{m}$) tartalmazók (Clarke 1983). Heffernan felosztotta a legnépszerűbb kerámiákat transzlucenciájuk szerint: a leginkább fényáteresztők a földpát kerámiák, ezeket követik az üvegkerámiák, majd az alumínium erősítésű kerámiák. A legkevésbé fényáteresztők a cirkónium-dioxidok (Heffernan és mtsai 2002). A keményebb, ellenállóbb kerámiák a nagyobb kristály tartalom miatt opakabbak (Niu és mtsai 2013) és a megfelelő esztétika eléréséhez korábban leplezni kellett őket (Sharkey 2011). Az újonnan megjelenő cirkónium-dioxid kerámiák azonban transzlucensebbek lehetnek és akár front területeken esztétikus régióban is alkalmazhatók monolitikus restaurátumokként (Zhang és mtsai 2018).

Egy másik fontos tényező a kristályok és az üvegmátrix törésmutatója közti különbség. Korábban megállapításra került, hogy a fogszín a zománc hidroxapatit tartalma és a kristályok mérete befolyásolja, a fénytanban ez a törésmutatóval jellemezhető (Oguro és mtsai 2016). A törésmutató (refractive index) egy anyag azon tulajdonságát jellemzi, hogy

az anyagba történő belépéskor a fény mennyire törik meg. Értékét a vákuumhoz viszonyítva adják meg. Egy vizsgálatban összehasonlították a lítium-diszilikát üvegkerámiákat a cirkónium-dioxidokkal. A fénytörés mérésekor megvizsgálták a fénysebesség csökkenését az anyagon való áthaladásakor. Leucit (1,51) és lítium (1,55) esetében az üvegmátrixéhoz (1,50) ez az érték nagyon közel áll. Emiatt, illetve a HT (magas transzluenciájú) lítium-diszilikát üvegkerámiák alacsony porozitása miatt, ezen anyagok sokkal transzluensebbek, mint például a cirkónium-dioxidok. Pásztázó elektronmikroszkópikus képen (SEM) cirkónium-dioxid esetében a porozitás mértéke nagyobb, ami csökkenti az anyag fényáteresztő képességét is. Ha mikroszkóppal a HT lítium-diszilikát kerámiát megvizsgálták láthatták, hogy az anyag egyenes vonalban rendezett kristályokat tartalmaz és a porozitása is kisebb mértékű. Ezen tulajdonságok miatt az anyag sokkal fényáteresztőbbnek tűnik (Harianawala és mtsai 2014).

A kerámiák fényáteresztő képességét azonban számos egyéb faktor befolyásolhatja, ilyen az alkalmazott kerámia restaurátum rétegvastagsága (Heffernan és mtsai 2002; Wang és mtsai 2013; Arif és mtsai 2019), illetve a kerámia égetéseinek száma (McLean 1995). A kerámia rétegvastagságának növelése csökkentheti a végleges fogpótlás transzluenciáját. Ez azonban az egyes anyagoknál eltérő mértékű lehet, például alacsonyabb transzluencia esetén a rétegvastagság növelésének kevesebb szerepe lehet (Wang és mtsai 2013). Mindazonáltal kevés tanulmány jelent meg az áttetszőség és a kerámia rétegvastagságának összefüggéséről a közelmúltban bevezetett, új, esztétikus kerámiaanyagok esetében. Ezért további adatokra van szükség, hogy az egyes anyagok a különböző klinikai esetekben hogyan viselkednek.

1.3.2.2. A kerámia színezete

Bár a természetes fogakéhoz hasonló transzluencia az esztétikus fogpótlások egyik követelménye, a nagyobb áttetszőség csökkentheti a koronák színelfedő képességét. A transzluencia mellett a kerámia színezete is befolyásoló tényező lehet. Ahogy a kerámiák színezetét változtatjuk úgy csökkenthető a csonk hatása a végleges színre. Így egy korábbi vizsgálatban leírtak szerint az A2 vagy C3 színek jobban elfedik a csonk színét, mint a

fehérített BL1 árnyalatú kerámiák, ugyanis a BL1 kerámiák színezete kisebb (Al Ben Ali és mtsai 2014). Egy másik tanulmány szerint viszont a fogpótlás színezete kevésbé befolyásoló tényező a kerámia rétegvastagságához hasonlítva (Barizon és mtsai 2014).

1.3.2.3. Kerámia rétegvastagsága

Ha növeljük a kerámiák rétegvastagságát, akkor a csomk színének hatása kevésbé érvényesül (Dozic és mtsai 2003; Shorky és mtsai 2006). Vichi és munkatársai Empress kerámiák esetén leírták, hogy 1,5 mm falvastagságú kerámia korona képes elfedni a fém csomk színét és 2,0 mm rétegvastagság felett a csomk színe nem befolyásolja a végleges színt (Vichi és mtsai 2000). Ezzel egyetértésben Chongkavinit és munkatársai 2,0 mm rétegvastagságúnál kisebb magas transzlucenciájú (HT) kerámiákat nem ajánl front területre titánium implantátum felépítményekre (Chongkavinit és mtsai 2021). Nakamara és munkatársai 1,6 mm-nél húzták meg a határt, hogy ha ennél kevesebb a kerámia (leucit tartalmú préskerámia) rétegvastagsága, akkor a csomk szignifikánsan befolyásolhatja a végleges színt (Nakamara és mtsai 2002). Azonban a nagyobb mértékű preparálásnak és így a vastagabb kerámia restaurátumok alkalmazásának határt szabhatnak a különböző klinikai körülmények, például a pulpa védelme.

1.3.2.4. A kerámia égetések száma

Számos szakirodalmi cikk korábban megállapította, hogy az égetések száma nem befolyásolja a kerámiák színének stabilitását (Jorgenson és mtsai 1979; Barhgi és mtsai 1977). Az újonnan megjelenő közlemények azonban ezekkel ellentétben megállapítják, hogy a kerámia égetések száma befolyásolhatja a fogpótlások végleges színét. O'Brien és munkatársai vizsgálatukban megállapították, hogy 3-6 alkalommal égetett kerámiák esetén észlelhető színelkülönbség volt mérhető ($\Delta E=1$) (O'Brien és mtsai 1991). Ozturk és munkatársai az üveginfiltrált kerámiákat (In-Ceram Alumina), illetve magasabb leucittartalmú IPS Empress kerámiákat vizsgálva megállapították, hogy az égetések számának növelése színváltozást eredményez. Ennek okaként a kerámiák fém-oxid

tartalmának színbeli insatbilitását jelölték meg (Ozturk és mtsai 2008). Az égetések számának elsősorban a leplezett restaurátumok esetén van szerepe. Illetve számos monolitikus fogpótláshoz használható anyag végső szinterelt állapotú tömbként kerül forgalomba, ahol nincs szükség további égetésre a kerámia kályhában.

1.3.3. A ragasztócement színének hatása a fogpótlás végleges színére

A monolitikus kerámia restaurátumok rögzítéséhez elsősorban adhezív rezin cementeket javasolnak a gyártók. Kevés cikket lehet találni a ragasztó cementek esztétikai hatásairól, de az irodalmi adatok alapján a fogpótlás végleges színét, mind a cement színe, mind a rétegvastagsága is befolyásolja (Niu és mtsai 2014). Ez leginkább a vékonyabb falvastagságú, transzlucensebb kerámiákból készülő restaurátumok esetében igaz, különösen az igazán vékony héjak esetében.

A gyártók a rezin cementek többféle árnyalatát hozzák forgalomba, hogy ezekkel is befolyásolni lehessen a fogpótlás végleges színét (Xing és mtsai 2010), így például az Ivoclar Vivadent által forgalmazott Variolink Esthetic 5 féle színben kapható (light plus, light, neutral, warm, warm plus), amit a később bemutatásra kerülő in vitro vizsgálatunkban mi is használunk. A kompozit rögzítőcement színét és optikai tulajdonságait az őket felépítő mátrix és a töltőanyagok, illetve azok részecskemérete, valamint a kiegészítő adalékanyagok, beleértve a különböző pigmenteket, inhibitorokat és aktivátorokat, határozzák meg. A különböző színű ragasztócementek fényáteresztő tulajdonságainak különbségei befolyásolhatják a restaurátumok végleges megjelenését (Lee 2008; Ota és mtsai 2012). A végleges színt befolyásolhatja a cement polimerizációjának módja is. A fényre kötő kompozitok színe stabilabb, a kettős (duál) kötésűekhez képest, amelyeknél az elégtelen polimerizáció okozhat idővel elszíneződéseket. A kámforkinon például igényel az autopolimerizációhoz társiniciátorként tercier amin molekulákat, melyek későbbi oxidációja a sárgás elszíneződésért felelős. Alternatív fotoiniciátorok (jódónium sók és benzoil-germánium) nem igényelnek további társiniciátorokat, így színtabilabbak (Salgado és mtsai 2014). Azt, hogy milyen módon polimerizálódó adhezív cementet választunk, a restaurátum rétegvastagsága és transzlucenciája is befolyásolja. A vékonyabb és transzparensőbb

restaurációs anyagok jobban áteresztik a fényt, így fényre kötő rezin cementeket használhatunk rögzítésükhöz. Ha a restaurátum rétegvastagsága 1,5 – 2,0 mm vagy annál nagyobb, illetve ha az opakabb restaurációs anyag kevésbé engedi át a fényt, akkor kettős kötésű (duál) cementeket javasolt használni (Barghi és McAlister 2003).

Egy kutatásban vizsgáltak összesen 13 különböző árnyalatú ragasztócementet és ezek optikai hatásait 0,5 és 1,0 mm vastagságú IPS Empress Esthetic (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) kerámiákra. A vékonyabb, 0,5 mm-es A1 színű kerámiák esetében használt A3-as színnek megfelelő cement (RelyX Veneer A3, 3M ESPE), illetve a sárgásabb színű cement (Maxcem Elite Yellow Kerr, Orange, Calif) sötétebb árnyalatot, míg az opakabb cement (Maxcem Elite WO, Orange, Calif) fényesebb, világosabb eredményt adott. Ezzel ellentétben megállapították, hogy az 1,0 mm rétegvastagságú A1 színű kerámiáknál csak egy vizsgált esetben volt észlelhető színelkülönbség (Variolink Veneer -3). A szerzők kimondták, hogy a rezin cementek okozhatnak esztétikailag elfogadhatatlan színváltozásokat is a vékonyabb kerámiák esetében (Turgut és Bagis 2013). Az opak, fehéresebb cementek képesek jobban eltakarni az elszíneződött csonkot vagy a fém csapos műcsonk színét. Egy vizsgálat alapján a NiCr ötvözet sötétebb, kékesebb színét egy fehérebb cement használatával kiküszöbölhetjük. Azonban ha túl vastag rétegben alkalmazzuk, akkor akár a restaurátum végleges színét hátrányosan is befolyásolhatjuk, mivel az világosabb és sárgásabb lehet (Ge és mtsai 2006).

Kevés ismeretünk van azzal kapcsolatban, hogy mennyi a megfelelő cement rétegvastagság ahhoz, hogy elérjük a kívánt végleges színt. Vichi és munkatársai kutatásai alapján a cement rétegvastagságának (0,1 – 0,2 mm) változtatása nem volt jelentős hatással a leucit erősítésű kerámia restaurátumok színére, habár ebben a kutatásban csupán transzlucens cementeket használtak és nem vizsgáltak fém csonkokat (Vichi és mtsai 2000). Egy másik vizsgálatban a fehér opak cement 100 µm-ről 300 µm-re való növelése nem befolyásolta a lítium-diszilikát restaurátumok színét. Azonban a ragasztáshoz használt cement mennyiségének növelésével csökken a koronák csonkhoz való kötőereje és törésekkel szembeni ellenállóképessége. Nem érdemes a cement rétegvastagságát növelni a restaurátum színének változtatása érdekében, mivel ezzel a pótlás fizikai ellenállóképességének csökkenését érhetjük el (Niu és mtsai 2014). Ha a cementrést 450–500 µm-re növeljük, akkor a polimerizáció okozta zsugorodás

miatt a kötőereje is jelentősen csökken (May és mtsai 2012). Illetve ha növeljük a cement rétegvastagságát, akkor ez okkluzálisan és horizontálisan is okozhat illeszkedési pontatlanságot, így csökkentve a restaurátum retencióját (Kale és mtsai 2016).

A klinikailag elfogadható pontosságú széli záródás is meghatározza, milyen rétegvastagságban alkalmazhatunk rögzítő cementeket. A szakirodalomban széli záródásnál 120 μm -t míg a további felszíneken 200 μm -t határoznak meg klinikailag elfogadhatónak endokoronák esetében (Zheng és mtsai 2022). Egy vizsgálatban azt javasolják, hogy a klinikusok minimum 30 μm -nyi vagy annál nagyobb cementrést válasszanak ki, hogy jobb marginális illeszkedést érjenek el moláris fogakra készülő CAD-CAM monolitikus cirkónium-koronák esetén. Illetve megállapítják, hogy CAD/CAM restaurációk esetén a cementrés csökkentésével növelhető a széli záródás pontossága (Kale és mtsai 2016). Iwai és munkatársai megállapították, hogy a cirkónium-dioxid restaurátumok széli záródása pontosabb volt, ha 60 μm -nyi cement rést használtak, mint 10-30 μm esetében (Iwai és mtsai 2008). Yildirim és munkatársai viszont 40 μm cementrés esetén találták elfogadhatónak a hibridkerámia fogpótlások széli záródását és belső illeszkedését (Yildirim és mtsai 2006).

A ragasztócement színével megegyező árnyalatú próba (try-in) pasztákkal imitálhatjuk a cementek végleges színre gyakorolt hatását. Ezeket a restaurátumok beragasztása előtt használhatjuk és a koronák vagy héjak belsejébe juttatva majd azt szájba próbálva láthatjuk a várható végleges színt (Xing és mtsai 2010). Használat után a próbacementeket a koronából egyszerű alkoholos kitörléssel eltávolíthatjuk. Ilyen például a Variolink Estehtic Try-in paste (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) melyet a később bemutatásra kerülő vizsgálatunkhoz mi is használtunk. Néhány vizsgálat azonban arra hívta fel a figyelmet, hogy a try-in paszták és a végleges ragasztócementek színe közt szignifikáns eltérések lehetnek (Alghazali és mtsai 2018; Xu és mtsai 2014). A klinikumban való használatuk korlátozott, hisz nem minden ragasztócementnek van forgalomban neki megfelelő próbapasztája, ráadásul a végleges ragasztócement színe a polimerizáció hatására is megváltozhat (Kucukesmen és mtsai 2008). A rezin bázisú ragasztócementek polimerizáció hatására világosabbak vagy áttetszőbbek lehetnek, mert a b^* érték a színtér kék irányába mozdul el, ennek eredményeképpen a sárga színezetük csökken. A világossági komponensben történő

változásuk nagyobb, mint a színezetbeli, így egyes ajánlások alapján érdemes lehet a kívánt végleges színnél egy árnyalattal sötétebb színű cementet választani (Seghi és mtsai 1990).

1.4.Kerámia fogpótlások színének kiválasztásához használható eszközök

Monolitikus fogpótlások készítésénél az egyik legfontosabb lépés a jó fogszín megválasztása, hiszen a restaurátumra később nem kerül további kerámialeplezés, így a fogszín későbbi módosítása csupán csak az individualizációhoz használható festékek segítségével kísérhető meg. A fogszín-meghatározáshoz három tényezőre van szükség. A megvilágító fényre, a tárgyra (jelen esetben ezek a fogak) és a megfigyelőre. Egy referencia fogat kiválasztva vizuális módszerekkel vagy digitális módon határozzuk meg pácienseink számára a megfelelő fogszínét. A referencia fogról fogszínkucscsal készített fénykép a fogtechnikai laboratóriummal való kommunikáció eszköze lehet.

1.4.1. Vizuális fogszín-meghatározás

A vizuális fogszín-meghatározás alapja a színösszehasonlítás, melynek során a fogorvos vagy fogtechnikus egy adott számú fogszínkulcsot tartalmazó paletta elemeihez hasonlítja a páciens fogszínét. Ezt a szubjektív választást a környezeti tényezők azonban nagyban befolyásolhatják (Dozic és mtsai 2007). Egyik ilyen befolyásoló tényező a megvilágítás. A rendelő környezetének különböző színhőmérsékletű lámpái közt vagy a napsugárzásból keletkező fényben eltérő színűnek láthatjuk a tárgyakat. Ez a metaméria jelensége. Ennek kizárására hozták forgalomba a természetes nappali fénynek megfelelő színhőmérsékletű lámpát (5500 K) a fogszín választáshoz. Ilyen például a Smile Lite (SmileLine, Svájc) lámpa (63) (1. ábra).



1. ábra: Az 5500 K színhőmérsékletű Smile Lite (SmileLine, Svájc) lámpa használat közben (saját ábra).

A fényforrásból származó fénysugár a fog felszínéről verődik vissza, amelyet végül a vizsgáló személy színeként értelmez. A fogak zománc és dentintartalmának aránya és tulajdonságai határozzák meg a fogak színét. A dentin felelős a színtelítettségért, színezetért, míg a zománc inkább a világosságért és a transzlucenciáért. A fogszín látása a vizsgáló személytől is függ. Korábbi vizsgálatok megállapították, hogy a nők jobb eredményeket érnek el vizuális fogszín-meghatározás során (Haddad 2009), ennek egyik oka lehet, hogy a színérzékeléssel kapcsolatos zavarok férfiakban gyakrabban fordulnak elő (8%), mint nőkben (0,5%), hisz ez egy X kromoszómához köthető jelenség (Chamberlin 1983). Ezzel ellentétes cikkek is megjelentek a szakirodalomban, miszerint nincs különbség a nők és férfiak fogszín-meghatározó képessége közt (Aswini és mtsai 2019, Capa és mtsai 2011). Az életkor is befolyásolhatja a fogszín-meghatározó képességünket. Az idősebb korosztályban gyakoribb a szem szaruhártyájának és a szemlencsének természetes elszíneződése, ami befolyásolhatja a színlátást. Habár számos cikk leírja, hogy az életkor nem befolyásolja a fogszín-meghatározás képességét (Alomari és mtsai 2011; Kraft és Werner 1999). Ezen kívül befolyásoló tényező lehet a vizsgáló személy tapasztalata (Aswini és mtsai 2019), illetve az

oktatás is. Vizsgálatok igazolták, hogy fogorvostan-hallgatók fogszín-meghatározó képességére az oktatás pozitív hatással van (Hannak és mtsai 2004; Corcodel és mtsai 2012). A fogorvosok és fogtechnikusok mindennapos gyakorlatunkban még ma is a leggyakrabban hagyományos fogszínkulcsokat alkalmaznak a fogszín-meghatározáshoz. A vizuális rendszerek közül még mindig az empirikus alapokon nyugvó, a mindössze 16 féle színt tartalmazó Vita Classical A1-D4 (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen) fogszínkulcsot használja a legtöbb fogorvosi praxis (Igiel és mtsai 2017; Paul és mtsai 2004) annak ellenére, hogy a 3D Master matematikai színelméletén alapuló fogszínkulcsok (26 szín és 3 db fehérített szín) sokkal megbízhatóbb eredményeket adnak (Öngül és mtsai 2012; Paravina 2009). Ezek használatával kevésbé lehet szükség az elkészült restaurátum javítására a nem megfelelő fogszínválasztás miatt (Paravina 2001; Hassel 2005).

1.4.1.1. Vita Classical fogszínkulcs

1950-es évektől kezdve a Vita Classical fogszínkulcs (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen Germany) a gold standard. 16 színe 4 csoportba van besztva színezet alapján: az „A” a pirosas-barnás, „B” a pirosas-citromsárgás, „C” a szürkés és „D” a pirosas-szürkés színezetet jelöli. A számok növekedésével a telítettség nő, a világosság pedig az egyes csoportokon belül csökken. Újabban 3 fehérített színnel is kiegészült a fogszínkulcs rendszer. A kompozit-

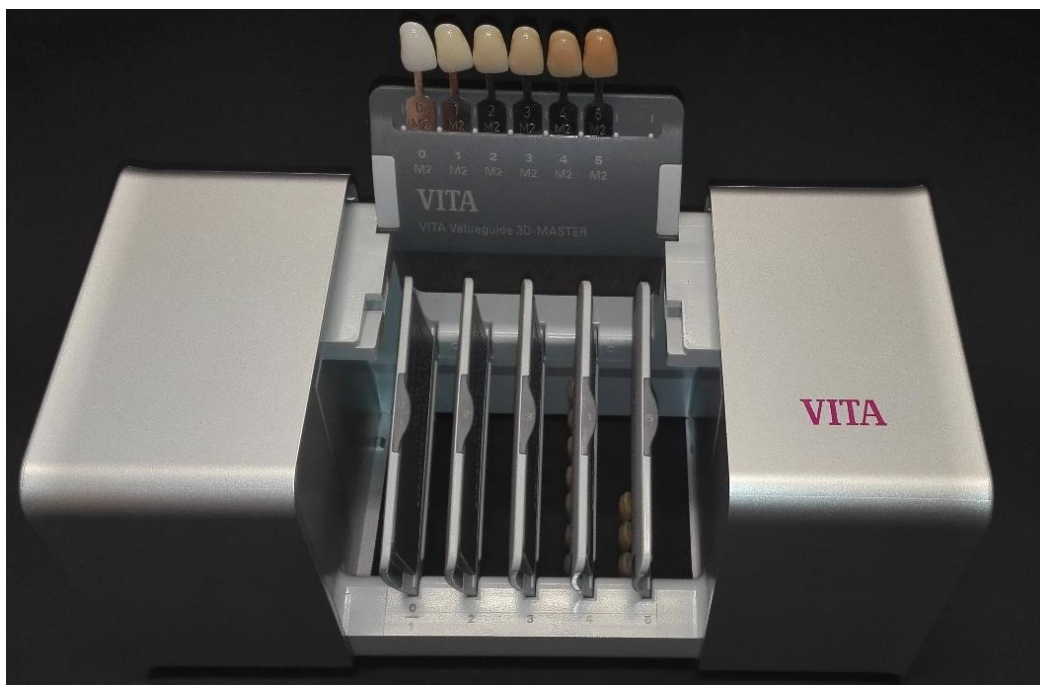


2. ábra: VITA classical A1-D4 fogszínkulcs (saját ábra).

illetve a kerámiagyártók leggyakrabban ezen színbeosztás alapján hozzák forgalomba termékeiket (2. ábra).

