

Intraorális szkennerek értékelése gyakorlati paraméterek alapján

Doktori értekezés

Dr. Róth Ivett

Semmelweis Egyetem
Klinikai orvostudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Borbély Judit, Ph.D., egyetemi docens
Társ-témavezető: Prof. Dr. Hermann Péter, Ph.D., egyetemi tanár

Hivatalos bírálók: Dr. Nagy Pál, Ph.D., egyetemi adjunktus
Dr. Sándor Balázs, Ph.D., egyetemi adjunktus

Komplex vizsga szakmai bizottság:

Elnök: Dr. Gerber Gábor, Ph.D., egyetemi docens

Tagok: Dr. Joób-Fancsaly Árpád, Ph.D., egyetemi docens

Dr. Rakonczay Zoltán, Ph.D., nyugalmazott egyetemi tanár

Budapest
2022

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	6
1.1. A CAD/CAM technológia és a digitális lenyomatvétel történelmi áttekintése	6
1.2. Az intraorális szkennerek működési elvei.....	12
1.3. Intraorális szkennerek protetikai alkalmazása.....	21
2. Célkitűzések	32
3. Módszerek	33
3.1. Intraorális szkennelés idejének és képszámának változása a gyakorlással összefüggésben.....	33
3.1.1. Résztvevők és oktatás bemutatása.....	33
3.1.2. A digitális lenyomatvétel körülményei és a vizsgálatban alkalmazott intraorális szkennerek bemutatása.....	34
3.1.3. A vizsgált paraméterek bemutatása: intraorális szkennelés időigénye és képszáma	36
3.1.4. Tanulási görbe	37
3.1.5. Statisztikai analízis módszere.....	37
3.2. Intraorális szkennerek értékelése azonos szempontrendszer alapján	38
3.2.1. Vizsgált intraorális szkennerek bemutatása.....	38
3.2.2. Vizsgálatban résztvevők bemutatása	39
3.2.3. Értékelés szempontjai.....	40
3.2.3.1. Összefoglaló táblázat.....	41
3.2.3.2. Összehasonlító értékelés: tömeg és fejméret	46
3.2.3.3. Modell szkennelés	47
3.2.3.4. Klinikai szkennelés.....	48
4. Eredmények	51

4.1.	<i>Intraorális szkennelés idejének és képszámának változása a gyakorlással összefüggésben eredmények</i>	51
4.2.	<i>Intraorális szkennerek értékelése azonos szempontrendszer alapján eredmények</i> 53	
4.2.1.	Összefoglaló táblázat eredmények	53
4.2.2.	Intraorális szkennerek kézirab tömeg eredmények	53
4.2.3.	Intraorális szkennerek méret eredmények	54
4.2.4.	Szkennelési sebesség eredmények.....	54
4.2.5.	Folytonosság megszakadás eredmények	55
4.2.6.	Klinikai szkennelés időeredmények	55
4.2.7.	Intraorális szkennerek generációk összehasonlítása eredmények	56
5.	Megbeszélés	60
5.1.	<i>Intraorális szkennelés idejének és képszámának változása a gyakorlással összefüggésben</i>	60
5.2.	<i>Intraorális szkennerek értékelése azonos szempontrendszer alapján</i>	65
6.	Következtetések	75
6.1.	Új megállapítások.....	76
7.	Összefoglalás	79
8.	Summary	80
9.	Irodalomjegyzék	81
10.	Saját publikációk jegyzéke	96
11.	Köszönetnyilvánítás	98

Rövidítések jegyzéke

CAD/CAM: Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing
(számítógépes tervezés és megmunkálás)

CNC: Computer Numerical Control (számítógép által vezérelt)

CEREC: Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics (szék mellett gazdaságosan elkészíthető kerámia restaurációk)

CEREC 1: Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics 1. generáció

CEREC 2: Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics 2. generáció

CEREC 3: Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics 3. generáció

IDM: Indirekt digitális munkafolyamat

DDM: Direkt digitális munkafolyamat

STL: Standard Tessellation Language (geometriai fájlformátum)

PLY: Polygon File Format

KLM: Konfokális lézerszkennő mikroszkópia

AWS: Active Wavefront Sampling/ aktív hullámfront mintavétel

MSZK: Multiszken képalkotás

AFI: Accordion fringe interferometry/ harmonika interferometria

OKT: Optikai koherencia tomográfia

Lava C.O.S: Lava Chairside Oral Scanner

IKP: Interkuszpídációs pozíció

CBCT: Cone-beam computer tomográfia

DW: Dental Wings

DWIO: Dental Wings Intraoral Scanner

CS: Carestream

PMMA: polimetil-metakrilát

3M: Minnesota Mining and Manufacturing

3D: 3-dimenziós

IOS: Intraoral scanner/ Intraorális szkennő

SE: Semmelweis Egyetem

TUKEB: Tudományos és Kutatásetikai Bizottság

RKEB: Regionális, Intézményi Tudományos és Kutatásetikai Bizottság

1. Bevezetés

1.1. A CAD/CAM technológia és a digitális lenyomatvétel történelmi áttekintése

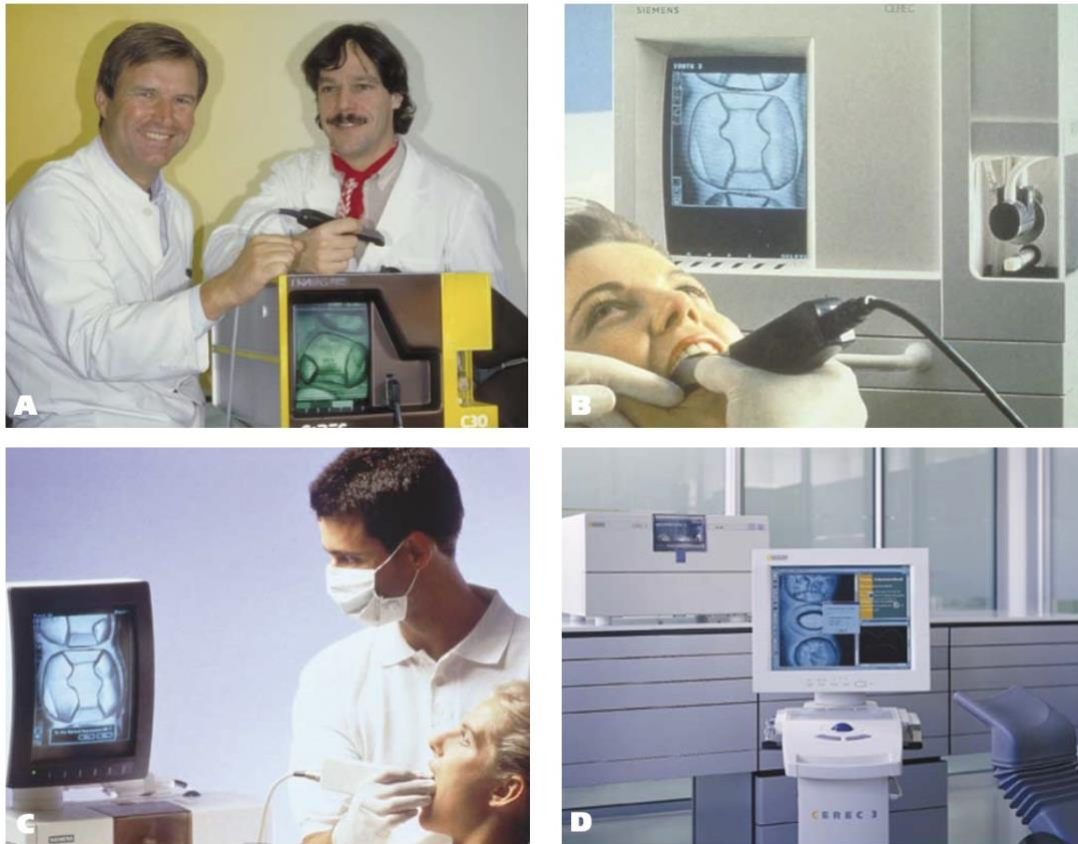
A Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing angol szókapcsolat rövidítése a fogorvosi nyelvzetben elterjedt és gyakran alkalmazott CAD/CAM betűszó (1). A CAD/CAM angol betűszó magyar jelentése számítógépes tervezés és megmunkálás (2). Elsőként az Egyesült Államok Légierője használta fel a sorozatgyártás adta előnyöket repülőgépek alkatrészeinek előállításához (3). Szélesebb körben az iparban 1952-ben jelentek meg az első numerikus vezérlésű gépek, amelyeket felhasználtak többek között az óra- és autógyártásban, illetve a nyomtatásban is (4). Az iparban megjelenő digitális forradalmat nem sokkal később a fogászati digitális forradalom követte. A sorozatgyártás ötletét alapul véve Dr. Francois Duret volt az, aki a CAD/CAM technológia fogászati integrálását először szorgalmazta. Duret szakdolgozatát Optikai lenyomatok címmel írta („Empreinte Optique”) 1971-ben. Ez a diplomamunka – amely a franciaországi Claude Bernard Egyetem Fogorvostudományi Karán született – a fogászati CAD/CAM technológia első leírása. Az első számítógépes tervezéssel és gyártással készülő fogpótlás előállítására több, mint 10 évvel később, 1983-ban került sor. Ezt követően 1985-ben mutatta be az érdeklődőknek Dr. Duret az általa kifejlesztett rendszert, amely a Sopha System nevet viselte. Debütálásként a Francia Fogorvosok Egyesületének évente megrendezésre kerülő konferenciáján Dr. Duret a felesége számára helyben készített egy koronát a nézőközönség szeme láttára (4). A következő fontos mérföldkő a CAD/CAM technológia fogászati alkalmazásában az 1989-es Midwinter Meeting volt. A Chicagóban megrendezésre kerülő konferencián Dr. Duret ismét egy koronát készített: helyben vette le a digitális lenyomatot, tervezte meg és állította elő a fogpótlást.

„Az előadóterem tele volt izgalommal és feszültséggel, amint a fények lassan elhalványultak a nézőtéren. Az elkövetkező két órában bepillantást nyertünk a

fogászat jövőjébe. A téma mintha egy sci-fi regényből lett volna kiragadva, a hallgatóságot egyszerre töltötte el ámulattal, csodálattal és egy cseppnyi félelemmel. Ahogy felkapcsolták a fényeket, mindenki döbrent csendben ült és mérlegelte magában az előadó kínáta lehetőséget: egy digitalizált fogászati jövőt (5).”

Akkor ezekkel a szavakkal írta le a történelmi jelentőségű eseményt az egyik résztvevő, Edward McLaren. Dr. Duretnek volt egy ötlete, amelyet megvalósított, viszont nagyon bonyolult felépítésű rendszer volt, drága előállítási költségekkel. Valószínűleg ez lehet az oka annak, hogy a Francois Duret által kitalált koncepció nem terjedt el a fogászatban széles körben. Maga az ötlet viszont számos további vizsgálatot indukált. A CEREC rendszer megalkotói Dr. Werner Mörmann (kutató fogorvos) és Dr. Marco Brandestini (elektromérnök) fektették le a triangulációs elv fogorvosi felhasználását, ami ma is számos intraorális szkennelőkészítésének módja (4, 6). A svájci származású kutatók washingtoni laborjukban ultrahangos vérnyomás szkennelő fejlesztésén dolgoztak, amikor egy hirtelen jött ötlet alapján elkezdtek azon gondolkodni, hogy fogakat is lehet-e ilyen módon digitalizálni. Arra hamar rájöttek, hogy ez csakis optikai úton valósítható meg (7). Ebből az ötletből kiindulva, további vizsgálatokat végeztek, amelynek eredménye a már említett triangulációs elv részletes kidolgozása volt. A CEREC egy angol betűszó, melynek jelentése: Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics, azaz szék mellett gazdaságosan elkészíthető kerámia restaurációk (7). A székmelletti rendszerek alapja, hogy a fogorvos egy intraorális szkennelőkészítésével beszkenne a preparált fogat vagy fogakat, majd a monolitikus fogpótlást (általában kisebb kiterjedésű restaurátumokat) számítógépen tervezi meg és végül CNC (Computer Numerical Control/számítógép által vezérelt) marógép segítségével szék mellett állítja elő, festi meg és dolgozza ki (3). Így a páciens egy kezelés alatt végleges fogpótlással lehet ellátni. Az első szék melletti, számítógéppel tervezett és előállított restaurátum 1985-ben a zürichi Fogorvostudományi Egyetemen készült CEREC rendszer alkalmazásával (2, 7). A CEREC rendszer első generációja a CEREC 1 (Siemens Corporation) 1987-ben került bemutatásra. Ez egy olyan székmelletti restaurátumok előállítására kifejlesztett

rendszer volt, amely főleg esztétikus betétek készítésre volt alkalmas (7). A második generációt (CEREC 2) 1994-ben mutatták be, ezzel a rendszerrel már koronák készítésére is volt lehetőség. A CEREC 3, azaz a harmadik generáció már a Sirona Dental Systems nevű cég képviselőjében került bemutatásra 1999-ben és a fogorvosok manapság is világszerte használják betétek, koronák és rövidebb



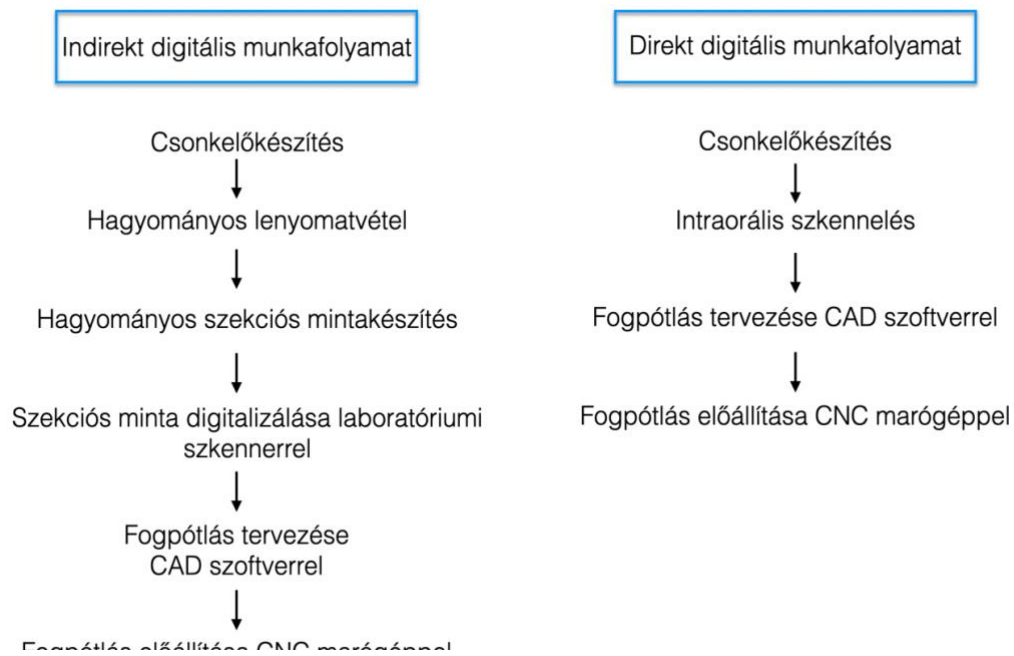
1. ábra A CEREC rendszer: A – A rendszer megalkotói, Dr. Werner Mörmann és Dr. Marco Brandestini a CEREC rendszer prototípusával (1985), B – Klinikai szkennelés a CEREC első generációjával (1991), C – CEREC 2 használat közben (1994), D – CEREC harmadik generációja (2000) (7)

kiterjedésű hidak készítésére (3). (1.ábra)

A CEREC rendszer az évek során rengeteget fejlődött, összesen 3 generáció került bemutatásra az intraorális szkennereikből: a CEREC Bluecam/Omniscam és Primescan. A CEREC Primescan-t pontossága – a gyártói ajánlások alapján – már teljes állcsont szkennelésre is alkalmassá teszi (8, 9). A fogászati CAD/CAM technológia másik úttörője Andersson volt, aki marással

állított elő titán vázakat fém-allergiás páciensek számára. Az 1980-as években problémát okozott a fogászatban az arany árának nagymértékű növekedése. A fém-allergiás páciensek ellátására viszont vagy aranyat vagy titánt lehetett használni. A titán olcsóbbnak bizonyult, viszont az öntéstechnológiája nehéz. Andersson a titán vázakat marással állította elő és leplezéseként kompozitot használt, amely ötletből kiindulva fejlesztette ki a Procera rendszert (Nobel Biocare AB) (2). A Nobel Biocare egy ma is működő cég, amely hálózatos termelést is végez, azaz nagy európai és észak-amerikai maróközpontok hozzák létre a fogpótlásokat, amelyek tervezése történhet a marócentrumban, de külső laboratóriumban is. Ennek további előnye, hogy egy kisebb laboratóriumnak a CNC marógépek beszerzésével járó nagy költségekkel nem kell számolnia, hanem az általuk megtervezett fájlokat marócentrumba küldhetik, majd az előállított vázakat vagy monolitikus restaurátumokat postán kapják vissza (1, 10).

A következő fontos történelmi mérföldkő megértéséhez ismernünk kell a fogászati CAD/CAM technológia felosztását, a direkt és indirekt munkafolyamatokat (11). (2.ábra)



2. ábra A digitális munkafolyamatok felosztása: indirekt (IDM) és direkt digitális munkafolyamat (DDM) lépései

Az indirekt munkafolyamat során a fogorvos hagyományos precíziós-szituációs lenyomatot vesz az előkészített csonkokról, amelyet hagyományos szekciós mintakészítés követ. A szekciós mintákat ezután laboratóriumi, azaz extraorális szkennerekbe helyezve kapjuk meg azt a virtuális adathalmazt, amelyre a későbbiekben a fogtechnikus tervezni fogja a készülő restaurátum vázát vagy a monolitikus fogpótlást. A CAD tervező szoftverben megalkotott tervet CNC marógéppel állítják elő, majd az ezt követő munkafolyamatok megegyeznek a hagyományos fogpótlás készítésekor alkalmazott lépésekkel (1, 2). A direkt digitális munkafolyamat abban különbözik az indirekttől, hogy ebben az esetben a fogorvos digitális lenyomatot vesz egy intraorális szkennerek segítségével, azaz a szájüregi képleteket direkt módon digitalizálja (12, 13). Az STL (Standard Tessellation Language) fájlokat továbbítva a laboratóriumba, a fogtechnikus a fogorvos által létrehozott virtuális adathalmazra fog dolgozni (14). Az extraorális szkennerek fejlesztésével indult el a fogászati CAD/CAM technológia elterjedése, tehát a digitális innováció először a fogtechnikai laboratóriumokban jelent meg, ott kezdett terjedni. Az első extraorális szkennerek a Procera cég nevéhez fűződik és 1994-ben került piacra. Szintén a Procera cég dobta piacra 1996-ban a második laboratóriumi szkennert, amely az első szkennerek második generációja volt, azaz egy továbbfejlesztett verzió. Ez a laboratóriumi szkennerek már gipszminták digitalizálására is alkalmas volt (elődje ezzel szemben egy analóg felszínmásoló eszköz volt, amely letapogatás után a letapogatott felszínt egy sziklaeróziós géppel másolta le) (15, 16). A következő generációs extraorális szkennert (Procera Forte) a sebesség terén fejlesztették, gyorsabban volt képes digitalizálni, viszont a letapogatás továbbra is kontakt módon történt (16). A Procera 2G laboratóriumi szkennerek volt az első olyan eszköz, amely optikai elven működött. Nem csak a Procera cég fejlesztett kezdetben extraorális szkennereket, azonban ezek legtöbbször kontakt szkennerek voltak. Ez drága és időigényes eljárás, így a fejlesztő cégek egyre jobban az optikai útvonal felé fordultak (4). Az intraorális szkennerek megjelenése egy olyan mérföldkő volt a fogászati digitális forradalomban, amellyel a fogorvosok is aktívan bekapcsolódhattak a digitális munkafolyamatokba. Az intraorális szkennelésre nyitott fogorvosok előtt két lehetséges munkafolyamat áll: a

laborkapcsolatos digitális munkafolyamat és a székmelletti rendszerek alkalmazása (1). A székmelletti rendszerek felépítését már az előzőekben ismertettem. A laborkapcsolatos digitális munkafolyamatok esetén a fogorvos készíti el a virtuális mintát intraorális szkenneléssel, amit továbbít a fogtechnikai laboratóriumba, ahol a digitális folyamatok további részét végzik. A fogorvos számára csak a digitális lenyomatvétel számít újdonságnak, hiszen a további lépések mind ugyanúgy történnek, mintha hagyományos lenyomatot készített volna. Az első laborkapcsolatos intraorális szkennert az iTero Element (Align Technology) volt, amelyet 2007-ben mutattak



3. ábra Az első laborkapcsolatos intraorális szkennert, az iTero Element (17)

be. (3. ábra) Fontos megemlíteni, hogy az iTero Element fejlesztését Prof. Dr. Doug Hart és Dr. Rohály János vezette (Massachusetts Institute of Technology), így ennek a jelentős mérföldkőnek magyar szereplője is volt (4, 17). Az iTero Element intraorális szkennert azóta több generációja is megjelent és a mai napig elterjedt intraorális szkennert világviszonylatban is. Az intraorális szkennelés nagy nehézsége a megcsillanó, nedves felszín digitalizálása volt, amelyet az elsőként fejlesztett intraorális szkennereknél speciális por használatával igyekeztek kiküszöbölni. Ezt a vékony titán-dioxid porréteget spray segítségével kellett felvinni a szkennelni kívánt fogak felszínére és ezután lehetett megkezdeni a szájképletek digitalizációját. Ez az eljárás nem jár pontatlansággal, viszont nehezíti a fogorvos dolgát, illetve a páciensek kényelemérzetét is csökkenti, így a későbbiekben fejlesztett intraorális szkennerek esetében a por használatának kiküszöbölésére, a készülékek hardverének és szoftverének fejlesztésére fókuszáltak (6, 18, 19). A második intraorális szkennert a Lava Chairside Oral Scanner (3M ESPE) volt, amit 2008-ban mutattak be (4). A CEREC-et, az iTero Elementet és a Lava C.O.S.-t az E4D intraorális szkennert megjelenése követte. Ez az intraorális szkennert nem terjedt el széleskörben, csak az USA-ban dolgozó fogorvosok számára volt

elérhető (4). Az elmúlt 10 évben rengeteg új intra- és extraorális szkennerek, illetve CNC marógép jelent meg a fogászati piacon (6, 12, 13). Egyre szélesebb körben érhetőek már el az arcszkennek és a digitális arcívek is, illetve az additív technológia is rohamtempóban fejlődik (20-24). Ezek az új eljárások és eszközök egészen új fejezetet nyithatnak a digitális fogászatban. A hagyományos eljárások széleskörű gyakorlásán túl, a mai naprakész fogorvosi betegellátás nem mellőzheti a digitális technikák ismeretét sem.

1.2. Az intraorális szkennerek működési elvei

A direkt digitális munkafolyamat kiinduló lépése a szájképletek digitalizálása, amely során létrehozható a fogív 3 dimenziós modellje egy intraorális szkennerek segítségével (25). Az intraorális szkennerek olyan orvosi eszközök, amelyek egy kamerával ellátott kézzel tartott darabból (hardveres háttér), egy számítógépből és egy szoftveres háttérből állnak. A fogak intraorális szkennerekkel történő precíz digitális leképezése után a virtuális minta megjelenik a számítógép képernyőjén, így azonnal információt szolgáltat a lenyomat minőségéről. Az intraorális szkennelés tehát egy optikai lenyomatvételt jelent, a felületek fény segítségével történő digitalizálását (2, 6). Ez a fény lehet természetes fény (passzív technika) vagy fehér/piros/kék strukturált fény (aktív technika) (26). A harmadik lehetőség az alternatív technika, amely során a digitalizálni kívánt felszínre fénymintázatot vetítenek. A leggyakrabban alkalmazott, az intraorális szkennerek által létrehozott digitális formátum az STL fájl. Az STL fájlok mindig háromszögekből épülnek fel, amelyek három koordinátával (x , y és z) írhatók le. Az első két koordinátát (x és y) a szoftver meghatározza a rögzített képen vagy videón, a harmadik (z) pedig kiszámításra kerül annak függvényében, hogy milyen módon történik a szkennelési kívánt felület digitalizálása. Természetesen a háromszög struktúra létrehozása során ezek a pontok átfedésekbe kerülnek, így a szoftvernek minden esetben elemeznie kell azokat és a megfelelő átfedésekkel egymáshoz illeszteni. Ilyen módon jön létre a virtuális minta, amit a különböző típusú intraorális szkennerek különféle technológiával végezhetnek (6, 13, 26). Ezeket a

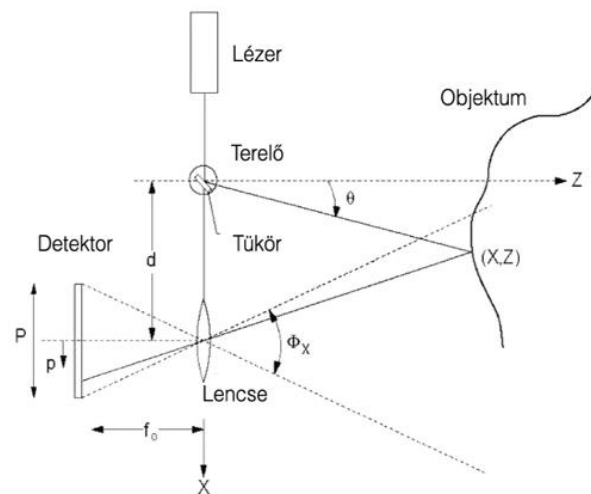
működési elveket leképezési elveknek nevezzük. A leképezési elvek ismerete létfontosságú az intraorális szkennerek működésének megértéséhez és vizsgálatához, hiszen ezek alapvetően befolyásolják a klinikai alkalmazhatóságukat (6). A szoftver az STL fájl létrehozásához szükséges háromszögek meghatározásakor koordinátákat használ, amelyeket az intraorális szkennerek által létrehozott képeken vagy videón jelöl ki. Ez alapján megkülönböztetünk leképezési módokat is, amelyek azt jelentik, hogy az adott készülék különálló képeket vagy videót rögzít a szkennelés során (27, 28). A videószekvenciás rögzítési mód jobb eredménnyel használható a fogpótlástani alkalmazásban, mint a különálló képek rögzítése (29). A különböző intraorális szkennerekkel létrehozott digitális lenyomatok lehetnek színesek és monokrómok is (13). Kezdetben az intraorális szkennerek monokróm, azaz fekete-fehér lenyomatok létrehozására voltak kizárólag képesek. Az intraorális szkennerek használatának előnyei között kell említeni a páciensekkel való kommunikáció fejlesztését és ez nyilvánvalóan sokkal könnyebb, ha a digitális lenyomat színes, így a páciens számára a különböző elváltozások (szuvas felszínek, ínygyulladás, foghiányok) egyszerűbben prezentálhatók (12). Az STL fájl típuson kívül, a színes szkennelés megjelenésével fontos megemlíteni egy másik fájl formátumot, a PLY-t (Polygon File Format). Ez egy olyan formátum, amely nem csak a rögzített 3-dimenziós képet foglalja magában, hanem színinformációkkal is rendelkezik (6). A színes szkennelés tette lehetővé továbbá olyan fejlesztések megjelenését, mint a digitális fogszín-meghatározási funkció, amely ma már több intraorális szkennerek speciális tulajdonsága (30, 31). Ma már a legtöbb intraorális szkennerek színes és élethű kép létrehozására alkalmas, azaz bármilyen nyálkahártya- vagy keményszöveti elváltozás monitorozható a digitális lenyomatok segítségével. Fontos megemlíteni, hogy az új generációs, színes kép létrehozására alkalmas intraorális szkennerek szoftvereiben továbbra is a legtöbb esetben elérhető a monokromatikus funkció. Ennek az az oka, hogy a széli záródási vonal monokromatikus virtuális mintán könnyebben követhető. A digitális technikában jártas fogorvos munkafolyamatából tehát továbbra sem tűnt el a monokromatikus nézet alkalmazása, a színes kép adta előnyök kihasználása mellett.

