

# MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Digitális lenyomatvétel: új perspektívák a fogpótlásban



**Dr. Hermann Péter**

Semmelweis Egyetem  
Fogorvostudományi Kar  
Fogpótlástani Klinika

BUDAPEST

2023

## Digitális lenyomatvétel: új perspektívák a fogpótlásban

Tartalomjegyzék

<b>RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE</b>	<b>5</b>
<b>PREAMBULUM</b>	<b>7</b>
<b>BEVEZETÉS</b>	<b>9</b>
<b>Digitális lenyomatvétel története</b>	<b>10</b>
<b>Digitális lenyomatvétel, számítógépes tervezés és számítógép vezérelt gyártás</b>	<b>15</b>
CAI- Computer Aided Impressioning	17
CAD- Computer Aided Design	17
CAM- Computer Aided Manufacturing	17
<b>Digitális lenyomatvételen alapuló CAD/CAM eljárások</b>	<b>21</b>
Indirekt CAD/CAM eljárás	21
Direkt CAD/CAM eljárás	21
<b>Digitális lenyomatvétel extraorális - és intraorális szkennel</b>	<b>23</b>
Szkennerek leképezési elvei	24
Digitális lenyomatvétel extraorális-fogtechnikai szkennel	32
Digitális lenyomatvétel intraorális szkennel	35
Intraorális szkennel laboratóriumi összeköttetéssel /labside rendszer	38
Intraorális szkennel szék melletti rendszerben/ chairside rendszer	42
<b>Digitális lenyomatvételi és kiegészítő funkciók az intraorális szkennel rendszerekben</b>	<b>44</b>
<b>Digitális lenyomatvétel pontosságának vizsgálati módszerei és befolyásoló tényezők</b>	<b>46</b>
<b>Digitális lenyomatvétel klinikai alkalmazásához szükséges tanulás</b>	<b>48</b>
<b>CÉLKITŰZÉS</b>	<b>50</b>
<b>ANYAG-MÓDSZER</b>	<b>55</b>
<b>Direkt és indirekt CAD/CAM digitalizációs rendszerek pontosságának összehasonlítása- in vitro vizsgálat</b>	<b>55</b>
Referencia minta és referencia adathalmaz létrehozása	55
Referencia szkennel	56
Indirekt CAD/CAM útvonal	56
Direkt CAD/CAM útvonal	57
Virtuális tolómérős vizsgálatok	58
Statisztikai analízis	59
<b>Extraorális-laboratóriumi szkennelrel végzett digitalizálás pontossága- in vitro vizsgálat</b>	<b>59</b>
Referencia minta, referencia szkennel és az összehasonlító szoftver	61
Hagyományos lenyomatvétel lépései	61
Mesterminták készítésének lépései	61
Szekciós minták készítésének lépései	62
Szekciós minták fogtechnikai digitalizációja	63
Szuperimpozíció és távolságmérések	63

Statisztikai analízis	65
<b>A digitális lenyomatvétele tanulási görbéje- in vivo vizsgálat</b>	<b>65</b>
A kutatás résztvevői	65
A résztvevők oktatása	66
A vizsgálat során használt intraorális szkennerek	66
Digitális lenyomatvétele	67
Regisztrált adatok	68
Tanulási görbe	68
Statisztikai analízis	70
<b>Intraorális szkennerek értékelése egységes szempontrendszer alapján</b>	<b>70</b>
Vizsgált intraorális szkennerek	70
A vizsgálat résztvevői	71
Az intraorális szkennerek értékelése	72
Összefoglaló táblázat	72
Ergonomia-kézidarab súly és szkennerek fej átmérő	77
In vitro vizsgálat	77
Klinikai vizsgálat	81
Értékelési pontrendszer	82
<b>EREDMÉNYEK</b>	<b>84</b>
<b>Direkt és indirekt CAD/CAM digitalizációs rendszerek pontosságának összehasonlítása- in vitro vizsgálat</b>	<b>84</b>
24-27 fogak legközelebbi pontjai, inside, „rövid távolság”-on mért eltérések	84
24-27 fogak külső pontjai, outside „közepes távolság”-on mért eltérések	85
21-27 fogak legtávolabbi pontjai, „legnagyobb távolság”-on mért eltérések	86
<b>Extraorális-laboratóriumi szkennerekkel végzett digitalizálás pontossága- in vitro vizsgálat</b>	<b>86</b>
Preparált fogak átmérőinek változásai	87
Fogív méretének eltérései	91
24-27 fogak legközelebbi pontjai, inside „rövid távolság”-on mért eltérések	92
27-24 fogak külső pontjai, outside „közepes távolság”-on mért eltérések	92
21-27 fogak legtávolabbi pontjai, „legnagyobb távolság”-on mért eltérések	92
<b>Intraorális szkennerek tanulási görbéje – in vivo vizsgálat</b>	<b>96</b>
Tanulási görbe a szkennelési idő függvényében	96
Tanulási görbe a képszám függvényében	97
<b>Intraorális szkennerek értékelése egységes szempontrendszer alapján</b>	<b>98</b>
Összefoglaló táblázat	98
Ergonómia (szkennerek kézidarab súly és fejkerület)	98
Szkennelési idő és folytonosság megszakadás	100
Pontosság	101
Összesített pontszám	103
<b>MEGBESZÉLÉS</b>	<b>104</b>

<b>A digitális lenyomatvételi technológia pontosságának vizsgálata</b>	<b>104</b>
Direkt és indirekt CAD/CAM digitalizációs rendszerek pontosságának összehasonlítása- in vitro vizsgálat	107
Extraorális-laboratóriumi szkennelvel végzett digitalizálás pontossága- in vitro vizsgálat	108
<b>A digitális lenyomatvétel tanulási görbéjének vizsgálata</b>	<b>111</b>
Az intraorális szkennelés idejének és képszámának változása a gyakorlással összefüggésben	112
<b>Intraorális szkennerek értékelése egységes szempontrendszer alapján</b>	<b>114</b>
Speciális tulajdonságok	115
Ergonómia	116
Gyakorlati alkalmazás	116
Pontosság	117
Generációk közötti különbségek	118
<b>KÖVETKEZTETÉSEK</b>	<b>120</b>
<b>ÖSSZEFOGLALÁS</b>	<b>122</b>
<b>IRODALOMJEGYZÉK</b>	<b>124</b>
<b>ÁBRAJEGYZÉK</b>	<b>136</b>
<b>TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE</b>	<b>141</b>
<b>A DOKTORI MŰ TÉMAKÖRÉVEL ÖSSZEFÜGGŐ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK</b>	
<b>JEGYZÉKE</b>	<b>142</b>
Nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények	142
Magyar nyelvű folyóiratban megjelent tudományos közlemények	143
Könyvfejezetek	143

## Rövidítések jegyzéke

- AFI – Accordion Fringe Interferometry – fáziseltoláson alapuló interferometria
- AWS – Active Wavefront Sampling – aktív hullámfront leképezés
- CAD: Computer Aided Design – számítógépes tervezés
- CAD process: tervezési munkamenet
- CAD software: tervezésre alkalmas számítógépes alkalmazás
- CAI - Computer Aided Impressioning: számítógépes lenyomatvétel
- CAM - Computer Aided Manufacturing: számítógépes gyártás
- CAM software: a gyártást vezérlő számítógépes alkalmazás
- CAPC - Computer Aided Process Control: számítógépes folyamatirányítás
- CAPP - Computer Aided Process Planning: számítógépes folyamattervezés / a tervezést (CAD) és a megmunkálást (CAM) összekötő folyamat
- CAQ(C/A) - Computer Aided Quality Control / Assurance: számítógépes minőségbiztosítás
- CIM - Computer Integrated Manufacturing: számítógéppel integrált gyártás / a gyártási folyamat számítógépes kontrollja
- CNC - Computer Numerical Control: mikroszámítógéppel vezérelt szerszámgép
- EDM – Electrical Discharge Machining: szikraeróziós megmunkálás
- IOS: intraorális szkener

- LED – Light Emitting Diode: fényt kibocsátó dióda
- OCT – Optical Coherent Tomography: sztereofotogrammetria
- PMMA: polimetil-metakrilát
- PVS: polivinil-sziloxán
- *RP(T)* - Rapid Prototyping: gyors prototípusgyártás - a számítógépes tervezés (CAD) eredményeként valóságos modell/prototípus előállítása
- *SL(A)* - Stereolithography (Apparatus) Sztereolitográfia: a RPT egyik leggyakrabban alkalmazott módja, 3D nyomtatási eljárás, amikor UV tartományú lézersugár segítségével térhálósítják rétegenként az oligomer oldatot
- *STL* - Standard Tessalation Language, STereo Lithography, Standard Triangle Language: standard fájlformátum, számítógép számára értelmezhető 3D adatfájl, háromszögekből felépülő polygonháló

## Preambulum

Ahogy az élet minden területén, így a fogászatban is megjelentek az utóbbi években azok a digitális technológiák, amelyek alkalmasak lehetnek felváltani a bevált analóg utakat. Ahhoz viszont, hogy ez megtörténhessen, nemcsak ugyanolyan pontosságúnak, és ugyanolyan gyorsnak kell lennie a digitális eljárásnak, mint az analóg párjának - hiszen akkor semmi okunk nem lenne a változtatásra -, hanem olyan plusz tudással is kell rendelkezzen, amely érdemessé teszi a fogászati ellátórendszert ezen markáns változtató lépés megtételére. Az informatika fejlődésével együtt járt a mesterséges intelligencia megjelenése, amely ugyanúgy a fogászat, mint az élet egyéb területein is egyre nagyobb teret hódít és egyre több hasznos felhasználási területét ismerjük meg. Ahhoz, hogy az informatika legújabb vívmányait, és az azok adta előnyöket használni tudjuk, elkerülhetetlen, hogy a szájképletekről vett információ digitálisan álljon a fogorvos rendelkezésére, hiszen csak ezen az úton lehet összekötni az informatikai rendszerrel, és használni azok előnyeit. Fontos azt is tudni, hogy a digitális technológia megjelenésével nem l'art pour l'art alapon kezdünk alkalmazni egy új technológiát, hanem ennek segítségével olyan anyagokat és olyan megoldásokat vagyunk képesek használni, amelyek analóg úton elképzelhetetlenek lennének.

A digitális lenyomatvételek lehetővé teszi, hogy a CAD/CAM munkafolyamatba belépünk, és ez által magas pontosságú, és esztétikailag konstans színvonalat hozó restaurátumok készülhessenek jelentős időmegtakarítással. Az analóg úton elkészített egyedi kerámia leplezések esztétikai hatása természetesen lehet alkalmanként előnyösebb, de a legnagyobb hibája, hogy az egyedi kivitelezés miatt a minőségre nem mondhatjuk, hogy állandó és sajnos elképzelhetetlen, hogy ugyanazon színvonalon megismételhető lenne. A digitális technológia előnye a tervezhetőség, kiszámíthatóság, megismételhetőség és az állandó jó minőség. A digitális munkafolyamatok rutinszerűvé válásával elérni kívánt cél, hogy a gyorsabban, rövidebb idő alatt, magasabb minőségű terméket tudjunk létrehozni, alacsonyabb előállítási költséggel.

A Semmelweis Egyetem Fogpótlástani Klinikán közel 20 éve használjuk laborszkennerek segítségével a CAD/CAM technológiát, és bő 10 éve kapcsolódtunk be az intraorális szkennerek világába. Először tudományos munkák készítése kapcsán teszteltük az intraorális lenyomatvételi rendszereket, majd a hardver és szoftver fejlődésével kb. 7 éve alkalmazzuk a mindennapi betegellátás és fogorvostan hallgatók oktatása során.

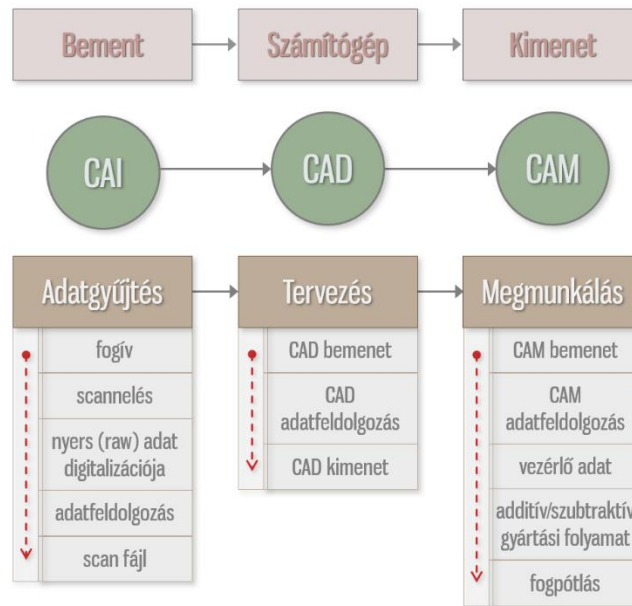
Ezen disszertációnak nem része, de mégis fontos megjegyezni, hogy a Fogpótlástani Klinikán kapott eredményeken felbuzdulva, Magyarországon elsőként (de Európában is a kevés

képzőhely közé felsorakozva) megalapítottuk és elindítottuk a Digitális Fogászati Tervezés alapképzési szakot a kecskeméti Neumann János egyetemmel közösen.



## Bevezetés

A fogpótlástani munkafolyamatok alapja - legyen szó hagyományos vagy digitális eljárásokról - a tökéletes lenyomat, a szájképletek pontos másolata. Fogpótlások készítéséhez a preparált fogakról, szomszédos fogakról, lágyszövetekről és az antagonista fogazatról egy mintára/modellre van szükségünk. Ennek a modellnek a pontosságán múlik a fogpótlás pontossága, ami a hosszútávú siker egyik fontos meghatározója.<sup>154</sup> Hagományos munkafolyamatok során a precíziós szituációs lenyomatot megfelelően kiöntve nagy pontosságú gipszmintát kapunk. A CAD/CAM technológia térhódításával a hangsúly egyre jelentősebben a virtuális modellek szerepe felé tolódott. A gipszmintát extraorális szkennelrel digitalizálva létre tudunk hozni egy háromdimenziós virtuális modellt, amire a tervező szoftver segítségével a fogpótlás megtervezhető, majd a gyártás számítógép vezérelte marással vagy 3D nyomtatással kivitelezhető a megfelelő anyagból. A marást vagy nyomtatást követően a fogtechnikus, ha szükséges, a modellre visszahelyezve kidolgozza, és ha kell leplezi a fogművet vagy festéssel egyediesíti a monolitikus restaurátumot. A digitális intraorális lenyomatvétel során közvetlenül a szájképletek digitalizálásán át jutunk a virtuális modellhez.<sup>20,55</sup> Monolitikus, kis kiterjedésű restaurátumok modell nélkül is készülhetnek (chairside dentistry), vagy az intraorális digitális adatok alapján 3D nyomtatás útján állítunk elő rezin modellt.<sup>55</sup> A digitális lenyomatvétel klinikai felhasználását alapvetően az határozza meg, mennyire egyszerű az eszközök klinikai használata, és milyen a lenyomatvételi technika pontossága.<sup>47</sup> A digitális lenyomatok a digitális munkafolyamatok alapját adják. A számítógéppel összekötött rendszerek esetén szükség van egy bemeneti forrásra, amelyből érkező jelet a számítógép feldolgozza, tárolja, majd valamilyen kimeneti jelet, terméket generál. A fogászati CAD/CAM rendszereknél a bemeneti jelet a számítógéppel támogatott lenyomatkozás (CAI) biztosítja a számítógéppel támogatott tervezéshez (CAD), és a számítógéppel támogatott gyártáshoz (CAM). (1. ábra)<sup>81,185</sup>



I. ábra A fogászati CAD/CAM folyamatlánc ábrája. (Vecsei B. A CAD/CAM technológia felépítése. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

## A digitális lenyomatvétel története

„Szinte vágni lehetett a feszült csendet a teremben, amikor az előadás elkezdődött. A jövő fogászata volt az előadás témája, olyan érdekes digitális világot vázolta, mintha egy tudományos fantasztikus film képkockái peregének. A hallgatóság csodálattal figyelt minden mondatra, de mindeközben egy kis félelem is vegyült a levegőbe. Az előadás végén felkapcsolták a fényeket, és mindenki tudta, hogy ami elhangzott, az nem fikció, hanem a jövő valósága, a jövő digitális fogászata.,<sup>126</sup> Ezeket a sorokat az esztétikai fogászat kiemelkedő alakja, Edward McLaren 2008-ban írta Francois Duret előadásáról. A digitális fogászat története majdnem 40 évvel korábban kezdődött...

1970-ben egy 22 éves francia fogorvos-hallgatónak, Francois Duretnak volt egy víziója. Úgy gondolta, hogy a lenyomatok és a restaurátumok egy kis fizikai, optikai és számítógépes ismeret segítségével elkészíthetők. Ne felejtsük el, hogy az Apple 1976-ban, az IBM PC 1981-ben mutatkoztak be. Duret nagybátyja az iparban dolgozott, és megismertette a fiút a CAD/CAM technológia alapjaival. 1972-ben Duret diploma munkáját a CAD/CAM technológia fogászati alkalmazásának elképzeléseiről írta, majd a diploma megszerzése után szeretett volna az egyetemen dolgozni, de az ötletei nem találtak kedvező fogadtatásra. Végül családi segítséggel fogott neki az általa megálmodott CAD/CAM rendszer prototípusának elkészítéséhez. Alapötlete az volt, hogy videokamerákat és száloptikát használ, a kamerák leképezik a fog bukkális és linguális oldalát, és további lézergusarak tapogatták le a felszínt. Az adatok

elektronikusan kerülnek továbbításra az internet segítségével (az internet kezdeti verziói a 60-as években már elérhetőek voltak), majd egy központi fogtechnikai laboratóriumban kerülnek feldolgozásra, ahol CAD/CAM gépekkel tervezni és gyártani is lehetett. Az első prototípust 1983-ban Párizsban mutatták be. Majd 1985-ben Párizsban 800 fogorvos előtt Duret preparált, lenyomatot vett, és elkészített egy fogpótlást a felesége részére, aki az előadás során a páciens szerepét töltötte be. 1987-ben a Chicago Midwinter Meetingen mutatta be a rendszert, majd 1989-ben Berlinben már híd pótlást is készített vele. Duret elképzelése az volt, hogy a jövőben a digitális lenyomatok videók segítségével dinamikusak lesznek, és a dinamikus okklúziós felvétel is rögzítésre kerül. Úgy gondolta, hogy a labor és a rendelő együttműködésében a rendelői marógépet az internet segítségével a labor irányítja. A rendelőben az ideiglenes, egyszerűbb restaurátumok marását a fogorvos, a komplexebb fogpótlások készítését viszont a laboratórium kontrollálja.<sup>56</sup>

A Siemens céget nagyon érdekelte Dr. Duret fejlesztése, de az ő elképzelése alapján az adatokat a laboratóriumba kellett küldeni, míg a Mörmann/Brandestini koncepció a „chairside dentistry”-t támogatta, azt választották. Az első székmelletti CEREC restaurátum 1986-ban készült a Zürichi Egyetem Fogorvostudományi Karán Dr. Werner Mörmann svájci származású fogorvos és elektromérnöke Dr. Marco Brandestini munkájának eredményeként, a Siemens Corporation (későbbi Sirona) támogatásával. 2006-ban Dr. Mörmann így nyilatkozott: "Az 1980-as évek elején nagyon vonzó volt az elképzelés, hogy fogszínű anyaggal állítsuk helyre a moláris fogakat ... ugyanakkor nem tudtunk direkt kompozit töméseket használni a polimerizációs zsugorodás, a rossz széli zárás és a gyors kopás miatt." Dr. Brandestini Washington államban található laboratóriumában ultrahangos vérnyomásmérőt fejlesztett, majd egy hirtelen ötlettől vezérelve barátjával, Dr. Mörmannal megpróbálkoztak a preparált üregek szkennelésével. Optikai szkenneléssel kísérleteztek és hosszú út vezetett a triangulációs elv kifejlesztéséhez. A CEREC angol betűszó: Chairside Economic Restorations of Esthetic Ceramics, magyar jelentése: szék mellett gazdaságosan elkészíthető esztétikus kerámia restaurációk.<sup>56</sup> Az 1987-ben piacra kerülő első szék melletti (chairside) berendezés, a CEREC-1 (Siemens Corporation) volt, amelyet főleg inlay készítésre ajánlott a gyártó. 1994-ben jelent meg a második generáció, amellyel már borítókoronák készítése is lehetővé vált, majd 1999-ben jelent meg az akkor már Sirona Dental System által jegyzett harmadik generáció inlay-k, onlay-k és borítókoronák készítésére. 2000-ben a Cerec az In-lab marógéppel a rendszer 3-tagú pótlások készítésére is alkalmassá vált, 2003 óta pedig már 4 tag tervezésére is van lehetőség. A 2000-es évek közepén a CEREC szoftver már tartalmazott olyan programelemeket, amelyek a mesterséges intelligencia akkori tudását felhasználva a tervezés során a fogpótlást a célterület

melletti fogakhoz illetve az antagonista fogakhoz viszonyítva készítette el.<sup>138</sup> A CEREC Bluecam, amely kék fényt használt, az elődökhöz képest már nagyobb pontosságú virtuális modellt hozott létre. A CEREC család evolúciójában/fejlődéstörténetében a következő lépés a 2012-ben megjelenő Omnicam volt, amelynek a forradalmi újítása abban állt, hogy az elődökhöz képest már nem kellett a leképezendő felületet porral bevonni. A CEREC szkennerek rendszer legújabb tagja a 2019-ben forgalomba került CEREC Primescan. A Primescan a mesterséges intelligencia (AI) integrációját további szintre emelte a tervező szoftver működésében. Az AI abban segíti a fogorvosok munkáját, hogy az okklúziós felszín kialakítása során a világban a CEREC rendszerét használók eredményeit és adatait felhasználva alakítja ki a szomszédos, valamint az antagonista fogakhoz alkalmazkodó optimális rágófelszín struktúráját. Mesterséges intelligenciát alkalmaz a szoftver a széli záródás meghatározásához is.<sup>183</sup> A CEREC rendszer alapkonceptiója a kezdetek óta változatlan: a fogorvos a rendelőben intraorális szkennerek segítségével rögzíti a preparált fog geometriáját és felszínét, és a virtuális modellre a számítógépen tervezi meg a fogpótlást, majd azt a szék melletti marógép segítségével marja ki, a megfelelő anyagú és színű tömbökből.

Az 1980-as évek elején - Mörmann és Brandestini munkásságával párhuzamosan - Andersson is kutatásokat végzett. Amerikai és nyugat-európai rendelőkben a 80-as években bevett gyakorlat volt a nemesfém alkalmazása, mert a fogpótlás árához képest a nemesfémek akkori ára elhanyagolható volt. Az árképzés során a pontosabb fogászati precíziós öntés érdekében rutinszerűen ezt alkalmazták. Az arany világpici árának emelkedésével a rendelők és fogtechnikai laboratóriumok elkezdtek keresni a nemesfémet pótló ötvözetet, és így terjedt el a nikkel-króm ötvözetek használata. Viszonylag rövid idő után a pácienseknél a nikkel összetevő miatt allergiás tünetek alakultak ki, amely miatt a nikkelt és ezzel együtt a nikkel-króm ötvözeteket is ki kellett vezetni a felhasznált anyagok közül. Allergiás reakciót nem okozó/kiváltó megoldásként a titán váz kínálkozott, ám ennek bonyolult volt az öntéstechnológiája. A probléma megoldásaként Andersson marással állított elő titánvázakat és kompozittal leplezte azokat.<sup>13</sup> A módszer egyfajta „felszínmásoló” megoldás volt. A felszínmásolós folyamatot a szikraeróziós megmunkálás (EDM - electrical discharge machining) követte, amelynek pontossága megfelelt a kívánalmaknak, viszont az előállítás során a kapott koronavázak formáját a titán keménysége miatt szinte alig lehetett módosítani. Problémát jelentett az is, hogy a megmunkálás nagyon technika szenzitív volt, és az alkalmazott frézer forgási iránya nagyban befolyásolta a végeredményt.<sup>13</sup> Amennyiben a kidolgozás során a fémrétegek átlapolódtak egymáson a kerámia leplezés égetésekor a beszorult levegő felszabadulása és hirtelen felszínre kerülése zárványokat eredményezett, ami a kerámia

lepattanásához vezetett. A fogtechnikai laboratóriumokban használt első szkennert a Procera (Nobel Biocare AB, Gothenburg, Svédország) volt, amely 1994-ben került forgalomba és amely nem optikai elven működött, hanem mechanikusan tapogatta le a csonkot. Ebben az időben még nem rendelkeztek a laboratóriumok marógéppel, hanem a CAM fázis egy központi marócentrumban történt, a Procera esetében Göteborgban. A fájl e-mail útján került Svédországba, ahol a marás útján elkészült vázlat postai úton juttatták vissza a megrendelő laboratóriumhoz, ahol a kerámia leplezést hagyományos úton készítették el. Míg a Procera első generációja egyszerre csak egy csonkot tudott beszkenyelni, addig az 1996-ban kiadott 2. generációs szkennert már egy 10\*10\*10 cm-es tömböt is tudott kezelni. A generációk fejlődése nem csak a beszkenyelhető terület nagyságának növelését eredményezte, hanem a digitalizáció sebességében is rohamos fejlődés mutatkozott. A harmadik generációs Procera Forte egy csonkot már 3 perc alatt volt képes analógból digitálissá átalakítani. (2. ábra)<sup>3</sup>



2. ábra A Procera Forte a cég harmadik generációs szkennere. (Abdullah O, Azari A. An introduction to dental digitizers in dentistry; systematic review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 10/11 2018;7:10-20.)

A Procera és ezzel a mintaszkennerek fejlődésének következő állomása az optikai elven működő szkennerek voltak (Procera 2G). Az optikai szkennerek a letapogatáson alapuló lassabb és költségesebb mechanikai szkennereket kiszorították a piacról.

A Procera (Nobel Biocare AB, Gothenburg, Svédország) rendszer az európai és az észak-amerikai maróközpontok létrejöttével nemzetközi hálózattá vált. Ezt a hálózatos formában való működést sok más cég is átvette. A munkafolyamat lényege, hogy a partnerlaboratóriumban szkennelt precíziós szituációs minta alapján virtuális modell készül, amelyre a digitális fogászati tervező elkészíti a váz digitális viaszmintázatát. A digitális mintázatot interneten küldik a marócentrumba, ahol a cirkon vagy titánváz marása történik. Az elkészült vázat a cég visszapostázza a partnerlaboratóriumnak. A fogtechnikai laboratóriumban visszahelyezik az eredeti gipszmintára a vázat, és az utómunkálatok, így a leplezés már a hagyományos úton történik.<sup>118</sup>

A CAD/CAM technológia újításai kezdetben csak a fogtechnikai laboratóriumok termelését alakították át. A digitalizációt a cirkónium-dioxid vázak számítógép vezérelte tervezésének és gyártásának sikere indította. A fogorvosok az intraorális szkennerek elterjedésével kapcsolódtak be aktívan a digitális munkafolyamatokba. A laborkapcsolatos intraorális szkennerek esetén a fogorvosi rendelőben csak az intraorális szkennert van, a szkennelt fájlok felhőn keresztül vagy e-mailben jutnak a fogtechnikai laboratóriumba. A chairside rendszerek esetében a teljes munkafolyamat a rendelőben zajlik.

Az első laborkapcsolatos intraorális szkennert 2007-ben mutatta be az Align Technology (San Jose, CA). Az első intraorális szkennerek használata során a fogakat porral kellett előkezelni, hogy a nedves, csillogó szájképletek lemintázása könnyebb legyen. A porréteget vékony rétegben vitték fel, így ez nem okozott klinikailag érzékelhető pontatlanságot a lemintázás során. Az első laborkapcsolatos intraorális szkennert az Itero (Align Technology) után nem kellett sokat várni a másodikra, a Lava Chairside Oral Scannerre (3M ESPE). A Lava szkennert bemutatására 2008 februárjában a Chicago Midwinter Meeting-en<sup>21,114</sup> került sor, és azóta sorra jelennek meg a piacon a különböző intraorális szkennert-, chairside- és CAD/CAM rendszerek. Érdekes módon évtizedeken keresztül a CAD/CAM technológia csak vázak gyártását jelentette, amelyekre a kerámia leplezés kézzel került, mígnem elértük a fordulópontot, és a vázak gyártása helyett új digitális munkafolyamatok vannak kiépülőben, valamint a monolitikus restaurátumok egyre népszerűbbek. A digitalizáció ma már korántsem csak a fogtechnikai laboratórium gyártástechnológiáját érinti, hanem a páciens kommunikációval és a diagnosztikus adatgyűjtéssel kezdődően a teljes ellátás klinikai és laboratóriumi munkafolyamataiban folyamatosan cserélődnek digitálisra a hagyományos analóg eljárások és

eszközök.

## Digitális lenyomatvétel, számítógépes tervezés és számítógép vezérelt gyártás

A CAD/CAM rendszerek három fő építőeleme:

1. CAI modul, optikai szkener, amely a szájképleteket, az előkészített fogakat és a fogpótlás szempontjából lényeges struktúrákat digitalizálja.
2. CAD modul, a rögzített adatokat vizuálisan megjeleníti, értékeli és az elkészítendő fogpótlás virtuális megtervezését teszi lehetővé.
3. CAM modul, a pótlás előállítását teszi lehetővé számítógéppel vezérelt gépek működtetésével.

A számítógépes leképezést, tervezést, megmunkálást egységesen a CIM (Computer Integrated Manufacturing), a számítógéppel integrált gyártás tárgykörébe soroljuk, amely elsősorban az ipari gyártásautomatizálás kategóriájába tartozik. A CIM egy olyan rendszer, amely a számítógép-tudomány és szoftver-technológia adta sebességet és pontosságot komplex módon alkalmazza, integrálja a teljes gyártási folyamatba, ezáltal maximalizálja a hatékonyságot, termelékenységet és a haszontermelő képességet. <sup>73,99,174</sup>

A CIM magába foglalja a CAD és a CAM alrendszereket. (3. ábra)

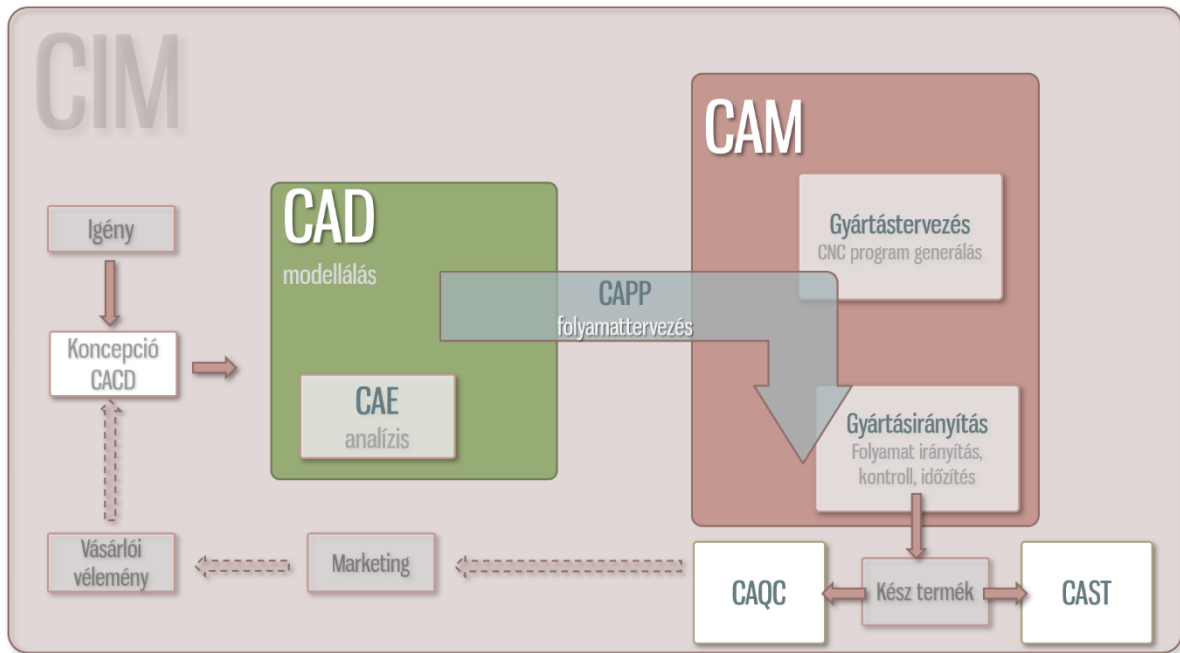
A CIM további elemei:

CAE – Computer Aided Engineering – Számítógéppel támogatott mérnökségi munka

CAPP – Computer Aided Process Planning – Számítógépes folyamattervezés

CAQC – Computer Aided Quality Control – Számítógépes minőségbiztosítás (Assurance)

CAST – Computer Aided Storage and Transport – Számítógépes tárolás és küldés



3. ábra A CIM -számítógépes leképezés, tervezés, megmunkálás folyamatábrája. (Vecsei B. A CAD/CAM technológia felépítése. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

Ezek az alrendszerek a CAD/CAM rendszerek integrált részei, és a felhasználó „tudta nélkül” a háttérben dolgoznak. A CAST - Computer Aided Storage and Transport-modul a szkennelést követően a digitális lenyomat mentését, majd továbbítását végzi a fogtechnikai laboratórium felé. A CAQC - Computer Aided Quality Control-modul feladatai közé tartozik például, hogy a túl vékonyra tervezett vázat ne engedjen a maróegységhez gyártásra továbbítani. A CAL – Computer Aided Logistic – számítógéppel támogatott logisztika a gyártási folyamatok időzítését és az anyagrendelést szervezi a fogtechnikai oldalról. A CAST modul feladata a kész termékek tárolásának, illetve szállításának koordinálása.<sup>199</sup>

A számítógépes gyártási folyamatokkal az a cél, hogy gyorsabban, rövidebb idő alatt legyen lehetőség magasabb minőségű terméket létrehozni, lehetőleg minél alacsonyabb előállítási költséggel. Ez a három szempont alapvetően egymásnak ellentmond, a számítógépes vezérlés és támogatás az, amely optimális esetben fenntartja az egyensúlyt.<sup>158</sup>



## CAI- Computer Aided Impressioning

CAI - Computer Aided Impressioning – számítógéppel támogatott lenyomatvétel, a CAD/CAM adatgyűjtő modulja.

Szkenner segítségével optikai leképezés történik, ami a felszínt a számítógép számára értelmezhető jellé alakítja. A felszínről visszaverődő fényt kamera rögzíti kép vagy video formájában. A felszíni pontok x és y koordinátáit a rögzített kép meghatározza, a z koordináta a fényforrás és a detektor távolságából számolható. Az így kapott, a 3 dimenziós térben beazonosítható pontok összességét nevezzük pontfelhőnek. A szomszédos pontokat (vertex) egyenessel összekötve éleket kapunk (edge), kialakul egy poligon háló (face), a poligonokból felépülő digitális modellt meshnek nevezzük. A leképezés pontosságát a pontfelhő pontjainak sűrűsége határozza meg. A végső modell kialakításához az algoritmus nem feltétlenül minden pontot használ fel, a poligon felszín méretétől és alakjától függően a digitalizált felület egyes területein eltérő lehet a pontosság.<sup>199</sup>

## CAD – Computer Aided Design

Ezt követően a CAD – Computer Aided Design modul következik.

A számítógépes tervezés során a fogpótlás digitális mintázata a virtuális modellre készül. Chairside rendszerek esetében a tervezés történhet a rendelőben a fogorvos által. A fogtechnikai laboratóriumban szakképzett digitális fogászati tervező (dental designer) végzi a tervezést. A CAD szoftverek számos előre beépített vagy a felhasználóra optimalizált, automatikus funkcióval rendelkeznek, amelyek a tervezést gyorsítják, a hibalehetőségeket csökkentik, és így a minőségbiztosítás is adott. A CAD rendszer egy fontos alegysége a CAE, amely a termék konstrukciójának műszaki elemzését (pl. törésállóság, hajlítószilárdság ellenőrzés) jelenti.<sup>199</sup>

Fontos hangsúlyozni, hogy a digitális tervezéshez megfelelő képzettség szükséges. A CAD/CAM technológiában jártas digitális fogászati tervezők/dental designerek szakképzésére óriási az igény és a szükség. Egy új szakma van kialakulóban, amelyet a technológia fejlődése és a piaci igények hívtak életre, ugyanakkor a hagyományos fogtechnikai alapokból építkezve vezethet csak sikerre.

## CAM- Computer Aided Manufacturing

A CAD/CAM technológia utolsó lépése a CAM – Computer Aided Manufacturing, számítógépes gyártás. Két eleme a számítógépes gyártástervezés és a számítógépes gyártásirányítás. A szerszámgépek vezérlése, időzítése és a működtetésükhöz szükséges CNC programok előállítás, a szerszámok és anyagok kiválasztása tartozik a modulhoz. Ipari

szempontból a CAM forgácsolással történő eljárást jelent, de nem csak a szubsztraktív hanem az additív technológiával működő eszközök is CAM alegységként működnek. A rétegyártási technológiák ugyanúgy számítógépes vezérléssel működnek.

A CAM a számítógépes gyártási folyamat kimeneti állomása, ahol a terv a számítógépes gyártási folyamat végén valós végtermékké alakul.<sup>199</sup>

Adatcsere – fájlformátumok

A számítógéppel támogatott eljárások során szükséges egy standard fájltypus, amellyel a különböző rendszerek kommunikálhatnak egymással. Kezdetben, amikor az alegységek szabványosítás nélkül működtek rendkívül bonyolult volt az adatcsere a rendszerek között.

Az IGES-formátumnyelvet (Initial Graphic Exchange Standard) 1980-ban az Amerikai Szabványügyi Hivatal publikálta, ez volt az első egységesítésre törekvő fájltypus. Az IGES elsősorban a számítógéppel tervezett mérnöki rajzok cseréjét, továbbítását teszi lehetővé.

A STEP (Standard for the Exchange of Product model data) 1995-ben jelent meg, olyan Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) által szabványosított formátum, amely a geometriai információk kívül a termékek gyártási információját is tartalmazza.<sup>207</sup>

A PLY (PoLYgon Model File) kiterjesztés nyitott szabványú háromdimenziós képfájl jelenti, amely a poligonfelszínek térbeli elhelyezkedését kódolja. A sokszögek geometriai pozícióján kívül textúra vagy transzparencia adatokat is tárolhat.<sup>199</sup>

Az OBJ fájl formátum, amely szintén a sokszögek, poligonok gyűjteményeként írja le az objektumokat, különösen a 3D nyomtatásban használatos. A szín és textúra információkat egy külön fájlban, az MTL (Material Template Library) kiterjesztés alatt tárolja.

A DXF (Drawing Exchange Format) fájlformátum 2D-s adatok (tervrajzok) cseréjére használatos az AutoCAD szoftverekben.

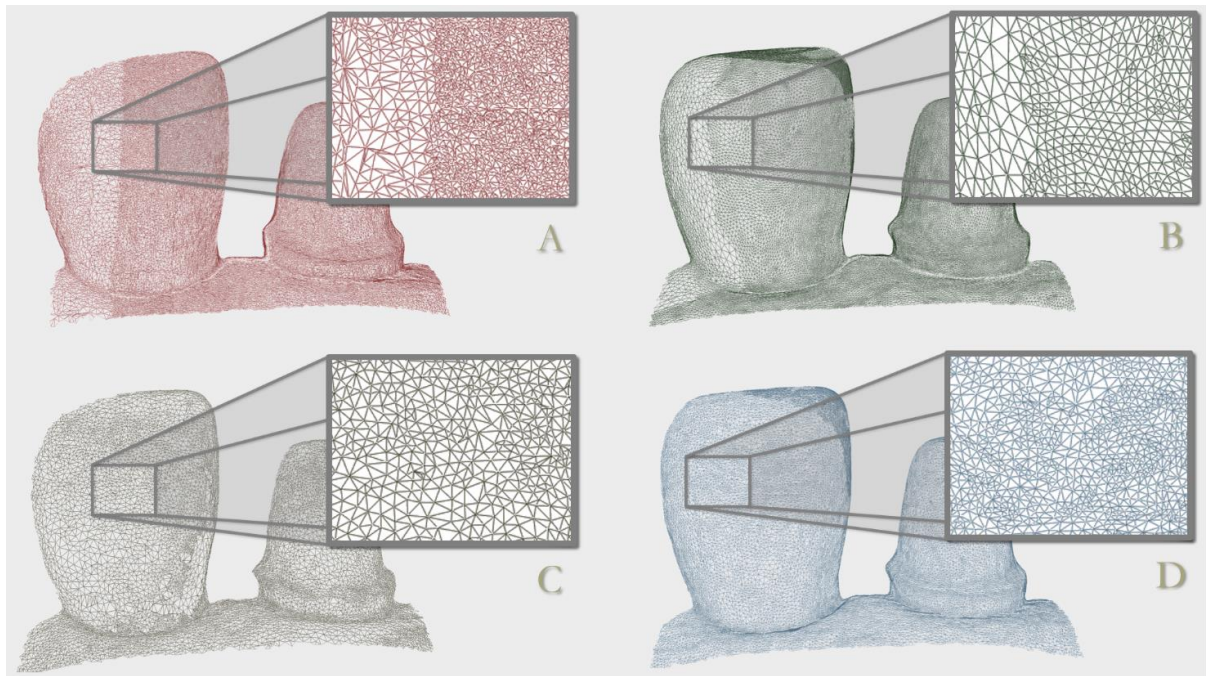
Az X3D formátum 2004-es ISO szabvány, amely már animációs adatokat is magába foglal és a 3D számítógépes grafikák készítéséhez alkalmas. A fogászatban a virtuális artikulátorok mozgásainak kódolásában lehet használatos.<sup>199</sup>

A nyílt rendszerek által leggyakrabban használt szabványos fájlformátum az STL kiterjesztés. A zárt rendszerek az STL kiterjesztést valamilyen módosítással levédve alkalmazzák, hogy csak az általuk jóváhagyott és garantált folyamatokban és eszközökben lehessen felhasználni.

*STL file*

Az STL kiterjesztés egy számítógép számára értelmezhető 3D adatfájl jelent.

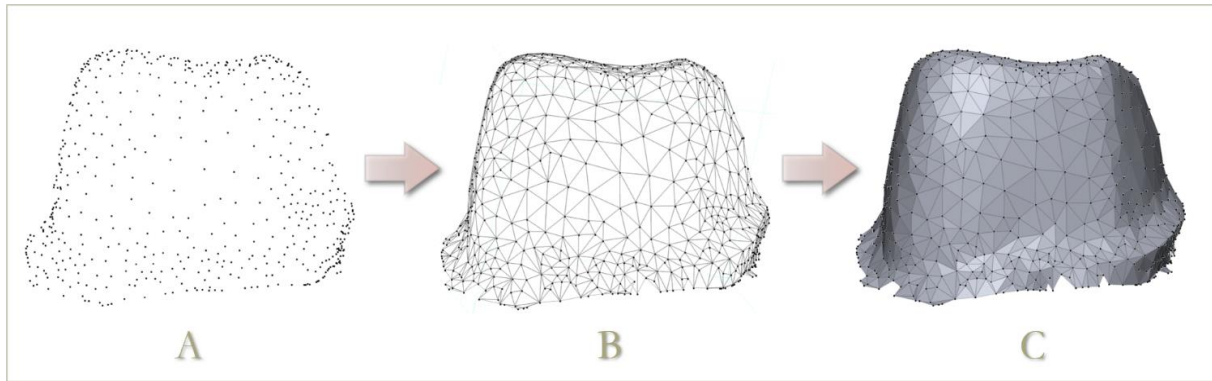
Az STL mozaikszónak több jelentése is van: Standard Tessellation Language, Standard Triangle Language és STereoLithographia. A standard triangle language; háromszögekből felépülő poligonháló elnevezés jól mutatja az adatfájlok lényegét, hogy a térbeli tárgy geometriáját egymással nem átfedő háromszögek hálózatával írja le. A háromszögek száma, denzitása nagyban függ a felbontástól, és a matematikai algoritmustól, amellyel létrehozuk az adatot.<sup>199</sup> Az STL fájl a leggyakrabban használt szabványos fájlformátum. Sztereolitográfiai gyors prototípus készítéséhez lett kifejlesztve, majd rendkívül gyorsan népszerűvé vált és sorra vették át más CAM rendszerek is. Az objektumok felszínét háromszögekre bontva definiálja. Minél több, kisebb háromszögre bontjuk a felszínt, annál pontosabb modellt kapunk és annál nagyobb a fájl. A szoftverek algoritmusai törekednek arra, hogy a fájlok mérete ne legyen túl nagy, ezért pl. a preparált csonkoknál több háromszöget használnak, míg a fogpótlás készítése szempontjából kevésbé releváns területeken kevesebb pontból, nagyobb háromszögekre bontják a felszínt. (4. ábra)<sup>199</sup>



4. ábra A szkennerek szoftveres algoritmusai eltérő módon képezi a poligonhálót. Az A és B képeken látható szkennerek a preparált felszínhez közel eső felszínt sűrűbb poligonhálós mintázattal mintázza le, a pótlás szempontjából kevésbé fontos felszíneken pedig nem pártázza (Vecsei B. A CAD/CAM technológia felépítése. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

Az stl fájl létrehozásakor nagyon fontos a matematikai algoritmus, amellyel a felület modellálása történik. A digitalizáló eljárások során a készülék által mért felületi pontok matematikai konverziója történik.<sup>184,185</sup> A mért pontok koordinátáit a térben (vertex) összekötő

egyenesek (edge), azaz élek meghatároznak, körbevesznek egy felületet (face). Legkevesebb három vertexet összekötő három edge (él, egyenes) ír körül egy sík felszín (face), ez a poligon. A fogászatban leggyakrabban háromszög poligonokkal dolgozunk, de a poligon lehet négyszög vagy sokszög is. A poligonokból felépülő térbeli testet, egy poliéder 3D digitális adatát nevezzük meshnek. (5. ábra)<sup>200</sup>



5. ábra A felületmodell ( $\approx$ mesh) kialakulása összetevőiből. A: pontfelhő (vertex), B: pontokat összekötő élek (edges), C: poligon felszínek (faces). (Vecsei B. A CAD/CAM technológia felépítése. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

A mesh pontosságát nagymértékben befolyásolja a poligonok variációja. A háromszög poligonok sűrűsége (denzitása), a „mozaiklemek” elrendeződésének szabályszerűsége (tessellation) és a háromszögek magassága (topográfiája) határozza meg, hogy mennyire tudja jól megközelítve leírni a térbeli objektum valóságghú felszínét.<sup>141</sup> A vertexek pontjainak sűrűsége alapvetően meghatározza a kapott pontfelhő pontosságát.<sup>108</sup> Éles határokat, pontos rajzolatot csak nagyszámú háromszöggel lehet leírni, míg a sima felületeken egyszerű „rutin” mesh is elegendő. Így optimalizálható a minőség és a számítási idő közötti ellentét.<sup>167</sup>

Az adatfájlból létrehozott virtuális modell a valóság másolata, de a másolat információtartalma le van csökkentve. A leképezés során csak a számunkra fontos információkat rögzítjük, az adott munkamenet szempontjából lényegteleneket pedig figyelmen kívül hagyjuk. A fogászatban *metrikus információkkal jellemezhető geometriai modellekkel* dolgozunk, vagyis elsősorban a szájképlet geometriai alakját, méretét képezzük le. A színinformációk leképezése is egyre gyakoribb, de pl. a lemintázott terület anyagtani tulajdonságainak kódolására nem törekszünk.<sup>70</sup>

Az STL fájl tehát egy gyakran használt formátum, amely a felszín morfológiáját jellemzi, és számítás technikailag értelmezhető adattá formálja a háromdimenziós objektumokat. A digitális munkafolyamatok során az STL fájlokat direkt (intraorális szkennelés) vagy indirekt (laboratóriumi szkennelés) CAD/CAM útvonalon keresztül hozzuk létre. A CBCT felvételek DICOM adatállományából is előállítható STL fájl. Adott területről több különböző eljárással

készített STL fájlok összeillesztésével számtalan diagnosztikus és tervezési lehetőség nyílik; pl. a navigációs implantológia, a guided endodontics, a guided preparation vagy a guided crown-lengthening területén.<sup>71,73,108,114,119,141,148,157,167,194</sup>

## Digitális lenyomatvételen alapuló CAD/CAM eljárások

A CAD/CAM munkafolyamatok alapja a virtuális modell. A CAD/CAM rendszereket feloszthatjuk direkt és indirekt rendszerekre az alapján, hogy intraorális vagy laboratóriumi szkennel segítségével jutunk-e el a virtuális modellekhez.