1.4.1.2.Vita 3D-master fogszínkulcs

Az 1988-ban megjelenő, matematikai alapokon nyugvó 3D-master fogszínkulcsok színei logikusan, szabályos elrendezésben fedik le a teljes természetes fogszínteret. A Munsell féle 3 színjellemző, azaz a világosság, telítettség és színezet alapján kerülnek benne csoportosításra a fogszínek, amelyek így elhelyezhetők egy 3D-s koordináta rendszerben. A természetes fogszínek a 3D-s színtér felső világos részében helyezkednek el, különböző világosságú és telítettségű sárgás/vöröses színezettel. A Vitapan 3D-Master (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Németország) rendszert alkalmazó fogszínkulcsok a Toothguide 3D-master, Linearguide 3D-master (3. ábra) és Bleachedguide 3D-master néven vannak a piacon. A Toothguide 3D-master fogszínkulccsal 3 lépésben kerül kiválasztásra a fogszín. Előbb a világossági csoportot választjuk ki az egész fogszínkulcsrendszert a páciens fogaihoz hasonlítva, majd az adott világossági csoporton belül a középső oszlop (mely a közepes vagy semleges színezetű kulcsokat tartalmazza) segítségével a telítettség kerül kiválasztásra (1-3). Ezután a megfelelő színezet (sárgás, vöröses vagy közepes/semleges) választjuk ki. A később bemutatásra kerülő klinikai vizsgálatunkban mi a Vita Classical fogszínkulcs mellett a LinearGuide 3D-master fogszínkulcsokat használtuk. A LinearGuide fogszínkulcs ugyanazon színeket tartalmazza mint a ToothGuide rendszer egy újabb elrendezésben. A fogszín-meghatározás két lépésben történik vele: először a sötétszürke tárolóból a világossági csoportok reprezentatív képviselőiből (5 db azonos színezetű és telítettségű) választjuk ki a páciens fogához leginkább hasonlító fogszínt. Majd a világosszürke tárolóból a színezet és telítettség egy lépésben kerül kiválasztásra.



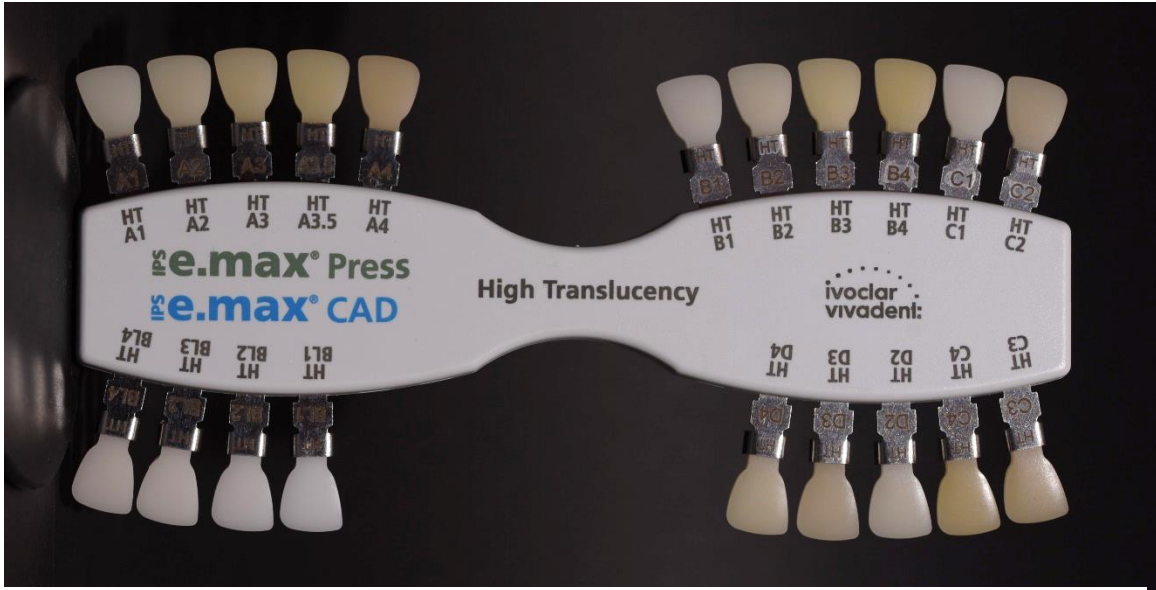
3. ábra: VITA LinearGuide 3D-master fogszínkulcs (saját ábra).

1.4.1.3. Vita Classical és Vita 3D-master fogszínkulcsok összehasonlítása

Számos cikk foglalkozik a két fogszínkulcs rendszer (Vita classical és 3D-master) összehasonlításával. A legtöbb cikkben egyetértenek abban, hogy a Vita 3D-master elméleteken nyugvó fogszínkulcsok sokkal megbízhatóbb eredményeket adnak a fogszín-meghatározás terén, mint a hagyományos A1-D4 fogszínkulcsok (Öngül és mtsai 2012; Paravina 2009). Ugyanis a Vita 3D-master fogszínkulcsok szélesebben lefedik az összes fogszín tartalmazó színteret és rendezettebb színeloszlást mutatnak, mint a Vita Classical fogszínkulcsok (Bayindir és mtsai 2007) és ez által megkönnyítik a megfelelő fogszín kiválasztását és annak reprodukcióját (Paravina 2009).

1.4.1.4. Más gyártók kizárólagos forgalomba hozott fogszínkulcsai

Egyes gyártók saját anyagaikhoz saját fogszínkulcs rendszereket vezettek be, melyek az általuk forgalmazott anyagokkal összhangban vannak (4. ábra).



4. ábra: IPS e.max HT (magas transzlucenciájú) anyag saját fogszínkulcsa (saját ábra).

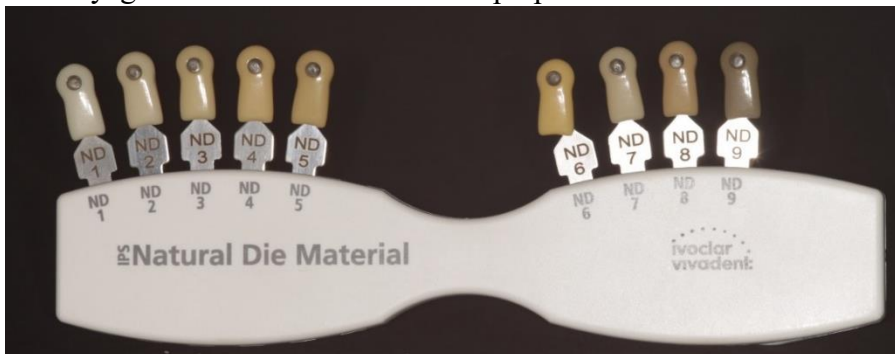
Az Ivoclar Vivadent cég hozta forgalomba a Chromascope fogszínkulcsot (5. ábra), mely a Vita Classical fogszínekhez hasonlóan színezet szerint került elrendezésre. A 100-as számozásúak fehéres, 200-asak sárgás, 300-asak világos barnás, míg a 400-as színek a szürkés és az 500-asak a sötétbarnás színezetű kulcsok. Az egyes csoportokon belül 10-40-es számozással a telítettség nő. Ezen fogszínkulcs kódolásával kerül forgalomba például az IPS Empress (Ivoclar Vivadent) kerámia is (az A1-D4 kódolás mellett).



5. ábra: Chromascope (Ivoclar Vivadent) csonkszínkulcs (60).

1.4.1.5. Csonkszínkulcsok

A különböző preparált csonkok színének fogtechnikai laboratóriumban való utánzására hozták forgalomba a csonkszínkulcsokat és a hozzá passzoló színű kompozit anyagokat, melyek használatával a fogtechnikus a laboratóriumban a páciensével megegyező színű műcsonkot készíthet. Ezek az anyagok fényrekötő kompozitok, melyet a fogpótlás belsejébe helyezve polimerizálhatunk, majd finírozunk és polírozunk. Ilyen például az VITA Simulate (VITA Zahnfabrik) anyaga, amely 6 színt tartalmaz. Egy másik termékcsalád az Ivoclar Vivadent anyaga az IPS Natural Die Material, amely 9 féle természetes csonkszínt tartalmaz (6. ábra). A dolgozat későbbi részében leírásra kerülő saját in vitro kutatásunkban is a Natural Die anyagot használtuk a természetes preparált csonkok színének imitálására.



6. ábra: IPS Natural Die Material (Ivoclar Vivadent) csonkszínkulcs (saját ábra).

1.4.2. Digitális fogszínmérés

A szubjektív tényezők kizárására az 1970-es évektől kezdődően kezdtek megjelenni a vizuális fogszínkulcsokat felváltó objektív, színmérésen alapuló eszközök: ezek a spektrofotométerek, koloriméterek, spektrométerek, illetve digitális kamerák (Dozic és mtsai 2007). 1990-es évben jelent meg az első instrumentális színmérő eszköz a ShadeScan rendszer (Cortex Machina, Montreal, Kanada) (Chu és mtsai 2010). A fogorvosi gyakorlatban a leginkább a spektrofotométerek terjedtek el, habár egy 2011-es cikk alapján az európai fogászati egyetemeken a hallgatók csupán csak 2-47%-a hallott a digitális fogszín-meghatározás lehetőségéről és közülük is a leggyakrabban a Vita Easysshade spektrofotométert említették (Dozic és mtsai 2011). Az intraorális szkennereket forgalmazók eszközeiket különböző extra funkciókkal látják el, hogy vonzóbbá tegyék őket jövőbeli vásárlóik számára. Egyik ilyen hozzáadott funkció a szkennerekbe épített fogszín-meghatározás lehetősége, amely tovább segítheti protetikai munkafolyamatainkat.

1.4.2.1. Képképző RGB rendszerek

Ezen rendszerek vörös (R), zöld (G) és kék (B) képinformációk felhasználásával állítanak elő színes képet. Tulajdonképpen ezek képek megjelenítésére alkalmas eszközök, például egy digitális kamera, melyekhez kapcsolódik egy számítógépes szoftver, amely továbbiakban értelmezi a képet. Ilyen a ClearMatch (Clarity Dental, Salt Lake City, Egyesült Államok) szoftvere melyben az elkészített kép mellé tehető a fogszínkulcsok és a kalibráláshoz szükséges fekete-fehér szín. Egy színtérképet rajzol a fogakról, melyet ezután a fogtechnikai laboratóriumba továbbíthatunk. A program adatbázisában tartalmazza az ismert számozású fogszínkulcsok adatait is (Chu és mtsai 2010).

1.4.2.2. Digitális kamerák

A fotózás forradalmasította az esztétikai fogászati kezeléseket. Fotókkal könnyebben tájékoztatjuk pácienseinket a szájüregi állapotukról, kezelési terveket könnyebben meg tudunk beszélni velük, fontos kommunikációs eszköz a fogtechnikai laboratóriummal is, a kezelés

végeredményének összehasonlítására szolgál a kiindulási állapothoz képest és fontos dokumentációs eszköz a fogszín-meghatározás során is. A fényképezőgéppel történő fogszín-meghatározásnak számos protokollja található meg az irodalomban, melyek szabályozzák a kamerák beállításait (például: vaku beállításai, a fókusztávolság, a zársebesség) és a fényképezés környezeti tényezőit (például: környezeti megvilágítás) is. Hein és munkatársai javasolták a reflektív, keresztpolarizált digitális fényképezést egy szabványos fehéregyensúly-szürke kártyával, amelyet referenciaként tekintenek, egy speciális DSLR (digital single lens camera, azaz digitális tükörreflexes fényképezőgép) használatával és a CIE $L^*a^*b^*$ színteret használó színfeldolgozó szoftverrel kombinálva. Ennek segítségével egy standardizált fényképezési módszert írnak le, melyet egy objektív képelemzés követ. Céljuk, hogy a vizuális fogszín-meghatározást számszerűsítsék, hogy a fogtechnikai munka még kiszámíthatóbbá váljon (Hein és mtsai 2017). McLaren és munkatársai a fényképek RAW formátumban történő elkészítését hangsúlyozzák minden proteikai munkafolyamat során azonos fényképező beállításokkal, hiszen ennek segítségével a fényképek információtartalma nem vesz el, mely a JPEG, TIFF vagy PNG formátumú átkalibrált fotóknál megtörténik (McLaren és mtsai 2017). Összességében az esztétikus fogpótlások készítésénél javasolt a fogtechnikai laboratóriummal való kommunikációhoz digitális fényképek készítése, melyet a referencia fog mellé helyezett kiválasztott fogszínkulccsal történő fotó készítése is kiegészít (Spencer 1996).

1.4.2.3. Koloriméterek

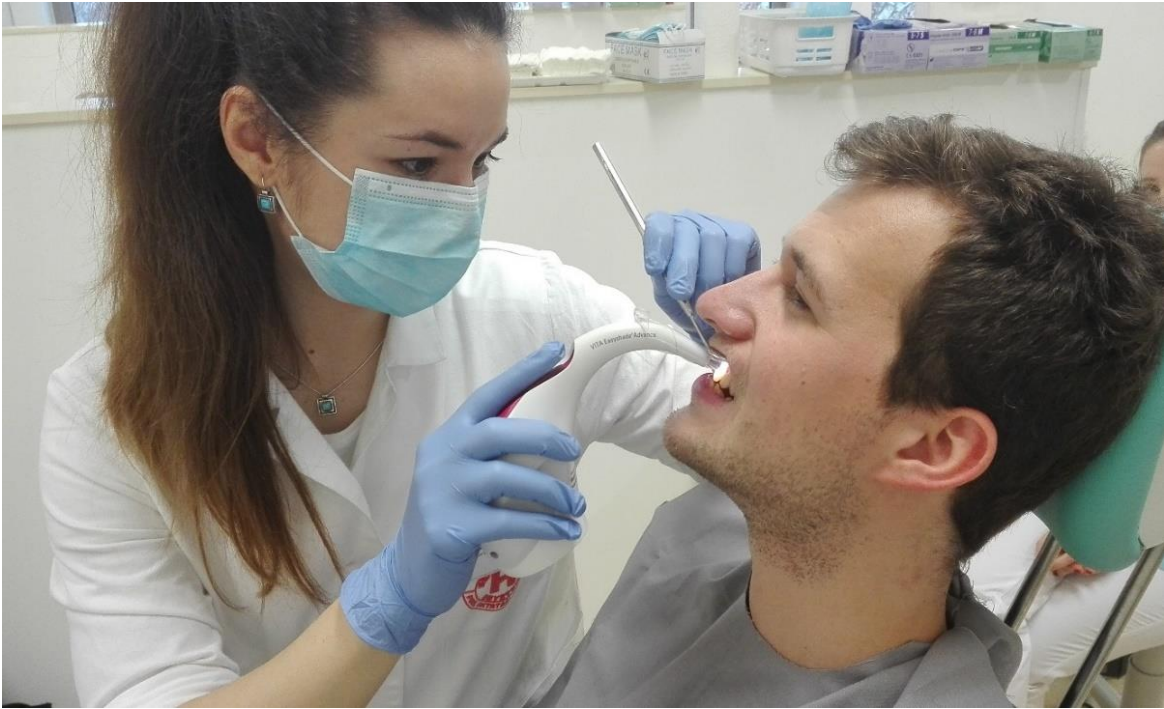
A koloriméterek a tristimulus értékeket mérik, és a látható spektrum vörös, zöld és kék területein szűrik a fényt. A koloriméterek nem regisztrálják a spektrális visszaverődést, és kevésbé pontosak, mint a spektrofotométerek (a szűrők elöregedése emellett befolyásolhatja a pontosságot). Ilyen eszköz a ShadeScan (Cynovad, Montreal, Kanada), amelyet kifejezetten fogászati fogszín-meghatározáshoz fejlesztettek ki. Tulajdonképpen ez egy digitális kamera és koloriméter kombinációja és az általa készített képet egy szoftver elemzi. A program képes külön elemezni a transzluenciát, fényességet, színtelítettséget és a színezetet is. Használata viszont több időt vesz igénybe a hagyományos módszerhez képest,

és a kapott eredmény reprodukálása kerámiával nagy ügyességet és szaktudást igényel a fogtechnikustól (Chu és mtsai 2010).

1.4.2.4. Spektrofotométerek

A spektrofotométerek az egyik legkönnyebben használható műszerek a fogászatban a fogszínméréshez. Méri a tárgyról visszaverődő fény mennyiségét a látható spektrum 1–25 nm-es intervallumaiban. A spektrofotométer saját optikai fényforrást használ és a tárgyról visszaérkező fénysugarakat, a beépített detektor fogadja. Független a környezet megvilágításától, így reprodukálhatóbb eredményeket adhat. A műszerek a kapott mérési eredményeket a fogászatban használatos fogszín értékekre alakítják át (Chu és mtsai 2010; Khurana 2010). A Crystaleye (Olympus, Tokió, Japán) a fog teljes felszínét méri és egyesíti a hagyományos spektrofotométer előnyeit a digitális fényképezéssel. Legnagyobb előnye, hogy virtuális adatbázisából a fogszínkulcs a fogról készült intraorális kép mellé helyezhető, így könnyíti meg a fogtechnikus munkáját (Chu és mtsai 2010). A Shade-X (X-Rite, Grandville, MI) egy szintén kompakt és vezeték nélküli „pontmérő” spektrofotométer, melynek mérőfeje 3mm-es (Chu és mtsai 2010). A SpectroShade Micro (MHT Optic Research, Niederhasli, Svájc) egy fogat teljes egészében mérő spektrofotométer. Digitális fényképezőgép/LED spektrofotométer kombinációt használ (55).

A legismertebb a Vita Easyshade (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Németország) egy kisméretű akkumulátoros spektrofotométer 5mm átmérőjű mérőfejjel, melynek többféle generációja jelent meg már a fogászati piacokon. 2003-ban jelent meg az Easyshade Compact, 2013-ban a Vita Easyshade advance 4.0 (7. ábra), melyet a később bemutatásra kerülő kutatásainkhoz is használtunk és 2015-ben jelent meg a legújabb Vita Easyshade V (67).



7. ábra: Fogszín-meghatározás Vita Easyshade Advance 4.0 spektrofotométerrel (saját ábra).

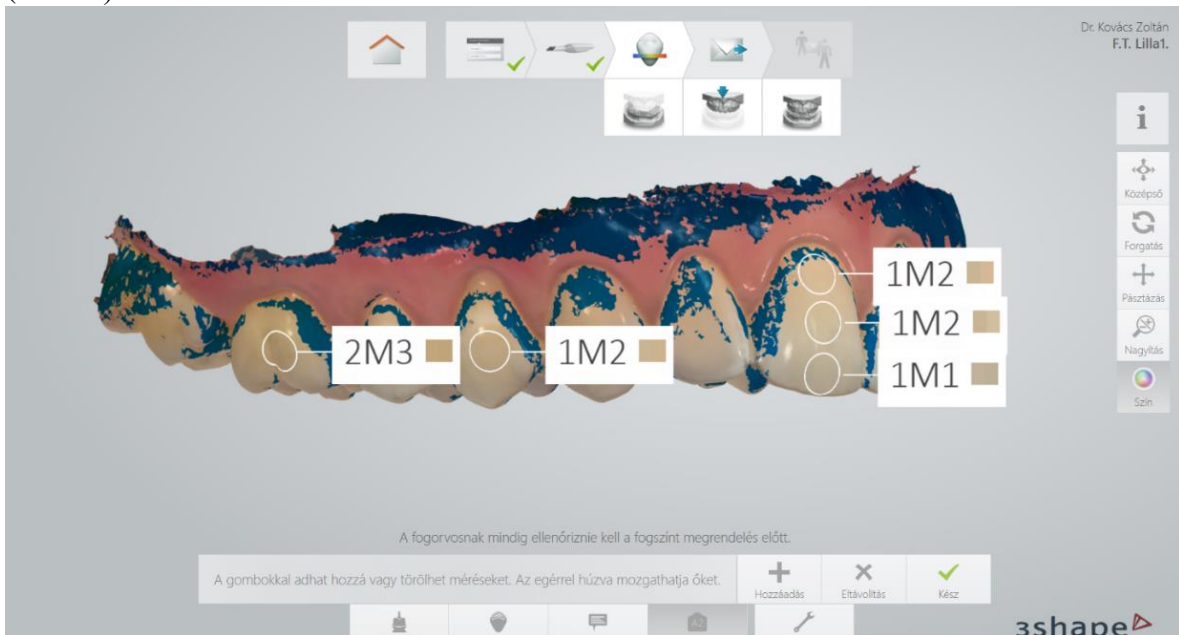
Kutatások bizonyítják, hogy a spektrofotométerek megbízhatóbbak a fogszín-meghatározás terén a vizuális fogszínkulcsokhoz képest (Browning és mtsai 2009; Derdilopoulou és mtsai 2007). Egy cikk alapján a Vita Easyshade Advance pontossága (accuracy) 92,6%, és a megismételhetősége pedig 96,4% (Kim-Pustaseri és mtsai 2009). Dozic és munkatársai a Vita Easyshade spektrofotométert tartották a legmegbízhatóbb fogszínmérő eszköznek mind in vivo mind in vitro körülmények között az általuk vizsgált 5 fogszínmérő eszköz közül (Dozic és mtsai 2007).

1.4.2.5. Intraorális szkennerekbe épített fogszín-meghatározó eszközök

A monolitikus szőlő fogpótlások készítése gyakran a rendelőben zajlik a preparációtól kezdve, a korona gyártásán át, az átadás pillanatáig. Ebben a munkafolyamatban gyakran csak a fogorvos és asszisztense szerepel és nincs szükség fogtechnikus közreműködésére. Ilyen esetekben a lenyomatvétel digitális úton intraorális szkennerral történik, a digitális tervezés egy, a fogtechnikai laboratóriumi tervező szoftverekhez képest leegyszerűsített,

chairside tervező programban történik, majd a fogpótlás marógéppel kerül előállításra. Ezután az individualizáció és a fogpótlás polírozása is a rendelő feladata. Ilyen esetben a rendelő személyzetére van bízva a helyes színű restaurációs anyag kiválasztása. A szkennereket gyártók a szkennel szoftveréhez adott kiegészítő funkciókkal a munkafolyamatokat próbálják minél inkább leegyszerűsíteni. Egyik ilyen a fogszín-meghatározás lehetősége.

A 3Shape Trios intraorális szkennel az elsők között volt alkalmas a fogszín mérésére. A korábbi generációja a szkennelnek monokromatikus volt (Trios Standard 2011), majd a színes verzió is megjelent (Trios Color 2013), mely esetén a fogszínmérés funkció is 2015-ben elérhetővé vált (Gotfredsen ésmtai 2015). A később bemutatásra kerülő klinikai vizsgálatunkban mi is a Trios 3 intraorális szkennel (TR) fogszínmérő funkcióját vizsgáltuk (8. ábra).