Szakirodalmi adatok alapján az intraorális szkennerek a következő 7 leképezési elven működhetnek: triangulációs elv, konfokális lézerszkennер mikroszkópia, aktív hullámfront mintavétel, sztereofotogrammetria, multiszen képalkotás, optikai koherencia tomográfia, harmonika interferometria (accordion fringe interferometry) (6, 13, 19, 26, 32).

Triangulációs elv

A trianguláció egy optikai digitalizáció, amelynek alapja egy trigonometriai művelet: ha egy háromszög (egy objektum) csúcsait alkotó három pont közül kettő pont helyzetét és a belső szögeket ismerjük, úgy a harmadik csúcs koordinátái kiszámíthatók (6, 26). Az így meghatározott háromszögekből épül fel a digitalizálni kívánt struktúra 3-dimenziós képe. Megkülönböztetünk aktív és passzív triangulációt. Az aktív trianguláció során az intraorális szkennер egy lézersugarat vetít a digitalizálni kívánt felszínre, amelynek visszaverődéséből kiszámolható az adott fog pozíciója és felszíni struktúrái. A lézersugarat ebben az esetben egy tükör vetíti a szkennelni kívánt felszínre,

és az erről visszaverődő lézerpont a kamera különböző területein jelenik meg, attól függően, hogy a tárgy milyen távolságban van a sugárforrástól. Mivel a kamera, a lézerforrás és a lézerpont elhelyezkedése háromszöget alkot, így a rendszer trigonometrikus számítások segítségével



4. ábra Az aktív trianguláció elve (26)

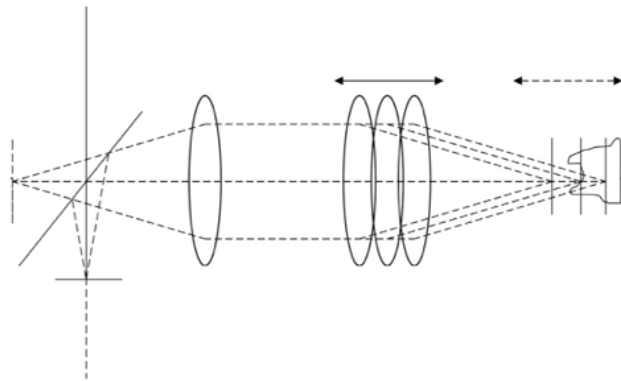
pontosan megadja a digitalizálni kívánt felszín geometriai felépítését. (4. ábra)

A szkennelés sebessége növelhető, ha lézerpont helyett az intraorális szkennerek valamilyen mintázatot vagy egy lézercsíkot vetít a leképezni kívánt felszínre (19, 26, 33, 34). A passzív trianguláció alapja ugyanaz, mint az aktív triangulációé csak ebben az esetben az intraorális szkennerek nem saját fényforrást használnak, hanem a leképezés egy külső fényforrás (természetes fény) visszaverődésén alapul. Passzív triangulációval csak nagyon erősen kontrasztos felszínek digitalizálhatók megfelelő pontossággal (26). Ahogy azt már a történelmi bevezetésben is említettem a trianguláció volt az elsőként kifejlesztett székkelletti intraorális szkennerek leképezési elve, illetve a mai napig számos intraorális szkennerek működik ilyen módon (19, 33, 35).

Konfokális lézerszkennerek mikroszkópia

A konfokális lézerszkennerek képalkotás egy olyan technika, amely fókuszált és defókuszált képek rögzítésén alapul. A képek pontról-pontra kerülnek rögzítésre, majd ezeket a kétdimenziós képeket a számítógép 3-dimenziós képpé alakítja (6, 36). A digitalizálni kívánt felszínről különböző szögekben és távolságokból készít felvételek és ezek egyesítésével képes létrehozni a 3-dimenziós képet. A konfokális mikroszkópia elvén működő intraorális szkennerek egyidőben

csak egy mélyégi szinten képesek leképezni a felületeket. Az intraorális szkennerek által kibocsájtott fénysugarak először egy lencsére vetülnek, ami fókuszálja azokat a leképezendő felszínre. (5. ábra)

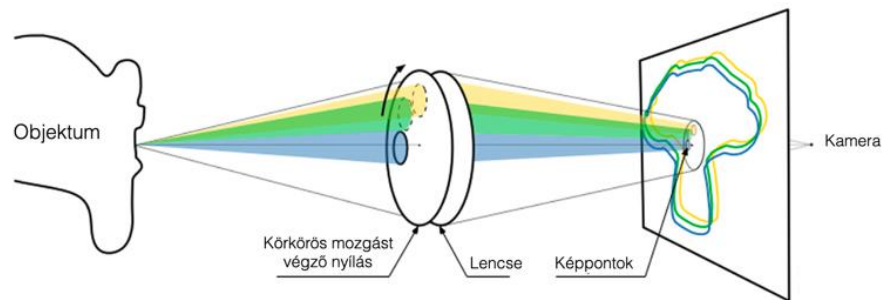


5. ábra A konfokális lézerszkennerek mikroszkópia elvén működő intraorális szkennerek lencse rendszere (26)

A felszínről visszaverődő sugarak intenzitását az eszköz detektálja, majd elektromos jelekké alakítja. Az elektromos jeleket a számítógép 3-dimenziós objektummá formálja és így létrehozza a szájképletek virtuális lenyomatát. A detektor előtt található nyílás lehetővé teszi azon fénysugarak kizárását, amelyek nem a fókuszpontból érkeznek (36, 37). Színes digitális lenyomat létrehozáshoz a felszín három különböző színű (piros, zöld, kék) fénysugárral kell megvilágítani, majd az így létrejött képek összeillesztésével kapunk színes virtuális mintákat (26). A konfokális lézerszkennelő mikroszkópia, mint leképezési elv rendkívül felhasználó szenzitív, vagyis nagyon fontos, hogy a szkennelő személy mennyire gyakorlott az intraorális szkennelésben. Ha nem megfelelően mozgatja az intraorális szkennert a leképezni kívánt felszín felett, úgy könnyen elmosódásokat hozhat létre a rögzített képekben, amelyek a digitális lenyomat pontosságát rontják. Fontos, hogy az intraorális szkennert nem szabad túl hirtelen mozdítani, lassan és határozottan kell végig vezetni a szkennelni kívánt felszín felett, a lehető legkisebb mértékben változtatva a szkennelő feje és a felszín közötti távolságot (26). Ezen kívül ennek a technikának további limitációja, hogy széles optikát igényel, azaz az intraorális szkennerek minél nagyobb fejjel kell rendelkeznie a megfelelő leképezés érdekében, ami viszont a klinikai alkalmazhatóságot és a páciens kényelemérzetét ronthatja (38). A konfokális lézerszkennelő mikroszkópiában a gyorsabb leképezés érdekében a kibocsájtott fénysugarak helyett egyes intraorális szkennerek megvilágítási mintázatot használnak, amely során fény oszcillációt alkalmaznak a szkennelni kívánt felszínen. Ennek az oszcillációnak az időbeli változását képes az intraorális szkennelő detektálni (19, 26). Ez a leképezési elv a konfokális lézerszkennelő mikroszkópia egyik altípusa, amelyet ultragyors optikai leképezésnek nevezünk (19). A konfokális lézerszkennelő mikroszkópia a trianguláció után az egyik legelterjedtebb leképezési elv (13).

Aktív hullámfront mintavétel

Az aktív hullámfront mintavétel alapja egy egylencsés képalkotó rendszer, amely mélységmérést végez. Összesen három szenzor dolgozik egyidőben, amelyek különböző nézőpontokból szkennelik a leképezendő felszíneket, így nyerve információt a fogak alakjáról és felszíni struktúráiról. Egy ilyen szenzor egyetlen kamerát és egy AWS (active wavefront sampling/ aktív hullámfront mintavétel) modult használ. Az AWS modul egy körkörös mozgást végző nyílás, amivel lehetőség nyílik egyetlen optikai útvonalon detektálni a vizsgált felületet. A mozgás következtében a képpontok forognak a kép síkja körül és az így keletkező kör sugarának ismeretében a felszíni struktúrák kiszámíthatók (39). (6. ábra)



6. ábra Az aktív hullámfront mintavétel elve (26)

A 3D felszín mintázatot egy algoritmus dolgozza fel a fókuszált és defókuszált képek felhasználásával. Másodpercenként körülbelül 20 képet rögzít ilyen módon a készülék, amely összesen 10 000 képpontot tartalmaz ezzel szolgáltatva a lehető legrészletesebb képet a szkennelni kívánt felszínről. Értelemszerűen a szkennelés során számos ismétlődő és egymással átfedő kép rögzítésére kerül sor, ezeket szintén egy algoritmus dolgozza fel ezzel optimális képminőséget és pontosságot kölcsönözve a digitális lenyomatnak (6, 19, 26). Az aktív hullámfront mintavétel mai napig alkalmazott az endoszkópia területén, azonban az új generációs intraorális szkennereknél ezt

a leképezési elvet már nem alkalmazzák (26). Két olyan, régebbi generációs intraorális szkener van a fogászati piacon, amely ezen a leképezési elven dolgozik: True Definition (3M ESPE) és a Lava Chairside Oral Scanner (3M ESPE) (13). Az aktív hullámfront mintavétel elvén működő intraorális szkenneres esetében a digitális lenyomatvételt megelőzően a fogak felszínét speciális porral kell borítani, körülbelül 15-85 µm vastagságban a megfelelő felszín leképezés érdekében (13, 19).

Sztereofotogrammetria

A technológia alapja, hogy a kamera által rögzített képek algoritmikus elemzésével létrehozható a leképezendő felszín 3-dimenziós alakja (x , y és z koordináták segítségével). Mivel ez a leképezési elv passzív megvilágításon (természetes fény) és egy szoftveres háttéren alapszik, így a készülék kisebb és az előállítási költség pedig kevesebb, mint más rendszerek esetében (6, 32). Ez a leképezési elv alapvetően a tengerbiológusoktól átvett technika fogászati felhasználása és összesen egy olyan intraorális szkener, a Dr. Duret által elsőként kifejlesztett Condor intraorális szkener szerepel a szakirodalomban, amely ezen az elven működik (6, 13).

Multiszken képalkotás

A multiszken képalkotás egy olyan 3-dimenziós leképezési technika, amelyet a triangulációs elv tovább fejlesztésével hoztak létre. Ezzel a leképezési elvvel dolgozó intraorális szkenneresek tíz kamerával és az ezekhez tartozó projektorokkal rendelkeznek. A kamerák és projektorok különböző pozícióban helyezkednek el, amely elrendezés lehetővé teszi, hogy a rendszer által a fogak felszínére vetített fekete fénypontokat eltérő látószögekben rögzítsék. A Straumann cég által gyártott DWIO intraorális szkener multiszken képalkotást használ a digitális lenyomat elkészítésekor (13),

azonban ezt a készüléket a cég már nem gyártja, csak használtan lehet hozzájutni.

Optikai koherencia tomográfia

Az optikai koherencia tomográfia egy interferometriás képalkotó technika, amely keresztmetszeti képet hoz létre a szkennelendő felszínről. Az eszközben található egy szemipermeábilis tükör és egy fényforrás. A tükrön a fényforrásból származó fény áthalad és két részre oszlik: az egyik rész áthalad a tükrön és a leképezendő felszínre (szájképletek) érkezik, a másik pedig egy mozgatható tükröre vetül. A felszínről és a tükrőről visszaverődött sugarak a szemipermeábilis tükrőnél újra egyesülnek, ekkor a hullámok felerősítik vagy kioltják egymást és ezen hatások összegeként interferometriás kép keletkezik. A keletkező adatokat a detektor érzékeli, amely létrehozza a 3-dimenziós képet, ami a számítógép képernyőjén jelenik meg. A kizárólag az USA-ban kapható E4D intraorális szkener működik ezen az elven (26).

Harmonika interferometria (Accordion fringe interferometry)

Az utóbbi működési elv angolul az „accordion fringe interferometry”, amit magyarra harmonika interferometria néven fordítottam, mivel ez a kifejezés jelenleg egyetlen magyar nyelvű szakirodalomban sem szerepel. A technológia alapja szintén az interferometriás képalkotás. A szkennelni kívánt felszínt két egymással párhuzamos fényforrás világítja meg, a visszaverődő sugarakat pedig egy kamera detektálja és továbbítja egy számítógépre. Ilyen módon a számítógép képernyőjén megjelenik a 3-dimenziós kép. Egy olyan intraorális szkener van a fogászati piacon (Lythos intraorális szkener, Ormco) amely ezen az elven működik (26, 40).

A leképezési elvek nagyon fontos paraméterei az intraorális szkennereknek, hiszen hatással lehetnek a klinikai alkalmazhatóságra (6). A gyakorlatban alkalmazott intraorális szkennerek esetében tehát nem elég megismernünk a gyártói ajánlásokat vagy a helyes szkennelési stratégiát, de a leképezési elvvel is tisztában kell lennünk a minél eredményesebb használat érdekében. A 1. táblázatban a vizsgálatainkban alkalmazott intraorális szkennerek leképezési elveit ismertetem.

1. táblázat A vizsgálatainkban használt intraorális szkennerek leképezési elvei (13, 28, 41)

Intraorális szkennер neve	Leképezési elv
3Shape Trios 3 Pod®	Konfokális lézerszkennер mikroszkópia
Planmeca Emerald®	Trianguláció
Straumann DWIO®	Multiszken képalkotás
GC Aadvá®	Konfokális lézerszkennер mikroszkópia
iTero Element 2®	Konfokális lézerszkennер mikroszkópia
CEREC Primescan®	Trianguláció
Medit i500®	Trianguláció
3Shape Trios 4 Move®	Konfokális lézerszkennер mikroszkópia
Carestream CS3600®	Trianguláció
3Shape Trios 4 Pod®	Konfokális lézerszkennер mikroszkópia
Carestream CS3700®	Trianguláció
Planmeca Emerald S®	Trianguláció

1.3. Intraorális szkennerek protetikai alkalmazása

A fogászati CAD/CAM technológia alapjaiban változtatta meg a fogorvoslás minden szegmensét, a fogorvosi beavatkozások menetét. A digitális eljárások egyre nagyobb teret hódítanak, ez alól nem képeznek kivételt a különböző fogpótlástani munkafolyamatok sem. Új eljárások és a régieknél jobb tulajdonságokkal rendelkező anyagok jelentek meg a fogászati piacon (1, 42, 43). Az új, modern anyagok a CAD/CAM technológia megjelenésével váltak elérhetővé, hiszen azok megmunkálása a hagyományos technikák alkalmazásával nem lenne lehetséges. Ilyenek a különböző esztétikus kerámia restaurációk, a nagy teherbírású cirkónium-dioxid fogpótlások és a hibridkerámiák, amelyeknek nem csak az esztétikája kedvező, hanem anyagtani tulajdonságaikban is túlszárnyalják elődeiket (43-46). A digitális technológia új munkafolyamatokat nyitott meg a fogorvosok és fogtechnikusok számára is. Az intraorális szkennerek megjelenésével a fogpótlástani beavatkozások a fogorvosok részéről is átalakultak. A digitális munkafolyamatok kiszámíthatóbbak, a kezelések pedig tervezhetőbbek, mint a hagyományos eljárások során. A digitális innovációk megjelenése a fogászatban új kihívások és célok elé állították a fogorvosokat is.

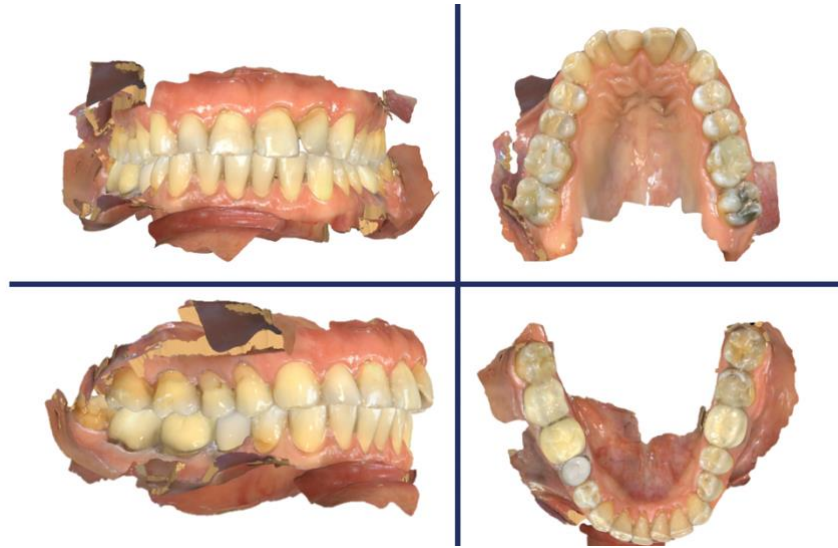
Az intraorális szkennerek használatának vannak előnyei és limitációi, amelyeket a következőkben protetikai szempontok figyelembevételével szeretnék ismertetni. Az intraorális szkennelés előnyeként említhetjük a következőket: kiszámíthatóbb, jobban felügyelhető és időtakarékosabb munkafolyamatok, gyorsabb és hatékonyabb kommunikáció a fogtechnikussal, eredményesebb kommunikáció a pácienssel, továbbá a páciens diszkomfort érzetének csökkentése, szállítási idő lerövidülése, fenntarthatóbb beavatkozások megvalósítása (kisebb anyagveszteség, kevesebb hulladéktermelés) (12, 13, 40). A digitális technológia új utakat nyitott a páciens-fogorvos kommunikációban, a kezelési terv prezentálása könnyebb és eredményesebb, ha mindezt nem csak szóban lehet elmagyarázni, hanem egy virtuális mintán be is lehet mutatni. A digitális lenyomatvétel után a virtuális minta megjelenik a számítógép képernyőjén, aminek segítségével a fogorvos szemléltetheti a tervezett

beavatkozásokat. Az intraorális szkennelésen alapuló digitális munkafolyamatok új szintre emelték az esztétikai fogászati beavatkozásokat, amelyek kiszámíthatóbbá váltak, hiszen azok eredménye még a kezelés megkezdése előtt a páciens számára demonstrálható (pl. a modern mosolytervező szoftverekkel) (47). A szoftverekben lehetőség nyílik a kétdimenziós mosoly terveket átvinni a 3 dimenziós STL fájlokra, illetve a protetikai lépések során rögzített digitális lenyomatokat (STL fájlokat) egymásra vetíteni. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a mosolytervező szoftverben létrehozott 2 dimenziós kép alapján 3 dimenziós virtuális viaszmintázat készül, amit 3D nyomtatóval fizikálisan előállít a fogtechnikus. A mock-up készítés a hagyományossal megegyező módon történik szilikon sablon segítségével. A mock-up digitalizálása után az STL fájlok egymásra vetítésével az előre megtervezett és a páciens számára demonstrált restaurátum formái 100%-ban átvihetők a végleges restaurátumokra. Az előbbieken levezetett kezelési eljárás az úgynevezett „copy-paste dentistry”, amely azért lett kidolgozva, hogy a fogorvos az első lépéstől kezdve ellenőrizhesse, irányíthassa a munkafolyamatot (48).

A fogászat digitális forradalma magával hozta a fogorvos-fogtechnikus kommunikáció új szintre emelését (13). A színes virtuális minták segítségével az instrukciók megfelelőbben átadhatók a fogtechnikusnak és a kérdéses pontok megvitatása is könnyebb. Ez hozzájárul a fogpótlások minőségének javulásához és a betegellátás színvonalának fejlesztéséhez.

A digitális lenyomatvétel után a virtuális minta megjelenik a számítógép képernyőjén és ez lehetővé teszi a minta azonnali kontrollját. (7. ábra)

Ilyen módon a lehetséges hibák már a lenyomatvételkor felismerhetők és korrigálhatók. A hagyományos eljárások esetén a lenyomati hibák csak a mintakészítés után derülnek ki, a lenyomat ismétlése plusz kezelési alkalmat jelent így a digitális munkafolyamat ilyen szempontból időtakarékosabb. A digitális lenyomatvétel további előnye a szelektív ismétlési lehetőség, azaz előforduló hiba esetén elegendő csupán a hibás részt kitörölni és újra digitalizálni, nem szükséges a



7. ábra CEREC Primescan intraorális szkennelvel létrehozott virtuális minta, amely a szkennelés után rögtön kiértékelhető

teljes lenyomatvételt megismételni (13). Ez a lehetőség is elősegíti a páciensek diszkomfort érzetének csökkentését, hiszen egy nagy kiterjedésű fogpótlás esetén a páciensek számára az egyik legmegterhelőbb beavatkozás a lenyomatvétel. A páciensek komfortérzetét tovább növeli, ha nem a tradicionális eljárással: hagyományos lenyomatkanállal és lenyomatanyaggal történik a lenyomatvétel, hanem intraorális szkennelvel kerülnek digitalizálásra a szájüregi képletek. Különösképpen fontos szempont ez a kifejezett garatreflexszel rendelkező páciensek körében. Minden szempontot figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy szakirodalmi adatok alapján a páciensek jobban preferálják a digitális lenyomatvételt a hagyományossal szemben (49-51). Az indirekt CAD/CAM technológia limitációja a soklépéses munkafolyamat, amely nem csak időben több, hanem amely során a hibalehetőség is nagyobb (32). A direkt digitális útvonal alkalmazásával a teljes protetikai munkafolyamat gyorsul. Vizsgálatok igazolták, hogy az intraorális szkennelés gyorsabb folyamat, mint a hagyományos lenyomatvétel (49, 52-57). Ezen kívül lerövidül a szállítási idő is, hiszen a lenyomatot nem szükséges hagyományos módon (futárral) továbbítani a fogtechnikai laboratóriumba, hanem felhőn keresztül vagy e-mailben elküldhető. Nincs szükség gipszminta készítésére és digitalizálására, a virtuális adathalmaz –

amire a fogtechnikai tervezés történik majd – azonnal a fogtechnikus rendelkezésére áll (13, 49, 52, 53, 58). Az intraorális szkennelésen alapuló munkafolyamat rutinszerű alkalmazása fenntarthatósági szempontból is praktikus: a hagyományos lenyomatvételi és mintakészítési lépés eliminálása kevesebb hulladéktermelést és kisebb mértékű anyagfelhasználást eredményez (13). Habár a lenyomatanyag és a gipsz megspórolásával költséghatékony alternatívaként is hivatkozhatnánk a digitális eszközökre, magas beszerzési árak miatt összességében továbbra is költséges beruházások (59).

A digitális technológia lehetővé teszi a virtuális minták archiválását, így azok hosszú távon tárolhatók anélkül, hogy fizikailag helyet foglalnának a rendelőben (13). Fog elvesztés esetén az STL fájlok előhívhatók és a páciens eredeti fogával teljesen megegyező fogpótlás készíthető. Az intraorális szkennelés adta előnyök hozzájárulnak a szájüregi képletek időben történő monitorozásához. A rendszeres kontrollok alkalmával készült digitális lenyomatok összevethetők, a változások figyelemmel kísérhetők (13). Ennek okán az intraorális szkennerek a diagnosztikában is új utakat nyitottak. A nyálkahártya és keményszöveti elváltozások hamarabb felfedezhetők és kérdéses esetekben más kollégákkal való konzultáció is leegyszerűsödik. A digitális fájlok továbbítását telefonos egyeztetés követheti, a másodvélemény kikérése ilyen módon felgyorsul. Interdiszciplináris szempontból fontos kiemelni a digitális lenyomatok és CBCT-k egymásba való integrálását, amellyel implantációs műtéti sablonok tervezésére nyílik lehetőség. Ez említett adatfúzió nem csak az implantológiai, hanem az ortodontiai tervezés során is kulcsfontosságú (13, 59, 60).