### Indirekt CAD/CAM eljárás

A CAD/CAM technológia indirekt változatának alkalmazásakor a hagyományos eljáráshoz hasonlóan az előkészített csonkokról, hagyományos technológiával és anyaggal lenyomatot veszünk, amelyből gipszmintát készítünk. Az így elkészült szekciós mintát fogja a fogtechnikus a laboratóriumi szkennel segítségével beszkenyelni, melynek végeredménye egy háromdimenziós adathalmaz, melyből a számítógép előállít egy *virtuális mintát*. A számítógép képernyőjén megjelenik egy 3D modell, amely a tervezés során alakítható. A digitalizáció folyamata történhet a lenyomat beszkenyelésével is. Amennyiben össze kívánjuk hasonlítani az analóg és digitális technikát, megállapíthatjuk, hogy a hagyományos eljárás során alkalmazott lenyomatanyag, lenyomatvételi technika és a fogtechnikai laboratóriumban használt gipsz anyagok tulajdonságai (lenyomatanyag zsugorodása, gipsz tágulása és zsugorodása), maga a szekciós minta készítése és annak során a szekciós csonkok fűrészelés útján történt előállítás, és az eközbeni információvesztés együttesen vezetnek ahhoz, hogy mire eljutunk a kész szekciós mintához nagyban torzul a kapott információ.

### Direkt CAD/CAM eljárás

A direkt CAD/CAM munkafolyamatok során intraorális szkennel segítségével közvetlenül a preparált fogakat és szájképleteket szkenneljük. Az intraorális szkennel a szájüreg és a preparált fogak direkt optikai lenyomatvételére alkalmas eszköz, amely a páciens fogzatának virtuális modelljét hozza létre a számítógép képernyőjén.

Attól függően, hogy a CAD/CAM gyártás hol történik, beszélhetünk 1. szék-melletti rendszerekről rendelői marással (chairside rendszer, inoffice-milling), 2. laboratóriumi összeköttetéssel rendelkező rendszerekről, amikor a laboratóriumban történik a gyártás

(labside, in-lab rendszer), és 3. központi gyártásról, *amikor a gyártás* marócentrumban történik (*centralised machining, networked CAD/CAM*).

Laboratóriumi összeköttetéssel rendelkező labside, In-lab rendszerek

A laborkapcsolatos CAD/CAM rendszerek esetén (labside CAD/CAM workflow, laborkapcsolatos CAD/CAM munkafolyamatok) az intraorális szkenneléssel rögzített adatokat a fogtechnikai laboratóriumnak küldjük feldolgozásra. A „labside” CAD/CAM munkafolyamatban a laboratóriumba érkező adatokat szakképzett fogtechnikus, digitális fogászati tervező dolgozza fel.

Centralizált gyártás, Centralised machining

A centralizált gyártás esetén a szkennelés és számítógépes tervezés a helyi partnerlaboratóriumban történik (vagy planning centerben) és a marás a marócentrumban zajlik. Ismert frézközponttal rendelkezik az előzőekben már tárgyalt Procera rendszer, amely nagy ellenállóképességgel rendelkező kerámiát és titánt dolgoz fel, és készít belőle fogpótláshoz vázakat. Mindez egy kisebb laboratóriumban, és az ott rendelkezésre álló felszereltséggel megoldhatatlan lenne.

Székmelletti, chairside rendszerek

A székmelletti rendszerek esetén az intraorális szkennelés, tervezés és a marás is a rendelőben történik. Az első digitális lenyomatvételi eszközök chairside rendszer részeként lettek kifejlesztve. Székmelletti rendszer használata esetén nem csak az intraorális szkennelés, hanem a tervezés és a gyártás is a rendelőben történik. A rendszerek előnye a „same day dentistry”, a fogpótlás egyetlen ülésben elkészíthető, nincs szükség ideiglenes fogpótlásra. Indikációs területéhez a kis kiterjedésű monolitikus fogpótlások (inlay, onlay, szóló korona) tartoznak. A marást követően a fogpótlások utókezelése, festése, polírozása, szükség esetén szinterelése is a rendelőben történik. A laboratóriumi és a székmelletti rendszerek között a felhasznált anyagok minőségében is különbség van. A székmelletti rendszerekkel, melynek az a célja, hogy egy ülésben még a preparáció napján elkészülhessen a végleges restaurátum csak olyan kisebb kiterjedésű pótlásokat tudunk készíteni, amelyek elkészítésére a géphez mellékelt maróegység alkalmas. Nagyobb kiterjedésű fogművek készítéséhez laboratórium háttérrel rendelkező marógépet vagy frézközpontot kell igénybe venni, ahol a marható anyagok köre jóval szélesebb.



## Digitális lenyomatvétel extraorális - és intraorális szkenneléssel

A szkennerek feladata a szájüregi információk digitalizálása.

A különböző felszínek leképezése többféleképpen történhet. Alkalmazhatunk fizikai érintkezéssel alapuló mechanikai vagy kontakt szkennereket vagy olyan szkennert, ahol a célterületről az információt a fény vagy lézer visszaverődésével szerzi a rendszer, ezek az optikai elven működő non-kontakt szkennerek. A kontakt szkennerek esetében mechanikai kapcsolatnak kell létrejöjjönnie a készülék és a letapogatandó struktúra között, ezért intraorálisan nem alkalmazhatóak csak extraorális, laboratóriumi vagy asztali szkennerként. A mechanikai letapogatás ugyan nagyon pontos, de maga a folyamat hosszú időt vesz igénybe, és az üzemeltetési költsége is magas. Ezzel szemben az optikai elven működő letapogatás gyorsabb, és a költsége is jóval kisebb. Optikai szkennerek lehetnek intraorális- és extraorális szkennerek is. Extraorális szkennelésre alkalmas eszközök az optikai elven működő arcszkennerek is.<sup>12</sup>

A mechanikai letapogatás korlátja lehet a letapogatást végző szondának a mérete, illetve az annak a felszínnek a szerkezeti összetétele, amelyről az információt kell begyűjtenie. Amennyiben a felszínrendszer túl bonyolult, az adatok összeillesztésekor pontatlanság léphet fel, vagy amennyiben, pl. fogatlan gerincet kell letapogatni, amely összenyomható, szintén romlik a végeredmény pontossága. Az optikai szkennerek esetében zavaró tényező lehet annak az anyagnak az optikai tulajdonsága, amelyet szeretnénk beszkenyelni, hiszen bizonyos anyagok mint pl. fémfelszín, nyál, kerámia stb. megzavarhatják a szkennelés folyamatát.<sup>100</sup>

Az optikai szkennerek, más néven non-kontakt szkennerek működési alapja, hogy fény segítségével tapogatják le a háromdimenziós objektum felületét. Tehát minden optikai szkennelvényben található egy fényforrás (ez lehet strukturált fény vagy lézer), valamint egy vagy több kamera.<sup>20,97</sup> A laboratóriumi szkennerek esetében a beszkenyelendő mintát vagy lenyomatot úgy kell a rendelkezésre álló mozgó rendszer segítségével beállítani, hogy az a legoptimálisabban helyezkedjen el a kamera és a fényforrás számára. A visszaverődött fény alapján a kamera és a fényforrás közti szög és távolság ismeretében a szkennelt tárgy leképezhető. A visszaverődött fény adja meg a tárgy pontjainak háromdimenziós pozícióit.<sup>75</sup> Ma már nemcsak egy kamerával működő szkennerek hanem, több kamerával, gyorsabban, pontosabban dolgozó rendszerek is elérhetőek.<sup>64</sup>

A szkennerek professzionális működéséhez fontos, hogy mind az optikai rendszer, mind a szenzorok magas minőségűek legyenek. Ma már akár 5 megapixel felbontású szenzorokat is

fejlesztenek a szkennerekbe. Az optikai szkennerek esetén a felvétel minőségét befolyásolhatja, hogy a fény a különböző felületeken szóródhat, visszaverődhet, illetve elnyelődhet.<sup>20,64,75,97</sup>

## Szkennerek leképezési elvei

### *Kontakt szkennerek leképezési elvei*

Az első mechanikai szkennerek a Procera szkennerek voltak, de gyakorlatilag valamennyi mechanikai szkennerek működési elve azonos. A Procera szkennerek esetében egy fém detektor (0,5 mm sugarú zafír gömb) tapogatja körbe a gipszcsontok felszínét 45 fokos szögben döntve. A letapogatás a gipszcsont lábánál kezdődik és a tárgyastalt körbe forgatva az adott síkban 360 fokban rögzíti a képpontokat a rendszer. Ezt követően a tárgyastalt 50 µm-t süllyed, és újabb síkban folytatódik a letapogatás, egészen a csont tétjéig. A regisztrált pontfelhő pontjainak összekötésével alakult ki a háromszögekből álló 3 dimenziós modell. A rendszer tulajdonsága, hogy a letapogató szonda és a marófej mérete azonos, a marófej pedig a szondával azonos utat jár be. A szkennerek a zafír gömb átmérőjénél kisebb egyenetlenségeket nem tud detektálni.<sup>3,13</sup>

### *Optikai szkennerek leképezési elvei*

#### **Az optikai szkennerek**

Az optikai szkennerek működhetnek lézerténnel, fehér vagy kék fénnel. A legtöbb optikai szkennerek nem lézer, hanem visszavert fény detektálásával dolgozik, mert a fehér vagy kék fény szkennerek nyitott kialakítása kényelmesebb, ugyanakkor megfelelően pontosak és megbízhatóak. A lézerszkennerek úgy lettek kialakítva, hogy a szkennelés zárt térben történik.<sup>3,182</sup>

Az optikai szkennerek gyorsaságuk és kisebb költségeik miatt kiszorították a kontakt szkennereket a piacról. Nemcsak mintát, hanem a megfelelő optikai anyaggal vett lenyomatot is tudják szkennelni.<sup>153</sup>

Az intraorális szkennerek optikai elven működnek. Az első szkennerek esetében a szkennelendő felületeket porral kellett bevonnai, hogy megfelelően reflektáló felület jöjjön létre. A technológia gyors fejlődésével mára már nincs szükség por használatára, a szkennerek különböző anyagból készült fogpótlásokat is megbízhatóan leképezik, és olyan új optikai tulajdonságok is beépítésre kerültek bizonyos szkennerekbe, mint a fogszín-meghatározás vagy a caries detektálás.<sup>3,120,212</sup>



Az intraorális szkennerek különböző adatfeldolgozási elvekre épülnek: Confocal laser technology- Konfokális lézer technológia, Confocal microscopy- Konfokális lézer mikorszóbia, Triangulation- Trianguláció elve, Stereophotogrammetric video- Sztereofotogrammetria, Active wavefront sampling- Aktív hullámfront leképezés, Accordion fringe interferometry– AFI – Fáziseltoláson alapuló interferometria. (1., 2. táblázat)

1. táblázat Intraorális szkennerek leképezési elvei és fényforrásai. (Róna V. CAM/CAM technológiához felhasználható fogászati szkennerek. Szakdolgozat. 2021.)

Szkenner gyártó	Szkenner név	Szkenner típusa	Szkenner leképezési elve	Fényforrás
3M EPSE	Lava C. O. S	intraorális	Active Wavefront Sampling	Strukturált kék fény
3M EPSE	True Definition	intraorális	Active Wavefront Sampling	Strukturált kék fény
3Shape	Trios 3	intraorális	Konfokális képalkotás	Strukturált LED fény
3Shape	Trios4	intraorális	Konfokális képalkotás	Strukturált LED fény
Cadent	iTero Element 2	intraorális	Paralell konfokális képalkotás	Piros lézer
CEREC	Primescan	intraorális	Trianguláció	Specifikus hullámhosszú kék fény
D4D Technologies, LLC	E4D	intraorális	Optikai koherencia tomográfia	Lézer
Dental Wings	DWIO	intraorális	Multiszken képalkotás	Kék lézer
GC	AADVA	intraorális	Konfokális képalkotás	Nincs adat
MFI	Condor	intraorális	Sztereofotogrammetria	Nincs adat
Ormco	Lythos	intraorális	Accordion Fringe Interferometry	Nincs adat
Planmeca	Emerald	intraorális	Trianguláció	Lézerr

2. táblázat Extraorális szkennerek leképezési elvei és fényforrásai. (Róna V. CAM/CAM technológiához felhasználható fogászati szkennerek. Szakdolgozat. 2021.)

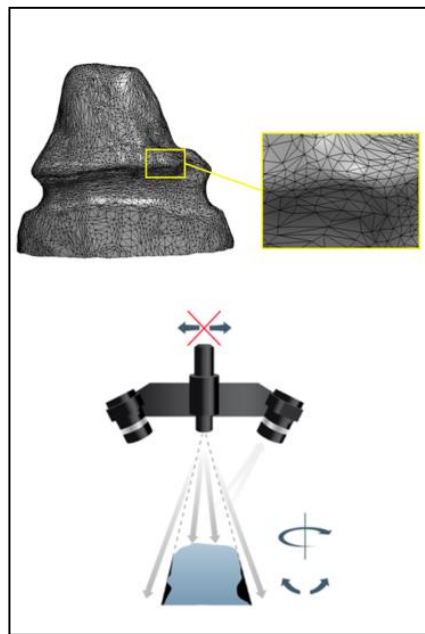
Szkenner gyártó	Szkenner név	Szkenner típusa	Szkenner leképezési elve	Fényforrás
3M EPSE	Lava Scan ST	extraorális	Accordion Fringe Interferometry és Trianguláció	Strukturált fehér fény
3Shape	D250	extraorális	Konfokális képalkotás	Piros lézer
3Shape	D2000	extraorális	Konfokális képalkotás	Strukturált kék fény
CEREC	InEos X5	extraorális	Trianguláció	Strukturált kék fény
Imetric	iCam 4D	extraorális	Sztereofotogram metria	Nincs adat
KAVO	Everest Scan	extraorális	Trianguláció	Strukturált fehér fény
Medit	Identica	extraorális	Nincs adat	Strukturált fehér fény
Medit	T-series	extraorális	Trianguláció	Strukturált kék fény
Nobel Biocare	Procera Forte	extraorális	Nincs adat	Kontakt szkenner
Renishaw	Incise	extraorális	Nincs adat	Kontakt szkenner

### Fehér fény szkennerek

A fehér fény szkennerek esetében a projektor több különböző formájú fehér fénynyalábot bocsát ki a tárgyra, miközben a tárgy vagy a kamera kijelölt úton mozog. (6. ábra) A fehér fény különböző hullámhosszúságú fénynyalábok összesége, amelyek különböző szögben törnek a gyűjtő- és szórólencséken ezért a lemintázás során a tárgyaknak színes „szegélye” lehet

(szivárvány effektus-kromatikus aberráció), ami rontja a leképezés minőségét. Ennek megoldása, ha a szkennerek csak adott frekvenciájú fényvel dolgoznak. A leképezés során rögzített pontok összekötésével háromszögeket kapunk, amelyek összessége megadja a leképezett háromdimenziós felületet.<sup>1,75,83,84</sup>

Fehér fényvel működő szkennerek a Medit Identica T500 laboratóriumi szkennerek és oszcilláló fehér fényvel működnek a Lava Scan ST (3M ESPE) és az Everest Scan (KAVO) laboratóriumi és a 3Shape Trios intraorális szkennerek.<sup>20,83,84</sup>



6. ábra Pontfelhőből elkészült háromszögelés és fehér fény szkennerek. (Hollenbeck K, Allin T, van der Poel M. Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best. 3ShapeTechnology Research, Copenhagen. 2012.)

#### Monokromatikus fényt kibocsátó szkennerek

A monokromatikus fényt kibocsátó szkennerek olyan strukturált fényvel működő szkennerek, amelyek csak egy adott színű fényt használnak a leképezéshez. A fogászatban használt ilyen szkennerek a 405-500 nm hullámhosszú fényvel dolgozó kék fény szkennerek. Működési elvük nagyon hasonló ahhoz, mint amikor fehér fényvel dolgozunk. Az összes fényforrás közül kék fényvel érhetjük el a legpontosabb eredményeket.<sup>128</sup> Jeon és munkatársai egy 2015-ös kutatásban bizonyították, hogy a kék fény szkennerek reprodukálhatósága szignifikánsan jobb, mint a fehér fény szkennereké.<sup>82</sup> Fontos tudni, hogy a hosszabb ideig tartó kék fény expozíció káros az emberi szemre.<sup>68,69,128,190</sup>

Látható strukturált kék fényvel működő szkennerek a Medit T-series, valamint a 3Shape D2000 laboratóriumi szkennerek, továbbá a CEREC Bluecam (7. ábra) és a 3M ESPE True Definition intraorális szkennerek.<sup>68,82,114</sup>

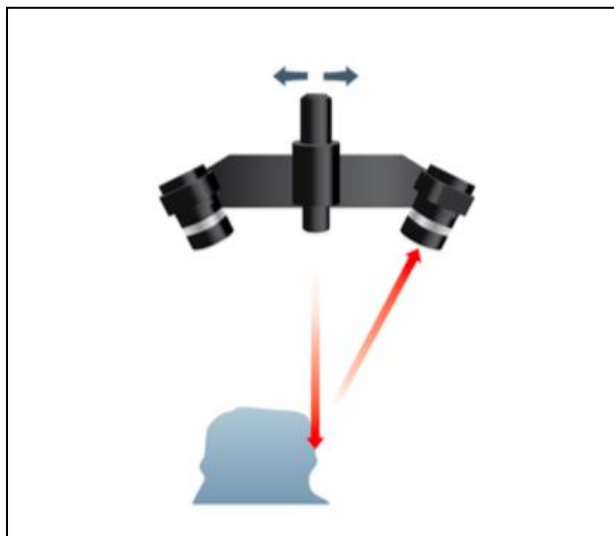


7. ábra A CEREC Bluecam intraorális szkennerek strukturált kék fényvel tapogattja le a fogakat. A rendszer a rendelőben elhelyezett marógéppel szék melletti fogpótlások készítésére nyújt lehetőséget. (Logozzo S, Zanetti E, Franceschini G, Kilpela A, Mäkynen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*. 03/01 2014;54:203–221.)

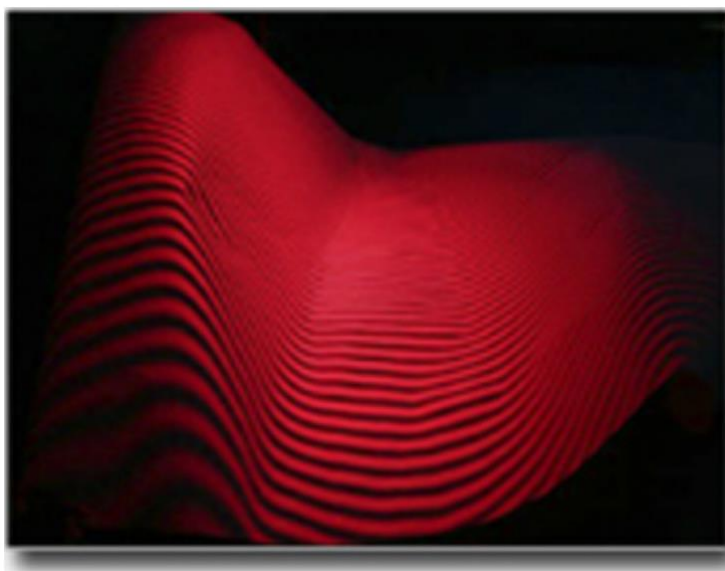
### Lézer szkennerek

A lézer szkennerek a leképezés során lézernyalábot használnak. A szkennervej egy egyenes sík mentén mozog, a szkennervej és a tárgy különböző pozícióiból, illetve minden egyes kontúrvonalról visszaverődött fénynyaláb alapján jön létre a háromdimenziós kép. (8. ábra) A lézervény nagy előnye, hogy igen vékony sugárnyalábot lehet vele elérni, ellenben hátránya, hogy ha nincs megfelelően kontrollálva, akkor a fény intenzitása nem állandó. A szkennerek előre beprogramozott úton mozgatja a szkennervejet, így egy tárgy minden felszíne leképezésre kerül. A különböző felszínek egyesítésének két módszere ismert. Nagy pontosságú illesztést tesz lehetővé, ha a háromdimenziós nézeteket a rendszer közös koordináta-rendszerbe helyezi és ott illeszti. Másik megoldás a virtuális illesztés, ahol a program a hasonló felszínek felismerése alapján illeszt. Ez az útvonal kevésbé pontos illesztést eredményez. A virtuális illesztés moláris fogak esetén működik a legjobban, mert ott sok a referenciapont, a szoftver könnyebben össze tudja illeszteni a képeket.<sup>75,156</sup>

Vörös lézervényt használ a 3Shape D250 laboratóriumi szkennerek (9. ábra) és az iTero Element intraorális szkennerek, valamint vörös-kék-zöld lézervényvel működik a Planmeca Emerald intraorális szkennerek.<sup>114,140</sup>



8. ábra Lézer szkennerek. (Hollenbeck K, Allin T, van der Poel M. *Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best.* 3ShapeTechnology Research, Copenhagen. 2012.)



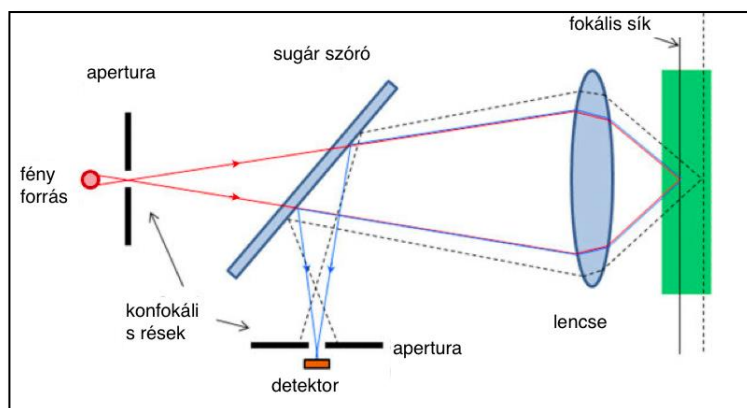
9. ábra Vörös lézernyalábok a felszín letapogatása közben. Ilyen technológiával működik a 3Shape D250 fogtechnikai laboratóriumi szkennere. (Logozzo S, Zanetti E, Franceschini G, Kilpela A, Mäkynen A. *Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry.* *Optics and Lasers in Engineering.* 03/01 2014;54:203–221.)

### *Konfokális lézer mikroszkópia*

A konfokális lézer mikroszkópia elvén működő szkennerek a leképezés során az adott fókusztávolságban lévő képpontról érkező fényt detektálják. A konfokális képalkotás Marvin Minsky nevéhez kötődik.<sup>131,212</sup> Az adott fókuszsíkból érkező fény detektálását egy olyan

apertúrával lehet elérni, amelynek közepén egy lyuk található (10. ábra), és ezen a lyukon csakis a fókusz síkba eső fény fog átjutni. Minden olyan fény, amely fókusz síkon kívül esik, vissza fog verődni. Ez az úgynevezett „pinhole-screen”. Hagyományos képalkotó rendszerekkel ellentétben, leképezés során nem a teljes objektum kerül megvilágításra, hanem csak az objektum egy adott pontja. A teljes objektumot pontról-pontra végig kell pásztázni ahhoz, hogy a teljes képet megkapjuk.<sup>131</sup> Ahhoz, hogy egy fogat rekonstruálni tudjunk, több egymást követő felvételre van szükség, amelyek különböző fókusz távolságokból, valamint különböző szögekben készülnek.<sup>212</sup> A szkennelés során létrehozott kétdimenziós képeket a szkennerszoftver illeszti össze. A rendszer hátránya, hogy a rétegenkénti leképezés időigénye magas.<sup>24,114,131</sup>

Konfokális leképezési elven működnek a 3Shape Trios intraorális szkennerek és a 3Shape D250 laboratóriumi szkennerek valamint a GC AADVA és az iTero Element2 intraorális szkennerek.<sup>114,140,212</sup>



10. ábra Konfokális képalkotás. (Hollenbeck K, Allin T, van der Poel M. *Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best*. 3ShapeTechnology Research, Copenhagen. 2012.)

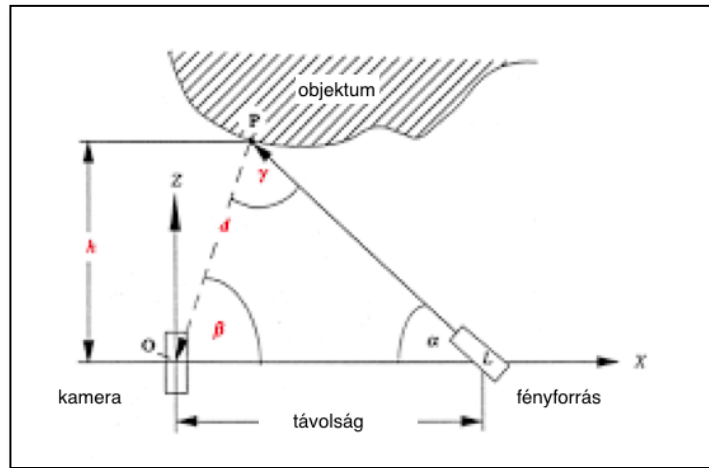
### Trianguláció elve

A háromszögeléses módszer a trigonometria alaptételén nyugszik, amely szerint két pont között található távolság ismeretében, valamint ezen két pont és egy harmadik pont által bezárt szög alapján a harmadik pont helyzete kiszámítható. (11. ábra) Aktív trianguláció esetén a három pont a fényforrás, a kamera és a vizsgált tárgy. Passzív triangulációs rendszer esetében két kamera rögzíti a visszaverődött környezeti fényt.<sup>117</sup> A szkennelés során a fényt egy tükör irányítja rá a szkennelendő felület adott pontjára, ahonnan ez a sugár visszaverődik. A kamera látóterében ez a sugár fog megjelenni. Gyorsabb a szkennelés, ha több pontban érkezik a fénysugár a vizsgált tárgyra, például egy háló formájában, és pontosabb kép érhető el több szenzor használata esetén.<sup>24,117,167</sup>



Trianguláció elvével működik a CEREC Primescan intraorális szkener, a Dental Wings Intraoral Scanner és a Sirona inEos X5 laboratóriumi szkener.<sup>114,167,212</sup>

A triangulációs technika továbbfejlesztett változata az úgynevezett multiszen szenekkelési technika. Ennek lényege, hogy a szkener fejben tíz minikamera és 5 speciális projektor található. A Dental Wings Intraoral Scanner alkalmazza ezt a technológiát.<sup>212</sup>



11. ábra Trianguláció elve. (Hollenbeck K, Allin T, van der Poel M. *Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best.* 3ShapeTechnology Research, Copenhagen. 2012.)

### *Sztereofotogrammetria*

A sztereofotogrammetria (OCT – Optical Coherent Tomography) során a tárgyról két kamera (sztereo-pár) segítségével készül kép. A két kamera távolsága hasonló, mint az emberi szemek közötti távolság. A kamera szenzorainak helyzetének pontos ismeretében háromszögelési algoritmusokkal értékelhető a kép. A felület mintázata ad információt a pontos geometria leképezéséhez. A képpontok háromdimenziós koordinátáinak meghatározását követően a képpontok illesztésével alakul ki a háromdimenziós modell.<sup>103,149,162,212</sup>

Sztereofotogrammetria elvén működik az MFI-Condor intraorális és az Imetric iCam 4D fogtechnikai szkener.<sup>149,162,212</sup>

### *AWS - Active Wavefront Sampling - Aktív hullámfront leképezés*

Az AWS egy olyan felület leképező technika, amely működéséhez egy kamerát és egy olyan optikai tengelyen kívül eső apertúra modult igényel, amely körkörösén mozog egy adott tengely körül. Ennek eredményeként a kép síkja körül egy körkörös pályán mozgó képpont halmaz jön létre. A képpontok mélysége az adott pálya sugarának ismeretében kiszámítható.<sup>212</sup> Az AWS a kép mélységélességét az úgynevezett „depth from defocus”, vagy röviden DFD technológia

segítségével határozza meg. A kamerán nem jelenik meg kép, amikor a tárgy a fókusz síkban van, és homályos kép (képpont halmaz) látható, ha a tárgy a fókusz síkon kívül kerül, amelynek mérete arányos a lencse átmérőjével. Az ismert fókusz távolság és a kép átmérőjének ismeretében kiszámítható a tárgy adott részének pozíciója.<sup>1,58,62,114</sup>

Active wavefront sampling elven működik a 3M ESPE Lava Chairside Oral Scanner és a 3M ESPE True Definition intraorális szkennerek csoportja.<sup>62,114,212</sup>

#### *Accordion fringe interferometry – AFI – fáziseltoláson alapuló interferometria*

Ez a módszer a hagyományos lézer interferometria háromdimenziós változata. A szkennelt felületre két fényforrásból érkező fény a felszínen hullámrajzolat szerűen vándorol. A visszavert fényt nagy felbontású kamera érzékeli. A számítógép a fényforrások helyzete alapján rögzíti a képpont koordinátákat és kirajzolja a virtuális modellt. Az eljárás leképezési mélysége és felbontása nagyon jó, csillogó felszínek szkennelésére is alkalmas.<sup>28,114,212</sup>

According fringe interferometry elvén működik az Ormco Lythos intraorális és a Lava Scan ST (3M ESPE) fogtechnikai szkennerek.<sup>1,4</sup>

#### *Optikai koherencia tomográfia*

A hulláminterferencia elvén alapuló optikai koherencia tomográfia lényege, hogy a különböző pontokból érkező hullámok egy adott pontba közösen érkeve erősítik vagy gyengítik egymást. Ezzel a technikával a szkennelt tárgy mikrostruktúrájáról kapunk keresztmetszeti képet. A fény egyrészt egy referencia tükörrre, másrészt magára a tárgyra vetül rá, majd ezután mindkét felületről vissza fog verődni. A keletkező jelet egy számítógép alakítja át háromdimenziós kép formájába.<sup>212</sup> Az optikai koherencia tomográfia felhasználható a fogszuvasodás, a parodontális kórképek és a szájüregi daganatok korai diagnosztikájában is.<sup>77</sup>

Ilyen elven működik például a D4D Technologies E4D intraorális szkennere, amely az optikai koherencia tomográfia mellett konfokális képalkotást alkalmaz.<sup>24,114,192</sup>

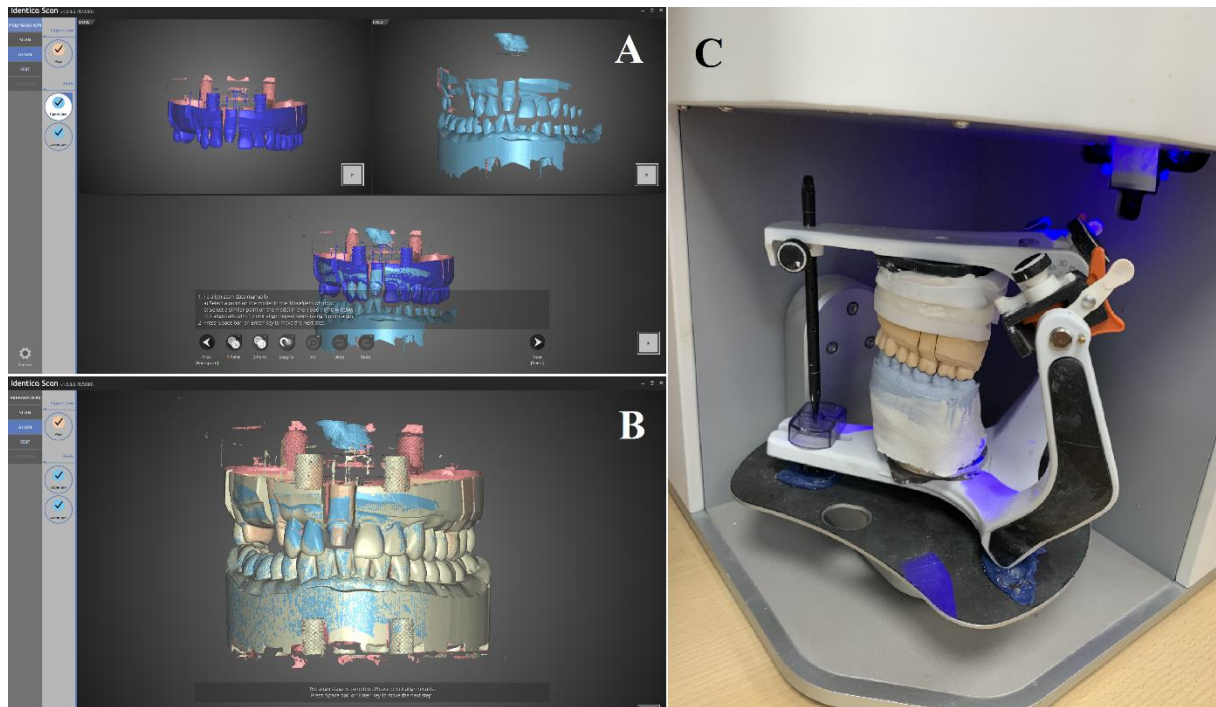
#### *Digitális lenyomatvétel extraorális-fogtechnikai szkennerekkel*

Az extraorális-laboratóriumi szkennerek lehetnek kontakt vagy optikai szkennerek. A kontakt szkennerek a gipszminta felszínét letapogatva halad, pontokat regisztrál, és azokat koordináta rendszerben helyezi el. A pontokat összekötve jelenik meg a virtuális modell a számítógép képernyőjén.<sup>6,155,43</sup> A szekciós minta kivehető csomkjai egyesével is digitalizációra kerülnek, és azokat a program illeszti a teljes fogív adataihoz.<sup>43</sup> A lényegesen gyorsabb leképezésre képes optikai szkennerek a kontakt szkennereket mára már kiszorították a piacról.



### Szkenelés optikai szkennelssel

Az optikai elven működő fogtechnikai szkennerekkel lenyomat, szekciós minta vagy a viaszmintázat is digitalizálható. A szkennerek a harapás regisztrátumok digitalizációjával pozícionálják a virtuális mintákat a virtuális artikulátorban.<sup>20,27</sup> Megfelelő kialakítású és méretű szkennerekkel az artikulátorba gipszelt minták is szkennelhetők, a digitális harapásrögzítést megkönnyítendő. (12. ábra)<sup>182</sup>



12. ábra A digitális harapásregisztráció egyik lehetséges módja, hogy a megfelelő méretű és kialakítású optikai szkennelben a beartikulált modellek kerülnek szkennelésre (Temple Roland ftm. anyagából)(Joós-Kovács G. Fogászati szkennerek vizsgálata. Doktori értekezés.2022.)

### Szekciós gipszminta szkennelése

A szekciós modell szkennelése során az optikai eszköz fényt vetít a gipszmintára, a visszavert fényt kamera vagy kamerák rögzítik, és a detektált képpontok helyzetének számítását követően kapjuk meg a számítógép képernyőjén a virtuális 3D modellt. Teljes fogív szkennelése mellett a mintacsonkok egyesével is leképezésre kerülnek, a szoftver pedig összeilleszti a csonkok és a fogív képét. (13. ábra)<sup>20,26,134,153,182,198</sup>



13. ábra Szekciós gipszminta szkenneléskor az optikai fogtechnikai szkennerek valamilyen fényt bocsát a minta felszínére, amit kamerával érzékel. (Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Dent J. May 10 2008;204(9):505-511.)

A szekciós minták digitalizációjának lényeges lépése a preparált felszínnek és a széli záródási vonal tökéletes leképezése.<sup>20,92,119</sup> A digitális lenyomatvétel megfelelő preparációs formát is követel; a preparációs határnak könnyen követhető, folyamatos vonalnak kell lennie, az axiális falak ideális összetérése 4-10°, az élek és csücskök lekerekítettek.<sup>19,20</sup>

#### Precíziós-szituációs lenyomat szkennelése

A lenyomatok szkennelése komoly kihívás, hiszen negatív-homorú felszíneket kell leképezni, amelyekre a szkennerek nehezen „látnak rá”. Több irányból, különböző szögből készített felvételek hozzáadásával lehet a hiányos lenyomat szkent kiegészíteni, addig amíg a teljes felület leképezésre nem kerül.<sup>18,84,133</sup> A lenyomatok pontos optikai leképezésének feltétele, hogy megfelelő optikai tulajdonságú lenyomatanyagot kell használni a lenyomatvételhez.<sup>29</sup>

#### Viaszmintázat szkennelése

A viaszmintázat szkennelése a Procera eljárás centralizált gyártástechnológiájának elterjedéséhez volt köthető. A Procera rendszert használó fogtechnikusnak lehetősége volt arra, hogy az asztali szkennerekkel a szekciós modell mellett a kézzel készített viaszmintázatot is beszkenelje, és a marócentrumnak a váz mintázatának adatait is elküldje.<sup>13,133,155</sup>

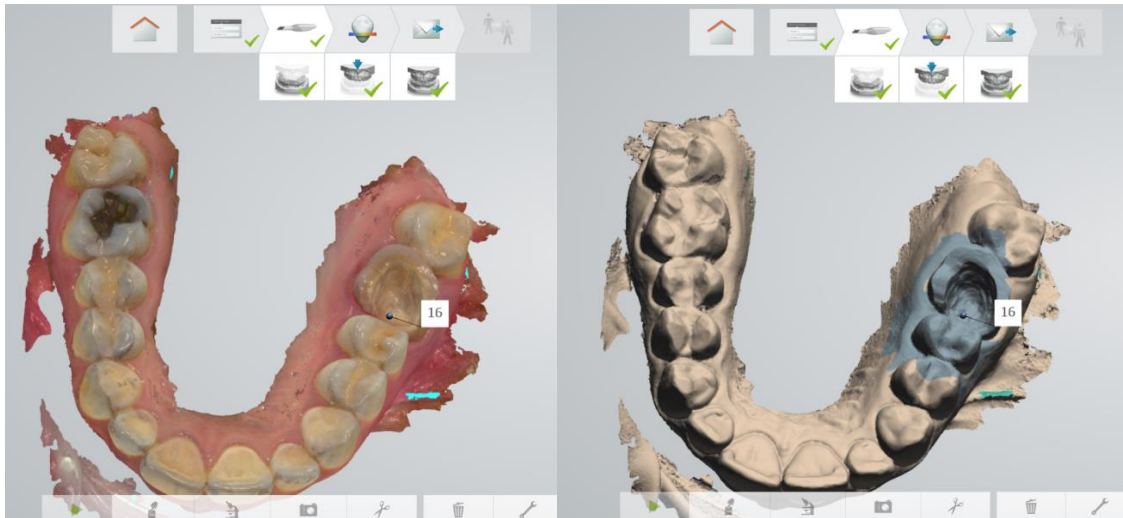
### Digitális lenyomatvétel intraorális szkenneléssel

Az intraorális szkenneléssel történő digitális lenyomatvétel lényege, hogy közvetlenül a preparált és preparálatlan fogakról és a szájkepletekről veszünk lenyomatot. Az intraorális szkenneléssel vett lenyomat alapján egy virtuális modellt, azaz a páciens fogzatának digitális másolata jelenik meg a számítógép képernyőjén. (14. ábra)



14. ábra A páciens fogairól vett digitális lenyomata alapján készült virtuális modellek. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

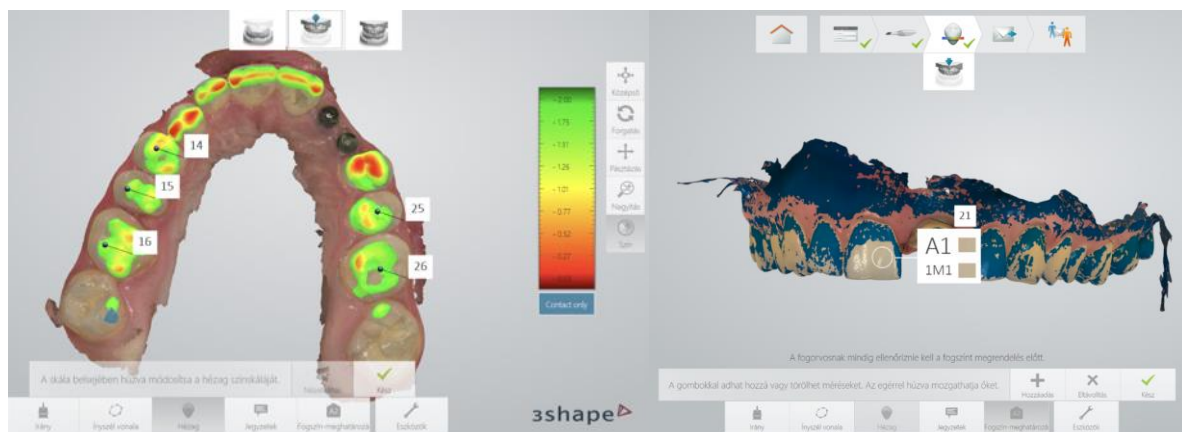
A lenyomatvétel hagyományos alapelveit be kell tartani intraorális szkennelés során is, megfelelő légyszöveti kontroll, korrekt izolálás szükséges a pontos digitális lenyomatvételhez. Az intraorális szkennerek a szájüreg és a preparált fogak direkt optikai lenyomatvételére alkalmas intraorális digitális eszközök.<sup>192,212</sup> A szkennerek számos, a lenyomat kiértékelését segítő funkcióval is rendelkeznek. Preparált fogak esetében az okklúziós és axiális redukció mértéke és a behelyezési irány szinkódoltan kiértékelhető. A preparációs határt kinagyítva, a modellt a monitoron bármilyen irányba forgatva tudjuk kiértékelni vagy a laboratórium számára kijelölni. (15. ábra)



15. ábra Inlay üreg preparációról vett teljes fogív szkenn élethű színekkel és a nagy felbontású kiegészítő képek hozzáadásával. (Vecsei B, Czigola A, Róth I, Hermann P, Borbély J. Digital Impression Systems, CAD/CAM, and STL file. In: Kinariwala N, Samaranayake L, eds. Guided Endodontics. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2021:27-63.)

Bármilyen pontatlanság esetén további felvételekkel lehet kiegészíteni a korábbi szkeneket, a virtuális modell pedig javítható, anélkül, hogy a teljes lenyomatot újra kellene venni.

A leképezés technológiájától függően a virtuális modell a szájképletek valós színeit jelenítheti meg. A valós színeket megjeleníteni képes intraorális szkennerek értékes többlet-információt is adnak; mint a fogak elszíneződései, a gingiva elváltozásai. A pácienssel való kommunikációt is segíti a digitális kijelzőn megjelenített kép.<sup>212</sup> Egyre több intraorális szkennerek a színhű megjelenítésen túl képes fogszín-meghatározásra is. (16. a, b ábra)



16. ábra Az intraorális szkennerek a lenyomatvételen túl, számos további szoftveres lehetőséget biztosítanak pl. az okklúzió színkódolt értékelése (a) vagy fogszínmérés (b). (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

*Az intraorális szkennelés előnyei*

Az intraorális szkennelés előnye, hogy a digitális lenyomat alapján azonnal elkészül a virtuális minta, amelyet a fogorvos a lenyomat készítésekor ki tud értékelni. A számítógép képernyőjén a modell felnagyítható, forgatható, a preparáció és a harapás rögzítése is ellenőrizhető, mielőtt a lenyomatot a fogtechnikusnak küldenénk. Bármilyen pontatlanság esetén további felvételekkel lehet kiegészíteni a korábbi szkeneket, a virtuális modell javítható, anélkül, hogy a teljes lenyomatot újra kellene venni, a szkennerek a hiányosan lenyomatozott területeket jelöli is. A szkennerek számos olyan beépített szoftveres funkcióval rendelkeznek, amelyek a fogpótlás elkészítését megkönnyítik, ilyen például a korábban már említett, okklúzáisan rendelkezésre hely színekódolt kiértékelése, amellyel ellenőrizni tudjuk, hogy a készítendő fogpótlás anyagkövetelményének megfelelően elegendő-e a rendelkezésünkre álló hely. A rendelőben vett digitális lenyomat a páciensek komfortérzetét növeli, időben hatékony, és sok esetben leegyszerűsítheti a klinikai munkafolyamatokat. Nincs szükség gipszmodellekre, és sokkal hatékonyabb kommunikációt tesz lehetővé a fogtechnikai laboratóriummal, valamint a páciensekkel.<sup>55</sup> A valós színű leképezést biztosító szkennerek intraorális kamera funkcióval is rendelkeznek. Az intraorális kamera képei, amelyeket a fogakról, nyálkahártyáról, és a szájképletek esetleges elváltozásairól készítünk, segítenek a páciensek tájékoztatásában, a problémák közös kiértékelésében, és ezen keresztül a kezelési terv megbeszélésében is. A szkennerek fogszín-meghatározási funkciójának előnyei, hogy a színmeghatározás nem igényel plusz időbefektetést, és az elkészített digitális lenyomaton a szín is kiértékelhető. A digitális lenyomat nem deformálódik, pontossága nem változik, bármikor könnyedén előkereshető és újra felhasználható. A páciensekről készült dokumentáció digitális formában könnyen tárolható.<sup>53</sup> A szkennerek szoftveres funkciói közé tartozik a kezelések nyomonkövetésének lehetősége is. Különböző időben készült szkenn felvételek egymásra illesztésével, hosszútávon vizsgálható a fogászati státusz változása, a fogkopások, a fogvándorlás, a rotáció vagy az ínyrecesszió időbeli alakulása.

Az intraorális szkennerekkel készített STL fájlok más háromdimenziós képalkotó eljárással nyert adatokkal (pl. CBCT felvételek) egymásra illeszthetőek. Az intraorális szkennelés adatai új távlatokat nyitnak a diagnosztikában, a kezelési tervek készítésében, az implantációs fűrősablonok tervezésében és az orthodonciai és az implantációs virtuális modellezés területén is.<sup>212</sup>



*Az intraorális szkennelés nehézségei*

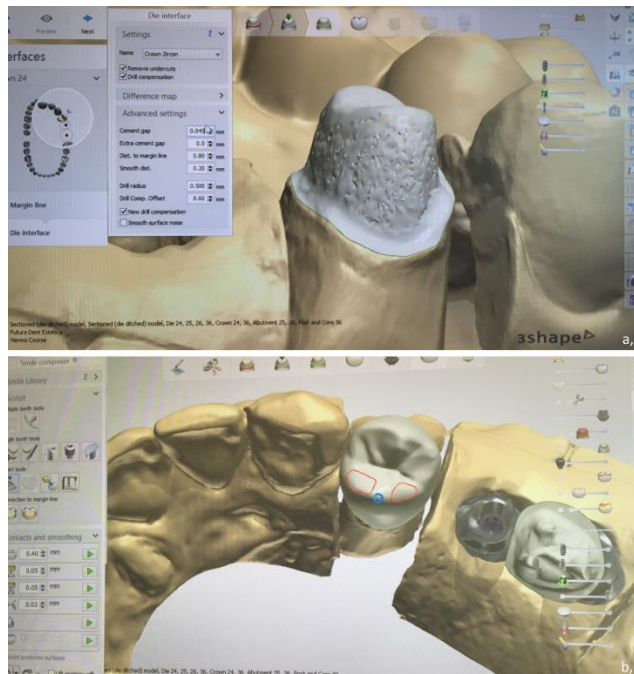
Az intraorális szkennelés egyik nehézsége a mélyen szubgingivális preparációs határ lenyomatozása, különösen vérzés esetén. A hagyományos lenyomatvételhez képest sokkal költségesebb az intraorális szkennerek beszerzése és a fenntartása, ami nehezíti a széles körben történő elterjedését. A partnerlaboratóriumnak szintén rendelkeznie kell a megfelelő szoftverekkel, marókkal, nyomtatókkal és CAD/CAM anyagokkal a digitális munkafolyamatok megvalósításához.<sup>120</sup> Gondolni kell a tanulási görbére is. A digitális lenyomatvételt ugyanúgy meg kell tanulni, mint a hagyományos munkafolyamatot. A szkenn felvétel készítése során érdemes betartani a gyártói utasításokat. A szkennerej megfelelő mozgását a szájképletek lenyomatozása során szkennstratégiának hívjuk. Minden gyártó cég ajánl készülékéhez olyan szkennstratégiát, amely segítségével a leghatékonyabb a lenyomatvétel. A szkennstratégiának megfelelően kell a szkennerejet adott távolságban, egyenletesen, a megadott útvonalon mozgatni, hogy a szoftver a képeket hiánytalanul illeszthesse össze. A szkennere nem megfelelő használata hiányos területekhez, vagy akár torzulásokhoz vezethet.