8. ábra: Fogszín-meghatározás 3Shape Trios 3 intraorális szkennelrel (saját ábra).

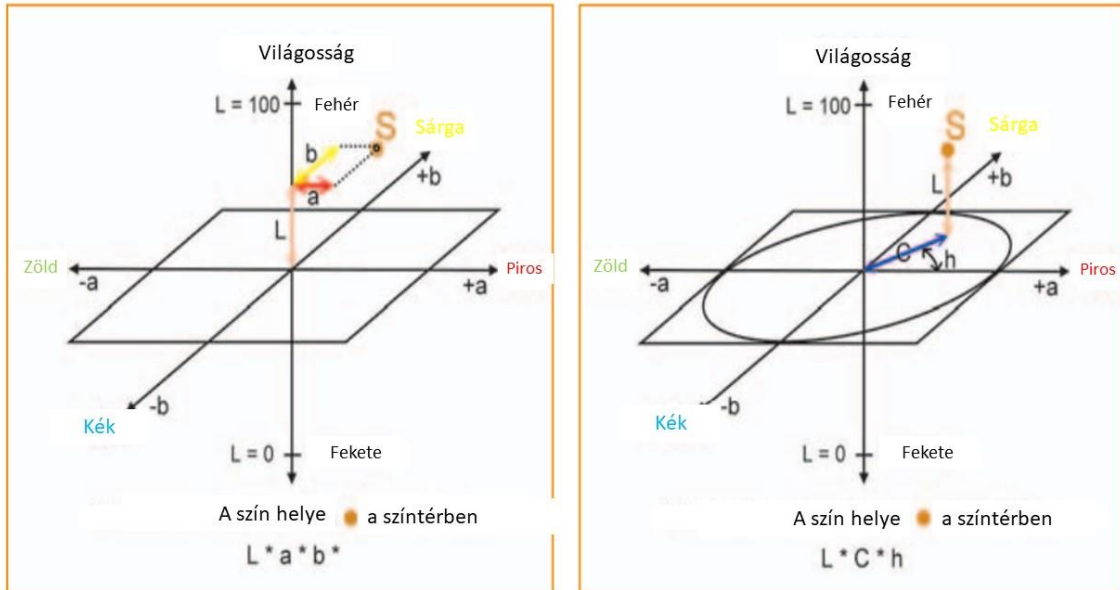
Az irodalomban eltérő adatokat találunk a szkennel fogszín-meghatározásának megbízhatóságát tekintve. Brandt és munkatársai vizsgálatukban összehasonlították a Trios 3 intraorális szkennel fogszín-meghatározó funkcióját a Vita 3D-master fogszínkulccsal és a Vita Easyshade spektrofotométerrel. 107 páciens vizsgáló cikkükben a Trios pontossága 43,9% volt, viszont a megismételhetősége 78,3% összehasonlítva a Vita Easyshade

megismételhetőségével, ami 76,5% volt. Megállapították, hogy a Trios egy jó alternatíva lehet a fogszín-meghatározásban (Brand és mtsai 2017). Rutkunas és munkatársai ugyancsak a Trios intraorális szkennert vizsgálták, viszont a pontosságát 3D-master fogszínnek esetén 53,3%-ban, míg Vita classical fogszínnek esetén csupán csak 27,5%-ban állapították meg. Megállapították, hogy a Trios által mért eredmények különböznek a spektrofotométer (ebben az esetben a vizsgált eszköz a SpectroShade spektrofotométer volt) által mért eredményektől, ezért a szkennerek mellé ajánlott kiegészítő fogszín-meghatározási módszereket is alkalmazunk (Rutkunas és mtsai 2020). Ezzel ellentétben Yilmaz és munkatársai a 3Shape Trios intraorális szkennert a Vita Easyshade Compact jó alternatívájának találták (Yilmaz és mtsai 2019).

1.4.3. Színtér és a színkülönbség (ΔE) kiszámítása

A színlátás nagyon szubjektív dolog, de már a 20. század első évtizedeiben megnövekedett az igény a színek objektív meghatározása iránt. Prof. Albert H. Munsell 1898-ban felfedezte, hogy a színek közt logikus kapcsolat van. Színrendszerében az egyes színek egyértelműen meghatározhatók. A színek meghatározásához Munsell három jellemzőt különített el: ez a világosság, a telítettség és a színezet. A világosság a szín fehér és a fekete tartalmát jelenti: a legvilágosabb szín a fehér, a legsötétebb pedig a fekete. A telítettség a színnek a vele azonos világosságú szürkétől való távolságát fejezi ki. Az élénk színek nagy tisztaságúak, kevés a fehér tartalmuk. A színezet színérzetet jelent, mely a szemünkbe érkező fény hullámhosszától függ (Munsell 1969). A színezet azt fejezi ki, hogy a színárnyalat a fehér vagy a fekete érzetéhez esik-e közelebb. A CIE Nemzetközi Világítástechnikai bizottság (Commission Internationale de l'Eclairage) dolgozta ki az emberi látás matematikai modelljén alapuló színtereket. A színeket az 1976-ban megalkotott CIE $L^*a^*b^*$ 3 dimenziós koordináta rendszerben ábrázolja, és matematikai mennyiségként fogja fel. Ebben a rendszerben az L^* a világosság mértéke (fekete-fehér tengely), az a^* a vörösség ($a > 0$) vagy a zöldesség ($a < 0$) mértéke és az b^* a sárgaság ($b > 0$) vagy a kékség ($b < 0$) mértéke. Az $L^*C^*h^*$ rendszer már a színeket hengeres koordinátarendszerként ábrázolja. Ebben a rendszerben az L (Lightness) a

világosság mértéke, a C (Chroma) a szín telítettsége, azaz az L* tengelytől való távolság és h (hue) a színezet, azaz az a* tengelytől való szögeltérés (9. ábra).



9. ábra: Az $L^*a^*b^*$ színtér és az L^*C^*h színtér a színek eloszlását tekintve megegyezik, azonos színterek. Viszont a két rendszer a szín pontos helyét másképp számítja ki. (Baltzer és Kaufmann –Jinoian 2004)

Két szín közötti különbség kiszámítására használjuk a ΔE -t (Empfindung azaz érzés), melyre elsőként a ΔE^*_{ab} formula volt használható.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}.$$

A formulát azért fejlesztettek ki, hogy lehetőségünk legyen 2 színes tárgy közti színekülönbség kiszámítására adott kísérleti körülmények között. A klasszikus CIELAB a két tárgy közötti teljes színekülönbség standard paramétere és a két egymástól a tér bármilyen irányában elhelyezkedő színpont közti távolság kiszámítható ezzel az egyenlettel.

1994-ben a képletet módosították, mivel a korábbi egyenlet csupán a 3 dimenziós pontok közti különbségek kiszámítására volt alkalmas és nem vette figyelembe az egyes színek percepcióis különbségeit. A ΔE^*_{94} képletben már az a^* és b^* koordinátákat a C (Croma) és h (hue) értékekre cserélték ki.

$$\Delta E_{94}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

A ΔE_{00} formulát pedig 2001-ben dolgozták ki elődjének továbbfejlesztése érdekében. A CIEDE2000 speciális korrekciókat tartalmaz a CIELAB színtér egyenetlenségére (ezen súlyozási függvények az S_L a világosság kompenzációjára, S_C a telítettség kompenzációjára és S_H a színezet kompenzációjára). Valamint kompenzációs paramétereket (K_L , K_C és K_H) a megvilágítási és látási feltételek szempontjából is. A képletben az R_T rotációs függvény, a chroma (színtelítettség) és a hue (színárnyalat) különbségek kölcsönhatását veszi figyelembe a kék régióban (CIE Colorimetry Report 2004).

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

A számított és az észlelt színekülönbségek közötti eltérés érdekében javasolt a CIEDE2000 színekülönbség képlet (ΔE_{00}) használata (Gómez-Polo és mtsai 2016). Wee és munkatársai vizsgálatukban is megállapították, hogy a CIEDE2000 formula jobb indikátora lehet az emberi szem észlelhetőségi és elfogadhatósági küszöbértékének méréséhez, mint a korábban használatos formulák (Wee és mtsai 2007). Később bemutatásra kerülő vizsgálatainkhoz ezért a CIEDE2000 képletet alkalmaztuk.

Az emberi szem rendkívül érzékeny a színekülönbségekre. Azt a határértéket, amikor a vizsgálók 50%-a lát különbséget két szín között, viszont 50%-a nem, észlelési küszöbnek nevezzük (perceptibility threshold: PT). Elfogadhatósági küszöbértéknek (acceptability threshold: AT) nevezzük az a határértéket ahol a vizsgálók 50%-a elfogadhatónak tartja a színeltérést, 50%-a pedig nem (CIE technical report 2016). Egy korábban a Fogpótlástani Klinikán is végzett vizsgálat eredményei alapján a később bemutatásra kerülő vizsgálatainkban a CIEDE2000 képletet alkalmazva, az észlelési küszöböt (PT) $\Delta E=0,8$ -ra, míg az elfogadhatósági küszöböt (AT) $\Delta E=1,8$ -ra állítottunk be (Paravina és mtsai 2015).

2. Célkitűzések

A klinikusok számára a monolitikus restaurátumok készítése, a gyártási folyamatok leegyszerűsödése mellett, esztétikai szempontból tehát nehézségeket vethet fel. Az anyagok kémiai összetétele, illetve a különféle feldolgozási lehetőségek eljárásai is befolyásolhatják a végleges színt. Majd később a klinikai tényezők, például a helyreállítani kívánt csonk színe, a rögzítéshez használt ragasztó cement is befolyásolhatják a végleges színt. Ennél fogva talán még fontosabbá vált, hogy ismerjük az alkalmazni kívánt anyagainak optikai tulajdonságait és a fogszín-meghatározás korszerű lehetőségeit, hogy azokkal még inkább élethűbb és a magas esztétikai igényű pácienseink elvárásainak megfelelő fogpótlásokat tudjunk készíteni. Ezért jelen dolgozat célkitűzései a következők:

- **In vitro** vizsgálatunk célja üvegkerámia (IPS e.max CAD) koronák optikai tulajdonságainak vizsgálata, figyelembe véve a preparált fog vagy csapos műcsonk színét, a kerámia rétegvastagságát, transzrucenciáját és az alkalmazni kívánt ragasztó cement színét. Célunk a színkülönbségeket egy általunk választott referencia koronához hasonlítani az elfogadhatósági ($\Delta E_{00} \leq 1,8$) és észlelhetőségi ($\Delta E_{00} \leq 0,8$) küszöbértékeket figyelembe véve. Null hipotézisünk, hogy a vizsgált paraméterek nem befolyásolják az üvegkerámia CAD/CAM koronák végleges színét.
- **Klinikai** vizsgálatunk célja 3Shape Trios 3 intraorális szkennel történő fogszín-meghatározás összehasonlítása fogszínkulcsokkal (Vita Classical és Vita Linearguide 3D-master), illetve spektrofotométerrel (Vita Easysshade Advance 4.0) történő fogszín-meghatározó rendszerekkel. Célunk vizsgálni, hogy az egyes rendszerek által meghatározott fogszín értékek közül melyik a leggyakrabban választott, illetve értékeljük a megismételhetőséget (intrapersonal repeatability) is. A fogszín-meghatározásokhoz szükséges időket is összehasonlítjuk. Null hipotézisünk, hogy az intraorális szkennel végzett fogszín-meghatározás eredményei nem különböznek a spektrofotométerrel mért, illetve a fogszínkulcsokkal meghatározott értékektől.

3. Módszerek

3.1. In vitro vizsgálat

In vitro vizsgálatunkban a klinikumban is használható kézi spektrofotométerrel (Vita Easyshade Advance 4.0) mértük lítium-diszilikát (IPS e.max CAD HT, LT) monolitikus, 1,0 mm és 1,5 mm rétegvastagságú A1 színű koronák végleges színét, kilenc különböző csonkon (IPS natural Die material, cirkónium-dioxid és fémötvözetek) három különböző színű try-in (próba) cementet (Variolink Esthetic try-in paste) alkalmazva.

3.1.1. Műfogak előkészítése

Vizsgálatunkhoz műanyag fogakat használtunk mulázsba helyezve. A fogak előkészítését megelőzően első lépésként Trios intraorális szkener (3Shape Trios color, Dánia, Koppenhága) segítségével digitális lenyomatot vettünk a később preparálni kívánt műfogakról (10. ábra). Az alsó és felső fogív lenyomatozását követően a két állcsont összeillesztésével az okklúziót is rögzítettük. Ezáltal a később preparálásra kerülő műfogak eredeti koronaformáját megőriztük és ezt a későbbiekben a koronák tervezéséhez használtunk fel.



10. ábra: Preparáció előtti digitális lenyomatvétele a preparálni kívánt műfogakról - prepreparációs szkennelés (saját ábra).

A preparálás során jobb felső első kisőrlő műfog (FDI 1.4.) Chamfer vállas előkészítését végeztük el 1,0 mm és 1,5 mm-es falvastagságú teljes kerámia, szőlő korona készítéséhez (11. ábra). A preparálás ellenőrzésének érdekében a maxilla mulázs jobb felső kvadránsáról C szilikonnal alaplenyomatot (Zetaplus, Zhermack, Badia Polesine, Olaszország) vettünk, amely szilikon blokkokat a később vizsgálandó kerámia korona számára megfelelő rétegvastagság biztosításához szükséges foganyag elvételéhez használtuk fel (12. ábra).

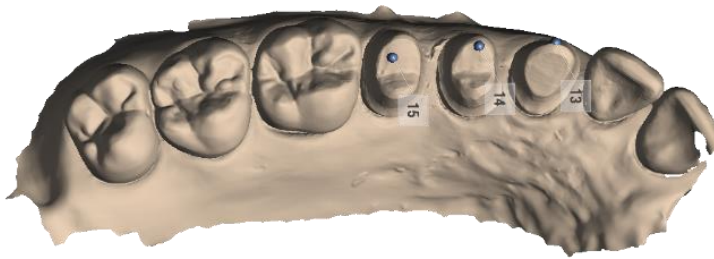


11. ábra: Műfogak Chamfer vállas preparációja (saját ábra).



12. ábra: A preparáció szilikon blokkal történő ellenőrzése (saját ábra).

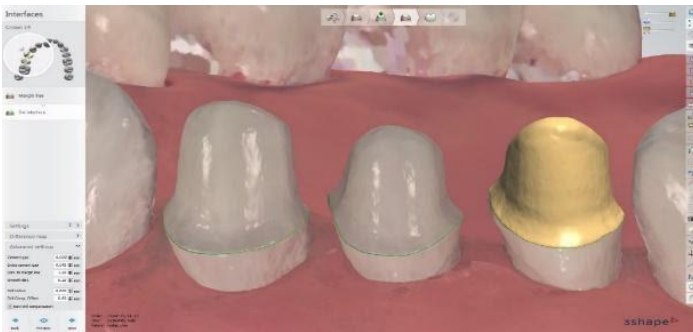
További ellenőrzéshez önkötő akrilátból a preparált fogakra koronákat készítettünk. Az akrilát koronákat egy falvastagság mérő segítségével ellenőriztük le. Végül az előkészített csonkokat Trios Color (3Shape, Dánia, Koppenhága) intraorális szkener segítségével digitalizáltuk (13. ábra).



13. ábra: A preparált csonkok digitális lenyomata (saját ábra).

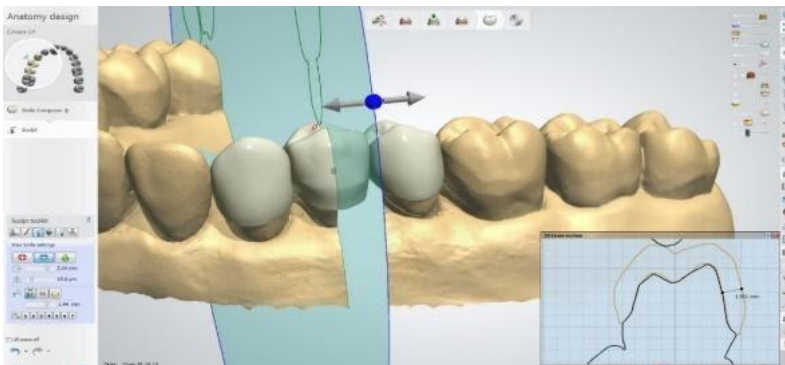
3.1.2. Kerámia koronák tervezése

A Semmelweis Egyetemen működő Interdental Studio fogtechnikai laboratóriumában Dental Designer CAD tervező programmal (3Shape, Dánia, Koppenhága) terveztük meg az FDI 1.4-es, valamint a szomszédos FDI 1.3 és FDI 1.5 csonkokra is a koronákat. A tervezésben a cement számára a program e.max kerámia koronákhoz ajánlott alap beállítását használva, 40 µm-es rést hagytunk a korona axiális falainál, amit a marginális szélnél 10 µm-re csökkentettünk (14. ábra). CAD/CAM módszer alkalmazásával biztosítottuk, hogy minden korona azonos méretű, és teljesen egyforma legyen.



14. ábra: Cementrés beállítása a DentalDesigner tervező programban (saját ábra).

A korona színének meghatározáshoz használt spektrofotométer a Vita Easyshade Advance 4.0 mérőfejének átmérője 5mm-es. Ennek figyelembe vételével biztosítottuk az elkészülő korona esetében a bukkális oldalon az egyenes 1,0 mm-es és 1,5 mm-es falvastagságot. Így a mérőfej alakjához jobban illeszkedő, de még anatómikus formákat terveztünk (15. ábra).



15. ábra: Koronák tervezése a DentalDesigner programban, a bukkális felszínen a Vita Easyshade Advance 4.0 spektrofotométer mérőfejének átmérőjét figyelembe véve (saját ábra).

Tervezésünk pontosságának ellenőrzése érdekében, az elkészült tervek alapján Roland marógéppel poli-metil-metrakrilát (PMMA) anyagból készítettünk koronákat és azokat a preparált műanyag csomkokon ellenőriztünk le (16. ábra).



16. ábra: PMMA ellenőrző koronák a preparált műanyag fogakon (saját ábra).

3.1.3. A koronák marása és végső szinterelés

A terveket tartalmazó fájlokat az Everest, KaVo CAM faragógységhez a németországi Bieberach-ba küldtük. Az FDI 1.4 fogra a koronák IPS e.max CAD lítium-diszilikát A1 színű kerámiából 2 féle transzlucenciában: magas HT (High Translucency) és alacsony LT (Low Translucency) transzlucenciában. A könnyebb modellezhetőség érdekében monolitikus koronák készültek variációnként 5-5 db (HT/LT; 1,0mm/1,5mm). Az approximális kontaktpontok biztosítása érdekében a szomszédos FDI 1.3 és 1.5 koronákat is elkészítettük.

A Németországban mart és hozzánk megérkezett lila színű előkristályosított koronák a 17. ábrán láthatók az eredeti műanyag csonkokra illesztve a mulázsban.

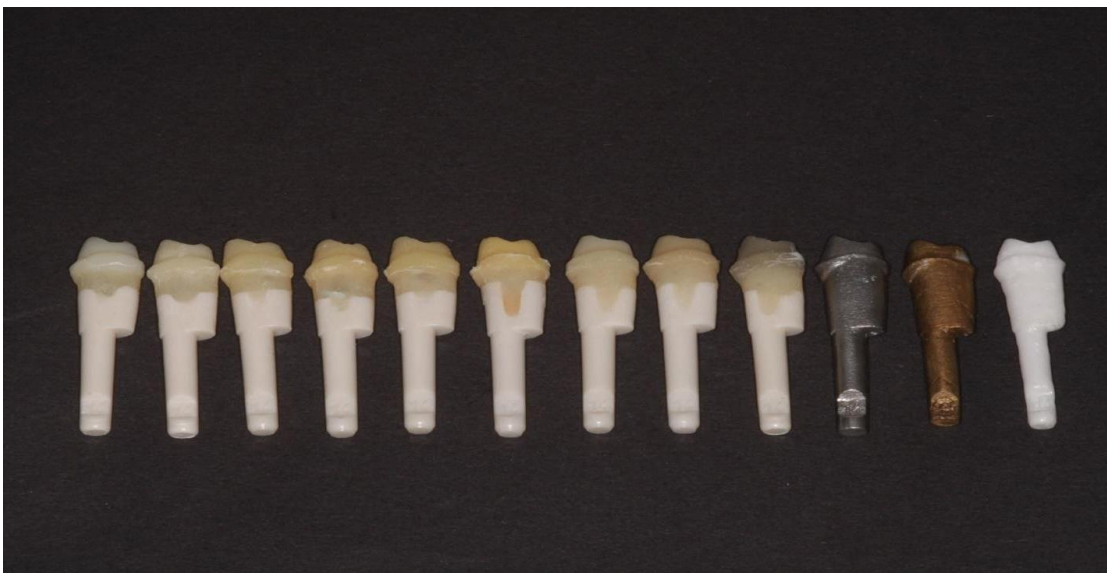


17. ábra: Lila színű IPS e.max CAD előkristályosított koronák a preparált műanyag fogakon a mulázsban (saját ábra).

A glazúr folyadékkal történő előkezelés után, a koronák végső szinterelése a termékleírásában lévők szerint történt meg az Interdentál Stúdió (IDS) fogtechnikai laboratóriumban.

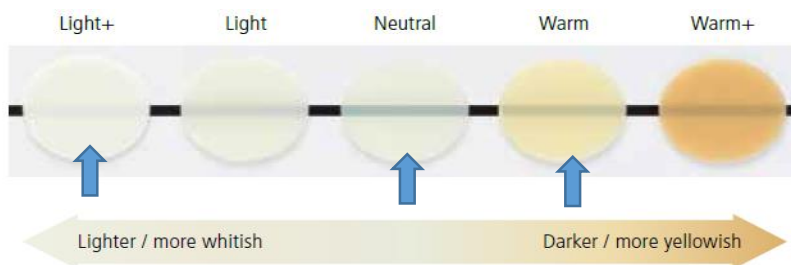
3.1.4. A vizsgálatban használt csonkok és próbacementek

A különböző színű csonkok duplikálással és fotopolimerizációval IPS Natural Die kompozit anyagból 9 féle színben készültek el. Emellett duplikálást követő öntéssel Co-Cr ötvözetből és arany színű fémből, illetve szkennelést követő marással színezetlen szuperfehér cirkónium-dioxidból is készültek csonkok. A 12 féle csonkot mulázsba visszahelyezhető nyelvekhez rögzítettük (18. ábra). Külön készültek csonkok a kétféle rétegvastagságú koronához (1,0 és 1,5 mm), így összesen 24 db csonk készült el.