Az intraorális szkennereknek vannak közismert limitációi: a magas beruházási és fenntartási költségek, a hosszú tanulási folyamat, amely a magabiztos szkennelést megelőzi és a mély, szubgingivális széli záródási vonalak detektálási nehézségei (12, 13). Az intraorális szkennerek beszerzése megjelenésüktől fogva magas költségekkel jár és ez a tényező nem változott jelentősen az elmúlt 10 évben (1). Kezdetben azt

gondolták, hogy az intraorális szkennerek egyre szélesebb körű terjedésével, azok ára is mérséklődik. Ez részben meg is történt, ugyanakkor számottevő árcsökkenés még mindig nem figyelhető meg. Továbbra is jelentős investálás a fogorvos részéről, amit fontos, hogy teljeskörű tájékozódás és tervezés előzzön meg (13). Az intraorális szkennerek ára 15.000 és 35.000 euró között mozog, a készülék típusától függően. A beszerzési költségen kívül figyelembe kell venni a fenntartási költségeket is: karbantartás, valamely intraorális szkennerek esetében a szoftverfrissítések és a digitális lenyomatok továbbítása (12, 13, 61). Az adattovábbítás szempontjából két típusú intraorális szkennert különböztetünk meg: nyitott és zárt rendszereket. A nyitott rendszerek esetében a fájlok szabadon továbbíthatók bármilyen tervező szoftverbe, amely a piacon elérhető többlet költség kifizetése nélkül. A zárt rendszereknél licenstdíj megfizetése szükséges ahhoz, hogy a rögzített virtuális minták továbbíthatók legyenek más gyártótól származó tervező szoftverbe (13). Egyes intraorális szkennerek esetében a posztprocesszálást sem végzi el a szoftver a licenstdíj kifizetése nélkül. Ebben az esetben az STL fájlok nem exportálhatók, nincs arra lehetőség, hogy a szoftverből kimentve e-mailben vagy pendrive-on továbbíthatók legyenek a fogtechnikai laboratóriumba. Bizonyos forgalmazó cégek korlátlan támogatást ajánlanak az intraorális szkennerek mellé, azok megvásárlása után nincs licenstdíj és a szoftverfrissítésekért sem kell fizetni. A terméktámogatásról, a disztribútor cég szupport tevékenységéről és a fenntartási költségekről érdemes a beruházás előtt érdeklődni. Fontos kihangsúlyozni a digitális innovációk és azon belül az intraorális szkennerek használatát kísérő tanulási folyamatot, amely a magabiztos szkennert használatot megelőzi (62-64). Az intraorális szkennelés egészen új készségeket követel meg a fogorvosoktól, így tanulási görbéje is ekvivalens a hagyományos lenyomatvétellel. A régóta praktizáló fogorvosok rutinosak a hagyományos lenyomatvételen, az esetek többségében van egy bevált módszerük, amely alkalmazásával klinikailag elfogadható lenyomatot tudnak venni a preparált csonkokról (65). Ezzel szemben a digitális lenyomatvétel egy sok szempontból feltérképezetlen terület, kevés szakirodalom áll rendelkezésre és az egyetemi oktatásnak sem része még az

intraorális szkennelés. A digitális technológiák alkalmazásával szembeni bizonytalanság ebből fakad. Az intraorális szkennerek klinikai alkalmazhatóságáról és pontosságáról a kezdeti fázisban kevés szakirodalmi adat állt rendelkezésre. A tanulási görbét feltérképező vizsgálatok is hiányt képeztek az irodalomban, így a gyakorlati felhasználás szempontjából semmilyen támpont nem állt rendelkezésre. Nem volt ismert az a szkennelési szám, amely ahhoz szükséges, hogy a felhasználó magabiztosan tudjon digitális lenyomatot készíteni. A tanulási görbe leírása a gyakorlati felhasználás szempontjából esszenciális jelentőségű. A tanulási görbe egyik alapvető pontja a szkennelési stratégia, amely megfelelő elsajátítása kulcsfontosságú a jövőbeli klinikai alkalmazás szempontjából. A szkennelési stratégia megadja, hogy a leképezendő fogak felszíneit milyen sorrendben kell digitalizálni. Az említett sorrend közvetlenül befolyásolja az intraorális szkennelés minőségét, és közvetve a virtuális minta pontosságát (13, 41, 66, 67). A gyártó cégek jellemzően megadják az általuk forgalmazott intraorális szkennerek működését legjobban segítő, preferált szkennelési stratégiát. A szkennelési útvonal precíz megismerése és alkalmazása kulcsfontosságú a sikeres intraorális szkennerek használat érdekében. Mindazonáltal általános szabály, hogy a digitális lenyomatvételt azzal a régióval javasolt kezdeni, amely a leglényegesebb a későbbi fogpótlás szempontjából (a preparált csonkokkal), majd ezt követően ajánlott a fogív többi részét lenyomatozni. Az intraorális szkennert nem tanácsos hirtelen mozgatni, különböző irányokba forgatni. Törekedni szükséges arra, hogy az intraorális szkennerek fejt a szkennelendő fogakra merőleges vezesse a szkennelést végző személy, lehetőleg lassan és megfontoltan, mindvégig azonos távolságban tartva a fogaktól (41). Gyakori hiba, hogy a szkennelő túl gyorsan vagy nem egyenes vonalban vezeti az intraorális szkennert, illetve, hogy remeg a keze szkennelés közben. Az említett hatások összessége hiányt eredményezhet a digitális lenyomatban, amely esetben a megfelelő élességű kép eléréséhez több adat rögzítésére van szükség. A több adat rögzítése magában rejti a nagyobb mértékű torzítás lehetőségét (32, 68, 69). A mélyen szubgingivális széli záródási vonalak detektálása rendkívül nagy kihívás a fogpótlástan tárgykörében. A front területre készülő, kerámia restaurátumok esetében

megfontolandó az íny alatti preparálás lehetősége (annak minden hátrányával együtt), hiszen ezekben az esetekben a beavatkozások kimondottan az esztétika javítását szolgálják. A hagyományos szilikon lenyomatok alkalmazásakor (amennyiben a terület nem vérzik) a hígan folyó fázis képes befolyni a szulkuszba, így lenyomatozni azt. Ezzel szemben, az optikai lenyomatvétel során nehézséget okoz a mélyen íny alatt elhelyezkedő preparálási határ elégséges leképezése. Optikai lenyomat készítése előtt – hasonlóképpen a hagyományos technikához – szükséges a dupla fonalas szulkusz tágítás. Nehezítő körülmény lehet a gingiva erős vézése, amely akár a lenyomatvételt is végig kísérheti (13, 70). A gingiva vézés megelőzhető a páciens szájhigiénéről történő előzetes instruálásával, a megfelelő preparáció kivitelezésével és a sima felszínű, jól illeszkedő ideiglenes fogpótlás készítésével (13, 61, 71). Nehézséget okozhat a digitális lenyomatvétel során az okklúzió megfelelő rögzítése. Az intraorális szkennerek kezdetben csak statikus okklúzió rögzítésére voltak képesek, dinamikus mozgások szkennelésére nem volt lehetőség. A fogtechnikai tervező szoftverek a modelleket középértékű, virtuális artikulátorban jelenítették meg, a restaurátumok tervezése erre a virtuális adathalmazra történt (72). Az új fejlesztések megjelenésével van mód dinamikus okklúzió rögzítésére, a páciensre jellemző egyéni mozgáspályák feltérképezésére és digitalizálására. Az egyéni mozgáspályák a CAD szoftverekben megjeleníthetők és felhasználhatók a virtuális tervezés során (72-75). Az a tény, hogy minden fogpótlás annyira lehet csak pontos, mint amilyen pontos lenyomatot készített a fogorvos az előkészített fogakról, a digitális technológiák alkalmazásával is helytálló maradt (76). Az Amerikai Fogorvosok Egyesületének ajánlása szerint a klinikailag elfogadható határ a széli záródás tekintetében 50 és 100 μm között van (77). Más vizsgálatok szerint ennél kisebb mértékű pontosság is megfelelő (150 μm) (78), mindemellett vannak olyan szerzők, akik szerint a hosszú távú klinikai túlélés szempontjából 200 μm -es széli záródás is elfogadható (79, 80). Tudományos vizsgálatok bizonyítják, hogy intraorális szkennelével kis kiterjedésű fogpótlások esetén (1-4 tagú hídpótlások) ez a küszöbérték elérhető, következésképpen ugyanolyan pontos lenyomatot lehet készíteni digitális úton, mint

a hagyományos technika alkalmazásával (53, 54, 81-84). Nagyobb kiterjedésű hídpótlások esetén azonban a hagyományos lenyomatok alkalmazása pontosabbnak bizonyul, mint az intraorális szkennelés (12, 52, 85, 86). Újabb kutatások azt mutatják, hogy az új generációs, szoftverfrissített intraorális szkennerek teljes fogíven is klinikailag elfogadható pontossági értékeket produkálnak (87-90). Ugyanakkor a témában további vizsgálatok szükségesek, mert az intraorális szkennerek pontosság eredményei jelentős eltéréseket mutatnak a valódiság és a precizitás terén (14). Az indirekt restaurátumok széles spektruma elkészíthető digitális lenyomatvétel alapján: esztétikus inlayk/onlayk, cirkónium-dioxid és lézerszinter technológiával készült fém vázak, monolitikus cirkónium-dioxid és kerámia koronák (91-95). Vannak tanulmányok, amelyek a részlegesen fogatlan állcsont szkennelésének pontosságát tárgyalják (96-98), de egyelőre a kivethető fogpótlások készítése direkt digitális útvonalon még gyerekcipőben jár. A részleges- és a teljes lemezes fogpótlások digitális lenyomat alapján történő előállításáról jelenleg csekély mennyiségű tudományos vizsgálat áll rendelkezésre. A leképezési technikán kívül az intraorális szkennerek működésében jelentős szerepe van a számítógépen futó szoftver verzióknak is. Gyakorlati tapasztalatok és szakirodalmi adatok is alátámasztják, hogy a szoftverfrissítés pozitívan befolyásolja az intraorális szkennerek tulajdonságait (32, 99, 100). Ugyanakkor a kutatások száma ebben a témakörben még csekély, további vizsgálatok szükségesek a részletesebb és átfogóbb következtetések levonásához.

Az intraorális szkennerek kiválasztásakor meghatározó szempont a speciális tulajdonságok ismerete. A speciális tulajdonságok az adott intraorális szkennerre jellemző sajátosságok, amelyek a klinikai alkalmazást megkönnyítik (pl. több különböző méretű szkennervej, távirányítás, különböző konfigurációk: cart, pod vagy kezelőegységbe integrálhatóság) vagy amely tulajdonságok birtokában az adott készülék többre képes, mint csupán a digitális lenyomat elkészítése (pl. fogszín-meghatározás, caries detektálás, egyéni mozgáspályák detektálása). A protetikai célokra megvásárolt intraorális szkennerek tekintetében releváns speciális tulajdonság a fogszín-meghatározás, amely megkönnyítheti a fogorvos munkáját,

mivel irányadó tud lenni a készülék által választott fogszín (30, 31, 101, 102). A mindennapi fogorvosi gyakorlatban ajánlatos a készülék által javasolt fogszínt hagyományos fogszínkulccsal visszaellenőrizni, a professzionális esztétikai eredmény érdekében. (8. ábra)



8. ábra Trios 3 intraorális szkennerek speciális funkciói között is megtalálható a digitális fogszín meghatározás. Azt ábrán az intraorális szkennerek által választott fogszín látható.

Az intraorális szkennerekkel kezdetben statikus okklúzió rögzítésére nyílt csak lehetőség, a digitális tervezés középértékű artikulátorban történt, ami egy komoly limitációja volt a direkt digitális munkafolyamatnak. Ennek kiküszöbölésére ma már elérhető olyan intraorális szkennerek, amelynek szoftveres háttere lehetővé teszi a páciensre jellemző, egyéni mozgáspályák rögzítését. Ilyen módon a fogpótlás okklúziós felszíne az egyéni mozgáspályáknak megfelelően alakítható ki, kevesebb utómunkát és korrekciót kíván a fogorvos részéről (74, 75).



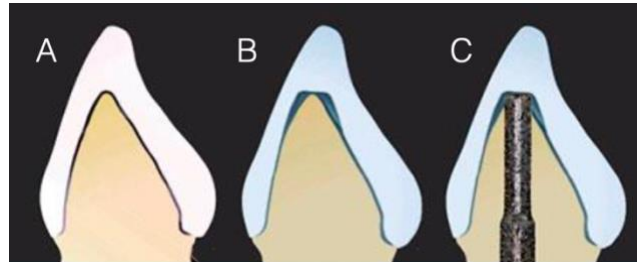
9. ábra CEREC Primemill marógép a Fogpótlástani Klinikán

Az intraorális szkennelés protetikai felhasználásának aspektusából két lehetséges út áll a fogorvosok előtt: a laborkapcsolatos intraorális szkennerek használata vagy egy székmelletti rendszer megvásárlása. Az első székmelletti rendszer a CEREC rendszer (Dentsply) volt. (9. ábra) A CEREC rendszer – mint minden székmelletti rendszer – egy intraorális szkennerből, amely számítógépen székmelletti tervező szoftver is fut, egy

CNC marógépből és egy szinterkályhából áll. Az intraorális szkennert és a marógépet általában egy egységként ajánlják a gyártó cégek, de a szinterkályha szempontjából a legtöbb székmelletti rendszer rugalmas, azaz bármilyen kályhával használható, amely az adott restaurátum anyag égetésére alkalmas. A székmelletti rendszerekhez tartozó tervező szoftverek lényegében fogorvosi felhasználásra optimalizált applikációk, amelyek lehetővé teszik a gyors és relatíve egyszerű tervezést, ami rövid időn belül elsajátítható és alkalmazható a mindennapi gyakorlatban (3). A székmelletti gyártásban használt marógépek tipikusan 4 vagy 5 tengelyűek, így a legbonyolultabb anatómiai struktúrák kimarására is képesek. A székmelletti marógépek gyorsabban dolgoznak, mint a laboratóriumi CNC egységek, ugyanakkor nem képesek olyan nagyobb kiterjedésű fogpótlás előállítására, mint amire a laboratóriumi marógépek. Tekintettel a provizórikus fogpótlások gyengeségeire, a székmelletti rendszerek egyik legnagyobb előnye, hogy ezek alkalmazása mellőzhető (3).

A preparált fogak előkészítését meghatározza a restaurátum anyaga és az előállítási módja is, ennek okán fontos kiemelni a CAD/CAM technológiával előállított restaurátumokhoz alkalmazandó specifikus preparálási szabályokat (103). A CAD tervező szoftverben a fogpótlások külső, anatómikus felszínét a fogtechnikus tervezi meg, ellenben a restaurátum belső felszínével, amelynek kialakítása automatikusan történik. A rendszer ehhez az

úgynevezett „drill kompenzációt” alkalmazza, ami azt jelenti, hogy a maró szerszámok alakjának és nagyságának figyelembevételével úgy alakítja ki a restaurátum belső felszínét, hogy az a maróegység számára létrehozható legyen (104, 105). (10. ábra) A marással előállított fogpótlásokhoz való fogelőkészítés során a



10. ábra CAD/CAM technológiával tervezett korona pótlás belső felszínének kialakítása a drill kompenzáció figyelembevételével: A – korona belső felszíne drill kompenzáció nélkül, B – korona belső felszíne drill kompenzációval, C – drill kompenzáció vizuális megjelenítése a könnyebb megértés érdekében (105)

fogorvosnak ajánlott a vékony és éles incizális élek eliminálása és a minimális rétegvastagságnak megfelelő foganyag eltávolítása (105, 106). A széli záródás tekintetében a chamfer vagy lekerekített váll alkalmazása preferált, mivelhogy ez növeli a CAD/CAM technológiával előállított restaurátumok sikerességét (107, 108).

Az intraorális szkennerek megjelenésük óta nagy utat jártak be, az elmúlt 10 évben óriási átalakuláson mentek keresztül (42). Az utóbbi években a fejlődés felgyorsult, számos új intraorális szkennert jelent meg a fogászati piacon. A teljesen új intraorális szkennereken kívül nagyszámú új generációs készülék is bemutatásra került, amelyek alapvetően egy régebbi készülék hardveresen és szoftveresen továbbfejlesztett verziói. A piacon elérhető intraorális szkennerekhez évente (vagy bizonyos esetekben még gyakrabban) szoftverfrissítések is elérhetők, amelyek szintén befolyásolják a készülékek tulajdonságait. A magyar fogorvosok körében megnőtt az érdeklődés az intraorális szkennerek irányába, ezenfelül az utóbbi években egyre nőtt a megvásárolható intraorális szkennerek száma Magyarországon is. A magyarországi fogászati piacon elérhető intraorális szkennerek – a gyártói információk alapján – csak kismértékben térnek el egymástól. Mindazonáltal a készülékekről releváns szakirodalmi adatok limitáltan állnak rendelkezésre, főként a gyártó cég által megadott adatokra lehet támaszkodni. Az intraorális szkennerek tulajdonságai meghatározzák azok fő indikációs körét és klinikai alkalmazhatóságát, ebből adódóan rendkívül fontos ezek átfogó megismerése egy új eszközre való beruházás előtt (6).

2. Célkitűzések

Disszertációm célja az intraorális szkennerek értékelése gyakorlati szempontok szerint: az intraorális szkennelés tanulási görbéjének felállítása és az intraorális szkennerek objektív összehasonlító értékelése. A digitális lenyomatvételek tanulási görbéjének meghatározása az intraorális szkennelés időigénye és a digitális lenyomat képszáma alapján történik. A különböző típusú- és ugyanazon intraorális szkennerek előző és új generációs verzióinak objektív összehasonlító értékelése a speciális tulajdonságok, a sebesség, a folytonosság és az ergonómiai paraméterek vizsgálatának szempontjából történik. A generációváltás azt jelenti, amikor egy gyártó cég egy már megjelent intraorális szkennert (előző generáció) hardveresen és szoftveresen is továbbfejleszti és átdolgozza, így egy új verziót létrehozva (új generációs modell) (12).

1. Első vizsgálatunk célja meghatározni az intraorális szkennelés tanulási görbéjét a szkennelési idő és a digitális lenyomatvételek képszáma alapján. Null hipotézisünk szerint nincs összefüggés a lenyomatvételek száma és a vizsgált paraméterek (szkennelési idő és képszám) között.
2. Második vizsgálatunk célja a különböző típusú- és ugyanazon intraorális szkennerek előző és új generációs verzióinak összehasonlító értékelése azonos objektív szempontrendszer alapján: speciális tulajdonságok összefoglalása, ergonómiai paraméterek (intraorális szkennerek tömege és fejmérete), szkennelési idő és folytonosság megszakadás modell szkennelés esetén, illetve szkennelési sebesség klinikai szkennelés során.

3. Módszerek

3.1. Intraorális szkennelés idejének és képszámának változása a gyakorlással összefüggésben

3.1.1. Résztvevők és oktatás bemutatása

A kutatásban 10 önként jelentkező, negyed- és ötödéves fogorvostan-hallgató vett részt, akik nem rendelkeztek gyakorlati tapasztalattal a digitális lenyomatvételek területén. A vizsgáló hallgatókon kívül vizsgálatunkban részt vettek önként jelentkező páciensek (akik fogorvostan-hallgatók vagy a klinika munkatársai voltak) és felügyelő orvosok, akik a lenyomatvételek megfelelő kivitelezését ellenőrizték. A páciensekkel szemben támasztott követelmények a következők voltak: teljesen megtartott fogazat (ez alól a bölcsességfogak kivételt képeznek), jó szájhigiéné, intakt kemény- és lágyszövetek, Angle I. normokklúzió. Továbbá a páciensek nem rendelkezhetnek fogpótlással vagy rögzített fogszabályozó készülékkel, nem lehetett fogászati implantátumuk és ínygyulladásuk vagy fogágybetegségük. A Semmelweis Egyetemen végzett vizsgálatokhoz a Semmelweis Egyetem Etikai Bizottsága (SE TUKEB szám: 61/2016) adott engedélyt.

A digitális lenyomatvételeket megelőzően a vizsgálatban vizsgálóként résztvevő hallgatók oktatásban részesültek. Az oktatás két részből állt: elméleti és gyakorlati oktatásból. Az elméleti oktatás során egy szkennelésben tapasztalt fogorvos előadásán vettek részt a hallgatók, illetve a munkacsoport által készített oktatóvideó is levetítésre került. Az előadás részletezett minden fontos információt a vizsgálatban használt intraorális szkennerről: típusa, felépítése, működési elve, illetve indikációs területe. A Fogpótlástani Klinika Digitális Fogászati Munkacsoportja által készített oktatóvideó főleg az intraorális szkennerek gyakorlati alkalmazására fókuszált. A videóban lépésről-lépésre végig követhető egy digitális lenyomatvételi folyamat. Ezt követte a gyakorlati oktatás, mely során a vizsgálatban résztvevő hallgatók a

vizsgálatban használt intraorális szkennelőkkel digitális lenyomatot készítettek gyakorlás gyanánt. A gyakorlati oktatás teljes ideje alatt felügyelő orvosok segítették a hallgatókat, akik egy artikulátorba gipszelt alsó és felső fogív állcsontmintát szkenneltek, két oldali okklúzió rögzítéssel. (11. ábra)



11. ábra A vizsgálatot megelőző gyakorlati oktatás, mely során a hallgatók gipszmintáról készítettek digitális lenyomatot

3.1.2. A digitális lenyomatvételek körülményei és a vizsgálatban alkalmazott intraorális szkennelők bemutatása

A vizsgáló hallgatók párban dolgoztak a digitális lenyomatvételek során, egymásnak asszisztálva. (12. ábra) Minden hallgató fejenként 10 digitális



12. ábra A digitális lenyomatvételek során a vizsgálatban résztvevő hallgatók párban dolgoztak, egymásnak asszisztálva

lenyomatot készített. A lenyomatvételek megfelelő kivitelezését minden mérés esetén egy, az intraorális szkennelők használatában tapasztalt orvos felügyelte. Az intraorális szkennelésekre külön időpontokban került sor: a lenyomatvételek 2016 júniusától, 2017 szeptemberéig történtek. A digitális lenyomatvételek során a páciensek

fekvő helyzetben voltak. Ez alól csak az okklúzió rögzítése volt kivétel, akkor a páciensek ülő helyzetben voltak, a minél pontosabb központi záróharapásos

helyzet meghatározása végett. A lenyomatvételhez minden esetben szájtérpeszt (Optragate, Ivoclar Vivadent) használtak a hallgatók, ezzel biztosítva a megfelelő rálátást. A mérések során az operációs lámpa lekapcsolt állapotban volt, mivel az intraorális szkennert leképezését a külső fényforrás megzavarhatja (109). A digitális lenyomatvételekhez minden esetben ugyanazt az intraorális szkennert használtuk: a 3Shape Trios 3 Pod verzióját (szoftver verzió: 3Shape Trios Classic 1.3.4.6). A Pod verzió azt jelenti, hogy az intraorális szkennert USB segítségével kapcsolódik egy nagy teljesítményű laptop-hoz. Az intraorális szkennert szoftveres és hardveres hátere lehetővé teszi színes, 3-dimenziós digitális modellek készítését. A Trios 3 Pod leképezési módja a konfokális lézerszkennermikroszkópia (13, 26). Minden szkennelés előtt az intraorális szkennert kalibrálni kellett, amihez az intraorális szkennert tartozó speciális kalibrációs szettet használtuk. A digitális lenyomatvételek során a vizsgáló hallgatók digitális tanulmányi lenyomatot készítettek. Először a páciens adatait kellett felvenni, majd ezt követte a digitális munkalap kitöltése, ahol volt lehetőség tanulmányi lenyomat kiválasztására. A szkennelés minden esetben a gyártó ajánlásai szerint történt, hiszen ez befolyásolhatja a digitális lenyomat pontosságát (41, 66). A szkennelési stratégia a vizsgálatot megelőző oktatás során került ismertetésre. Az elsőként szkennelt felszín az alsó és felső fogív esetén is az okkluzális felszín volt, majd ezt követték a felső állcsonton a bukkális, majd palatinális felszínek. Az alsó állcsonton az okkluzális felszín digitalizálása után először a lingvális, majd a bukkális felszín szkennelése következett. A szkenneléseket a hallgatók a jobb oldali moláris fogtól az ellenoldali moláris fogig végezték, így teljes állcsont szkennelése történt. A harapás rögzítése mindig két oldali volt. A páciens központi záróharapásos helyzetbe csukott, majd a szkennelő fejet a molárisok irányából a premolárisok irányába mozdítva a bukkális felszínek szkennelésével volt lehetőség az okklúzió rögzítésére. A lenyomatvétel utána a digitális modell megjelent a laptop képernyőjén 3-dimenzióban. A virtuális modell elfogadható volt, ha az összes

fog leképezése maradéktalanul megtörtént, minimum 2-3 mm marginális gingiva rögzítésével együtt és törésvonal nem volt megfigyelhető. A törésvonal akkor jelenik meg, ha a vizsgáló nem megfelelően mozgatja az intraorális szkennert a digitális lenyomatvétele során, így a felszín összeillesztése elégtelen. Ezt egy egyértelműen látható szürke sáv jelzi a digitális modellen. Amennyiben a virtuális mintán törésvonal jelent meg, a lenyomatvételt meg kellett ismételni. Ha a digitális lenyomaton hiányzó területek voltak, a lenyomatvétele teljes megismétlésére nem volt szükség, elég volt csak a hiányzó területekre visszatérni és új képek hozzáadásával kiegészíteni azokat. Az irreleváns területek (például a kemény szájpad) levágásra kerültek a virtuális modellről.

3.1.3. A vizsgált paraméterek bemutatása: intraorális szkennelés időigénye és képszáma

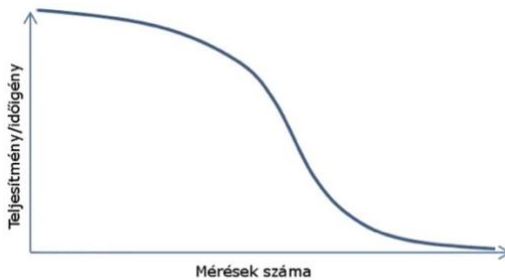
Jelen vizsgálatunkban a lenyomatvétele teljes idejére és képszámára fókuszáltunk. A szkennelési idő mérése stopperórával történt. Rögzítésre került a teljes szkennelési idő, amely az adatfelvételtől a virtuális minta küldéséig tartott. Így tehát a szkennelési időbe beleszámított az adatfelvétel, a felső és alsó digitális lenyomat elkészítésének időigénye, az okklúzió rögzítése és a posztprocesszálas időtartama. A digitális lenyomat képszáma is regisztrálásra került, amely a Trios 3 Pod intraorális szkennere esetében a számítógép képernyőjén automatikusan megjelenik a lenyomatvétele után.

3.1.4. Tanulási görbe



13. ábra Klasszikus tanulási görbe

A tanulási görbe olyan teljesítmények sorozata, mely mutatja annak, amit a megfigyelt alanyok már megtanultak. Sokféle tanulási görbét ismerünk, de a klasszikus típusú a nulla tanulási szintről induló, szigmoid alakú, emelkedő görbe. (13. ábra) A görbe 3 szakasszal jellemezhető. A pozitív gyorsulási szakaszon a vizsgálók tanulási sebessége folyamatosan növekszik, ezt követi a középső szakasz, ahol a tanulás üteme egyenletes. A negatív gyorsulási szakaszon a vizsgálók tanulási sebessége fokozatosan csökken, végül a görbe egy plató fázisban végződik. Ha az x



14. ábra Inverz tanulási görbe

tengelyen a mérések számát, az y tengelyen pedig a teljesítményt, esetünkben az időigényt vagy képszámot tüntetjük fel, úgy egy fordított alakú (inverz) tanulási görbét kapunk (110). (14. ábra)

A statisztikai kiértékelés során lehetőségünk nyílt felrajzolni a vizsgáló hallgatók inverz tanulási görbéjét, mind az időigény, mind a képszám szempontjából.