Implantációs lenyomatvétel során digitális lenyomati fejekre, scan bodykra van szükségünk a lenyomatozáshoz. Különböző anyagú (fém, peek) és kialakítású (egyrészes, kétrészes) scanbodyk érhetőek el, melyek a pontos digitális lenyomat alappillérei. A lenyomatvételhez használt scanbodyt digitális formában a tervezéshez használt CAD szoftver könyvtárának is tartalmaznia kell.<sup>212</sup>

A szkennerek elterjedésének leginkább magas áruk szab határt. Már most látható az a tendencia, hogy a technológia fejlődésével újabb és újabb szkennerek jelennek meg a piacon, amelyekbe a lenyomatvétel mellett számtalan új funkció kerül beépítésre. A piac kezd két részre szakadni. Az egyik oldalon az alacsonyabb árkategóriájú lenyomatvételi eszközök tartoznak, amelyek digitális lenyomati STL fájlt hoznak létre, amelyet a fogtechnikai labornak tudnak küldeni. A másik csoportban a lenyomatvétel mellett számos további funkcióval rendelkező (fogszín meghatározás, orthodoncia munkafolyamat, chairside munkafolyamat, implantációs tervezés) drágább eszközök vannak.

*Intraorális szkennere laboratóriumi összeköttetéssel/labside rendszer*

A laborkapcsolatos CAD/CAM rendszerek esetén (labside CAD/CAM workflow, laborkapcsolatos CAD/CAM munkafolyamatok) az intraorális szkennerevel rögzített adatokat a fogtechnikai laboratóriumnak küldjük feldolgozásra. (17. a, b ábra)



17. ábra CAD tervezés a kinagyított virtuális modellen a Dental System (3Shape) szoftverrel (a; b). (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

A „labside” CAD/CAM munkafolyamatban a fogpótlást a fogtechnikai laboratóriumban digitálisan képzett fogtechnikus, digitális fogászati tervező készíti. Kijelöli a preparációs határt, behelyezési irányt és beállítja a cementezési rést. A szoftver számos beépített, automatikus funkcióval rendelkezik, ugyanakkor nagyszámú eszköz áll a technikus rendelkezésére a terv individualizálásához. (18. ábra)



18. ábra CAM /számítógép vezérelt marás a megfelelő színű tömbből. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

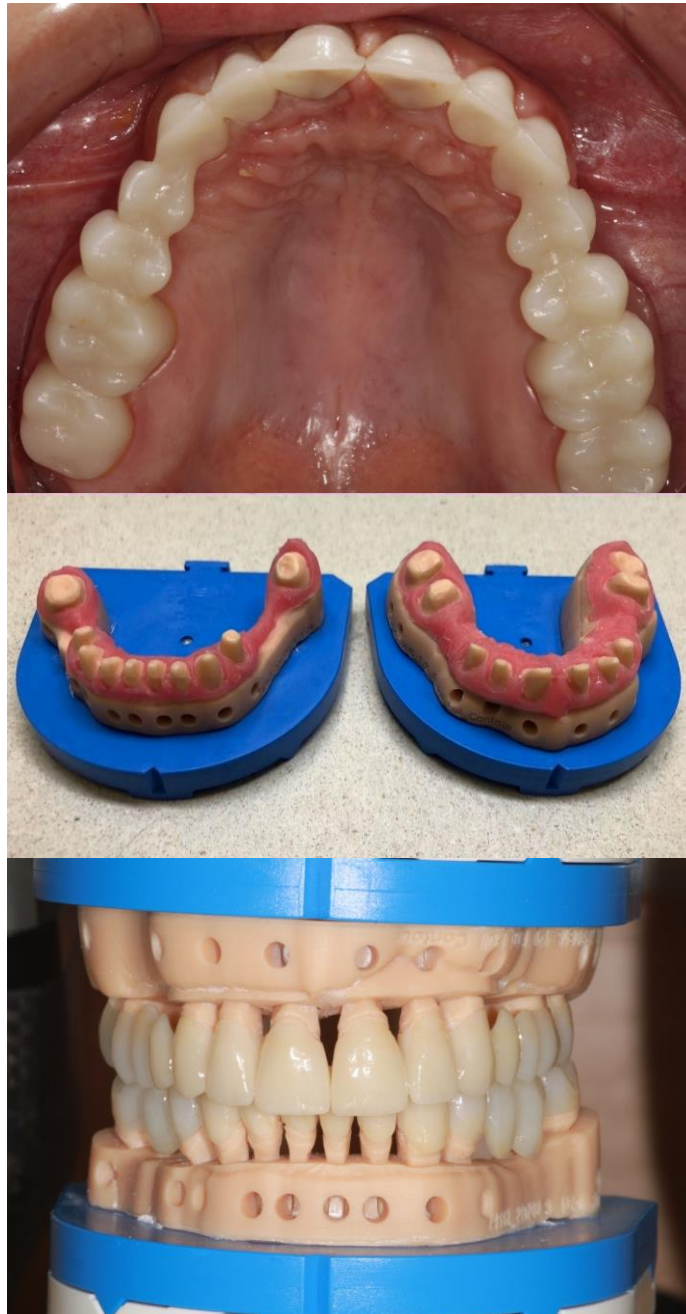
A legtöbb laboratóriumban kezdetben főleg a cirkónium-dioxid feldolgozására használták a CAD/CAM technológiát. A CAD/CAM technológia alkalmas arra, hogy precízen egyenlítse ki a cirkónium-dioxid szinterezés során bekövetkező zsugorodását.<sup>37</sup> A CAD/CAM technológia gyors terjedésével a cirkónium-dioxid tömbök mellett sorra jelentek meg a különböző anyagok tömbök formájában a laboratóriumokban, és egyre több hagyományos munkafolyamatot váltott ki a digitális útvonal. A fogpótlás váz részének vagy a full kontúr restaurációnak a tervezését követően ki kell választani a megfelelő színű tömböt a tervezett anyagból (19. ábra), és a CNC marógépek fúrói a számítógép által kiszámított útpályán mozogva marják ki a fogpótlást.



19. ábra A tervező szoftverek számos automatikus eszközzel (preparációs határ felismerése, behelyezési irány beállítása) rendelkeznek, hogy a restaurátum 3D modelljének tervezése gyors és egyszerű legyen, ugyanakkor rendkívül széles a palettája azoknak az eszközöknek, amelyekkel a terv individualizálható. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvételek (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)



Vázak készítése során a leplezéséhez vagy a nagy kiterjedésű fogpótlások illesztéséhez modellre van szükség. A digitális adatok alapján a fogtechnikus megtervezi, és a fogtechnikai laboratóriumban 3D nyomtatással készül a modell. (20. ábra)



20. ábra Monolitikus cirkónium-dioxid fogpótlások a front területen cut-back megoldással a leplezéshez és a 3D nyomtatással készített modellek inymaszkkal és az elkészült fogpótlások a modellen. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

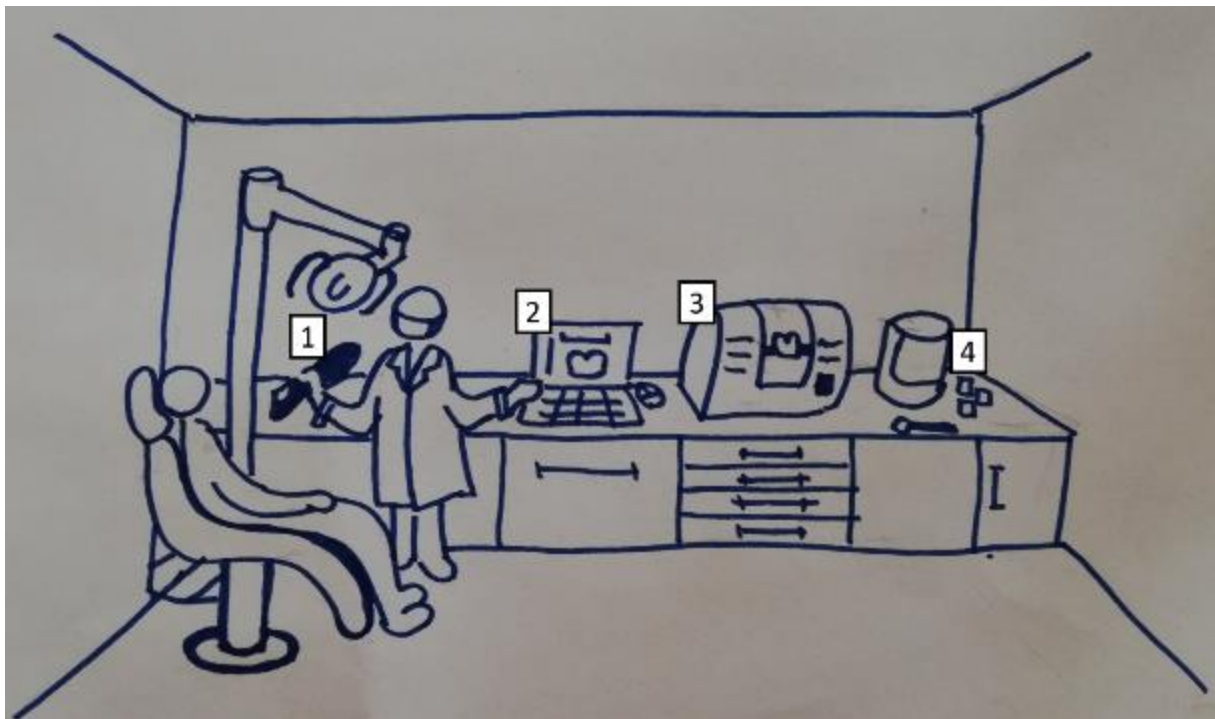
A centralizált gyártás esetén a tervezés helyi laboratóriumban, a marás pedig marócentrumban történik. Ilyen ismert marócentruma van a Procera cégnek, ahol a titán és a nagy ellenálló

képességű kerámia tömbök feldolgozása történik, az ezen anyagok feldolgozását lehetővé tevő speciális eszközparkkal.

A laborkapcsolatos rendszerek lényege, hogy a digitális lenyomatokat a laboratóriumba küldve bármilyen protetikai, ortodonciai, implantációs digitális munkafolyamat megvalósítható. Laborkapcsolatos intraorális szkener rendszerekkel vehetünk lenyomatot inlay, onlay, híd pótlás, részleges lemezes fogpótlás készítéséhez, teljes kivehető pótláshoz, implantátumon elhorgonyzott fogpótláshoz, használhatjuk a szkeneket mosolytervezéshez, obturátorok, csapos műcsonkok készítéséhez, orthodoncia készülékekhez, implantációs tervezéshez.

#### Intraorális szkener szék melletti rendszerben/chairside rendszer

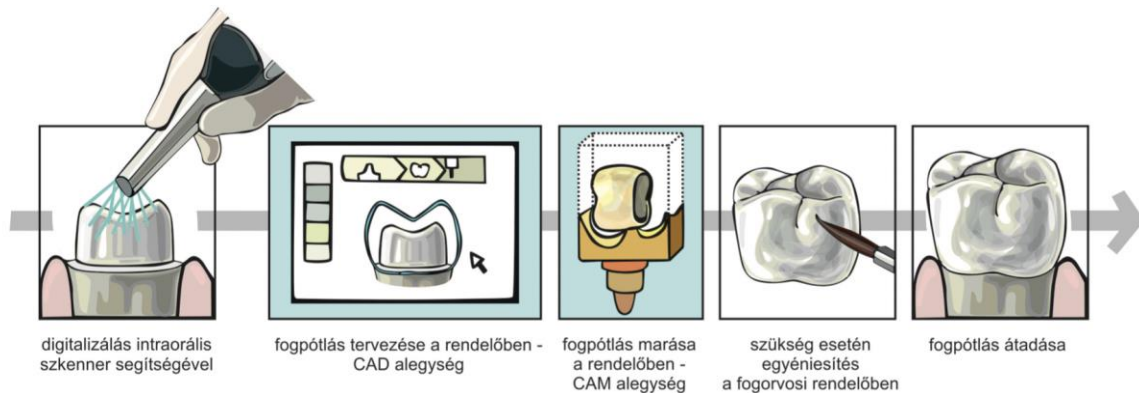
A szék melletti, másnéven chairside CAD/CAM rendszerek lényege, hogy a teljes digitális munkafolyamat a rendelőben történik. A fogorvos szkenneli a szájképleteket, a tervezés, a marás és az utómunkálatok is a rendelőben zajlanak, és a kész fogpótlás rögzítése adott esetben akár a lenyomatvétellel azonos ülésben is történhet. (21. ábra)



21. ábra Rendelői/szék melletti CAD/CAM rendszer felépítése. A fogorvos rendelkezésére áll a rendelőben az intraorális szkener (1), a CAD tervező program (2), a marógép (3), és a fogpótlás egyéniesítéséhez szükséges eszközök (pl. égetőkályha, festékek). (Vitai V. Rendelői/in clinic/chairside/szék melletti rendszerek. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

A chairside munkafolyamat során a fogorvos az intraorális szkener segítségével digitális lenyomatot vesz a preparált fogakról, a preparálatlan fogakról, valamint az antagonistáról, és rögzíti a harapást. (22. ábra) A virtuális modellre a chairside rendszer CAD szoftverével megtervezi a fogpótlást. A megfelelő anyagú és színű blokkból a rendelői CAM alegységgel

történik a fogpótlás marása. A marást követően az utómunkálatok során a fogpótlást le kell vágni a supportról, kidolgozni, majd egyediesíteni, polírozni vagy festeni kell.



22. ábra Szék melletti CAD/CAM technika (Vitai V. Rendelői/in clinic/chairside/szék melletti rendszerek. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

A chairside rendszerek hármassal lettek kifejlesztve: 1. eleget tenni a páciensek növekvő esztétikai elvárásainak, 2. jobb minőségű anyagok felhasználásával készíteni a fogpótlásokat, 3. gyors és pontos restaurátumokat készíteni.

A chairside rendszerek fejlesztését motiválta a páciensek növekvő esztétikai igénye, hogy egyre több páciens kereste a fémmentes megoldásokat az amalgám tömések alternatívájaként. A korai kompozitok polimerizációs zsugorodása azonban kiszámíthatatlanná tette a premoláris és a moláris régió esztétikus töméseit. Jobb anyagotani tulajdonságú megoldásra volt szükség. Erre kínált megoldást a kompozit vagy kerámia blokkból kifaragható inlay-k, onlay-k lehetősége. A másik motiváló tényező, annak az időnek a csökkentése volt, amit a páciens a székben szeretne tölteni. A „same day dentistry” lehetősége, hogy ideiglenes fogpótlás készítése nélkül, az inlay vagy onlay restaurátum még aznap rögzítésre kerüljön, vonzó lehetőség volt a páciensek számára. Ezek a tényezők indították el a CEREC rendszer fejlesztését, amely mára már több mint 35 év tapasztalattal rendelkezik.<sup>5,7,33</sup>

A chairside rendszerek legjelentősebb előnye az azonnali ellátás, és az, hogy nincs szükség ideiglenes ellátásra.<sup>33,54</sup> Az azonnali ellátás sokkal kényelmesebb a páciens számára, hiszen egy ülésben készül a fogpótlás. Ez a típusú ellátás kis kiterjedésű fogpótlások, inlay-k, onlay-k, szülő koronák, rövidebb hidak esetén valósítható meg. A kisebb pótlások tervezése, és rendelői marása belátható időt vesz igénybe. Sok fogorvos azért választja a chairside útvonalat, mert a lenyomatvétel, a tervezés, a marás, a kidolgozás és a cementezés lépéseit, azaz a teljes munkafolyamatot saját kontroll alatt akarja tartani.<sup>16</sup> Ugyanakkor a szék melletti rendszerek nem feltétlenül jelentik azt, hogy a fogorvos tartja kézben az összes lépést, hiszen a fogorvosi csapat többi tagja vagy az in-house laboratórium is átveheti a tervezés, marás, egyediesítés

lépéseit. A munkafolyamat így sokkal jobban tervezhető, racionalizálható és a gép megtérülése is gyorsabb.<sup>7,33</sup>

A chairside rendszerekkel marható blokkok lehetnek kerámia, kompozit vagy hibridkerámia blokkok.<sup>16,33</sup> Bizonyos anyagok esetében a kidolgozáshoz elegendő a polírozás. A monokromatikus blokkok esztétikáját azonban felszíni festéssel tovább lehet növelni, és a fogpótlást egyedivé tenni. Ma már elérhetőek olyan un. multilayered, többszínű blokkok is, amelyek eltérő nyak, test és él színe valóság-hű esztétikai reprodukciót tesz lehetővé.

A chairside rendszerek korlátai között a limitált indikációs területet kell kiemelni. Szék mellett kis kiterjedésű szóló korona, inlay, onlay restaurátumok, rövidebb hidak készíthetők. Kis kiterjedésű pótlások elkészülhetnek modell nélkül, a tervezés, a gyártás és a kidolgozás sem vesz igénybe túl hosszú időt, a rendelői marógépek által feldolgozható anyagok pedig alkalmasak ezen pótlások készítésére.<sup>16,33</sup>

A szék melletti megoldások esetén a rendelőben történik a finírozás, a polírozás, a festés, a lakkozás, a karakterizálás vagy üvegkerámia esetén a krisztallizációs égetés, ezért hosszabb kezelési időre kell számítani, mintha a fogtechnikai laboratóriumból készen érkezne a fogpótlás.<sup>16,33</sup>

## Digitális lenyomatvételi és kiegészítő funkciók az intraorális szkennerekben

Az optikai lenyomatvétel intraorális szkennerek (IOS) segítségével az első lépés a direkt CAD/CAM munkafolyamat során. Az intraorális szkennerek előnyei közé tartoznak pl. a csökkent garatreflex vagy a teljes digitális munkafolyamat idejének csökkenése, a lenyomatanyag vagy a gipsz deformációjának kiküszöbölése, hatékonyabb kommunikáció a laboratóriummal és a könnyű megismételhetőség.<sup>115,120,151</sup> Természetesen nemcsak előnyei vannak a digitális lenyomatvételnek, de bizonyos hátrányai is. A hagyományos lenyomatvétel jobb megoldást jelenthet a nehezebb protetikai helyzetek (pl. több implantátumon elhorgonyzott, nagyobb kiterjedésű restauráció) ellátása során<sup>80,123</sup>, ezen kívül kihívást jelenthet a mélyen subgingivális preparációs határok leképezése, vagy bizonyos esetekben a harapásregisztráció is. A digitális lenyomatvétel további hátrányaihoz sorolhatók a szkennerek magas költségei, hiszen mind a bekerülési, mind a fenntartási költségek (licenz díjak) komoly kiadást jelentenek.<sup>212</sup> Az intraorális szkennerek használata során bizonyos fokú tapasztalatra van szükség a szkennerek megfelelő működtetéséhez.<sup>188</sup> Az intraorális szkennerekkel

kapcsolatosan beszélünk kell tanulási görbéről, azaz a fogorvosi csapat tagjainak tanulni és gyakorolni kell a szkennerek szakszerű és hatékony alkalmazását.<sup>169,212</sup>

Francois Duret 1985-ben mutatta be első szkennerek rendszerét, a CEREC 1-et. 1987-ben került piacra, és azóta számtalan új szkennerek rendszer került bemutatásra, amelyek különböző tulajdonságokkal bírnak. A sikeres klinikai munkafolyamatokhoz szükséges pontosságot el tudjuk érni digitális lenyomatvétellel<sup>65,80,87,104,111,120,123,151,201</sup>, ugyanakkor a lenyomatvételen túl a szkennerek további kiegészítő funkciókkal is bírnak. Az intraorális szkennerek a lenyomatvételen túl használhatjuk fogszín-meghatározásra, caries detektálásra, HD kép készítésére. Bizonyos szoftverek alkalmasak diagnosztikára, mosolytervezésre, orthodontia kezelés szimulációjára, implantációs fűrészablak tervezésre, chairside munkamenetre vagy implantációs lenyomatvételre. Nem egyszerű eligazodni a szkennerek között, hogy melyik az a funkció, ami valóban kidolgozott és jól működő része az adott gyártó aktuálisan piacon elérhető készülékének. Az IOS hatékonyságáról, pontosságáról, sebességéről, valamint a tanulási görbéről gazdag szakirodalom áll rendelkezésre.<sup>65,93,101,120,212</sup> Nincs azonban olyan egységes minősítési rendszer, amely a szkennereket jól meghatározott, egységes szempontok alapján hasonlítaná össze. Az intraorális szkennerek értékeléséhez egy objektív paramétereken alapuló, ún. „validációs” vizsgálatra egyre nőtt az igény Magyarországon is. Egy ilyen tanulmány alapvető fontosságú lenne az új intraorális szkennerek vásárló klinikus/fogorvos számára. A hazai fogorvosi gyakorlatban a hagyományos lenyomatvételi technikák a leginkább alkalmazottak, de a digitális eljárások is gyorsan terjednek. A klinikusok egyre többen kezdenek beruházni intraorális szkennerekbe, és ez a fejlődés az utóbbi időben felgyorsulni látszik.<sup>35</sup> A rendszerezett áttekintésen alapuló információk komoly segítséget nyújtanak a választásban. Adott volt a feladat, hogy itthon a Fogpótlástani Klinika Digitális Munkacsoportja kezdje el a rendszerezést. Világszerte az egyetemek előtt álló kihívás az, hogy a korszerű szkennelési/digitális ismereteket bevezessék a graduális és posztgraduális oktatásba. A fogorvostan-hallgatóknak a diploma megszerzéséhez a digitális lenyomatvételi módszerekkel/eljárásokkal kapcsolatosan képzésben kell részesülniük.<sup>188</sup> A digitális oktatást segíti, hogy a fiatal fogorvostanhallgatók nyitottsága kiemelkedő az innovatív digitális technológiák iránt. A következőkben bemutatásra kerülő validációs vizsgálat célja a különböző intraorális szkennerek átfogó összehasonlítása objektív paraméterek alapján. A klinikai teszteleseket fogorvostanhallgatók végezték, a szkennelésben jártas orvosok felügyelete mellett.



## Digitális lenyomatvétel pontosságának vizsgálati módszerei és befolyásoló tényezői

Akár hagyományos akár digitális lenyomatvételről beszélünk, a készítendő fogpótlás megfelelő illeszkedéséhez pontos lenyomatra van szükségünk. Ahhoz, hogy a hagyományos eljárást felválthassa a digitális, a szkennerek pontosságának vizsgálata elengedhetetlen.

A pontosság méréséhez vizsgálhatjuk az elkészült fogpótlások pontosságát, vagy a szkennelés során létrehozott STL fájlokat.<sup>10,23,38,46-49,51,67,72,92,110,150,180</sup> A pontosság két meghatározója: a valódiság és a precizitás. A valódiság megmutatja, hogy a mért érték mennyire tér el a vizsgált értéktől. A precizitás a különböző mérések egymás közti eltérését mutatja. A szkennerek valódiságának megfelelőnek kell lennie, minden apró részletre kiterjedő olyan virtuális 3D modellt kell tudnia létrehozni, amely a lehető legközelebb áll a valódihoz. A szkennerek valódiságát vizsgálhatjuk úgy, hogy az adott szkennerral vett intraorális szkent egy nagy pontosságú ipari szkennerral létrehozott referencia szkennelhez hasonlítjuk. A szkennel illesztését követően reverse-engineering szoftverekkel, mikrométeres pontossággal és színekkel képekkel lehet megjeleníteni az intraorális szkennel kijelölt felszíni pontjait, és a referencia modell közti eltéréseket. A precizitás mérése egyszerűbb, egyazon szkennerral készült több szkent kell egymásra illeszteni, és az eltéréseket mikrométerben kiértékelni. Technikailag lehetséges, hogy egy adott szkennerek valódisága jó, de a precizitása nem, vagy a precizitása jó de a valódisága kifogásolható.<sup>201</sup>

Mindkét esetben nem megfelelő optikai lenyomatot kapunk, ami a teljes digitális munkafolyamatra kihat. A valódiság és a precizitás a képfeldolgozás szoftveres háttérétől függ, melynek feladata a 3D virtuális modell felépítése. A leképezés képfelbontása, azaz az a legkisebb távolság, amit a készülék mérni tud (az eszköz szenzitivitása) a benne lévő kamerától függ, amelyek legtöbbször nagyon jó felbontóképességgel rendelkeznek. (23. ábra)



23. ábra A készítendő fogpótlás megfelelő illeszkedését a lenyomat pontossága döntően meghatározza. A pontosság két eleme a valódiság és a precizitás. Valódiságnak nevezzük azt, hogy a mérés eredménye mennyire közelíti meg a valódi értéket. Precizitás alatt azt értjük, hogy az ismételt mérések során mekkora ezek egymáshoz viszonyított eltérése. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvételel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.)

Számos befolyásoló tényező határozza meg az intraorális szkenneléssel készített digitális lenyomat pontosságát. A szkennelés számára referencia pontok szükségesek a lenyomat elkészítéséhez. A fogatlan területek, különös tekintettel a fogatlan állcsontgerincen, kevés referencia pontot adnak, ezért leképezésük során az információ könnyen torzul.<sup>59,152</sup> A leképezendő fogív hossza is befolyásolja a pontosságot. A szkennerek a fogíven végighaladva, az egymást követő képeket azok azonos pontjai alapján illesztik.<sup>47,51,59</sup> Egy kvadránsról készített szkennelés alapjaiban véve pontosabb, mint egy teljes fogívről készült szkennelés. Az irodalomban található adatok abban egységesek, hogy az optikai lenyomatok pontossága megfelelő, és a hagyományos lenyomatokéval azonos szülő fogpótlások, illetve 4-5 tagú rögzített fogpótlások készítése esetén. A kis kiterjedésű fogpótlások készítése során az optikai lenyomatok valódisága és precizitása is kiváló. Ugyanakkor nagy kiterjedésű fogpótlások, illetve természetes fogakon vagy implantátumokon elhorgonyozott teljes fogívre kiterjedő fogpótlások esetében már nem egyértelműek az állásfoglalások. A teljes fogív szkennelése során összeadódó hibák miatt a nagy kiterjedésű fogpótlások készítése bizonyos szkennerek esetében nem annyira megbízható, mint hagyományos lenyomatok esetén, míg más szkennerek pontossága teljes fogív esetén is a megengedett határértékeken belül van.<sup>52</sup> Fontos tudni, hogy az új hardware és szoftverfrissítések a pontosság növekedésével is járnak, mivel jobb algoritmusokat használnak a képrögzítéshez és a modellezéshez. A legújabb szkennerek teljes fogív szkennelése során is megfelelő pontossággal bírnak, éppen ezért az irodalmi adatokat annak tükrében kell értékelni, hogy a gyártók újabb és erősebb szoftveres háttérrel egyre újabb

és újabb eszközöket hoznak forgalomba, és az újabb generációk indikációs területe is jóval szélesebb, mint a korábbi generációké.<sup>120</sup>

### Digitális lenyomatvétel klinikai alkalmazásához szükséges tanulási folyamat

Az, hogy az intraorális szkennerek milyen könnyen kezelhetők, döntő tényező a felhasználók számára. Az egyes szkennerek között jelentős különbségek vannak. A digitális lenyomatvétel mindennapi munkafolyamatok közé történő integrálása egy tanulási folyamat során valósulhat meg minden típusú rendszerénél, és természetesen gyakorlást is igényel. Tanulmányok azt is bebizonyították, hogy a szkennerek pontossága összefüggésben van a szkennelés úgynevezett útvonalával, vagyis a szkennereket egy meghatározott mintázat útvonalán kell vezetnünk a fogfelszín felett.<sup>47</sup> Ezért is érthető az a törekvés a szkennerek fejlesztésében, hogy a digitális képképzés folyamatát egyszerűsítsék.

A digitális lenyomatvétel mindennapi munkafolyamatok közé történő integrálásához a fogorvosnak hosszú órákat kell befektetnie az eszköz használatának elsajátításába.<sup>8</sup> A tanulási görbe a vizuális megjelenítése annak, milyen szinten tanulunk meg valamit az idő során, folyamatos gyakorlás segítségével.<sup>96</sup> Számos olyan tanulmány van, amely a hagyományos lenyomatvétellel veti össze a digitális lenyomatvételt.<sup>111,112,125,141,142,166</sup> Korábbi tanulmányok a szkennelés pontosságára és hatékonyságára koncentráltak<sup>40,80,87,104,111,123,151</sup>, és azt elemezték, hogy a gyakorlott fogorvos vagy fogorvostan-hallgató hogyan teljesít a szkennerekkel<sup>112,125</sup>; de kevés adat érhető el a szkennelő személy gyakorlottságáról. A hallgatók jobban kedvelik a digitális lenyomatvételt, mint a hagyományos eljárást. Azon idősebb kollégák, akik hosszú ideje jó eredményekkel alkalmazzák a hagyományos eljárást, kisebb lelkesedéssel fordulnak a digitális eljárás felé.<sup>112,125</sup> A gyakorló fogorvos számára fontos ismerni a digitális lenyomatvétel tanulási görbét mielőtt befektet az új rendszerbe.

A digitális munkafolyamatok integrálása a rendelők mindennapjaiba rengeteg előnyt jelent. Ha a pácienseket minden vizit alkalmával beszkennelejük, és a gyors kvadráns lenyomat helyett teljes fogív lenyomatokat veszünk, azzal egy digitális páciens könyvtárát tudunk kialakítani, amely segíthet a páciensek nyomon követésében, progresszív elváltozások diagnosztikájában és fogpótlások készítésében. Például, ha trauma következtében valaki elveszíti a frontfogát, akkor a digitális adatokat felhasználva azonnali implantátum elhorgonyzású ideiglenes fogpótlás készíthető. Egy nyitott intraorális szkennerek rendszer a rendelők és laboratórium számára lehetőséget teremt arra, kidolgozzák saját összehangolt és egyedi digitális munkafolyamataikat. A fogorvos készít egy előzetes szkennelést és egy CBCT felvételt az



implantáció tervezéséhez. Ha a terv elkészült a labor megtervezi a fűrősaplont, amit a rendelőbe lehet küldeni nyomtatásra. A nyitott rendszer lehetővé teszi, hogy a fogorvos marócentrummal működjön együtt. A chairside dentistry munkafolyamatainak bizonyos részeit is el lehet küldeni a labornak, hogy több idő maradjon a páciens kezelésére. A laboratóriumnak lehetősége van arra, hogy már szkenneléskor bekapcsolódjon a digitális munkamenetbe, és kiértékelheti a fogorvos és a technikus közösen a lenyomatot, még mielőtt a páciens elengednének. A végleges digitális lenyomat felhő alapú platformon keresztül küldhető a laboratóriumba.

A szkennelési rendszerek további fejlesztések fókuszában a mesterséges intelligencia integrálása áll, melynek segítségével a rendszerek még pontosabbak és gördülékenyebben használhatóak lesznek.<sup>89</sup>

## Célkitűzés

Vizsgálataink célkitűzése a digitális lenyomatvétel pontosságának értékelése, különböző intraorális szkennerek összehasonlítása egységes szempontrendszer alapján, és az intraorális digitális lenyomatvétel tanulhatóságának jellemzése.

1. Direkt és indirekt CAD/CAM rendszerek pontosságának (valódiság, precizitás) értékelése intraorális szkennerekkel (iTero, Trios, Cerec Omnicam intraorális szkennerek) és laboratóriumi szkennerekkel (Straumann CARES Scan CS2 laboratóriumi szkennerek) létrehozott virtuális modellek összehasonlításával.
2. Laboratóriumi szkennerekkel létrehozott virtuális modellek valódiságának értékelése.
3. Az intraorális szkennelés tanulási görbéjének leírása, a szkennelés idejének és képszámának (a szkennelés során létrejövő képek száma) segítségével.
4. Intraorális szkennerek objektív összehasonlítása a felállított egységes és átfogó szempontrendszer alapján, amely tartalmazza a szkennerek pontosságát, a speciális tulajdonságok összefoglalását, ergonómiai paramétereket (intraorális szkennerek kézikönyv súlya és fejtájmérője), a szkennelési időt és a folytonosság megszakadást modell szkennelés esetén.

A vizsgálatok áttekintése:

- I. Első in-vitro vizsgálatunk célja a „Direkt és indirekt CAD/CAM digitalizációs rendszerek pontosságának összehasonlítása”. Egy referencia modellhez hasonlítottuk az intraorális szkennerekkel készített virtuális modellt és a hagyományos lenyomat kiöntésével nyert mintáról, extraorális szkennerekkel készített virtuális modellt. Egy preparált fogakat és fogatlan állcsontgerincet is tartalmazó polymethyl methacrylate (PMMA) mestermintáról nagy felbontású ipari szkennerekkel digitalizálva létrehoztunk egy referencia virtuális modellt. Hagyományos Polyvinyl-siloxane (PVS) és 3 különböző intraorális szkennerekkel (iTero, Cerec, Trios) digitális lenyomatokat (n = 10 db) vettünk a PMMA modellről. Laboratóriumi szkennerekkel (Straumann CARES Scan CS2) digitalizáltuk a PVS lenyomat kiöntésével készített szekciós modelleket. Kiexportáltuk a lenyomatok STL file-jait (n = 40). Minden file-t a referencia fájlhoz hasonlítottunk a Geomagic Verify software segítségével. Kijelöltük a fogív 3 különböző távolságát meghatározó 6 pontot virtuális tolómérős vizsgálatokhoz. A statisztikai analízishez

interkvartilis terjedelem (iqr) szerinti regressziós modellt használtunk. A valódiság meghatározására kevert hatású lineáris regressziós analízist végeztük.

#### Eredmények:

Kis távolságon az eredmények referencia modelltől mért átlagos eltérése direkt útvonal esetén 22.3 (SD: 40.0) mm és az indirekt útvonal esetén 40.3 (SD:79.7) mm volt. Közepes távolságon a direkt mérések eltérése átlagosan 5.2 (SD: 111.3) mm, az indirekt útvonal esetén átlag 115.8 (SD: 50.7) mm,; a leghosszabb vizsgált távolságon, az indirekt útvonal esetén 325.8 (SD: 134.1) mm, és a direkt útvonal esetében 163.5 (SD: 145.5) mm volt a különbség. Szignifikáns eltérést találtunk az indirekt és direkt útvonal pontossága között (  $p < 0.05$ ).

#### Következtetések:

Mindkét útvonal esetén rövidebb távolságon pontosabb eredményeket kaptunk. A digitális lenyomatvétel alapján létrehozott virtuális modellek pontosabbak lehetnek, mint a hagyományos lenyomat útján kapott modellek.

- II. Második in-vitro vizsgálatunk célja az „Extraorális -laboratóriumi szkennelrel végzett digitalizálás pontosságának vizsgálata”. Az első vizsgálatunkban kapott eredményeink, miszerint az extraorális szkennerek kevésbé pontos virtuális modellt adnak, mint az intraorális szkennerek, további kérdéseket vetettek fel. Az indirekt CAD/CAM digitalizációs út melyik lépése miatt pontatlanabb a leképezés, illetve melyik lépés során változik meg a felületi információ? Második vizsgálatunk során az indirekt digitalizációs útvonal lépéseit vizsgáltuk. Összehasonlítottuk a laboratóriumi szkennelrel létrehozott virtuális modell és a szekciós minta valódiságát, és megvizsgáltuk, hogy az extraorális szkennelrel végzett digitalizáció során módosul-e a felületi információt. Az első vizsgálatból már ismert PMMA modellt és referencia szkennert használva hoztuk létre a referencia STL adathalmazt. Az indirekt CAD/CAM digitalizációs útvonalnak megfelelően lenyomatok, mesterminták, szekciós minták készültek, és ezeket a referencia szkennelrel szkenneltük. A szekciós mintákat az első vizsgálatban is használt laboratóriumi szkennelrel (Straumann CARES Scan CS2) digitalizáltuk, és az STL fájlokat kiexportáltuk. Virtuális tolómérővel távolságméréseket végeztünk. Az abszolút eltéréseket többszintű, kevert hatású, lineáris regressziós modell segítségével számítottuk. A relatív torzulást az átlagos abszolút eltérés (SD) és a referencia érték hányadosaként kaptuk meg.

Eredmények:

A preparált fogak dimenziói megváltoztak a gipszminta digitalizációja során. A lenyomatvétel, mintakészítés, laboratóriumi szkenneléssel végzett digitalizáció eltérései a távolság mérések eredményeként: lenyomatok, – 0.004 mm; mester minta, 0.136 mm; szekciós modell, – 0.028 mm; és az extraorális szkennel, – 0.089 mm voltak. A preparált csonkok távolságai a virtuális mintán kisebbek voltak a korábbi lépések bármelyikében mért távolságokéhoz viszonyítva. Az eltérések mértéke és a csonkok fogívben elfoglalt pozíciója között nem volt összefüggés.

Következtetések:

Az extraorális szkenneléssel létrehozott virtuális modell és a szekciós modell valódisága között különbség volt. A gipszmodell digitalizációja során mind a csonkok dimenziói mind a csonkok közötti távolság változott. A virtuális modellen rövidebb távolságokat mértünk, mint a korábbi lépések során. A csonkméret vagy a fogív távolsága, és a torzulás mértéke között nem találtunk arányosságot. Az eredményeink nem általános érvényűek, mert a piacon elérhető más laboratóriumi szkennerekkel az eredmények eltérőek lehetnek.

- III. Klinikai vizsgálatunk célja ” A digitális lenyomatvétel tanulási görbéjének in vivo vizsgálata”. A digitális lenyomatvételt jellemző tanulási görbét a szkenneléshez szükséges idő, és a lenyomatkozás képszáma alapján állítottuk fel. A vizsgálatban a Semmelweis Egyetem Fogorvostudományi Karának 10 hallgatója vett részt. A vizsgálatok Trios intraorális szkennel segítségével, egyenként, 10 alkalommal készítették digitális lenyomatot, önként jelentkező páciensekről. (Az első és utolsó páciens minden esetben azonos volt.) A vizsgálatot a szkennelés elméleti és gyakorlati oktatása előzte meg. A szkennel kalibrálása után a digitális munkalap kitöltése következett, majd a digitális lenyomatvétel mindkét állcsontról, és az okklúzió rögzítése. A vizsgálat teljes ideje és a tanulási görbe jellemzésére szolgáló képszámok is rögzítésre kerültek.

Eredmények:

Az első és a tizedik lenyomatvétel ideje közötti szignifikáns különbséget mértünk (első lenyomatvétel átlag ideje: 23p 9mp, tizedik: 15p 28mp). A képszámok átlagának változásában is csökkenő tendencia volt megfigyelhető, de ez a csökkenés a tanulás során nem volt egyenletes (első szkennelés képszám átlaga: 1964,5, tizedik: 1468,6).

Következtetések:

Gyakorlással a szkennelés ideje csökkent, azonban további vizsgálatokra van szükség, mivel tíz szkennelés után még nem érhető el a gyakorlott felhasználóra jellemző átlag idő. A gyorsabb szkennelésből adódó részletszegényebb lenyomatot a képszám növekedése kompenzálta.

- IV. Összehasonlító vizsgálatunk célja az „Intraorális szkennerek összehasonlítása egységes szempontrendszer alapján” Az intraorális szkennerek fejlesztései gyorsan haladnak, és folyamatosan jelennek meg újabb készülékek a piacon, gyártmánytól függően különböző tulajdonságokkal. A vizsgálat arra a jogosan felmerülő igényre ad választ, hogy a különböző IOS rendszereket objektíven össze tudjuk-e hasonlítani egységes és átfogó szempontrendszer alapján? 12 különböző IOS rendszert értékeltünk: Carestream CS3600, Carestream CS3700, CEREC Primescan, GC Aadva, iTero Element 2, Medit i500, Planmeca Emerald, Planmeca Emerald S, Straumann DWIO, 3Shape Trios 3 Pod, 3Shape Trios 4 Pod, 3Shape Trios 4 Move. Az IOS rendszerek értékelése négy lépésben történt: (a) összefoglaló táblázat, (b) összehasonlító értékelés (az IOS kézidarab súlya és a fejének kerülete), (c) in vitro méréseken alapuló adatok (szkennelési idő és a szkennelési folyamat folytonossága), valamint (d) a pontosságra vonatkozó mérések. Az összefoglaló táblázatban az intraorális szkennerek 26 speciális tulajdonsága került feltüntetésre. Az összefoglaló táblázat a szakirodalom, a forgalmazó cég által adott információk, és az IOS-el kapcsolatos saját tapasztalatok alapján került kiértékelésre. Az IOS-ek ergonomikus kialakításának meghatározásához háromszor mértük a szkennerefej kerületét és a kézidarab súlyát és ezután a kapott eredményeket átlagoltuk. Az in vitro mérésekhez a hallgatók egy polimetil-metakrilát (PMMA) modellt szkenneltek be, amelyen az 11, 14, 17 fogak koronához, a 26 fog pedig inlay-hez volt preparálva; míg az 15 és 16 fogak hiányoztak. A modelltől referencia STL fájlt hoztunk létre egy ipari precíziós nagy pontosságú szkennerek (stereoSCAN neo; AICON 3D Systems GmbH) segítségével. Az in vitro mérések kettős célt szolgáltattak: a szkennelési idő és folytonosság, valamint a pontosság értékelését. Minden hallgató 10 alkalommal szkennelte be a mintát. Az adatrögzítési folyamat során minden mérésnél a szkennelési időt és a folytonosság megszakadások számát regisztráltuk és ebből átlagot számoltunk. A Geomagic Verify (v2015.2.0; 3D Systems, 333 Three D Systems Circle, Rock Hill,

USA) szoftver alkalmazásával a digitális fájlok feldolgozásra kerültek, majd a pontosság értékeket meghatároztuk.

Az IOS-ek pontosságát (valódiság és precizitás) jelző 5 paramétert vizsgáltunk:

- A teljes fogív szkennelés átlagos eltérése
- A preparált metszőfog felszíne
- Az inlay üreg és az approximális felületek referenciától való átlagos eltérése
- A négytagú híd esetében a pillérfogak közötti távolság
- A második moláris fogak distobuccalis csücskei közötti távolság

IBM SPSS Statistics szoftverrel (v27.0; IBM Corp.) történtek az adatok statisztikai kiértékelései. Az adatok eloszlásának normalitását a Kolmogorov-Smirnov teszt segítségével vizsgáltuk (StataCorp. Release 15. StataCorp LLC). A szkennerek könnyen összehasonlítható objektív értékeléséhez pontrendszer került kidolgozásra. A pontrendszerben az egyes paramétereket súlyoztuk: összefoglaló táblázat [max. 10 pont]+ IOS kézidarab súly [max. 2.5 pont]+ IOS fejének kerület [max. 2.5 pont]+ in vitro méréseken alapuló adatok/szkennelési idő [max. 2.5 pont]+ szkennelési folyamat folytonossága [max. 2.5 pont]+ pontosság [max. 10 pont] = összesen [max. 30 pont].

#### Eredmények:

A legmagasabb összesített pontszámot a Trios4 Pod érte el (23,37 pont), az összefoglaló táblázat és szkennelési idő pontszáma is legmagasabb lett. A szkennelési folyamat folytonossága alapján azonos pontszámokkal legjobban teljesítő szkennerek: CS3600, CS3700, iTero Element 2, Trios 3Pod, Trios4 Pod, Trios 4 Move. Az intraorális szkennerek közül a legpontosabb a CEREC Primescan. A legalacsonyabb pontszámot GC Aadva érte el (5.73 a maximum 30 pontból).

#### Következtetések:

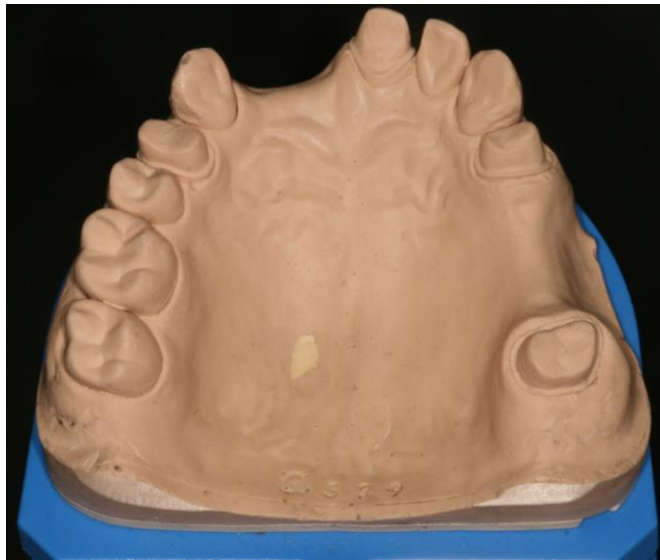
A felállított pontrendszer alapján az IOS rendszerek összehasonlíthatók, az objektív értékelés segítséget jelent a klinikusoknak a különböző rendszerek közötti választásban. Az újabb generációs szkennerek több speciális tulajdonsággal rendelkeznek, és pontosabban dolgoznak, mint a korábbi verziók.

## Anyag-módszer

### Direkt és indirekt CAD/CAM digitalizációs rendszerek pontosságának összehasonlítása – in vitro vizsgálat

#### Referencia minta és referencia adathalmaz létrehozása

A vizsgálatokhoz egy PMMA (polimetil-metakrilát) maxilla modellt használtunk referenciaként, amelyen az 14, 21, 24, 27 fogak chamfer vállal koronapótláshoz, illetve hídpillérként voltak előkészítve. (24. ábra)



24. ábra Vizsgálatainkhoz használt PMMA referencia minta. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. J Prosthodont Res. Apr 2017;61(2):177-184.)

A modell két területen, a jobb oldali középső és laterális metszők, valamint a bal oldali második premoláris és első moláris fogak helyén fogatlan állcsontgerincet tartalmazott. A modell kialakításánál azt tartottuk szem előtt, hogy a fogatlan állcsontnak megfelelő területeken az optikai szkennerek számára sokkal kevesebb referencia pont található, így ezeken a részeken nehezebbé válik számukra a digitális minta összeillesztése.<sup>134</sup> A preparált csontok közötti távolság befolyásolhatja a digitális minta összeillesztését.

### Referencia szkennerek

Vizsgálatunkhoz a referencia modellt egy dupla triangulációs elven működő ipari pontlézer szkennerek segítségével hoztuk létre (TwoCam 3D, SCAN technology A/S; Ringsted, Dánia). A beszkennelt referencia adathalmazt STL formátumban exportáltuk. (25. ábra)



25. ábra A PMMA mintáról a referencia szkennerekkel készített STL formátumú virtuális minta, amit a későbbiekben referencia adatként használtunk. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

### Indirekt CAD/CAM útvonal

Az indirekt útvonal első lépéseként precíziós-szituációs lenyomatok készültek, 2 fázisú 1 idejű lenyomatvételi technikával, szilikon (polyvinyl-siloxan, PVS) lenyomatanyaggal, perforált gyári lenyomatkanállal.<sup>27,44,45,144,171</sup> A referencia mintát paraffinolajjal izoláltuk. A lenyomatvétel irányának, és a lenyomatvétel erejének standardizálásához Kaán-féle lenyomatvételi eszközt használtunk.<sup>39</sup> 10 db precíziós-szituációs lenyomat készült. Az A-szilikon alaplenyomatanyagot (Express XT Penta Putty, 3M ESPE) géppel keverve (Pentamix 3 Automatic Mixing Unit, 3M ESPE) töltöttük a perforált, fém, peremes gyári kanálba (Medesy 6000, MEDESY Srl). A híganfolyó lenyomatanyag (Express XT Light Body, 3M ESPE) számára helyfenntartó fólia biztosított helyet (Impression Separation Wafer, GC Corporation).<sup>44,45,116,124,144,171</sup> A lenyomatokat kétszer annyi ideig tartottuk helyben (11 perc), mint a megadott idő (5 min 30 s), hogy a szájüregi meleg kötési időt befolyásoló hatását



kompenzáljuk.<sup>45,144</sup> A kötési idő leteltével a lenyomatokat eltávolítottuk, lemostuk, és a gyártói leírás szerint fertőtlenítettük (Zeta 7 spray Zhermack, Zhermack Spa). A lenyomatok digitalizációjára az eltávolítást követően minimum 60 perccel, maximum 24 órán belül került sor. A lenyomatok kigipszelése (IV-es típusú extrakemény gipsz GC Fujirock EP, GC Corp.) 2 órán belül történt gépi keverő készülékkel, és vákuum alatt (BEGO Motova SL, BEGO USA,). A gipsz 60 perces kötési idejét követően a szekciós minták Giroform rendszerrel (Amann Girrbach Dental, Germany) készültek. A szekciós modellek szkennelésé 24-72 órán belül, két lépcsős digitalizációs protokollnak megfelelően, Straumann laboratóriumi szkennelével (Straumann CARES Scan CS2 Visual 8.0 software, Institut Straumann AG) történt. A szkennelt adatokat STL fájlként exportáltuk.