18. ábra: A mulázsba visszahelyezhető nyelekkel ellátott 12 féle vizsgált csonk (saját ábra).

A koronák csonkokra illesztése Variolink Esthetic próbacementtel történt. A try-in paszta előnye, hogy vízzel könnyen letörölhető és nem köt meg. Ez a cement típus a 19. ábrán látható 5 színben létezik, mi a legopakabb light plus, a sárgás színezetű warm és a transzparens neutral árnyalatot alkalmaztuk.



19. ábra: Variolink Esthetic próbacemta forgalomban kapható színei (61) és az általunk vizsgált színek nyilakkal jelölve.

3.1.5. A színmérés folyamata

A mérés folyamata során a cement felvitele után a koronákat ráillesztettük a csonkra, majd a cement felesleget vattagombóccal letöröltük. A spektrofotométert minden mérés előtt kalibráltuk a talpban lévő ismert színű kerámia kocka segítségével a gyártó utasításai szerint (20. ábra).



20. ábra: A színmérés folyamata Vita Easysshade Advance 4.0 spektrofotométerrel (saját ábra).



21. ábra: Vita Easysahde Advance 4.0 spektrofotométer és a bukkális mérőpontot stabilizáló állvány a mulázssal (saját ábra).

A szín mérésekor ügyeltünk a mérőfej pontos elhelyezésére a koronák bukkális felszínén. A színmérésekhez egy speciális állványban standardizáltuk a bukkális mérési pontot (21. ábra).

Minden színmérést 3-szor ismételtünk meg. Az in vitro összehasonlíthatóság érdekében a koronákat egy általunk vizsgált anyagokból összeállított referenciához hasonlítottuk (1,5 mm falvastagságú, A1 színű, HT korona, ND2 csonkra, neutral try-in pasztával ragasztva). A színkülönbség (ΔE_{00}) számításához a dolgozatban már korábban is említett, CIEDE 2000-es képletet alkalmaztuk. Két választott küszöbérték az észlelhetőségi küszöb: 0,8 volt, illetve az elfogadhatósági küszöbérték 1,8 volt. Két szín között észlelhető a különbség, ha a vizsgálok 50% észrevesz különbséget, illetve elfogadható, ha a válaszadók 50%-a még elfogadhatónak tartja a színkülönbséget.

A Vita Easyshade Advance 4.0 spektrofotométer egy szín CIE $L^*a^*b^*$ és LCH értékeit is méri, amely az ellentétes színpárok rendszerén alapul. Ezek alapján egy szín pontosan elhelyezhető egy háromdimenziós koordináta rendszerben. A kapott L, C, h értékeket a CIEDE2000 képletbe behelyettesítve számoltuk ki a ΔE_{00} értékét.

3.1.6. Statisztikai analízis

A statisztikai elemzéshez a négytagú interakciós tényezőt alkalmazó modellt használtuk. A modell illeszkedését úgy vizsgáltuk, hogy a maradék négyzetösszeg és a teljes négyzetösszeg hányadosát kivontuk egyből (azaz kiszámítottuk az R^2 determinációs együtthatót), valamint megvizsgáltuk az észlelhetőségi és az elfogadhatósági küszöb alatti maradékok arányát. A ΔE_{00} modell illeszkedése az $R^2 = 0,9798$ érték tükrében figyelemre méltóan jó volt (teljes négytagú interakciós struktúrával $R^2 = 0,9860$ volt elérhető). A maradékok a megfigyelések 91,5%, illetve 99,7%-ában voltak az PT (észlelhetőségi küszöbérték), illetve AT (elfogadhatósági küszöbérték) alatt. Az egyes megfigyelésekhez tartozó C és h paraméterértékeket az L, az a és a b értékéből számítottuk ki. A L, a, b, C és h értékeket ezután mérési tripletenként átlagoltuk. Ezt az átlagolt adatkészletet használtuk a ΔE_{00} kiszámításához. Az azonos koronavastagságú és -transzlucenciájú (de változó csonk- és cementanyagú) megfigyelések összevonására koronaazonosítót generáltunk. Hierarchikus, kevert hatásmodalitású lineáris regressziót alkalmaztunk a technikai paraméterek színegyezésre

gyakorolt hatásának értékelésére. A kimeneteli változó a CIEDE2000 képlet alapján számított ΔE_{00} volt. A fix hatású magyarázó változók közé tartozott a korona áttetszősége, a korona vastagsága, a csonk- és a cementtípus (mind kategorikus), valamint interakciós tényezők a következő változók között: vastagság és transzlucencia; vastagság és csonk; transzlucencia és csonk; cement és csonk; transzlucencia, vastagság és csonk (háromtagú interakció). A cement és a vastagság, valamint a cement és a transzlucencia közötti interakciókat nem alkalmaztuk, mert hatásuk a többi interakcióéhoz képest elhanyagolható méretűnek bizonyult. A modell tartalmazta a koronaazonosító random hatását, és lehetővé tette a kimenetel heteroszkedasztikus szórását a csonkok kategóriái mentén. A modellezési eredményeket 95%-os konfidencia intervallumokkal (CI) ellátott korrigált illesztett értékek vagy korrigált hatásbecslések formájában fejeztük ki. A szignifikancia kritériumát $\alpha = 0,05$ -ben határoztuk meg. Az adatkezeléshez és -elemzéshez a Stata (StataCorp LLC, Texas, Egyesült államok) statisztikai programcsomagot használtuk.

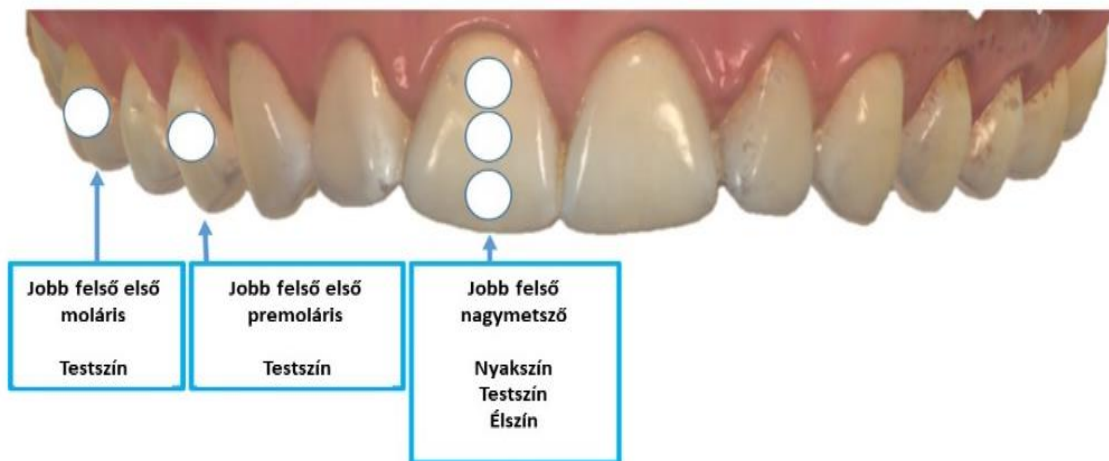
3.2. Klinikai vizsgálat

Klinikai vizsgálatunk célja összehasonlítani az intraorális szkennelrel végzett (3Shape Trios 3) fogszín-meghatározás hatékonyságát spektrofotométerrel (Vita Easyshade Advance 4.0) illetve hagyományos fogszínkulccsal (Vita A1-D4, illetve Vita LinearGuide) végzett fogszín-meghatározással. Célunk vizsgálni, hogy az egyes rendszerek által meghatározott fogszín értékek közül melyik a leggyakrabban választott, illetve értékeljük a megismételhetőséget (intrapersonal repeatability) is. A fogszín meghatározásokhoz szükséges időket is összehasonlítjuk.

Null hipotézisünk, hogy az intraorális szkennelrel végzett fogszín-meghatározás eredményei nem különböznek a spektrofotométerrel mért, illetve a fogszínkulcsokkal meghatározott értékektől.

A Semmelweis Egyetemen végzett vizsgálathoz a Semmelweis Egyetem Etikai Bizottsága (SE TUKEB szám: 61/2016) adott engedélyt.

A kutatásban a Semmelweis Egyetem Fogorvostudományi Kar negyed- és ötödéves fogorvostan-hallgatói, 5 lány és 5 fiú vettek részt. A hallgatóknak nem volt tapasztalata fogszín-meghatározás és intraorális szkennelés terén. Minden hallgató 9 személy fogszínét határozta meg, az első és utolsó minden esetben ugyanaz volt: egy 25 éves egyetemi dolgozó nő (Patient R). A vizsgált további 8 személy 20-25 év közötti egyetemi hallgató volt, 4 férfi és 4 nő. A hallgatók párokban dolgoztak egymásnak asszisztálva a vizsgálatok alatt, így a páros mindkét tagja 9-9 főt vizsgált. A vizsgált személyek kiválasztása esetén kritérium volt az ép, teljes fogív (kivéve bölcsességfogat), a jó szájhigiéné, az intakt fogazat (kizáró tényező: tömések vagy fogpótlások a vizsgált fogakon, illetve fogszuvasodás) és intakt lágyrészek (ép, gyulladásmentes parodontium). A vizuális illetve digitális fogszín-meghatározást egy 5 éves protetikai tapasztalattal rendelkező fogorvos felügyelte és ellenőrizte le. Minden vizsgáló meghatározta a 9 vizsgált személy fogszínét Vita Classical, Vita Linearguide fogszínkulccsal, illetve Vita Easyshade Advance 4.0 spektrofotométerrel. Majd a hallgatók Trios 3 intraorális szkennerral digitális lenyomatot vettek a vizsgált személyekről és a beépített fogszín-meghatározó funkciót használva meghatározták a vizsgált személyek fogszínét. Vizsgált fogak voltak a jobb felső nagymetsző 3 ponton (nyak-, test- és élszín), a jobb felső első kisörlő egy ponton (testszín) és a jobb felső első nagyörlő egy ponton (testszín) (22. ábra).



22. ábra: A fogszín-meghatározások során vizsgált fogak és mérési pontok a bukkális felszíneken egy vizsgált személy digitális lenyomatán ábrázolva (saját ábra).

A vizsgálatok 2016. június – 2017. szeptember között zajlottak.

3.2.1. A vizsgáló hallgatók oktatása

A vizsgálatban szereplők részt vettek fogszínnel kapcsolatos elméleti oktatáson. Az oktatás során a résztvevők megismerkedtek a színérzékelés és vizuális érzékelés élettani alapjaival, a különböző színelméletekkel, a világosság, a telítettség, a színezet fogalmaival, az $L^*a^*b^*$ és a Munsell-féle rendszerrel, a metaméria jelenségével és természetesen a fogak különböző optikai tulajdonságaival is. Az elméleti oktatást gyakorlati oktatás követte, mely során a résztvevők szürke háttér mellett 5500 K színhőmérsékletű Smile Lite lámpa (SmileLine, Svájc) segítségével gyakorolhatták a fogszín-meghatározás lépéseit, illetve a spektrofotométer funkcióinak használatát (23. ábra).

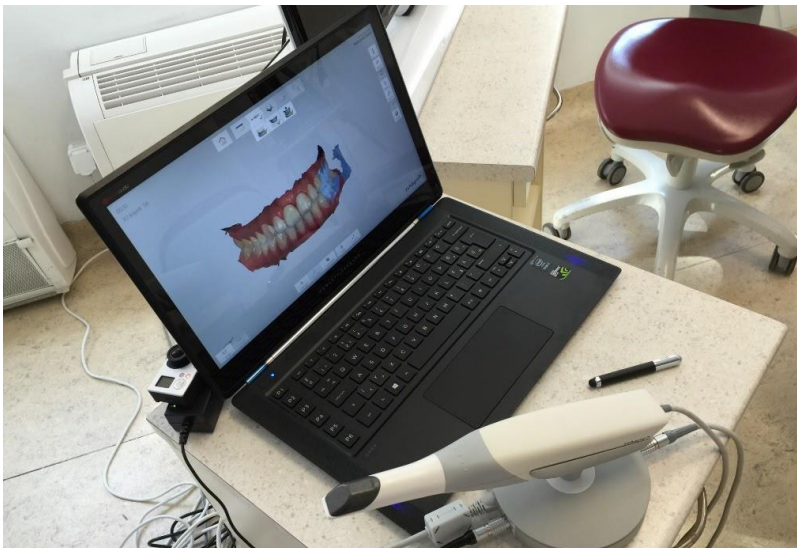


23. ábra: A fogszín-meghatározás gyakorlása egy a vizsgálatban részt vevő fogorvostanhallgató által (saját ábra).

A gyakorlás során a hallgatók a fogszín-meghatározást szemüktől kb. 30 cm távolságból végezték letakart számozású fogszínkulcsok segítségével melyek Vita Classical estében a B1, D2, A3.5 kulcsok, míg LinearGuide esetében a 2L1.5, 3M2, 4R1.5 kulcsok voltak. VC

esetén is ki kellett választaniuk a letakart számozású kulcsokkal leginkább megegyező fogszínkulcsot, míg LinearGuide esetén a 2 lépéses fogszín-meghatározási protokollt követték, melynél először a sötétszürke tárolóból az egyes világossági csoportok reprezentatív képviselőiből kiválasztották a leginkább egyezőt, majd a színezet és telítettség kiválasztása egy lépésben a világosszürke tárolóból került kiválasztásra. Az Easysshade spektrofotométer esetén a hallgatóknak szintén letakart számozású kulcsok színét (A1, A2, A3.5) kellett mérni „single tooth” módban.

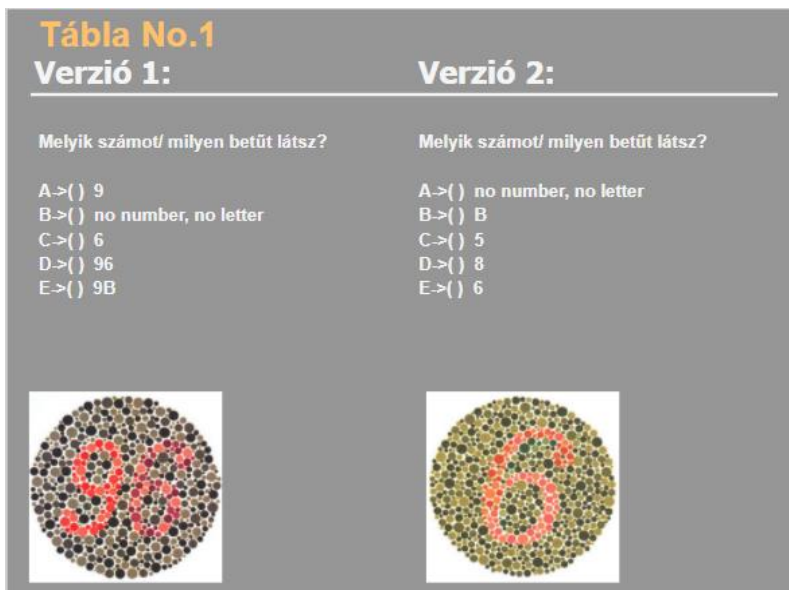
Az intraorális szkennelést kapcsolatos elméleti oktatás során egy szkennelésben tapasztalt fogorvos tartott előadást és a munkacsoport által készített oktatóvideó megtekintésére került sor. Az előadás főként a digitális szkennerek típusairól, felépítésükről, működési elvükről, illetve indikációs területeikről szólt. A Trios 3 intraorális szkennert részletesen is bemutatásra került (24. ábra), mivel vizsgálatunkban ezt a szkennert használtuk. A Fogpótlástani Klinika Digitális Fogászati Munkacsoportja által készített oktatóvideó főleg a szkennert gyakorlati alkalmazására fókuszál. A videóban lépésről-lépésre bemutatásra került a digitális lenyomatvétel folyamata, így segítve a hallgatók felkészülését a vizsgálatra. Ezt követte a szkennert gyakorlati oktatása. A hallgatók intraorális szkennelést digitális lenyomatot készítettek egy artikulátorba gipszelt alsó és felső fogív állcsont mintáról az okklúzió rögzítésével.



24. ábra: A vizsgálatban használt Trios 3 intraorális szkennert számítógéphez csatlakoztatható Pod verziója (saját ábra).

3.2.1.1. Ishihara teszt

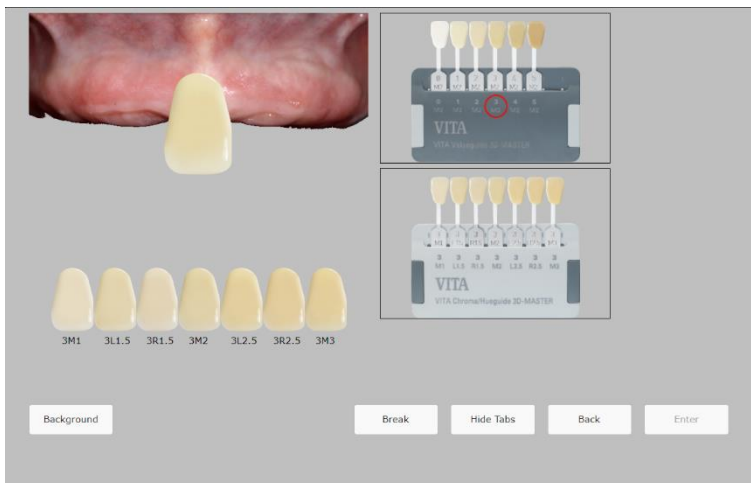
A vizsgálatban részt vevők kitöltötték az Ishihara tesztet, mely 1917-óta a leggyakrabban választott, a veleszületett vörös (protanopia) – zöld (deutanopia) színtévesztő rendellenességek kizárására szolgáló teszt. A veleszületett színtévesztés X kromoszómához kötött rendellenesség ezért férfiakban gyakoribb (kb. 8%), mint a nők körében (0,5%) (Kandel és mtsai 2000). A teszt maximum 38 ábrát tartalmaz, melyeken színes pöttyök közt a háttértől eltérő színű pöttyökkel ábrázolt számokat vagy ábrákat láthatunk. Ezen számokat vagy ábrákat a színtévesztők nehezen vagy egyáltalán nem látják. A vizsgálatban részt vevő fogorvostan-hallgatók csoportos Ishihara teszten vettek részt, melynek során projektoron kivetített 25 db Ishihara táblán számokat kellett felismerniük. A hallgatók 1-es vagy 2-es verziót töltöttek ki, hogy az egymás mellett ülők a beírt eredményeket ne befolyásolják (25. ábra). Minden táblát 15 másodpercig lehetett megfigyelni és a megadott 5 válaszból kiválasztani a megfelelőt. A későbbi vizsgálatunkban a teszten megfelelő hallgatók vehettek részt, azaz akik maximum 2 hibát vétettek a kitöltés során (Miyahara 2007).



25. ábra: A vörös-zöld színtévesztés kizárására használt Ishihara teszt első ábrája (saját ábra).

3.2.1.2. Dental Color Matcher

A résztvevők kitöltötték a 3D-master színelméletet gyakoroltató, Vita LinearGuide fogszínkulcsot használó online programot a Dental Color Matcher-t (DCM, Huston, Egyesült Államok), melyet a houstoni egyetem professzora Rade D. Paravina dolgozott ki (54) (26. ábra). A program kitöltése körülbelül 90 percet vesz igénybe. Az első feladatcsoport „Closest match exercise” lényege, hogy a program által megadott fogak színéhez leginkább hasonlító fogszínkulcsot megtaláljuk. A fog színével pontosan egyik fogszínkulcs sem egyezik meg. A következő „Matching pairs” feladatban a fogszínkulcsokat a vele azonos színű fogszínkulcsok mellé kell húzni. Az „Exact match exercise” feladat lényege, hogy pontosan a fog színének megfelelő fogszínkulcsot kell kiválasztani. A feladat első lépésében a megfelelő világossági csoportot (0-1-2-3-4-5) kell kiválasztani, majd a második lépésben a telítettség és színezet kiválasztása a feladat. A hallgatók eredménye automatikusan kiértékelésre került a program által.



26. ábra: A Dental Color Matcher (Huston, Egyesült Államok) program egyik ábrája (54), mely a 3D-master színelméletet gyakoroltatja a Vita LinearGuide fogszínkulcsot használva (saját ábra).

3.2.2. Fogszín-meghatározás

Első lépésként vizuális módszerrel, fogszínkulcsokkal került meghatározásra az előre kijelölt fogak fogszíne. A jobb felső nagymetsző (FDI 1.1) 3 ponton (nyak-, test- és élszín), míg a jobb felső első kisőrlőn (FDI 1.4) és a jobb felső első nagyőrlő (FDI 1.6) fagon egy ponton (testszín) történt mérés. A vizsgálatokhoz minden esetben szájtérpesz került felhelyezésre, ezzel biztosítva a vizsgált fogakra megfelelő rálátást. A szín meghatározás érdekében fontos, hogy a fogak tiszták legyenek, a páciens ne viseljen feltűnő színű rúzszt vagy ruhát. Javasolt a természetes nappali fénynek megfelelő színhőmérsékletű 5500K-es lámpa és szürke nyálkendő használata. Fontos, hogy a fogszínkulcsot a szentől kb. 30 cm-es távolságból nézve gyorsan döntsünk a fogszínről. A fogak kiszáradásának elkerülése érdekében a fogak felszínét folyamatosan vízzel nedvesítettük.

A hétköznapi gyakorlatban legelterjedtebb Vita A1-D4 fogszínkulccsal egy lépésben történt a leginkább színazonos pár megtalálása. A kétlépéses Vita Linearguide fogszínkulccsal először a sötétszürke tárolót használva a világosság szerinti csoport, majd egy lépésben a világosszürke tárolót használva a telítettség és színezet együtt került kiválasztásra. Annak érdekében, hogy ne befolyásolja a vizuális fogszínválasztást csak ezt követte a digitális fogszín-meghatározás Vita Easysshade Advance 4.0 spektrofotométerrel. A mérőeszköz fejét a fogfelszínre merőlegesen tartva, egy gombnyomással történt a szín mérése. A digitális fogszín-meghatározáshoz a kezelőegység világítását lekapcsoltuk. A Vita Easysshade spektrofotométert a gyártó ajánlásai szerint minden színmérés előtt kalibráltuk és jobb felső nagymetsző esetén a 3 ponton történő funkciót választva, míg a jobb felső első kisőrlő és nagyőrlő területén az egy ponton történő mérési módszert kiválasztva mértük meg a fogszíneket. A méréseket a hallgatók többször megismételhetők és az általuk választott leggyakrabban mért értékek kerültek feljegyzésre. A mért értékek közül a 3D-master kódolású értékeket formanyomtatványon jegyeztük fel. A színméréshez szükséges időintervallumokat is feljegyeztük az egyes módszerek szerint.