3.1.5. Statisztikai analízis módszere

A statisztikai analízist Stata programcsomagban, random hatásmodalitású, általánosított legkisebb négyzetes regressziós modellezéssel végeztük. A kimeneti változók a teljes szkennelési idő vagy a képszám, a magyarázó

változó a mérési sorszám – a tanulási folyamat előrehaladottságát reprezentáló folytonos tényező – volt. Az összefüggés görbült lefutását a mérési sorszám négyzetes változatának hozzáadásával tettük lehetővé, ha annak együtthatója az $\alpha = 0,05$ kritérium alapján szignifikáns volt. A fix hatású modellváltozat indokoltságának eldöntésére a Hausman-féle specifikációs próbát használtuk. A kimeneti változókat természetes logaritmusos transzformáció után használtuk a normalitás javítása érdekében.

3.2. Intraorális szkennerek értékelése azonos szempontrendszer alapján

3.2.1. Vizsgált intraorális szkennerek bemutatása

Vizsgálatunkban 8 gyártótól 12 különböző intraorális szkennert értékeltünk. Az intraorális szkennereket minden esetben a hazai forgalmazó cég biztosította számunkra. Az intraorális szkennereket 2 hétre szállították ki a Fogpótlástani Klinikára, a mérések elvégzésére ez az idő állt rendelkezésre. A vizsgált intraorális szkennerek a vizsgálat sorrendjében felsorolva a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat A Fogpótlástani Klinika Digitális Munkacsoportja által vizsgált intraorális szkennerek a vizsgálat sorrendjében felsorolva

Intraorális szkennер	Gyártás helye	Gyártás éve
3Shape Trios 3 Pod®	Koppenhága, Dánia	2015
Planmeca Emerald®	Helsinki, Finnország	2017
Straumann DWIO®	Basel, Svájc	2015
GC Aadva®	Löven, Belgium	2017
iTero Element 2®	Amszterdam, Hollandia	2018
CEREC Primescan®	York, Egyesült Államok	2019
Medit i500®	Szöul, Dél-Korea	2018

3Shape Trios 4 Move®	Koppenhága, Dánia	2019
Carestream CS3600®	Atlanta, Egyesült Államok	2016
3Shape Trios 4 Pod®	Koppenhága, Dánia	2019
Carestream CS3700®	Atlanta, Egyesült Államok	2020
Planmeca Emerald S®	Helsinki, Finnország	2020

A felsorolt intraorális szkennerek közül 7 pod verzióban állt rendelkezésünkre: (3Shape Trios 3 Pod®, Planmeca Emerald®, Medit i500®, CS3600®, 3Shape Trios 4 Pod, CS3700®, Planmeca Emerald S®), azaz nagy teljesítményű laptop-hoz USB-vel kapcsolódó formában. Az intraorális szkennerek közül 5 cart verzióban került kiszállításra: Straumann DWIO®, 3Shape Trios 4 Move®, GC Aadva®, iTero Element 2®, CEREC Primescan®. A vizsgálat időpontjában az értékelt intraorális szkennerek a forgalmazó cégek bemutató darabjai voltak, a hazai piacon éppen elérhető legújabb verziók a legfrissebb szoftverrel, amelyeket elsőként mi használhattunk (111). Vizsgálatunkban nem csak a különböző típusú intraorális szkennerek összehasonlítására nyílt mód, hanem ugyanazon szkennerek előző és új generációs verzióinak vizsgálatára (Planmeca Emerald és Planmeca Emerald S, Carestream 3600 és 3700, 3Shape Trios 3 és Trios 4 intraorális szkennerek) is.

3.2.2. Vizsgálatban résztvevők bemutatása

Az intraorális szkennerek tesztelésében mindig három negyed- vagy ötödéves fogorvostan-hallgató vett részt (összesen 36 hallgató vett részt a 12 intraorális szkennerek vizsgálatában). A hallgatóknak nem volt előzetes gyakorlati tapasztalata a digitális lenyomatvétel területén. A fogorvostan-hallgatók a vizsgálatok elvégzése előtt oktatáson vettek részt, amelyet minden esetben az intraorális szkennert forgalmazó cég biztosított számukra. Az oktatást olyan

fogorvosok vagy fogtechnikusok tartották, akik az adott intraorális szkennerek használatában jártasok. Közismert, hogy az intraorális szkennerek pontosságát az előzetes kalibráció is befolyásolhatja (112). A kalibráció elmaradásából adódó torzítások elkerülése végett minden mérést megelőzte a gyártó utasításai szerinti kalibrálás. Az intraorális szkennerek kiszállításakor a forgalmazó cég végezte el az első kalibrációt, majd a klinikai és modell szkennelések előtt és között minden esetben a vizsgáló kalibrálta az intraorális szkennert. A modell és klinikai szkennelések során a hallgatókat egy szkennelésben jártas felügyelő orvos segítette. A vizsgálat 2018 júniusától 2020 decemberéig zajlott. A Semmelweis Egyetemen végzett vizsgálatokhoz a Semmelweis Egyetem Etikai Bizottsága (SE RKEB szám: 108/2019) adott engedélyt.

3.2.3. Értékelés szempontjai

Az intraorális szkennerek objektív értékelése 4 különböző módon történt: (a) összefoglaló táblázat, (b) összehasonlító értékelés (az intraorális szkennerek kézirarabjának tömege és a szkennerek fejének átmérője), (c) szkennelési idő és folytonosság megszakadás modell szkennelése esetén, illetve (d) szkennelési sebesség klinikai szkennelés során. A vizsgált intraorális szkennerek ezen 4 különböző szempont alapján kerültek értékelésre. Első lépésben az összefoglaló táblázat készült el, ezt követte az intraorális szkennerek tömegének és fejkörületének lemérése az ergonómiai tulajdonságok értékelésére. A modell szkennelések során a szkennelési idő és a folytonosság megszakadás regisztrációjához minden esetben azonos protokollt használtunk. A folytonosság megszakadás azt jelenti, hogy egy adott intraorális szkennerek a digitális lenyomatvétel során hányszor veszíti el a képet. A klinikai szkennelések során – a modell szkennelésekkel megegyező módon – minden esetben azonos protokollt alkalmaztunk a szkennelési idő mérésére.

3.2.3.1. Összefoglaló táblázat

Az összefoglaló táblázatban 26 különböző speciális tulajdonság került felsorolásra, amelyet az 3. táblázatban tüntettem fel. A speciális tulajdonságok az adott intraorális szkennerre jellemző sajátosságok, amelyek a klinikai alkalmazást megkönnyíthetik (pl. több különböző méretű szkennervej, távirányítás, különböző konfigurációk, nyílt vagy zárt rendszerként működik, hardver specifikumok) vagy amely tulajdonságok birtokában az adott készülék többre képes, mint csupán a digitális lenyomat elkészítése (pl. fogszín-meghatározás, caries detektálás, egyéni mozgáspályák detektálása, prepreparációs szkennelési lehetőség, fogsor munkafolyamat).

3. táblázat A vizsgálatunkban használt, az intraorális szkennerek speciális tulajdonságait összefoglaló táblázat

Hardver specifikumok	színes érintőképernyő távirányító	nem élethű: 0,5 élethű: 1 nem: 0 igen:1 nem:0 igen:1
Konfiguráció	egy elérhető konfiguráció: 0 több választható konfiguráció: 1	
Exportálható fájl típusok/ Digitális munkafolyamat	saját felhő alapú platform: +1	
Nyílt vs. zárt rendszer	zárt: 0 nyílt: 1	

Székmelletti rendszer	saját székmelletti (chairside) rendszer: +1
Felhasználhatóság	Implantológia:1 Fogszabályozás:1
Speciális tulajdonságok:	Fogszín-meghatározás:1 Csonkszín-meghatározás:1 Egyéni mozgáspályák detektálása:1 Preparációs szkennelési lehetőség:1 Emergencia profil szkennelés:1 Csap szkennelés:1 Lenyomat szkennelés:1 Fogsor munkafolyamat:1 Több különböző méretű szkennervej:1 Smile design: 1 Caries detektálás:1 Egyéb speciális tulajdonság, annak megnevezésével:1 Egyéb speciális tulajdonság, annak megnevezésével:1 Egyéb speciális tulajdonság, annak megnevezésével:1
Támogatás	évenként megújítandó licenz:0

	megvásárlással korlátlan támogatás:1
Infrastruktúra	<p>szerviz</p> <p>nincs szakszerviz: 0 külföldi/online szakszerviz:0,5 hazai szakszerviz:1</p> <p>forgalmazó által szervezett oktatási lehetőség</p> <p>nem megoldott: 0 külföldi/online: 0,5 hazai: 1</p>

- Hardver specifikumok:
 - Színes: Minden vizsgálatunkban szereplő intraorális szkennerek színes digitális lenyomat rögzítésére alkalmas. Azonban a szín szempontjából az intraorális szkennerek által rögzített virtuális minta 2 féle lehet: élethű (1 pont) vagy nem élethű (0.5 pont). Az élethű digitális lenyomat azt jelenti, hogy az intraorális szkennerek által létrehozott virtuális mintán a fogorvos analizálni és monitorozni képes az esetleges szájüregi változásokat. Egyes intraorális szkennerek ugyan színes képet rögzítenek, azonban ezek nem élethű színek, így például egy nyálkahártya elváltozás nem monitorozható ilyen módon. A nem élethű digitális lenyomat kevesebb információval szolgál, mint az élethű virtuális minta.
 - Érintőképernyő: Ha a vizsgált intraorális szkennerekhez tartozó laptop vagy beépített számítógép érintőképernyővel rendelkezik 1

pontot kapott, amennyiben nem rendelkezik érintőképernyővel, 0 pontot érhetett el ennél a paraméternél.

- Távirányító: Ha a vizsgált intraorális szkener valamilyen távirányítással (pl. lábpedál) rendelkezik 1 pontot kapott, ennek hiányában 0 pontot szerezhettek.
- Konfiguráció: Ha az adott intraorális szkener csak egy konfigurációban érhető el 0 pontot kapott, ha több választható konfigurációban is rendelhető (például pod verzió/ cart verzió) 1 pontot kapott erre a paraméterre.
- Exportálható fájl típus/Digitális munkafolyamat: A fájlok továbbítása a laboratóriumba sokkal gyorsabb és kényelmesebb, ha az adott intraorális szkenernek saját felhőalapú platformja van kialakítva erre a célra. Ez plusz 1 pontot ért az összefoglaló táblázatban.
- Nyitott vs. zárt rendszer: Ha az intraorális szkener nyitott rendszerként működik, azaz a virtuális minták szabadon továbbíthatók bármilyen tervező programba licenz díj megfizetése nélkül, 1 pontot kapott. Ha az adott intraorális szkener zárt rendszerként működik és csak a gyártó cég által kijelölt tervező szoftverbe továbbíthatók a fájlok, 0 pontot kapott.
- Székmelletti rendszer: Ha a vizsgált intraorális szkener rendelkezik székmelletti tervezési és kivitelezési lehetőséggel (chairside rendszer), akkor plusz 1 pontot kapott.
- Felhasználhatóság: Implantációs vagy fogszabályzási felhasználhatóság esetén az adott intraorális szkener plusz 1-1 pontot kapott. Az implantációs felhasználás alatt azt értjük, hogy az adott intraorális szkennel van lehetőség az

implantátum helyzetének és az implantátumon elhorgonyzott restaurátumnak a megtervezésére. Fogszabályozási felhasználás esetén az adott intraorális szkennereknek van saját fogszabályozási tervező programcsomagja, így a fogszabályozás kimenetele tervezhető és kiszámítható.

- Speciális tulajdonságok: Minden speciális tulajdonság plusz 1 pontot ér az összefoglaló táblázatban. Ilyen speciális tulajdonság például a digitális fogszín- és csonkszín meghatározási funkció, egyéni mozgáspályák detektálása, prepreparációs/ csap/ emergencia profil/ hagyományos lenyomat szkennelési lehetőség, fogsor munkafolyamat, mosolytervezés, caries detektáló funkció vagy a különböző méretű, cserélhető intraorális szkennergejek. Ezekon kívül 3 további lehetőséget jelöltünk meg: „egyéb speciális tulajdonság, annak megnevezésével”, amely minden olyan speciális funkciót jelölhet, ami csak az adott intraorális szkennerre specifikus. A táblázatban ez is plusz 1 pontot ér és szükséges pontosan megnevezni az adott tulajdonságot.
- Támogatás: A vizsgált intraorális szkennerek 0 pontot kaptak, ha évente megújítandó licensszel rendelkeznek (ez azt jelenti, hogy a felhasználó évente köteles egy bizonyos díjat megfizetni annak érdekében, hogy az intraorális szkennert tovább tudja használni). A korlátlan licensszel rendelkező intraorális szkennerek (amelyeknél nincs szükség évente díjfizetésre) 1 pontot kaptak.
- Infrastruktúra: Ez a paraméter 2 részből állt: szervíz és a forgalmazó által szervezett oktatási lehetőség.
 - Szervíz: Amennyiben az adott intraorális szkennert gyártó cég nem rendelkezik szakszervízzel 0 pont, 0.5 pont adható külföldi

- vagy online szakszervíz esetén és 1 pont adható, ha a hazai szervízlehetőség adott.
- Oktatás: Amennyiben az adott intraorális szkennerekhez a forgalmazó cég nem tud oktatást biztosítani 0 pont, 0.5 pont adható külföldi vagy online oktatás esetén és 1 pont adható, ha a forgalmazó cég hazai oktatást tud biztosítani a felhasználók számára.

Az összefoglaló táblázatban egy intraorális szkennerek maximálisan 26 pontot érhetett el, a felsorolt 26 tulajdonságnak megfelelően. Ilyen módon a vizsgált intraorális szkennerek speciális és a klinikai alkalmazhatóságot befolyásoló tulajdonságai objektíven összehasonlíthatók. Az összefoglaló táblázat minden intraorális szkennerek esetében egy szkennelésben jártas fogorvos töltötte ki a szakirodalomban fellelhető információk és a forgalmazó cég által biztosított brosúrák, leírások, illetve saját tapasztalatok alapján.

3.2.3.2. Összehasonlító értékelés: tömeg és fejméret

Az intraorális szkennerek ergonómiájának értékeléséhez az intraorális szkennerek kézdarabjának tömege és a fejmérete lemérésre került. A fejméretet mérőszalag segítségével határoztuk meg 3 alkalommal, majd ebből átlagot mérve kaptuk meg a vizsgálatunkban feljegyzett fejméret értéket. Az intraorális szkennerek tömegének meghatározásához minden intraorális szkennerek esetében ugyanazt a mérleget alkalmaztuk (Dyras KSCL-1033G, BW: 0.5 kg, NW: 0.458 kg, DIM: 220x155x240 mm, gyártó: Vöröskő Kft.). Ebben az esetben is 3 mérést végeztünk, majd ezek átlagát jegyeztük fel. A méréseket minden esetben egy tapasztalt fogorvos végezte.

3.2.3.3. Modell szkennelés

A modell szkenneléseknek kettős célja volt: meghatározni az adott intraorális szkennerre jellemző szkennelési időt, valamint folytonosság megszakadást. A modell szkennelések során egy PMMA (polimetil-metakrilát) felső állcsont mintát használtunk referencia mintaként. (15. ábra)



15. ábra A modell szkennelések során használt PMMA minta

Ezen a modellen a jobb felső középső metsző, első kisőrlő és második nagyőrlő fogak koronához, és a bal felső első nagyőrlő fog betéthez volt előkészítve. A jobb felső második kisőrlő és első nagyőrlő fogak pedig hiányoztak. A vizsgálatban résztvevő fogorvostan-hallgatók minden esetben ugyanazt a referencia modellt szkennelték. (16. ábra)



16. ábra A modell szkenneléseket minden esetben 3 különböző hallgató végezte, akik fejenként 10-10-10 digitális lenyomatot készítettek

A három hallgató fejenként 10 alkalommal szkennelte a referencia mintát, amelyet minden esetben felügyelő orvos segített. A digitális lenyomatvételek

során a szkennelési stratégia és az intraorális szkennerek beállításainak szempontjából minden esetben a gyártó cég ajánlásait követtük, amelyek előzetesen az oktatáson kerültek részletesen bemutatásra. Abban az esetben, ha a gyártó cég nem jelölt meg ajánlott szkennelési stratégiát a következő stratégiát alkalmaztuk: a szkennelési útvonal az okkluzális-palatinális felszínnel indult a jobb oldali utolsó nagyőrlő fogtól az intraorális szkennerek fejét 45 fokban döntött pozícióban tartva. Visszafelé a bal oldali utolsó őrlőfogtól indult a szkennelés, a fejet ismét 45 fokos szögben tartva, a bukkális-okkluzális felszíneken végig vezetve. A teljes szkennelési idő lemerésre került a digitális lenyomatvételek megkezdésétől, a virtuális minta betöltéséig, stopperóra segítségével. A folytonosság megszakadást a felügyelő orvos regisztrálta. Mindkét mért értékből átlagot számoltunk.

3.2.3.4. Klinikai szkennelés

A klinikai szkenneléseket is fogorvostan-hallgatók végezték, ugyanaz a három hallgató, akik az éppen vizsgált intraorális szkennerekkel készített modell szkennelésekben is részt vettek. Minden vizsgált intraorális szkennerekkel 18 digitális lenyomat készült (6 db lenyomat/hallgató): 3 teljes állcsont és 3 kvadráns digitális lenyomat. A digitális lenyomatvételek egyidőben történtek, minden esetben a modell szkennelések után. A klinikai szkennelések során – ahogy a modell szkennelések esetén is – egy felügyelő orvos segítette a hallgatók munkáját. A páciensekkel szemben támasztott követelmények a következők voltak: betöltött 18. életév, teljesen megtartott fogazat (ez alól a bölcsességfogak kivételt képeznek), jó szájhigiéné, intakt kemény- és lágy szövetek, Angle I., normokklúzió. Továbbá a pácienseknek nem lehettek fogpótlásaik vagy rögzített fogszabályozó készülékük, fogászati implantátumuk, ínygyulladásuk, valamint fogágybetegségük. A klinikai szkennelések során alkalmazott szkennelési stratégia minden esetben a gyártó cég ajánlásai szerint került meghatározásra. Amennyiben a gyártó cég nem

jelölt meg ajánlott szkennelési stratégiát, a tanulási görbe felállításánál használt stratégiát alkalmazták a vizsgáló hallgatók. Ebben az esetben a szkennelési sorrend (teljes állcsont és kvadráns lenyomatvételek esetében egyaránt) a felső állcsonton a következő volt: okkluzális felszín majd bukkális felszín, végül a palatinális felszín leképezése. Az alsó állcsonton az okkluzális felszín után a lingvális következett, majd a bukkális oldalon fejeződött be a szkennelés. A digitális lenyomatvételeket teljes állcsont és kvadráns szkennelés esetében is a jobb oldali nagyörlő fogtól kezdték. Kvadráns lenyomat esetében a szkennelés a jobb oldali nagymetsző fogig tartott. A harapás rögzítése mindig az adott intraorális szkennerek megfelelően történt. A legáltalánosabb és a legtöbb készülék úgy működik, hogy a megfelelő központi záróharapásos helyzet meghatározásához két oldali harapásrögzítésre van szükség (mindkét oldalon moláris területen). Vannak azonban olyan intraorális szkennerek, ahol három felszínen kell szkennelni a harapást (2 oldali moláris és front terület) vagy csupán egy oldal szkennelése is elegendőnek bizonyul a felső és alsó digitális lenyomatokat összeillesztéséhez. Ha az adott intraorális szkennerek esetében szükséges volt, akkor a digitális lenyomatvételek az intraorális szkennerek kalibrálásával kezdődtek. A következő lépés a digitális munkalap kitöltése, majd a tanulmányi lenyomatvételek kiválasztása volt. A lenyomatvételek során szájterpesz (Optragate, Ivoclar Vivadent) alkalmazására került sor a jobb rálátás érdekében. A klinikai szkennelési idő mérése stopperórával történt. Lemértük a lenyomatvételek időigényét (alsó és felső állcsont, harapás rögzítéssel) a digitális munkalap kitöltésétől, a fájlok mentéséig, mind a teljes állcsont mind a kvadráns szkennelések esetében. A lenyomatvételek után a virtuális minta megjelent a képernyőn, amely akkor volt elfogadható, ha minden fog minden felszíne leképezésre került, nem jelent meg törésvonal a lenyomaton és a harapás regisztrálás is sikeres volt. (17. ábra) Amennyiben törésvonal jelent meg vagy más hiba jelentkezett a digitális mintán, a digitális lenyomatvételeket meg kellett ismételni. Ha a digitális minta nem tartalmazott

leképezési hibákat, viszont voltak hiányos területek a mintán, akkor a lenyomatot nem kellett megismételni, csak új képek hozzáadásával kiegészíteni azokat. A klinikai szkennelési időket rögzítettük és átlagoltuk.



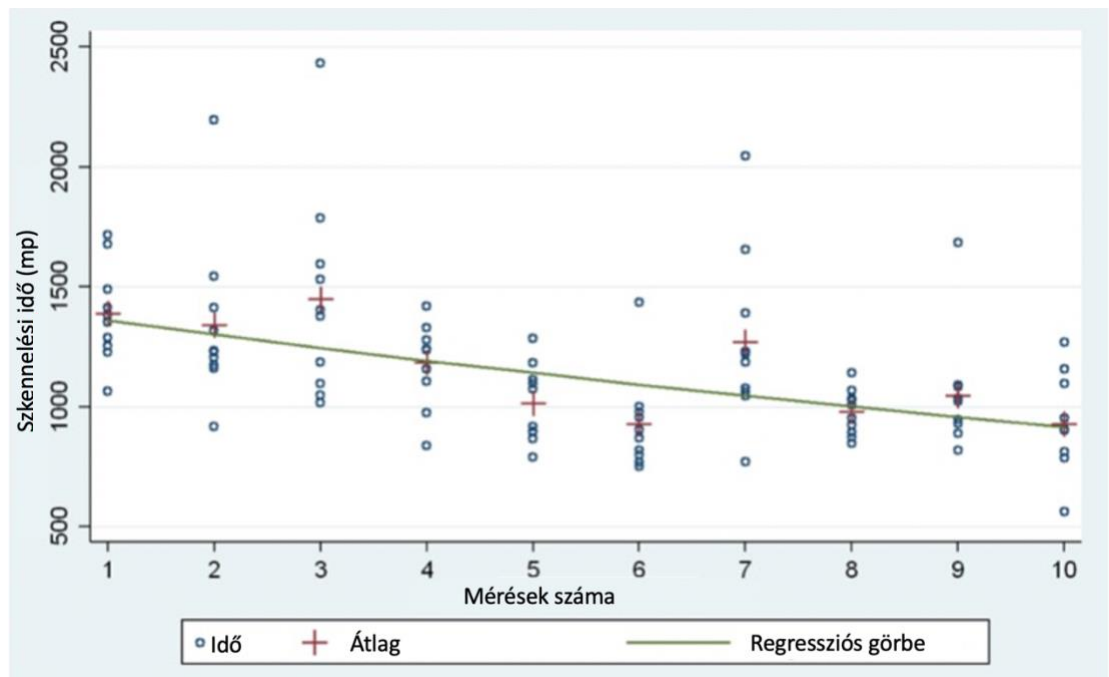
17. ábra 3Shape Trios 3 Pod intraorális szkennerral készült virtuális minta

4. Eredmények

4.1. Intraorális szkennelés idejének és képszámának változása a gyakorlással összefüggésben eredmények

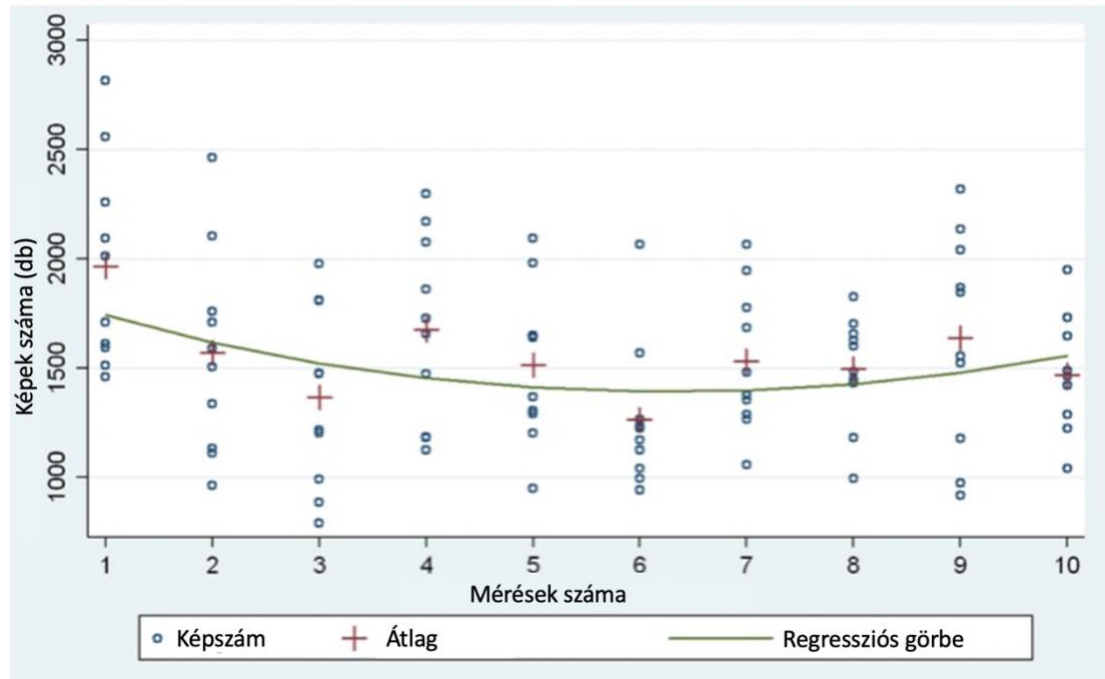
A null hipotézis alapján a mérések sorrendje és a vizsgált eredmények (teljes szkennelési idő és rögzített képek száma) között nincs összefüggés. Az eredményeink alapján a null hipotézist elvetettük, mivel az intraorális szkennelés ismételt használatával a szkennelési idő és a rögzített képek száma is csökkent. Az elvégzett 100 mérésből látható, hogy a teljes lenyomatvételi idő átlaga 23 perc 9 másodperc az első szkennelés esetén és 15 perc 28 másodperc a tizedik szkennelés esetén. A két érték közötti különbség (7 perc 41 másodperc) szignifikáns ($p=0.007$). Az átlag teljes képszám az első szkennelés esetén 1964,5 volt, míg a tizedik alkalomra ez a szám 1468,6-ra csökkent (a különbség 495,9). A képszám átlagos csökkenése nem mutat egyenletes lefutást.