## Direkt CAD/CAM útvonal

A szkenneléshez az iTero (Align Technology), a Trios (3Shape) és a CEREC Omnicam (Sirona) intraorális szkennereket használtuk. A digitális lenyomatokat a gyártó cég által ajánlott szkennelési stratégiának megfelelően készítettük.

Az iTero intraorális szkennelése során minden fogról okklúziós, bukkális, palatinális, meziális és disztális irányból készített felvételeket, a teljes fogív lenyomatot a szoftver a szkennelt képek sorozatából illesztette össze.

A 3Shape Trios ultragyors szkennelési technológiával (ultrafast optical scanning technology) készít sorozatképeket.<sup>68</sup> A szkennelési stratégiának megfelelően a fogív leképezése a moláris fogak okklúziós felületéről indult. A moláris, premoláris okklúziós felszínek leképezését követően a szkennelést a front fogak incizális élén vesztibuláris és palatinális irányba döntögetve a másik oldali premoláris és moláris okklúziós felszínek következtek. Ezt követően a szkennelést 45 fokos szögben tartva a bukkális felszín, végül pedig a palatinális felszín leképezése történt.

A Cerec Omnicam videószekvenciát rögzít az adtfelvétel során. A teljes fogív leképezéséhez használt szkennelési stratégia során a felvétel a moláris régió okklúziós felszínéről indult, és a szkennelést folyamatos hullámmozdulattal a fogak palatinális és bukkális felszínein kellett végigvezetni.

Az iTero, Trios és Cerec intraorális szkennerekkel 10-10-10 db digitális lenyomatot vettünk, az adatokat pedig STL fájlként exportáltuk.

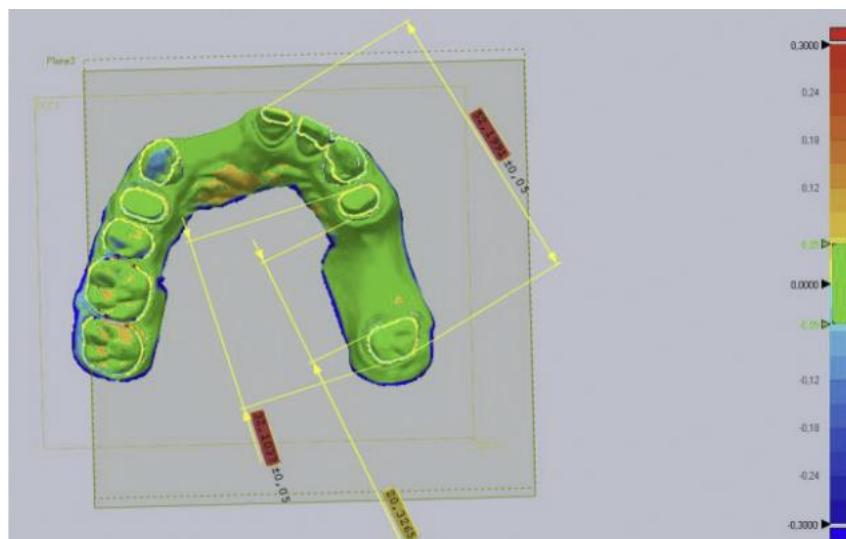
### Virtuális tolómérős vizsgálatok

Az indirekt és a direkt útvonal során kapott STL fájlokat a referencia STL fájlhoz hasonlítottuk. Az összehasonlító vizsgálatokhoz az STL fájlokat a legjobb illesztés elve (best fit alignment) alapján illesztettük, és az összehasonlítást a Geomagic verify szoftver segítségével végeztük (Geomagic verify software, 3Dsystems, Three D Systems Circle).

A fogíven kijelölt három különböző távolság változásait vizsgáltuk virtuális tolómérővel:

- rövid távolság (24 és 27 fog legközelebbi pontjai)
- közepes távolság (24 és 27 fog legtávolabbi pontjai)
- legnagyobb távolság (21 és 27 fog legtávolabbi pontjai)

A távolságmérések eredményei alapján tudtuk a fogív torzulásának mértékét kiértékelni. Az optikai lenyomatvétel leggyengébb pontja az az illesztés, ahogyan a teljes fogív képe kialakul egy apró elmozdulás vagy elfordulás a képek illesztése során a szemközti oldal pontatlan lenyomatát eredményezi. Az összehasonlító szoftver beépített eszközei közé tartozik a szuperimpozíció lehetősége, ami a direkt/indirekt szkennelés illesztését jelenti a referencia szkennelésre, és a digitális tolómérő, azaz az előre kijelölt referencia pontok közötti távolságok mérésének lehetősége. Ahhoz, hogy a 3D szkennelés adatokból referencia pontokat jelöljünk ki, először egy a fogakat metsző síkot kellett kijelölni, következő lépésként pedig a preparált fogak (24,27,21) meziodisztális átmérője lett meghatározva. A távolságokat a 21 fog meziális - 27 fog disztális pontja, 24 meziális- 27 disztális pontja és 24 disztális és 27 meziális pontja között jelöltük ki. Három különböző távolság mérés vált lehetővé a fogívben (26. ábra): rövid távolság (24–27 belső), közepes távolság (24–27 külső), és legnagyobb távolság (21–27 bal oldal).



26. ábra A szuperimpozíció eredményének színkódolt megjelenítése és a 3 különböző távolság értékelése virtuális tolómérővel. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. J Prosthodont Res. Apr 2017;61(2):177-184.)

### Statisztikai analízis

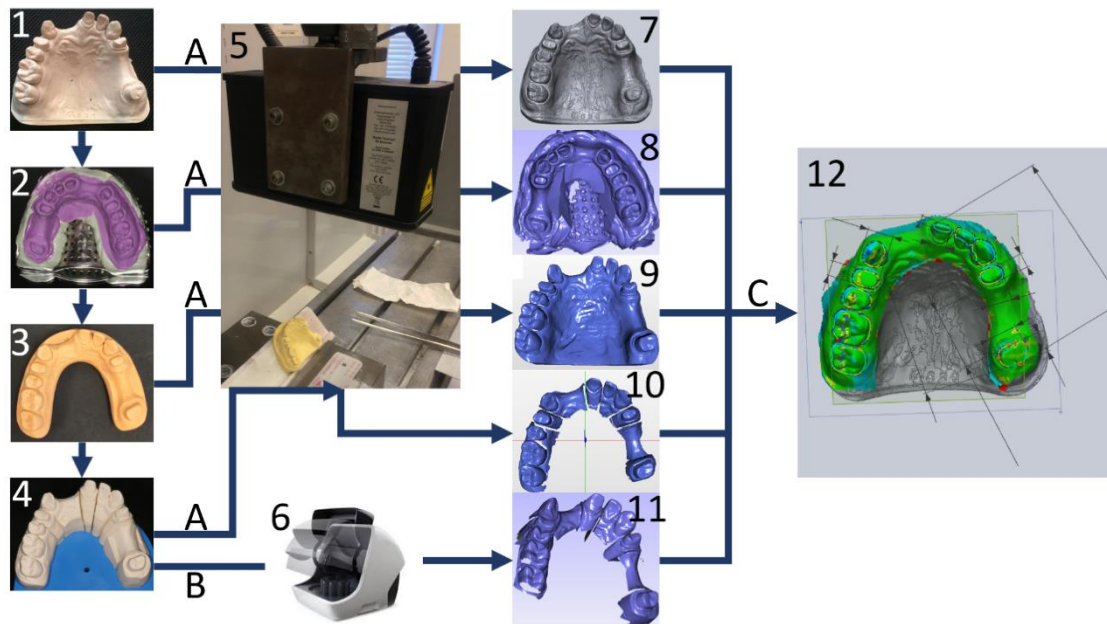
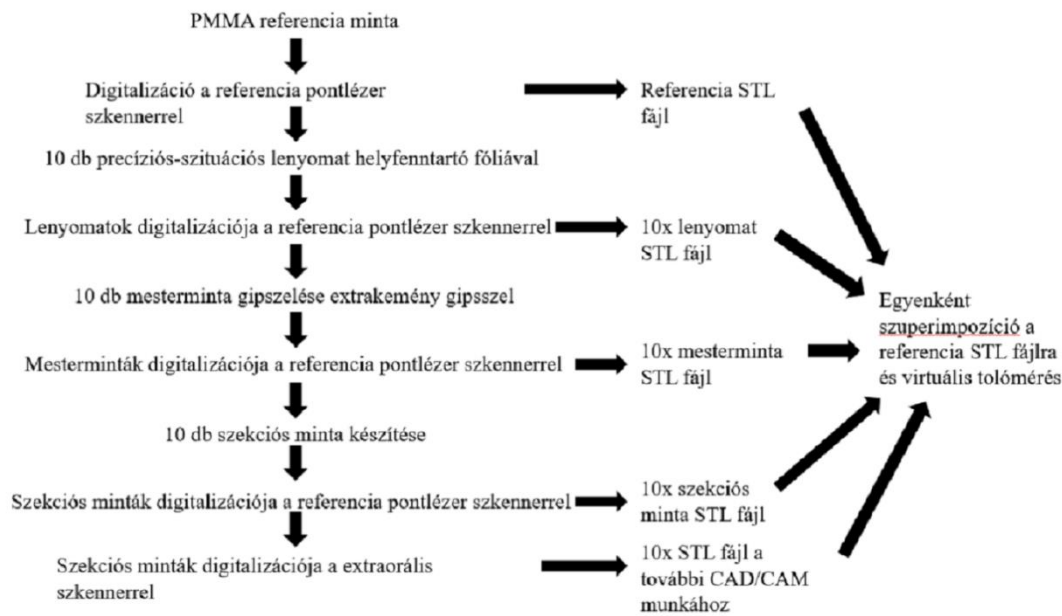
Adott szkennereként a távolságokon mért adatokat átlagos érték (mean), átlagos szórás (SD) és interkvartilis terjedelem (iqr) szerint értékeltük. A statisztikai analízishez Stata programcsomagot használtunk. A precizitás meghatározása Levene tesztet (iqr) és Brown-Forsythe tesztet használtunk. A valódiság meghatározására a csoportok közötti átlag kevert hatású lineáris regressziós analízist végeztük, a csoportokon belüli varianciák heterogenitására tekintettel. Szignifikancia szint  $\alpha = 0.05$ .

### Extraorális-laboratóriumi szkennerral végzett digitalizálás pontossága – in vitro vizsgálat

Az első vizsgálat középpontjában az intraorális és fogtechnikai szkennerekből kinyert STL fájlok pontosságának összehasonlítása állt. Második vizsgálatunk a fogtechnikai digitalizációs útvonal során készített fájlok valódiságának összehasonlítására fókuszált.

A referencia mintáról precíziós-szituációs lenyomatok készültek, majd ezek kiöntésével elkészültek a mesterminták, azok szekcionálásával pedig a kivehetőcsonkos gipszminták. A lenyomatokat, a mestermintákat és a szekciós mintákat a referencia szkennerral digitalizáltuk. Az indirekt útvonalnak megfelelően a szekciós mintákat a fogtechnikai szkennerral is digitalizáltuk. Az így kapott STL fájlokat a referencia STL fájlra illesztve digitális tolómérővel vizsgáltuk a távolságok változásait.

A vizsgálati tervet összefoglaló folyamatábrát mutatja a 27. ábra.



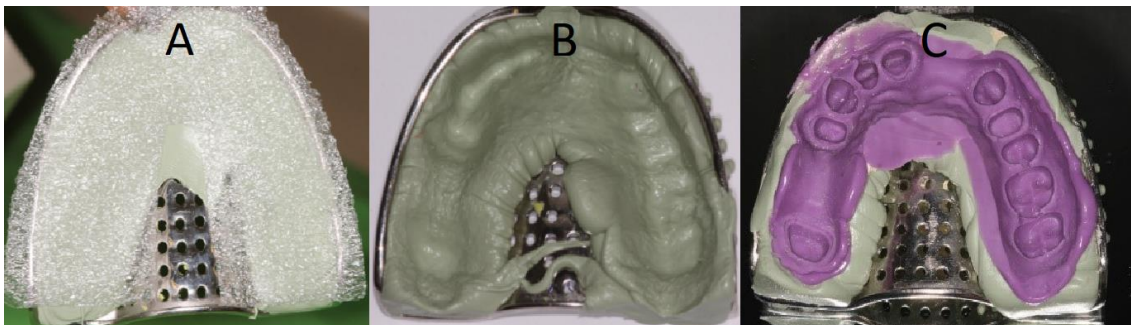
27. ábra A vizsgálatot összefoglaló folyamatábra. Az fogtechnikai digitalizáció lépéseit követve egy PMMA referencia mintáról (1) helyfenntartó fóliával precíziós-szituációs lenyomatokat (2) vettünk, ezekből mestermintákat (3), majd szekciós mintákat (4) készítettünk. Mindegyik lépésnél nagy pontosságú ipari célra fejlesztett pontlézer szkennelrel (5) STL fájlkat készítettünk (7-10), amelyeken virtuális tolmérős vizsgálattal határoztuk meg az eltéréseket (12). Az fogtechnikai szkennelést Straumann CARES Scan CS2 (6) szkennelrel végeztük. Az így létrehozott STL fájlkat (11) szintén ráillesztettük a referencia STL fájlra, és elvégeztük a tolméréseket. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

### Referencia minta, referencia szkennert és az összehasonlító szoftvert

Referencia modellünk és a referencia szkennert az első vizsgálatunkban alkalmazottakkal azonos volt. A PMMA (polimetil-metakrilát) maxilla modellen az 14, 21, 24, 27 fogak chamfer vállal koronapótláshoz, illetve hídpillérként voltak előkészítve, és a jobb oldali front, bal oldali premoláris, valamint moláris terület fogatlan állcsontgerincét tartalmazta. A referencia adathalmaz létrehozásához egy dupla triangulációs ipari pontlézer szkennert alkalmaztunk, (TwoCam 3D, SCAN technology A/S). A létrehozott referencia adathalmazt STL formátumban exportáltuk. A virtuális tolmérős vizsgálatokhoz a Geomagic verify szoftvert alkalmaztuk.

### Hagyományos lenyomatvétel lépései

A hagyományos lenyomatvétel során a 10 precíziós-szituációs lenyomatot készítettünk A-szilikon lenyomatanyaggal, helyfenntartó fóliával, és peremes, perforált, fém gyári kanállal, Kaán-féle lenyomatvételi eszközzel.<sup>39,44,45,116,124,144,171</sup> A kötési idő letelte után a lenyomatokat lemostuk, fertőtlenítettük majd 60 percen túl, de 24 órán belül a lenyomatokat a referencia szkennerttel digitalizáltuk, és STL fájlként kiexportáltuk. (28. ábra)



28. ábra A két fázissal két időben vett precíziós-szituációs lenyomatokhoz peremes fém gyári kanalat (A) és helyfenntartó fóliát használtunk. A gépi keverésű alap lenyomat (B) megkötése után a fóliát eltávolítottuk, és a korrekciós fázist (C) keverő pisztollyal a kanálba és a fogak köré fecskendeztük. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

### Mesterminták készítésének lépései

A lenyomatok 24 órán belül 4-es típusú mintagipsszel (GC Fujirock EP, GC Corp.) kerültek kiöntésre a Semmelweis Egyetem Interdental Fogtechnikai Laboratóriumában. A mesterminták Giroform rendszer (Giroform, Amann Girrbach GmbH) segítségével, műanyag talppal készültek.<sup>6,14,132</sup> A gyártói utasításnak megfelelően a lenyomatok kiöntése vákuum keverő segítségével (20 s, BEGO Motova SL), rezgőpadon (Wassetmann Rüttler KV-26, Wassermann Dental-Maschinen GmbH, 6000 rpm, 0.4 mm), desztillát víz hozzáadásával (100 g/25ml)



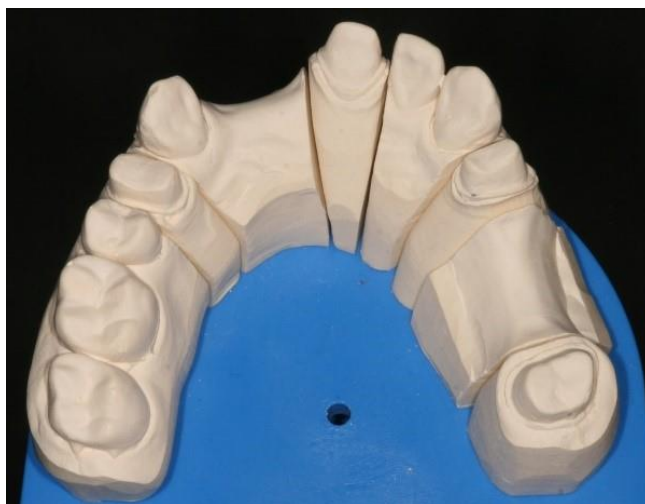
történt. A lenyomatok lefejtése után a mestermintákat kidolgoztuk, majd a referencia szkennelvel digitalizáltuk, és az STL fájlokat exportáltuk. (29. ábra)



29. ábra IV-es típusú mintázó gipszből készült, kidolgozott mesterminta. A mestermintából a Giroform rendszerrel készült a szekciós minta. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

#### Szekciós minták készítésének lépései

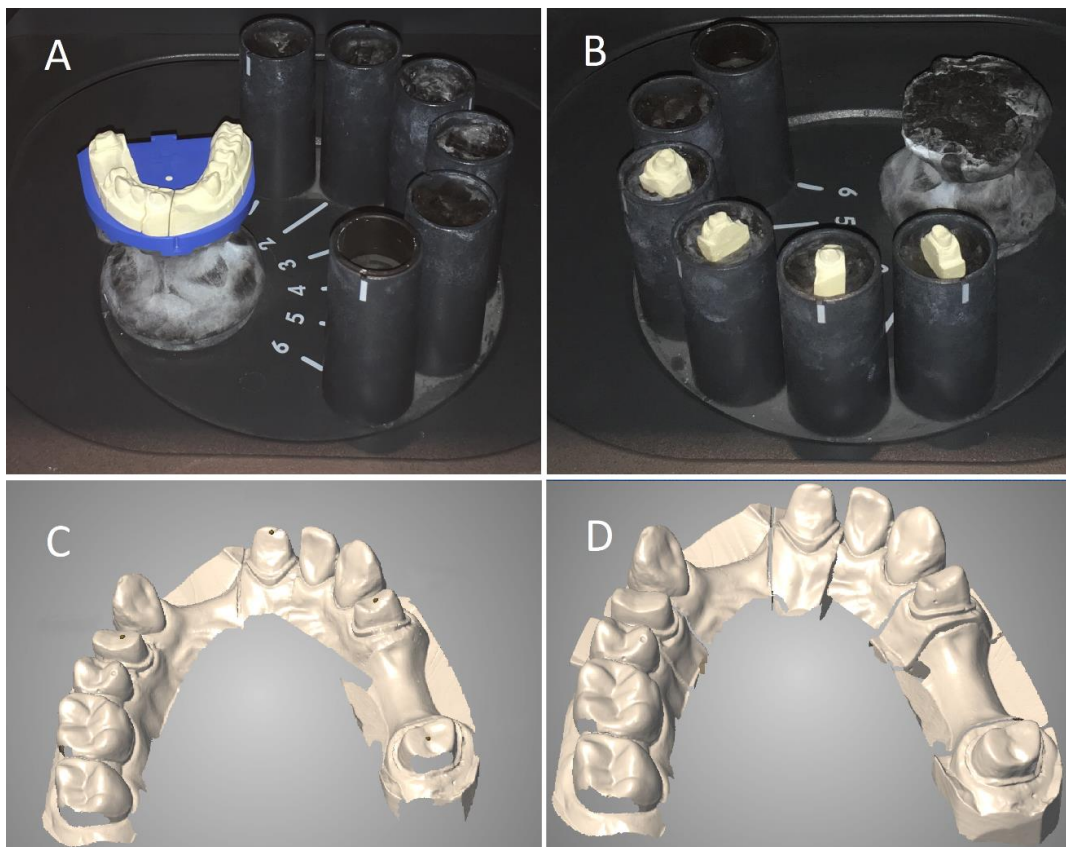
A szekciós minták a műanyag talpas Giroform rendszerrel készültek. A kivehető csonkos szekciós mintákat a referencia szkennelvel digitalizáltuk és az STL fájlokat exportáltuk. (30. ábra)



30. ábra A mesterminta szekcionálásával létrehozott a szekciós minta. A műanyag talpak, valamint a fém stífteknek köszönhetően a fogak a fogívből szabadon eltávolíthatók és visszahelyezhetők. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

### Szekciós minták fogtechnikai digitalizációja

A szekcionált modelleket 24-72 órán belül a gyártói utasításoknak megfelelően, kétlépcsős szkennelési protokollt követve Straumann fogtechnikai szkennelőrrel (Straumann CARES Scan CS2 Visual 8.0 software, Institut Straumann AG) digitalizáltuk. (31. ábra) Első lépésben a teljes fogív szkennelése történt, majd második lépésbe a szekciós csomkok egyenkénti digitalizációja történt. A szkennelőr szoftvere összeillesztette a teljes fogív és a csomkok szkennelt felvételeit. A virtuális modelleket STL formátumban exportáltuk.



31. ábra Szekciós mintákról fogtechnikai szkennelőrrel készített virtuális modellek. A szkennelés során először a teljes gipszminta (A) kerül szkennelésre, így létrejön egy néhol hiányokat tartalmazó elsődleges virtuális modell (C). Második lépésben a gipszcsomkokról (B) nagy felbontású adatfelvétel történik, amivel kiegészíti a program a hiányos területeket, létre hozva a végleges virtuális modellt (D). (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

### Szuperimpozíció és távolságmérések

Az első vizsgálat során definiált három távolságnak megfelelően a felvett síkban kijelöltük a mérőpontokat, és távolság mérést végeztünk virtuális tolómérővel:

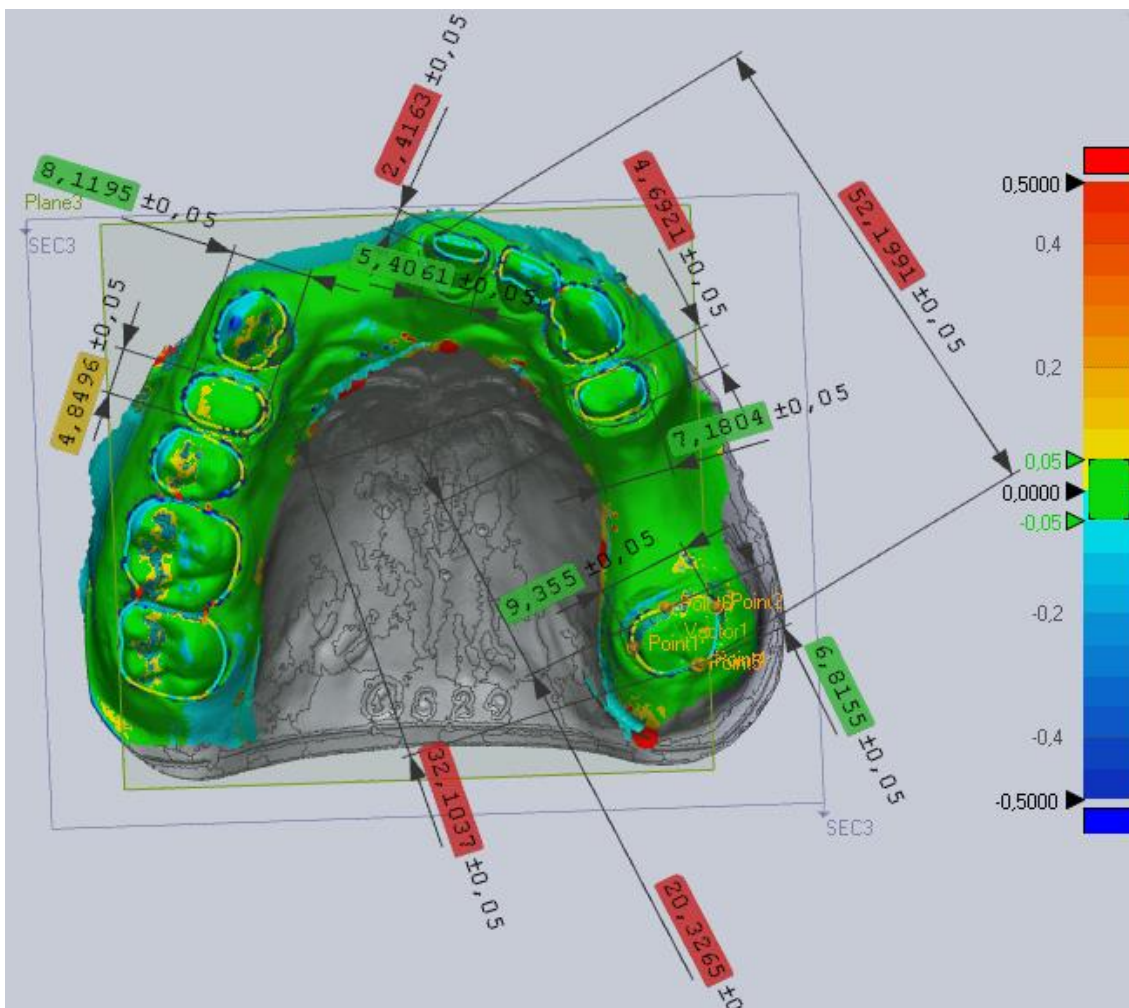
- 24-27 fogak legközelebbi pontjai- legkisebb távolság,
- 27-24 fogak legtávolabbi pontjai-közepes távolság,
- 21-27 fogak legtávolabbi pontjait- legnagyobb távolság.



A preparált fogak csonkátmérőinek méréséhez az eredeti síkban felvett mérőpontokkal kijelöltük a csonkok mezio-disztális és bukko-palatinális átmérőjét (32. ábra):

- 14 mezio-disztális (14MD) és bukko-palatinális (14BP) átmérő,
- 21 mezio-disztális (21MD) és bukko-palatinális (21BP) átmérő,
- 24 mezio-disztális (24MD) és bukko-palatinális (24BP) átmérő,
- 27 mezio-disztális (27MD) és bukko-palatinális (27BP) átmérő.

Az összehasonlítás a Geomagic verify szoftverrel történt. A referencia virtuális modellre a legjobb illesztés (best fit alignment) funkció szerint lettek illesztve a lenyomatok, a mesterminták és a szekciós modellek laboratóriumi szkennelrel készített STL fájljai.



32. ábra Virtuális tolmérős vizsgálatot végeztünk az 14,21,24,27 preparált fogak mezio-disztális és bukko-palatinális átmérőin. A preparált csonkok közötti távolságot a 24-27 legközelebbi pontjai között „kis távolság”, a 24-27 legtávolabbi pontjai között „közepes távolság”, és a 21-27 legtávolabbi pontjai között „legnagyobb távolság” mértük. Az eltéréseket a program színekkel és táblázatos formában megadta. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmenyi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

### Statisztikai analízis

A valódiság meghatározása az indirekt digitalizáció lépéseihez tartozó eltérések abszolút értékeinek összehasonlításával történt. Az értékeléshez többszintű, kevert hatásmodalitású próba került elvégzésre. A referencia adatok és az indirekt digitalizáció lépéseinek összehasonlítása a távolságok értékelésén keresztül, 95% konfidencia intervallum (CI) és p értékek szerint történt, a mért adatok mediánjával és interkvartilis terjedelmével (IQR) számoltunk.

A relatív torzulások vizsgálatához az indirekt digitalizáció lépéseihez tartozó távolságok (preparált fog átmérő, kis-, közepes-, nagy távolság) átlagos eltéréseit (standard deviation, SD) számítottuk ki. A pozitív és negatív adatok abszolút értékével számoltunk, hogy a negatív és pozitív előjelű értékek átlagolása ne torzítsa az adatokat.

A relatív torzulást az átlagos abszolút eltérés (SD) és a referencia adatok hányadosaként kaptuk meg. (relatív torzulás = átlagos abszolút eltérés (SD) / referencia adat).

A statisztikai próbákhoz Stata szoftvert (StataCorp. Stata Statistical Software: Release 15. College Station, Texas: StataCorp LLC) használtunk.

### A digitális lenyomatvétel tanulási görbéje - in vivo vizsgálat

A digitális lenyomatvételi eszközök gyakorlati alkalmazásának értékeléséhez az intraorális szkennelés tanulási görbéjét a lenyomatvétel ideje és képszáma alapján állítottuk fel. A kutatás etikai engedélyét a Semmelweis Egyetem Egyetemi Etikai Bizottsága (SE TUKEB száma: 61/2016) adta.

### A kutatás résztvevői

A kutatásban a digitális lenyomatot készítő hallgatók, és az őket felügyelő fogorvosok vettek részt, az intraorális szkeneket önkéntes páciensekről készítették. A vizsgálatot folytató hallgatók a Semmelweis Egyetemen graduális oktatásban részt vevő harmad-, negyed- és ötödéves fogorvostan-hallgatói közül kerültek ki. Tíz intraorális szkennelésben járatlan fogorvostan-hallgató párban vett részt a kutatásban, melynek során a hallgatók egymásnak asszisztáltak. A szkennelés alatt a felügyeletet egy digitális lenyomatvételben járatos fogorvos biztosította. Minden hallgató 10 szkent készített.

A kutatásban a 18. életévüket betöltött páciensek vehettek részt, hiánytalan, zárt fogazattal (bölcességfog hiánya nem volt kizáró ok), jó szájhigiéniával, intakt kemény- és lágyszövetrel (nem lehetett fogszuvasodása vagy extratios sebe) és normocclusioval (Angle I). Kizáró ok volt,

ha a páciens korábban ortodonciai kezelésben vett részt, dentális implantátummal vagy fogpótlással (betétek, koronák) rendelkezett, illetve ha gingivitisben vagy parodontitisben szenvedett.

A vizsgálatban részt vevő hallgatók párban dolgoztak, egyikük digitális lenyomatot vett, míg a másikuk asszisztált (minden hallgató 10 lenyomatot vett, majd párjának asszisztált 10 további digitális lenyomatvétel során). A szkennelést végző hallgató a jobb, míg az asszisztensi feladatot ellátó személy a páciens bal oldalán helyezkedett el. A szkennelés során a páciensek fekvő pozícióban helyezkedtek el, és minden szkennelés során szájterpesz (Optragen, Ivoclar Vivadent) behelyezése mellett készült el, a maximális hozzáférhetőség biztosítása érdekében. A kezelőegység fénye a vizsgálat alatt leoltásra került.

#### A résztvevők oktatása

A hallgatók korábban nem rendelkeztek semmilyen tapasztalattal digitális lenyomatvétel terén. A vizsgálatot megelőzte a hallgatók elméleti, illetve gyakorlati oktatása. Az oktatás során a szkennelésben képzett fogorvos tartott előadást, illetve a szkennelés használatát oktató videó került levetítésre. Az előadás a szkennerek típusairól, felépítéséről, működési elvéről és indikációs területeiről szólt. A vizsgálatban használt Trios3 (3Shape) intraorális szkennelés részletes bemutatásra került. Az oktató videó a szkennelés gyakorlati alkalmazására helyezte a hangsúlyt, lépésről lépésre került bemutatásra a digitális lenyomatvétel készítésének technikája, és az alkalmazandó szkennelési stratégia. Az elméleti oktatást gyakorlati oktatás követte, ahol a hallgatók a megtanult szkennelési stratégiát gyakorolva készítettek digitális lenyomatot beartikulált alsó és felső állcsontok mintáiról, illetve a harapást is rögzítették.

#### A vizsgálat során használt intraorális szkennelés

A vizsgálat során a Trios3 (3 Shape) intraorális szkennelésrel készült a digitális lenyomatok. A hallgatók a gyártó utasításai szerint készítették a digitális lenyomatot a nagyteljesítményű laptop-hoz csatlakozott intraorális szkennelésrel.<sup>212</sup> Az IOS szoftvere és hardvere képes színes, virtuális modellek készítésére. A szkennelés pormentes és konfokális lézerszkennelés mikroszkópia elvén működik, a képpalkotás módja videószekvencia.<sup>147,212</sup> A szkennelés megelőzően megtörtént a szkennelés kalibrálására a kiegészítő kalibráló vég és kalibrációs box segítségével. A vizsgálat-hoz a 3Shape Trios Classic 1.3.4.6. verziószámú szoftvert használtuk.

### Digitális lenyomatvétel

A vizsgálat során un. tanulmányi lenyomatok készültek, a kezelőfelületen a „Study model” ikon került kiválasztásra, melyet megelőzött a páciens adatainak felvitele, és a digitális munkalap kitöltése. A szkennelési procedúra a gyártó utasításai, és a korábban az oktatáson elhangzottak szerint történt, a felső állcsonton kezdve, melyet az alsó állcsont követett. A szkennelés minden esetben a jobb oldali második moláris fogtól indult, egészen a bal oldali második molárisig végighaladva az egész állcsonton. A szkennelési stratégia a felső állcsont esetén az occlusalis felszínnel indul, melyet a buccalis, majd palatinalis felszínnek követtek, míg alsó állcsont esetén az occlusalis felszín szkennelését a lingualis, majd végül a buccalis felszínnek követték.<sup>109</sup> A következő lépés a harapás rögzítése volt interkuszpídációs pozícióban, mindkét oldalon. A harapásrögzítés alatt a szkennerek fejét a molarisok buccalis oldalára illesztették, melyet lassan mesialis irányba mozgatott az operátor. A felső és az alsó minták leképezése után a virtuális minta megjelent a kijelzőn. A minta akkor volt elfogadható, ha a fogak minden felszíne kb. 2-3 mm marginális gingivával együtt pontosan leképezésre került, illetve törésvonal nem volt felfedezhető. A szkennerek minősége akkor volt megfelelő, ha a szoftver képes volt az állcsontokat összeilleszteni a harapásrögzítés során. (33. ábra)<sup>8</sup> Ha a virtuális mintán törésvonal jelent meg akkor a szkennelési procedúrát az elejéről ismételni kellett (a virtuális minta törlésre került, majd új intraorális szkennelés készült). Hiányzó adat esetén (pl.: elszórtan elhelyezkedő hiányosan szkennelt területek) a virtuális minta nem került törlésre, ilyen esetben szkenneléssel, további képek hozzáadása történt. Az irreleváns területek, mint például a palatum lágyrészei eltávolításra kerültek.



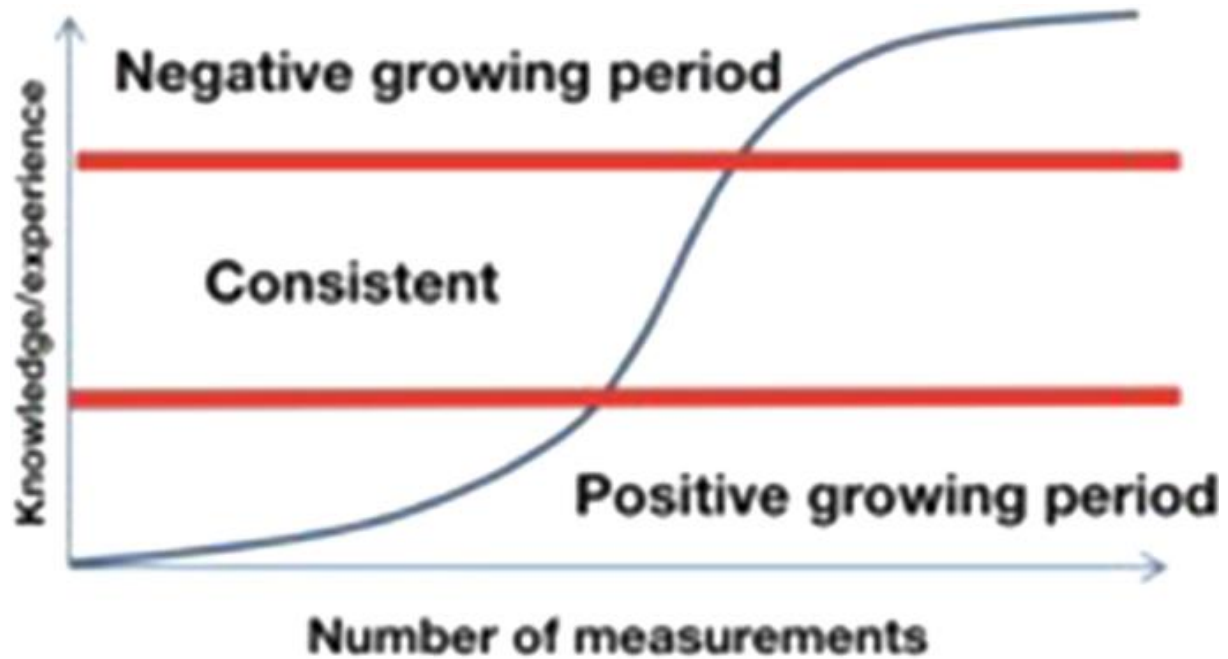
33. ábra A virtuális minta elfogadásának feltételei, hogy minden fog és azok minden felszíne leképezésre került, és a harapásrögzítés sikeres volt. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.)

### Regisztrált adatok

A szkennelési időt stopperórával mértük. A teljes szkennelési idő mérése a páciens adatainak a felvételével kezdődött, és a kész minták laborba küldésével fejeződött be. A teljes szkennelési idő mutatja az adatok felvételének idejét, a lenyomatvételt időtartamát, mely magába foglalja a teljes felső és alsó állcsont szkennelését, a harapásrögzítést mindkét oldalon, és a szkennelés feldolgozásának idejét is. Rögzítésre került a képszám is mind a felső és alsó állcsont szkennelése közben, illetve a harapásrögzítés alatt is. A képszám a képek azon összege, amelyet az intraorális szkennelők rögzít a szkennelés ideje alatt. A képek száma automatikusan megjelenik a kijelzőn a bal felső sarokban, a szkennelés befejeztével.

### Tanulási görbe

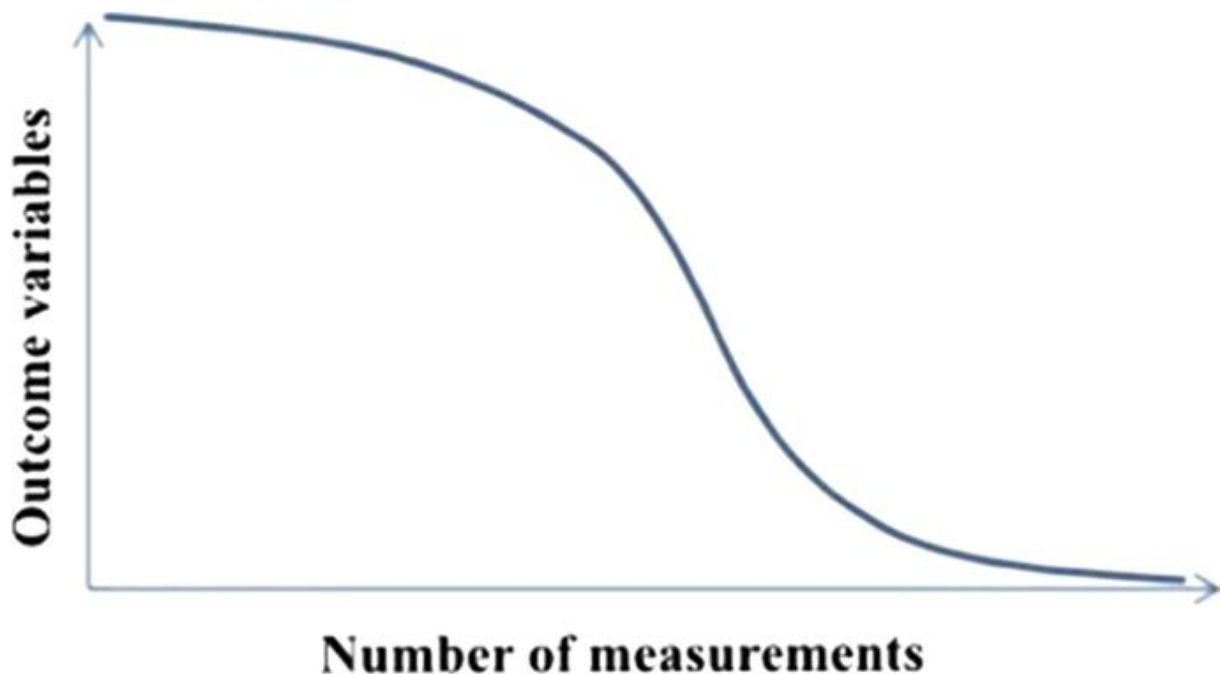
A tanulási görbe vizuálisan ábrázolja valamely dolognak a tanulási ütemét az eltelt idő, vagy az adott tevékenység ismétlése okozta tapasztalat függvényében. A klasszikus típusú tanulási görbe egy ascendáló szigmoid görbe, melynek zéró pontja a tanulás kezdeténél van. A görbe három részre osztható fel, a pozitív növekvő szakaszban a tanulási ráta folyamatosan növekszik, a középső szakaszban a tanulás tempója állandó, míg a harmadik negatív szakaszban a ráta csökken, mígnem a görbe kiegyenesedik. (34. ábra)



34. ábra A klasszikus típusú tanulási görbe. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.)

Ha az ismétlésből fakadó tapasztalatot (jelen kutatásban az elvégzett szkennelések) az x tengely ábrázolja, míg az y tengely az elért eredményt mutatja (pl. szükséges idő, képek száma), akkor egy inverz tanulási görbét kapunk. (35. ábra)<sup>179</sup>

A statisztikai értékelés során a vizsgálatban részt vevő hallgatók fordított tanulási görbéjét rajzolhatjuk ki a teljes szkennelési idő és a képek számának szemszögéből.



35. ábra Az inverz tanulási görbe. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.)



### Statisztikai analízis

A statisztikai analízist Stata programcsomagban, random hatásmodalitású, általánosított legkisebb négyzetes regressziós modellezéssel végeztük. A kimeneteli 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 kimeneteli változókat természetes logaritmikus transzformáció után használtuk a normalitás javítása érdekében.

### Intraorális szkennerek értékelése egységes szempontrendszer alapján

A vizsgálat során különböző típusú- és ugyanazon intraorális szkennerek előző és új generációs verzióinak összehasonlító értékelése történt azonos, objektív szempontrendszer alapján. Itt összefoglaltuk a szkennerek jellemző tulajdonságait, ergonómiai paramétereit (intraorális szkennerek tömege és fejtármérete), a szkennelési időt és folytonosság megszakadást modell szkennelés esetén, illetve mértük a szkennelési sebességet klinikai szkennelés során, valamint a szkennerek pontosságát.

### Vizsgált intraorális szkennerek

A vizsgálat során 8 gyártó 12 különböző intraorális szkennereit (IOS) értékeltük. A 3. táblázatban látható a 12 szkennerek, melyek közül 7 pod verziójú (Medit i500, CS3600, CS3700, Planmeca Emerald, Planmeca Emerald S, 3Shape Trios 3 Pod, 3Shape Trios 4 Pod,) volt, fontos megjegyezni, hogy a vizsgálat során a rendszer használata mindig az adott gyártói ajánlásnak megfelelően történt, és a magyarországi forgalmazó által biztosított nagy teljesítményű laptop-hoz csatlakoztatva végeztük. Két szkennerek (Straumann DWIO és a 3Shape Trios 4 Move) hordozható szkennerek és további 3 szkennerek (CEREC Primescan, GC Aadvia, iTero Element 2) cart verziójú, saját, beépített számítógépes rendszerrel. A forgalmazók a hazai piacon adott gyártmányból elérhető legújabb hardver és szoftververzióit biztosították a vizsgálatokhoz, a gyártó által ajánlott legjobb teljesítményű számítógéppel.<sup>210</sup> Különböző típusú- és ugyanazon intraorális szkennerek előző és új generációs verzióinak összehasonlítására is sor került. A generációváltás azt jelenti, amikor egy gyártó cég egy már megjelent intraorális szkennereit (előző generáció) hardveresen és szoftveresen is tovább fejleszti és átdolgozza, így



egy új verziót létrehozva (új generációs modell). A vizsgálatokhoz a forgalmazók két hétre biztosították az IOS-eket a Fogpótlástani Klinika számára.

3. táblázat A vizsgálat során a Fogpótlástani Klinika Digitális Munkacsoportja által vizsgált 12 intraorális szkennert.

Intraorális szkennert	Gyártás éve	Gyártás helye
3Shape Trios 3 Pod	2015	Koppenhága, Dánia
Planmeca Emerald	2017	Helsinki, Finnország
Straumann DWIO	2015	Basel, Svájc
GC Aadvá	2017	Leuven, Belgium
iTero Element 2	2018	Amszterdam, Hollandia
CEREC Primescan	2019	York, Egyesült Államok
Medit i500	2018	Szöul, Dél-Korea
3Shape Trios 4 Move	2019	Koppenhága, Dánia
Carestream CS3600	2016	Atlanta, Egyesült Államok
3Shape Trios 4 Pod	2019	Koppenhága, Dánia
Carestream CS3700	2020	Atlanta, Egyesült Államok
Planmeca Emerald S	2020	Helsinki, Finnország

#### A vizsgálat résztvevői

Minden egyes IOS tesztelésében három fogorvos-tanuló vett részt (összesen 36 hallgató bevonásával történt a vizsgálat), akik nem rendelkeztek korábbi tapasztalattal az intraorális szkennelést illetően. A méréseket megelőzően minden hallgató részt vett az adott szkennert használatáról szóló elméleti és gyakorlati oktatáson.<sup>178</sup> Az előadást és gyakorlati oktatást minden esetben a szkennert használatában jártas fogorvos, fogtechnikus vagy forgalmazó tartotta. Az oktatásokat a forgalmazó cégek szervezték. A szkennelések alatt a felügyelői

feladatot a digitális lenyomatvételben jártas fogorvos (supervisor) látta el. Az intraorális szkennerek kalibrálása szignifikánsan befolyásolja a szkennerek pontosságát.<sup>159</sup> A gyártó utasításainak megfelelően minden szkennerek kalibrálása megtörtént. Az intraorális szkennereket először a forgalmazó kalibrálta, a szkennerek érkezését követően a Fogpótlástani Klinikán, hogy bemutassa a megfelelő metódust. Ezt követően a kalibrációkat a vizsgálati csoport végezte. A kalibrációkat minden vizsgálati résztvevő elvégezte a modell- és klinikai szkennelések előtt, valamint között. A teljes adatgyűjtési folyamat 2018 júniusától 2020 decemberéig tartott.

#### Az intraorális szkennerek értékelése

Az intraorális szkennerek objektív értékelése 4 különböző módon történt: (a) összefoglaló táblázat, (b) összehasonlító értékelés (az intraorális szkennerek kézidarabjának súlya és a szkennerek fej átmérője), (c) szkennelési idő és folytonosság megszakadás modell szkennelés esetén, illetve (d) a pontosságra vonatkozó mérések. Első lépésben az összefoglaló táblázat készült el, ezt követte az intraorális szkennerek súlyának és fejkerületének lemérése, valamint az ergonómiai tulajdonságok értékelése. Standard protokoll szerint történt az in vitro szkennelési idő és a szkennelési folyamat folytonosságának (az adatrögzítés közbeni szünetek száma) rögzítése. A pontosság (valódiság és precizitás) szintén az in vitro mérések adataiból került kiértékelésre. Az intraorális szkennerek pontszáma egy dinamikus pontozási skála alapján került meghatározásra. A különböző paraméterek pontszám értékét súlyoztuk. Egy új intraorális szkennerek készülék vásárlásakor a két legfontosabb szempont a készülék pontossága, valamint az intraorális szkennerek speciális tulajdonságai.<sup>212</sup> Az összefoglaló táblázatban az intraorális szkennerek 26 speciális tulajdonsága került feltüntetésre, míg a pontossági mérések során 5 különböző paraméter vizsgálata és értékelése történt. Vizsgálatunk pontrendszerében az összefoglaló táblázat, és a pontossági mérések adták a legmagasabb pontszámot (10-10 pont). A vizsgálatot végzők szkennelési tapasztalata befolyásolhatja a szkennelési sebességet és a szkennelés folytonosságát, ezek a paraméterek nem csak a készüléktől függenek.<sup>120</sup> Az intraorális szkennerek ergonómiai tulajdonságai leginkább a szkennerek használata közbeni kényelmet befolyásolják, ezek a paraméterek egyenként 2,5 pontot érnek a pontozási rendszerben.