3.2.3. Digitális lenyomatvétel

Első lépésben a digitális adatlapot töltöttük ki, majd a digitális munkalapon a diagnosztikai minta ikonra kiválasztva tanulmányi lenyomatot készítettek a hallgatók.

Közvetlenül az adatfelvétel után került sor a szájterpesz (Optragate, Ivoclar Vivadent) felhelyezésére, a gyártó utasításainak megfelelően. A diagnosztikai minta magában foglalja az alsó és felső fogív maradéktalan digitalizálását, illetve az okklúziós viszonyok rögzítését jobb- és baloldalon egyaránt. A digitális lenyomatkozás minden esetben a gyártó utasításai, és az oktatáson tanultak szerint történt. A standardizáció érdekében lenyomatkészítés előtt kalibrálni kellett az intraorális szkennert. A kalibrálás gyorsan és egyszerűen elvégezhető a kiegészítő fej és kalibrációs kártya segítségével. A Trios intraorális szkennelést történő fogszín-meghatározás során a szkennelés végén, a fogszín ikonra kattintva a rendszer automatikusan kiírja az általa mért 3D-Master fogszíneket. Ha nincs elég információ a szín

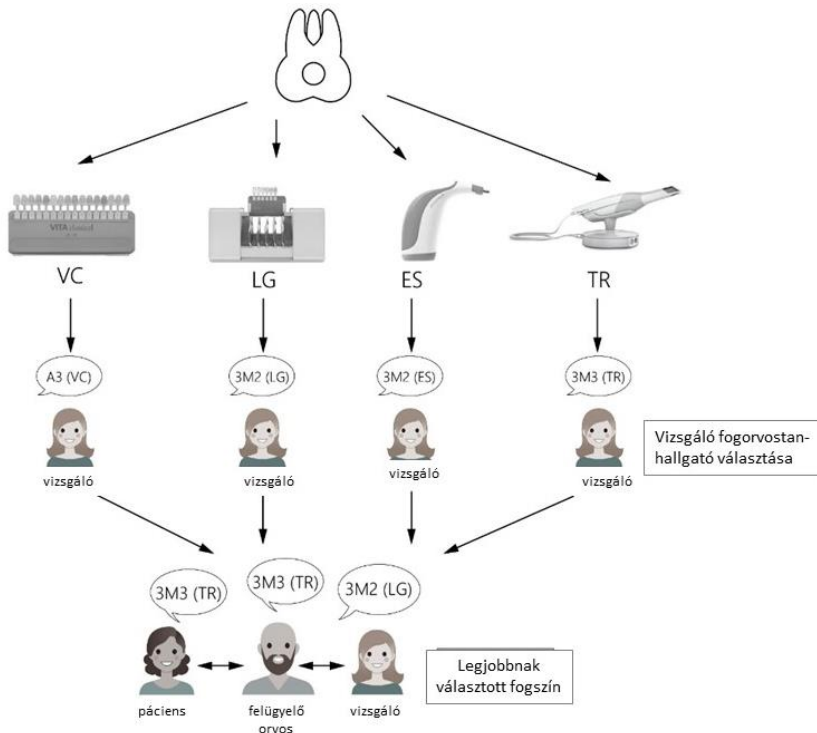


27. ábra: Digitális lenyomatvétel 3Shape Trios 3 intraorális szkenneléssel, egy, a vizsgálatban részt vevő fogorvostan-hallgató által (saját ábra).

méréséhez, akkor ezt a szoftver kék színnel jelzi, ilyenkor további adatok bevitelére, azaz további szkennelésre van szükség az adott területen (27. ábra).

3.2.4. A legjobbnak választott fogszín

Egy formanyomtatványon rögzítettük a kiválasztott fogszíneket és a fogszín-meghatározáshoz szükséges időintervallumokat. A kiértékelés során a legjobbnak ítélt fogszíneket kiválasztottuk. A hallgató által választott mind a 4 fogszín-meghatározó eszköz által kapott fogszín-fogszínkulcsokkal reprezentált képviselői közül, mind a páciens, mind a hallgató, mind pedig egy, a fogszín-meghatározásban jártas oktató kiválasztotta a számára a vizsgált személy fogával leginkább egyező, színhelyes fogszínt. A formanyomtatványon a fogszín 3D-master színekben lettek feljegyezve ES, LG, és TR esetén. VC esetén A1-D4 kódolással rögzítettük a színeket. Minden fog esetén csak a testszíneket ellenőrtük vissza (28. ábra).



28. ábra: A vizsgálat folyamata és a legjobbnak talált fogszín kiválasztása a páciens, a hallgató és a felügyelő orvos által (saját ábra).

Százalékban határoztuk meg legjobbnak tartott fogszíneket, illetve a meghatározáshoz szükséges időtartamokat. Az objektív színösszehasonlítás érdekében a színek LCh koordinátáit használtunk. Az intraorális szkener nem képes a fogszínek LCh értékeinek megadására. Ezért egy Taskadi által 2010-ben publikált Vita Classical fogszínkulcs színeit tartalmazó (Taskadi 2010), illetve Lee és munkatársai által ugyancsak 2010-ben publikált Vita 3D-master színeket tartalmazó konverziós táblázatokat használtunk a színekülönbségek (ΔE_{00}) kiszámításához (Lee és mtsai 2010). Az előző in vitro vizsgálatunkhoz hasonlóan a CIEDE2000 képletet használtuk a felügyelő orvos által választott legjobb fogszín és a vizsgáló hallgató által választott fogszín közötti különbség meghatározásához.

3.2.5. Intrapersonális megismételhetőség, az 1. és 10. alkalommal vizsgálat páciens adatainak összehasonlítása

A vizsgálatban a korábban említettek szerint az első és utolsó páciens minden vizsgáló esetén ugyanaz a személy volt (Patient R), így lehetőségünk volt összehasonlítani az első és utolsó fogszín-meghatározások adatait minden vizsgáló esetében. A legjobbnak választott színek %-osan kerültek elemzésre az egyes fogszín-meghatározó módszerek szerint. Az első és tizedik vizsgálat eredményeiből származó (intrapersonal repeatability), illetve a vizsgáló hallgató által és a felügyelő orvos által legjobbnak választott színek ΔE_{00} értékei egymásból kivonásra kerültek és doboz diagramok segítségével kerültek ábrázolásra az egyes fogszín-meghatározó rendszerek, illetve a mért fogfelszínek szerint.

3.2.6. Statisztikai analízis

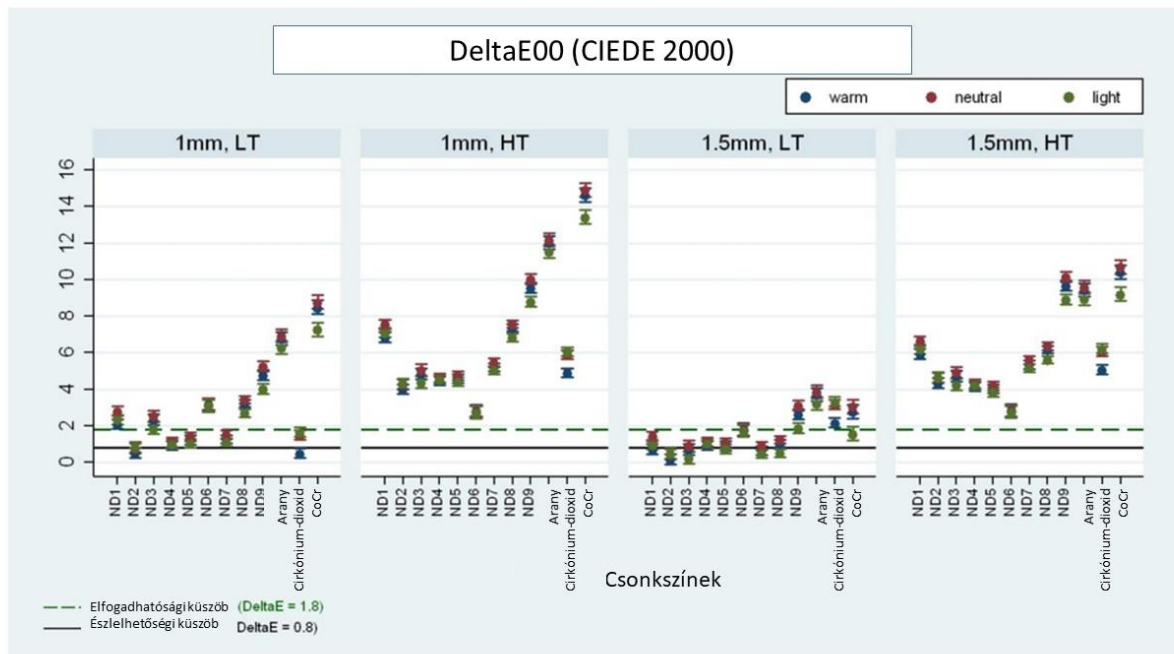
Az eredmények Stata (StataCorp LLC, Texas Egyesült államok) statisztikai programcsomagban kerültek feldolgozásra. Az adatfeldolgozás során a leíró megközelítés érvényesült, formális hipotézisvizsgálatot, statisztikai próbát nem végeztünk.

4. Eredmények

4.1. In vitro vizsgálatunk eredményei

4.1.1. A csonk színének hatása a kerámia koronák végleges színére

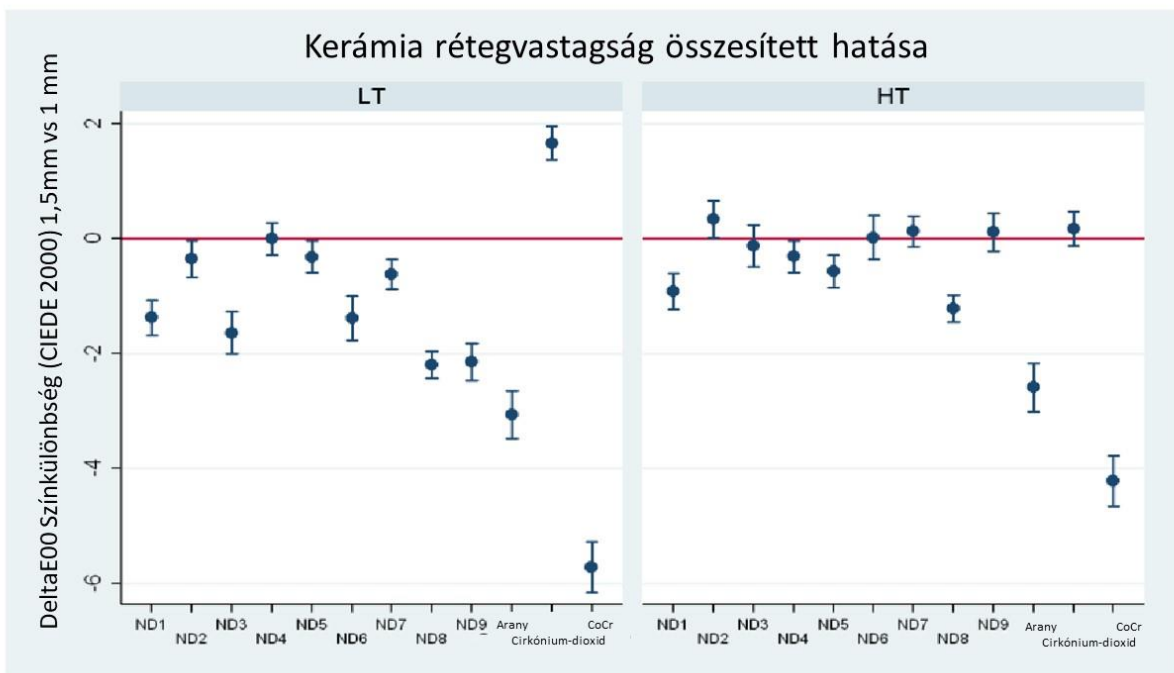
A CIEDE2000 képletet alkalmazva az összes mért 144 kombinációból (korona-csonk-próbapaszta) 41 kombináció esett az elfogadhatósági küszöbérték alá ($\Delta E_{00} \leq 1,8$), illetve mindösszesen 13 kombináció esett az észlelhetőségi küszöbérték alá ($\Delta E_{00} \leq 0,8$). A referencia koronához hasonlítva a legkisebb színeltérést a 1,5 mm falvastagságú alacsony transzluenciájú (LT) koronák esetében mérhettük. A CoCr és aranyszínű csonkok esetén egyetlen mért kombináció sem esett az észlelhetőségi küszöbérték alá. A legnagyobb színkülönbség a magas transzluenciájú (HT) 1,0 mm falvastagságú koronák esetén mértük CoCr csonkon (29. ábra).



29. ábra: Az 1,0 és 1,5 mm-es vastagságú, A1-es színű, LT és HT transzluenciájú IPS e.max CAD kerámia koronák és a warm, neutral és light plus cementszín ΔE_{00} módosító hatása a referenciához (1,5 mm, LT, A1 korona, ND2 csonkon, neutral Try-in paszta) képest a 12 félé különböző csonkszín szerint (saját ábra).

4.1.2. A kerámia rétegvastagság hatása a végleges színre

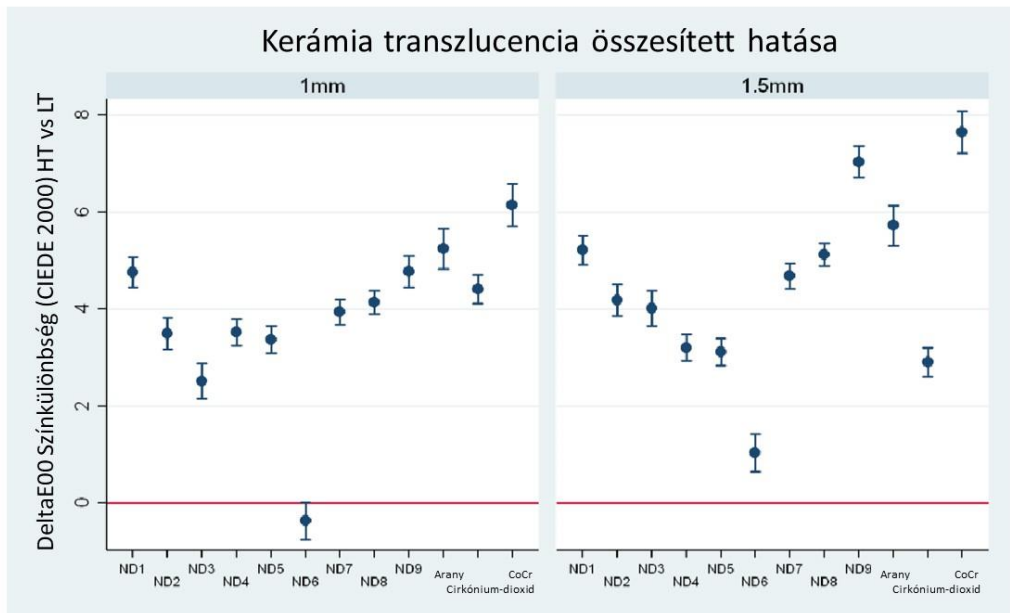
A 30. ábrán a negatív tartományba eső értékek kisebb színeltérést mutatnak (ΔE_{00}) a 1,5 mm falvastagságú koronák esetén az 1,0 mm falvastagságú koronákhoz képest a referenciához hasonlítva. Összességében elmondható, hogy a vastagabb koronák jobb fedőképességűek, kivéve, ha az anyag nagyon transzlucens (HT), mert ebben az esetben a falvastagság kisebb szerepet játszik. Az értékek HT koronák esetén egymáshoz közel esnek, ezért különbségük a 0-hoz (piros vonal) közelít. Érdekes eredmény, hogy a HT koronák esetén a falvastagság nem játszik fontos szerepet cirkónium-dioxid csonkokon, míg az LT estében fordított eredmény látható, azaz a vékonyabb 1,0 mm LT koronák jobb (kisebb ΔE_{00}) eredményt adtak a referencia koronához képest.



30. ábra: Az 1,0 mm és 1,5 mm kerámia falvastagság összehasonlítása. Az x tengelyen látható a 12 különböző csonk, az y tengely a 1,5 mm-es koronák ΔE_{00} különbségeit mutatja az 1,0 mm-es megfelelőikhez képest. A piros referenciavonal az 1,0 mm-es koronák átlagértékeit képviseli (saját ábra).

4.1.3. Kerámia transzlucenciájának hatása a végleges színre

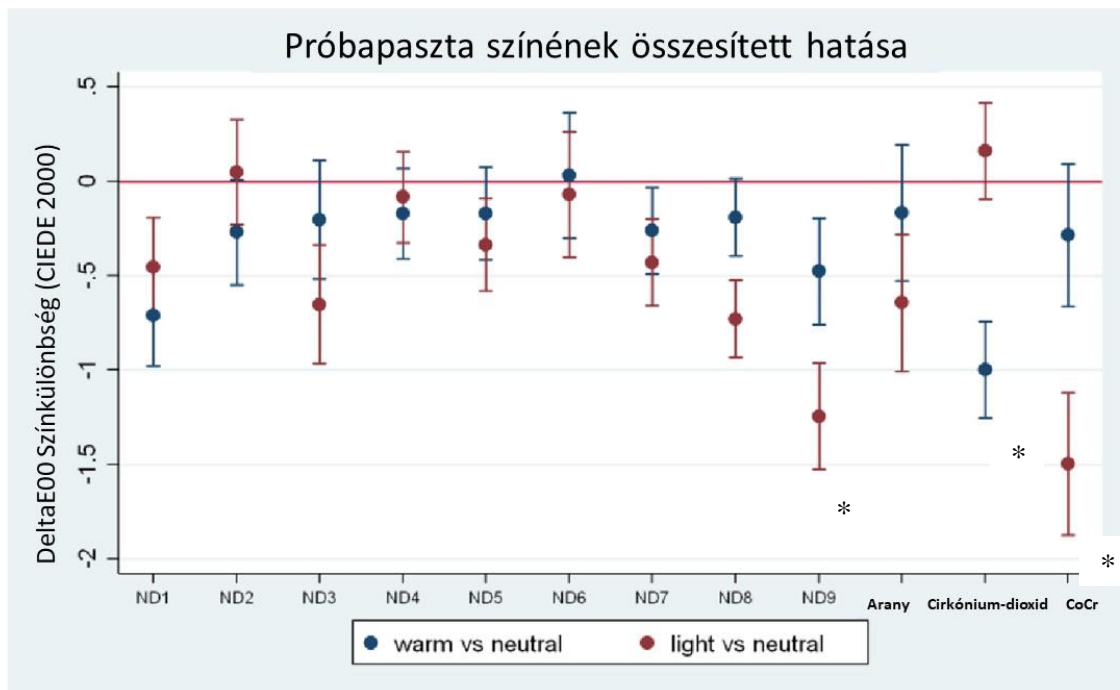
Látható az 31. ábrán, hogy a vártaknak megfelelően a magasabb transzlucenciájú koronák esetében nagyobb színeltérés mérhető a referenciához viszonyítva, mint a kevésbé színáteresztő LT koronák esetében. Azonban a főleg a 1,5 mm koronák esetében igaz, hogy az egyre sárgásabb színű kompozit csonkok esetén a színkülönbségek csökkennek, a várt növekedés ellenére (ND1-ND6), azaz a világosabb kompozit csonkokon a kerámia transzlucencia hatása nagyobb mértékű, míg a sötétebb csonkokon a kerámia transzlucenciája kevésbé befolyásoló tényező. Ez a jelenség is mutatja e koronák optikai tulajdonságainak komplexitását.



31. ábra: Az alacsony (LT) és magas (HT) transzlucenciájú koronák összehasonlítása. A piros vonal jelzi az LT koronák ΔE_{00} átlagértékeit a referenciához viszonyítva (saját ábra).

4.1.4. A próbapaszta színének hatása a kerámia koronák végleges színére

A következő 32. ábrán a ragasztó cement (azaz a próbapaszta) színének végleges szint befolyásoló hatása ábrázolódik. A negatív tartományba eső értékek esetén kisebb a színelkülönbség a vizsgált cement esetén a neutral referenciához viszonyítva. Ha a színelkülönbség értéke nagyobb mint 1, akkor klinikailag szignifikáns különbséget (*) találtunk: ez látható ND9 kompozit csonk és CoCr csonk esetén ha light plusz opak cementet alkalmazunk, illetve a színezetlen szuperfehér cirkónium-dioxid csonk esetén warm színezetű próbapaszta alkalmazásakor.



32. ábra: A próbapaszta színének hatása a neutral próbapaszta színéhez viszonyítva. Az x tengelyen láthatók a csonkok, míg az y tengelyen a tesztelt cement szín különbsége (ΔE_{00}) a neutral cementhez képest. A piros 0 érték a neutral cement mért ΔE_{00} átlagértékeit ábrázolja (saját ábra).

4.2. Klinikai vizsgálatunk eredményei

4.2.1. Legjobbnek választott fogszínek

A hallgatók, a felügyelő orvos, illetve a páciens is legtöbb esetben a páciens fogszínéhez leginkább passzolónak a LG (Linear Guide 3D-master) fogszínkulccsal választott fogszíneket választották (34,08%). Ezt követték a Vita Easyshade Advance 4.0 spektrofotométerrel meghatározott színek az esetek 26,56%-ban, majd a Trios 3 intraorális szkennelrel választott fogszínek 21,64%-ban, legvégül pedig a Vita Classical fogszínkulccsal választott fogszínek 16,7%-ban.

A 33. ábra az összes vizsgálat eredményét mutatja ahol a hallgatók által legjobbnek ítélt fogszíneket hasonlítjuk össze a felügyelő orvos által választott legjobbnek ítélt fogszínekkel. A leginkább különböző eredményeket a VC (Vita Classical) fogszínkulcsok esetében kaptuk. A 3D-master színek esetén, beleértve a LG, TR és ES által meghatározott színeket is kisebb különbségek voltak.