A szkennelési idő esetén a mért adatokra illesztett tanulási görbe egybeesik a klasszikus tanulási görbe második szakaszával. (18. ábra)



18. ábra Az átlagos szkennelési időeredmények alapján felállított tanulási görbe

A képszámok esetén a görbe nagyjából a hatodik mérésig csökkenő tendenciát mutat, majd emelkedni kezd. (19. ábra)



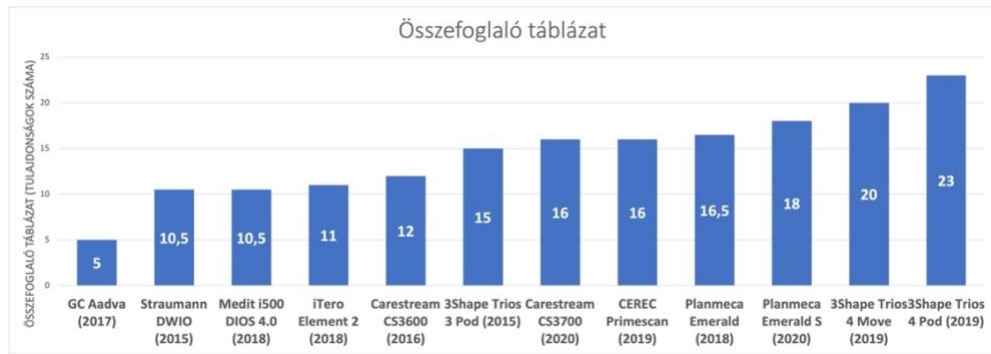
19. ábra Az átlagos képszám eredmények alapján felállított tanulási görbe

A méréseink korlátjain belül elmondható, hogy a kialakult görbe az inverz tanulási görbe középső és harmadik harmadának határán helyezkedik el.

4.2. Intraorális szkennerek értékelése azonos szempontrendszer alapján eredmények

4.2.1. Összefoglaló táblázat eredmények

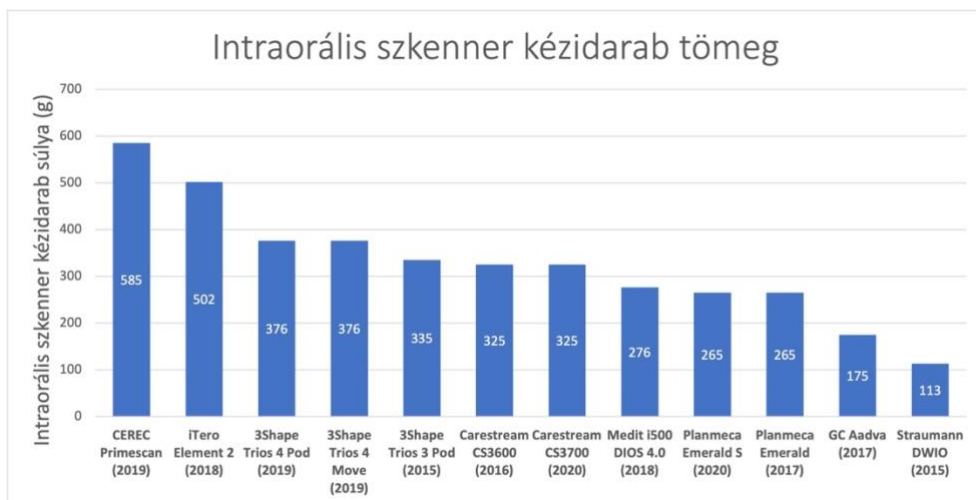
Az összefoglaló táblázat alapján a legmagasabb pontszámot elért intraorális szkennerek összesen 23 tulajdonsággal rendelkeznek a 26-ból. A legkevesebb pontot elért intraorális szkennerekre mindössze 5 tulajdonság volt igaz a 26-ból. Az összefoglaló táblázat eredményeit a 20. ábrán tüntettem fel.



20. ábra Összefoglaló táblázat eredmények

4.2.2. Intraorális szkennerek kézidarab tömeg eredmények

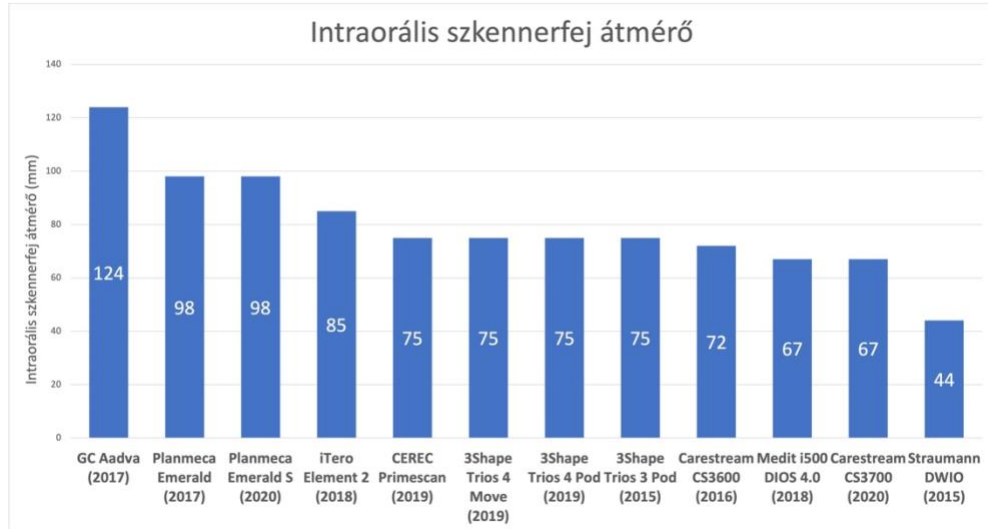
Az összehasonlító értékelésben a legkönnyebb intraorális szkennerek 113 g volt, a legnehezebb készülék pedig 585 g. (21. ábra)



21. ábra Intraorális szkennerek kézidarab tömeg eredmények

4.2.3. Intraorális szkennervej méret eredmények

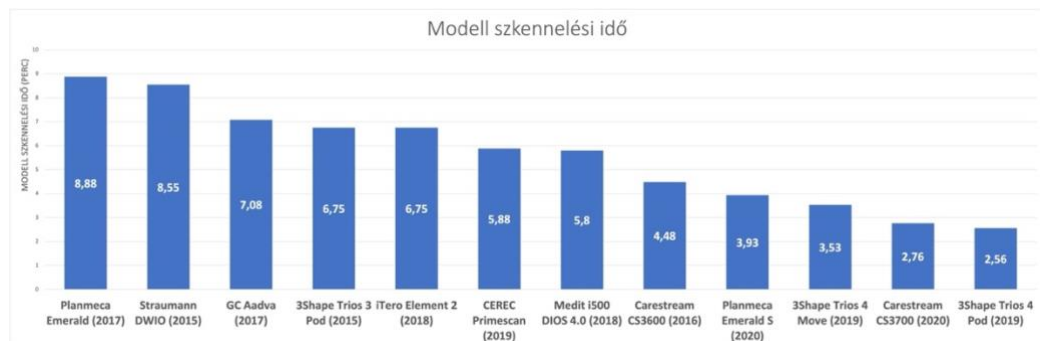
A legkisebb fejerület 44 mm, a legnagyobb pedig a 124 mm volt a vizsgálatunkban. (22.ábra)



22. ábra Intraorális szkennervej méret eredmények

4.2.4. Szkennelési sebesség eredmények

A leggyorsabb intraorális szkennervej szkennelési ideje 2.56 perc volt, a leglassúbb készülék esetében ez 8.88 percnak adódott. A szkennelési időeredményeket a 23. ábrán láthatjuk.



23. ábra Modell szkennelési időeredmények

4.2.5. Folytonosság megszakadás eredmények

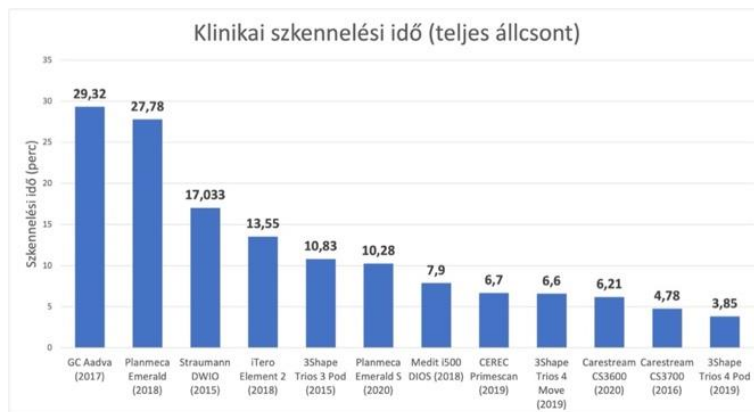
A folytonosság megszakadás tekintetében hat intraorális szkener teljesített a legjobban, ezek a készülékek átlagosan 2 folytonosság megszakadással dolgoztak. A folytonosság megszakadás eredményeket a 24. ábrán tüntettem fel.



24. ábra Folytonosság megszakadás eredmények

4.2.6. Klinikai szkennelés időeredmények

Méréseink alapján a leggyorsabb intraorális szkener klinikai körülmények között teljes állcsont és kvadráns lenyomatvételek esetében ugyanaz a készülék volt (3.85 perc teljes állcsont, 2.21 perc kvadráns). A leglassúbb intraorális szkener is ugyanaz a készülék volt teljes állcsont és kvadráns esetén (29.32 perc teljes állcsont, 15.32 perc kvadráns). A vizsgált intraorális skennerek időeredményei teljes állcsontra vonatkoztatva a 25. ábrán, még kvadráns lenyomatvételekre vonatkoztatva a 26. ábrán láthatók.



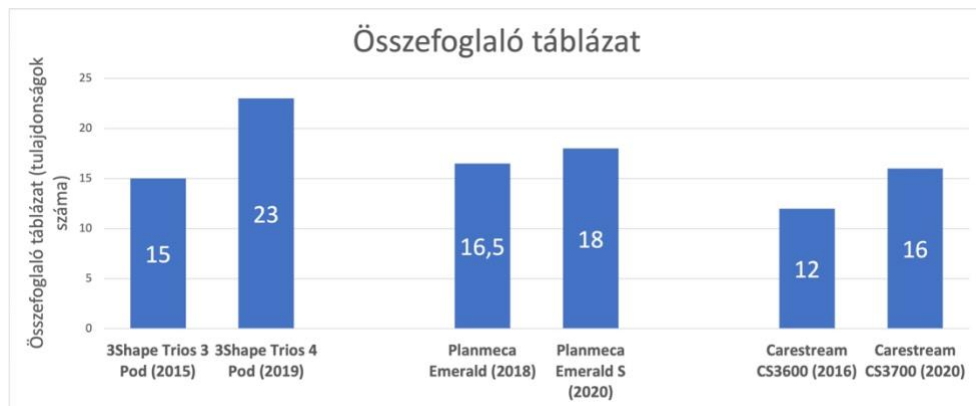
25. ábra Klinikai szkennelési időeredmények teljes állcsont digitális lenyomatvételek esetén



26. ábra Klinikai szkennelési időeredmények kvadráns digitális lenyomatvételek esetén

4.2.7. Intraorális szkennerek generációk összehasonlítása eredmények

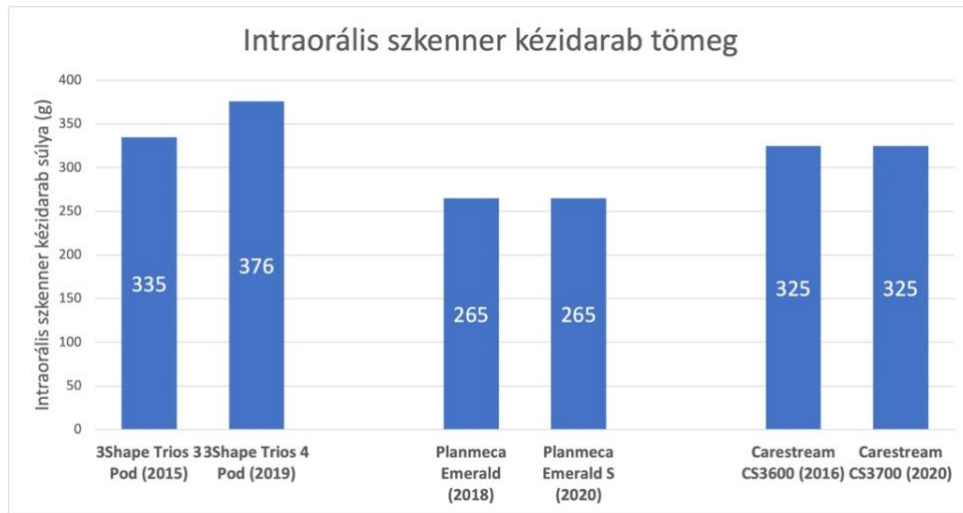
Az összefoglaló táblázat alapján mindhárom intraorális szkennerek típusában az újabb generációs verzió rendelkezett több speciális tulajdonsággal. (27. ábra)



27. ábra Összefoglaló táblázat eredmények – azonos intraorális szkennerek típusok, de eltérő generációk között

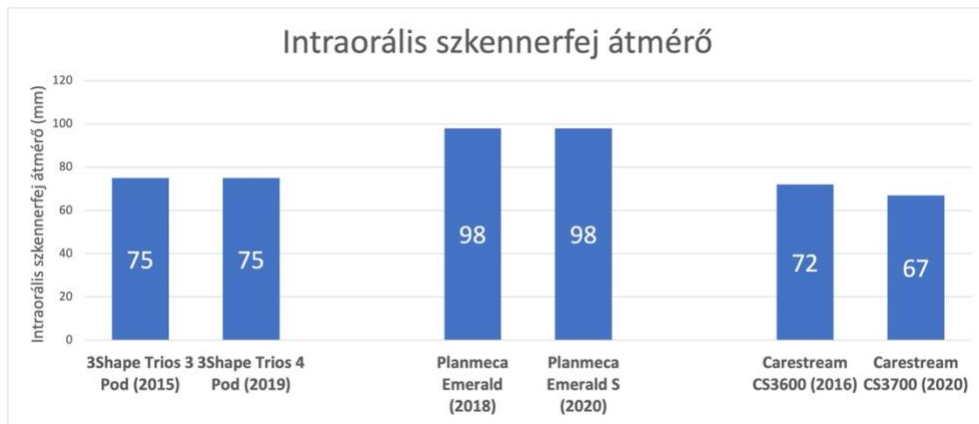
Az ergonómiai paramétereket vizsgálata alapján, az intraorális szkennerek kézidarab tömeg szempontjából a különböző generációk között csak egy

esetben találtunk különbséget, amely a két intraorális szkennerek konfigurációjából adódott. (28. ábra)



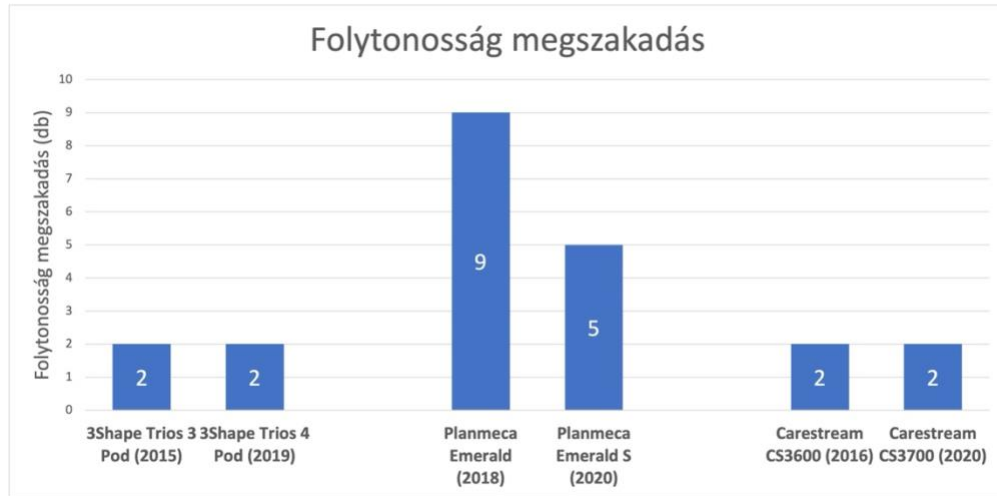
28. ábra Intraorális szkennerek kézi darab tömege eredmények – azonos intraorális szkennerek típusok, de eltérő generációk között

Az intraorális szkennerek fej átmérő tekintetében is csak egy készüléknél tapasztalható eltérés. (29. ábra)



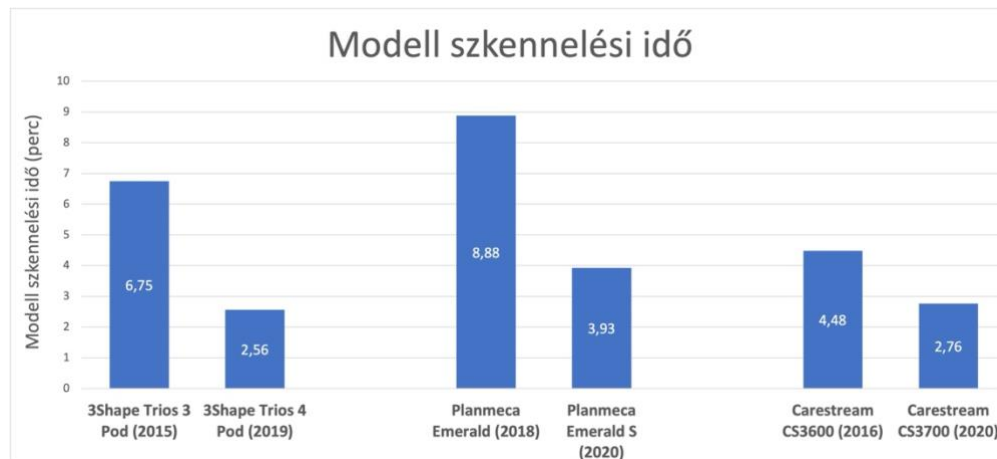
29. ábra Intraorális szkennerek fej mérete eredmények – azonos intraorális szkennerek típusok, de eltérő generációk között

A folytonosság megszakadás szempontjából egy készülék eredményeiben látható eltérés: az új generációs verzió kevesebb megszakadással dolgozott, mint ugyanazon intraorális szkener régebbi kiadása. (30. ábra)



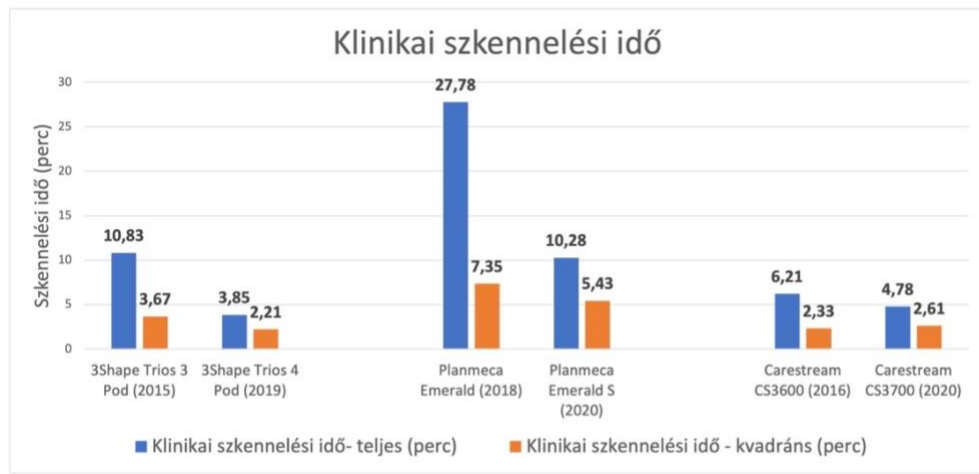
30. ábra Folytonosság megszakadás eredmények – azonos intraorális szkener típusok, de eltérő generációk között

A modell szkennelési időeredmények alapján mindhárom intraorális szkener típus esetében az újabb generációs verzió gyorsabbnak bizonyult. (31. ábra)



31. ábra Modell szkennelési időeredmények – azonos intraorális szkener típusok, de eltérő generációk között

A klinikai szkennelési időeredmények alapján kvadráns lenyomatvétel tekintetében 2 intraorális szkennер esetén az újabb generációs készülék gyorsabb volt, mint az előző generációs, azonban egy esetben fordított tendencia volt megfigyelhető. Teljes állcsont lenyomatvétel esetén mindhárom intraorális szkennер típusnál az újabb generációs készülék bizonyult gyorsabbnak. (32. ábra)



32. ábra Klinikai szkennelési időeredmények teljes állcsont és kvadráns digitális lenyomatvételek esetén – azonos intraorális szkennер típusok, de eltérő generációk között

5. Megbeszélés

5.1. Intraorális szkennelés idejének és képszámának változása a gyakorlással összefüggésben

A digitális technológia fogászati térhódításával egyre több tudományos vizsgálat indult meg a témában, a digitális fogászat új kutatási területként jelent meg a szakirodalomban. A CAD/CAM technológia megjelenése óta, annak két kiinduló lépését a direkt és indirekt technológiát számos kutatócsoport vizsgálta (50, 56, 81, 90, 113-115). Az intraorális szkennerek egyre szélesebb körű elterjedésével, a fogorvosok érdeklődése is növekedett a téma iránt, így ez a tárgykör is további vizsgálatokat indukált. Ezek a kutatások főként az intraorális szkennerek sebességét, pontosságát, illetve a fogorvosok, páciensek, hallgatók és az asszisztensek véleményének feltérképezését szolgálták (18, 50-52, 54, 116). Kutatások egyértelműen igazolták, hogy az intraorális szkennelés gyorsabb folyamat, mint a hagyományos lenyomatvétele (54, 58, 84, 117). A pontosság kérdése azonban összetettebb, hiszen vizsgálatok alapján láthatjuk, hogy a leképezendő terület kiterjedésének szempontjából jelentős különbségek mutatkoznak: kis kiterjedésű hidak esetében nagy biztonsággal, a hagyományos technikával megegyező pontossági adatokkal dolgoznak az intraorális szkennerek (53, 54, 81-83, 118), ellenben a nagyobb kiterjedésű restaurátumokkal, amelyek esetében jelentős eltérések mutatkoznak (12, 52, 85, 86). Konszenzus rajzolódik ki a páciensek, fogorvosok, hallgatók és fogászati asszisztensek/ dentálhigiénikusok körében a digitális lenyomatvétellel kapcsolatban: jobban preferálják a digitális lenyomatvételt, mint a hagyományosat (49-51, 53, 119). Az intraorális szkennerek különböző tulajdonságait vizsgáló kutatásokban közös a szkennelést végző személy gyakorlottságának leírása, amelyet a legtöbb publikációban úgy határoznak meg, hogy a szkennelő egy olyan tapasztalt fogorvos, aki már számos alkalommal használta a vizsgálat előtt az adott intraorális szkennert (66, 113, 120, 121). Nincs arról további magyarázat, hogy mit jelent pontosan a tapasztalt felhasználó kifejezés és hogy összesen hány szkennelést végzett az adott

készülékkel a vizsgálatok előtt. A tanulási görbe felállítása nem csupán klinikai, de tudományos szempontból is fontos. Kutatócsoportunk az intraorális szkennelés tanulási görbéjét a szkennelési idő és a digitális lenyomat képszáma alapján állította fel. Az átlagos szkennelési idő a tizedik lenyomatvételnél (alsó és felső állcsont, IKP rögzítéssel) 15 perc 28 másodperc volt, ami 7 perc 42 másodperces gyorsulást jelent az első lenyomatvételhez képest. Ez az eredmény összecseng Kim és munkatársai által 2016-ban publikált vizsgálattal, amelyben 29 dentálhigiénikus vett részt, akiknek tíz intraorális szkennelés után az átlag ideje 14 perc 25 másodperc volt. Ebben a vizsgálatban nem csak az általunk is használt Trios 3 intraorális szkennert, hanem az iTero Element 2-t is vizsgálták. Az iTero Element 2 lassabbnak bizonyult a Trios 3 intraorális szkennernél (tizedik digitális lenyomatvétel átlag ideje 23 perc 21 másodperc volt) (122). Fontos kiemelni, hogy az említett vizsgálatban dentálhigiénikusok vettek részt, akik minimum 3 éves klinikai tapasztalattal rendelkeztek. Ezzel magyarázható, hogy a tizedik lenyomatvételre jellemző átlag idő 1 perccel kevesebb volt, mint a mi vizsgálatunkban, amelyben negyed- és ötödéves fogorvostan-hallgatók vettek részt. A több éves klinikai gyakorlattal rendelkező dentálhigiénikusok – habár az intraorális szkennelésben tapasztalatlanok voltak – klinikai képzettséggel rendelkeztek, szemben a hallgatókkal, akik még nagyon kevés tapasztalatot szereztek a klinikumban. Magyarországon a fogorvostan-hallgatókkal modellezhető legjobban az intraorális szkennelés tanulási görbéje, hiszen az országban jellemzően a fogorvosok használják praxisukban az intraorális szkennereket. Ezzel szemben külföldön sok helyen a dentálhigiénikusok végzik a digitális lenyomatvételeket (122).

Khaled és Al Hamad szintén az intraorális szkennelés tanulási görbéjét állították fel 2020-ban. Kutatásukban 20 fogpótlástan rezidens végezte a digitális lenyomatvételeket, összesen 9 darabot, egy alsó és felső modellről, harapás rögzítéssel. A kilencedik digitális lenyomatvétel átlag ideje 4 perc 36 másodperc volt, a gyorsulás 1 perc 37 másodperc (62). Ez az eredmény a mi általunk mért eredményeknél jóval kevesebb, aminek két oka lehet: egyrészt a vizsgálatokat végzett fogorvosok végezték, akik ugyan a digitális lenyomatvételben tapasztalatlanok

számítottak, viszont klinikai tapasztalattal rendelkeztek. Másrészt az említett vizsgálatban nem az általunk is alkalmazott Trios 3 intraorális szkennert, hanem a CEREC Omnicam-et alkalmazták. Sajnos a vizsgálat leírása nem tér ki több lényeges szempontra: a vizsgálatot melyik évben végezték és milyen szoftver futott akkor az adott intraorális szkenneren, illetve a digitális lenyomatvételek során rögzítésre került-e a posztprocesszáls ideje. A mi általunk végzett vizsgálatokban minden esetben rögzítésre került az utófeldolgozási idő, hiszen ez fontos része a digitális lenyomatvételnek, mivel a virtuális minták nem menthetők vagy továbbíthatók, ha ezt a lépést kihagyjuk.