#### Összefoglaló táblázat

Az Összefoglaló táblázat 26 tulajdonságot sorol fel, melyek a 4. táblázatban találhatóak,

- Hardware specifikációk:

- *Szín:* A vizsgálatunkban szereplő összes intraorális szkennerek színes lenyomatokat készítettek. A színt illetően kétféle szintet különböztettünk meg: élethű (1 pont) és nem élethű (0,5 pont) szintet. A jó minőségű, élethű színekkel készült digitális lenyomat azt jelenti, hogy a virtuális modell alapján elemezni és követni lehet a páciens szájüregének kronológiai változásait (pl. abrázio, szuvasodás, ínyrecesszió).<sup>120</sup> Egyes intraorális szkennerek képesek színes digitális lenyomatot készíteni, de a szájüreg digitalizálásához a valóságtól eltérő, nem élethű színeket alkalmaznak. Ezek a digitális lenyomatok nem alkalmasak a szájüregben lévő elváltozások felismerésére vagy követésére. Ezek a virtuális modellek kevesebb információval rendelkeznek, mint az élethű, színes digitális lenyomatok.
- *Érintőképernyő:* a vizsgált IOS érintőképernyővel rendelkezik-e (1 pont) vagy sem (0 pont).
- *Távírányító:* a vizsgált IOS rendelkezik-e távirányítóval (1 pont) vagy sem (0 pont).
- **Konfiguráció:**  
Az IOS kialakítása is értékelésre került: 0 pont, ha a szkennerek csak egyetlen konfigurációban voltak elérhetőek, 1 pont, ha több konfiguráció is elérhető (pl. pod verzió/hordozható IOS/hordozható IOS/cart változat).
- **Exportálható fájlformátumok:**  
A fájlok küldése kényelmesebb és gyorsabb, ha egy IOS saját felhő alapú platformmal rendelkezik (1 pont)  
Nyílt vagy zárt rendszer:  
A szkennerek között különbséget jelent, hogy van-e szabad interfész az összes elérhető CAD-szoftverrel (nyílt vagy zárt rendszerek).<sup>120</sup> A nyílt rendszerek esetében (1 pont) az intraorális szkennerek lehetővé teszik a leggyakrabban használt fájlformátumok: STL-fájlok vagy PLY-fájlok közvetlen exportálását, így a 3D-fájlok bármilyen CAD-szoftverhez elküldhetők<sup>212</sup>; a zárt rendszerekben (0 pont) azonban az adatokat csak a gyártó CAD-rendszerébe lehet továbbítani.
- **Chairside rendszer:**  
A vizsgált IOS saját chairside rendszerrel rendelkezik (1 pont)
- **Felhasználhatóság:**  
Implantológiai vagy fogszabályozási rendszer megléte a vizsgált IOS esetén (1 pont)

- Speciális tulajdonságok:

Minden olyan speciális tulajdonság 1 pontot ér, mint a fogszín- és a preparált csont fogszín meghatározásának, vagy az egyedi állkapocsmozgás regisztrálásának lehetősége, a preparált csont/csap/lenyomat szkennelés támogatása, a fogsor munkafolyamat, a mosolytervezés/caries detektálás és a különböző elérhető szkennervej méretek. További három tulajdonság került felsorolásra megnevezés nélkül ("egyéb speciális tulajdonság"), ha egy IOS olyan tulajdonságokkal rendelkezett, amelyek nem szerepeltek a fenti felsorolásban.

- Szoftver licenz:

Éves licenz az egyetlen elérhető opció (ez azt jelenti, hogy a felhasználónak minden évben licenrdíjat kell fizetnie a szkennert használatáért) - 0 pont, örökös licenc opció - 1 pont.

- Infrastruktúra:

Az infrastruktúra két aspektusból áll: informatikai támogatás és a szkennert tartozó képzés elérhetősége. Ha nem áll rendelkezésre szervizelési lehetőség Magyarországon, 0 pontot adunk. Külföldi, vagy online lehetőség esetén 0,5 pontot, és 1 pontot, ha Magyarországon van lehetőség a javításra. Képzés: 0 pont, ha a forgalmazó nem biztosít képzést, 0,5 pont külföldi vagy online képzés esetén, és 1 pont a hazai képzésért.

Minden IOS esetében kiértékeljük, hogy hány tulajdonság jellemző az eszközre, és ezeket a tulajdonságokat egy dinamikus pontozási skála alapján pontokká alakítottuk át. Az összefoglaló táblázatot a szakirodalom, a forgalmazó cég által adott információk, és az IOS-el kapcsolatos saját tapasztalatok alapján került kitöltésre.

4. táblázat Az intraorális szkennerek speciális tulajdonságait összefoglaló táblázat.

<b>Hardver specifikumok</b>	színes	nem élethű: 0,5    élethű: 1
	érintőképernyő	nem: 0    igen: 1
	távirányító	nem: 0    igen: 1
<b>Konfiguráció</b>	egy elérhető konfiguráció: 0	

	több választható konfiguráció: 1
<b>Exportálható fájl típusok/ Digitális munkafolyamat</b>	saját felhő alapú platform: +1
<b>Nyílt vs. zárt rendszer</b>	zárt: 0 nyílt: 1
<b>Székmelletti rendszer</b>	saját székmelletti (chairside) rendszer: +1
<b>Felhasználhatóság</b>	Implantológia:1 Fogszabályozás:1
<b>Speciális tulajdonságok:</b>	Fogszín-meghatározás:1 Csonkszín-meghatározás:1 Egyéni mozgáspályák detektálása:1 Preparációs szkennelési lehetőség:1 Emergencia profil szkennelés:1 Csap szkennelés:1

	<p>Lenyomat szkennelés:1</p> <p>Fogsor munkafolyamat:1</p> <p>Több különböző méretű szkennervej:1</p> <p>Smile design: 1</p> <p>Caries detektálás:1</p> <p>Egyéb speciális tulajdonság, annak megnevezésével:1</p> <p>Egyéb speciális tulajdonság, annak megnevezésével:1</p> <p>Egyéb speciális tulajdonság, annak megnevezésével:1</p>
<b>Támogatás</b>	<p>évenként megújítandó licenz:0</p> <p>megvásárlással korlátlan támogatás:1</p>
<b>Infrastruktúra</b>	<p><b>szerviz</b></p> <p>nincs szakszerviz: 0</p> <p>külföldi/online szakszerviz:0,5</p> <p>hazai szakszerviz:1</p> <p><b>forgalmazó által szervezett oktatási lehetőség</b></p> <p>nem megoldott: 0</p> <p>külföldi/online: 0,5</p> <p>hazai: 1</p>

### Ergonomia-kézidarab súly és szkennervej átmérő

Az IOS-ek ergonomikus kialakításának meghatározásához mérésre került a szkennervej kerülete és a kézidarab súlya. A szkennervej kerületét háromszor mértük, mérőszalag segítségével, majd az eredmények átlagát rögzítettük. A szkennervej kézidarabjának súlyát ugyanazzal a mérleggel háromszor mértük le. A három mérést, mind a fej, mind a kézidarab esetén átlagoltuk, majd az eredményeket feljegyeztük. Az IOS-ek egymással való összehasonlítására dinamikus pontozási skálát alkalmaztunk. A méréseket minden esetben egy tapasztalt fogorvos végezte.

### In vitro vizsgálat

- Az in vitro mérések kettős célt szolgáltak: a szkennelési idő és folytonosság, valamint a pontosság értékelését. Referenciaként egy a korábbi vizsgálatokban használt modellekhez hasonló polimetilmetakrilát (PMMA) modellt használtunk (36. ábra), ahol 11, 14, 17 fogak koronához, a 26 fog pedig inlay-hez volt preparálva; míg az 15 és 16 fogak hiányoztak. Ipari precíziós, nagy pontosságú szkennervej (stereoSCAN neo; AICON 3D Systems GmbH) segítségével referencia STL fájlhoz hoztuk létre. A stereoSCAN referencia-szkennervej pontossága 8  $\mu\text{m}$ .<sup>74</sup> A korábbi vizsgálatok referencia modelljén a 3. molárisok hiányoztak, és inlay preparáció sem volt, illetve ott a 21, 24 és 27 fogak voltak előkészítve.<sup>88,201</sup> A 2. molárisokra az intraorális szkennervej IKP rögzítéséhez volt szükségünk, illetve az inlay preparáció leképezése során az inlay üreg egy szegmensének, és a szomszédos approximális felületek referenciától való átlagos eltérése a chairside rendszerek pontosságára utal.





36. ábra A referenciaként használt PMMA modell: az 11, 14, 17 fogak koronához, a 26 fog inlayhez lett előkészítve, és az 15 és 16 fogak hiányoztak. (Róth I, Czigola A, Fehér D, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health. Apr 26 2022;22(1):140.)

A referenciamintát minden IOS tesztelése során három fogorvostanhallgató digitalizálta, akik nem rendelkeztek korábbi tapasztalattal az intraorális szkennelést illetően. Minden hallgató 10 alkalommal szkennelte be a mintát. A szkennelés során a hallgatókat egy tapasztalt fogorvos felügyelte. A szkennelési stratégiával és az IOS beállításaiával kapcsolatban a gyártó utasításait követték. Ha a gyártó nem ajánlott ideális szkennelési stratégiát, akkor a szkennelés a jobb leghátsó moláris occlusalis-palatinalis felületéről indult, a szkennerek fejét 45°-os szögben tartva, a fogívet követve, majd visszafele a buccalis-occlusalis felületen.<sup>109</sup> Az adatrögzítési folyamat során minden mérésnél a szkennelési időt és a szüneteket (folytonosság) is regisztráltunk, majd mindkét szempontra átlagot számoltunk. A szkennereket a szkennelés közben történő megállások átlagos száma alapján is pontoztuk. Minden modell szkennelése az adatok STL formátumban történő exportálásával zárult. Így végül 30 STL fájl készült. A 30 STL-fájlt kiexportáltuk, és 15-öt véletlenszerűen kiválasztottunk (5-5-5 adatot minden kezelőtől). A kiválasztott fájlok a Geomagic Verify (v2015.2.0; 3D Systems, 333 Three D Systems Circle) szoftverrel kerültek feldolgozásra, majd a pontossági értékeket meghatároztuk. A pontosság mérése a korábbi vizsgálataink során kidolgozott, és továbbfejlesztett módszer szerint történt.<sup>201</sup> A digitális modellekről a felesleges részek eltávolításra kerültek, hogy azonos íveket hasonlítsunk. Ezután a preparált metszőfogot, az inlay üreget a szomszédos fogak approximális felületeivel és a négy tagból álló híd területét digitálisan kivágtuk a modellből, majd külön STL fájlként exportáltuk. Valamennyi STL-fájl előkészítését ugyanaz a személy végezte. A vizsgálat során a best fit alignment-et használtuk az IOS által szkennelt és a referencia STL

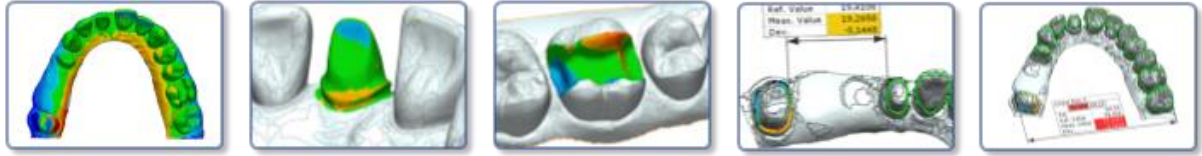
fájlok összehasonlítására. A szuperimpozícióval egymásra illesztett adatok eltéréseit mértük a teljes fogíven, és külön az inlay üreg, valamint a preparált metszőfog esetén.

A digitális tolómérővel végzett mérésekhez a referencia STL-fájlon az első premolárisok legnagyobb átmérőjének szintjén egy metszősíkot határoztunk meg, referenciapontok készítéséhez. A kijelölt síkban mértük a négytagú híd pillérei közötti legrövidebb távolságot és a fogív disztális pontjai közötti távolságot (a második molárisok distobuccalis csücskei közötti távolságot). A valódiság értékeléséhez a kijelölt pontok eltéréseinek root mean square (RMS) értékét exportáltuk a statisztikai szoftverbe. A statisztikai értékelést az IBM SPSS Statistics szoftverrel (v27.0; IBM Corp.) végeztük. Az adatok eloszlásának normalitását a Kolmogorov-Smirnov teszt segítségével vizsgáltuk (StataCorp. Release 15. StataCorp LLC). A pontosság, valódiság és precizitás szempontjából a digitális lenyomatokat az ISO 5725 szabvány alapján értékeltük.<sup>47,67,187</sup>

Vizsgálatunkban egy IOS maximálisan 10 pontot kaphatott a pontosságra (5 pont a valódiságra és 5 pont a precizításra). 15 mérés átlagát használtuk fel, hogy kiszámítsák a valódiságra és a precizításra vonatkozó pontszámokat, amelyek összege jelezte az adott szkener pontosságát.

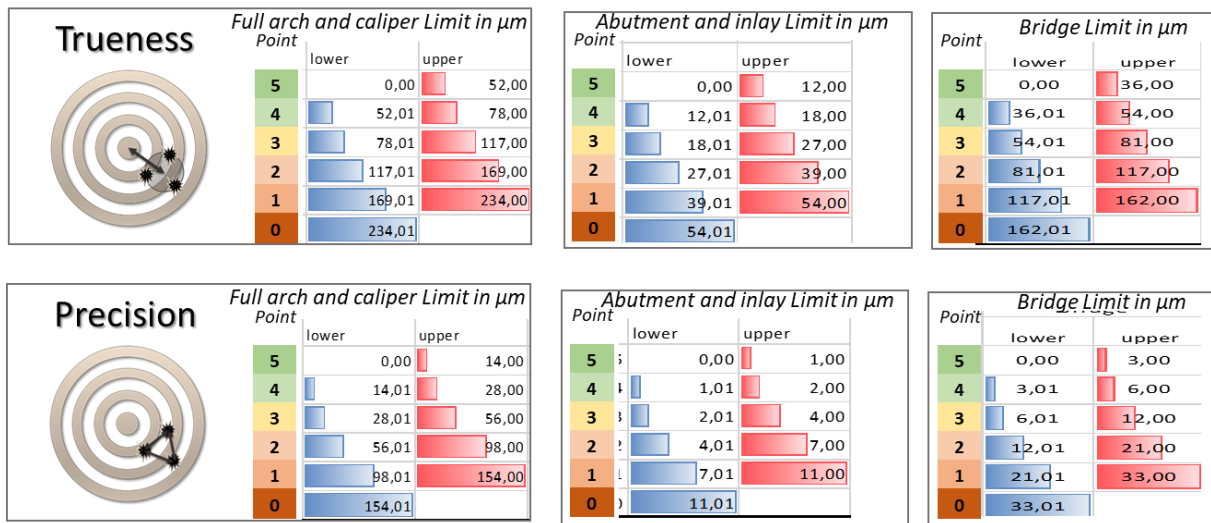
Az IOS-ek pontosságát jelző 5 paramétert vizsgáltunk (37. ábra):

- A teljes fogív szkennelés átlagos eltérése a referencia adathalmaztól megmutatja az általános pontosságot.
- A preparált metszőfog felszíne az a legkisebb általunk vizsgált terület, amely az IOS legjobb pontosságát jelzi – a legtöbb gyártó ezt az értéket szokta felhasználni a szkennelés pontosságának leírására.
- Az inlay üreg egy szegmensének, és a szomszédos approximális felületek referenciától való átlagos eltérése a chairside rendszerek pontosságára utalhat.
- A négytagú híd esetében a pillérfogak közötti távolság mutatja meg a fogatlan gerinc torzító hatását.
- A második moláris fogak distobuccalis csücskei közötti távolság az adott referenciasíkban jelzi a teljes fogíven a szkennelési pontosság általános torzulását, ez egyben az összeillesztésből adódó hibák indikátora.



37. ábra Az IOS rendszerek pontosságának értékeléséhez mért 5 paraméter. (Róth I, Czigola A, Fehér D, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health. Apr 26 2022;22(1):140.)

Létrehoztunk egy skálát a pontosságon alapuló pontszámok kiosztására. Minél kisebb volt az eltérés, annál nagyobb pontszámot kapott a szkennerek. Azok az IOS-ek, amelyek közelebb voltak a klinikailag elfogadhatatlan tartományhoz, kevesebb pontot kaptak. A tartományt és az átszámított pontrendszert az általunk vizsgált terület nagysága alapján alakítottuk ki. (38. ábra)



38. ábra A referencia tartományok és átszámított pont értékek a vizsgált terület nagysága alapján. (Róth I, Czigola A, Fehér D, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health. Apr 26 2022;22(1):140.)

Az elfogadható tűréshatár  $54 \mu\text{m} \pm 11 \mu\text{m}$  (valódiság  $\pm$  precizitás) volt a szóló restaurációk (korona és inlay/onlay) esetében,  $162 \mu\text{m} \pm 33 \mu\text{m}$  a négytagú restaurációk (kis híd) esetében, és  $234 \mu\text{m} \pm 154 \mu\text{m}$  a teljes fogív szkennelés esetén. A nulla és a tűréshatár közötti tartományt öt – egyre növekvő – tartományra osztottuk fel. Minden egymást követő tartomány az előző tartomány másfélszerese volt. A hídra vonatkozóan elfogadható tartomány érték háromszor nagyobb volt, mint a szóló restaurációra vonatkozó érték. A valódiság és a precizitás átlag értékeket mikrométerben, valamint a származtatott pontossági pontokat az 5. táblázat mutatja.

5. táblázat A valóság és precizitás értékek átlagai mikrométerben és az ezek alapján számított pontosság pontok. (Róth I, Czigola A, Fehér D, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health. Apr 26 2022;22(1):140.)

		GC Aadva	Carestream CS3600	Carestream CS3700	CEREC Primescan	Straumann DWIO	iTero Element 2	Medit i500 DiOS 4	Planmeca Emerald	Planmeca Emreald S	3Shape Trios 3 Pod	3Shape Trios 4 Move	3Shape Trios 4 Pod
Full arch WHL	Trueness value and point	123,4 2	72,1 4	85,7 3	49,9 5	133,2 2	43,5 5	41,5 5	174,5 1	82,7 3	106,0 3	61,2 4	38,2 5
	Precision value and point	25,5 4	15,4 4	20,7 4	20,9 4	51,2 3	45,1 3	13,7 5	49,9 3	11,1 5	55,7 3	19,1 4	17,5 4
Single abutment WHL	Trueness value and point	32,9 2	23,5 3	23,5 3	11,0 5	28,8 2	14,6 4	11,8 5	114,3 0	20,9 3	14,1 4	12,1 4	12,9 4
	Precision value and point	6,9 2	19,0 0	19,0 0	1,2 4	2,4 3	2,8 3	2,1 3	17,5 0	2,6 3	1,7 4	0,6 5	1,3 4
Inlay WHL	Trueness value and point	33,3 2	30,6 2	31,5 2	20,0 3	43,2 1	20,6 3	20,7 3	47,3 1	34,8 2	23,3 3	26,2 3	21,0 3
	Precision value and point	13,9 0	6,0 2	5,6 2	3,9 3	11,6 0	4,5 2	2,6 3	18,0 0	4,1 2	3,1 3	6,2 2	4,7 2
Bridge caliper	Trueness value and point	150,3 1	118,1 1	118,0 1	11,6 5	102,0 2	52,0 4	24,6 5	166,0 0	83,4 2	62,1 3	32,0 5	18,3 5
	Precision value and point	113,5 0	118,1 0	118,0 0	11,6 3	65,9 0	23,6 1	19,5 2	38,1 0	13,1 2	61,2 0	19,6 2	16,5 2
Arch caliper	Trueness value and point	443,4 0	161,9 2	161,5 2	86,0 3	843,0 0	139,2 2	137,4 2	534,5 0	252,7 0	355,0 0	144,7 2	74,3 4
	Precision value and point	368,2 0	158,7 0	158,3 0	85,8 2	408,1 0	51,0 3	135,5 1	476,1 0	200,2 0	324,0 0	136,4 1	74,3 2
	Trueness average	1,4	2,4	2,2	4,2	1,4	3,6	4,0	0,4	2,0	2,6	3,6	4,2
	Precision average	1,2	1,2	1,2	3,2	1,2	2,4	2,8	0,6	2,4	2,0	2,8	2,8
	Accuracy point	2,6	3,6	3,4	7,4	2,6	6,0	6,8	1,0	4,4	4,6	6,4	7,0

## Klinikai vizsgálat

A vizsgálatban részt vevő fogorvostanhallgatók klinikai körülmények között is készítettek intraorális szkeneket. Összesen tizenhét digitális lenyomat készült minden IOS-el (diákonként 6 db): 3 teljes fogív és 3 kvadráns szkene. A klinikai szkennelések az in vitro szkennelések után történtek. A felügyeletet egy, a digitális lenyomatvételben jártas fogorvos (supervisor) látta el. A kutatásban a 18. életévüket betöltött páciensek vehettek részt, hiánytalan, zárt fogazattal (bölcességfog hiánya nem volt kizáró ok), jó szájhygiéával, intakt kemény- és lágyszövettel (nem lehetett fogszuvasodása vagy extrahíós sebe) és normocclusioval (Angle I). Kizáró ok volt, ha a páciens korábban ortodontiai kezelésben vett részt, dentális implantátummal vagy fogpótlással (betétek, koronák) rendelkezett, illetve ha gingivitisben vagy parodontitisben szenvedett.<sup>171</sup>

A szkenneléseket a gyártó utasításai szerint végezték. A szkennert a digitális lenyomatvétel megkezdése előtt kalibrálták. A páciens adatok és a digitális munkalap minden szkene esetén kitöltésre került. Ha a szkennelő szoftver támogatta a diagnosztikai szkennelés lehetőségét, akkor ezt a funkciót használtuk a lenyomatvételhez. A jobb rálátás érdekében reaktort alkalmaztunk (Optragate, Ivoclar Vivadent). A szkennelési időt stopperórával mértük. A lenyomatvételi idő magába foglalta a felső és alsó fogív szkennelését, a jobb és bal oldali harapásregisztrációt, valamint a fájl feldolgozásához és mentéséhez szükséges időt. A teljes szkennelési időt a páciens adatrögzítésének kezdetétől a feldolgozási eljárás végéig mértük.

Teljes fogív szkennelések készültek a felső és alsó fogívről egyaránt, harapás regisztrációval együtt, amely interkuspidációs helyzetben került rögzítésre. Ha a gyártó nem adott meg szkennelési stratégiát, akkor az *in vitro* méréseknél leírt szkennelési stratégiát alkalmaztuk. A kvadráns szkennelés során a hallgatók a második moláristól a szemfogig szkenneltek mindkét fogív esetén. Az utolsó lépés a harapásregisztráció volt. A teljes fogív és a kvadráns szkennelése után a virtuális modell akkor volt elfogadható, ha minden fogfelület teljesen leképezésre került, nem volt ún. törésvonal, és a harapásregisztráció is sikeres volt. Abban az esetben, ha a digitális lenyomaton ún. törésvonalat, vagy hiányos adatfelvételű területet láttunk, akkor további felvételeket készítettünk. A teljes fogív, valamint kvadráns szkennelési idejét feljegyeztük. Az *in vivo* szkennelési időket egy táblázatban foglaltuk össze, azonban a pontozási rendszerben ezek nem szerepeltek.

### Értékelési pontrendszer

Az intraorális szkennerek objektív értékelésére pontozási rendszert hoztunk létre. Az intraorális szkennerekhez rendelt pontokat egy dinamikus pontozási skála alapján, számoltuk: az összefoglaló táblázat, az összehasonlító értékelés, valamint a szkennelési idő/szkennelés folytonossága tekintetében. A pontosságra kapott pontszámokat az „*In vitro* vizsgálat”-ban részletezett módszer alapján határoztuk meg. A dinamikus skála tetején (maximális pontszám) a legjobban teljesítő IOS állt (összefoglaló táblázat, összehasonlító értékelés, szkennelési idő és folytonosság tekintetében egyaránt). A skála alján (0 pont) az az IOS helyezkedett el, amely a vizsgálat során a legrosszabbul teljesített. A legmagasabb és a legalacsonyabb értékek között arányosan osztottunk fel egy rangsorolási skálát; amelyen belül ezt követően az értékelt IOS-eket eredményeik alapján kategorizáltuk. Így az egyes szkennerek objektív összehasonlítására volt lehetőség jellemzőik alapján. A dinamikus skála folyamatosan változott, annak függvényében, hogy az aktuálisan vizsgált IOS jobban vagy rosszabbul teljesített, mint az eddig értékelt többi szkennerek. A pontozási rendszeren belül egy szkennerek legfeljebb 30 pontot érhetett el.

A pontozási rendszer három fő részből állt (maximum **30 pont**):

- a) Az összefoglaló táblázat, amely alapján maximum **10 pont** volt elérhető  
Összefoglaló táblázatunkban 26 különböző tulajdonság szerepelt. Minden IOS esetében értékeltük ezeket, majd dinamikus skála segítségével pontokká alakítottuk át. A dinamikus skála teteje (maximum 10 pont) a tulajdonságai alapján legjobban

teljesítő IOS-t jelentette. A skála alja (0 pont) a tulajdonságok értékelése során legrosszabbul szereplő IOS-t jelentette az összefoglaló táblázatban.

- b) Ergonomikus kialakítás: IOS fejkörfogat és a kézidarab súlya ( $2,5 \pm 2,5 = \text{maximum } 5 \text{ pont}$ ). Három, a fogorvosi gyakorlatban is gyakran használt kézidarab (Synea 500 Air TK-100 L, CA 1:5 L Standard, StarDental 430 Torque DentaleZ) súlyát és kerületét mértük meg, majd ezeket átlagolva kaptuk meg azt a referenciaértéket (súly: 59 g, fej kerülete: 35,4 mm), amelyet a dinamikus skála felső határának (maximális pont, 2,5) jelöltünk meg. A skála alja (0 pont) a legrosszabb adatokkal rendelkező (legnehezebb és legnagyobb kerületű) szkennert jelentette.
- c) Az in vitro méréseken alapuló pontozás, amely két részből állt (maximum **15 pont** (szkennelési idő, folytonosság 5+ pontosság 10) volt szerezhető):

*c.1.: A szkennelési idő és a szkennelés folytonossága ( $2,5 + 2,5 = \text{maximum } 5 \text{ pont}$ )  
30 digitális lenyomat alapján*

A dinamikus pontozási skála szkennelési sebesség értékelésére a következő képpen épült fel: a legrövidebb szkennelési idővel rendelkező szkennert a skála felső határát (maximális pontszám, 2,5 pont), míg a leglassabb szkennelési idővel rendelkező szkennert a skála alját (0 pont) képviselte. A szkennelés folytonosságát tekintve a digitális lenyomatvétele során megszakadás nélkül működő szkennert a maximális pontszámot (2,5 pont), míg az adatrögzítés során a legtöbb megszakadással rendelkező szkennert a skála aljára került (0 pont).

*c.2.: A pontosság pontozása 15 véletlenszerűen kiválasztott digitális lenyomat alapján (valódiság és precizitás; maximum 10 pont)*

15 in vitro mérés átlagát használtuk fel a valódiság és a precizitás pontszámának kiszámításához; ezeket a pontokat összeadva kaptuk a szkennerek pontosságának értékelését. Öt paraméter vizsgálata során minden IOS legfeljebb 10 pontot kaphatott a pontosságra: 5 pontot a valódiságra és 5 pontot a precizításra. A pontok számításának rendszere az Anyag- Módszer korábbi részében már részletes bemutatásra került.

## Eredmények

### Direkt és indirekt CAD/CAM digitalizációs rendszerek pontosságának összehasonlítása – in vitro vizsgálat

A referencia modellről direkt (Cerec Omnicam, iTero, 3Shape Trios,) és indirekt (Straumann CARES Scan CS2) útvonalon készített STL fájlokat a referencia STL fájlra illesztve és a kijelölt pontok közötti távolságokat vizsgálva az alábbi eredményeket kaptuk:

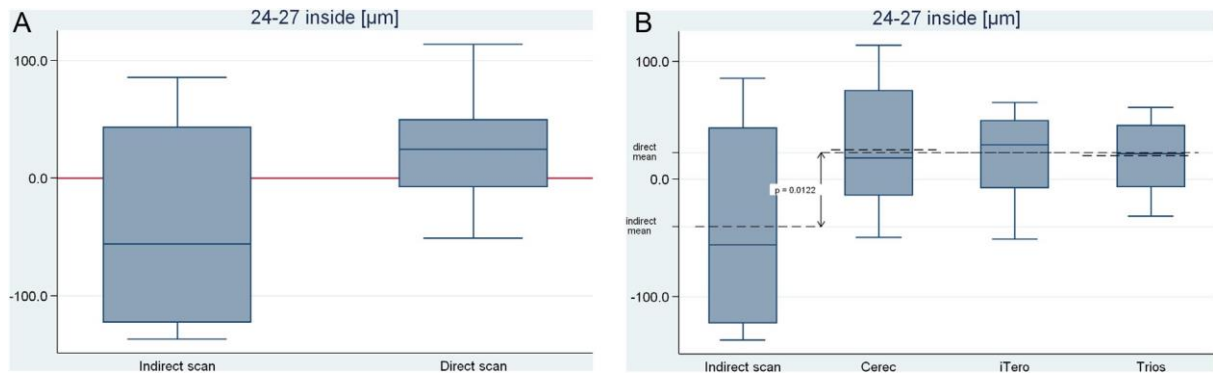
#### 24-27 fogak legközelebbi pontjai, inside, „rövid távolság”-on mért eltérések

Szignifikáns eltérés volt a valódiság és a precizitás terén a direkt és az indirekt út között. A direkt útvonal, azaz az intraorális szkennerek átlag eltérése a referencia értéktől  $22.3 \pm 40.0 \mu\text{m}$  kisebb volt, mint az indirekt rendszerek  $40.3 \pm 79.7 \mu\text{m}$  esetén. A két útvonal valódisága között szignifikáns eltérés volt ( $p=0.012$ ). Az indirekt útvonal (laboratóriumi szkennerek) precizitása elmaradt az intraorális szkennerekéhez képest. A precizitás az indirekt módszer esetén szignifikánsan rosszabbnak bizonyult mind az interkvartilis tartományban ( $p = 0.033$ ), mind pedig a variancia-egyenlőség teszt esetén ( $p = 0.007$ ). Az egyes intraorális szkennerek pontossága között nem volt szignifikáns különbség kimutatható. (6. táblázat, 39. ábra)

6. táblázat A direkt és indirekt rendszerek eltéréseinek átlagai, standard deviáció (SD) és interkvartilis tartomány  $\mu\text{m}$ -ben megadva az egyes vizsgált távolságoknak megfelelően.

	24–27 inside	24–27 outside	21–27 left side
Direct mean	22.31	115.82	–163.45
Indirect mean	–40.26	5.18	–325.81
Direct SD	40.00	50.67	145.47
Indirect SD	79.67	111.32	134.13
Direct IQR	57.50	51.60	114.80
Indirect IQR	165.90	166.20	288.90

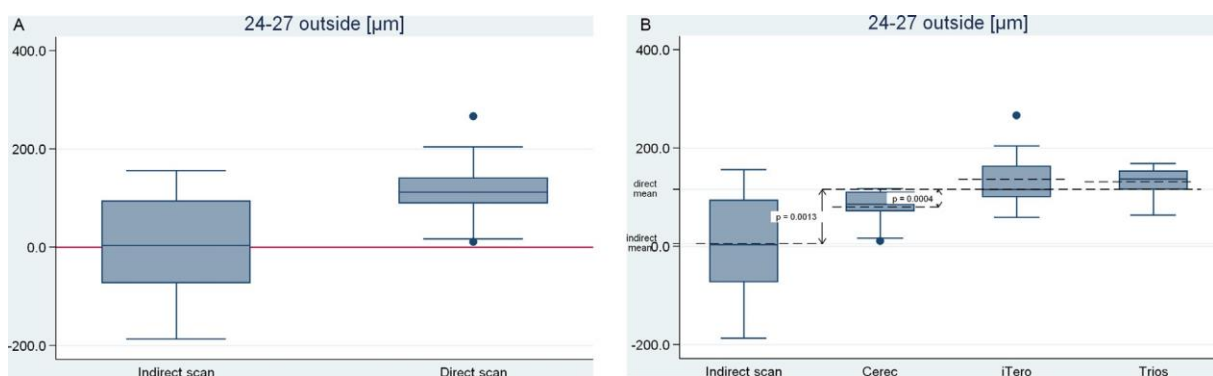




39. ábra A rövid távolságon (24-27 inside) mért eltérések box-plot diagramjai. Az értékek mikrométerben vannak megadva, a referencia távolság a „0” érték. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. J Prosthodont Res. Apr 2017;61(2):177-184.)

### 24–27 fogak külső pontjai, outside „közepes távolság”-on mért eltérések

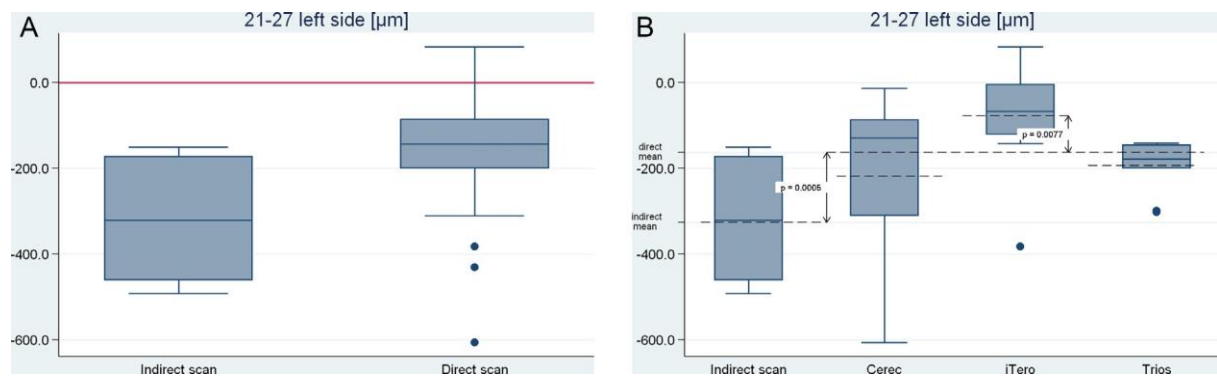
A valódiságot vizsgálva a közepes távolság esetén az indirekt rendszer (laboratóriumi szkennerek) eredményei voltak jobbák (direkt útvonal átlagos eltérése (SD):  $115.8 \pm 50.7 \mu\text{m}$ , az indirekt rendszerek átlagos eltérése (SD):  $-5.2 \pm 111.3 \mu\text{m}$ ). (40. ábra) Az indirekt módszer esetében nem volt szignifikáns eltérés a referenciától ( $p=0.877$ ). A direkt módszer szignifikánsan eltért a referencia értéktől. ( $p < 0.001$ ) Precizitásban a két módszer között az interkvartilis tartomány nem mutatott szignifikáns eltérést ( $p = 0.111$ ), habár a variancia értékek lényeges különbséget mutattak ( $p < 0.001$ ). A szkennerek valódiságát összehasonlítva, a CEREC Omnicam szignifikánsan ( $p < 0.001$ ) jobb eredményt mutatott, míg precizitásban nem találtunk köztük szignifikáns különbséget.



40. ábra A közepes távolságon (24-27 outside) mért eltérések box-plot diagramjai. Az értékek mikrométerben vannak megadva, a referencia távolság a „0” érték. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. J Prosthodont Res. Apr 2017;61(2):177-184.)

## 21-27 fogak legtávolabbi pontjai, „legnagyobb távolság”-on mért eltérések

A valódiság terén szignifikáns különbséget mértünk az intraorális szkennerek (átlagos eltérés (SD):  $-163.5 \pm 145.5$  mm) és az indirekt módszer között (átlagos eltérés (SD):  $-325.8 \pm 134.1$  mm); ( $p < 0.001$ ). A két eljárás eredményei közelebb estek egymáshoz, mint a rövid távolságok esetében, de mindkét útvonal negatív irányba torzított, azaz rövidebbnek mutatta a lemintázott fogívet. Precizitásban nem volt szignifikáns különbség a különböző intraorális szkennerek között. (41. ábra) Az iTero rendszer mutatta a szignifikánsan legjobb valódiság eredményeket a többi szkennerekhez hasonlítva ( $p = 0.008$ ).



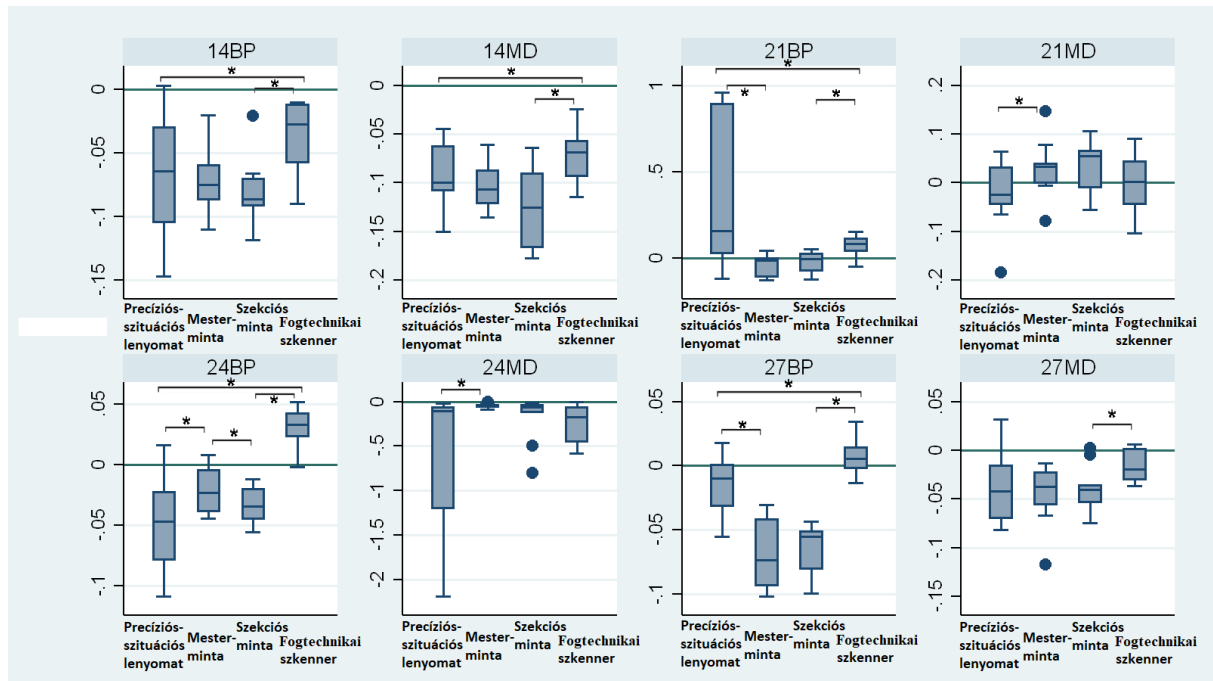
41. ábra A legnagyobb távolságon (21-27 legtávolabbi pontjai) mért eltérések box-plot diagramjai. Az értékek mikrométerben vannak megadva, a referencia távolság a „0” érték. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. *J Prosthodont Res.* Apr 2017;61(2):177-184.)

## Extraorális-laboratóriumi szkennerekkel végzett digitalizálás pontossága – in vitro vizsgálat

A hagyományos precíziós-szituációs lenyomat, az annak kiöntésével nyert mester, majd szekciós modell, és annak laboratóriumi szkennerekkel történő digitalizációjára épülő indirekt CAD/CAM digitalizációs útvonal lépéseit vizsgálva, az alábbi eredményeket kaptuk:

### Preparált fogak átmérőinek változásai

Az indirekt útvonal, azaz a fogtechnikai digitalizációs során valamennyi preparált csont esetében szignifikáns különbség volt mérhető. (42. ábra; 7.; 8. táblázat) Hat esetben a szekciós minták laboratóriumi szkeneres digitalizációja során tapasztaltunk szignifikáns eltérést ( $p < 0,01$ ), 5 esetben a lenyomatok és a mesterminták között mutatkozott szignifikáns eltérés ( $p < 0,05$ ).



42. ábra A preparált fogak átmérőinek változását (FDI 14,21,24,27) a bukko-palatinális és mezo-disztális átmérők változásainak összehasonlításával vizsgáltuk. Az x-tengelyen az indirekt útvonal lépései kerültek feltüntetésre: Precíziós-szituációs lenyomatok, Mesterminták, Szekciós Minták, Fogtechnikai szkener adatai. Az y-tengely a mért eltéréseket mutatja milliméterben. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

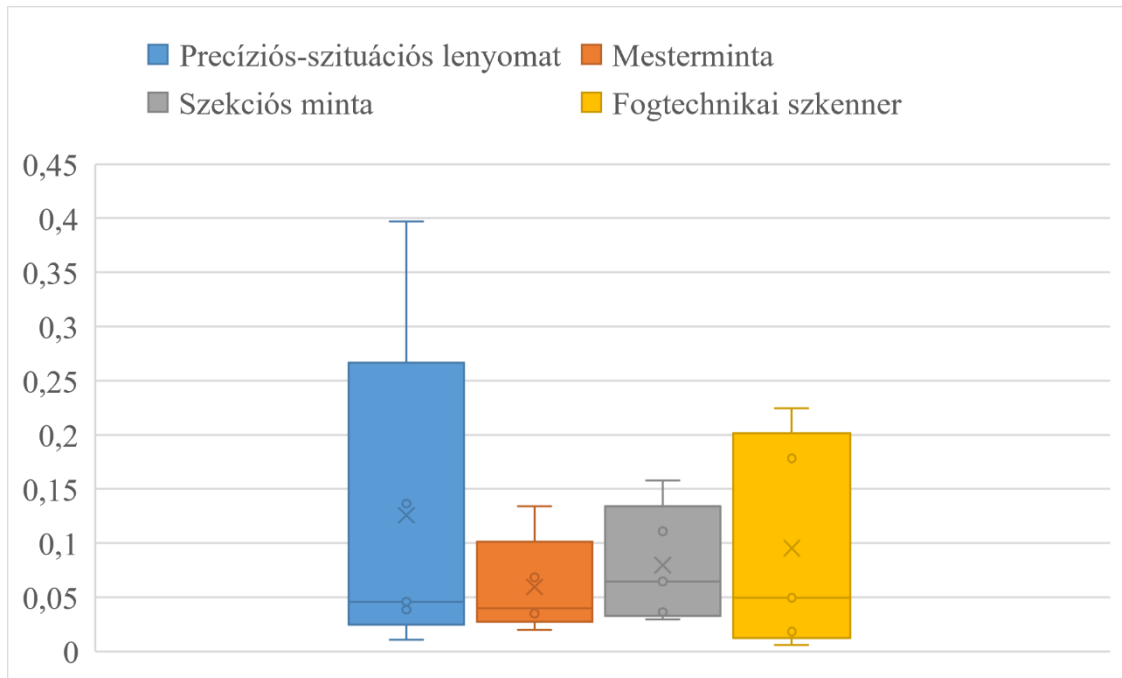
7. táblázat Az indirekt digitalizáció lépései során milliméterben mért változások a preparált csonkok (14,21,24,27) mezio-bukkális (MB) és bukko-palatinális (BP) átmérőin. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

	<b>Q1</b>	<b>Medián</b>	<b>Q3</b>	<b>IQR</b>
<b>14BP</b>				
Lenvomat	-0.115	-0.064	-0.026	0.089
Mesterminta	-0.092	-0.075	-0.058	0.034
Szekciós minta	-0.095	-0.086	-0.069	0.026
Fogtechnikai szkennel	-0.058	-0.027	-0.012	0.046
<b>14MD</b>				
Lenvomat	-0.118	-0.099	-0.061	0.057
Mesterminta	-0.124	-0.107	-0.085	0.039
Szekciós minta	-0.168	-0.125	-0.086	0.082
Fogtechnikai szkennel	-0.095	-0.069	-0.055	0.040
<b>21BP</b>				
Lenvomat	0.026	0.157	0.899	0.873
Mesterminta	-0.107	-0.012	0.004	0.112
Szekciós minta	-0.082	-0.002	0.032	0.114
Fogtechnikai szkennel	0.031	0.083	0.116	0.085
<b>21MD</b>				
Lenvomat	-0.049	-0.025	0.039	0.089
Mesterminta	-0.002	0.033	0.049	0.051
Szekciós minta	-0.012	0.055	0.067	0.079
Fogtechnikai szkennel	-0.048	0.001	0.055	0.103
<b>24BP</b>				
Lenvomat	-0.082	-0.047	-0.019	0.063
Mesterminta	-0.041	-0.023	-0.004	0.036
Szekciós minta	-0.046	-0.034	-0.019	0.027
Fogtechnikai szkennel	0.021	0.033	0.043	0.022
<b>24MD</b>				
Lenvomat	-1.317	-0.108	-0.065	1.253
Mesterminta	-0.063	-0.044	-0.032	0.031
Szekciós minta	-0.217	-0.066	-0.035	0.183
Fogtechnikai szkennel	-0.466	-0.173	-0.056	0.410
<b>27BP</b>				
Lenvomat	-0.033	-0.009	0.002	0.035
Mesterminta	-0.094	-0.073	-0.039	0.055
Szekciós minta	-0.084	-0.055	-0.049	0.034
Fogtechnikai szkennel	-0.004	0.005	0.015	0.019
<b>27MD</b>				
Lenvomat	-0.072	-0.042	-0.004	0.068
Mesterminta	-0.058	-0.037	-0.021	0.038
Szekciós minta	-0.058	-0.041	-0.028	0.030
Fogtechnikai szkennel	-0.031	-0.019	0.002	0.033

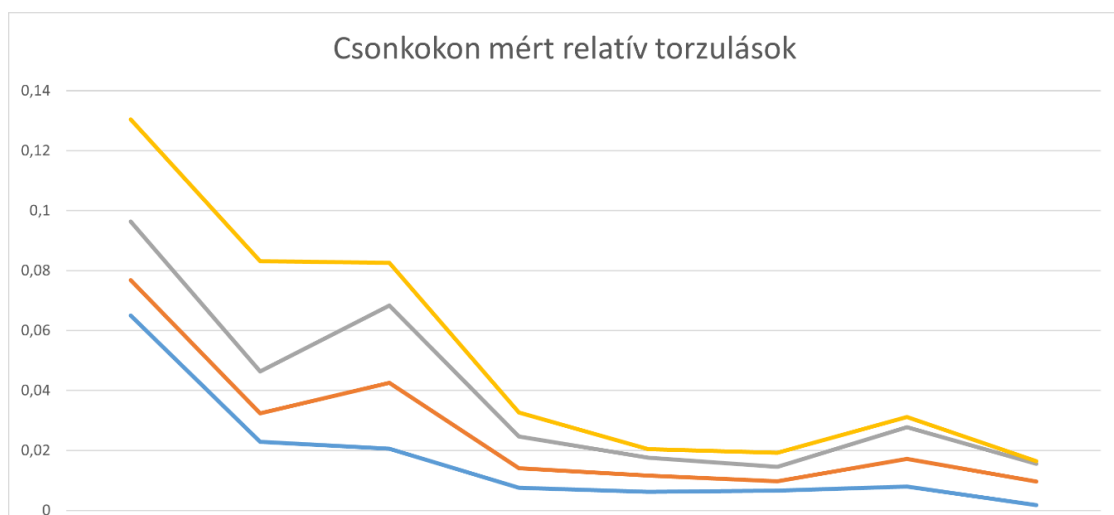
8. táblázat A preparált csonkok átmérőinek változása többszintű, kevert hatásmodalitású lineáris regresszióval kiértékelve. \*- jelöli a szignifikáns eltérést (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

	<b>95%CI</b>	<b>p</b>
<b>14BP</b>		
Lenyomat vs Mesterminta	-0.031, 0.025	0.850
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.016, 0.002	0.103
Szekciós minta vs Fogtechnikai	0.032, 0.063	< 0.001*
Lenyomat vs Fogtechnikai szkennel	0.003, 0.071	0.032*
<b>14MD</b>		
Lenyomat vs Mesterminta	-0.027, 0.009	0.311
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.055, 0.009	0.152
Szekciós minta vs Fogtechnikai	0.028, 0.084	< 0.001*
Lenyomat vs Fogtechnikai szkennel	0.008, 0.040	0.004*
<b>21BP</b>		
Lenyomat vs Mesterminta	-0.702, -0.168	0.001*
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.020, 0.050	0.411
Szekciós minta vs Fogtechnikai	0.066, 0.119	< 0.001*
Lenyomat vs Fogtechnikai szkennel	-0.592, -0.063	0.015*
<b>21MD</b>		
Lenyomat vs Mesterminta	0.024, 0.079	< 0.001*
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.032, 0.044	0.747
Szekciós minta vs Fogtechnikai	-0.069, 0.001	0.060
Lenyomat vs Fogtechnikai szkennel	-0.009, 0.057	0.152
<b>24BP</b>		
Lenyomat vs Mesterminta	0.006, 0.047	0.011*
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.019, -0.004	0.002*
Szekciós minta vs Fogtechnikai	0.056, 0.072	< 0.001*
Lenyomat vs Fogtechnikai szkennel	0.055, 0.103	< 0.001*
<b>24MD</b>		
Lenyomat vs Mesterminta	0.024, 1.024	0.040*
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.288, 0.027	0.104
Szekciós minta vs Fogtechnikai	-0.297, 0.174	0.610
Lenyomat vs Fogtechnikai szkennel	-0.051, 0.715	0.089
<b>27BP</b>		
Lenyomat vs Mesterminta	-0.064, -0.042	< 0.001*
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.007, 0.014	0.487
Szekciós minta vs Fogtechnikai	0.056, 0.083	< 0.001*
Lenyomat vs Fogtechnikai szkennel	0.010, 0.031	< 0.001*
<b>27MD</b>		
Lenyomat vs Mesterminta	-0.048, 0.031	0.663
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.017, 0.024	0.735
Szekciós minta vs Fogtechnikai	0.008, 0.041	0.004*
Lenyomat vs Fogtechnikai szkennel	-0.013, 0.051	0.248

Valamennyi preparált csont átmérőinek valódisága a virtuális modellen szignifikánsan eltért a szekciós mintákon és a lenyomatokon mért értékekhez képest. (43.; 44. ábra; 9. táblázat)



43. ábra Az ábrán a fogtechnikai digitalizáció egyes lépéséhez tartozó 8 csontátmérő relatív torzulásának átlaga látható. A lépések közül a precíziós-szituációs lenyomatoknál volt a legnagyobb mértékű változás. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)



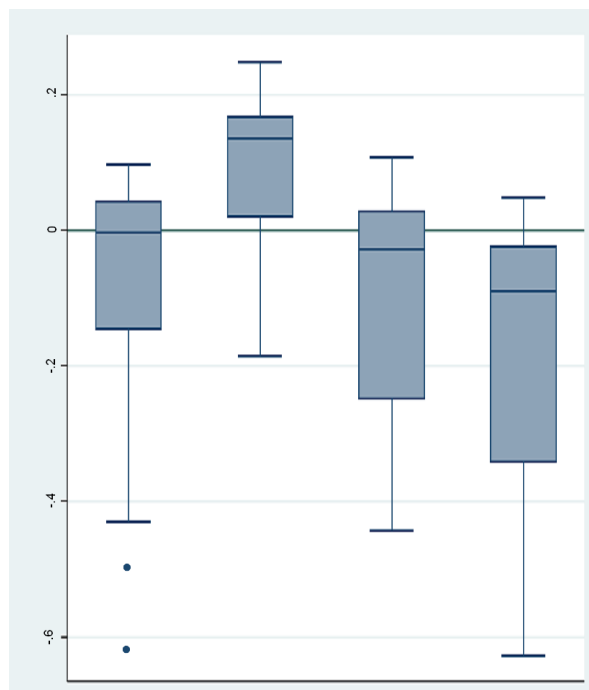
44. ábra A csontokon mért relatív torzulások átlaga (Y tengely) a fogtechnikai digitalizációs munkafolyamat egyes lépéseinél, különböző színnel jelölve. X-tengelyen a csontok referencia méretei mm-ben nagyság szerint növekvő sorba rendezve. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

9. táblázat A indirekt digitalizáció lépései során mért átlagos csonkátmérők változások. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

	<b>Q1</b>	<b>Medián</b>	<b>Q3</b>	<b>IQR</b>
Lenyomat	0.038	0.046	0.136	0.098
Mesterminta	0.035	0.039	0.068	0.033
Szekciós minta	0.036	0.064	0.111	0.075
Fogtechnikai szkennerek	0.018	0.049	0.178	0.160

### Fogív méretének eltérései

Az indirekt digitalizáció valamennyi lépése során szignifikáns eltérést találtunk a vizsgált távolságokon. A lenyomatok (medián  $-0.004$  mm, IQR = 0.198) kiöntésével nyert mestermintákon mért távolságok nőttek (0.136 mm, IQR = 0.157), majd a szekcionált mintákon csökkentek ( $-0.028$  mm, IQR = 0.279), a lenyomatokon mért távolságokat megközelítő értékre. A szekciós modell szkennelésével nyert virtuális modellen a korábbi lépésekben mértnél kisebb értéket ( $-0.089$  mm, IQR = 0.322) kaptunk. (45. ábra; 10. táblázat)



45. ábra A három mért távolságon (kis-, közepes- és legnagyobb távolság) összesített adatok eloszlása. A legkisebb az eltérés a fogtechnikai szkennelés lépésénél. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)



10. táblázat Az indirekt digitalizáció során vizsgált kis-, közepes- és legnagyobb távolság relatív eltérései (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

	Q1	Medián	Q3	IQR
Lenyomat	-0.156	-0.004	0.043	0.198
Mesterminta	0.011	0.136	0.168	0.157
Szekciós minta	-0.250	-0.029	0.028	0.279
Fogtechnikai szkenner	-0.347	-0.089	-0.024	0.322

24-27 fogak legközelebbi pontjai, inside „rövid távolság”-on mért eltérések

A precíziós szituációs lenyomatokon 0.006mm (IQR = 0.071) mértük a legkisebb eltérést a referencia adatokhoz viszonyítva. A mestermintákon 0.149 mm (IQR = 0.034), a szekciós mintákon -0.023 mm (IQR = 0.073) eltérést mértünk. Az fogtechnikai szkenneléssel készített virtuális mintán az eredeti távolsághoz képest -0.086mm (IQR = 0.043) volt az eltérés.