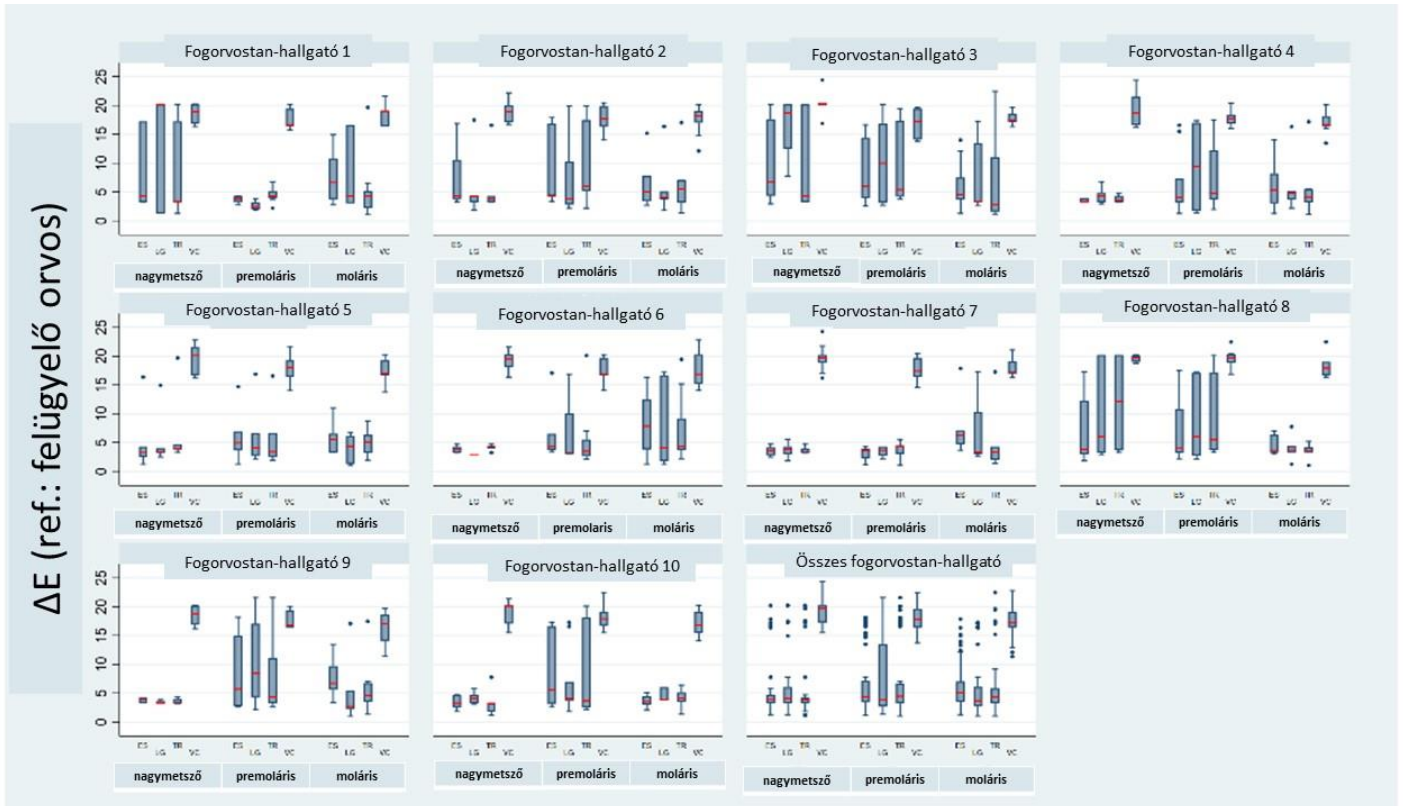
Ha a tapasztalt fogorvos által legjobbnek ítélt fogszín LG fogszínkulccsal került meghatározásra akkor a ΔE_{00} színekülbségek LG és ES esetén közel estek egymáshoz, de a VC által meghatározott fogszínek ΔE_{00} értékei minden fog esetében nagymértékben különböztek ettől.

Az egyes fogszín-meghatározó eszközök medián ΔE_{00} értékei a felügyelő orvos választásához képest a következők: LG 2,73; ES 4,29; TR 4,29; VC 16,35.

4.2.2. Intrapersonális megismételhetőség, az első és tizedik vizsgálat eredményeinek összehasonlítása

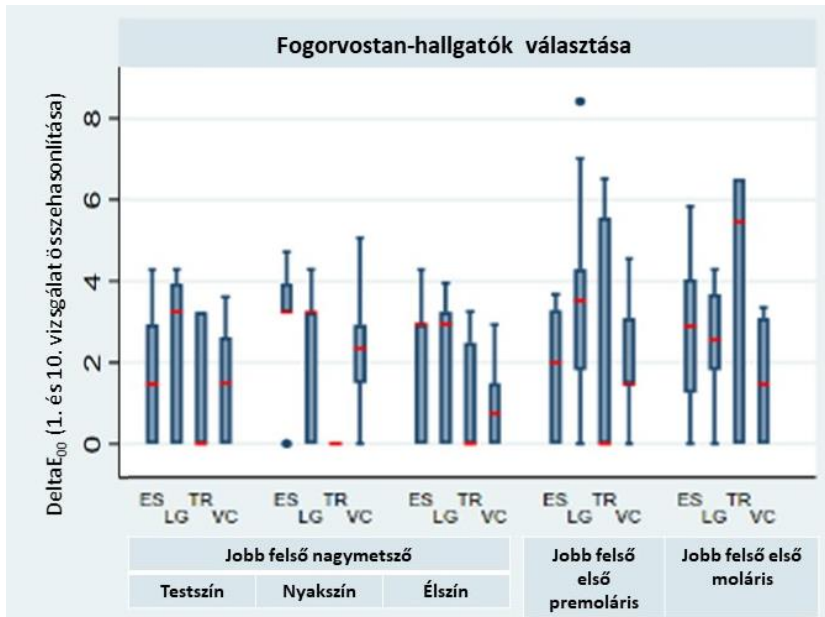
A vizsgálat során a hallgatók elsőként és tizedikként minden alkalommal ugyanannak a személynek (Patient R) határozták meg a fogszínét a négy rendszert alkalmazva.

Összehasonlítva ezeket a TR esetén 56%-ban, az ES esetén 32%-ban mérték ugyanazt a fogszínt a hallgatók, míg VC fogszínkulcs esetén 26%-ban és LG fogszínkulccsal 22%-ban választották ugyanazokat a színeket az első és tizedik vizsgálat alkalmával.



33. ábra: A hallgatók által legjobbnak választott fogszínek és a felügyelő orvos választása közötti szinkülönbség értékek (ΔE_{00}) az összes vizsgált fog esetén. A piros vonalak jelzik a medián ΔE_{00} különbségeket (saját ábra).

A 34. ábrán összehasonlítottuk a választott fogszínek $l^*a^*b^*$ értékeit. A legmegismételhetőbb eredményt TR intraorális szkennerral érték el a hallgatók. A medián ΔE_{00} szinkülönbség az első és utolsó vizsgálatot összehasonlítva a jobb felső nagymetsző fog esetén (nyak-, test- és élszín), illetve az első nagyörlő fog esetén (testszín) 0 volt. A szkennerek minden esetben ugyanazt a fogszínt mérték a jobb felső nagymetsző fog esetében. A további esetekben a medián ΔE_{00} szinkülönbség az első és tizedik vizsgálat között: LG 3,1; ES 2,35; VC 1,5; TR 1,09.



34. ábra: Az első és tizedik alkalommal vizsgált páciens adatainak összehasonlítása $l*a*b^*$ koordináták segítségével a vizsgált fogak és felszínek szerint. A piros vonal medián ΔE_{00} -t jelöli (saját ábra).

4.2.2.1. 3D-master színek összehasonlítása

Összehasonlítottuk az elsőként és tizedikként vizsgált páciens LG, TR és ES segítségével meghatározott fogszíneit. Az összesen 20 mérésből a jobb felső 1 fog esetén a nyakszínként leginkább választott fogszín az 1M2 volt. Ezt az értéket mérték a hallgatók TR intraorális szkennerek esetén 100%-ban, ES esetében 50%-ban, míg LG esetén 60%-ban került meghatározásra ez a szín. Ugyanezen fog testszínének esetében a leggyakrabban választott fogszín az 1M1 volt, amit TR-al 75%-ban, ES-el 65%-ban mérték a hallgatók, míg az esetek 50%-ban határozták meg LG fogszínkulccsal. Az incizális él 1M1 volt a leggyakrabban: TR 40%; ES 45%; LG 55%.

A jobb felső első kisírlő fog esetén a leggyakrabban választott testszín az 1M2 volt, amit a hallgatók sosem mérték ES-el, míg az esetek 85%-ban ezt az értéket mérték Trios intraorális

szkennerrel. LG esetén 9 különböző fogszínt választottak összesen a hallgatók, amelyek közül az 1M2-re az esetek 25%-ban esett a választás.

A jobb felső első nagyórló fog esetén a leggyakrabban választott fogszín a 2M2 volt, melyet TR intraorális szkennerrel egyáltalán nem mértek a hallgatók. Helyette mért fogszínek az esetek 60%-ban a 2M3, 25%-ban az 1M2, illetve 15%-ban a 2R1.5 voltak. Az ES esetén a leggyakoribb fogszínt az esetek 20%-ban mérték és LG esetében pedig 45%-ban (2. táblázat).

2. táblázat: A leggyakrabban választott fogszínek az elsőként és tizedikként vizsgált páciens esetén %-ban kifejeve az egyes fogszín-megatározási módszerek szerint (saját ábra).

TR	Vizsgált fog (leggyakoribb fogszín)	Választott fogszínek (%)	ES	Vizsgált fog (leggyakoribb fogszín)	Választott fogszínek (%)	LG	Vizsgált fog (leggyakoribb fogszín)	Választott fogszínek (%)
	11 fog nyakszín (1M2)	100%		11 fog nyakszín (1M2)	50%		11 fog nyakszín (1M2)	60%
11 fog testszín (1M1)	75%	11 fog testszín (1M1)	65%	11 fog testszín (1M1)	50%			
11 fog élszín (1M1)	40%	11 fog élszín (1M1)	45%	11 fog élszín (1M1)	55%			
14 fog testszín (1M2)	85%	14 fog testszín (1M2)	0%	14 fog testszín (1M2)	25 %			
16 fog testszín (2M2)	0%	16 fog testszín (2M2)	20%	16 fog testszín (2M2)	45 %			

4.2.2.2. A Vita Classical fogszínek összehasonlítása

Összehasonlítottuk az elsőként és tizedikként vizsgált páciens esetén a Vita Classical fogszínkulccsal meghatározott értékeket is. A jobb felső nagymetsző esetén választott leggyakoribb fogszín az A1 volt, amit a nyakszín esetén 40%-ban, a testszín esetén 35%-ban, míg az élszín esetén 45%-ban választottak a hallgatók. Az első kisórló és első nagyórló fog esetén a leggyakoribb választott fogszínkulcs az A2 volt, amit a hallgatók mindkét esetben 50%-ban választottak (3. táblázat).

3. táblázat: Az elsőként és tizedikként vizsgált páciens leggyakrabban választott fogszínei VITA Classical fogszínkulcsot alkalmazva (saját ábra).

	Vizsgált fog (leggyakoribb fogszín)	Választott fogszínek (%)
VC	11 fog nyakszín (A1)	40%
	11 fog testszín (A1)	35 %
	11 fog élszín (A1)	45%
	14 fog testszín (A2)	50 %
	16 fog testszín (A2)	50 %

4.2.3. A fogszín-meghatározásokhoz szükséges idők meghatározása

A digitális eszközökkel (TR, ES) gyorsabban tudtak a hallgatók fogszínt meghatározni, mint a vizuális eszközökkel. A leggyorsabb eszköznek az Easyshade spektrofotométer mutatkozott: átlagosan 14,12 mp. Ezt követte a Trios 3 intraorális szkener 40,06 mp-el, majd a Vita Classical fogszínkulcs 52,42 mp-el. A lelassabban a kétlépéses Linear Guide fogszínkulccsal tudtak fogszínt meghatározni a hallgatók: 70,47 mp.

5. Megbeszélés

Monolitikus fogpótlások készítésére a CAD/CAM technológia fejlődése és az újonnan megjelenő kerámia anyagok adnak lehetőséget. Az egyre jobban működő és jól kiépített chairside rendszerek teszik lehetővé ezen restaurátumok rendelőben történő előállítását. Könnyen belátható, hogy a páciensek növekvő esztétikai elvárásai mellett egy természetes foghoz hasonló korona előállítása egyetlen anyagból, további kézzel történő kerámialeplezés nélkül, nagy kihívást jelent a protetikusoknak. A restaurátum anyagául választott kerámia végleges színét befolyásolják az anyag optikai tulajdonságai és a különböző klinikai tényezők is, azonban az esztétikailag tökéletes fogpótlás készítésének egyik első lépése a helyes fogszín-meghatározás.

A kerámia anyagának és a klinikai környezeti tényezők vizsgálatakor, a korábbi vizsgálatokhoz hasonlóan, az általunk végzett in vitro vizsgálatban is azt találtuk, hogy a cementszín, csonkszín, illetve a kerámia rétegvastagsága és transzlucenciája is befolyásolják a koronák végleges színét (Chaiyabutr és mtsai 2011; Ge és mtsai 2006; Niu és mtsai 2013; Al Ben Ali és mtsai 2014). Objektíven mérve ha a színkülönbség (ΔE) a két vizsgált korona között nagyobb, mint 0,8 (CIEDE 2000 képletet alkalmazva) akkor látható színkülönbségről beszélünk (Paravina és mtsai 2015). Vizsgálatunkban az LT koronák közül 13 kombináció (csonk, rétegvastagság és cementszín) esett e határérték alá, a referencia koronához hasonlítva és egy kombináció sem a HT koronák esetében. Ennek oka lehet, hogy az LT koronák esetén a korona anyaga több kristályszemcsét tartalmaz, így kevésbé ereszti át a fényt, így a csonkszín vagy cementszín kevésbé képes módosítani a végleges színen. Így ha egy klinikai esetben a csonkszín erősen elszíneződött, akkor a HT koronák alkalmazásának lehetősége, nagymértékű áttetszőségük miatt erősen korlátozott. Azonban manapság a transzlucens kerámiákat gyakrabban alkalmazzák esztétikus fronterületeken, mivel a természetes zománcéhoz hasonló színáteresztőképességgel rendelkeznek az opakabb (például: medium opacity MO, high opacity HO) kerámiákhoz képest. Összehasonlítva a magas opacitású (HO) és alacsony transzlucenciájú (LT) koronákat, Pires és munkatársai vizsgálták a csonkszín, a ragasztócement, illetve a kerámia rétegvastagságának hatását és

össességében kisebb színelkülönbségeket mértek HO kerámiák esetén (Pires és mtsai 2017). Így ha elszíneződött a csonk, amire koronát szeretnénk készíteni, meg kell fontolni, hogy egy opakabb és nagyobb rétegvastagságú koronát alkalmazzunk.

Egy másik kerámia tényező változtatásával, azaz a kerámia rétegvastagságának növelésével, több korábbi vizsgálatban azt találták, hogy színhűbb eredményeket tudunk elérni, mint a vékonyabb fogpótlásokkal (Chaiyabutr és mtsai 2011; Niu és mtsai 2013; Vichi és mtsai 2000). Saját in vitro vizsgálatunkban azonban azt találtuk, hogy ha az alkalmazott kerámia transzlucenciája magasabb (HT), a kerámia rétegvastagság növelésével kevésbé vagyunk képesek befolyásolni a végleges színt vagy elfedni a sötétebb színű csonk színét.

A kerámia színezete is befolyásoló tényező lehet. Jelen bemutatott vizsgálatunkban csupán csak az A1 színű koronákat vizsgáltuk, viszont irodalmi adatok bizonyítják, változtatva a kerámiák színezetét, a sötétebb színezetű kerámiák jobban képesek elfedni az elszíneződött csonkok színét, mint a világosabb színárnyalatúak (Al Ben Ali és mtsai 2014).

A kerámiák optikai tulajdonságain túl a klinikai tényezők is befolyásolják a restaurátum végeleges színét. Korábbi vizsgálatok is egyetértenek abban, hogy a csonkszín nagymértékben képes befolyásolni a koronák végleges színét (Niu és mtsai 2013; Pires és mtsai 2017). Evidencia, hogy a sötétebb csonkok jobban befolyásolhatják a fogszínt, mint a világosabb csonkszínek. Viszont Ge és munkatársai arany színű csapos műcsonkokat vizsgálva azt találták, hogy ez a sárgás csonkszín nem befolyásolta a 1,5 mm rétegvastagságú Empress 2 koronák végleges színét, mivel minden mérésük az elfogadhatósági küszöbérték alá esett ($\Delta E_{00} \leq 1,8$). A legnagyobb színelterés vizsgálatukban a sötétszürke színű Ni-Cr csonkok esetén volt mérhető (Ge és mtsai 2006). Ennek magyarázata az arany sárgásbarna színezete lehet, mely a természetes dentinéhez közelebb esik, mint az egyéb fémötvözetek szürkés színe. A mi vizsgálatunkban azonban ezzel ellentétben arany csonkok esetében egyetlen vizsgált kombináció sem esett az elfogadhatósági küszöbérték alá, illetve a CoCr csonkok esetén pedig csak egyetlen egy kombináció esett csak az elfogadhatósági küszöbérték alá. Ez a 1,5 mm LT korona volt, light plus azaz egy fehéres, opak színű cementet alkalmazva.

Korábbi vizsgálatokkal egyetértésben mi is azt találtuk, hogy a vizsgálat paraméterek közül a végleges szín a cementszín befolyásolja a legkevésbé (Chaiyabutr és mtsai 2011; Al Ben Ali és mtsai 2014; Vichi és mtsai 2000), habár jelen vizsgálatunk limitációja az adhezív cementeket utánzó próbapaszták használata, melyek színe szignifikánsan különbözhet a nekik megfelelő végleges rögzítő cementekétől (Mourouzis és mtsai 2018). Azonban nemcsak a cement színe, de a felvitt cementréteg vastagsága is befolyásolhatja a végleges színt (Dozic és mtsai 2010; Chaiyabutr és mtsai 2011). Jelen bemutatott in vitro vizsgálatban mi csak egy féle cement rétegvastagságot vizsgáltunk, ami a Dental Designer tervező program gyári beállítása volt e.max koronák esetében (40 μm). Niu és munkatársai 300 μm , 100 μm , 50 μm cementvastagságot vizsgálva azt találták, hogy 1,5 mm rétegvastagságú lítium-diszilikát koronák esetén a cementek rétegvastagsága is befolyásolja a kerámia koronák végleges színét. Ebben a vizsgálatban az opak cement (Multilink white opaque, Nexus3 white opaque) jobb fedőképességűnek bizonyult, mint a többi vizsgált cement (Niu és mtsai 2013). Ezzel egyetértésben, a saját vizsgálatunkban az ND9 elszíneződött kompozit csonk esetén, illetve a legsötétebb vizsgált csonk a CoCr esetén az opak Variolink Estehtic light plus cement alkalmazásával szignifikáns színváltozást tudtunk elérni a referenciaként alkalmazott neutral (áttetsző) cementhez képest. Niu és munkatársai, illetve Chaiyabutr és munkatársai azonban a cement rétegvastagságának 100 μm -ról 300 μm -re való növelésével nem tudtak elérni szignifikáns színeltérést (Niu és mtsai 2014; Chaiyabutr és mtsai 2011). Klinikai körülmények között meg kell fontolni a cementszín rétegvastagságának növelését a végleges szín előnyös változtatásának céljából, hiszen ha növeljük a cement mennyiségét, ezzel csökkenhet a bondozó erő a kerámia restaurátum és a csonk közt, így csökken a végleges restaurátum ellenállása és megnövekedhet a kerámia későbbi törésének esélye.

Az alkalmazni kívánt kerámia anyag és szín befolyásoló klinikai körülmények mellett, a színhelyes fogpótlás elkészítése nagyban múlik a vizsgáló személyen és így a fogszín-meghatározás pontosságán. A fogszín-meghatározás korszerű módszereinek megjelenése ellenére jelenleg is a fogorvosi gyakorlatban a leggyakrabban használt fogszínkulcs a Vita Classical. Azonban az általunk végzett klinikai vizsgálatban a hallgatók az A1-D4 fogszíneket találták a legkevésbé egyezőnek a vizsgált fogakkal, míg a matematikai alapokon

nyugvó LinearGuide 3D-master rendszerrel meghatározott fogszíneket találták a leginkább egyezőnek. Ezt követték a digitális mérések eredményei a Vita Easysshade Advance 4.0, majd a 3Shape Trios 3 intraorális szkener mért színeredményei. Eredményeink szerint a legnagyobb színkülönbség a felügyelő orvos és a vizsgálatban részt vevő hallgató közt (ΔE_{00}) a VC fogszínkulcsok esetén volt mérhető. Tehát a VC színek kevésbé megbízható eredményt adnak a fogszín-meghatározás terén.

Klinikai vizsgálatunkban az elsőként és utolsóként vizsgált személy minden hallgató esetében ugyanaz a személy volt (patient R) így lehetőségünk volt az intraperszonális megismételhetőséget is vizsgálni azaz, hogy az egyes vizsgált fogszín-meghatározó rendszerek esetén hányszor választották ugyanazt a fogszínt a hallgatók elsőként és utolsóként ugyanannak a páciensnek. A LG fogszínkulcs 29 különböző színe közül a hallgatók csupán 22%-ban választották ugyanazt a fogszínt, míg VC esetén csak 16,7%-ban, habár ez a rendszer csupán csak 16 féle színt tartalmaz. Hammad és munkatársai gyakorlott fogpótlástan szakfogorvosokat vizsgáltak, akik nagyobb valószínűséggel választották ugyanazokat a fogszíneket egyazon páciensnek Vita Classical fogszínkulcsot használva, mint az általános fogorvosok (Hammad 2003). Ez is azt mutatja, hogy a specialisták körében még manapság is a leggyakrabban és leginkább rutinszerűen használt fogszínkulcs a Vita Classical. Más vizsgálat nem talált különbséget a kétféle rendszert összehasonlítva végzős fogorvostan-hallgatók körében (Ghahramanlo és mtsai 2008). Mások viszont azt találták, hogy a kevésbé tapasztalt hallgatók sokkal megbízhatóbban választanak fogszínt a matematikai alapokon nyugvó 3D-master fogszínkulcsot alkalmazva, mint a kevesebb fogszínt tartalmazó A1-D4 kulcsokkal (Egger 2003; Negahdari és mtsai 2015).

Ahogy már korábban is említésre került a vizsgáló személy nagyban befolyásolja a fogszín választást. Néhányan azt találták, hogy a nők sokkal megbízhatóbban választanak fogszínt, mint a férfiak (Haddad és mtsai 2009), mások viszont nem találtak különbséget a nemek tekintetében (Aswini és mtsai 2019; Capa és mtsai 2011). A nem szerepének kizárása érdekében a mi klinikai vizsgálatunkban ezért 5 nő és 5 férfi (20-25 éves fogorvostan-hallgatók) vizsgálta a fogszíneket és mi nem vizsgáltuk a különbséget a nemek között. A nem mellett a vizsgáló kora is befolyásolhatja a színlátást (Kraft és Werner 1999). A jelen

vizsgálatunkban a vizsgáló hallgatók 20-25 év közöttiek, így az idősödő kor miatti szemlencse vagy cornea degenerációk valószínűsége is kisebb az esetükben.