Zaraut és munkatársai összetett kutatás alapján értékelték az intraorális szkennelés tanulási görbáját 2021-ben. Összesen 34 résztvevő került bevonásra, akiket 3 csoportba osztottak: intraorális szkennelésben tapasztalatlan 25 év alatti fogorvosok, intraorális szkennelésben tapasztalatlan 40 év feletti fogorvosok és a kontroll csoport, akik a digitális lenyomatvételben járatosnak számítottak (esetükben kor szerinti megkötés nem volt). A vizsgálat egy elméleti oktatással kezdődött, ezt követte egy kvadráns alsó és felső digitális lenyomatvétel, egyoldali IKP rögzítéssel in vivo körülmények között (első szkennelés). Ez követően 20 percen át gyakorolhattak a résztvevők modellen és élő páciensen is, majd következett még egy digitális lenyomatvétel ugyanarról a személyről, akiről első alkalommal is lenyomatot vettek (második szkennelés). Vizsgálatukban két intraorális szkennert tanulási görbáját értékelték (Trios 3 és True Definition), amelyek eredményei közül én a Trios 3 eredményeit emelném ki. A Trios 3 intraorális szkennelést készített digitális lenyomatok esetében szignifikáns különbség mutatkozott a szkennelési idő tekintetében az első és második szkennelés között a 25 év alatti és a 40 év feletti fogorvosok csoportjában is. Az előbbieknél első lenyomatvételének átlag ideje 3 perc 28 másodperc volt, a második lenyomatvétel átlag ideje 2 perc 43 másodperc. Az 40 év feletti fogorvosok csoportjában az átlagos lenyomatvételi idő 3 perc 37 másodpercre adódott az első lenyomatvételkor és kerekén 3 percre a másodiknál. Az intraorális szkennelésben tapasztalt fogorvosok első és második digitális lenyomatvételének átlag ideje között nem szignifikáns a különbség (első lenyomatvétel átlag ideje: 2 perc

36 másodperc, második lenyomatvétele átlag ideje: 2 perc 17 másodperc). A szkennelésben tapasztalatlan 25 év alatti és 40 év feletti csoport időeredménye között nem volt szignifikáns az eltérés (64). Ezek az időeredmények jóval alacsonyabbak, mint a mi vizsgálatunkban tapasztalt átlag idők, hiszen ebben a vizsgálatban szintén már végzett fogorvosok vettek részt, illetve kvadráns digitális lenyomat készítésére került sor. Továbbá a digitális lenyomatvétele a posztprocesszállás idejét nem számolták bele. Az eredmények alapján megállapíthatjuk azt is, hogy a fiatalabb és az idősebb fogorvosok tanulási görbéje között nincs szignifikáns eltérés. Ezen felül fontos megemlíteni, hogy a vizsgálatban használt intraorális szkennerek szoftverének verziószáma 1.18.1.2. és 1.18.1.3. volt (feltehetően a vizsgálat ideje alatt a számítógép szoftvere egyszer frissítésre került), ami azt jelenti, hogy egy 2018-ban kiadott 3Shape szoftver futott a számítógépeken. (64). A tanulási görbe felállítására vonatkozó vizsgálatunkat 2016 június és 2017 szeptember között végeztük, így esetünkben egy régebbi szoftver verzió futott a számítógépen, amely negatívan befolyásolhatta a szkennelési időt. Vizsgálatunkban 10 szkennelés után a szkennelési idő tekintetében a tanulási görbe nem érte el a plató fázist, ami azt jelenti, hogy további vizsgálatok szükségesek ennek meghatározására. A plató fázis (aminek elérése után további gyorsulásra nem lehet számítani) feltételezhetően a 10. és 15. digitális lenyomatvétele között helyezkedik el. Ezt támasztja alá Waldecker és munkatársai által 2021-ben publikált vizsgálat, amely szerint a plató fázis eléréhez minimum 12 darab teljes állcsont intraorális szkennelésére van szükség (123). A plató szakaszt befolyásolhatja az új generációs intraorális szkennerek megjelenése, hiszen ezek folyamatosan javítanak a készülékek különböző tulajdonságain, így például a lenyomatvétele sebességén is. Ugyanakkor kutatásunk alapján megállapíthatjuk, hogy a digitális lenyomatvétele sebességét tekintve viszonylag rövid gyakorlási intervallum után jelentős fejlődés mutatkozik, amelyet a szakirodalomban fellelhető adatok is alátámasztanak (49, 62, 64, 122). A képszám tekintetében nehezebb szakirodalmi forrásokat találni, nagyon kevés cikk áll rendelkezésre ebben a témában. Ez abból is adódhat, hogy a Trios intraorális szkennerek jelenleg az egyetlen olyan készülék a piacon, amelynél a képszám értékek megjelennek a számítógép

képernyőjén a digitális lenyomatvétel után. A digitális lenyomat képszáma információt szolgáltat a szkennelést végző személy tapasztalatáról, hiszen amennyiben nem megfelelően mozgatja a szkennert a leképezendő fogak felett, a keze remeg vagy hirtelen mozdulatokat végez a szkenneléssel, a rögzített képekben torzítás figyelhető meg. Ilyen esetben a megfelelő leképezés végett a szkennert több képet rögzít, hogy a virtuális minta maradéktalan legyen (29, 68). Feltételezhetjük, hogy minél több átfedéssel kapcsolódnak egymáshoz a képek, annál nagyobb torzítás figyelhető meg a virtuális mintában, amely befolyásolja a minta pontosságát (18, 67-69, 124). Ugyanakkor az alacsony mennyiségű kép rögzítése hiányos virtuális mintához vezet. Vizsgálatunkban a képszám szempontjából először csökkenő tendenciát figyelhettünk meg, majd körülbelül a hatodik mérésnél a képszám értékek emelkedni kezdtek. Ennek az az oka, hogy a tanulási periódus elején, ahogy egyre gyakorlottabban mozgatták a szkennelést a hallgatók az intraorális szkennert, úgy egyre kevesebb képből képesek voltak elkészíteni a digitális lenyomatot. Amint magabiztosabbak lettek, gyorsabban is mozgatták az intraorális szkennert, így hiányos területek maradtak a lenyomaton, amikre vissza kellett térni és új képek hozzáadásával kiegészíteni azokat. Ezek a plusz szkennelések az idő igényen nem látszódnak meg, mert még ezekkel a plusz szkennelési idővel együtt is összességében gyorsultak a lenyomatvételek, azonban a képszám értékeknél növekvő tendenciát okoztak. Vizsgálatunkban a tizedik lenyomatvétel átlagos képszám értéke 1468.6 volt. Gan és munkatársai által 2016-ban publikált cikkben Trios 3 intraorális szkennelést vett 96 digitális lenyomat eredménye alapján az átlagos képszám érték 835 volt (125). Az eredményeink közötti differencia azzal magyarázható, hogy az előbbi vizsgálatban a vizsgálat csak a felső állcsontot szkennelték, ellentétben a vizsgálatunkkal, ahol teljes alsó és felső fogív lenyomatozására került sor. Hasonló értékeket láthatunk Joda és munkatársai által publikált vizsgálatban, amelyben Trios 3 intraorális szkennelést vett digitális lenyomatvételek során, fogorvoson-hallgatók esetén az átlagos képszám érték 678 volt, fogorvosok esetén pedig 726. Ebben a vizsgálatban az átlagos képszám értékeket összesen 100 db lenyomatvétel alapján határozták meg, azonban csak egy maxilla modellt szkenneltek (54). Saját

tapasztalatom – amely a Trios 3 intraorális szkennerre specifikus – azt mutatja, hogy a gyakorlati felhasználás során az intraorális szkennelők körülbelül 1500 kép után jelzéseket küld a szkennelő személynek, hogy fejezze be a szkennelést. Ennek ellenére természetesen lehet tovább folytatni a digitális lenyomatvételt és további képeket hozzáadni a virtuális mintához, de ez megnöveli a minta posztprocesszálásának idejét és a fogtechnikai laboratóriumba való küldési időt is. Ezen információk alapján, úgy gondolom, hogy a digitális lenyomatvételezés képszámának további vizsgálata fontos lenne a klinikai alkalmazás szempontjából, hiszen nincs releváns szakirodalmi információ arról, hogy a képszám befolyásolja a digitális lenyomat pontosságát. Vizsgálatunk limitációjaként említhetjük, hogy csak egy intraorális szkennert és annak tanulási folyamatát értékeltük. A Trios 3 Pod intraorális szkennelők leképezési elve a konfokális lézerszkennelők mikroszkópia. Számos más elven működő intraorális szkennelők érhetőek el a fogászati piacon, amelyek tanulási görbéje – az eltérő leképezési mód miatt – különbözhet az általunk vizsgált készülék tanulási görbéjétől. További limitáció, az alacsony lenyomatvételi szám: összesen 10 vizsgáló, fejenként 10 digitális lenyomatot készített. Az intraorális szkennelések számának növelésével a tanulási görbe feltételezhetően elérné a plató szakaszt. Az eredményeket befolyásolhatja, hogy a szkenneléseket végző hallgatók egymásnak asszisztáltak a digitális lenyomatvételek során. Ez azt jelenti, hogy ha közvetlenül nem is volt gyakorlottságuk a digitális lenyomatvétellel kapcsolatosan, asszisztencia közben mégis szerezhettek némi előzetes tapasztalatot az első lenyomatvételezés előtt. Az intraorális szkennelések során a páciensek a Fogpótlástani Klinika munkatársai, illetve a Fogorvostudományi Kar hallgatói voltak, ami azt feltételezi, hogy jobban tolerálhatták a lenyomatvételt, mint a hétköznapi páciensek, így az gördülékenyebben zajlott.

5.2. Intraorális szkennelők értékelése azonos szempontrendszer alapján

Az intraorális szkennelők vizsgálata nem újkeletű az irodalomban, hiszen számos szakirodalmi forrás áll rendelkezésre a különböző készülékek értékelésére.

Mindazonáltal jelenleg az irodalomban nem található olyan objektív szempontrendszer, amely különböző paraméterek alapján, de egységesen értékelné az intraorális szkennereket. A legtöbb cikk az intraorális szkennerek egy adott tulajdonságára fókuszál (pl. pontosság vagy szkennelési idő). Az irodalomban megtalálható információk közül a legátfogóbb értékelést az intraorális szkennerekről a review cikkek nyújtják, hiszen azokban sok, különböző szempontrendszer alapján írt publikációk összefoglalása olvasható (6, 12, 18, 52, 126-129). Az objektív értékelés szempontjából fontos volt egy olyan egységes szempontrendszer kidolgozása, amely alapján az intraorális szkennerek értékelhetők. Vizsgálatunkban az intraorális szkennerek értékelése 5 szempont szerint történt: (a) speciális tulajdonságokat összefoglaló táblázat, (b) ergonómiai értékelés (az intraorális szkennerek kézirarabjának tömege és a szkennerefej mérete), (c) szkennelési idő és folytonosság megszakadás modell szkennelés esetén, (d) szkennelési sebesség klinikai szkennelés során, illetve (e) pontosság (valódiság és precizitás). Jelen dolgozatnak a pontosság nem része, a pontosság tárgyalása egy másik doktori értekezés témája. Vizsgálatunkban az adott intraorális szkennerekre jellemző sajátosságokat, amelyek a klinikai alkalmazást megkönnyítik, illetve amelyek tulajdonságok birtokában az adott készülék többre képes, mint csupán a digitális lenyomat elkészítése speciális tulajdonságoknak neveztük és egy összefoglaló táblázatban összegeztük. Az összefoglalóban táblázatban maximum 26 tulajdonság alapján, 26 pontot kaphatott a vizsgált intraorális szkennere. A legtöbb pontot szerzett intraorális szkennere az új generációs Trios 4 Pod volt (23 tulajdonság), a legkevesebb plusz tulajdonsággal (5 pont) a GC Aadvia intraorális szkennere rendelkezett. Az összefoglaló táblázatban az új generációs intraorális szkennerek minden esetben több pontot értek el, mint ugyanazon készülék előző verziója: a Trios 4 Pod, a Planmeca Emerald S és a Carestream 3700 is több speciális tulajdonsággal rendelkeztek, mint elődeik (Trios 3 Pod, Planmeca Emerald és Carestream 3600). Ez alátámasztja, hogy az új generációs intraorális szkennerek hardveres és szoftveres átdolgozása lehetővé tette plusz tulajdonságok beépítését. Ilyen tulajdonság többek között a caries detektálás, speciális mozgáspályák rögzítése vagy a fogsor munkafolyamat. A

különböző típusú intraorális szkennerek indikációs köre eltér, amelyek ismerete fontos a hosszútávú sikeres klinikai alkalmazás érdekében, hiszen ezek alapvetően meghatározzák az adott készülék felhasználási területét (13). Az indikációs kört a speciális tulajdonságok nagyban befolyásolják. Amennyiben az intraorális szkennert a fogorvos nagyrészt protetikai felhasználásra vásárolja – a pontosság ismeretén túl – fontos szempont lehet a digitális fogszín-meghatározási funkció (130-133). Az első intraorális szkennert, amelynek hardveres háttere lehetővé tette a digitális fogszín-meghatározást a 3Shape Trios 3 volt, amely 2015-ben került bemutatásra. Manapság már több intraorális szkennert elérhető a fogászati piacon, amelyek képesek fogszín meghatározásra (Planmeca Emerald S és a Carestream 3700) (101, 102, 132). Mindkettő intraorális szkennert az adott gyártótól származó újabb generációs készülék, amely alátámasztja a generációváltással járó, a tulajdonságokban jelentkező pozitív következményeket. Az összefoglaló táblázatban plusz pont járt a székmelletti alkalmazás lehetőségéért, azaz, ha egy adott gyártótól származó intraorális szkennert a cég a székmelletti gyártáshoz szükséges összes eszközt biztosítani tudja (székmelletti tervező szoftver, marógység, szinterkályha). A vizsgált intraorális szkennerek közül a CEREC Primescan-t, a Carestream 3600 és 3700-et, a Planmeca Emerald és Emerald S-t, valamint a Trios 3 és 4-et gyártó cégek rendelkeznek teljes székmelletti gyártáshoz szükséges termékpalettával (3, 134). A Straumann cégnek szintén van székmelletti gyártáshoz használható tervező szoftvere és marógysége, azonban jelen vizsgálatunkban értékelt Straumann DWIO intraorális szkennert már nem kapható újonnan, csak használtan lehet hozzájutni (135). A Straumann cég új generációs készüléke a Virtuo Vivo, amely gyártói információk alapján jobb tulajdonságokkal rendelkezik, mint az előző generációs készülék (136). A fogszabályozás tárgykörében is egyre jobban terjed az intraorális szkennerek alkalmazása, ami főleg annak sebességével függ össze. A napjainkban népszerű sínes fogszabályozók gyártását felgyorsítja, hogy a tervezéshez szükséges 3-dimenziós adatok rögtön a fogorvos rendelkezésére állnak, nincs szükség a hagyományos lenyomat alapján készített minta digitalizálására. Jelen vizsgálatban értékelt iTero Element 2 intraorális szkennert együttműködik az azonos gyártótól származó

Invisalign (Align Technology) fogszabályozási rendszerrel (40, 137, 138). További fontos szempont az ortodonciai és szájsebészeti alkalmazás szempontjából a CBCT-k és a digitális lenyomatok összeillesztésének lehetősége (59, 60, 63, 139). A szájsebészeti alkalmazás főként az implantációs tervezésre fókuszál, amelynek alapja az úgynevezett „backward planning”. A „backward planning” azt jelenti, hogy az implantátum helyzetének tervezése a jövőbeli fogpótlás helyzetéből indul ki. A CAD tervező szoftverben lehetőség nyílik arra, hogy a majdani fogpótlást a protetikus megtervezze, majd a CBCT-vel való összeillesztés után a szájsebész az anatómiai viszonyok figyelembevételével a fogpótlásnak megfelelő helyekre megtervezze az implantátumok helyzetét. A fúrósablonokat az előzetes CAD szoftverben történő tervezés alapján 3D nyomtatóval hozzák létre (140). A bemutatott munkafolyamat egy olyan előnyét emeli ki a digitális technikának, amely új utakat nyitott a betegellátásban, magasabb szintre emelve azt. A vizsgált intraorális szkennerek közül két készülék szoftverében nincs lehetőség sem fogszabályozási, sem implantológiai tervezésre, ezek a Medit i500 és a GC Aadva. Az Aadva intraorális szkennerek már nem elérhető a magyarországi fogászati piacon – a Straumann DWIO szkennerekhez hasonlóan – csak használtan lehet hozzájutni. A Medit esetében fontos kiemelni, hogy gyártói információk alapján az új generációs készülék (Medit i700) szoftverébe már beépítették a CBCT és digitális lenyomat összeillesztésének lehetőségét, amely lehetővé teszi az ortodonciai és implantológiai tervezést is (141). Az intraorális szkennerek ergonómiájának vizsgálata azt mutatta, hogy a kézidarab tömegének és az intraorális szkennerek fejméretének tekintetében a vizsgált készülékek széles skálán mozogtak. Mindkettő paraméter esetében a Straumann DWIO intraorális szkennerek szerepelt a legjobban (113 g és 44 mm). A legnehezebb intraorális szkennerek a CEREC Primescan volt (585 g). Fontos azonban kiemelni, hogy a szkennelés meggyorsítása végett a gyártó cég egy mikroszámítógépet épített be a készülék kézidarabjába, amely segítségével a posztprocesszálás, már a kézidarabban elkezdődik. Ennek köszönhetően a virtuális mintán kevesebb műtermék jelenik meg (szinte nincs is szükség a lenyomat manuális körbevágására), illetve nincs limit a képszám esetében (8). A fejméretekkkel kapcsolatban kihangsúlyozandó, hogy minél

nagyobb fejmérettel rendelkezik egy adott intraorális szkennel, annál nehezebb az szkennelő személy számára az egyes területek leképezése (így például a torlódott fogak vagy a moláris területek beszkenneleése). A digitális lenyomatvétel így hosszabb ideig tart, több kép rögzítésére van szükség, amely közvetve befolyásolhatja a virtuális minta pontosságát (18, 124). Ennek az ellenkezőjére utal Hamaya és munkatársai által 2018-ban publikált vizsgálat, amelyben ugyanazon szkennelrel, de eltérő méretű szkennel fejjel (kis és nagy fej) készült digitális lenyomatok pontosságát hasonlították össze. A nagyobb intraorális szkennel fejjel készült digitális lenyomatok valódisága és precizitása is jobb volt, mint a kisebb fej használatával készült lenyomatok pontossága. Ebből arra lehet következtetni, hogy a nagyobb szkennelfej használata javíthatja a pontosságot (98). Ennek magyarázatára szolgál Gomez-Polo és munkatársai által, 2021-ben végzett vizsgálat is, amely igazolja, hogy ha kevesebb átfedéssel illeszti össze az intraorális szkennel szoftvere az STL fájlkat (kevesebb képet rögzít a szkennelést végző személy) az pontosabb digitális lenyomatot eredményez (68). Feltételezhetjük, hogy minél nagyobb egy adott intraorális szkennel feje, annál nagyobb területre képes rálátni egységnyi idő alatt, kevesebb képet rögzít, kevesebb átfedéssel kell dolgoznia és így pontosabb lenyomatot kapunk. A korábbi és új generációs intraorális szkennelerek összehasonlításakor két esetben láthattunk eltérést: a Trios 4 Pod nehezebbnek bizonyult, mint az előző generációs készülék, valamint a CS3700 fejmérete kisebb volt, mint a korábbi generációs CS3600-as készüléké. A Trios intraorális szkennelerek esetében a tömeg növekedés a készülék konfigurációjával függ össze: a Trios 3 vezetékves verzióban állt rendelkezésre, a Trios 4 pedig már vezeték nélküli intraorális szkennel, amely esetében az akkumulátor plusz tömeget jelent. Vizsgálatunk alátámasztja azt a tényt, hogy az intraorális szkennelerek fejlődésének szempontjából a tömeg tekintetében növekedésre lehet számítani, ami – habár a szkennelést végző személy számára nehézséget jelent – a készülék paramétereit (sebesség, folytonosság megszakadás) pozitív irányba befolyásolja. A fejméret tekintetében nehezebb következtetést levonni, hiszen a kisebb fejméret pozitív hatással van az adott készülék klinikumban való alkalmazására, a nagyobb fej pedig feltételezhetően javítaná a

digitális lenyomat pontosságát. Az ergonómiai tulajdonságok vizsgálata az intraorális szkennerek gyakorlati alkalmazásának értékelésére is alkalmas paraméter, hiszen a páciensek komfortérzetét, illetve a szkennelést végző személy munkájának komplikáltságát is befolyásolja. A folytonosság megszakadás – azaz, hogy egy adott intraorális szkennerek lenyomatvétele közben hányszor veszíti el a képet – aspektusában nagy eltérések nem mutatkoztak a vizsgált készülékek között. Összesen hat intraorális szkennerek volt, amelyek eredményei megegyeztek (átlag 2 db megszakadás lenyomatvétele közben): a három 3Shape intraorális szkennerek (Trios 3 Pod, Trios 4 Move, Trios 4 Pod), a két Carestream (CS3600 és CS3700), valamint az iTero Element 2. A legtöbb folytonosság megszakadással a Planmeca Emerald intraorális szkennerek dolgozott (9 megszakadás), viszont ennél a készüléknél láthatjuk, hogy az új generációs verzió (Emerald S) ebben a paraméterben is javulást mutatott (5 megszakadás). A folytonosság megszakadást befolyásolja a szkennelést végző személy gyakorlottsága, a szkennelési sebesség és az intraorális szkennerekhez tartozó számítógép teljesítménye is. A gyártó cégek meghatároznak egy minimális rendszerigényt, amely szükséges az adott intraorális szkennerek megfelelő működéséhez, tehát egy olyan számítógépet vagy laptopot, amelynek a teljesítménye képes a készülékhez tartozó szoftver működtetésére. Sok esetben az intraorális szkennerek egy beépített számítógéppel működik együtt (cart verziók), amely esetben az intraorális szkennert és a számítógépet egy egységként vásárolja meg a felhasználó. Vizsgálatunkban minden intraorális szkennert a hazai forgalmazó cég biztosított számunkra, minden eszközével együtt, így ez a paraméter esetünkben feltételezhetően nem befolyásolta a folytonosság megszakadást. Logikus megállapítás, hogy a szkennelés folytonossága és a sebessége között összefüggés figyelhető meg, hiszen a megszakadások növelik a szkennelési időt is. A leggyorsabb intraorális szkennerek – a modell szkennelések tekintetében – vizsgálatunkban a Trios 4 Pod (2.56 perc) volt, amely készüléket kis különbséggel követett sorrendben a CS3700 (2.76 perc), a Trios 4 Move (3.53 perc), a Planmeca Emerald S (3.93 perc) és a CS3600 (4.48 perc). Mind az öt készülék időigénye 5 perc alatt volt minta szkennelés esetében. Joda és munkatársai által 2016-

ban publikált vizsgálat eredményei szerint hallgatók esetében az átlagos szkennelési idő Trios 3 intraorális szkennelével 5.01 perc, még végzett fogorvosok esetében ez az idő 4.53 perc. Az említett vizsgálatban egy maxilla modell szkennelése történt, viszont nem csupán egy tanulmányi lenyomat készült, a jobb felső szemfog helyzetének megfelelően scanbody-t helyeztek el (54). A mi vizsgálatunkban a Trios 3 intraorális szkennelése időigénye 6.75 perc volt teljes állcsonton, ebben azonban benne van a digitális munkalap kitöltése és a posztprocesszási idő is. A klinikai szkennelések 2 részből álltak: kvadráns és teljes fogív digitális lenyomatvételekből. Mindkettő esetben 2 állcsonton történt a lenyomatvételezés, harapásrögzítéssel egybekötve. A teljes állcsont digitális lenyomatvételezése esetén a potenciális lenyomatvételi hibák lehetősége nagyobb (142). Kisebb kiterjedésű fogpótlások (betét, korona, 3-4 tagú hídpótlások) készítésekor elegendő egy kvadráns lenyomat rögzítése, így a lenyomati hibák esélye csökken, a lenyomatvételezés és a posztprocesszási idő is gyorsabb. Eredményeink alapján a kvadráns és teljes állcsont digitális lenyomatvételezése esetén is a 3Shape Trios 4 Pod intraorális szkennelése teljesített a legjobban (kvadráns átlag: 2.21 perc, teljes állcsont átlag: 3.85 perc). Vizsgálatunkban a kvadráns lenyomatvételezés szempontjából a Trios 4 Pod, CS3600, Trios 4 Move és CS3700 intraorális szkennerek közötti különbség gyakorlati szempontból elhanyagolható. Mind a négy szkennelők kevesebb, mint 3 perc alatt sebességet produkáltak: Trios 4 Pod (2.21 perc), CS3600 (2.33 perc), Trios 4 Move (2.58 perc) és CS3700 (2.61 perc). A teljes állcsont szkennelések esetében az időigény szempontjából nagyobb differencia rajzolódik ki a vizsgált készülékek között. A két leggyorsabb intraorális szkennelők a Trios 4 Pod (3.85 perc) és a CS3700 (4.78 perc) volt, amelyeket kevés különbséggel három további szkennelők követték: CS3600 (6.21 perc), 3Shape Trios 4 Move (6.6 perc), és CEREC Primescan (6.7 perc). Érdekes megfigyelés, hogy eredményeink alapján a kvadráns klinikai szkennelés során a CS3600 jobban teljesített, mint az új generációs CS3700. A közöttük lévő különbség nagyon csekély, csupán 17 másodperc. Véleményem szerint ennyire kicsi különbség esetünkben két dologból adódhat: egyrészt a szkennelést végző személyek minden vizsgált készülék esetében eltérőek voltak, másrészt a

klinikai szkennelések során a páciensek sem feltétlenül ugyanazon a személyek voltak minden esetben. A páciensek és vizsgálók személye befolyásolta a szkennelési sebességet, így történhetett, hogy az új generációs CS3700 ebben az egy paraméterben gyengébben teljesített, mint az előző generációs verzió. Gan és munkatársai által végzett vizsgálatokban a Trios 3 intraorális szkennelőkkel klinikai körülmények között vett digitális lenyomatok – felső állcsont szkennelésekor – az átlagos szkennelési idő 4.96 perc volt (125). Ez az eredmény korrelál a vizsgálatunkban mért időigénnyel, amelyet az alsó és felső teljes állcsont szkennelés és harapás regisztrációjakor mértünk. A Trios 3 intraorális szkennelők esetében ez 10.83 perc volt, amely közel a kétszerese az említett vizsgálat eredményének, viszont esetünkben nem csak dupla szkennelési idővel, hanem a harapás regisztrálással is számolni kell. Joda és munkatársai 2015-ben publikált vizsgálatukban klinikai körülmények között végeztek digitális lenyomatvételeket 20 olyan páciensről, akiknek egy implantátum beültetésére került sor. A vizsgálatban alkalmazott intraorális szkennelők az iTero Element 2 volt. Habár a vizsgálatban számos paraméter időigényét nézték (rendelői és laboratóriumi munkafázisok), vizsgálatunk szempontjából a tiszta szkennelési idő kiemelését tartom releváns információnak, amely 10.1 perc volt (84). Vizsgálatunkban az iTero Element 2 intraorális szkennelők sebessége teljes alsó és felső állcsont és harapás szkennelésekor 13.55 perc volt. Tekintve, hogy méréseinkbe a digitális munkalap felvétele és az utófeldolgozási idő is beleszámít, ezen kívül 2 állcsont szkennelésére került sor – a bemutatott vizsgálatban elvégzett maxilla szkenneléssel ellentétben – eredményeink közelítenek egymáshoz. Hasonló eredményre jutott Garino, aki munkatársaival 2014-ben publikált munkájában iTero intraorális szkennelők használt a digitális lenyomatvételekhez, hozzánk hasonlóan alsó és felső digitális lenyomatokat készítettek klinikai körülmények között, habár harapás regisztrálás nélkül. Az átlagos szkennelési idő 11,96 perc volt, amely megint csak kevesebb, mint az általunk mért, azonban Garino vizsgálatában a szkenneléseket tapasztalt vizsgálók végezték (143). A teljes állcsontra vonatkozó klinikai szkennelési időeredményekből láthatjuk, hogy két intraorális szkennelők kiugróan lassúnak bizonyult: GC Aadvia (29.32 perc) és