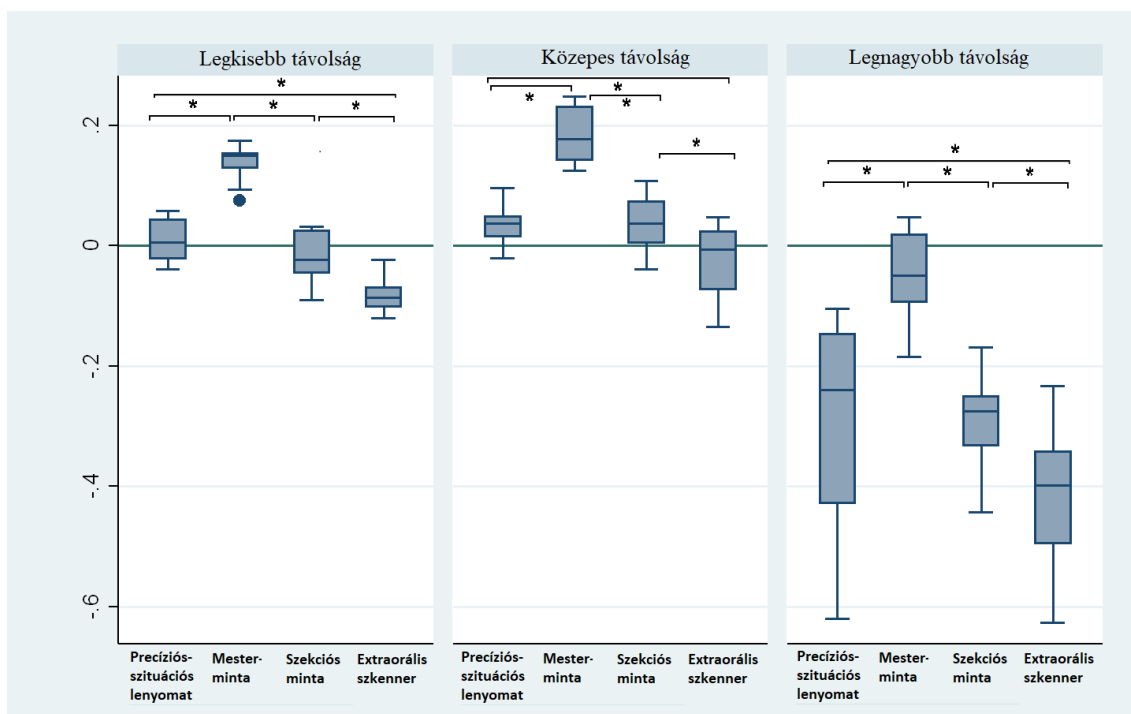
24-27 fogak külső pontjai, outside „közepes távolság”-on mért eltérések

A 24-27 fogak közötti közepes távolságon mért eltérések a lenyomatokon 0.038 mm (IQR = 0.051), a mestermintákon 0.177 mm (IQR = 0.093), a szekciós mintákon pedig 0.037 mm (IQR = 0.075) volt. A közepes távolságon negatív eltérést a laboratóriumi szkenneléssel létrehozott virtuális mintán mértünk - 0.006 mm (IQR = 0.103).

21-27 fogak legtávolabbi pontjai, „legnagyobb távolság”-on mért eltérések

A „legnagyobb távolságon” a lenyomatok esetében mért eltérés -0.240 mm (IQR = 0.306), a mestermintákon -0.050 mm (IQR = 0.13), a szekciós mintákon -0.276 mm (IQR = 0.121) és a laboratóriumi szkenneléssel digitalizált virtuális modell valóságának eltérése: -0.398 mm (IQR = 0.169). Az indirekt digitalizáció valamennyi lépése során szignifikáns eltérést mértünk a vizsgált távolságokon. Szignifikáns különbség volt a lenyomatok és a laboratóriumi szkenneléssel készített virtuális modellek között, valamint a szekciós minták referencia szkenneléssel létrehozott adatai és a laboratóriumi szkenneléssel létrehozott adatai között ( $p < 0.01$ ). A vizsgált távolságok változásait értékelve elmondhatjuk, hogy a legkisebb eltérést minden esetben az utolsó lépés, a laboratóriumi szkenneléssel végzett digitalizáció során tapasztaltunk.

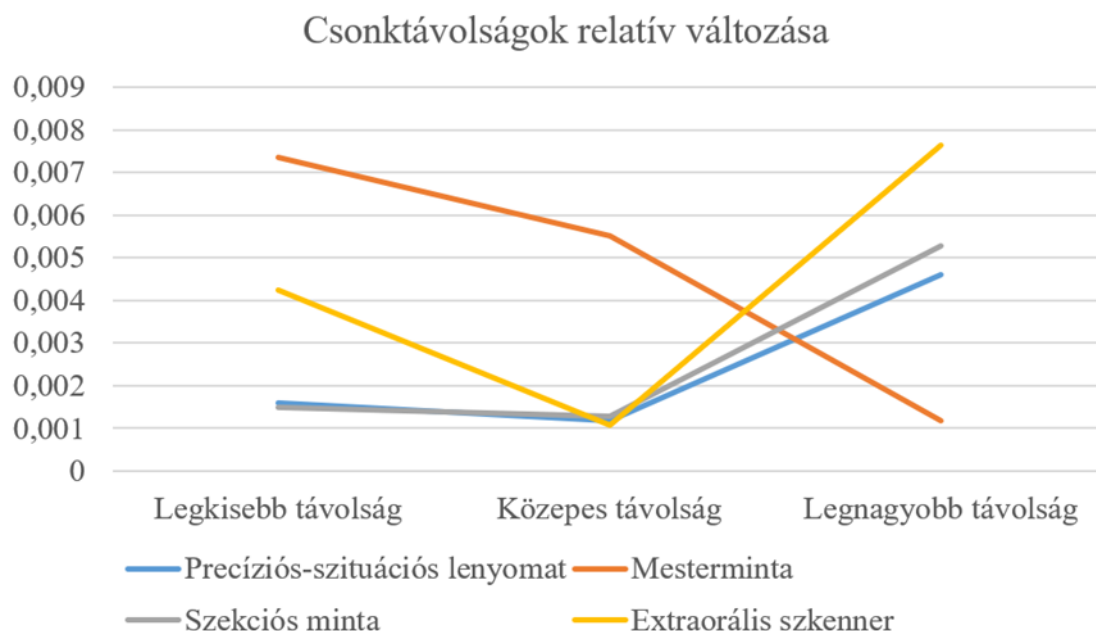
Az indirekt digitalizációs lépések során a laboratóriumi szkennerral létrehozott virtuális fogcsonkok nagyobb eltérést mutattak, mint a szekciós minták csonkjai, és a csonkok között lévő távolság csökkent. (46. ábra; 11. táblázat) A csonkok közötti távolság (rövid-közepes vagy nagy távolság) és a torzulás mértéke között nem volt összefüggés. (47. ábra; 12.; 13. táblázat)



46. ábra Az indirekt digitalizációs útvonal egyes lépéseinél mért abszolút eltérések a rövid távolság (24-27 legközelebbi pontjai között), közepes távolság (24-27 legtávolabbi pontjai között) és a legnagyobb távolság (21-27 legtávolabbi pontjai között) esetében (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

11. táblázat Az indirekt digitalizációs lépések milliméterben mért változásai rövid-(24-27 inside), közepes- (24-27 outside) és legnagyobb távolságon (21-27 legtávolabbi pontjai között) (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

	Q1	Medián	Q3	IQR
<i>Rövid távolság</i>				
Lenyomat	-0.023	0.006	0.048	0.071
Mesterminta	0.120	0.149	0.154	0.034
Szekciós minta	-0.048	-0.023	0.026	0.073
Fogtechnikai szkennerek	-0.105	-0.086	-0.062	0.043
<i>Közepes távolság</i>				
Lenyomat	0.010	0.038	0.061	0.051
Mesterminta	0.139	0.177	0.232	0.093
Szekciós minta	0.004	0.037	0.080	0.075
Fogtechnikai szkennerek	-0.075	-0.006	0.029	0.103
<i>Legnagyobb távolság</i>				
Lenyomat	-0.447	-0.24	-0.140	0.306
Mesterminta	-0.105	-0.050	0.026	0.130
Szekciós minta	-0.355	-0.276	-0.234	0.121
Fogtechnikai szkennerek	-0.498	-0.398	-0.329	0.169



47. ábra Az indirekt digitalizáció lépéseinek vizsgálata a távolságok nem lineáris relatív torzulását mutatta (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

12. táblázat Az indirekt digitalizációs lépések között szignifikáns eltérést mutatott a lineáris regressziós statisztikai analízis. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

	95%CI	p
<i>Rövid távolság</i>		
Lenyomat vs Mesterminta	0.109, 0.141	< 0.001
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.186, -0.13	< 0.001
Szekciós minta vs Fogtechnikai szkener	-0.083, -0.038	< 0.001
Lenyomat vs Fogtechnikai szkener	-0.118, -0.069	< 0.001
<i>Közepes távolság</i>		
Lenyomat vs Mesterminta	0.103, 0.159	< 0.001
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.161, -0.128	< 0.001
Szekciós minta vs Fogtechnikai szkener	-0.075, -0.02	< 0.001
Lenyomat vs Fogtechnikai szkener	-0.094, -0.027	< 0.001
<i>Legnagyobb távolság</i>		
Lenyomat vs Mesterminta	0.162, 0.312	< 0.001
Mesterminta vs Szekciós minta	-0.291, -0.195	< 0.001
Szekciós minta vs Fogtechnikai szkener	-0.173, -0.071	< 0.001
Lenyomat vs Fogtechnikai szkener	-0.208, -0.047	0.002

13. táblázat A rövid-közepes és legnagyobb távolságok vizsgálata során a távolság növekedése és a torzulás mértéke között nem volt összefüggés. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)

	<b>Rövid távolság</b>	<b>Közepes távolság</b>	<b>Legnagyobb távolság</b>
Lenyomat	0.002	0.001	0.005
Mesterminta	0.007	0.006	0.001
Szekciós minta	0.001	0.001	0.005
Fogtechnikai szkener	0.004	0.001	0.008

## Intraorális szkennerek tanulási görbéje – in vivo vizsgálat

Az intraorális szkennerek ismételt használatával a szkennelési idő és a rögzített képek száma is csökkent.

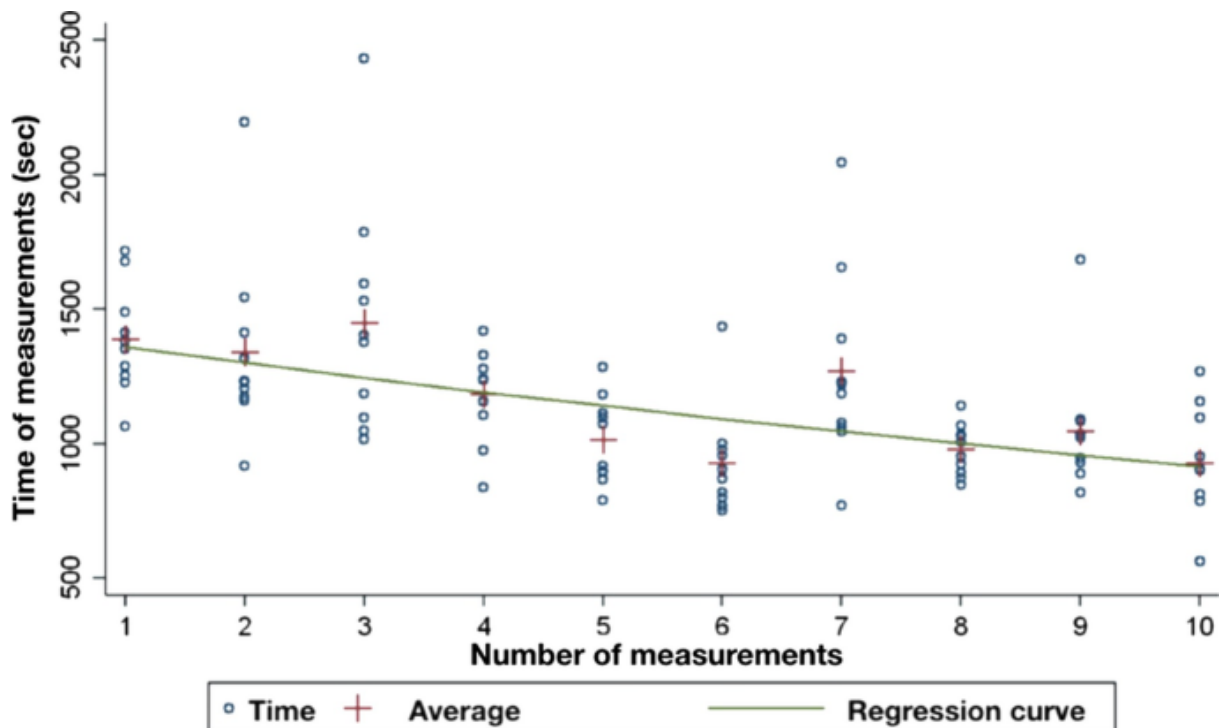
100 mérés eredményeinek kiértékelése során láthatjuk, hogy a lenyomatvételek teljes idejének átlaga csökken (első szkenneléskor 23 p. 9 mp., tizedik szkenneléskor 15 p. 28 mp.). Szignifikáns különbség volt az első és tizedik lenyomatvételek ideje között (7 p. 41 mp.).

Az összesített képszám értékek átlaga az első mérésnél 1964,5 kép, a tizedik mérésnél az érték 1468,6. A képszámok átlagának változásában (495, 9) egyenletes csökkenő tendencia nem figyelhető meg.

### Tanulási görbe a szkennelési idő függvényében

A szkenneléshez szükséges időigény esetében a logaritmikus regressziós analízis segítségével a tanulási görbéről megfelelő jellemzést tudunk adni. Az értékekre ráfektetett görbét megfigyelve, láthatjuk, hogy az a klasszikus tanulási görbe második szakaszán helyezkedik el.

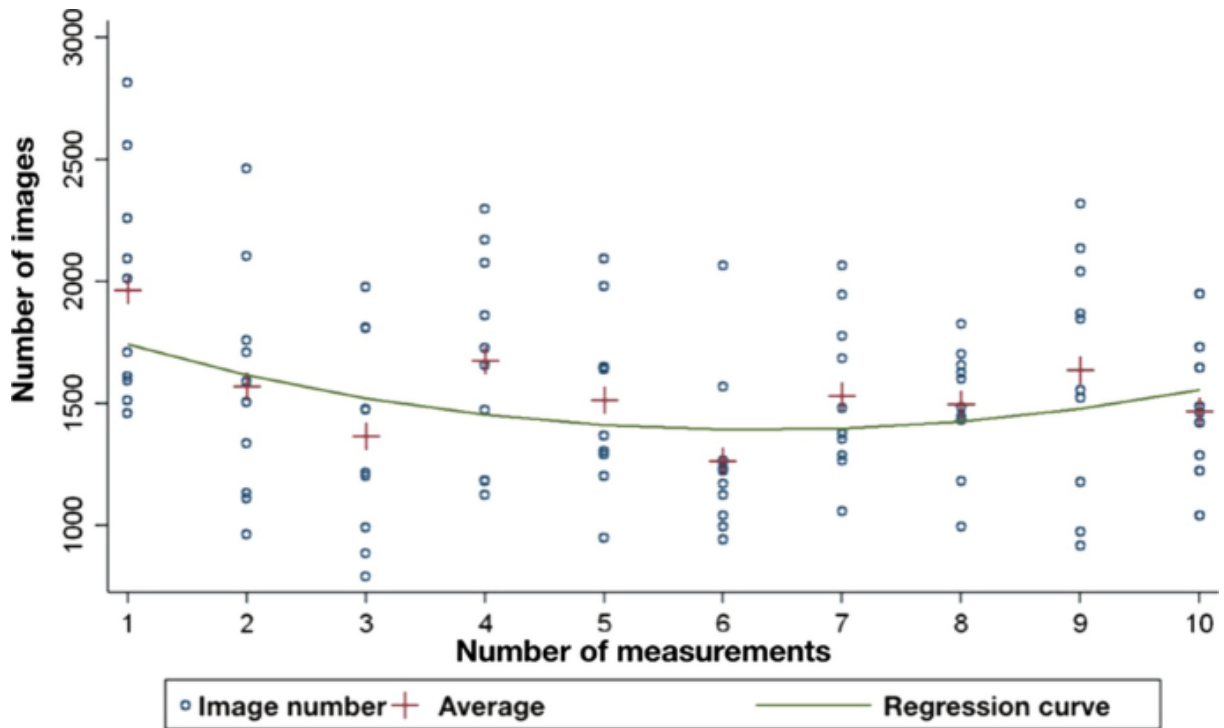
(48. ábra)



48. ábra Regressziós görbe a szkennelési idő és a mérések számának függvényében. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.)

## Tanulási görbe a képszám függvényében

A képszámok esetén négyzetes regressziós analízis hozta a megfelelő jellemzést. Látható, hogy körülbelül a hatodik mérésnél van egy törés a görbe lefutásában, illetve a hatodik mérés után a képszám értékek emelkednek. Feltehetően a tanulási görbe középső és utolsó harmadának határa látható a görbén. (49. ábra)

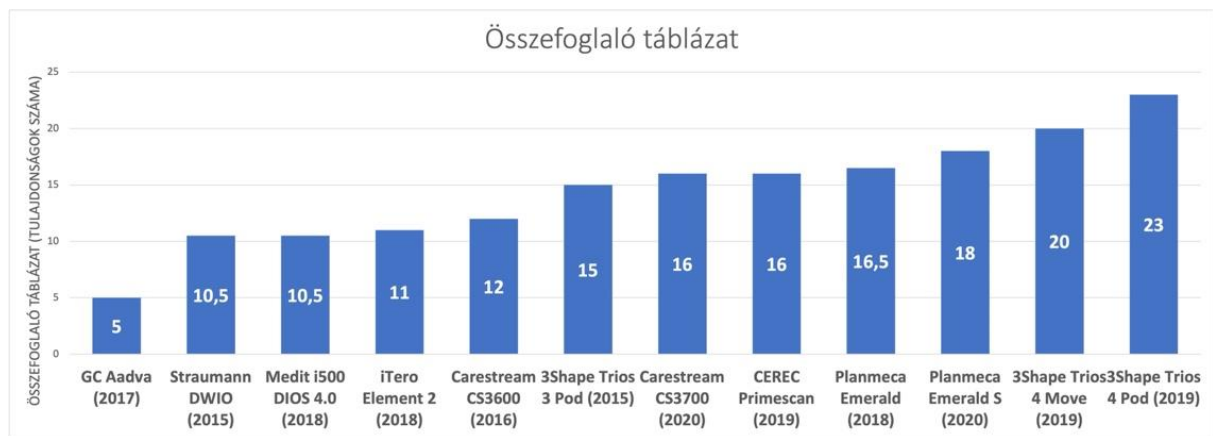


49. ábra Regressziós görbe a képszám és a mérések számának függvényében. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.)

## Intraorális szkennerek értékelése egységes szempontrendszer alapján

### Összefoglaló táblázat

Az összefoglaló táblázat eredményeit nézve, a 3Shape Trios 4 Pod (23/26 tulajdonság, 10 pont) a legtöbb speciális tulajdonsággal bíró szkennerek; legkevesebb speciális tulajdonsága pedig a GC Aadvá (5/26 tulajdonság, 0 pont) szkennereknek van. A további szkennerek az összefoglaló táblázat alapján kapott pontszámok csökkenő sorrendjében 3Shape Trios 4 Move (8.33 pont), Planmeca Emerald S (7.22 pont), Planmeca Emerald (6.39 pont), CEREC Primescan (6.11 pont), Carestream CS3700 (6.11 pont), 3Shape Trios 3 Pod (5.56 pont), Carestream CS3600 (3.89 pont), iTero Element 2 (3.33 pont), Medit i500 (3.06 pont) és Straumann DWIO (3.06 pont). Az összefoglaló táblázat eredményeit az 50. ábra mutatja.



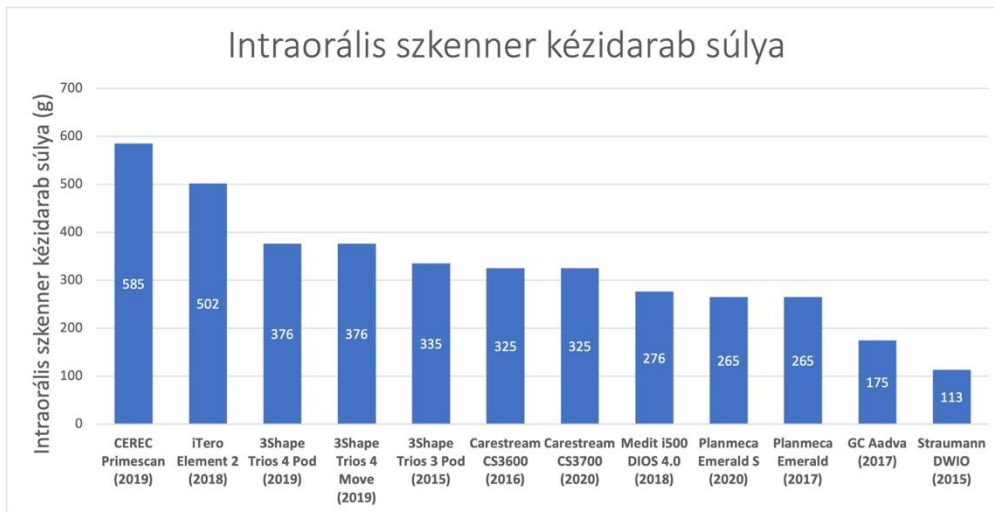
50. ábra Az Összefoglaló táblázat eredményei.

### Ergonómia (szkennerek kézzidarab súlya és fejrület)

Az összehasonlító értékelés során a legkönnyebb kézzidarabbal a Straumann DWIO IOS (113 g, 2.24 pont), a legnehezebb kézzidarabbal a CEREC Primescan (585 g, 0 pont) rendelkezett. A kézzidarab súlya pontok csökkenő sorrendje szerint:

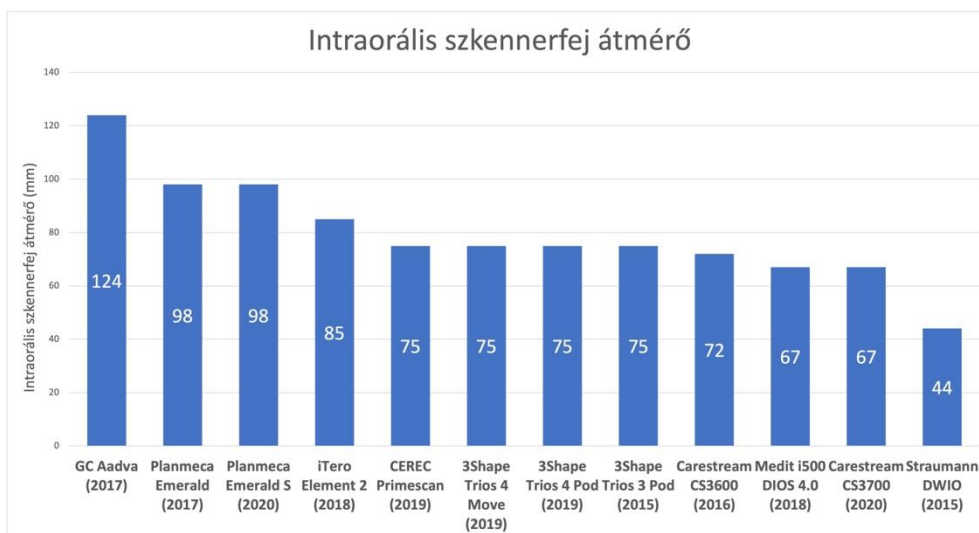
GC Aadvá (1.95 pont), Planmeca Emerald (1.63 pont), Planmeca Emerald S (1.52 pont), Medit i500 (1.47 pont), Carestream CS3700 (1.25 pont), Carestream CS3600 (1.24 pont), 3Shape Trios 3 Pod (1.19 pont), 3Shape Trios 4 Move (1.00 pont), 3Shape Trios 4 Pod (0.99 pont) és iTero Element 2 (0.39 pont). (51. ábra)





51. ábra Intraorális szkennerek kézi darab súlya eredmények.

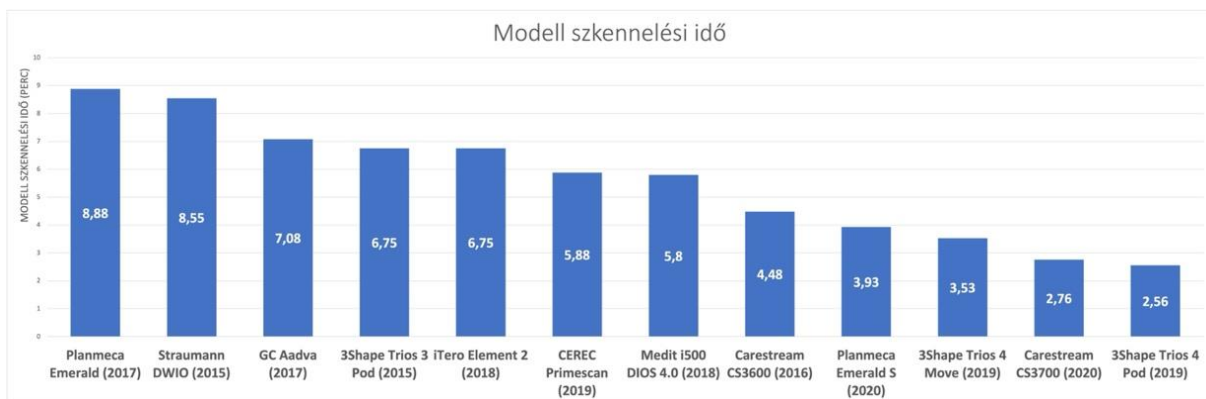
A legkisebb fejkerület értéket a Straumann DWIO (44 mm, 2.26 pont), a legnagyobb fejkerület értéket pedig a GC Aadva (124 mm, 0 pont) esetében mértünk. A fejkerület pontok csökkenő sorrendje szerint Carestream CS3700 (1.61 pont), Medit i500 (1.57 pont), 3Shape Trios 3 Pod (1.50 pont), Carestream CS3600 (1.47 pont), 3Shape Trios 4 Pod (1.44 pont), 3Shape Trios 4 Move (1.38 pont), CEREC Primescan (1.38 pont), Planmeca Emerald S (1.13 pont), iTero Element 2 (1.10 pont) és Planmeca Emerald (0.72 pont). (52. ábra)



52. ábra Intraorális szkennerek fejkerület mértéke eredmények.

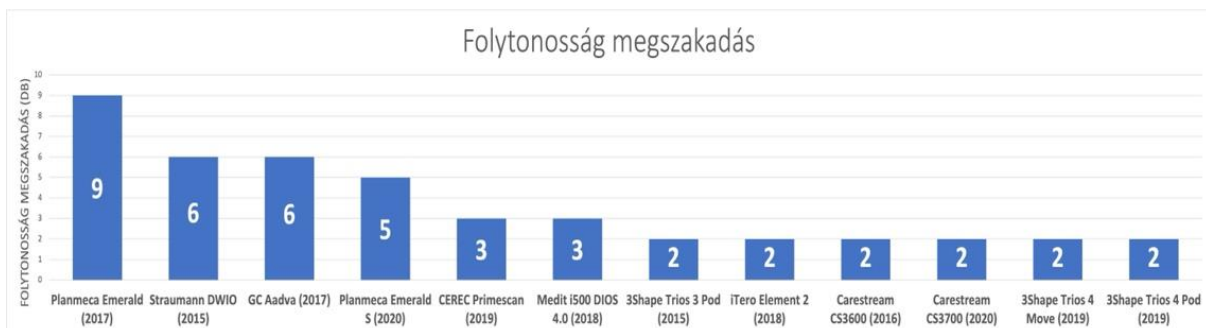
### Szkennelési idő és folytonosság megszakadás

Az in vitro szkennelési időeredményeket az 53. ábra mutatja. A leggyorsabb szkennelési időt a 3Shape Trios 4 Pod (2.56 perc, 2.5 pont), a leglassabb szkennelési időt pedig a Planmeca Emerald (8.88 perc, 0 pont) esetén mértük. A további IOS rendszerek a szkennelési sebesség csökkenő sorrendje szerint Carestream CS3700 (2.42 pont), 3Shape Trios 4 Move (2.12 pont), Planmeca Emerald S (1.96 pont), Carestream CS3600 (1.74 pont), Medit i500 (1.22 pont), CEREC Primescan (1.19 pont), iTero Element 2 (0.84 pont), 3Shape Trios 3 Pod (0.84 pont), GC Aadvá (0.71 pont) és Straumann DWIO (0.13 pont).



53. ábra Szkennelési sebesség eredmények.

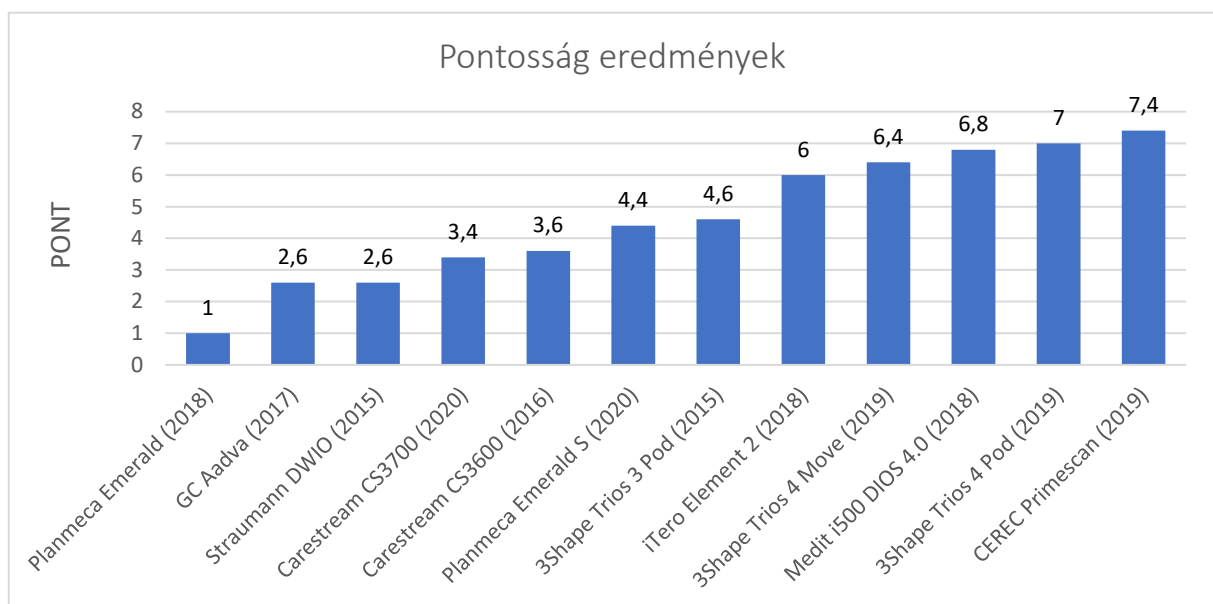
A szkennelési folyamat folytonosságának értékelése során a legjobban teljesítő IOS rendszerek átlagosan 2 folytonosság megszakadással dolgoztak (2.5 pont), ilyen szkennerek a 3Shape Trios 3 Pod, iTero Element 2, Carestream CS3600, Carestream CS3700, 3Shape Trios 4 Move és 3Shape Trios 4 Pod. A Planmeca Emerald átlag 9 folytonosság megszakadással a vizsgált paraméterben legrosszabbul teljesített (0 pont). A további IOS rendszerek a folytonosság megszakadás pontok emelkedő sorrendje szerint Straumann DWIO (1.07 pont), GC Aadvá (1.07 pont), Planmeca Emerald S (1.43 pont), CEREC Primescan (2.14 pont) és Medit i500 (2.14 pont). A szkennelési folyamat folytonosságának eredményeit az 54. ábra mutatja.



54. ábra Folytonosság megszakadás eredmények.

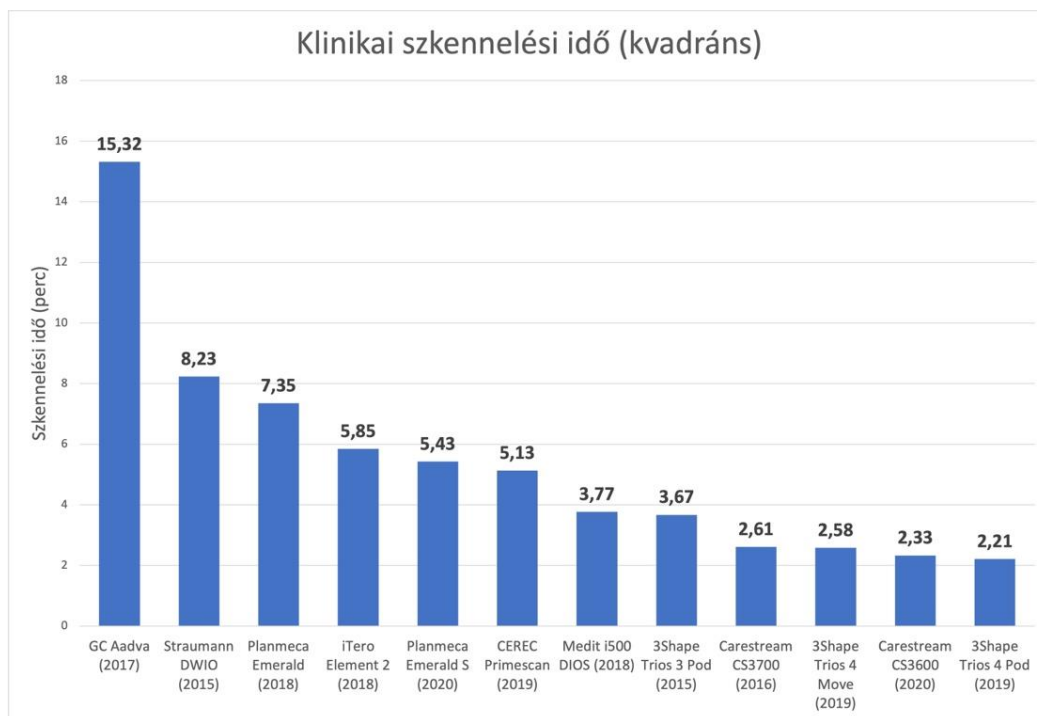
## Pontosság

A pontosság (valódiság + precizitás) eredményeket az 55. ábra mutatja. Vizsgálatunkban a legpontosabb szkener a CEREC Primescan (valódiság 4.2 pont + precizitás 3.2 pont = 7.4/10 pont). A pontosság vizsgálata során a legrosszabbul a Planmeca Emerald teljesített (valódiság 0.4 pont + precizitás 0.6 pont = 1/10 pont). A további IOS rendszerek a pontosság csökkenő sorrendje szerint Trios 4 Pod (7/10 pont), Medit i500 (6.8/10 pont), 3Shape Trios 4 Move (6.4/10 pont), iTero Element 2 (6/10 pont), 3Shape Trios 3 Pod (4.6/10 pont), Planmeca Emerald S (4.4/10 pont), Carestream CS3600 (3.6/10 pont), Carestream CS3700 (3.4/10 pont), GC Aadvia (2.6/10 pont), and Straumann DWIO (2.6/10 pont).

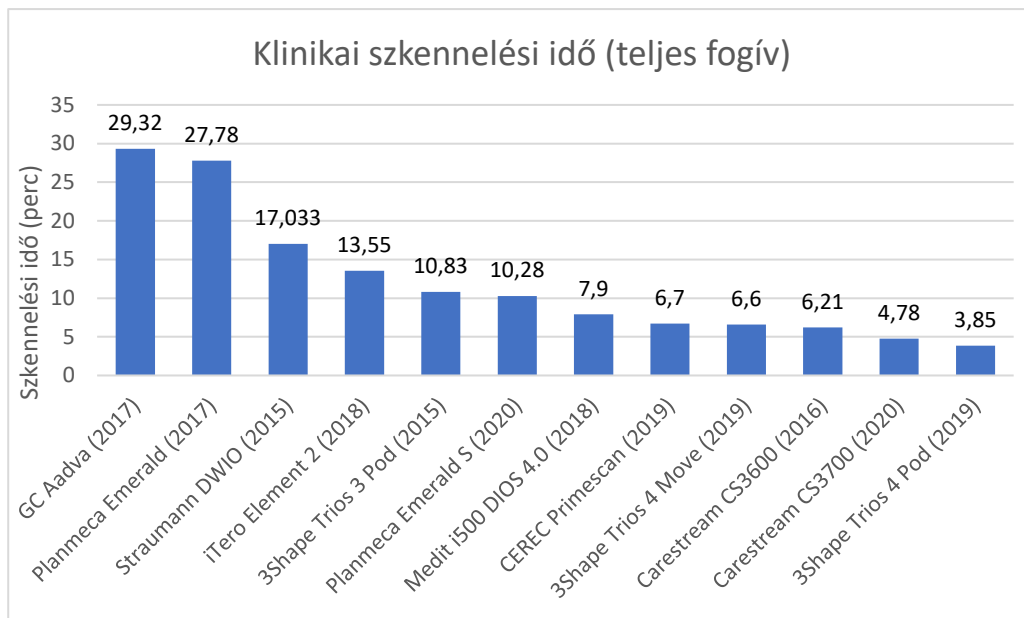


55. ábra Pontosság mérések eredményei (valódiság + precizitás).

Vizsgálatunk során a leggyorsabb IOS a teljes fogív és a kvadráns klinikai szkennelésekor a 3Shape Trios 4 Pod (3.85 perc teljes fogív, 2.21 perc kvadráns szken) volt. A leglassabb IOS a teljes fogív és a kvadráns klinikai szkennelésekor a GC Aadva (29.32 perc teljes fogív, 15.32 perc teljes fogív). Az 56. és 57. ábra mutatja a teljes fogív és a kvadráns szkennelések idejét a klinikai vizsgálatok során. Az in vivo szkennelési időeredményekhez nem rendeltünk pont értéket.



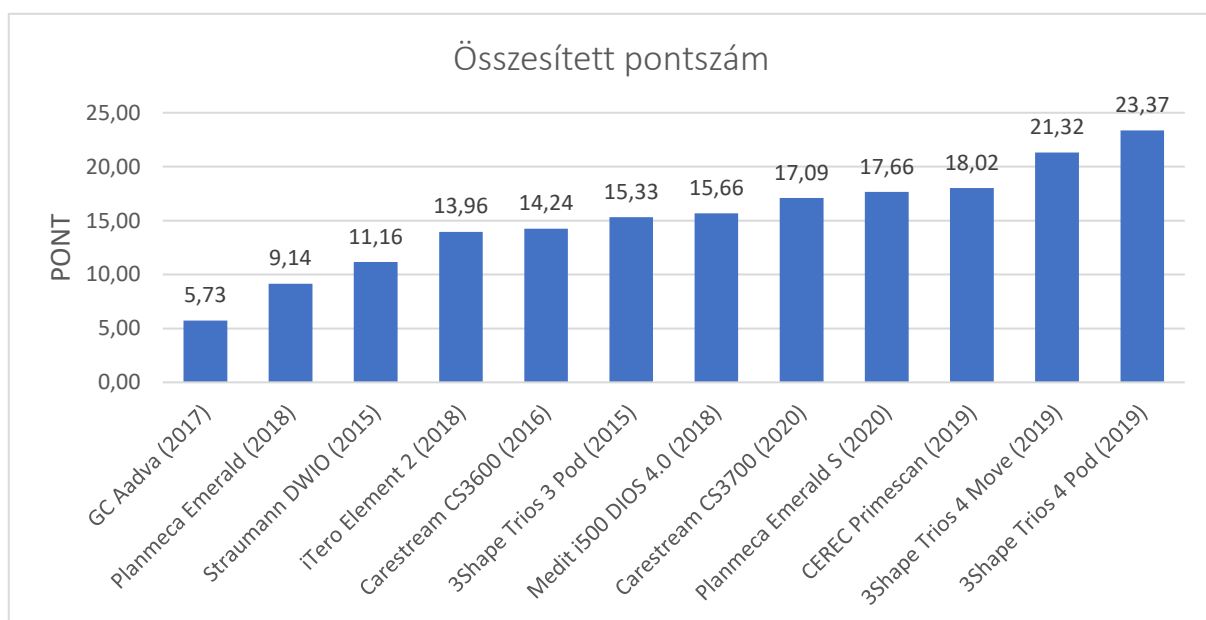
56. ábra Klinikai szkennelési időeredmények kvadráns digitális lenyomatvételek esetén.



57. ábra Klinikai szkennelési időeredmények teljes fogív digitális lenyomatvételek esetén.

### Összesített pontszám

Vizsgálatunk során a 3Shape Trios 4 Pod érte el a legmagasabb összesített pontszámot (23,37 pont). A GC Adva 5,73/30 pontszáma vizsgálatunk legalacsonyabb pontszáma. A további IOS rendszerek pontszáma csökkenő sorrendben 3Shape Trios 4 Move (21.32 pont), CEREC Primescan (18.02 pont), Planmeca Emerald S (17.66 pont), Carestream CS3700 (17.09 pont), Medit i500 (15.66 pont), 3Shape Trios 3 Pod (15.33 pont), Carestream CS3600 (14.24 pont), iTero Element 2 (13.96 pont), Straumann DWIO (11.16 pont), and Planmeca Emerald (9.14 pont). (58. ábra)



58. ábra Intraorális szkennerek összehasonlításának összesített pontszámai.