Számos vizsgálat egyetért abban, hogy a fogszín-meghatározás tanulható, fejleszthető (Blum és mtsai 2018; Olms és mtsai 2016) és a tapasztaltabb fogorvosok megbízhatóbban választanak fogszín, mint a tapasztalatlanabb társaik (Haddad és mtsai 2009; Capa és mtsai 2011). Éppen ezért vizsgálatunkban referenciaként egy 5 éves klinikai tapasztalattal rendelkező fogpótlástan szakfogorvost (felügyelő orvos) választottunk.

A vizsgáló személy szubjektivitásának kizárására léteznek digitális lehetőségek is a fogszín-meghatározáshoz. A digitális rendszerek és a vizuálisan alkalmazható fogszínkulcsok összehasonlítása során számos korábbi vizsgálat egyetért abban, hogy digitális rendszerek megismételhetőbb eredményeket adnak, mint a fogszínkulccsal történő fogszínválasztás (Reyes és mtsai 2019; Rutkunas és mtsai 2020; Gotfredsen és mtsai 2015; Bahannan és mtsai 2014). A mi klinikai vizsgálatunkban a TR megismételhetősége a legmagasabb 56%, míg az ES estében ez 32%. Liberato és munkatársai az általunk is vizsgált (VC, LG, ES, TR) fogszín-meghatározó módszereket hasonlították össze vizsgálatukban és a jelen bemutatott vizsgálattal egyetértésben a legmegismételhetőbb eredményeket a TR intraorális szkennelvel érték el (Liberato és mtsai 2019). Érdekes eredmény, hogy az elsőként és tizedikként vizsgált páciens esetén a jobb felső nagymetsző nyakszínét a Trios intraorális szkennel minden esetben ugyanannak a színnek mérte. A fognyaki régió mért értékeinek állandóságának oka lehet, ahogy korábbi vizsgálatokban is láthattuk, hogy a zománc transzlucenciája miatt a szájüreg sötétje befolyásolhatja a spektrofotométerek által mért színt, így gyakran ezen eszközökkel a frontfogak éli részén sötétebb színt mérhetünk, mint a nyaki területeken, ugyanis itt a fogak magasabb dentintartalma miatt a transzlucencia kevésbé befolyásoló tényező (Al Ben Ali 2018).

A CIEDE 2000 képletet alkalmazva $\Delta E_{00} \leq 1,8$ akkor a mért színkülönbség elfogadható (Paravina és mtsai 2015). Vizsgálatunkban az elsőként és utolsóként vizsgált páciens (Patient R) esetén vizsgáló hallgatónként csak a TR és a VC alkalmazásával mértünk elfogadható színkülönbségeket. Annak ellenére, hogy a TR által mért 3D-master fogszínnek színkülönbsége (ΔE_{00}) kicsi volt a LG fogszínkulccsal vagy az ES spektrofotométerrel

választott színekkel összehasonlítva, a vizsgálatban részt vevő hallgatók csupán csak 21,64%-ban találták a szkener által mért fogszíneket a leginkább egyezőnek a vizsgált fogakhoz képest. Emellett a Trios intraorális szkener által mért adatok azonban nagyban különböznek a VC fogszínkulccsal meghatározottaktól. A digitális rendszerek előnye a gyorsaság és a könnyű kommunikáció a páciensekkel, fogtechnikusokkal (Brandt és mtsai 2017). Hátrányuk lehet az árak, illetve hogy fogszín-meghatározás terén habár a legmegismételhetőbb eredményeket adták, az általuk mért színeket a vizsgáló hallgatók nem találták megfelelőnek. Így az irodalmi adatokkal egyetértésben a szkener által mért adatokat inkább, mint kiegészítő eszköz alkalmazhatjuk a vizuális fogszín-meghatározás mellett.

6. Következtetések

6.1. Monolitikus fogpótlások színét befolyásoló tényezők vizsgálata

Minden általunk vizsgált paraméter, így a kerámia rétegvastagság, transzlucencia, a ragasztó cement színe és a csonkszín is befolyásolták a monolitikus CAD/CAM lítium-diszilikát A1 színű 1,0 és 1,5 mm rétegvastagságú kerámia koronák végleges színét.

- *A kerámia transzlucenciájának vizsgálata (HT és LT):* Az IPS e.max üvegkerámiák összetevőik miatt bonyolult optikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Az általunk vizsgált kétféle transzlucenciájú kerámia közül összességében az alacsonyabb transzlucenciájúak (LT) adtak jobb színeredményeket a referencia koronához viszonyítva, hiszen ezen esetben a kerámia szemcsék magasabb száma miatti kisebb áttetszőség következtében kisebb módosító hatása volt a további tényezőknek, így a csonk vagy a cement színének.

- *Kerámia rétegvastagságának vizsgálata (1,0mm és 1,5 mm):* Magas transzlucenciájú (HT) koronák esetén a korona rétegvastagságának kisebb a befolyásoló hatása, mint az alacsonyabb transzlucenciájúaknak. Nem érdemes a végleges szín javítása érdekében növelni a preparáció mértékét és ez által a korona falvastagságát, ha magasabb transzlucenciájú kerámiát alkalmazunk, hiszen ezzel kedvező színváltozást nem tudunk elérni. A vastagabb LT koronák azonban jobb fedőképességűnek bizonyultak elszíneződött csonkokon, mint a vékonyabbak.

- *Csonkszín befolyásoló hatása a végleges koronaszínre (kompozit csonkok: NDI-ND9, CoCr, aranyszínű, cirkónium-dioxid):* Az általunk vizsgált arany fémcsonkok esetén, annak sárgás színezete ellenére, egyetlen mért kombináció sem esett az CIEDE 2000 képlet szerint meghatározott elfogadhatósági küszöbérték alá. A szürkés CoCr csonkok esetén csak egyetlen egy kombináció esett az elfogadhatósági küszöbérték alá: a 1,5 mm LT korona, light plus azaz egy fehéres, opak színű cement alkalmazásával. A legnagyobb színkülönbség a magas transzlucenciájú (HT) 1,0 mm falvastagságú koronák esetén mértük CoCr csonkon, a referenciához viszonyítva. A csonkok színmódosító hatása a vastagabb (1,5mm) és kisebb transzlucenciájú (LT) kerámiák esetén volt a legkisebb. A színezetlen szuperfehér

cirkónium-dioxid csomók esetén a vártakkal ellentétben csak egyetlen kombináció esett az észlelhetőségi küszöbérték alá, ha 1,0 mm LT koronát vizsgáltunk és egy dentinszínhez közelebb eső sárgás, warm színezetű cementet alkalmaztunk.

- *Cementszín befolyásoló hatása a végleges koronaszínre (Vita Simulate Try-in paszta warm neutral, light plus):* A cementszín a legkevésbé befolyásoló tényező a vizsgált paraméterek közül. Néhány esetben azonban egy opakabb (light plus) cement segíthet elfedni a sötétebb, így a CoCr vagy az elszíneződött preparált természetes fogat imitáló, Natural Die material ND9 kompozit csomó színét. Ezen esetben szignifikáns eltérést mérhettünk 40 µm rétegvastagságú cement esetén a referencia áttetsző neutral cementhez képest. A sárgás színezetű warm cement esetén az opak, színezetlen szuperfehér cirkónium-dioxid csomó esetén szignifikáns eltérést mértünk, a referenciaként alkalmazott természetes preparált fog dentinével megegyező színű Natural Die Material ND2 csomóhoz és neutral áttetsző próbacementhez képest.

- *Limitációk:*

- Csupán két féle kerámia rétegvastagság alkalmazása (1,0 mm és 1,5 mm).
- Csupán két féle kerámia transzlucencia vizsgálata (IPS e.max CAD LT és HT).
- A természetes preparált fogakat imitáló kompozit csomók használata, melyek optikai tulajdonságai eltérhetnek a természetes fogakétól.
- Próbapaszta használata, melyek színe eltérhet a végleges rögzítőcementekétől.

6.2. Fogpótlások színének meghatározásához alkalmazott módszerek klinikai vizsgálata

- *Vizuális fogszín-meghatározás eredményei (Vita Classical A1-D4 és Vita LinearGuide 3D-master fogszínkucskok):* Klinikai vizsgálatunkban a részt vevő fogorvostan-hallgatók, páciensek és a felügyelő orvos által a leggyakrabban a vizsgált páciensek számára legjobbnak választott fogszínnek LinearGuide 3D-master fogszínkulccsal kerültek kiválasztásra. A

CIEDE 2000 képletet alkalmazva, ha a legjobbnak ítélt fogszíneket hasonlítjuk össze a felügyelő orvos által választott legjobbnak ítélt fogszínekkel, a leginkább különböző eredményeket a VC fogszínkulcsok esetében kaptuk. A 3D-master színek esetén, beleértve a LG, TR és ES által meghatározott színeket is, kisebb számított színkülönbségek (ΔE_{00}) voltak.

-Digitális fogszín mérés eredményei (Trios 3 intraorális szkennerek és Vita Easyshade Advance 4.0 spektrofotométer): Digitális módszerekkel gyorsabban tudtak a hallgatók fogszín-meghatározni, mint fogszínkulcsokkal. Összehasonlítva az elsőként és utolsóként vizsgált páciens (Patient R) eredményeit, digitális módszerekkel nagyobb eséllyel mérték ugyanazt a fogszín a hallgatók, mint amit vizuális módszerekkel (VC és LG) választottak. Az elsőként és tizedikként választott fogszín $I^*a^*b^*$ értékeit összehasonlítva a CIEDE 2000 képletet alkalmazva, a legmegismételhetőbb eredményt TR intraorális szkennerekkel érték el a hallgatók. Trios 3 intraorális szkennerekkel a hallgatók a jobb felső nagymetsző nyaki területén mindig ugyanazt a színt mérték, hiszen itt a legkisebb a fog transzlucenciája így a szájüreg sötétje kevésbé tudta befolyásolni a mért értékeket. Összességében azt találtuk, hogy a Trios 3 intraorális szkennerek jó alternatíva lehet a fogszín-mérésre 3D-master kódolású színeket alkalmazva. A legjobbnak választott fogszín esetén a vizsgált hallgatók nem voltak elégedettek a Trios 3 által mért színekkel, és állandó, megismételhető mérést csupán csak a jobb felső nagymetsző nyaki harmadában tudott nyújtani, így ajánlott ezen mért fogszín értékek vizuális fogszínkulcsokkal történő visszaellenőrzése és felülbírálása.

6.3. Új megállapítások

- I. A magas transzlucenciájú (HT) e.max CAD korona alkalmazása során, a végleges szín nem változtatható a preparáció mértékének növelésével, hisz a korona falvastagságának növelése nem okoz érzékelhető színváltozást.
- II. Alacsony transzlucenciájú (LT) e.max CAD koronák színét a csonkszín és cementszín kevésbé módosítja, mint a magas transzlucenciájú (HT) e.max CAD koronákét.

- III. Az aranyszínű fémcsonkok esetében sem a cementszín, sem a kerámia rétegvastagságának és transzlucenciájának változtatása nem csökkenti a színkülönbséget a klinikailag elfogadható határ alá.
- IV. A CoCr csonkon fehéres színű (light plus) ragasztócement, míg színezetlen szuperfehér cikrónium-dioxid csonkokon sárgás színezetű (warm) cement használata teljes kerámia koronák szignifikáns színváltozását eredményezi az áttetsző (neutral) referencia cementhez képest.
- V. A klinikai vizsgálatunk során a páciensek számára legjobbnak választott fogszíneket a LinearGuide 3D-master fogszínkulcs adta.
- VI. Klinikai vizsgálatunk során a 3Shape Trios 3 intraorális szkennelvel végzett színmeghatározás megismételhetősége bizonyult a legjobbnak.
- VII. Digitális módszerekkel gyorsabban tudnak a fogorvostan-hallgatók fogszín-meghatározni, mint a vizuális rendszerekkel.

7. Összefoglalás

A CAD/CAM rendszerekkel feldolgozható újonnan megjelenő restaurációs anyagokból a megfelelő kiválasztása, a fogorvosok számára a leegyszerűsödő munkafolyamatok mellett, kihívást jelent. Protetikus szakemberként az esztétikai fogászat térhódítása következtében, manapság még fontosabbá vált az anyagok optikai tulajdonságainak ismerete, illetve ezekhez kapcsolatosan a legmegbízhatóbb fogszín-meghatározási módszerek megtalálása.

Jelen dolgozatban bizonyítást nyert, hogy a kerámia rétegvastagság, transzluencia, a ragasztó cement színe és a csonkszín is befolyásolja a monolitikus CAD/CAM lítium-diszilikát A1 színű 1,0 és 1,5 mm rétegvastagságú kerámia koronák végleges színét. Ha magas transzluenciájú (HT) koronát alkalmazunk, nem érdemes a végleges szín javítása érdekében növelni a preparáció mértékét és ez által a korona falvastagságát, hisz ez nem okozott előnyös színváltozást. A manapság népszerű arany sárgás színezete ellenére esztétikailag kedvező színeredményt nem tudtunk elérni, míg a CoCr csonknál a fehéres színű ragasztócement használata szignifikáns színjavulást eredményezett. A színezetlen szuperfehér cirkónium-dioxid csonkokon vizsgált koronák esetében is észlelhető színváltozást találtunk és csak egy esetben, warm színezetű cementtel értünk el szignifikáns javulást, habár a vizsgált paraméterek közül a legkevésbé befolyásoló paraméter az axiálisan 40 μ m-es cement rétegvastagság volt. Klinikai vizsgálatunkban a fogszín-meghatározás legmegbízhatóbb, de leglassúbb módszere a vizuális LinearGuide 3D-Master fogszínkulcs volt. A legmegismételhetőbb eredményeket a 3Shape Trios Intraorális szkener fogszín-meghatározó eszközével értük el. A szkener jó alternatívája lehet más 3D-master fogszín-meghatározást alkalmazó rendszereknek, de javasolt a mért értékek vizuális visszaellenőrzése.

Összességében fontos, hogy fogorvosként magunkat folyamatosan fejlesszük, tisztában kell lennünk az újonnan megjelenő anyagok tulajdonságaival és az új technológiai lehetőségekkel. Kutatóként pedig fontos további vizsgálatokat végeznünk, hogy ezzel is segítséget nyújthassunk praktizáló kollégáink számára.

8. Summary

With the use of CAD/CAM technologies dental workflows become easier, but dentists face a challenge of selecting the right materials from a wide range of newly developed restorative materials. Because of the spread of aesthetic dentistry, as a prosthodontic specialist it has become even more important nowadays to know the optical properties of modern dental materials and to find the most reliable method for determining the right tooth shade.

In this doctoral thesis it is proved, that the final shade of the A1 shaded CAD/CAM glass-ceramic lithium-disilicate HT and LT full-ceramic crowns are influenced by ceramic thickness and translucency, substrate color and cement color. It is not recommended to increase the depth of the preparation and to make thicker crowns in order to reach better aesthetical result, if we use highly translucent (HT) crowns. By examining the nowadays frequently used yellowish colored gold substrates, we could not achieve an aesthetically pleasing color result. On the other hand by applying a whitish try-in paste on the dark CoCr substrates we gained significant color changes. A color change was also observed in the case of the crowns examined on the superwhite zirconia substrates, and only in one case we achieved a significantly better color with using a yellowish warm try-in paste. In our clinical study the most reliable, but the slowest method for tooth shade determination was the visual LinearGuide 3D-master tooth shade system. The Trios 3Shape intraoral scanner shade measurement function was found to be the most repeatable. We found that the examined TR intraoral scanner can be used as an alternative method of shade selection with using 3D-Master tooth color system, but it is recommended to verify the measurement with visual methods.

Altogether it is really important to improve our dental knowledge, to be up to date with the most advanced ceramic materials and digital technological possibilities. As a researcher, it is important for us to carry out further researches to help the everyday work of our colleagues.

9. Irodalomjegyzék

1. Al Ben Ali A, Kang K, Finkelman MD, Zandparsa R, Hirayama H. The Effect of Variations in Translucency and Background on Color Differences in CAD/CAM Lithium Disilicate Glass Ceramics. *J Prosthodont.* 2014 Apr;23(3):213-220
2. Alghazali N, Moaleem M, Alamri S, Aldosari AA, Preston A, Smith P, Jarad F. The Effect of Try-In Paste and Resin Cement Shade on Colour Properties of Dental Veneers. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2018 Aug 30;26(3):144-151. doi: 10.1922/EJPRD_01768
3. Alomari M, Chadwick RG. Factors influencing the shade matching performance of dentists and dental technicians when using two different shade guides. *Br Dent J.* 2011;211:E23-E30.
4. Arif R, Yilmaz B, Johnston WM. In vitro color stainability and relative translucency of CAD-CAM restorative materials used for laminate veneers and complete crowns. *J Prosthet Dent.* 2019;122:160-166
5. Aswini KK, Ramanarayanan V. The effect of gender and clinical experience on shade perception. *J Esthet Restor Dent.* 2019;31:608-612
6. Bahannan SA. Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. *J Dent.* 2014;42:48-52.
7. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. The Determination of the Tooth Colors. *Quintessenz Zahntech.* 2004; 30: 726-740.
8. Barghi N, Goldberg. Porcelain shade stability after repeated firing. *J Prosthet Dent.* 1977 Feb;37(2):173-175. doi: 10.1016/0022-3913(77)90239-6.
9. Barghi N, McAlister EH. LED and halogen lights: effect of ceramic thickness and shade on curing luting resin. *Compend Contin Educ Dent.* 2003;24(7):497-508.
10. Basegio MM, Pecho OE, Ghinea R, Perez MM, Della Bona A. Masking ability of indirect restorative systems on tooth-colored resin substrates. *Dent Mater.* 2019 Jun;35(6):122-130. doi: 10.1016/j.dental.2019.03.001.
11. Bayindir F, Kuo S, Johnston WM, Wee AG. Coverage error of three conceptually different shade guide systems to vital unrestored dentition. *J Prosthet Dent.* 2007 Sep;98(3):175-185. doi: 10.1016/S0022-3913(07)60053-5.

12. Bayne S, Ferracane J, Marshall G, Marshall S, van Noort R. The evolution of dental materials over the past century: silver and gold to tooth color and beyond. *J Dent Res.* 2019;98(3):257-265.
13. Blum SL, Horn M, Olms C. A comparison of intraoral spectrophotometers—Are there user-specific differences? *J Esthet Restor Dent.* 2018;30:442-448.
14. Brandt J, Nelson S, Lauer HC, von Hehn U, Brandt S. In vivo study for tooth colour determination-visual versus digital. *Clin Oral Investig.* 2017;21:2863-2871.
15. Brodbelt RH, O'Brien WJ, Fan PL. Translucency of dental porcelains. *J Dent Res.* 1980 Jan;59(1):70-75. doi: 10.1177/00220345800590011101.
16. Browning WD, Chan DC, Blalock JS, Brackett MG. A comparison of human raters and an intra-oral spectrophotometer. *Oper Dent.* 2009 May-Jun;34(3):337-343. doi: 10.2341/08-106
17. Buyukkapan SU, Özarslan MM, Barutçigil Ç, Arslan M, Barutçigil K, Yoldan EE. Effects of staining liquids and finishing methods on translucency of a hybrid ceramic material having two different translucency levels. *J Adv Prosthodont.* 2017 Oct;9(5):387-393. doi: 10.4047/jap.2017.9.5.387.
18. Bücking W. Die fehlerfreie Zahnfarbenbestimmung—eine Herausforderung für Zahnarzt und Zahntechniker. *Quintess.* 2006;53:1199-1207
19. Capa N, Malkondu O, Kazazoglu E, Calikkocaoglu S. Effects of individual factors and the training process of the shade-matching ability of dental students. *J Dent Sci.* 2011;6:147-152.
20. Chaiyabutr Y, Kois JC, Lebeau D, Nunokawa G. Effect of abutment tooth color, cement color, and ceramic thickness on the resulting optical color of a CAD/CAM glass-ceramic lithium disilicate-reinforced crown. *J Prosthet Dent.* 2011 Feb;105(2):83-90. doi: 10.1016/S0022-3913(11)60004-8.
21. Chamberlin GJ. *Colour: its Measurement, Computation and Application.* 8. 2. Summer; 1983:68–132.
22. Chongkavinit P, Anunmana C. Optical effect of resin cement, abutment material, and ceramic thickness on the final shade of CAD-CAM ceramic restorations. *J Prosthet Dent.* 2021 Mar;125(3):517.e1-517.e8. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.09.029.

23. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent.* 2010;38 Suppl 2:e2-16. doi: 10.1016/j.jdent.2010.07.001.
24. CIE. Colorimetry. Report No.: CIE Pub. No. 15. Vienna: CIE Central Bureau; 2004.
25. Clarke FJ. Measurement of color of human teeth. In: McLean JW (ed). *Proceedings of the First International Symposium on Ceramics.* Chicago: Quintessence; 1983; 441-490
26. Coldea A, Swain MV, Thiel N. In-vitro strength degradation of dental ceramics and novel PICN material by sharp indentation. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2013 Oct;26:34-42. doi: 10.1016/j.jmbbm.2013.05.004.
27. Corcodel N, Karatzogiannis E, Rammelsberg P, Hassel AJ. Evaluation of two different approaches to learning shade matching in dentistry. *Acta Odontol Scand.* 2012;70:83-88.
28. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2011 Jul;55(3):559-570. doi: 10.1016/j.cden.2011.02.011.
29. Della Bona A, Cantelli V, Britto VT, Collares KF, Stansbury JW. 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dent Mater.* 2021 Feb;37(2):336-350. doi: 10.1016/j.dental.2020.11.030.
30. Della Bona A, Pecho O E, Ghinea R, Cardona J C, Pérez M M. Colour parameters and shade correspondence of CAD-CAM ceramic systems. *Journal of dentistry* 2015;43(6), 726–734. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.02.015>
31. Della Bona A. Bonding to ceramics: scientific evidences for clinical dentistry. *Artes Médicas.*2009.
32. Denry I, Holloway JA. *Ceramics for Dental Applications: A Review.* Materials (Basel). 2010;3(1):351-368. doi:10.3390/ma3010351
33. Derdilopoulou FV, Zantner C, Neumann K, Kielbassa AM. Evaluation of visual and spectrophotometric shade analyses: a clinical comparison of 3758 teeth. *Int J Prosthodont.* 2007 Jul-Aug;20(4):414-416.
34. Dozic A, Kharbanda AK, Kamell H, Brand HS. European dental students' opinions about visual and digital tooth colour determination systems. *J Dent.* 2011;39:e23-e28.

35. Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont* 2007;16(2):93–100. doi:10.1111/j.1532-849X.2007.00163.x
36. Dozić A, Kleverlaan CJ, Meegdes M, van der Zel J, Feilzer AJ. The influence of porcelain layer thickness on the final shade of ceramic restorations. *J Prosthet Dent*. 2003 Dec;90(6):563-570. doi: 10.1016/s0022-3913(03)00517-1.
37. Egger B. Systematic approach to visual shade selection. *Quintessence Dent Technol*. 2003;26:161-170.
38. Egilmez F, Ergun G, Cekic-Nagas I, Vallittu PK, Lassila LVJ. Comparative color and surface parameters of current esthetic restorative CAD/CAM materials. *J Adv Prosthodont*. 2018;10(1):32-42. doi:10.4047/jap.2018.10.1.32
39. Ge J, Wang XZ, Feng HL. Influence of different post core materials on the color of Empress 2 full ceramic crowns. *Chin Med J (Engl)*. 2006 Oct 20;119(20):1715-1720.
40. Ghahramanloo A, Goharian R, Esmaeeli H, Shahalamy SR. Evaluation of shade selection repeatability with Vita-classic & 3DMaster by two groups of male and female students of Mashhad dental school. *J Mashhad Dent Sch*. 2008;32:213-220.
41. Gómez-Polo C, Portillo MM, Lorenzo Luengo MC, Vicente P, Galindo P, Martín Casado AM. Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas. *J Prosthet Dent*. 2016;115:65-70. doi: 10.1016/j.prosdent.
42. Gotfredsen K, Gram M, Ben Brahem E, Hosseini M, Petkov M, Sitorovic M. Effectiveness of shade measurements using a scanning and computer software system: a pilot study. *Int J Oral Dent Health*. 2015;1:008.
43. Gunal B, Ulusoy MM: Optical properties of contemporary monolithic CAD-CAM restorative materials at different thicknesses. *J Esthet Restor Dent*. 2018; 30: 434– 441.
44. Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G, Borbely J, Vichi A, Dumfahrt H, Renault P, Corcodel N, Pohlen B, Marada G, de Parga JA, Reshad M, Klinke TU, Hannak WB, Paravina RD. Does gender and experience influence shade matching quality? *J Dent*. 2009;37(Suppl 1):e40-e44. doi:10.1016/j.jdent.2009.05.012.
45. Hammad IA. Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. *J Prosthet Dent*. 2003;89:50-53.

46. Hannak WB, Hugger A, Hugger S, Jakstat H. First experiences with a new training program for color differentiation. *J Dent Res.* 2004;83:0393-0397
47. Harianawala HH, Kheur MG, Apte SK, Kale BB, Sethi TS, Kheur SM. Comparative analysis of transmittance for different types of commercially available zirconia and lithium disilicate materials. *J Adv Prosthodont.* 2014 Dec;6(6):456-461.
48. Hassel AJ, Koke U, Schmitter M, Beck J, Rammelsberg P. Clinical effect of different shade guide systems on the tooth shades of ceramic-veneered restorations. *Int J Prosthodont.* 2005;18:422-426.
49. Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: core materials. *J Prosthet Dent.* 2002;88(1):4-9.
50. Hein S, Tapia J, Bazos P. eLABor_aid: a new approach to digital shade management. *Int J Esthet Dent.* 2017;12:186-202.
51. Helvey G. A History of Dental Ceramics. *Dental Ceramics Compendium of Continuing Education in Dentistry* 2010;31:310-311.
52. http://www.cerec.co.il/downloads/vita_in_ceram.pdf (2022.03.03.)
53. <https://multimedia.3m.com/mws/media/10862800/3m-lava-ultimate-inlay-onlay-guide.pdf> (2022.06.30.)
54. <https://scadent.org> (2022.03.03.)
55. <https://spectroshade.us/> (2022.03.03.)
56. <https://www.dentsplysirona.com/en-ca/categories/cerec/dental-milling-machines.html> (2022.06.30.)
57. <https://www.gcamerica.com/products/digital/CERASMART/> (2022.06.30.)
58. https://www.ivoclar.com/en_li/products/digital-processes/ips-empress-cad (2022.06.30.)
59. https://www.ivoclar.com/en_us/products/digital-processes/ips-e.max-cad?gclid (2022.06.30.)
60. https://www.ivoclar.com/en_us/shop/p/teeth/chromascopshadeguide/p/529479 (2022.06.30.)

61. https://www.ivodentonline.co.za/ivodeals/var_special_dc-variolink-esthetic-dc-5g (2022.06.30.)
62. <https://www.shofu.de/en/produkt/shofu-block-hc-uk/> (2022.06.30.)
63. <https://www.smileline.ch/en/products/smile-lite> (2022.03.03.)
64. https://www.vitanorthamerica.com/datei.php?src=download/Support/Instructions-For-Use/Machinables/VITABLOCS-Working-Instructions_1769E.pdf (2023.01.10.)
65. <https://www.vita-zahnfabrik.com/en/VITA-ENAMIC-24970.html> (2022.06.30.)
66. <https://www.vita-zahnfabrik.com/en/VITA-SUPRINITY-PC-44049.html> (2022.06.30.)
67. https://www.vita-zahnfabrik.com/pdb_GG2G50G200_en.html (2022.06.30.)
68. <https://www.voco.dental/en/products/indirect-restoration/cad-cam-material/grandio-blocs.aspx> (2022.06.30.)
69. Igiel C, Lehmann KM, Ghinea R, Weyhrauch M, Hangx Y, Scheller H, Paravina RD. Reliability of visual and instrumental color matching. *J Esthet Restor Dent.* 2017;29:303-308.
70. ISO/TR 28642:2016(E):Guidance on Color measurement.
71. Ivoclar Vivadent. IPS e. max lithium disilicate: the future of all- ceramic dentistry material science, practical applications, keys to success. Amherst, NY: Ivoclar Vivadent; 2009. p.1e15.
72. Iwai T, Komine F, Kobayashi K, Saito A, Matsumura H. Influence of convergence angle and cement space on adaptation of zirconium dioxide ceramic copings. *Acta Odontol Scand.* 2008;66(4):214-218. doi:10.1080/00016350802139833
73. Joda T, Ferrari M, Gallucci GO, Wittneben JG, Brägger U. Digital technology in fixed implant prosthodontics. *Periodontol 2000.* 2017 Feb;73(1):178-192. doi: 10.1111/prd.12164.
74. Jorgenson MW, Goodkind RJ. Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to the dimensions of color, porcelain thickness, and repeated firings. *J Prosthet Dent.* 1979 Jul;42(1):96-105. doi: 10.1016/0022-3913(79)90335-4
75. Kale E, Seker E, Yilmaz B, Özcelik TB. Effect of cement space on the marginal fit of CAD-CAM-fabricated monolithic zirconia crowns. *J Prosthet Dent.* 2016;116(6):890-895. doi:10.1016/j.prosdent.2016.05.006

76. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. Principles of Neural Science. 4th ed. New York: McGraw-Hill (2000).
77. Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, Moles DR. A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *Br Dent J.* 2007 Dec 22;203(12):675-680. doi: 10.1038/bdj.2007.1108.
78. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent.* 2009;101:193-199.
79. Kingery WD, Bowen HK, Uhlmann DR. Introduction to ceramics. (2nd ed). John Wiley and Sons, New York (1976), pp. 646-689.
80. Koch GK, Gallucci GO, Lee SJ. Accuracy in the digital workflow: From data acquisition to the digitally milled cast. *J Prosthet Dent.* 2016 Jun;115(6):749-754. doi:10.1016/j.prosdent.2015.12.004.
81. Kolakarnprasert N, Kaizer MR, Kim DK, Zhang Y. New multi-layered zirconias: Composition, microstructure and translucency. *Dent Mater.* 2019 May;35(5):797-806. doi: 10.1016/j.dental.2019.02.017.
82. Kourtis SG, Tripodakis AP, Doukoudakis AA. Spectrophotometric evaluation of the optical influence of different metal alloys and porcelains in the metal-ceramic complex. *J Prosthet Dent.* 2004 Nov;92(5):477-485. doi: 10.1016/j.prosdent.
83. Kraft JM, Werner JS. Aging and the saturation of colors. 1. Colorimetric purity discrimination. *J Opt Soc Am A.* 1999;16:223-230.
84. Kucukesmen HC, Usumez A, Ozturk N, Eroglu E. Change of shade by light polymerization in a resin cement polymerized beneath a ceramic restoration. *J Dent.* 2008 Mar;36(3):219-223. doi: 10.1016/j.jdent.2007.12.005.
85. Lee YK, Yu B, Lim HN. Lightness, chroma, and hue distributions of a shade guide as measured by a spectroradiometer. *J Prosthet Dent.* 2010;104:173-181.
86. Lee YK. Influence of filler on the difference between the transmitted and reflected colors of experimental resin composites. *Dent Mater.* 2008 Sep;24(9):1243-1247. doi: 10.1016/j.dental.2008.01.01

87. Liberato WF, Barreto IC, Costa PP, de Almeida CC, Pimentel W, Tiozzi R. A comparison between visual, intraoral scanner, and spectrophotometer shade matching: a clinical study. *J Prosthet Dent.* 2019; 121:271-275.
88. May LG, Kelly JR, Bottino MA, Hill T. Effects of cement thickness and bonding on the failure loads of CAD/CAM ceramic crowns: multi-physics FEA modeling and monotonic testing. *Dent Mater.* 2012;28:e99–109.
89. McLaren EA, Figueira J, Goldstein RE. A technique using calibrated photography and Photoshop for accurate shade analysis and communication. *Compend Contin Educ Dent.* 2017;38:106-113.
90. Mclean JW. New dental ceramics and esthetics. *J Esthet Dent.* 1995;7(4):141-149. doi: 10.1111/j.1708-8240.1995.tb00570.x.
91. Miyahara E. Errors reading the Ishihara pseudoisochromatic plates made by observers with normal colour vision. *Clin Exp Optom.* 2008 Mar;91(2):161-165. doi: 10.1111/j.1444-0938.2007.00210.x.
92. Mourouzis P, Koulaouzidou E, Palaghias G, Helvatjoglu-Antoniades M. Color match of luting composites and try-in pastes: the impact on the final color of CAD/CAM lithium disilicate restorations. *Int J Esthet Dent.* 2018;13(1):98-109
93. Mörmann W.H, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F. Chairside computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int* 1989; 20: 329-339
94. Munsell AH. *A Grammar of Color.* New York. Van Nostrand Dreinhold, 1969.353.
95. Nakamura T, Saito O, Fuyikawa J, Ishigaki S. Influence of abutment substrate and ceramic thickness on the colour of heat-pressed ceramic crowns. *J Oral Rehabil.* 2002 Sep;29(9):805-809. doi: 10.1046/j.1365-2842.2002.00919.x.
96. Nassary Zadeh P, Lümckemann N, Sener B, Eichberger M, Stawarczyk B. Flexural strength, fracture toughness, and translucency of cubic/tetragonal zirconia materials. *J Prosthet Dent.* 2018 Dec;120(6):948-954. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.12.021.
97. Negahdari R, Pournasrollah A, Rahbar M, Bohlouli S, Vahid Pakdel SM. Comparison of shade match compatibility between Vitapan classical and 3D master shade guide systems by dental students in Tabriz Faculty of Dentistry. *Adv Biosci Clin Med.* 2015;4:4-10.

98. Niu E, Agustin M, Douglas RD. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: effects of foundation restoration. *J Prosthet Dent.* 2013 Dec;110(6):501-509. doi: 10.1016/j.prosdent.2013.09.004.
99. Niu E, Agustin M, Douglas RD. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: effects of cement color and thickness. *J Prosthet Dent.* 2014;11:42-50.
100. O'brien WJ, Kay K, Boenke KM, Groh C. Sources of color variation on firing porcelain. 1991 Jul;7(3):170-173. doi: 10.1016/0109-5641(91)90038-z.
101. Oguro R, Nakajima M, Seki N, Sadr A, Tagami J, Sumi Y. The role of enamel thickness and refractive index on human tooth colour. *J Dent.* 2016;51:36-44. doi:10.1016/j.jdent.2016.05.010
102. Olms C, Haak R, Jakstat HA. Development and implementation of the Clinical Tooth Shade Differentiation Course--an evaluation over 3 years. *GMS J Med Educ.* 2016 Feb 15;33;1-7. doi: 10.3205/zma001001.
103. Ota M, Ando S, Endo H, Ogura Y, Miyazaki M, Hosoya Y. Influence of refractive index on optical parameters of experimental resin composites. *Acta Odontol Scand.* 2012 Sep;70(5):362-367. doi: 10.3109/00016357.2011.600724.
104. Ozturk O, Uludag B, Usumez A, Sahin V, Celik G. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent.* 2008 Aug;100(2):99-106. doi: 10.1016/S0022-3913(08)60156-0.
105. Öngül D, Sermet B, Balkaya MC. Visual and instrumental evaluation of color match ability of 2 shade guides on a ceramic system. *J Prosthet Dent.* 2012 Jul;108(1):9-14.
106. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, Sakai M, Takahashi H, Tashkandi E, Perez Mdel M. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent.* 2015 Mar-Apr;27 Suppl 1:S1-9. doi: 10.1111/jerd.12149.
107. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Dental color standards: shade tab arrangement. *J Esthet Restor Dent.* 2001;13(4):254-263.
108. Paravina RD. Performance assessment of dental shade guides. *J Dent.* 2009;37 Suppl 1:e15-20.

109. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2004;24: 222-231
110. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2004 Jun;24(3):222-231.
111. Pires LA, Novais PM, Araújo VD, Pegoraro LF. Effects of the type and thickness of ceramic, substrate, and cement on the optical color of a lithium disilicate ceramic. *J Prosthet Dent.* 2017;117:144-149.
112. Reyes J, Acosta P, Ventura D. Repeatability of the human eye compared to an intraoral scanner in dental shade matching. *Heliyon.* 2019;5:e02100.
113. Rutkunas V, Dirse J, Bilius V. Accuracy of an intraoral digital scanner in tooth color determination. *J Prosthet Dent.* 2020;123: 322-329.
114. Salgado VE, Albuquerque PP, Cavalcante LM, Pfeifer CS, Moraes RR, Schneider LF. Influence of photoinitiator system and nanofiller size on the optical properties and cure efficiency of model composites. *Dent Mater.* 2014;30(10):e264-e271. doi:10.1016/j.dental.2014.05.019
115. Seghi RR, Gritz MD, Kim J. Colorimetric changes in composites resulting from visible-light-initiated polymerization. *Dent Mater.* 1990;6(2):133-137. doi:10.1016/s0109-5641(05)80044-2
116. Sen N, Isler S. Microstructural, physical, and optical characterization of high-translucency zirconia ceramics. *J Prosthet Dent.* 2020 May;123(5):761-768. doi:10.1016/j.prosdent.2019.05.004.
117. Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, Di Corato F, Trovati F, Scribante A. Computerized Casts for Orthodontic Purpose Using Powder-Free Intraoral Scanners: Accuracy, Execution Time, and Patient Feedback. *Biomed Res Int.* 2018 Apr 23;2018:4103232. doi: 10.1155/2018/4103232.
118. Sharkey S. Metal ceramic versus all ceramic restorations: part 3 *J Ir Dent Assoc.* 2011 Apr-May;57(2):110-113

119. Shiraishi T, Wood DJ, Shinozaki N, van Noort R. Optical properties of base dentin ceramics for all-ceramic restorations. *Dent Mater.* 2011 Feb;27(2):165-172. doi: 10.1016/j.dental.2010.10.001.
120. Shirani M, Savabi O, Mosharraf R, Akhavankhaleghi M, Hebibkhodaei M, Isler S. Comparison of translucency and opalescence among different dental monolithic ceramics. *J Prosthet Dent.* 2021 Sep;126(3):446.e1-446.e6. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.04.030
121. Shokry TE, Shen C, Elhosary MM, Elkhodary AM. Effect of core and veneer thicknesses on the color parameters of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent.* 2006 Feb;95(2):124-129. doi: 10.1016/j.prosdent.2005.12.001.
122. Spencer LM. Shade selection environment and technique. *Dent Clin N Am.* 1996;52:358-362.
123. Talibi M, Kaur K, Patanwala H, Parmar H: Do you know your ceramics? Part 1: classification. *Br Dent J.* 2022;232, 27–32. <https://doi.org/10.1038/s41415-021-3818-x>
124. Tashkandi E. Consistency in color parameters of a commonly used shade guide. *Saudi Dent J.* 2010;22:7-11.
125. Turgut S, Bagis B. Effect of resin cement and ceramic thickness on final color of laminate veneers: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2013 Mar;109(3):179-186
126. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *J Prosthet Dent.* 2000 Apr;83(4):412-417. doi: 10.1016/s0022-3913(00)70035-7.
127. Wang F, Takahashi H, Iwasaki N. Translucency of dental ceramics with different thicknesses. *J Prosthet Dent.* 2013;110:14-20.
128. Wee AG, Lindsey DT, Shroyer KM, Johnston WM. Use of a porcelain color discrimination test to evaluate color difference formulas. *J Prosthet Dent.* 2007 Aug;98(2):101-109. doi: 10.1016/S0022-3913(07)60043-2
129. Xing W, Jiang T, Ma X, Liang S, Wang Z, Sa Y, Wang Y. Evaluation of the esthetic effect of resin cements and try-in pastes on ceromer veneers. *J Dent.* 2010;38(suppl 2):e87–94. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.05.007>, PMID:20472022

130. Xu B, Chen X, Li R, Wang Y, Li Q. Agreement of try-in pastes and the corresponding luting composites on the final color of ceramic veneers. *J Prosthodont*. 2014;23:308–312. <https://doi.org/10.1111/jopr.12109>, PMID:24393439
131. Yildirim G, Uzun IH, Keles A. Evaluation of marginal and internal adaptation of hybrid and nanoceramic systems with microcomputed tomography: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2017;118(2):200-207. doi:10.1016/j.prosdent.2016.11.005
132. Yılmaz B, Irmak Ö. Outcomes of visual tooth shade selection performed by operators with different experience. *J Esthet Restor Dent*. 2019;31:500-507
133. Zarone F, Di Mauro MI, Ausiello P, Ruggiero G, Sorrentino R. Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. *BMC Oral Health*. 2019 Jul 4;19(1):134-147. doi: 10.1186/s12903-019-0838-x
134. Zarone F, Ferrari M, Mangano FG, Leone R, Sorrentino R. "Digitally Oriented Materials": Focus on Lithium Disilicate Ceramics. *Int J Dent*. 2016;2016:9840594. doi:10.1155/2016/9840594
135. Zhang Y, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res*. 2018 Feb;97(2):140-147. doi: 10.1177/0022034517737483.
136. Zheng Z, Wang H, Mo J, Ling Z, Zeng Y, Zhang Y, Wang J, Yan W. Effect of virtual cement space and restorative materials on the adaptation of CAD-CAM endocrowns. *BMC oral health*, 2022, 22(1), 580. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02598-0>

10. Saját publikációk jegyzéke

A doktori értekezés alapját képező publikációk:

Czigola A, Abram E, Kovacs ZI, Marton K, Hermann P, Borbely J. Effects of substrate, ceramic thickness, translucency, and cement shade on the color of CAD/CAM lithium-disilicate crowns. J Esthet Restor Dent. 2019 Sep;31(5):457-464. doi: 10.1111/jerd.12470.

IF: 1,786

Czigola A, Róth I, Vitai V, Fehér D, Hermann P, Borbely J. Comparing the effectiveness of shade measurement by intraoral scanner, digital spectrophotometer, and visual shade assessment. J Esthet Restor Dent. 2021 Dec;33(8):1166-1174. doi: 10.1111/jerd.12810.

IF: 2,843

A doktori értekezés témájával összefüggő publikációk:

Czigola A, Borbely J, Vecsei B, Joós-Kovács G L, Vitai V, Róth I, Fehér D, Módos D, Hermann P. Weboldal a Magyarországon elérhető intraorális szkennerek összehasonlítására Magyar Fogorvos: A Magyar Fogorvosi Kamara Fogorvosi Tagozatának Lapja, 2020, vol. 29, no. 2, pp. 76–84.

Vecsei B, Czigola A, Róth I, Hermann P, Borbely J, Digital Impression Systems, CAD/CAM, and STL file. in Guided Endodontics, 2021, pp. 27–63.

Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbely J. Learning curve of digital intraoral scanning - an in vivo study. BMC Oral Health. 2020 Oct 19;20(1):287-293. doi: 10.1186/s12903-020-01278-1. **IF: 2,757**

Borbely J, Czigola A, Vitai V, Róth I, Hermann P. Intraoral Scans For CAD/CAM Application Stomatology Edu Journal, 2018;vol. 5, no. 2, pp. 110–117.

Róth I, Czigola A, Fehér D, Joós-Kovács G, Hermann P, Borbely J, Vecsei B. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health 2022 Apr 26;22(1):140-157. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02176-4>. **IF: 2,757**

11. Köszönetnyilvánítás

Hálás köszönettel tartozom Dr. Borbély Judit témavezetőmnek, aki harmadéves fogorvostanhallgató korom óta támogatja és segíti munkámat. Az ő iránymutatása alatt válhattam igazi kutató orvossá, ahol megszerzett tudásomat a pácienseim ellátásában is kamatoztatni tudom.

Köszönettel tartozom Prof. Dr. Hermann Péternek, akinek igazgatói felügyelete alatt a Fogpótlástani Klinika minden támogatását megkaphattam munkám elvégzéséhez.

Köszönet illeti Dr. Márton Kriszina docens asszonyt is, a Propedeutika tanszék vezetőjét aki az első vizsgálatunkban rengeteget segédkezett.

Hálás köszönet illeti Dr. Kardos Lászlót, aki a vizsgálataink statisztikai értékelésében mérhetetlen mennyiségű segítséget nyújtott.

Köszönöm a Digitális Fogászati Munkacsoportnak, hogy támogatta munkámat. Különösen szerzőtársaimnak akikre mindig számíthattam a kutatások csapatban történő elvégzésében és ezután a cikkek megírásában. Így köszönet illeti: Dr. Fehér Dórát, Dr. Róth Ivettet, Dr. Vitai Viktóriát, Dr. Ábrám Emesét, Dr. Palaszkó Dénest, Dr. Kovács Zoltán Imrét.

Végül de nem utolsó sorban szeretném megköszönni férjemnek és családomnak a sok - sok támogatást amit egész egyetemi pályafutásom, illetve később fogorvosi és kutató munkám alatt adtak. Nélkülük biztosan nem sikerült volna.