Planmeca Emerald (27.78 perc). Fontos kiemelni, hogy a GC Aadvá már nem kapható a fogászati piacon, csak használtan lehet hozzájutni. A Planmeca cég új generációs készüléke a Planmeca Emerald S jelentős javulást mutat a sebesség terén, az átlagos szkennelési ideje klinikai körülmények között 10.38 perc volt teljes állcsont esetén, ami 63% gyorsulást jelent. Összeségében megállapíthatjuk, hogy eredményeink alapján a folytonosság megszakadás és a szkennelési sebesség szempontjából jelentős különbségek nem mutatkoztak a vizsgált szkennerek között. Az egyes paraméterek tekintetében gyengébben teljesítő készülékek vagy nem elérhetőek már a fogászati piacon, vagy megjelent már az új generációs verziójuk, amely tulajdonságai túlszárnyalják az előző generációs készülék tulajdonságait. Az ergonómiai paraméterek esetében nem vonhatjuk le azt az egyértelmű konklúziót, hogy minél könnyebb kézidarabbal és kisebb fejmérettel rendelkezik egy adott készülék, annál jobb, hiszen szakirodalmi adatok mutatják ennek ellenkezőjét. Az intraorális szkennerek speciális tulajdonságait az összefoglaló táblázat részletezi, amely információt szolgáltat az adott szkennerek indikációs köréről. Az intraorális szkennerek értékelésének limitációja, hogy a digitális lenyomatvételeket minden esetben intraorális szkennelésben tapasztalatlan fogorvostan-hallgatók végezték. Ez a protokoll befolyásolhatta szkennelési időeredményeket, illetve a folytonosság megszakadások számát is. A digitális lenyomat pontosságát befolyásolhatja a szkennelést végző személy gyakorlottsága (38, 67, 69, 129, 144), az intraorális szkennelés során alkalmazott megvilágítás (109, 145) és a szkennelési stratégia (41, 67, 146, 147) is. Vizsgálatunkban az operációs lámpa minden mérés során lekapcsolt állapotban volt, így kiküszöbölve a megvilágítás befolyásoló hatását a digitális lenyomat minőségére. A szkennelési stratégia szempontjából fontos megjegyezni, hogy vizsgálatunkban minden intraorális szkennerek esetében a gyártó cég által ajánlott szkennelési stratégiát alkalmaztuk, amely a legjobban támogatja az adott készülék megfelelő működését. A lenyomatvételeket végző vizsgálatok minden intraorális szkennerek esetében változtak, minden készülékkel másik három hallgató szkennelt. Ez egyrészt fontos volt a mérések standardizálása végett, hiszen így minden esetben szkennelésben

tapasztalatlan hallgatók végezték a digitális lenyomatvételeket, másrészt azonban a hallgatók egyéni kompetenciái befolyásolhatták a különböző szkennerek vizsgált paramétereit (szkennelési idő, folytonosság megszakadás). További limitáció lehet az intraorális szkennerekhez tartozó számítógép, amely befolyásolja a digitális lenyomatvételek sebességét. Esetünkben minden intraorális szkennerekhez a hazai disztribútor által kiszállított, a gyártó cég által javasolt számítógépet használtuk.

A közelmúltban, 2019-ben és 2020-ban megjelent intraorális szkennerek minden vizsgált paraméter esetében jobb eredményeket produkáltak a régebben megjelent készülékek tulajdonságaihoz képest. Az összefoglaló táblázatban elért pontszámaik magasabbak voltak, átlagosan kevesebb folytonosság megszakadással dolgoztak és a sebességük is gyorsabb volt. Az újabb intraorális szkennerek klinikai szkennelések során mért átlagos időigénye minden esetben maximum 10 perc vagy az alatti érték volt, a sebesség terén mutatkozó maximális különbségek pár percesek voltak. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a fiatalabb, új generációs intraorális szkennerek közötti sebesség differencia klinikailag nem észrevehető (tehát sem a fogorvos, sem a páciens a gyakorlatban nem érzékeli azt a sebesség eltérést, amivel a különböző intraorális szkennerek dolgoznak). Az újonnan megjelenő intraorális szkennerek szempontjából a sebesség már nem számottevő paraméter, hiszen a szkennelési időkben nagy eltérés nem látható. Az új generációs intraorális szkennerek megjelenésével a szkennelési időben, folytonosság megszakadásban és ergonómiai paraméterekben tapasztalható különbségek egyre jobban eltűnnek. A felhasználók számára fontosabb szempont lesz az, hogy az adott intraorális szkennerek milyen indikációs körre ajánlott. Az intraorális szkennerek speciális sajátosságai hangsúlyosabbak lesznek, mint az egyéb ergonómiai vagy gyakorlati paraméterekből származó tulajdonságok. Az intraorális szkennerek kiválasztásának szempontjai átalakulnak, a felhasználók a számukra legmegfelelőbb, az adott indikációs körhöz legjobban passzoló készülék mellett fognak dönteni.

6. Következtetések

A digitális lenyomatvétel tanulási görbéje leírható a szkennelési idő és képszám alapján: a digitális lenyomatvételek száma és a vizsgált paraméterek változása között összefüggés figyelhető meg. A digitális lenyomatvétel átlagos szkennelési ideje progresszívan csökkenő tendenciát mutat rövid gyakorlási idő alatt: a szkennelési idő a gyakorlás következtében csökken, mivel a szkennelő hallgatók gyorsabban és ügyesebben mozgatják az intraorális szkennert a leképezendő területek felett. Ugyanakkor a gyorsabb mozgatás végett több hibát is vét a felhasználó. A nem megfelelően leképezett területeken új képek hozzáadásával kell kiegészíteni a lenyomatokat, ez pedig képszám növekedést okoz. Ezzel magyarázható, hogy a képszám tekintetében az első és a tizedik szkennelés között egyértelmű csökkenő tendencia összességében nem volt megfigyelhető. Az általunk leírt tanulási görbe nem érte el a plató szakaszt, mert 10 digitális lenyomatvétel nem volt elég, hogy a vizsgáló hallgatók elérjék a tapasztalt felhasználókra jellemző szkennelési időt és képszámot.

A vizsgált intraorális szkennerek az általunk felállított szempontrendszer alapján objektíven értékelhetők. Ezek az objektív paraméterek meghatározzák az intraorális szkennerek fő indikációs körét ezzel iránymutatást adva a klinikusoknak a legmegfelelőbb intraorális szkennert kiválasztásában. Az ergonómiai paraméterek kivételével minden egyéb paraméter esetében a legújabb szoftverrel működő, új generációs intraorális szkennert (3Shape Trios 4 Pod) teljesített a legjobban. Az új generációs intraorális szkennerek több speciális tulajdonsággal rendelkeznek, kevesebb megszakadással dolgoznak, valamint gyorsabbak in vitro és in vivo körülmények között is. Az intraorális szkennert kézzel tartó tömegének szempontjából megállapíthatjuk, hogy az intraorális szkennerek hardveres fejlesztései tömeg növekedést eredményeztek. Az intraorális szkennert fejméret tekintetében egyértelmű következtetés nem vonható le. Az új generációs intraorális szkennerek megjelenésével az intraorális szkennerek között tapasztalható különbségek egyre

jobban eltűnnek, az intraorális szkennerek kiválasztásakor a legfontosabb paraméter az adott indikációs körnek megfelelő speciális tulajdonságok lesznek.

6.1. Új megállapítások

- A digitális lenyomatvételek tanulási görbéje leírható a szkenneléshez szükséges idő és képszám alapján. Eredményeink alapján elmondhatjuk, hogy összefüggés van a digitális lenyomatvételek száma és a vizsgált paraméterek változása (szkennelési idő és képszám) között.
- A szkennelési idő csökkenő tendenciát mutat a szkennelések számának emelkedésével: a szkennelési idő a gyakorlás következtében csökken, mivel a hallgatók gyorsabban és ügyesebben mozgatják az intraorális szkennert a leképezendő területek felett. Jelen vizsgálat alapján megállapíthatjuk, hogy a digitális lenyomatvételek átlagos szkennelési ideje progresszívan csökkenő tendenciát mutat rövid gyakorlási idő után is fogorvostan-hallgatók körében.
- Vizsgálatunk alapján megállapíthatjuk, hogy összességében nem figyelhető meg egyértelmű csökkenő tendencia a képek számában az első és a tizedik szkennelés között. Ennek oka, hogy a szkennelési sebesség nő, ugyanakkor szkennelés közben a gyorsabb mozgatás végett több hibát is vét a felhasználó. A nem megfelelően leképezett területeken új képek hozzáadásával kell kiegészíteni a lenyomatokat, ez pedig képszám növekedést okoz.
- Vizsgálatunk korlátain belül elmondhatjuk, hogy az általunk leírt tanulási görbe nem érte el a plató szakaszt, mert 10 digitális lenyomatvételek nem voltak elég, hogy a vizsgálat hallgatók elérjék a tapasztalt felhasználókra jellemző szkennelési időt és képszámot, így további vizsgálatok szükségesek ennek meghatározására.

- Vizsgálatunk korlátain belül elmondhatjuk, hogy az intraorális szkennerek az általunk felállított szempontrendszer paramétereinek alapján (speciális tulajdonságokat összefoglaló táblázat, ergonómiai paraméterek, modell- és klinikai szkennelési idő, folytonosság megszakadás) objektíven értékelhetők.
- Az általunk vizsgált objektív paraméterek meghatározzák az intraorális szkennerek fő indikációs körét és ezen tulajdonságok ismerete segíti a klinikusokat a legmegfelelőbb intraorális szkennerek kiválasztásában.
- Az ergonómiai paraméterek kivételével minden egyéb paraméter (összefoglaló táblázat, modell- és klinikai szkennelési idő, folytonosság megszakadás) esetében a legújabb szoftverrel működő, új generációs intraorális szkennerek teljesítették a legjobban.
- Az új generációs intraorális szkennerek vizsgálata alapján megállapíthatjuk, hogy több speciális tulajdonsággal rendelkeznek, kevesebb megszakadással dolgoznak, valamint gyorsabbak in vitro és in vivo körülmények között is. Az intraorális szkennerek ergonómiáját is befolyásolja a generációs különbség, azonban nem minden esetben pozitív irányban, amely az intraorális szkennerek hardveres fejlesztéseivel áll összefüggésben.
- Az intraorális szkennerek generációinak összehasonlításából kiderült, hogy az intraorális szkennelés végző felhasználó személye befolyásolja a szkennelési időt: egy készülék esetében az előző generációs verzió szkennelési sebessége gyorsabb volt, mint az új generációs készüléké, amely a szkennelés végző felhasználó gyakorlottságával magyarázható.
- Az intraorális szkennerek kézikészletének szempontjából megállapíthatjuk, hogy a vizsgált intraorális szkennerek esetében a gyártó cégeknek a gyorsabb leképezés érdekében fejleszteni kellett az intraorális szkennerek hardveres

háttérét, amely tömeg növekedést eredményezett. Az intraorális szkennerek ideális fejméret tekintetében egyértelmű következtetés nem vonható le (a kisebb szkennerek ergonomikusabb, így könnyebben lehet elkészíteni a digitális lenyomatot, azonban a nagyobb méretű és ezáltal kevesebb képből álló leképezést támogató fej előnye, hogy szignifikánsabb pontosabb lenyomatot eredményez).

- Az új generációs intraorális szkennerek megjelenésével az intraorális szkennerek között tapasztalható különbségek (szkennelési sebesség, folytonosság megszakadás, ergonómiai tulajdonságok) egyre jobban eltűnnek. A legfontosabb paraméter az intraorális szkennerek kiválasztásakor az adott indikációs körnek megfelelő speciális tulajdonságok lesznek.

7. Összefoglalás

Jelen munka célja az intraorális szkennerek értékelése gyakorlati szempontok szerint: az intraorális szkennelés tanulási görbéjének felállítására és az intraorális szkennerek objektív összehasonlító értékelése. A digitális lenyomatvételek tanulási görbéjének meghatározása az intraorális szkennelés időigénye és a digitális lenyomat képszáma alapján történt. A különböző típusú- és ugyanazon intraorális szkennerek előző és új generációs verzióinak objektív összehasonlító értékelését a speciális tulajdonságok, a sebesség, a folytonosság és az ergonómiai paraméterek vizsgálatának szempontjából végeztük. A digitális lenyomatokat mindkét klinikai vizsgálatban szkennelésben tapasztalatlan fogorvosok-hallgatók csinálták. Az intraorális szkennelés tanulási görbéjét 10 digitális lenyomatvételek elkészítésével, a szkennelési idő és képszám értékek alapján állítottuk fel. Bizonyítást nyert, hogy a digitális lenyomatvételek tanulási görbéje a szkennelés időigényével és képszámával jellemezhető. Viszonylag rövid gyakorlási periódus után az átlagos szkennelési idő progresszívan csökkenő tendenciát mutat, a képszám esetében azonban egyértelmű csökkenő tendencia nem figyelhető meg. Az intraorális szkennerek objektív értékelése 4 különböző módon történt: (a) összefoglaló táblázat, (b) ergonómia (kézdarab tömege, szkennerefej mérete), (c) szkennelési idő és folytonosság megszakadás modell szkennelése esetén, illetve (d) szkennelési sebesség klinikai szkennelés során. A 2019 óta megjelent intraorális szkennerek minden vizsgált paraméter esetében jobb eredményeket produkáltak a régebben megjelent készülékek tulajdonságaihoz képest. A 2019 előtt megjelent intraorális szkennerek paramétereikhez viszonyítva, a speciális sajátosságokat részletező összefoglaló táblázatban elért pontszámaik magasabbak voltak (minimum 16, maximum 23 pont), átlagosan kevesebb folytonosság megszakadással dolgoztak (maximum 2 db) és a sebességük is gyorsabb volt: a klinikai szkennelések során mért átlagos időigényük maximum 10 perc, modell szkennelés esetén maximum 5 perc volt. Az ergonómia aspektusából elmondható, hogy az intraorális szkennerek hardveres fejlesztései miatt a tömeg tekintetében növekedést láthattunk, azonban a szkennerefej méret szempontjából egyértelmű következtetés nem vonható le. Az új generációs intraorális szkennerek megjelenésével a különböző paraméterekben tapasztalható különbségek egyre jobban eltűnnek. Az intraorális szkennerek kiválasztásának szempontjai átalakulnak, a fogorvosok a számukra legmegfelelőbb, az adott indikációs körhöz legjobban passzoló készülék mellett fognak dönteni.

8. Summary

The aim of the present study was to evaluate the intraoral scanners (IOS) based on practical properties: learning curve of digital impression taking and objective comparative assessment of intraoral scanner devices. The learning curve of intraoral scanning was determined based on scanning time and image number. The objective comparative evaluation of different types of intraoral scanners and the previous and latest generations of the same IOSs was performed based on special properties, scanning speed, continuity of scanning process and ergonomic parameters. The learning curve of digital impression taking was constructed based on scanning time and image number by taking ten digital impressions. The digital impressions were made by dental students who had no previous experiences with intraoral scanning. In this doctoral thesis it was proved, that the learning curve of intraoral scanning can be described in terms of scanning time and the image number of digital impressions. This study observed a progressive increase in the scanning speed of digital impression taking within a short period of training however, in case of image number clear decreasing tendency could not be observed. The objective evaluation of the IOSs was performed in four different ways: (a) special features, (b) ergonomic properties (weight of the IOS handpiece and the circumference of its head), (c) scanning time and continuity of scanning process based on model impressions, and (d) scanning time based on clinical application. IOSs released since 2019 produced better results for the examined parameters compared to the features of older devices. The scores of intraoral scanners based on the examined properties (summary chart) were higher (min. 16, max. 23 properties), they worked with less interruptions (maximum 2 interruptions) and their speed was faster: during clinical scanning the average scanning time was maximum 10 minutes, in case of model scanning the average digital impression taking time was maximum 5 minutes. Based on ergonomic results, increase tendency of weight could be expected due to hardware developments. In case of circumference of scanners' head clear conclusion could not be drawn. The differences in IOS devices will decrease as new generations of IOSs appear on the market. The most important aspect for dentists will be the knowledge of the special features that provide information about the indication area of the device. The selection of IOSs is transformed and it will be determined by the indication area to help for practitioners to choose the ideal device for individual use.

9. Irodalomjegyzék

1. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. (2008). Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*, 204(9),505-11.10.1038/sj.bdj.2008.350
2. Kóbor A, Kivovics P, Hermann P. (2015). Fogpótlástani anyagtan és odontotechnológia. Semmelweis Kiadó.
3. Blatz MB, Conejo J. (2019). The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dent Clin North Am*, 63(2),175-97.10.1016/j.cden.2018.11.002
4. Birnbaum NS AH. (2008). Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent*, 29(8),494-505
5. McLaren E, Culp L, White S. (2008). The evolution of digital dentistry and the digital dental team. *Dentistry today*, 27112, 4, 6-7
6. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. (2017). Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng*, 20178427595.10.1155/2017/8427595
7. Mörmann WH. (2006). The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc*, 137 Suppl7s-13s.10.14219/jada.archive.2006.0398
8. Skramstad MJ. (2019). Welcome to Cerec Primescan AC. *Int J Comput Dent*, 22(1),69-78
9. Kim JH, Son SA, Lee H, Kim RJ, Park JK. (2020). In vitro analysis of intraoral digital impression of inlay preparation according to tooth location and cavity type. *J Prosthodont Res*.10.2186/jpr.JPR_D_20_00169
10. Aeran H KV, Seth J, Sharma A. (2014). Computer Aided Designing-Computer Aided Milling in Prosthodontics: A Promising Technology for Future. *IJSS Case Reports & Reviews*, 1(1),23-7
11. Fasbinder DJ. (2013). Computerized technology for restorative dentistry. *Am J Dent*, 26(3),115-20

12. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. (2017).Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health*, 17(1),149.10.1186/s12903-017-0442-x
13. Zimmermann M, Mehl A, Mörmann WH, Reich S. (2015).Intraoral scanning systems - a current overview. *Int J Comput Dent*, 18(2),101-29
14. Mangano FG, Admakin O, Bonacina M, Lerner H, Rutkunas V, Mangano C. (2020).Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*, 20(1),263.10.1186/s12903-020-01254-9
15. Persson M, Andersson M, Bergman B. (1995).The accuracy of a high-precision digitizer for CAD/CAM of crowns. *The Journal of prosthetic dentistry*, 74(3),223-9.10.1016/s0022-3913(05)80127-1
16. Abdullah O, Azari A. (2018).An introduction to dental digitizers in dentistry; systematic review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 710-20
17. Birnbaum N, Aaronson H, Stephens C, Cohen B. (2009).3D Digital Scanners: A High-Tech Approach to More Accurate Dental Impressions. *Inside Dentistry*, 5
18. Abduo J, Elseyoufi M. (2018).Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 26(3),101-21.10.1922/EJPRD_01752Abduo21
19. Medina-Sotomayor P, Pascual-Moscardo A, Camps AI. (2019).Accuracy of 4 digital scanning systems on prepared teeth digitally isolated from a complete dental arch. *J Prosthet Dent*, 121(5),811-20.10.1016/j.prosdent.2018.08.020
20. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. (2017).Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *J Prosthodont*, 26(2),156-63.10.1111/jopr.12510
21. Mai HN, Kim J, Choi YH, Lee DH. (2020).Accuracy of Portable Face-Scanning Devices for Obtaining Three-Dimensional Face Models: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*, 18(1).10.3390/ijerph18010094
22. Lepidi L, Galli M, Mastrangelo F, Venezia P, Joda T, Wang HL, et al. (2021).Virtual Articulators and Virtual Mounting Procedures: Where Do We Stand? *J Prosthodont*, 30(1),24-35.10.1111/jopr.13240

23. Granata S, Giberti L, Vigolo P, Stellini E, Di Fiore A. (2020). Incorporating a facial scanner into the digital workflow: A dental technique. *J Prosthet Dent*, 123(6),781-5.10.1016/j.prosdent.2019.05.021
24. Liu H, Bai S, Yu X, Zhao Y. (2019). Combined use of a facial scanner and an intraoral scanner to acquire a digital scan for the fabrication of an orbital prosthesis. *J Prosthet Dent*, 121(3),531-4.10.1016/j.prosdent.2018.05.019
25. Vlaar ST, van der Zel JM. (2006). Accuracy of dental digitizers. *Int Dent J*, 56(5),301-9.10.1111/j.1875-595x.2006.tb00105.x
26. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkynen A. (2014). Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*, 54203-21.10.1016/j.optlaseng.2013.07.017
27. Ireland AJ, McNamara C, Clover MJ, House K, Wenger N, Barbour ME, et al. (2008). 3D surface imaging in dentistry - what we are looking at. *Br Dent J*, 205(7),387-92.10.1038/sj.bdj.2008.845
28. Kim RJ, Park JM, Shim JS. (2018). Accuracy of 9 intraoral scanners for complete-arch image acquisition: A qualitative and quantitative evaluation. *J Prosthet Dent*, 120(6),895-903.e1.10.1016/j.prosdent.2018.01.035
29. Yamamoto M, Kataoka Y, Manabe A. (2017). Comparison of digital intraoral scanners by single-image capture system and full-color movie system. *Biomed Mater Eng*, 28(3),305-14.10.3233/bme-171676
30. Brandt J, Nelson S, Lauer HC, von Hehn U, Brandt S. (2017). In vivo study for tooth colour determination-visual versus digital. *Clin Oral Investig*, 21(9),2863-71.10.1007/s00784-017-2088-0
31. Czigola A, Róth I, Vitai V, Fehér D, Hermann P, Borbély J. (2021). Comparing the effectiveness of shade measurement by intraoral scanner, digital spectrophotometer, and visual shade assessment. *J Esthet Restor Dent*, 33(8),1166-74.10.1111/jerd.12810
32. Pradíes G, Ferreiroa A, Özcan M, Giménez B, Martínez-Rus F. (2014). Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impressions of implants. *J Am Dent Assoc*, 145(4),338-44.10.14219/jada.2013.45

33. Giménez B, Özcan M, Martínez-Rus F, Pradíes G. (2015).Accuracy of a Digital Impression System Based on Active Triangulation Technology With Blue Light for Implants: Effect of Clinically Relevant Parameters. *Implant Dent*, 24(5),498-504.10.1097/id.0000000000000283
34. S.F. El-Hakim JAB, F. Blais, editor A Comparative evaluation of the performance of passive and active 3-D vision system. Conference on digital photogrammetry and remote sensing; 1995; St. Petersburg
35. M. Zimmermann AM, W. H. Mörmann, S. Reich. (2015).Intraoral scanning systems – a current overview. *International Journal of Computerized Dentistry*, 18(2),101-29
36. Elliott AD. (2020).Confocal Microscopy: Principles and Modern Practices. *Curr Protoc Cytom*, 92(1),e68.10.1002/cpcy.68
37. M.Berner, inventor; A1, assignee. Optical system for a confocal microscope. US Patent 2010/00856362010.
38. Giménez B, Özcan M, Martínez-Rus F, Pradíes G. (2015).Accuracy of a digital impression system based on active wavefront sampling technology for implants considering operator experience, implant angulation, and depth. *Clin Implant Dent Relat Res*, 17 Suppl 1e54-64.10.1111/cid.12124
39. Heber S. 3D Image Reconstruction Using Active Wavefront Sampling. Graz: Graz University of Technology; 2010.
40. Christopoulou I, Kaklamanos EG, Makrygiannakis MA, Bitsanis I, Perlea P, Tsolakis AI. (2022).Intraoral Scanners in Orthodontics: A Critical Review. *Int J Environ Res Public Health*, 19(3).10.3390/ijerph19031407
41. Oh KC, Park JM, Moon HS. (2020).Effects of Scanning Strategy and Scanner Type on the Accuracy of Intraoral Scans: A New Approach for Assessing the Accuracy of Scanned Data. *J Prosthodont*, 29(6),518-23.10.1111/jopr.13158
42. Pradíes G, Zarauz C, Valverde A, Ferreiroa A, Martínez-Rus F. (2015).Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtained from silicone and digital intraoral impressions based on wavefront sampling technology. *J Dent*, 43(2),201-8.10.1016/j.jdent.2014.12.007

43. Sulaiman TA. (2020).Materials in digital dentistry-A review. *J Esthet Restor Dent*, 32(2),171-81.10.1111/jerd.12566
44. Spitznagel FA, Boldt J, Gierthmuehlen PC. (2018).CAD/CAM Ceramic Restorative Materials for Natural Teeth. *J Dent Res*, 97(10),1082-91.10.1177/0022034518779759
45. Su Y, Xin M, Chen X, Xing W. (2021).Effect of CAD-CAM ceramic materials on the color match of veneer restorations. *J Prosthet Dent*, 126(2),255.e1-.e7.10.1016/j.prosdent.2021.04.029
46. Komine F, Honda J, Kusaba K, Kubochi K, Takata H, Fujisawa M. (2020).Clinical outcomes of single crown restorations fabricated with resin-based CAD/CAM materials. *J Oral Sci*, 62(4),353-5.10.2334/josnusd.20-0195
47. Stanley M, Paz AG, Miguel I, Coachman C. (2018).Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM: case report. *BMC Oral Health*, 18(1),134.10.1186/s12903-018-0597-0
48. Coachman C, Bohner L, Jreige CS, Sesma N, Calamita M. (2021).Interdisciplinary guided dentistry, digital quality control, and the "copy-paste" concepts. *J Esthet Restor Dent*, 33(7),982-91.10.1111/jerd.12736
49. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. (2014).Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health*, 1410.10.1186/1472-6831-14-10
50. Joda T, Brägger U. (2016).Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial. *Clin Oral Implants Res*, 27(12),e185-e9.10.1111/clr.12600
51. Burhardt L, Livas C, Kerdijk W, van der Meer WJ, Ren Y. (2016).Treatment comfort, time perception, and preference for conventional and digital impression techniques: A comparative study in young patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 150(2),261-7.10.1016/j.ajodo.2015.12.027
52. Goracci C, Franchi L, Vichi A, Ferrari M. (2015).Accuracy, reliability, and efficiency of intraoral scanners for full-arch impressions: A systematic review of the clinical evidence. *European journal of orthodontics*, 38.10.1093/ejo/cjv077