## Megbeszélés

### A digitális lenyomatvételi technológia pontosságának vizsgálata

A digitális lenyomatvétel pontosságának méréséhez vizsgálhatjuk az elkészült fogpótlások pontosságát vagy a szkennelés során létrehozott STL fájlokat.<sup>10,23,38,46-49,51,67,72,92,110,150,180</sup>

Henkel és munkatársai vizsgálatukban 4 klinikai paraméter alapján hagyományos és digitális lenyomatvétellel készített koronákat hasonlítottak össze, amelyek a széli záródás, a retenció, a kontakt pontok, valamint az okklúzió voltak. A digitális lenyomatra készülő koronák 85%-a, míg az analóg lenyomatra készülő 74%-a volt klinikailag elfogadható. 68%-ban a digitális lenyomatra készült korona került átadásra.<sup>72</sup> Egy 2015-ben végzett vizsgálat azt az eredményt hozta, hogy a digitális lenyomatvétellel készített fogpótlások pontossága megközelíti azt a 0,05 mm-es minimális pontosságot, amely a szilikon és poliéter lenyomatok alapján készített fogpótlások határértéke.<sup>49</sup> A digitális lenyomatvétel digitalizációs munkafolyamatának különböző fázisaiban az adatok torzulhatnak. Güth és munkatársai vizsgálatukban a szájképletek direkt digitalizációját találták a legpontosabbnak, ezt követte pontosságban a lenyomatok digitalizációja, és ez után következett a gipszminták szkennelésével nyert virtuális modell pontossága.<sup>66</sup> Következő vizsgálatukban poliéter lenyomatok szkennelését hasonlították össze az intraorális szkennelés eredményeivel. A direkt digitális lenyomatvétel pontosabb eredményt adott, ugyanakkor a vizsgált intraorális szkennerek pontosságában is eltérések adódtak.<sup>67</sup> Az intraorális szkennerekkel folytatott vizsgálatok rámutattak, hogy a különböző gyártmányú intraorális szkennerek valódisága és precizitása eltérő. Patzelt és munkatársai 2015-ben az alábbi pontosság sorrendet állították fel az intraorális szkennerek között: 3Shape Trios, 3M True Definition, iTero, CS3500, CEREC Omnicam, Plammeca Planscan.<sup>68</sup>

Magas a száma azon vizsgálatoknak, amelyek az intraorális szkennerek pontosságát térképezik fel in vitro vagy klinikai körülmények között, vagy az elkészített fogpótlások pontosságán keresztül.<sup>2,23,47,48,57,65,67,68,72,92,118,143,150,166,180,187,191,206,212</sup> Az intraorális szkennelés alapján létrejövő virtuális modell pontosságát számos tényező befolyásolja, mint a leképezendő fogív hossza<sup>46-49,51,59,67,150,180</sup>, a relatív információszegény területek (fogatlan állcsontgerinc vagy a palatum), ahol az információ könnyebben torzul.<sup>59,150</sup>

Denissen és munkatársai intraorális szkennerek pontosságát vizsgálták az elkészült fogpótlások illeszkedése alapján.<sup>38</sup> Vizsgálatukban Cicero, Procera és Cerec2 rendszerrel készítették digitális lenyomatot klinikai körülmények között, a páciensek betéthez preparált

fogairól. Az indirekt útvonal hidrokolloid hagyományos lenyomatainak keménygipsz kiöntését követően a Cicero és a Procera rendszerrel digitalizált virtuális modellekre készültek a fogpótlások. A CEREC2 rendszer esetében a direkt digitális lenyomatvétel virtuális modelljére készültek a betétek. Az elkészült fogpótlások széli záródási vonala mentén mért rés CEREC2 esetében 85 µm, CICERO-nál 74 µm, Procera-nál 68 µm volt. Betétek készítéséhez mindhárom rendszer alkalmasnak bizonyult. A betétek pontosságát a preparációs forma és a gyártás folyamata is nagyban befolyásolta.<sup>38</sup> Boeddinghaus és munkatársai direkt és indirekt digitális útvonalon készített cirkónium-dioxid koronák illeszkedését vizsgálták.<sup>23</sup> A direkt útvonal, intraorális szkennelést vett lenyomatokra (Cerec Omnicam, Trios, Lava True Definition) készített koronáinak széli záródás pontosság értéke 90-220 µm és az indirekt útvonalon készített koronák esetében az érték 150 µm volt. Az intraorális szkennelést vett lenyomatra készülő koronák pontossága az indirekt útvonalon, fogtechnikai digitalizációval készült koronák pontosságával azonos lehet.<sup>23</sup> Henkel és munkatársainak vizsgálata szintén hasonló eredményt hozott. Az intraorális szkennelést vett lenyomat alapján készített koronák pontossága jobb értéket mutatott, mint a hagyományos lenyomatvétel alapján készülő koronáké.<sup>72</sup> Almeida és munkatársai digitális (Lava Cos) és hagyományos lenyomatokra készített négytagú cirkónium-dioxid hídpótlások széli záródásának illeszkedését vizsgálták.<sup>10</sup> Az intraorális szkennelést vett lenyomatra készített fogpótlások illeszkedése (65 µm) valamivel pontosabbnak bizonyult.<sup>10</sup> Keul és munkatársai in vitro vizsgálatuk során négytagú fém és cirkónium-dioxid hídpótlások illeszkedését vizsgálták. Az optikai fogtechnikai szkennelést (Straumann CARES CS2, Straumann, Basel, Switzerland) digitális lenyomatára készített fogpótlásokat az intraorális szkennelést vett lenyomatra készített fogpótlások széli záródásához hasonlították. Azon fémvázak pontossága, amelyek az intraorális szkennelést vett lenyomatra készültek, jobbnak bizonyultak. A cirkónium-dioxid vázak esetén nem volt ilyen különbség megfigyelhető. Az alkalmazott digitalizációs útvonaltól függetlenül a fémvázak széli záródása pontosabb értékeket mutatott, mint a cirkónium-dioxid vázak. Az intraorális szkennelést és az optikai fogtechnikai szkennelést is megfelelően pontosnak bizonyult fogpótlások készítéséhez.<sup>92</sup>

Az intraorális szkennelést alapuló direkt útvonal pontossága egyre jobban megközelítette a hagyományos lenyomatokon alapuló indirekt útvonal pontosságát,<sup>46-49,51,110,150,180</sup> és az intraorális szkennelést pontossága a folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően ugrásszerűen nő. Az elmúlt 10 év vizsgálatai alapján, az már nem kérdéses, hogy az intraorális és a fogtechnikai szkennelést is biztonsággal alkalmazhatóak a fogív rövidebb szakaszának (kvadráns) szkennelésre és egytagú fogpótlások (betét, korona) készítésére.<sup>23,38,72</sup> Keul és munkatársai,



valamint Almeida és munkatársai 2014-es vizsgálataik során négytagú fogpótlások pontosságát találták elfogadhatónak,<sup>10,92</sup> és a 2016-ig megjelent publikációk fél fogív távolságban limitálták az intraorális szkenneléssel pontosan leképezhető távolságot.<sup>46-49,51,67,150,180,187</sup> Azon vizsgálatok esetében, ahol a fogpótlások illeszkedésén keresztül értékelték a digitális lenyomatvétel pontosságát, a kiértékelést nehezíti, hogy a CAD/CAM munkafolyamat lépéseinek befolyásoló hatása is érvényesült.<sup>10,23,38,72,92</sup> A 2010-es évek végén az Egyesült Államokban a fogorvosok 5-10%-a már használt intraorális szkennert, a digitalizáció rohamos globális terjedésével pedig ez az arány azóta folyamatosan nő.<sup>160,212</sup> A felhasználók érdeklődésével, és piacon megjelenő szkennerek számának folyamatos növekedésével párhuzamosan emelkedik a szkennerek pontosságát vizsgáló publikációk száma is.<sup>15,32,63,78,79,98,102,146,161,163,164,177,196,204</sup> Míg egyes kutatócsoportok az intraorális szkennerek pontossága között különbségeket vizsgálják,<sup>15,102,195</sup> számos olyan cikk jelent meg az irodalomban, amely a szkennerek pontosságát befolyásoló külső tényezőkre helyezik a hangsúlyt. Mangano és munkatársai 2020-as vizsgálatukban 12 intraorális szkennert valódiságát teljes fogíven vizsgálták in vitro körülmények között, implantátumon elhorgonyozott nagy kiterjedésű fogpótlások készítésének szempontjából, és szignifikáns különbséget találtak az egyes szkennerek között. Bizonyos szkennerek alkalmasabbak lehetnek a teljes fogív leképezésére, ugyanakkor felhívják a figyelmet az egyéb befolyásoló tényezők szerepére.<sup>121</sup> A leképezés pontosságát befolyásolja az erős külső megvilágító fény,<sup>98,163,164</sup> a preparált és szomszédos fogak közötti fogatlan ív hosszúsága,<sup>78</sup> és a szkennert szoftververziója is.<sup>177,196</sup> A pontos lenyomatvételhez a helyes szkennelési stratégia alkalmazása is fontos.<sup>25,79,146,196</sup> A szkennelő személy tapasztaltsága is befolyásolja a leképezés pontosságát.<sup>204</sup> A szkennelésben jártas felhasználó rövidebb idő alatt, pontosabb és kisebb méretű fájlt hoz létre.<sup>161,169</sup> A hiányos vagy hibás intraorális szkennelési felvételek további felvételek hozzáadásával javíthatók, Gomez-Polo és munkatársai azonban azt a következtetést vonták le vizsgálatuk során, hogy a hozzáadott felvételek a pontosság romlását eredményezhetik.<sup>63</sup> Az intraorális szkennerek felbontása változtatható a lenyomatvétel során. Chiu és munkatársai nagy felbontású szkennelési módban, és normál felbontással létrehozott virtuális modellek pontosságát összehasonlítva arra az eredményre jutottak, hogy a szkennert a normál felbontással készített leképezésre van optimalizálva. Nagy felbontású üzemmódban a virtuális modell pontossága nem nőtt.<sup>32</sup> A pontosság értékelésével kapcsolatosan mindenképpen szem előtt kell tartani, hogy az elérhető intraorális szkennert készülékek folyamatos fejlesztésen mennek keresztül, a hardware és szoftverfrissítések a pontosságra befolyásoló hatással vannak.<sup>168,177,196</sup>

## Direkt és indirekt CAD/CAM digitalizációs rendszerek pontosságának összehasonlítása – in vitro vizsgálat

Preparált csonk esetén az intraorális szkennerekkel pontosabb virtuális minta hozható létre a PVS lenyomatok indirekt digitalizációs útvonalához hasonlítva.<sup>66,72,180</sup> Ennek oka lehet, hogy az intraorális szkennerekkel történő digitális lenyomatvételek a szülő restaurátumok készítésére lett kifejlesztve.<sup>134</sup> Az eljárások között mutatkozó eltérések klinikailag elfogadhatók egy-egy csonk vizsgálata esetén.<sup>95</sup> A teljes állcsont digitalizációja során az indirekt digitalizáció pontosabbnak bizonyult.<sup>47</sup> A legtöbb in vitro vizsgálat arról számol be, hogy az intraorális szkennerekkel csak egy fog szkennelésénél tudunk pontosabb eredményt elérni; teljes fogív szkennelése esetén nem képesek pontosabb eredményt elérni a hagyományos módszerekhez képest.<sup>49,150</sup> Braian és munkatársai 2019-es vizsgálatában az intraorális szkennelés fél fogívnél rövidebb távolságon bizonyult klinikailag elfogadhatónak.<sup>28</sup> A különböző módszerek a pontosság felméréséhez a végleges restaurátumok illeszkedését nézik, vagy az STL adatokat hasonlítják össze.<sup>66</sup> Jelen vizsgálatunkban az STL file-ok összehasonlítása történt a referencia mintától való eltérés vizsgálatával, az ISO Norm5725-1 standard alapján; és a vizsgálat során valódiság és precizitás számítás történt.

A fogív hossza a direkt és indirekt útvonal esetén is befolyásoló hatással van a pontosságra. Minél rövidebb a távolság, annál pontosabb eredmények érhetőek el. A fogív rövid távolságának (24-27 belül) intraorális szkennerekkel történő szkennelésével pontosabb eredmények érhetőek el, mint az indirekt CAD/CAM módszerrel. A közepes távolság esetén (24-27 kívül) mind a direkt, mind pedig az indirekt módszer rosszabbul szerepelt a rövid (24-27 belső) távolságához viszonyítva. Ugyanakkor a direkt módszer precizitása ezen a távolságon az indirekthez képest jobbnak bizonyult. Fél fogív esetén (21-27 bal oldal), mindkét módszer rosszabb pontosságot mutatott a rövid és közepes távolságokhoz képest, és a direkt módszer precizitása csökkent. A digitális lenyomatvételekből származó virtuális minták pontosabbak lehetnek, mint a hagyományos lenyomatvételek követő laboratóriumi szkennelésből származók. Technikailag megvalósítható lenne, hogy a hagyományos lenyomatokat digitális intraorális lenyomatokkal helyettesítsük. További vizsgálatok szükségesek az in vivo pontosság tisztázásához. A kapott eredmények fényében megállapítható, hogy minél hosszabb fogívet kell szkennelni, a módszer annál pontatlanabb lesz. A két módszer közti különbség csökken, de fél fogív esetén a direkt módszer még mindig pontosabbnak mondható. Digitális lenyomatvételekkel pontosabb virtuális minta hozható létre az indirekt CAD/CAM módszerekhez képest.

A vizsgálat során megfigyelt az a tendencia, hogy a szkennelés során történő képképzési hibák hosszabb távolságok szkennelése esetén halmozódnak. Azon megállapításunk, miszerint minél

hosszabb a leképezendő fogív hossza, annál több az illesztésből adódó torzítás, ami a lenyomatok pontatlanságához vezet, egybecseng az irodalmi adatokkal.<sup>46-49,51,67,150,180,187,206</sup>

Teljes fogív szkennelése esetén a virtuálisan leképezett fogív mérete változhat, amit okozhat a leképezési technológia, az elkészített felvételek egymásra illesztése, vagy a virtuális mintán végzett utófeldolgozás is.<sup>49,51</sup>

Ha az indirekt CAD/CAM technológia klinikai pontosságát nézzük az eredményt sok minden befolyásolhatja, köztük a lenyomat, vagy a kanál anyaga, a gipsz kötési tulajdonságai, vagy a szekcionálás és a szkennelés folyamata stb. Az intraorális szkennerekkel történő klinikai pontosság vizsgálatok esetén az eredményeket befolyásolhatja a szkennelési protokoll,<sup>197</sup> a nyál, a páciens mozgása,<sup>57</sup> a nyálkahártya, kiegészítő képek száma, és a hiányzó adatok automatikus korrekciója. Az intraorális digitális lenyomatvétel kevesebb időt igényel, és használata kényelmesebb mind a páciens, mind pedig a felhasználó számára.<sup>176,208</sup> Ugyanakkor az intraorális szkennerek használatának vannak korlátai: a szkennerek optikai rendszerek, amelyek csak a látható területeket képesek rögzíteni. A subgingivalis széli záródási vonal, vér vagy nyál, a páciens mozgásai, a szkenneléshez szükséges hely hiánya, főként a nagyörlők területén negatívan befolyásolhatják a direkt digitalizációt.<sup>23,46,51,57,139,191</sup> A digitális lenyomatvételi rendszerek időtakarékosak, és a hagyományos lenyomatvétel alternatívái lehetnek, de teljes állcsont távolságon a különböző szkennerek nagyobb helyi eltéréseket mutatnak. Az eltérést a szkennerek különböző felépítése és technikai jellemzői okozhatják (pl. eltérő felbontás, eltérő adatfeldolgozás). A szkennelés nehézségei a klinikai gyakorlatban ezeket a technikai különbségeket még jobban kiemelhetik.<sup>46,51</sup>

Extraorális-laboratóriumi szkennerekkel végzett digitalizálás pontossága – in vitro vizsgálat

A vizsgálatunk során használt extraorális szkennerekkel létrehozott virtuális minta valóságát különbséget mutatott a szekciós minta valóságához képest. A gipszminta digitalizációja mind a csont dimenzióját, mind pedig a csontok közötti távolságot megváltoztatta. Mind a négy preparált fog esetén a szkennelés során keletkező különbségek mind pozitív, mind pedig negatív irányban mutatkoztak. Az indirekt CAD/CAM digitalizáció utolsó lépésében a fogtechnikai szkennerekkel készített virtuális minta távolságai kisebbek voltak a korábbi lépéseik bármelyikében mért távolságokéhoz viszonyítva. A csontok fogívben elfoglalt pozícióját illetően nem mutatkozott összefüggés, amely azt jelenti, hogy a nagyobb távolságok nem eredményeztek nagyobb torzítást. A fél fogív távolságon megfigyelt torzításoknak lehet klinikai relevanciája. Ugyanakkor az eredményeinket nem vonatkoztathatjuk minden piacon

elérhető szkennerekre, mivel azok különböző eredményeket adhatnak, ezért további vizsgálatok szükségesek más extraorális szkennerek pontosságának feltérképezéséhez.

Az indirekt CAD/CAM digitalizációs útvonal része a hagyományos lenyomatvétel és a gipszminta kiöntése. A reziduális stressz a gipsz krisztallizációjának egy ismert tulajdonsága. Az ADA #25 specifikáció leírja, hogy a gipsz tágulása akár a 0.2%-ot is elérheti.<sup>34</sup> Az expanszió okozta torzítás kompenzálható a minta szekcionálásával.<sup>170</sup> A minta szekcionálásával a stressz csökkenthető, és a csonkok a műanyag talpba az eredeti pozíciójukba helyezhetőek vissza.<sup>14</sup> A hagyományos mintakészítés során bekövetkező torzulást számos kutatás kimutatta.<sup>6,14,132</sup> Az laboratóriumi szkennerek valódiságát és precizitását vizsgálták szülő csonkok,<sup>119</sup> szilikon lenyomatok,<sup>84</sup> vagy matematikailag könnyen jellemezhető mintaformák szkennelésével,<sup>198</sup> de az irodalom hiányos a szekciós minták laborszkenneres digitalizációjának vizsgálata tekintetében.

Jelen vizsgálatunkban a gipszminták optikai extraorális szkennerekkel történő indirekt digitalizációjának valódiságát mértük fel. Vanderweghe és munkatársai<sup>198</sup> megállapították, hogy a gipszminták optikai szkennerekkel történő digitalizálása nehezebb az érdes felszín miatt. A szkennerek szenzitivitása fontos szerepet játszhat a szkennelés során. Másrészt egyes vizsgálatok azt mutatták ki, hogy nincs korreláció a háromszögek számában (digitális pontok száma) és a pontosság között, azonban a pontosság függ a szoftver algoritmusától által létrehozott pontfelhő minőségétől.<sup>119,143</sup> Vizsgálatunkban az extraorális szkennerek hatással volt a csonkok átmérőjének torzulására. A különbségek mind a négy preparált fog esetén megfigyelhetőek voltak az extraorális szkennerekkel történő szkennelés eredményeként, amely mutatja a megfelelő körültekintés szükségességét a mindennapi fogászati gyakorlatban. Az általunk megfigyelt torzulások azonban eltérnek az irodalomban fellelhetőktől. Wöstmann és munkatársai<sup>206</sup> négy intraorális és tíz extraorális szkennerek pontosságát hasonlították össze egy chamfer vállal rendelkező szemfog és nagyőrlőt tartalmazó minta segítségével. A vizsgálatban 20 µm alatti pontosság különbséget találtak az intraorális szkennerek és extraorális szkennerek között. Jeon és munkatársai<sup>83</sup> teljes kerámia restaurátumokhoz előkészített csonkokról vett lenyomatok extraorális szkennerekkel történő lenyomatvétel pontosságát mérték. Az eredményeik alapján a valódiság 30 µm alatt maradt. Az eredmények közötti különbség oka lehet, hogy a korábban említett vizsgálatokban csak egy preparált csonk digitalizálása történt, míg a mi mérésünk során a két lépésben történő szkennelés nemcsak szülő csonkokat, hanem a teljes fogívet is tartalmazta.

Vizsgálatunkban az indirekt útvonal munkafázisai közül az általunk használt laboratóriumi szkener által létrehozott virtuális minta mutatta a legkisebb eltéréseket a fogív távolságok esetén. A kis és közepes távolságokon megfigyelt torzításnak nincs klinikai relevanciája. A hosszú távolságon (fél fogív) megfigyelt torzításnak lehet klinikai relevanciája a fogpótlás kiterjedése szempontjából (0.158 mm átlag érték eltérés található a lenyomatok és a virtuális minták között).

A vizsgálatunkban használt fogtechnikai szkener használatához két lépéses digitalizáció javasolt, ezért a file-ok illesztésben rejlő hibák magyarázhatják a véletlenszerű torzítást. Vandeweghe és munkatársai fogtechnikai szkennerek pontosságának vizsgálatát végezték (KaVo Everest, KaVo Dental; Lava ST,3 M ESPE; Smart Optics Activity 880, Smart Optics; Imetric D104i, Imetric 3D). Referenciaként egy geometriai mintát használtak háromszög és henger alakú formákkal. Az extraorális szkennereket mind akrilát alapú (átlag valódiság: 0.047 mm), mind pedig gipsz alapú mintákkal tesztelték (átlag valódiság: 0.099 mm).<sup>198</sup> A legtöbb szkener megfelelt a más vizsgálatokban közölt klinikai pontosság követelményeknek,<sup>106,145,175</sup> ami a virtuális minták indirekt digitalizáció okozta klinikailag még elfogadható torzítását mutatja. Jelen vizsgálatunkban kissé eltérő eredményeket kaptunk (általunk mért átlag valódiság: 0.0086 mm). Ezek a különbségek valószínűleg a két vizsgálat eltérő módszeréből adódhatnak: különböző minták használata, ahol a referencia minta a mi esetünkben egy PMMA minta volt preparált anatómikus fogakkal. A vizsgálatunkban használt anatómikus fogív preparált fogakkal az extraorális szkener számára bonyolultabb felszín lehet a szkenneléshez, mint a hengeres geometriai forma. Mandelli és munkatársai<sup>119</sup> hét extraorális szkennert használtak, az általunk használt Straumann CARES Scan CS2 nem volt köztük, és a szkennerek többsége csak egy lépéses szkennelésre volt alkalmas, míg mi a két lépéses szkennelést alkalmaztuk. Az általunk használt referencia csont egy egyszerűen szkennelhető nem anatómikus titán csont volt, míg a mi esetünkben egy anatómikus preparált gipszcsontot használtunk. A pontosság értékeik 8 és 30 µm között mozogtak a szkener rendszertől függően, míg a mi valódiság értékeink magasabbnak bizonyultak. A két lépéses szkennelési folyamat a kézzel preparált anatómiai csontokkal és komplex felszínnel kombinálva magyarázatul szolgálhat a vizsgálatunkban szereplő rosszabb valódiság értékre. További limitációnak számít, hogy mérésünkben csak a szekcionált minta szkennelése történt, és a precíziós-szituációs lenyomat digitalizálását nem vizsgálták sem extraorális, sem pedig intraorális szkenneléssel.<sup>118</sup> Vizsgálatunk csak a Straumann extraorális szkennerre fókuszál, ezért az adataink nem általánosíthatók a többi extraorális szkenneléssel kapcsolatban. Holst és munkatársai optikai és kontakt szkennerek pontosságát hasonlították össze, és nem találtak szignifikáns különbséget a

két szkennertípus között.<sup>76</sup> Vizsgálatunk további korlátai közé tartozik, hogy a precizitást nem, hanem csak a valódiságot vizsgáltuk – a precizitás mérésére további vizsgálatok szükségesek. Vizsgálatunk eredményeiben a fogtechnikai lépések során (mesterminta, gipszminta készítés) az irodalmi adatokunk megfelelő eltéréseket regisztráltunk.<sup>6,14,132</sup> A precíziós szituációs lenyomaton, és az indirekt digitalizációs lépések során létrehozott virtuális modellen mind a csonkátmérők, mind a távolságok tekintetében eltérést találtunk. A szekciós minta, és a fogtechnikai szkenneléssel létrehozott virtuális modell méretei között is eltérés volt. A fogtechnikai szkennelés során a csonkok átmérőjében és helyzetében is változást mértünk, de a leképezett terület nagysága és a torzulások mértéke között nem volt összefüggés. A kis és közepes távolságokon mért eltérések a klinikailag elfogadható határon belül maradtak, ugyanakkor a legnagyobb távolságon mért elváltozás befolyásoló hatással lehetnek a készülő fogpótlás pontosságára. A vizsgált távolság nagysága (rövid-közepes-nagy) és a torzulás mértéke között nem találtunk összefüggést, amire a használt laboratóriumi szkennertípus két lépéses digitalizációs protokollja és a szoftveres adategyesítés adhat magyarázatot.

A digitális munkafolyamatok lehetőséget nyújtanak a fogászati kezelések fejlődéséhez és javításához, valamint utat nyitnak az új módszerek, új anyagok használatához és új kezelési lehetőséghez.<sup>57</sup> A felhasználó számára hasznos fejlesztésnek mondható, hogy a digitális lenyomatvételtől a képernyőn azonnali visszajelzés kapható, ami segítséget nyújthat a fogorvosoknak a folyamatos fejlődéshez. A direkt adatrögzítéssel az indirekt jól bevált konvencionális útvonalhoz képest összehasonlítható eredmény érhető el.<sup>66</sup>

### A digitális lenyomatvétel tanulási görbéjének vizsgálata

Az intraorális szkennerek iránti növekvő érdeklődéssel párhuzamosan egyre nő azon kutatások száma, amelyek a szkennerek időhatékonyságát, illetve a páciensek a fogorvosok és az asszisztensek elégedettségét vizsgálják.<sup>86,111,147</sup> Klinikai vizsgálatok során intraorális szkennertípus használatában gyakorlott fogorvosok vesznek részt, az azonban nem került említésre, hogy hogyan és mennyi idő alatt lesz a fogorvos a szkennertípus használatában gyakorlott.<sup>50,61,67,68,139</sup> A szkennerek elterjedésének egyik akadálya az, hogy sok fogorvos az új eszközök használatát a hosszú tanulási periódus miatt nem preferálja.<sup>9,150</sup> A fogorvostan-hallgatók vagy frissen végzett fogorvosok számára a digitális lenyomatvétel elsajátítása ugyanolyan bonyolult, mint a hagyományos lenyomatvétel begyakorlása, hiszen egyikben sincs még tapasztalatuk.<sup>21</sup> A University of Louisville School of Dentistry hallgatóinak körében végzett felmérés során, a résztvevők 96%-a digitális lenyomatvételt nevezte meg pályája során használt lenyomatvételi

technikaként <sup>125</sup> Egy, a Harvard School of Dental Medicine hallgatóinak körében Lee és munkatársai által végzett felmérés során, a hallgatók 60%-a a digitális lenyomatvételt preferálta a hagyományossal lenyomatvétellel szemben. A hallgatók 70%-a az intraorális szkennelést hatékonyabbnak találta, mint a hagyományos lenyomatvételt. A digitális és hagyományos lenyomatvételi technika nehézségét a hallgatók többsége azonosnak ítélte <sup>112</sup> Lee és munkatársai következő vizsgálatában másodéves hallgatók körében vizsgálta a hagyományos és digitális lenyomatvétel idejét, hatékonyságát és preferenciáját. A vizsgálat eredményeképpen az intraorális szkennelés időigénye kevesebb (12p 29 mp) volt, mint a hagyományos lenyomatvételé (24p 42 mp). A hallgatók a digitális lenyomatvételt részesítették előnyben, és a digitális eljárást hatékonyabbnak ítélték meg. <sup>111</sup>

A digitális és a hagyományos lenyomatvétel időigényét hasonlították össze Yuzbasioglu és munkatársai. A vizsgálatokban szkennelésben jártas orvosok vettek részt, ahol az intraorális szkennelés átlag 260 mp, a hagyományos lenyomatvétel pedig 620 mp-t vett igénybe. A digitális harapásrögzítésnek időigénye ötöde volt a hagyományos technika esetén szükséges időnek.<sup>208</sup> Patzelt és munkatársainak vizsgálata megmutatta, hogy ha preparált fogak is találhatóak a fogívben, akkor az intraorális szkennelés ideje a preparált fogak számával arányosan nő és a hagyományos lenyomatvétel idejét közelíti meg.<sup>151</sup>

Joda és munkatársai vizsgálatában hallgatók és orvosok implantátumokról vett digitális és hagyományos lenyomatvétel során a bonyolultsági fokot és hatékonyságot hasonlították össze. A hallgatók 76%-a és az orvosok 52%-a ítélte könnyebbnek és hatékonyabbnak az intraorális szkennelést.<sup>86</sup>

A páciensek a hagyományos lenyomatvétel során, különösen felső állcsonttól vett lenyomatok esetén gyakran nehézlégzésre és kiszolgáltatottságra panaszkodnak, és a lenyomat megismétlésétől is jobban félnek, mint digitális lenyomatvételkor.<sup>176</sup>

Az intraorális szkennelés idejének és képszámának változása a gyakorlással összefüggésben

Az intraorális szkennerek tanulási folyamatának vizsgálata fontos része az eszközök klinikai gyakorlatba való bevezetésének. Jelen kutatásban munkacsoportunk a szkennerek gyakorlott használatát két paraméter, a szkennelési idő és a képszám alapján vizsgálta. Összefüggés mutatkozott a mérések száma és az eredményváltozók között. Az intraorális szkennerek ismételt használata csökkentette a szkennelési időt, és a képszámok is változtak a gyakorlással. A digitális lenyomatvétel alatt az átlagos szkennelési idő csökkent, a gyakorlatnak köszönhetően. A tizedik szkennelés során megfigyelt átlagos szkennelési idő (15 perc 28 másodperc, ami 7 perc 41 másodperces javulást jelent az első szkenneléshez képest) figyelemre méltóan közel áll



egy Kim és munkatársai által mért átlagos szkennelési időhöz (14 perc 25 másodperc) egy olyan vizsgálatban, ahol a görbe plató fázisát szintén nem sikerült elérni 10 digitális lenyomatvételi procedúra alatt.<sup>94</sup>

Kutatásunkban az intraorális szkennelést fogorvostanhallgatók végezték. Ez egyrészt segítette a tanulási sebesség objektív megítélését, hiszen nem rendelkeztek korábbi tapasztalatokkal, másrésztől a hallgatók sokkal nyitottabbak a digitális innovációk iránt, ezért a tanulási folyamat gördülékenyebb volt, mint a tapasztalt fogorvosok esetében. A szükséges szkennelési idő tekintetében a mért adatok a klasszikus tanulási görbe második részére voltak illeszthetők. A digitális lenyomatvételt elméleti és gyakorlati oktatás előzte meg, ezért ebben a kutatásban a tanulási görbe nem a nulláról indul és ezért lehetséges, hogy pozitív növekedési periódus a mi görbéinken nem volt megfigyelhető. Az inverz tanulási görbe csökkenő tendenciát mutatott, de a platófázist nem sikerült elérni.<sup>205</sup> Összehasonlításképp, egy hagyományos (kétidejű szilikon) lenyomat a felső állcsontról 7 perc 30 másodperc alatt készül el (melybe nem tartozik bele a lenyomat előkészületével töltött idő, pl. a lenyomatkanál kiválasztása).<sup>59</sup> A felső és alsó állcsont lenyomatozásának ideje, hagyományos technika esetén, monofázisos poliéter (Impregnum, 3 M ESPE) lenyomat anyagot használva és polisziloxán harapásrögzítéssel 10 perc 5 másodperc. Ez kevesebb, mint az általunk megfigyelt szkennelési idő, aminek oka lehet, hogy a kutatásban a hagyományos lenyomatokat szakképzett klinikusok vették.<sup>208</sup> A páciensek egyedi tulajdonságai, mint nyálképzési ráta, szájnyitás mértéke is befolyásolták a digitális lenyomatvétel sebességét.

A képek számlálása kevésbé feltérképezett terület, hiányos az irodalma. Kutatásunkban a képek száma először csökkenő tendenciát mutatott, majd a hatodik mérés után emelkedni kezdett. A tanulási folyamat kezdeti szakaszában a vizsgálatot végző hallgatók a szkennert fejét lassan mozgatták, így a szkennert megfelelő számú képet készített. A lenyomatok minősége megfelelő volt, nem volt szükség további képek hozzáadására. A képszám csökkenő tendenciát mutatott az első hat mérés alatt. A szkennelés sebessége az újabb és újabb szkennelések alatt, a nagyobb gyakorlattal egyre nőtt, de az operátor így több hibát vétett. Hiányosan szkennelt területek jelentek meg, amelyet új képek hozzáadásával javítani kellett, melynek eredményeképp a szkennelési idő csökkent, de a képszám növekedett a hatodik mérés után. Az átlagos képszám a tizedik szkennelés alkalmával a két állcsont és a harapásrögzítés esetén 1468.6. A Shanghai Jiao Tong Egyetem Doktori iskolájának 2016-ban végzett kutatása szerint az átlagos képszám 835 volt, míg az átlagos szkennelési idő 4 perc 58 másodperc volt a vizsgálatuk során teljes felső állcsont szkennelése esetén, 96 szkennelt vizsgálva, Trios 3 intraorális szkennert használva. Kutatásuk a felső állcsontra korlátozódott, és tapasztalt fogorvosok végezték, mely magyarázza

az eredmények közti különbséget.<sup>59</sup> Nincs összefüggés a képszám és a digitális lenyomat pontossága között. A magas képszám hosszabb utólagos adatfeldolgozáshoz vezethet, de nincs bizonyíték arra, hogy a virtuális minta pontosságát befolyásolná, másrészt az alacsony képszám elégtelen digitális lenyomatot eredményezhet.

Vizsgálatunk korlátai közé tartozik, hogy csak a szkennelést végző személy jártasságát határoztuk meg, és nem vizsgáltunk restaurátum/fogpótlás pontosságot. Egyetlen típusú intraorális szkennert alkalmaztunk, mely a konfokális lézermikroszkópia elvén működik, az adatrögzítés módja pedig videószekvencia.<sup>212</sup> A piacon elérhető különböző típusú szkennerek, melyek különböző módon végzik az adatok rögzítését, változatos eredményekhez vezethetnek. További korlát volt a szkennelések alacsony száma, kutatásunkban 100 digitális lenyomat készült 10 vizsgálatot végző személy segítségével (10 scan/fő). A szkennelések számának növelésével el lehetne érni a plató fázist a tanulási görbén. Az a tény, hogy a vizsgálatot végző hallgatók párban dolgoztak (minden hallgató 10 digitális lenyomatot vett, és további 10 elkészítése során asszisztált), befolyásolhatta a tanulási görbét, mert a hallgatók az asszisztálás során már ismerték a vizsgálat menetét. Érdekes további vizsgálat lehet összehasonlítani a hallgatók és tapasztalt klinikusok tanulási görbéjét. A páciensek azon tulajdonságai, mint a nyálszekreció, a nyelvmozgások és a limitált hely a szájüregben is mind korlátozó tényezők, amelyek befolyással lehetnek a szkennelés sebességére.<sup>57,189</sup> A vizsgálatban résztvevő önkéntes páciensek maguk is hallgatók voltak, így nem voltak teljesen függetlenek a vizsgálatától, a szkennelést jobban tolerálták, mint a páciensek általában.

### Intraorális szkennerek értékelése egységes szempontrendszer alapján

Az intraorális szkennerek első megjelenése a fogorvosok körében merev elutasítást váltott ki: A fogorvosok megkérdőjelezték a rendszerek pontosságát, és a magas bekerülési költségek is komoly akadályai voltak a szkennerek elterjedésének. A változások elutasítása, és a merev elzárkózás a digitális átállás ellen, mind a mai napig gyakori a fogorvosok körében.<sup>188</sup> Az IOS rendszerek pontosságának ma már jól feltérképezett irodalma van.<sup>32,40,47,59,65,80,93,104,109,121,122,127,140,142,193</sup> A legtöbb vizsgálat az intraorális szkennelést vett digitális lenyomatra épülő munkafolyamatot az indirekt (laboratóriumi szkennelés) CAD/CAM munkamenettel hasonlítja.<sup>15,67,172,201,211</sup> A vizsgálatok másik nagy csoportja a digitális lenyomatvételt a hagyományos lenyomatvétellel veti össze.<sup>10,48,111,140-142</sup> Az IOS rendszerek a hagyományos lenyomatvételi eljárással, és a laboratóriumi szkennelésen alapuló digitális lenyomatvétellel azonos pontosságra képesek, valóban alkalmasak a protetikai

munkafolyamatok lenyomati eszközének.<sup>10,36,85,87,107,129</sup> Az irodalmi adatok alapján különbséget kell tennünk az IOS rendszerek pontosságában teljes fogív vagy kvadráns szkennelés során, illetve az egyes IOS rendszerek között pontossága szempontjából teljes fogív lenyomatozása során.<sup>121,136</sup> Irodalmi adatok szerint a fogpótlások széli záródásában az elfogadhatósági határ 50-120 µm. 200 µm feletti széli zárási rés esetén a fogpótlás nem elfogadható. A digitális technológia esetén a valódiság 50 µm-es és a precizitás 10 µm-es eltéréseiről beszélünk.<sup>201</sup> A különböző IOS rendszerek összehasonlításáról nagyon kevés információ érhető el, szükségessé vált egy értékelőrendszer, amivel az eszközök objektíven összehasonlíthatók. Egy komoly befektetést megelőzően, mint egy intraorális szkennelés rendszer vásárlása, érdemes tájékozódni a piacon elérhető rendszerekről. Információra van szükség a pontosságról, az ergonómiáról, a szkennelési sebességről, a szoftver használhatóságáról, és más felhasználók szubjektív véleményére a szkennerről. Fontos kiemelni a forgalmazó szerepét, hiszen az új rendszerek bevezetésekor a fogorvosi csapat tagjai elsőként a disztribútorhoz fordulnak segítségért. Az IOS rendszerek jellemzője, hogy akkor érhetjük el a legjobb eredményeket, ha az indikációs területnek megfelelően használjuk.<sup>212</sup> Ha a fogorvos a protetikai munkafolyamatokhoz kívánja használni a szkennert, akkor a rendszer pontosságáról, és azokról a speciális tulajdonságokról, mint pl. digitális fogszín-meghatározás vagy mosolytervezés<sup>11,17,60,85,87,135,173,186,195,203</sup> kell tájékozódni. Az első fogszín-meghatározásra képes intraorális szkennelés a 2015-ben piacra kerülő 3Shape Trios 3 volt. A Planmeca Emerald S és a Carestream CS3700 is képes fogszínmérésre.<sup>113,165,173</sup> A protetikai indikáció esetén fontos tudni, hogy az IOS-t a gyártó teljes fogív szkennelésre ajánlja vagy kvadráns szkennelésre.<sup>40,51,91</sup> Az orthodontiai felhasználáshoz a teljes fogív szkennelés pontossága fontos.<sup>31,105,178,181</sup> A teljes fogív szkennelés és a CBCT szuperimpozíciójának lehetősége kiemelt szerepet kap a navigált implantáció során az implantátum pozíciójának tervezésében.<sup>90,135,137,202</sup> Számos rendszer rendelkezik a protetikai munkafolyamatokhoz saját chairside tervező szoftverrel. Az első chairside rendszer a CEREC rendszer volt, de a 3Shape és a Planmeca is rendelkezik chairside munkamenettel a protetikai felhasználáshoz (e.g., inlay, onlay, korona, rövid híd).<sup>22,195,209</sup>

### Speciális tulajdonságok

A vizsgálat során használt szempontrendszer egyes részeit külön-külön is értékelhetjük. Az összefoglaló táblázat alapján a legjobb helyen a 3Shape Trios 4 Pod (10 pont) végzett; a legrosszabbul szereplő szkennelés a GC Aadvia (0 pont) volt. A GC Aadvia 2017 óta elérhető a piacon, míg a Trios 4 Pod-ot 2019-ben vezette be a gyártó cég. Az IOS-ek újabb generációi

több speciális tulajdonsággal rendelkeznek (fogszín-meghatározás, mosolytervezés, cariesdetektálás, teljes kivethető fogpótlás munkafolyamat és jaw motion tracking), ennek megfelelően az összefoglaló táblázat alapján szerzett pontjaik is magasabbak. Ezt a tendenciát figyelhetjük meg a régebbi és újabb verziók összehasonlítása esetén (Trios 3 Pod: 5.56 pont, Trios 4 Move: 8.33 pont, and Trios 4 Pod: 10 pont), Planmeca (Emerald: 6.39 pont, Emerald S: 7.22 pont) and Carestream (CS3600: 3.89 pont, CS3700: 6,11 pont).

### Ergonómia

Az intraorális szkennerek formailag is igen eltérőek. Az erre vonatkozó paraméterek (kézidarab súly, szkennerefej átmérő) mind a fogorvos mind a páciens számára fontos kényelmi szempontok. A vizsgált szkennerek közül a legkisebb súllyal a Straumann DWIO rendelkezett, de ez a szkennere már nem elérhető a piacon.<sup>122</sup> A gyártócég új IOS-szel jelent meg a piacon, a Straumann Virtuo Vivo-val. A gyártói információk alapján a Virtuo Vivo jobb tulajdonságokkal rendelkezik, mint elődje.<sup>30</sup> A vizsgált szkennerek közül a legnehezebb súlyú a CEREC Primescan, ennek oka, hogy az adatfeldolgozás itt már a szkennere kézidarabjában elkezdődik, ami azt is eredményezi, hogy több képadat rögzítésére képes, mint az előző CEREC IOS-ek. Az IOS működési elvének köszönhetően a virtuális modell letisztultabb már a trimming/körbevágás lépést megelőzően, és a rögzítendő digitális képek számában nincs korlátozás.<sup>183</sup> Az ergonómiai paraméterek pontszáma alapján a CEREC Primescan végzett az utolsó helyen (IOS kézidarab súlya); ugyanakkor a pontosság mérések alapján a Primescan volt a vizsgálatunk legjobb szkennere. Az IOS konfiguráció is hatással van az ergonómiára. A Trios 3 könnyebb volt, mint a Trios 4 Pod és Move. A Trios 4 Pod és Move vezeték nélküli szkennerek, ahol az akkumulátorok extra súlyként adódnak a kézidarabhoz.

### Gyakorlati alkalmazás

AZ IOS gyakorlati alkalmazását tekintve, az egyik legfontosabb paraméter a szkennelési idő. In vitro és in vivo/klinikai szkennelési időket egyaránt mértünk vizsgálatunkban. Az in vivo szkennelési idők a pontozási rendszerbe nem kerültek bevonásra, mert a klinikai mérések standardizálása megbízhatatlan, ennek megfelelően csak az in vitro szkennelési időket konvertáltuk pontokká. A vizsgálat két leggyorsabb szkennere a Trios 4 Pod (2.56 perc) és CS3700 (2.76 perc), a köztük lévő különbség gyakorlati szempontból irreleváns (0.20 perc). Mindkettő új generációs szkennere, amelyek a piacon 2019 (Trios) és 2020 (CS3700) óta érhetőek el. Az Emerald S és Trios 4 Move átlagos szkennelési ideje kevesebb, mint 4 perc, a köztük lévő különbség nem jelentős (0.40 perc). A leghosszabb szkennelési időt a Planmeca

Emerald (8.88perc) esetén mértük, amely a Planmeca IOS rendszerek korábbi generációját képviseli, és a Straumann DWIO (8.55 pperc), amely a piacon már nem elérhető. A szkennelés folyamatossága befolyásolja a szkennelés sebességét és a felhasználói élményt. Vizsgálatunkban összefüggés volt a szkennelés ideje és a folyamatosságának megszakadása között. A szkennelés ideje alapján leggyorsabb IOS a Trios 4 Pod, Trios 4 Move, CS3600 és CS3700, és ezek a szkennerek kapták a legmagasabb pontszámot a szkennelés folyamatosságára is (megszakadások száma átlag 2). A folytonosság függ az IOS számítógép/laptop teljesítményétől is. A gyártók általában pontosan meghatározzák a minimum rendszerigényt, amit tanácsos megfogadni a hosszútávú sikeres klinikai használat érdekében. Vizsgálatunk során az IOS rendszerek vagy beépített számítógéppel rendelkeztek (cart-verzió), vagy a forgalmazó cég biztosított a laptopot, amely megfelelt a gyártói ajánlásoknak.

### Pontosság

Minden indikációs területen (protetikai munkafolyamat, orthodoncia vagy implantológia tervezés vagy lenyomatvétele) a pontosság kiemelten fontos paraméter. A pontos STL fájl alapkövetelmény a sikeres digitális munkafolyamathoz. Vizsgálatunk során a legpontosabb IOS a CEREC Primescan majd a Trios 4 Pod, Medit i500, 3Shape Trios 4 Move and iTero Element 2. A Primescan és a Trios 4 2019 óta elérhető, új generációs modellje gyártócégeknek. A Medit i500 és iTero Element 2 -t 2018-ban mutatták be, azóta már újabb generációk is jelentek meg. A pontosság mérések összesített adatai alapján, a CEREC Primescan volt a legpontosabb szkennerek. Az egyes vizsgált paraméterek (teljes fogív WHL, szoló preparált fog WHL, inlay WHL, híd és fogív tolmérős vizsgálatok) szerinti pontosságban különbségeket találtunk. A teljes fogív szkennerek és a fogív disztális pontjainak távolságának tolmérős vizsgálatát tekintve a Trios 4 Pod volt a legpontosabb (38.2  $\mu\text{m}$  valódiság és 17.5  $\mu\text{m}$  precizitás teljes fogíven, 74.3  $\mu\text{m}$  valódiság és 74.3  $\mu\text{m}$  precizitás a tolmérős vizsgálat során); ugyanakkor további paraméterekben, mint szoló preparált fog, inlay üreg, híd tolmérős vizsgálat a Primescan pontosság eredményei jobbak voltak, mint a Trios 4 Pod pontossága. A különböző vizsgált paraméterekben talált eltérések pontosság tekintetében fontos információt hordoznak a klinikus számára: a chairside rendszereknél a szoló preparált fog WHL, inlay WHL és a híd tolmérős pontosság eredmények a relevánsak. Orthodonciai felhasználáshoz vagy a laborkapcsolatos protetikai munkamenethez a teljes fogív WHL paraméter kiemelt jelentőségű. A Planmeca Emerald érte el a legalacsonyabb pontosság pontszámot (1 pont 10-ből), de az újabb generációs Planmeca IOS esetében (Emerald S) már lényeges javulást

figyelhettünk meg a pontosság pontszámában (4.4 pont 10ből). Az irodalomban hasonló pontosság eredményekkel találkozhatunk.<sup>41,42,130</sup>

### Generációk közötti különbségek

Mért eredményeink és a konvertált pontszámok is alátámasztják, hogy a szkennerek újabb generációi előnyösebb tulajdonságokkal rendelkeznek, mint elődjeik. Az Emerald S a súly kivételével minden vizsgált paramétert tekintve magasabb pontszámot ért el, mint elődje Emerald S (265 gramm) és az Emerald (243 gramm). A Planmeca Emerald IOS pontszáma 9.14 pont; újabb generációs változata (Planmeca Emerald S) pedig már 17.66 pontot kapott. A Planmeca IOS rendszerek esetén ezt a javulást a pontosság növelésével sikerült elérni. A Planmeca Emerald S pontosabbnak bizonyult (Planmeca Emerald 1.0 pontot ért el és a legkevésbé pontos szkennerek, a Planmeca Emerald S 4.4 pontot ért el a maximum 10 pontból). Az in vitro szkennelés során a Planmeca Emerald 9 folytonosság megszakadással dolgozott, míg az Emerald S 5 megszakadással. A szkennelés idejében is jelentős volt a különbség. Az in vitro szkennelési idő az Emerald esetében 8.88 perc (0 pont) és az Emerald S esetén 3.93 perc (1.96 pont a 2.5-ből). A Carestream IOS rendszerek esetén hasonló tendencia figyelhető meg. A CS3600 14.24 pontot, míg az újabb verzió a CS3700, 17.09 pontot ért el. A különbség az összefoglaló táblázatból adódott: a CS3700 esetében kettővel több speciális tulajdonság van, mint a CS3600nál (2 tulajdonság és 2.22 pont különbség). Ugyanakkor a CS3700 gyorsabb, mint a korábbi verzió: a hallgatók lenyomatvételi ideje a CS3600 esetében 4.48 perc (1.74 pont), a CS3700használat során 2.76 perc (2.42 pont). Érdekes különbség volt a pontosság értékekben a Carestream IOS rendszerek esetén. A CS3600 több pontot kapott pontosságra (2.4 pont valódiság+ 1.2 pont precizitás=3.6 pont), mint a CS3700 (2.2 pont valódiság+ 1.2 pont precizitás =3.4 pont). A precizitása azonos volt a két szkennereknek, de a valódiság területén a újabb generációs CS3700 rosszabbul teljesített. A TRIOS IOS rendszerek esetén nemcsak a generációkat, de a szoftver frissítések hatását is össze tudtuk hasonlítani. A legkorábbi szoftver a Trios 3 Pod szoftvere: 18.1.2., a Trios 4 Move a 19.2.2. szoftver verzióval működött, ez a verzió 2019 óta elérhető, a legújabb szoftver verziót a Trios 4 Pod-dal (20.1.1 elérhető 2020óta). A kapott pontokban is látszanak a generációk és szoftver verziók közötti különbségek. A Trios 4 Pod esetében 23.37 pontot kapott. A maximum 30-ból, a Trios 4 Move 21.32 pontot és a Trios 3 Pod 15.33 pontot. A Trios 4 több speciális funkcióval rendelkezett, mint a korábbi verziók. A Trios 3 Pod 15 tulajdonsággal bír a lehetséges 26-ből, ez 5.56 pontot jelent; a Trios 4 Move esetében 20 speciális tulajdonságot ismerünk (8.33 pont), a Trios 4 Pod teljesített legjobban az összefoglaló táblázatok alapján, 23 speciális tulajdonságára a maximum 10 pontot kapta. A

szkenelési időkben lényeges különbségek voltak: az átlag in vitro szkenelési idő Trios 3 Pod esetében 6.75 perc (0.84 pont); a Trios 4 Move esetén az átlagos szkenelési idő 3 .5 perc (2.12 pont) volt, a Trios 4 Move (2.56 perc) és a Trios 4 Pod volt a vizsgált szkennerek között a leggyorsabb (1.56 perc). Különbség volt a pontosságban is: a Trios 4 Pod 7 pontot, a Trios 4 Move 6.4 pontot és a Trios 3 Pod 4.6 pontot kapott pontosságra.