53. Schepke U, Meijer HJ, Kerdijk W, Cune MS. (2015). Digital versus analog complete-arch impressions for single-unit premolar implant crowns: Operating time and patient preference. *J Prosthet Dent*, 114(3),403-6 e1.10.1016/j.prosdent.2015.04.003
54. Joda T, Lenherr P, Dedem P, Kovaltschuk I, Bragger U, Zitzmann NU. (2017). Time efficiency, difficulty, and operator's preference comparing digital and conventional implant impressions: a randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res*, 28(10),1318-23.10.1111/clr.12982
55. Patzelt SB, Lamprinos C, Stampf S, Att W. (2014). The time efficiency of intraoral scanners: an in vitro comparative study. *J Am Dent Assoc*, 145(6),542-51.10.14219/jada.2014.23
56. Joda T, Bragger U. (2015). Digital vs. conventional implant prosthetic workflows: a cost/time analysis. *Clin Oral Implants Res*, 26(12),1430-5.10.1111/clr.12476
57. Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE. (2014). Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 146(5),673-82.10.1016/j.ajodo.2014.07.023
58. Lee SJ, Gallucci GO. (2013). Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. *Clin Oral Implants Res*, 24(1),111-5.10.1111/j.1600-0501.2012.02430.x
59. Lecocq G. (2016). Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *Int Orthod*, 14(2),184-94.10.1016/j.ortho.2016.03.003
60. Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, Di Corato F, Trovati F, Scribante A. (2018). Computerized Casts for Orthodontic Purpose Using Powder-Free Intraoral Scanners: Accuracy, Execution Time, and Patient Feedback. *Biomed Res Int*, 20184103232.10.1155/2018/4103232
61. Ting-Shu S, Jian S. (2015). Intraoral Digital Impression Technique: A Review. *J Prosthodont*, 24(4),313-21.10.1111/jopr.12218
62. Al Hamad KQ. (2020). Learning curve of intraoral scanning by prosthodontic residents. *J Prosthet Dent*, 123(2),277-83.10.1016/j.prosdent.2019.04.003
63. Schott TC, Arsalan R, Weimer K. (2019). Students' perspectives on the use of digital versus conventional dental impression techniques in orthodontics. *BMC Medical Education*, 19(1),81.10.1186/s12909-019-1512-3

64. Zarauz C, Sailer I, Pitta J, Robles-Medina M, Hussein AA, Pradíes G. (2021).Influence of age and scanning system on the learning curve of experienced and novel intraoral scanner operators: A multi-centric clinical trial. *J Dent*, 115103860.10.1016/j.jdent.2021.103860
65. Ferencz JL. (2015).Today's CAD/CAM: flexible digital technologies expanding workflow options. *Compend Contin Educ Dent*, 36(3),222-3
66. Ender A, Mehl A. (2013).Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent*, 16(1),11-21
67. Marques S, Ribeiro P, Falcão C, Lemos BF, Ríos-Carrasco B, Ríos-Santos JV, et al. (2021).Digital Impressions in Implant Dentistry: A Literature Review. *Int J Environ Res Public Health*, 18(3).10.3390/ijerph18031020
68. Gómez-Polo M, Piedra-Cascón W, Methani MM, Quesada-Olmo N, Farjas-Abadia M, Revilla-León M. (2021).Influence of rescanning mesh holes and stitching procedures on the complete-arch scanning accuracy of an intraoral scanner: An in vitro study. *J Dent*, 110103690.10.1016/j.jdent.2021.103690
69. Resende CCD, Barbosa TAQ, Moura GF, Tavares LDN, Rizzante FAP, George FM, et al. (2021).Influence of operator experience, scanner type, and scan size on 3D scans. *J Prosthet Dent*, 125(2),294-9.10.1016/j.prosdent.2019.12.011
70. Lawson NC, Burgess JO. (2015).Clinicians reaping benefits of new concepts in impressioning. *Compend Contin Educ Dent*, 36(2),152-3
71. Mandelli F, Ferrini F, Gastaldi G, Gherlone E, Ferrari M. (2017).Improvement of a Digital Impression with Conventional Materials: Overcoming Intraoral Scanner Limitations. *Int J Prosthodont*, 30(4),373-6.10.11607/ijp.5138
72. Mehl A. (2012).A new concept for the integration of dynamic occlusion in the digital construction process. *Int J Comput Dent*, 15(2),109-23
73. Li Q, Bi M, Yang K, Liu W. (2021).The creation of a virtual dental patient with dynamic occlusion and its application in esthetic dentistry. *J Prosthet Dent*, 126(1),14-8.10.1016/j.prosdent.2020.08.026

74. Valenti M, Schmitz JH. (2021).A reverse digital workflow by using an interim restoration scan and patient-specific motion with an intraoral scanner. *J Prosthet Dent*, 126(1),19-23.10.1016/j.prosdent.2020.05.011
75. Li L, Chen H, Li W, Wang Y, Sun Y. (2021).Design of wear facets of mandibular first molar crowns by using patient-specific motion with an intraoral scanner: A clinical study. *J Prosthet Dent*.10.1016/j.prosdent.2021.06.048
76. Rubinstein S. (2010).Accurate impression technique: a key to successful prosthetics. *Dent Today*, 29(10),154-7
77. McLean JW, von Fraunhofer JA. (1971).The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*, 131(3),107-11.10.1038/sj.bdj.4802708
78. Jemt T, Lie A. (1995).Accuracy of implant-supported prostheses in the edentulous jaw: analysis of precision of fit between cast gold-alloy frameworks and master casts by means of a three-dimensional photogrammetric technique. *Clin Oral Implants Res*, 6(3),172-80.10.1034/j.1600-0501.1995.060306.x
79. Beuer F, Naumann M, Gernet W, Sorensen JA. (2009).Precision of fit: zirconia three-unit fixed dental prostheses. *Clin Oral Investig*, 13(3),343-9.10.1007/s00784-008-0224-6
80. Kunii J, Hotta Y, Tamaki Y, Ozawa A, Kobayashi Y, Fujishima A, et al. (2007).Effect of sintering on the marginal and internal fit of CAD/CAM-fabricated zirconia frameworks. *Dent Mater J*, 26(6),820-6.10.4012/dmj.26.820
81. Ender A, Zimmermann M, Attin T, Mehl A. (2016).In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clin Oral Investig*, 20(7),1495-504.10.1007/s00784-015-1641-y
82. Ender A, Mehl A. (2013).Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent*, 109(2),121-8.10.1016/S0022-3913(13)60028-1
83. Su TS, Sun J. (2015).Comparison of repeatability between intraoral digital scanner and extraoral digital scanner: An in-vitro study. *J Prosthodont Res*, 59(4),236-42.10.1016/j.jpor.2015.06.002

84. Joda T, Brägger U. (2015).Time-Efficiency Analysis Comparing Digital and Conventional Workflows for Implant Crowns: A Prospective Clinical Crossover Trial. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 30(5),1047-53.10.11607/jomi.3963
85. Chochlidakis KM, Papaspyridakos P, Geminiani A, Chen CJ, Feng IJ, Ercoli C. (2016).Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*, 116(2),184-90.e12.10.1016/j.prosdent.2015.12.017
86. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. (2018).Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. *J Prosthodont*, 27(1),35-41.10.1111/jopr.12527
87. Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano F. (2017).Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: A comparative in vitro study. *BMC Oral Health*, 17.10.1186/s12903-017-0383-4
88. Di Fiore A, Meneghello R, Graiff L, Savio G, Vigolo P, Monaco C, et al. (2019).Full arch digital scanning systems performances for implant-supported fixed dental prostheses: a comparative study of 8 intraoral scanners. *J Prosthodont Res*, 63(4),396-403.10.1016/j.jpor.2019.04.002
89. Osnes CA, Wu JH, Venezia P, Ferrari M, Keeling AJ. (2020).Full arch precision of six intraoral scanners in vitro. *J Prosthodont Res*, 64(1),6-11.10.1016/j.jpor.2019.05.005
90. Baghani MT, Shayegh SS, Johnston WM, Shidfar S, Hakimaneh SMR. (2020).In vitro evaluation of the accuracy and precision of intraoral and extraoral complete-arch scans. *J Prosthet Dent*.10.1016/j.prosdent.2020.08.017
91. Kim JH, Jeong JH, Lee JH, Cho HW. (2016).Fit of lithium disilicate crowns fabricated from conventional and digital impressions assessed with micro-CT. *J Prosthet Dent*, 116(4),551-7.10.1016/j.prosdent.2016.03.028
92. Abdel-Azim T, Rogers K, Elathamna E, Zandinejad A, Metz M, Morton D. (2015).Comparison of the marginal fit of lithium disilicate crowns fabricated with CAD/CAM technology by using conventional impressions and two intraoral digital scanners. *J Prosthet Dent*, 114(4),554-9.10.1016/j.prosdent.2015.04.001

93. An S, Kim S, Choi H, Lee JH, Moon HS. (2014).Evaluating the marginal fit of zirconia copings with digital impressions with an intraoral digital scanner. *J Prosthet Dent*, 112(5),1171-5.10.1016/j.prosdent.2013.12.024
94. Karaokutan I, Yilmaz Savas T, Aykent F, Ozdere E. (2016).Color Stability of CAD/CAM Fabricated Inlays after Accelerated Artificial Aging. *J Prosthodont*, 25(6),472-7.10.1111/jopr.12353
95. Tamim H, Skjerven H, Ekfeldt A, Rønold HJ. (2014).Clinical evaluation of CAD/CAM metal-ceramic posterior crowns fabricated from intraoral digital impressions. *Int J Prosthodont*, 27(4),331-7.10.11607/ijp.3607
96. Diker B, Tak Ö. (2021).Accuracy of Digital Impressions Obtained Using Six Intraoral Scanners in Partially Edentulous Dentitions and the Effect of Scanning Sequence. *Int J Prosthodont*, 34(1),101-8.10.11607/ijp.6834
97. Schimmel M, Akino N, Srinivasan M, Wittneben JG, Yilmaz B, Abou-Ayash S. (2021).Accuracy of intraoral scanning in completely and partially edentulous maxillary and mandibular jaws: an in vitro analysis. *Clin Oral Investig*, 25(4),1839-47.10.1007/s00784-020-03486-z
98. Hayama H, Fueki K, Wadachi J, Wakabayashi N. (2018).Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *J Prosthodont Res*, 62(3),347-52.10.1016/j.jpjor.2018.01.003
99. Vág J, Renne W, Revell G, Ludlow M, Mennito A, Teich ST, et al. (2021).The effect of software updates on the trueness and precision of intraoral scanners. *Quintessence Int*, 52(7),636-44.10.3290/j.qi.b1098315
100. Haddadi Y, Bahrami G, Isidor F. (2018).Effect of Software Version on the Accuracy of an Intraoral Scanning Device. *Int J Prosthodont*, 31(4),375–6.10.11607/ijp.5781
101. Liberato WF, Barreto IC, Costa PP, de Almeida CC, Pimentel W, Tiozzi R. (2019).A comparison between visual, intraoral scanner, and spectrophotometer shade matching: A clinical study. *J Prosthet Dent*, 121(2),271-5.10.1016/j.prosdent.2018.05.004
102. Reyes J, Acosta P, Ventura D. (2019).Repeatability of the human eye compared to an intraoral scanner in dental shade matching. *Heliyon*, 5(7),e02100.10.1016/j.heliyon.2019.e02100

103. Ahlers MO, Mörig G, Blunck U, Hajtó J, Pröbster L, Frankenberger R. (2009).Guidelines for the preparation of CAD/CAM ceramic inlays and partial crowns. *Int J Comput Dent*, 12(4),309-25
104. Wake R, Buck R, DuVall N, Roberts H. (2019).Effect of Molar Preparation Axial Height on Retention of Adhesively-luted CAD-CAM Ceramic Crowns. *J Adhes Dent*, 21(6),545-50.10.3290/j.jad.a43651
105. Ahmed Y. Tooth Preparation Considerations for CAD/CAM Materials in Restorative Dentistry Bangalore Institute of Dental Sciences and Hospital2020 [2022.04.09.]. Available from: <https://cdn.technologynetworks.com/ep/pdfs/tooth-preparation-considerations-for-cadcam-materials-in-restorative-dentistry-.pdf>.
106. Federlin M, Schmidt S, Hiller KA, Thonemann B, Schmalz G. (2004).Partial ceramic crowns: influence of preparation design and luting material on internal adaptation. *Oper Dent*, 29(5),560-70
107. Akbar JH, Omar R, Al-Tarakmah Y. (2021).Marginal Integrity of CAD/CAM Ceramic Crowns Using Two Different Finish Line Designs. *Med Princ Pract*, 30(5),443-7.10.1159/000516833
108. Renne W, McGill ST, Forshee KV, DeFee MR, Mennito AS. (2012).Predicting marginal fit of CAD/CAM crowns based on the presence or absence of common preparation errors. *J Prosthet Dent*, 108(5),310-5.10.1016/s0022-3913(12)60183-8
109. Revilla-Leon M, Jiang P, Sadeghpour M, Piedra-Cascon W, Zandinejad A, Ozcan M, et al. (2020).Intraoral digital scans-Part 1: Influence of ambient scanning light conditions on the accuracy (trueness and precision) of different intraoral scanners. *J Prosthet Dent*, 124(3),372-8.10.1016/j.prosdent.2019.06.003
110. Schunk DH. (2020).Learning theories: an educational perspective. Allyn & Bacon.
111. Zhang T, Wei T, Zhao Y, Jiang M, Yin X, Sun H. (2022).Evaluating the accuracy of three intraoral scanners using models containing different numbers of crown-prepared abutments. *J Dent Sci*, 17(1),204-10.10.1016/j.jds.2021.04.017
112. Rehmann P, Sichwardt V, Wöstmann B. (2017).Intraoral Scanning Systems: Need for Maintenance. *Int J Prosthodont*, 30(1),27-9.10.11607/ijp.4976

113. Guth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. (2017).Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin Oral Investig*, 21(5),1445-55.10.1007/s00784-016-1902-4
114. Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. (2017).Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. *J Prosthodont Res*, 61(2),177-84.10.1016/j.jpor.2016.07.001
115. Zhongpeng Y, Tianmin X, Ruoping J. (2019).Deviations in palatal region between indirect and direct digital models: an in vivo study. *BMC Oral Health*, 19(1),66.10.1186/s12903-019-0751-3
116. Chiu A, Chen YW, Hayashi J, Sadr A. (2020).Accuracy of CAD/CAM Digital Impressions with Different Intraoral Scanner Parameters. *Sensors (Basel)*, 20(4).10.3390/s20041157
117. Siqueira R, Galli M, Chen Z, Mendonça G, Meirelles L, Wang HL, et al. (2021).Intraoral scanning reduces procedure time and improves patient comfort in fixed prosthodontics and implant dentistry: a systematic review. *Clin Oral Investig*, 25(12),6517-31.10.1007/s00784-021-04157-3
118. Ender A, Attin T, Mehl A. (2016).In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent*, 115(3),313-20.10.1016/j.prosdent.2015.09.011
119. Park HR, Park JM, Chun YS, Lee KN, Kim M. (2015).Changes in views on digital intraoral scanners among dental hygienists after training in digital impression taking. *BMC Oral Health*, 15(1),151.10.1186/s12903-015-0140-5
120. Müller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J. (2016).Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence Int*, 47(4),343-9.10.3290/j.qi.a35524
121. Gherlone E, Mandelli F, Cappare P, Pantaleo G, Traini T, Ferrini F. (2014).A 3 years retrospective study of survival for zirconia-based single crowns fabricated from intraoral digital impressions. *J Dent*, 42(9),1151-5.10.1016/j.jdent.2014.06.002

122. Kim J, Park JM, Kim M, Heo SJ, Shin IH, Kim M. (2016). Comparison of experience curves between two 3-dimensional intraoral scanners. *J Prosthet Dent*, 116(2),221-30.10.1016/j.prosdent.2015.12.018
123. Waldecker M, Trebing C, Rues S, Behnisch R, Rammelsberg P, Bömicke W. (2021). Effects of Training on the Execution of Complete-Arch Scans. Part 1: Scanning Time. *Int J Prosthodont*, 34(1),21-6.10.11607/ijp.6903
124. Anh JW, Park JM, Chun YS, Kim M, Kim M. (2016). A comparison of the precision of three-dimensional images acquired by 2 digital intraoral scanners: effects of tooth irregularity and scanning direction. *Korean J Orthod*, 46(1),3-12.10.4041/kjod.2016.46.1.3
125. Gan N, Xiong Y, Jiao T. (2016). Accuracy of Intraoral Digital Impressions for Whole Upper Jaws, Including Full Dentitions and Palatal Soft Tissues. *PLoS One*, 11(7),e0158800.10.1371/journal.pone.0158800
126. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, Takafuji K, Takahashi T, Yokota J, et al. (2020). Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res*, 64(2),109-13.10.1016/j.jpor.2019.07.010
127. Aragón ML, Pontes LF, Bichara LM, Flores-Mir C, Normando D. (2016). Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: a systematic review. *Eur J Orthod*, 38(4),429-34.10.1093/ejo/cjw033
128. Christopoulou I, Kaklamanos EG, Makrygiannakis MA, Bitsanis I, Tsolakis AI. (2022). Patient-reported experiences and preferences with intraoral scanners: a systematic review. *Eur J Orthod*, 44(1),56-65.10.1093/ejo/cjab027
129. Kustrzycka D, Marschang T, Mikulewicz M, Grzebieluch W. (2020). Comparison of the Accuracy of 3D Images Obtained from Different Types of Scanners: A Systematic Review. *J Healthc Eng*, 20208854204.10.1155/2020/8854204
130. Joda T, Zarone F, Ferrari M. (2017). The complete digital workflow in fixed prosthodontics: a systematic review. *BMC Oral Health*, 17(1),124.10.1186/s12903-017-0415-0
131. Joda T, Ferrari M, Brägger U. (2017). Monolithic implant-supported lithium disilicate (LS2) crowns in a complete digital workflow: A prospective clinical trial with a 2-year follow-up. *Clin Implant Dent Relat Res*, 19(3),505-11.10.1111/cid.12472

132. Rutkūnas V, Dirsė J, Bilius V. (2020).Accuracy of an intraoral digital scanner in tooth color determination. *J Prosthet Dent*, 123(2),322-9.10.1016/j.prosdent.2018.12.020
133. Vág J, Nagy Z, Bocklet C, Kiss T, Nagy Á, Simon B, et al. (2020).Marginal and internal fit of full ceramic crowns milled using CAD/CAM systems on cadaver full arch scans. *BMC Oral Health*, 20(1),189.10.1186/s12903-020-01181-9
134. Zaruba M, Mehl A. (2017).Chairside systems: a current review. *Int J Comput Dent*, 20(2),123-49
135. Mangano FG, Hauschild U, Veronesi G, Imburgia M, Mangano C, Admakin O. (2019).Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*, 19(1),101.10.1186/s12903-019-0792-7
136. Çakmak G, Yilmaz H, Treviño A, Kökat AM, Yilmaz B. (2020).The effect of scanner type and scan body position on the accuracy of complete-arch digital implant scans. *Clin Implant Dent Relat Res*, 22(4),533-41.10.1111/cid.12919
137. Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, Peppas D, Gerhold-Ay A, Van Noorden CJF, et al. (2015).Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC Oral Health*, 15(1),69.10.1186/s12903-015-0060-4
138. Kumar M, Goyal M, Kaur A. (2021).Has Invisalign improved? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 159(2),e73.10.1016/j.ajodo.2020.11.002
139. Caruso S, Nota A, Ehsani S, Maddalone E, Ojima K, Tecco S. (2019).Impact of molar teeth distalization with clear aligners on occlusal vertical dimension: a retrospective study. *BMC Oral Health*, 19(1),182.10.1186/s12903-019-0880-8
140. Burkhardt F, Strietzel FP, Bitter K, Spies BC. (2020).Guided implant surgery for one-piece ceramic implants: a digital workflow. *Int J Comput Dent*, 23(1),73-82
141. Lee JH, Byun SH, Yi SM, Park IY, Yang BE, Lee HL. (2022).Efficacy of Constructing Digital Hybrid Skull-Dentition Images Using an Intraoral Scanner and Cone-Beam Computed Tomography. *Scanning*, 20228221514.10.1155/2022/8221514
142. Moon YG, Lee KM. (2020).Comparison of the accuracy of intraoral scans between complete-arch scan and quadrant scan. *Prog Orthod*, 21(1),36.10.1186/s40510-020-00337-1

143. Garino F, Garino GB, Castroflorio T. (2014).The iTero intraoral scanner in Invisalign treatment: a two-year report. *J Clin Orthod*, 48(2),98-106
144. Zhang YJ, Shi JY, Qian SJ, Qiao SC, Lai HC. (2021).Accuracy of full-arch digital implant impressions taken using intraoral scanners and related variables: A systematic review. *Int J Oral Implantol (Berl)*, 14(2),157-79
145. Wesemann C, Kienbaum H, Thun M, Spies BC, Beuer F, Bumann A. (2021).Does ambient light affect the accuracy and scanning time of intraoral scans? *J Prosthet Dent*, 125(6),924-31.10.1016/j.prosdent.2020.03.021
146. Mai HY, Mai HN, Lee CH, Lee KB, Kim SY, Lee JM, et al. (2022).Impact of scanning strategy on the accuracy of complete-arch intraoral scans: a preliminary study on segmental scans and merge methods. *J Adv Prosthodont*, 14(2),88-95.10.4047/jap.2022.14.2.88
147. Pattamavilai S, Ongthiemsak C. (2022).Accuracy of intraoral scanners in different complete arch scan patterns. *J Prosthet Dent*.10.1016/j.prosdent.2021.12.026

10. Saját publikációk jegyzéke

Doktori értékezés alapját képező publikációk

1. Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. (2020). Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health, 20(1),287.10.1186/s12903-020-01278-1
2. Róth I, Czigola A, Fehér D, Vitai V, Joós-Kovács GL, Hermann P, et al. (2022). Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health, 22(1),140.10.1186/s12903-022-02176-4

Doktori értékezés témájával összefüggő publikációk

- Nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények
1. Czigola A, Róth I, Vitai V, Fehér D, Hermann P, Borbély J. (2021). Comparing the effectiveness of shade measurement by intraoral scanner, digital spectrophotometer, and visual shade assessment. J Esthet Restor Dent, 33(8),1166-74.10.1111/jerd.12810
 2. Borbély J CA, Vitai V, Róth I, Hermann P. (2018). INTRAORAL SCANS FOR CAD/CAM APPLICATION. Stomatology Edu Journal, 5110-7.10.25241/stomaeduj.2018.5(2).art.5

- Magyar nyelvű folyóiratban megjelent tudományos közlemények:

Czigola A BJ, Vecsei B, Joós-Kovács G L, Vitai V, Róth I, Fehér D, Módos D, Hermann P. (2020). Weboldal a Magyarországon elérhető intraorális szkennerek összehasonlítására. Magyar Fogorvos, 2020/276-84

3. Könyvfejezetek

1. Vecsei B, Czigola A, Róth I, Hermann P, Borbély J. (2021). Digital Impression Systems, CAD/CAM, and STL file. In: Kinariwala N, Samaranyake L, editors. Guided Endodontics. Cham: Springer International Publishing. p. 27-63.
2. Borbély J, Róth I. (2018). CAD/CAM történeti áttekintés. In: Róth L, editor. Fogpótlástan update: DP Hungary Kft. p. 300-302.
3. Róth L, Róth I. (2021). CAM- Számítógép vezérelt előállítás. In: Hermann P, Kispélyi B, editor. Fogpótlástan Semmelweis Kiadó. p. 1086-1088.
4. Czigola A, Róth I. (2022). Digitális kommunikáció. In: Hermann P, Kispélyi B, editor. Fogpótlástan: Semmelweis Kiadó. p. 1121-1123.
5. Joós-Kovács GL, Róth I, Vecsei B, Vitai V. A CAD/CAM technológia fogászati története. (2022). In: Hermann P, Kispélyi B, editor. Fogpótlástan: Semmelweis Kiadó. p. 1039-1041.

11. Köszönetnyilvánítás

Hálás köszönettel tartozom Dr. Borbély Judit docens asszonynak, aki harmadéves fogorvostan-hallgató korom óta vezet és segíti a tudományos munkámat, először TDK, majd PhD témavezetőmként. A szakmai és a tudományos életben szerzett tudásom és értékrendem tőle tanultam, amiért mindig hálás leszek. Az ő áldozatkész segítségére mindig számíthattam és iránymutatásából motivációt meríthettem, bátorításával minden nehézségen átlendíttem.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Prof. Dr. Hermann Péternek a Fogpótlástani Klinika igazgatójának és a Fogorvostudományi Kar Oktatási Rektorhelyettesének, aki nem csak témavezetőmként segítette a munkámat, hanem akinek köszönhetően a Fogpótlástani Klinika részéről minden támogatást megkaphattam a kutatásaim elvégzéséhez. Köszönöm, hogy harmadéves fogorvostan-hallgató koromtól kezdve segítette a kutatómunkám előrehaladását és később lehetővé tette a PhD programba való belépésemet.

Hálásan köszönöm Dr. Kardos Lászlónak a statisztikai vizsgálatok és a nyelvi ellenőrzések során nyújtott rengeteg segítséget. Nélküle ez a munka nem jöhetett volna létre.

Köszönöm a Digitális Munkacsoport minden tagjának a hozzájárulást, amit a vizsgálataim elvégzésében nyújtottak. Különös köszönettel tartozom szerzőtársaimnak, akiknek munkája nélkül a cikkeim nem születtek volna meg. Köszönet illeti Dr. Laki-Czigola Alexandrát, Dr. Vitai Viktóriát, Dr. Dalos Magdolnát, Dr. Fehér Dórát, Dr. Joós-Kovács Gellértet és Dr. Vecsei Bálintot.

Nem utolsó sorban szeretném megköszönni a családomnak a bátorítást és hogy szeretetükkel folyamatosan támogattak engem, nélkülük ez a munka nem tudott volna elkészülni.