A digitális fogászati eljárások teljesen átalakítják a hagyományos munkafolyamatokat, és nem csak a fogorvostól, de a fogtechnikustól is új tudást igényelnek. Fontos kihangsúlyozni, hogy az IOS rendszereket tesztelni szükséges, mielőtt befektetünk az új rendszerbe.

A vizsgálat limitációi:

A vizsgálat során a szkennerekhez a forgalmazó cégek biztosították a laptopokat, ami befolyással lehet a szkenelés menetére (pl. szkenelés ideje, folytonosság). További limitáció az intraorális szkenek alacsony száma. Minden szkennelendő rendszerrel 10 szkennelés készült, a pontosság mérések adatai ezen 10 lenyomaton alapulnak. A szkenelés végző hallgatók ügyessége is befolyásolhatták az eredményeket.



## Következtetések

Jelen vizsgálatok intraorális szkenneléssel és laboratóriumi szkenneléssel készített STL fájlok összehasonlításával a direkt és indirekt CAD/CAM rendszerek pontosságát, a laboratóriumi szkenneléssel létrehozott virtuális modellek valóságát és az intraorális digitális lenyomatvétel tanulási görbét értékelték. A vizsgálatok konklúziójaként megállapítást nyert:

- Az indirekt és a direkt digitális lenyomatvétel pontosságát befolyásolta a leképezendő fogív hossza.
- A legrövidebb távolság (24-27 belső) intraorális szkennelésével pontosabb virtuális minta jött létre, mint az indirekt CAD/CAM digitalizációval.
- Kvadráns távolság esetén (24-27 külső) mind az intraorális, mind pedig a fogtechnikai digitalizáció pontosabb eredményt adott, mint 24-27 belső távolság esetén.
- A direkt digitalizáció precizitása jobb eredményeket adott, mint az indirekt útvonal.
- A leghosszabb távolság esetén mindkét digitalizációs módszer pontosabb volt, mint a belső és külső távolságon.
- Minél hosszabb a lemintázandó fogív, annál kevésbé volt pontos a direkt és az indirekt digitalizációs eljárás. A két útvonal közti különbség csökkent, de a leghosszabb távolságon még mindig a direkt eljárás adott pontosabb eredményeket.
- A laboratóriumi szkennerek által létrehozott virtuális minta pontosságát a hagyományos lenyomatvételhez és mintakészítéshez tartozó lépések torzító hatásai is befolyásolták.
- A fogtechnikai szkenneléssel létrehozott virtuális modellek valósága eltért a szekciós minták valóságától.
- A gipsz modell digitalizációja során a preparált fogak dimenziói és a köztük lévő távolság is változott. A preparált fogak átmérőjének pozitív és negatív irányú eltérése is megfigyelhető volt, a csontméret és a torzulás mértéke között nem volt összefüggés. Az indirekt CAD/CAM digitalizációs útvonal utolsó lépésénél, a laboratóriumi szkenneléssel létrehozott virtuális modellen kisebb távolságok voltak mérhetőek.
- Az intraorális szkennelés alapján kapott virtuális modellek pontosabbak lehetnek, mint az indirekt CAD/CAM digitalizációval nyert modellek.
- Technikailag lehetséges a hagyományos lenyomatok helyettesítése intraorális szkennelésekkel. További vizsgálatokra van szükség a pontosság megállapításához klinikai körülmények között.

- Az intraorális digitális lenyomatvételek tanulási görbéjét a szkennelési idő és a képszám segítségével jellemezve, összefüggés volt a gyakorlás és a változók között. A szkennelési idő csökkent, mert gyakorlással a hallgatók gyorsabban mozgatták a szkennert. Ahogyan a szkennelés gyorsult, a rövidebb szkennelési időhöz hiányos lenyomatok társultak, amit további szkennelések hozzáadásával kellett korrigálni. A képszám kezdetben csökkenő tendenciát mutatott, majd a hatodik szkennelést követően emelkedett.
- A képszám értékekről elmondhatjuk, hogy a szkennelési sebesség nem növelhető annyira, hogy a képszám bizonyos érték alá csökkenjen, ugyanis bizonyos számú képre szükség van a precíz lenyomathoz. A képszám többlet azonban ronthatja a lenyomat pontosságát, így törekedni kell a lenyomat maradéktalan, de minél kevesebb képből való elkészítésére.
- Az intraorális szkennerek az általunk felállított szempontrendszer paramétereinek alapján (speciális tulajdonságokat összefoglaló táblázat, ergonómiai paraméterek, modell szkennelési idő és folytonosság megszakadás, pontosság) objektíven értékelhetők.
- Az általunk vizsgált objektív paraméterek meghatározzák az intraorális szkennerek fő indikációs körét (lenyomati eszköz, orthodoncia, navigált implantáció, chairside vagy laborkapcsolatos munkamenet), és ezen tulajdonságok ismerete segíti a klinikusokat a legmegfelelőbb intraorális szkennert kiválasztásában.
- Az új generációs IOS rendszerek jobb tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a korábbi verziók. Az újabb generációk több speciális tulajdonsággal bírnak (fogszín-mérés, mosolytervezés, cariesdetektálás) és pontosabbak. A szoftverfrissítések a rendszerek vizsgált paramétereit pozitívan változtatták: rövidebb szkennelési idő, kevesebb folytonosság megszakadás és jobb pontosság.
- Az egyes IOS rendszerek közötti különbségek fokozatosan tűnnek el, ahogyan az újabb generációs szkennerek illetve a szoftverfrissítések megjelennek.

Fontosnak tartjuk kiemelni, hogy az itt felsorolt következtetéseket a maga idejében, és a maga helyén kell kezelni, a kapott eredmények pontossága, és a levonható következtetések az informatika, a digitális technika valamint a mesterséges intelligencia mindent elsöprő, rohamos fejlődésével a dolgozat olvasásakor már elavulhatnak. Kérjük, ezeket az adott korba behelyezve értékelje mindenki.

## Összefoglalás

1. Az intraorális szkennelést, és a hagyományos lenyomatvételt és mintakészítést követően laboratóriumi szkennelést készített STL fájlok összehasonlításával a direkt és indirekt CAD/CAM rendszerek pontossága került kiértékelésre. Az indirekt és a direkt digitális lenyomatvétel pontosságát befolyásolja a leképezendő fogív hossza. Mindkét útvonal esetén rövidebb távolságon pontosabb eredmények érhetőek el. Az indirekt és a direkt útvonal pontossága között szignifikáns eltérés van ( $p < 0.05$ ). A lemintázandó távolság növekedésével a két útvonal közti különbség csökken, de hosszabb távolságon is a direkt eljárás (intraorális szkennelés) pontosabb eredményeket ad. Az intraorális szkennelés precizitása jobb eredményeket adott, mint az indirekt útvonalé. Az intraorális szkenneléssel nyert virtuális modellek pontosabbak lehetnek, mint az indirekt útvonalon nyert virtuális modellek. Technikailag lehetséges a hagyományos lenyomatok helyettesítése intraorális digitális lenyomatokkal, de további vizsgálatokra van szükség a pontosság megállapításához klinikai körülmények között.
2. A laboratóriumi szkennelést létrehozott virtuális modellek valódiságát értékelve a laboratóriumi szkennelést létrehozott virtuális modell és a szekciós modell valódisága között különbség volt. A laboratóriumi szkennelést által létrehozott virtuális modell pontosságát a hagyományos lenyomatvételhez és mintakészítéshez tartozó lépések torzító hatásai is befolyásolták. A gipszmodell digitalizációja során mind a csonkok dimenziói mind a csonkok közötti távolság változott. A laboratóriumi szkennelést által létrehozott virtuális modellen rövidebb távolságok mérhetőek, mint a korábbi lépések során. A csonkméret vagy a fogív távolság, és a torzulás mértéke között nem találtunk arányosságot. Az eredményeink nem általános érvényűek, mert a piacon elérhető más laboratóriumi szkennelésekkel az eredmények eltérhetnek.
3. Az intraorális digitális lenyomatvétel tanulási görbéjének felállítása során az intraorális digitális lenyomatvétel tanulási görbéjét a szkennelési idő és a képszám segítségével jellemezve, összefüggés van a gyakorlás és a változók között. Gyakorlással a szkennelési idő csökken, a szkennelést gyorsabb mozgatása miatt. Ha a szkennelés gyorsul, a rövidebb szkennelési időhöz hiányos lenyomatok társulhatnak, amit további szkennelések hozzáadásával kell korrigálni. A gyorsabb szkennelésből adódó részletszegényebb lenyomatot a képszám növekedése kompenzálja. A képszám értékekről elmondhatjuk, hogy a szkennelési sebesség nem növelhető annyira, hogy a

képszám bizonyos érték alá csökkenjen, ugyanis bizonyos számú képre szükség van a pontos lenyomathoz. A képszám többlet azonban ronthatja a lenyomat pontosságát (túl sok illesztés), így törekedni kell a lenyomat maradéktalan, de minél kevesebb képből való elkészítésére.

4. Tizenkét IOS rendszert összehasonlító vizsgálatunk során a szkennerek jól definiált egységes szempontrendszer, objektív paraméterek alapján kerültek összehasonlításra. A pontrendszer tükrözi a különböző IOS rendszerek közti különbségeket, és segítséget nyújt a magyarországi felhasználóknak, hogy a praxisuk igényeire szabottan a megfelelő szkennert tudják kiválasztani. Az osztályozási rendszer valamennyi szkennert esetén egységes szempontokat alkalmaz, de fontos tisztában lenni azzal, hogy a pontok hogyan adódnak össze az egyes szempontok alapján (speciális tulajdonságokat összefoglaló táblázat, ergonómiai paraméterek, modell szkennelési idő, folytonosság, megszakadás és pontosság). Adott indikációs területnek megfelelően bizonyos paraméterek fontosabbak, ezért fontos a szkennert kiválasztásakor a részletekkel is tisztában lenni. A szkennert kiválasztásakor fontos azt eldönteni, hogy mire szeretnénk a szkennert használni: fogpótlások készítéséhez vett digitális lenyomat, fogszabályozási kezeléshez vett digitális lenyomat, implantológiai esetekhez készített digitális lenyomat, chairside vagy laborkapcsolatos munkafolyamatokhoz. Az IOS rendszerek újabb generációi előnyösebb tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a korábbi verziók. Az újabb generációk több speciális tulajdonsággal bírnak (fogszín-mérés, mosolytervezés, cariesdetektálás) és pontosabbak. A szoftverfrissítések a rendszerek vizsgált paramétereit pozitívan változtatják: szkennelési idő csökken, kevesebb a folytonosság megszakadás és jobb a pontosság. Az egyes IOS rendszerek közötti különbségek fokozatosan tűnnek el, ahogyan az újabb generációs szkennerek, illetve a szoftverfrissítések megjelennek.

## Irodalomjegyzék

1. 3M-ESPE. Lava Scan ST Scanner Technical Data Sheet 2006; <https://multimedia.3m.com/mws/media/4181040/lava-scan-st-technical-data-sheet.pdf>.
2. Abdel-Azim T, Rogers K, Elathamna E, Zandinejad A, Metz M, Morton D. 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.* 2015;114(4):554-559.
3. Abdullah O, Azari A. An introduction to dental digitizers in dentistry; systematic review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research.* 10/11 2018;7:10-20.
4. Adhya PS. Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: A comparative in vitro study, . 2020; <https://www.slideshare.net/ParthaSarathiAdhya/trueness-and-precision-of-5-intraoral-scanners-for-scanning-edentulous-and-dentate-completearch-mandibular-casts-a-comparative-in-vitro-study>
5. Agnini AACCA. *Digital Dental Revolution: The Learning Curve.* 1 edition ed2015.
6. Ahmad M, Balakrishnan D, Narayan A. A comparative evaluation of linear dimensional accuracy of the dies obtained using three conceptually different die systems in the fabrication of implant prosthesis: An in vitro study. *Indian Journal of Dental Research.* 2014;25(2):197-197.
7. Akarshak A, Arora V, Kanyal K. *CAD/CAM in dentistry.* India: Lambert Academic Publishing; 2014.
8. Al Hamad KQ. Learning curve of intraoral scanning by prosthodontic residents. *J Prosthet Dent.* Feb 2020;123(2):277-283.
9. Ali AO. Accuracy of Digital Impressions Achieved from Five Different Digital Impression Systems. *Dentistry.* 2015;5(300):1-6.
10. Almeida e Silva JS, Erdelt K, Edelhoff D, et al. Marginal and internal fit of four-unit zirconia fixed dental prostheses based on digital and conventional impression techniques. *Clinical oral investigations.* 2014;18:515-523.
11. Ammoun R, Suprono MS, Goodacre CJ, Oyoyo U, Carrico CK, Kattadiyil MT. Influence of Tooth Preparation Design and Scan Angulations on the Accuracy of Two Intraoral Digital Scanners: An in Vitro Study Based on 3-Dimensional Comparisons. *J Prosthodont.* Mar 2020;29(3):201-206.
12. Amornvit P, Sanohkan S. The Accuracy of Digital Face Scans Obtained from 3D Scanners: An In Vitro Study. *Int J Environ Res Public Health.* Dec 12 2019;16(24).
13. Andersson M, Bergman B, Bessing C, Ericson G, Lundquist P, Nilson H. Clinical results with titanium crowns fabricated with machine duplication and spark erosion. *Acta Odontologica Scandinavica.* 1989;47(5):279-286.
14. Aramouni P, Millstein P. A comparison of the accuracy of two removable die systems with intact working casts. *The International journal of prosthodontics.* 1993;6(6):533-539.
15. Baghani MT, Shayegh SS, Johnston WM, Shidfar S, Hakimaneh SMR. In vitro evaluation of the accuracy and precision of intraoral and extraoral complete-arch scans. *The Journal of prosthetic dentistry.* 2020.
16. Baroudi K, Ibraheem SN. Assessment of Chair-side Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing Restorations: A Review of the Literature. *Journal of international oral health : JIOH.* 2015.

17. Battista G. Face scanning and digital smile design with an intraoral scanner. *J Clin Orthod.* Mar 2019;53(3):149-153.
18. Bergsjö DH, Andersson M, Söderberg R, Carlson J. Chapter 15 - Industrial-scale Production of Customized Ceramic Prostheses. In: Shen JZ, Kosmač T, eds. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2014:327-341.
19. Beuer F, Aggstaller H, Richter J, Edelhoff D, Gernet W. Influence of preparation angle on marginal and internal fit of CAD/CAM-fabricated zirconia crown copings. *Quintessence Int.* Mar 2009;40(3):243-250.
20. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J.* May 10 2008;204(9):505-511.
21. Birnbaum NS AH. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent.* 2008;29(8):494-505.
22. Blatz MB, Conejo J. The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dent Clin North Am.* Apr 2019;63(2):175-197.
23. Boeddinghaus M, Breloer ES, Rehmann P, Wostmann B. Accuracy of single-tooth restorations based on intraoral digital and conventional impressions in patients. *Clin Oral Investig.* Nov 2015;19(8):2027-2034.
24. Bohner LOL, De Luca Canto G, Marció BS, Laganá DC, Sesma N, Tortamano Neto P. Computer-aided analysis of digital dental impressions obtained from intraoral and extraoral scanners. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 2017/11/01/ 2017;118(5):617-623.
25. Borbély J, Czigola A, Vitai V, Róth I, Hermann P. Intraoral Scans for CAD/CAM Application. *Stoma Edu J.* 2018;5(2):110-117.
26. Borbély J, Dóró M, Joós-Kovács G, Vecsei B, Hermann P. Okoslenyomat – a szájképletek digitális másolata. *Magyar Fogorvos.* 2016;XXV(6):274-285.
27. Borbély J, Gerlőczy P, Kóbor A, et al. Fogpótlástani anyagtan és odontotechnológia. In: Kóbor A, Kivovics P, Hermann P, eds. Budapest: Semmelweis Kiadó és Multimédia Stúdió; 2015:167-184.
28. Braian M, Wennerberg A. Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: A comparative in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 2019/08/01/ 2019;122(2):129-136.e122.
29. Brown C. Desktop Scanners 2015 | IDT | aegisdentalnetwork.com. 2015.
30. Çakmak G, Yilmaz H, Treviño A, Kökat AM, Yilmaz B. The effect of scanner type and scan body position on the accuracy of complete-arch digital implant scans. *Clin Implant Dent Relat Res.* Aug 2020;22(4):533-541.
31. Caruso S, Nota A, Ehsani S, Maddalone E, Ojima K, Tecco S. Impact of molar teeth distalization with clear aligners on occlusal vertical dimension: a retrospective study. *BMC Oral Health.* 2019/08/13 2019;19(1):182.
32. Chiu A, Chen Y-W, Hayashi J, Sadr A. Accuracy of CAD/CAM Digital Impressions with Different Intraoral Scanner Parameters. *Sensors (Basel).* 2020;20(4).
33. Coelho Santos G, Coelho Santos MJM, Rizkalla AS, Madani DA, El-Mowafy O. Overview of CEREC CAD/CAM chairside system2013.
34. Council on Dental Materials IaE. Revised ANSI/ADA specification no. 2. *J Am Dent Assoc.* 1985;111(6):1003.
35. Czigola A, Borbély J, Vecsei B, et al. Weboldal a Magyarországon elérhető szkennerek összehasonlítására. *Magyar Fogorvos.* 2020:76-84.
36. Dauti R, Cvikl B, Franz A, et al. Comparison of marginal fit of cemented zirconia copings manufactured after digital impression with lava™ C.O.S and conventional impression technique. *BMC Oral Health.* 2016/12/08 2016;16(1):129.

37. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am.* Jul 2011;55(3):559-570, ix.
38. Denissen H, Crossed D Signozić A, Van Der Zel J, Van Waas M. Marginal fit and short-term clinical performance of porcelain-veneered CICERO, CEREC, and Procera onlays. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2000;84(5):506-513.
39. Detrekői Á, Fekete K, Kaán M, et al. A Comparative Study Of Impression Taking Procedures In Dentistry. 2004:5-9.
40. Di Fiore A, Meneghello R, Graiff L, et al. Full arch digital scanning systems performances for implant-supported fixed dental prostheses: a comparative study of 8 intraoral scanners. *J Prosthodont Res.* Oct 2019;63(4):396-403.
41. Diker B, Tak Ö. Accuracy of Digital Impressions Obtained Using Six Intraoral Scanners in Partially Edentulous Dentitions and the Effect of Scanning Sequence. *Int J Prosthodont.* Jan-Feb 2021;34(1):101-108.
42. Diker B, Tak Ö. Comparing the accuracy of six intraoral scanners on prepared teeth and effect of scanning sequence. *J Adv Prosthodont.* Oct 2020;12(5):299-306.
43. Dobrzanski L, Reimann L. Digitization procedure of creating 3D model of dental bridgework reconstruction. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.* 12/01 2012;55:469-476.
44. Dogan S, Schwedhelm ER, Heindl H, Mancl L, Raigrodski AJ. Clinical efficacy of polyvinyl siloxane impression materials using the one-step two-viscosity impression technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 2015;114(2):217-222.
45. Dugal R, Railkar B, Musani S. Comparative evaluation of dimensional accuracy of different polyvinyl siloxane putty-wash impression techniques-in vitro study. *Journal of international oral health.* 2013;5(5):85-94.
46. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *The Journal of prosthetic dentistry.* 2016;115(3):313-320.
47. Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent.* Feb 2013;109(2):121-128.
48. Ender A, Mehl A. Full arch scans: conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int J Comput Dent.* 2011;14(1):11-21.
49. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985).* 2015;46(1):1-9.
50. Ender A, Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent.* 2013;16(1):11-21.
51. Ender A, Zimmermann M, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clin Oral Investig.* Sep 2016;20(7):1495-1504.
52. Ender A, Zimmermann M, Mehl A. Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent.* 2019;22(1):11-19.
53. Fasbinder D. Using digital technology to enhance restorative dentistry. *Compend Contin Educ Dent.* Oct 2012;33(9):666-668, 670, 672 passim.
54. Fasbinder DJ. Clinical performance of chairside CAD/CAM restorations 2006.
55. Fasbinder DJ. Digital dentistry: innovation for restorative treatment. *Compend Contin Educ Dent.* 2010;31 Spec No 4:2-11; quiz 12.
56. Feurestein P. Days of Future Passed. 2008; <https://www.dentaleconomics.com/science-tech/cad-cam-and-3d-printing/article/16387512/days-of-future-passed>.



57. Flügge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* Sep 2013;144(3):471-478.
58. Frigerio F, Ph. D. 3-dimensional surface imaging using Active Wavefront Sampling, Massachusetts Institute of Technology. 2006.
59. Gan N, Xiong Y, Jiao T. Accuracy of Intraoral Digital Impressions for Whole Upper Jaws, Including Full Dentitions and Palatal Soft Tissues. *PLoS One.* 2016;11(7):e0158800.
60. Garcia PP, da Costa RG, Calgaro M, et al. Digital smile design and mock-up technique for esthetic treatment planning with porcelain laminate veneers. *J Conserv Dent.* Jul-Aug 2018;21(4):455-458.
61. Gherlone E, Mandelli F, Cappare P, Pantaleo G, Traini T, Ferrini F. A 3 years retrospective study of survival for zirconia-based single crowns fabricated from intraoral digital impressions. *J Dent.* Sep 2014;42(9):1151-1155.
62. Giménez B, Özcan M, Martínez-Rus F, Pradíes G. 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.* Jan 2015;17 Suppl 1:e54-64.
63. Gómez-Polo M, Piedra-Cascón W, Methani MM, Quesada-Olmo N, Farjas-Abadia M, Revilla-León M. Influence of rescanning mesh holes and stitching procedures on the complete-arch scanning accuracy of an intraoral scanner: An in vitro study. *Journal of dentistry.* 2021;110:103690-103690.
64. González de Villaumbrosia P, Martínez-Rus F, García-Orejas A, Salido MP, Pradíes G. In vitro comparison of the accuracy (trueness and precision) of six extraoral dental scanners with different scanning technologies. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 2016/10/01/ 2016;116(4):543-550.e541.
65. Goracci C, Franchi L, Vichi A, Ferrari M. Accuracy, reliability, and efficiency of intraoral scanners for full-arch impressions: a systematic review of the clinical evidence. *Eur J Orthod.* Aug 2016;38(4):422-428.
66. Güth JF, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Investig.* May 2013;17(4):1201-1208.
67. Güth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clinical Oral Investigations.* 2016;21:1-11.
68. Hack G, Patzelt S. Evaluation of the Accuracy of Six Intraoral Scanning Devices: An in-vitro Investigation. 2015.
69. Hack GD, Bloom IT, Patzelt SBM. Digital Impressions. *Clinical Applications of Digital Dental Technology* 2015:27-40.
70. Halbritter Ernő KI, Szali Péter. *CAD - CAM alapjai*: Széchenyi István Egyetem; 2010.
71. Hayama H, Fueki K, Wadachi J, Wakabayashi N. Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *J Prosthodont Res.* Jul 2018;62(3):347-352.
72. Henkel GL. A comparison of fixed prostheses generated from conventional vs digitally scanned dental impressions. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995).* 2007/08// 2007;28(8):422-424, 426-428, 430-421.
73. Hervay P, Horváth R, Kátai L. *CAD tankönyv*. Budapest: Typotex; 2012.
74. Hexagon AD SG-Po. stereoSCAN neo R16 — 16,0 Megapixel. [Official Page]. 2022; <https://www.creativeinfocom.com/pdfs/stereoscan-neo-specification-r16.pdf>. Accessed 11th of March, 2022.

75. Hollenbeck K, Allin T, van der Poel M. Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best. *3ShapeTechnology Research, Copenhagen*. 2012.
76. Holst S, Persson A, Wichmann M, Karl M. Digitizing implant position locators on master casts: comparison of a noncontact scanner and a contact-probe scanner. *Int J Oral Maxillofac Implants*. Jan-Feb 2012;27(1):29-35.
77. Hsieh Y-S, Ho Y-C, Lee S-Y, et al. Dental optical coherence tomography. *Sensors (Basel)*. 2013;13(7):8928-8949.
78. Huang M-Y, Son K, Lee K-B. Effect of distance between the abutment and the adjacent teeth on intraoral scanning: An in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2021;125(6):911-917.
79. Imburgia M, Kojs J, Marino E, Lerner H, Mangano FG. Continuous Scan Strategy (CSS): A Novel Technique to Improve the Accuracy of Intraoral Digital Impressions. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*. 2020;28(3):128-141.
80. Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano FG. Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*. Jun 2 2017;17(1):92.
81. Ingham P. *CAD systems in mechanical and production engineering*. New York, NY: Industrial Press; 1990.
82. Jeon J-H, Choi B-Y, Kim C-M, Kim J-H, Kim H-Y, Kim W-C. Three-dimensional evaluation of the repeatability of scanned conventional impressions of prepared teeth generated with white- and blue-light scanners. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2015/10/01/ 2015;114(4):549-553.
83. Jeon J-H, Kim H-Y, Kim J-H, Kim W-C. Accuracy of 3D white light scanning of abutment teeth impressions: evaluation of trueness and precision. *The journal of advanced prosthodontics*. 2014;6(6):468-473.
84. Jeon J-H, Lee K-T, Kim H-Y, Kim J-H, Kim W-C. White light scanner-based repeatability of 3-dimensional digitizing of silicon rubber abutment teeth impressions. *The journal of advanced prosthodontics*. 11/01 2013;5:452-456.
85. Joda T, Ferrari M, Brägger U. 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*. Jun 2017;19(3):505-511.
86. Joda T, Lenherr P, Dedem P, Kovaltschuk I, Bragger U, Zitzmann NU. Time efficiency, difficulty, and operator's preference comparing digital and conventional implant impressions: a randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res*. Oct 2017;28(10):1318-1323.
87. Joda T, Zarone F, Ferrari M. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: a systematic review. *BMC Oral Health*. Sep 19 2017;17(1):124.
88. Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. *BMC Oral Health*. Dec 12 2019;19(1):280.
89. Jurim B, Jurim A. A Review of Intraoral Scanning Technology, Fine-tuning, advancements, and proper application. *Inside Dental Technology*. 2019;10(9).
90. Kernen F, Kramer J, Wanner L, Wismeijer D, Nelson K, Flügge T. A review of virtual planning software for guided implant surgery - data import and visualization, drill guide design and manufacturing. *BMC Oral Health*. 2020/09/10 2020;20(1):251.
91. Keul C, Güth JF. Accuracy of full-arch digital impressions: an in vitro and in vivo comparison. *Clin Oral Investig*. Feb 2020;24(2):735-745.
92. Keul C, Stawarczyk B, Erdelt KJ, Beuer F, Edelhoff D, Güth JF. Fit of 4-unit FDPs made of zirconia and CoCr-alloy after chairside and labside digitalization - A laboratory study. *Dental Materials*. 2014;30:400-407.

93. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res.* Apr 2020;64(2):109-113.
94. Kim J, Park JM, Kim M, Heo SJ, Shin IH, Kim M. Comparison of experience curves between two 3-dimensional intraoral scanners. *J Prosthet Dent.* Aug 2016;116(2):221-230.
95. Kim SY, Kim MJ, Han JS, Yeo IS, Lim YJ, Kwon HB. Accuracy of dies captured by an intraoral digital impression system using parallel confocal imaging. *Int J Prosthodont.* Mar-Apr 2013;26(2):161-163.
96. Kling JW, Riggs LA. *Woodworth & Schlosberg's Experimental Psychology.* 3rd ed. England: Rinehart & Winston; 1971.
97. Kóbor A, Kivovics P, Hermann P. Fogpótlástani Anyagtan és Odontotechnológia, Semmelweis Kiadó, Budapest, 2015. 2015.
98. Koseoglu M, Kahramanoglu E, Akin H. Evaluating the Effect of Ambient and Scanning Lights on the Trueness of the Intraoral Scanner. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists.* 2021.
99. Kulcsár G, Tóth N. Termelőstervezési módszerek hatékonyságának vizsgálata rugalmas gyártórendszer szimulációs modelljével. *Multidiszciplináris Tudományok.* 2020;10(4):274-284.
100. Kurz M, Attin T, Mehl A. Influence of material surface on the scanning error of a powder-free 3D measuring system. *Clinical oral investigations.* 2015.
101. Kustrzycka D, Marschang T, Mikulewicz M, Grzebieluch W. Comparison of the Accuracy of 3D Images Obtained from Different Types of Scanners: A Systematic Review. *J Healthc Eng.* 2020;2020:8854204.
102. Kwon M, Cho Y, Kim D-W, Kim M, Kim Y-J, Chang M. Full-arch accuracy of five intraoral scanners: In vivo analysis of trueness and precision. *Korean journal of orthodontics.* 2021;51(2):95-104.
103. Lane C, Harrell W, Jr. Completing the 3-dimensional picture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* Apr 2008;133(4):612-620.
104. Latham J, Ludlow M, Mennito A, Kelly A, Evans Z, Renne W. Effect of scan pattern on complete-arch scans with 4 digital scanners. *J Prosthet Dent.* Jan 2020;123(1):85-95.
105. Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *Int Orthod.* Jun 2016;14(2):184-194.
106. Lee B, Oh KC, Haam D, Lee JH, Moon HS. Evaluation of the fit of zirconia copings fabricated by direct and indirect digital scanning procedures. *J Prosthet Dent.* Aug 2018;120(2):225-231.
107. Lee JH, Son K, Lee KB. Marginal and Internal Fit of Ceramic Restorations Fabricated Using Digital Scanning and Conventional Impressions: A Clinical Study. *J Clin Med.* Dec 14 2020;9(12).
108. Lee JJ, Jeong ID, Park JY, Jeon JH, Kim JH, Kim WC. Accuracy of single-abutment digital cast obtained using intraoral and cast scanners. *J Prosthet Dent.* Feb 2017;117(2):253-259.
109. Lee KM. Comparison of two intraoral scanners based on three-dimensional surface analysis. *Prog Orthod.* Feb 12 2018;19(1):6.
110. Lee SJ, Betensky RA, Gianneschi GE, Gallucci GO. Accuracy of digital versus conventional implant impressions. *Clinical Oral Implants Research.* 2015;26(6):715-719.
111. Lee SJ, Gallucci GO. Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. *Clin Oral Implants Res.* Jan 2013;24(1):111-115.

112. Lee SJ, Macarthur RXt, Gallucci GO. An evaluation of student and clinician perception of digital and conventional implant impressions. *J Prosthet Dent*. Nov 2013;110(5):420-423.
113. Liberato WF, Barreto IC, Costa PP, de Almeida CC, Pimentel W, Tiozzi R. A comparison between visual, intraoral scanner, and spectrophotometer shade matching: A clinical study. *J Prosthet Dent*. Feb 2019;121(2):271-275.
114. Logozzo S, Zanetti E, Franceschini G, Kilpela A, Mäkynen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*. 03/01 2014;54:203–221.
115. Londono J, Abreu A, Baker PS, Furness AR. Fabrication of a definitive obturator from a 3D cast with a chairside digital scanner for a patient with severe gag reflex: a clinical report. *J Prosthet Dent*. Nov 2015;114(5):735-738.
116. Luthardt RG, Walter MH, Quaas S, Koch R, Rudolph H. Comparison of the three-dimensional correctness of impression techniques: a randomized controlled trial. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*. 2010;41(10):845-853.
117. Mada S, Smith M, Smith L, Midha P. *Overview of passive and active vision techniques for hand-held 3D data acquisition*. Vol 4877: SPIE; 2003.
118. Malaguti G, Rossi R, Marziali B, et al. In vitro evaluation of prosthodontic impression on natural dentition: a comparison between traditional and digital techniques. *Oral Implantol (Rome)*. Jan-Mar 2016;9(Suppl 1/2016 to N 4/2016):21-27.
119. Mandelli F, Gherlone E, Gastaldi G, Ferrari M. Evaluation of the accuracy of extraoral laboratory scanners with a single-tooth abutment model: A 3D analysis. *J Prosthodont Res*. Oct 2017;61(4):363-370.
120. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):1-11.
121. Mangano FG, Admakin O, Bonacina M, Lerner H, Rutkunas V, Mangano C. Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*. 2020/09/22 2020;20(1):263.
122. Mangano FG, Hauschild U, Veronesi G, Imburgia M, Mangano C, Admakin O. Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*. Jun 6 2019;19(1):101.
123. Mangano FG, Veronesi G, Hauschild U, Mijiritsky E, Mangano C. Trueness and Precision of Four Intraoral Scanners in Oral Implantology: A Comparative in Vitro Study. *PLoS One*. 2016;11(9):e0163107.
124. Mann K, Davids A, Range U, Richter G, Boening K, Reitemeier B. Experimental study on the use of spacer foils in two-step putty and wash impression procedures using silicone impression materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2015;113(4):316-322.
125. Marti AM, Harris BT, Metz MJ, et al. Comparison of digital scanning and polyvinyl siloxane impression techniques by dental students: instructional efficiency and attitudes towards technology. *Eur J Dent Educ*. Aug 2017;21(3):200-205.
126. McLaren EA, Culp L, White S. The evolution of digital dentistry and the digital dental team. *Dent Today*. Sep 2008;27(9):112, 114, 116-117.
127. Medina-Sotomayor P, Pascual-Moscardo A, Camps AI. Accuracy of 4 digital scanning systems on prepared teeth digitally isolated from a complete dental arch. *J Prosthet Dent*. May 2019;121(5):811-820.
128. MEDIT. <https://blog.medit.com/medit/blog/2017/7/28/why-using-blue-light>. 2020.10.17.

129. Michelinakis G, Apostolakis D, Kamposiora P, Papavasiliou G, Özcan M. The direct digital workflow in fixed implant prosthodontics: a narrative review. *BMC Oral Health*. Jan 21 2021;21(1):37.
130. Michelinakis G, Apostolakis D, Tsagarakis A, Kourakis G, Pavlakis E. A comparison of accuracy of 3 intraoral scanners: A single-blinded in vitro study. *J Prosthet Dent*. Nov 2020;124(5):581-588.
131. Minsky M. Microscopy apparatus. 1961;3013467 US.
132. Miranda FJ, Dilts WE, Duncanson MG, Collard EW. Comparative stability of two removable die systems. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1975;36:326-333.
133. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Australian Dental Journal*. 2011;56(SUPPL. 1):97-106.
134. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*. Jan 2009;28(1):44-56.
135. Monaco C, Ragazzini N, Scheda L, Evangelisti E. A fully digital approach to replicate functional and aesthetic parameters in implant-supported full-arch rehabilitation. *J Prosthodont Res*. Jul 2018;62(3):383-385.
136. Moon Y-G, Lee K-M. Comparison of the accuracy of intraoral scans between complete-arch scan and quadrant scan. *Prog Orthod*. 2020;21(1):36-36.
137. Mouhyi J, Salama MA, Mangano FG, Mangano C, Margiani B, Admakin O. A novel guided surgery system with a sleeveless open frame structure: a retrospective clinical study on 38 partially edentulous patients with 1 year of follow-up. *BMC Oral Health*. 2019/11/21 2019;19(1):253.
138. Mörmann WH. The evolution of the CEREC system. *Journal of the American Dental Association*. 2006;137(9 SUPPL.):7-13.
139. Müller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J. Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*. 2016;47(4):343-349.
140. Nagy Z, Simon B, Mennito A, Evans Z, Renne W, Vag J. Comparing the trueness of seven intraoral scanners and a physical impression on dentate human maxilla by a novel method. *BMC Oral Health*. Apr 7 2020;20(1):97.
141. Nedelcu R, Olsson P, Nystrom I, Thor A. Finish line distinctness and accuracy in 7 intraoral scanners versus conventional impression: an in vitro descriptive comparison. *BMC Oral Health*. Feb 23 2018;18(1):27.
142. Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, Rydén J, Thor A. Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *J Dent*. Feb 2018;69:110-118.
143. Nedelcu RG, Persson ASK. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: An in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2014;112(6):1461-1471.
144. Nissan J, Laufer BZ, Brosh T, Assif D. Accuracy of three polyvinyl siloxane putty-wash impression techniques. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2000;83(2):161-165.
145. Nissan J, Rosner O, Bukhari MA, Ghelfan O, Pilo R. Effect of various putty-wash impression techniques on marginal fit of cast crowns. *Int J Periodontics Restorative Dent*. Jan-Feb 2013;33(1):e37-42.
146. Oh KC, Park J-M, Moon HS. Effects of Scanning Strategy and Scanner Type on the Accuracy of Intraoral Scans: A New Approach for Assessing the Accuracy of Scanned Data. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. 2020;29(6):518-523.

147. Park HR, Park JM, Chun YS, Lee KN, Kim M. Changes in views on digital intraoral scanners among dental hygienists after training in digital impression taking. *BMC Oral Health*. Nov 27 2015;15(1):151.
148. Park JM. Comparative analysis on reproducibility among 5 intraoral scanners: sectional analysis according to restoration type and preparation outline form. *J Adv Prosthodont*. Oct 2016;8(5):354-362.
149. Passos L, Meiga S, Brigagão V, Street A. Impact of different scanning strategies on the accuracy of two current intraoral scanning systems in complete-arch impressions: an in vitro study. *Int J Comput Dent*. 2019;22(4):307-319.
150. Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig*. Jul 2014;18(6):1687-1694.
151. Patzelt SB, Lamprinos C, Stampf S, Att W. The time efficiency of intraoral scanners: an in vitro comparative study. *J Am Dent Assoc*. Jun 2014;145(6):542-551.
152. Patzelt SB, Vonau S, Stampf S, Att W. Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. *J Am Dent Assoc*. Aug 2013;144(8):914-920.
153. Persson A, Andersson M, Oden A, Sandborgh-Englund G. A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2006;95(3):194-200.
154. Persson AS, Odén A, Andersson M, Sandborgh-Englund G. Digitization of simulated clinical dental impressions: virtual three-dimensional analysis of exactness. *Dent Mater*. Jul 2009;25(7):929-936.
155. Persson M, Andersson M, Bergman B. The accuracy of a high-precision digitizer for CAD/CAM of crowns. *J Prosthet Dent*. Sep 1995;74(3):223-229.
156. Planmeca. Planmeca Emerald Brochure, <https://www.planmeca.com/globalassets/planmeca/1-planmeca-usa-modernization/cadcam/dental-scanning/emerald-s/manuals/emerald-brochure-0618.pdf> (2021.01.08.). 2018.
157. Preston E. *CAD/CAM Dictionary*2020.
158. Radhakrishnan P, Subramanian S, Raju V. CAD/CAM/CIM. 2014.
159. Rehmann P, Sichwardt V, Wöstmann B. Intraoral Scanning Systems: Need for Maintenance. *Int J Prosthodont*. Jan/Feb 2017;30(1):27-29.
160. Rekow ED. Digital dentistry: The new state of the art—Is it disruptive or destructive? *Dental Materials*. 2020;36(1):9-24.
161. Resende C, Barbosa T, Faria Moura G, et al. Influence of operator experience, scanner type, and scan size on 3D scans. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 02/01 2020;125.
162. Revilla-León M, Att W, Özcan M, Rubenstein J. Comparison of conventional, photogrammetry, and intraoral scanning accuracy of complete-arch implant impression procedures evaluated with a coordinate measuring machine. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2021/03/01/ 2021;125(3):470-478.
163. Revilla-León M, Subramanian SG, Att W, Krishnamurthy VR. Analysis of Different Illuminance of the Room Lighting Condition on the Accuracy (Trueness and Precision) of An Intraoral Scanner. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. 2021;30(2):157-162.
164. Revilla-León M, Subramanian SG, Özcan M, Krishnamurthy VR. Clinical Study of the Influence of Ambient Lighting Conditions on the Mesh Quality of an Intraoral Scanner. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. 2020;29(8):651-655.
165. Reyes J, Acosta P, Ventura D. Repeatability of the human eye compared to an intraoral scanner in dental shade matching. *Heliyon*. Jul 2019;5(7):e02100.

166. Rhee Y-K, Huh Y-H, Cho L-R, Park C-J. Comparison of intraoral scanning and conventional impression techniques using 3-dimensional superimposition. *The journal of advanced prosthodontics*. 2015;7(6):460-467.
167. Richert R, Goujat A, Venet L, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng*. 2017;2017:8427595.
168. Róth I, Czigola A, Fehér D, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. *BMC Oral Health*. Apr 26 2022;22(1):140.
169. Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):287.
170. Rudd KD, Strunk RR, Morrow RM. Removable dies for crowns, inlays, and fixed partial dentures. *J Prosthet Dent*. Mar 1970;23(3):337-345.
171. Rudolph H, Quaas S, Haim M, et al. Randomized controlled clinical trial on the three-dimensional accuracy of fast-set impression materials. *Clinical Oral Investigations*. 2013;17(5):1397-1406.
172. Rudolph H, Salmen H, Moldan M, et al. Accuracy of intraoral and extraoral digital data acquisition for dental restorations. *J Appl Oral Sci*. Jan-Feb 2016;24(1):85-94.
173. Rutkūnas V, Dirsė J, Bilius V. Accuracy of an intraoral digital scanner in tooth color determination. *J Prosthet Dent*. Feb 2020;123(2):322-329.
174. Sági G, Mátyási G. *Számítógéppel támogatott technológiák : CNC, CAD/CAM*. Budapest: Muszaki K.; 2007.
175. Schätzle M, Land NP, Anerud A, Boysen H, Bürgin W, Loe H. The influence of margins of restorations of the periodontal tissues over 26 years. *J Clin Periodontol*. Jan 2001;28(1):57-64.
176. Schepke U, Meijer HJ, Kerdijk W, Cune MS. Digital versus analog complete-arch impressions for single-unit premolar implant crowns: Operating time and patient preference. *J Prosthet Dent*. Sep 2015;114(3):403-406.e401.
177. Schmidt A, Klussmann L, Wöstmann B, Schlenz MA. Accuracy of Digital and Conventional Full-Arch Impressions in Patients: An Update. *J Clin Med*. 2020;9(3):688.
178. Schott TC, Arsalan R, Weimer K. Students' perspectives on the use of digital versus conventional dental impression techniques in orthodontics. *BMC Medical Education*. 2019/03/12 2019;19(1):81.
179. Schunk DH. *Learning Theories: an educational perspective*. 6th ed. Boston: Allyn & Bacon; 2012.
180. Seelbach P, Brueckel C, Wostmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clin Oral Investig*. Sep 2013;17(7):1759-1764.
181. Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, Di Corato F, Trovati F, Scribante A. Computerized Casts for Orthodontic Purpose Using Powder-Free Intraoral Scanners: Accuracy, Execution Time, and Patient Feedback. *Biomed Res Int*. 2018;2018:4103232.
182. Shen JZ, Kosmač T. *Advanced Ceramics for Dentistry (eBook)*. In: Shen JZ, Kosmač T, eds. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann; 2013:42-63. ISBN: 9780123948366.
183. Skramstad MJ. Welcome to Cerec Primescan AC. *Int J Comput Dent*. 2019;22(1):69-78.
184. Standardization IOF. *Dentistry — Digitizing devices for CAD/CAM systems for indirect dental restorations - Test methods for assessing accuracy: International Organization for Standardization*; 2012.
185. Standards BSIB. *Dentistry. Vocabulary of process chain for CAD/CAM systems*. London: BSI British Standards; 2016.



186. Stanley M, Paz AG, Miguel I, Coachman C. Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM: case report. *BMC Oral Health*. Aug 7 2018;18(1):134.
187. Su Ts, Sun J. Comparison of repeatability between intraoral digital scanner and extraoral digital scanner: An in-vitro study. *Journal of Prosthodontic Research*. 2015;59(4):236-242.
188. Suese K. Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners. *Dental Materials Journal*. 01/30 2020;39.
189. Sun L, Lee JS, Choo HH, Hwang HS, Lee KM. Reproducibility of an intraoral scanner: A comparison between in-vivo and ex-vivo scans. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. Aug 2018;154(2):305-310.
190. System SD. Product Catalouge. 2015; <http://www.frontdent.hu/module-files/catprice/file/ea2213122e62084a25bd5d56dd6cc665.pdf>
191. Tamim H, Skjerven H. Clinical evaluation of CAD/CAM metal-ceramic posterior crowns fabricated from intraoral digital impressions. *International Journal of ...* 2014.
192. Ting-shu S, Jian S. Intraoral Digital Impression Technique: A Review. *Journal of Prosthodontics*. 2015;24(4):313-321.
193. Treesh JC, Liacouras PC, Taft RM, et al. Complete-arch accuracy of intraoral scanners. *J Prosthet Dent*. Sep 2018;120(3):382-388.
194. Uzun G. An Overview of Dental CAD/CAM Systems. *Biotechnology & Biotechnological Equipment Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2008;22(1):530-535.
195. Vág J, Nagy Z, Bocklet C, et al. Marginal and internal fit of full ceramic crowns milled using CAD/CAM systems on cadaver full arch scans. *BMC Oral Health*. 2020/07/06 2020;20(1):189.
196. Vág J, Renne W, Revell G, et al. The effect of software updates on the trueness and precision of intraoral scanners. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*. 2021;52(7):636-644.
197. van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS One*. 2012;7(8):e43312.
198. Vandeweghe S, Vervack V, Vanhove C, Dierens M, Jimbo R, De Bruyn H. Accuracy of Optical Dental Digitizers: An In Vitro Study. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry*. 2015;35(1):115-121.
199. Vecsei B. A CAD/CAM technológia felépítése. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. *Fogpótlástan*. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.
200. Vecsei B, Czigola A, Róth I, Hermann P, Borbély J. Digital Impression Systems, CAD/CAM, and STL file. In: Kinariwala N, Samaranayake L, eds. *Guided Endodontics*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2021:27-63.
201. Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. *J Prosthodont Res*. Apr 2017;61(2):177-184.
202. Vercruyssen M, Laleman I, Jacobs R, Quirynen M. Computer-supported implant planning and guided surgery: a narrative review. *Clin Oral Implants Res*. Sep 2015;26 Suppl 11:69-76.
203. Virard F, Venet L, Richert R, et al. Manufacturing of an immediate removable partial denture with an intraoral scanner and CAD-CAM technology: a case report. *BMC Oral Health*. 2018/07/04 2018;18(1):120.
204. Waldecker M, Rues S, Trebing C, Behnisch R, Rammelsberg P, Bömicke W. Effects of Training on the Execution of Complete-Arch Scans. Part 2: Scanning Accuracy. *The International journal of prosthodontics*. 2021;34(1):27-36.

205. Wiranto MG, Engelbrecht WP, Tutein Nolthenius HE, van der Meer WJ, Ren Y. Validity, reliability, and reproducibility of linear measurements on digital models obtained from intraoral and cone-beam computed tomography scans of alginate impressions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. Jan 2013;143(1):140-147.
206. Wöstmann B, Salmen H, Kuhn K, et al. Accuracy of intraoral and extraoral digital data acquisition for dental restorations. *Journal of Applied Oral Science*. 2016;24(1):85-94.
207. Xu X. Integrating Advanced Computer-Aided Design, Manufacturing, and Numerical Control: Principles and Implementations. 01/01 2009.
208. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health*. Jan 30 2014;14:10.
209. Zaruba M, Mehl A. Chairside systems: a current review. *Int J Comput Dent*. 2017;20(2):123-149.
210. Zhang T, Wei T, Zhao Y, Jiang M, Yin X, Sun H. Evaluating the accuracy of three intraoral scanners using models containing different numbers of crown-prepared abutments. *Journal of Dental Sciences*. 2022;17(1):204-210.
211. Zhongpeng Y, Tianmin X, Ruoping J. Deviations in palatal region between indirect and direct digital models: an in vivo study. *BMC Oral Health*. Apr 27 2019;19(1):66.
212. Zimmermann M, Mehl A, Mormann WH, Reich S. Intraoral scanning systems - a current overview. *Int J Comput Dent*. 2015;18(2):101-129.

## Ábrajegyzék

1. ábra A fogászati CAD/CAM folyamatlánc ábrája. (Vecsei B. A CAD/CAM technológia felépítése. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.).....	10
2. ábra A Procera Forte a cég harmadik generációs szkennere. (Abdullah O, Azari A. An introduction to dental digitizers in dentistry; systematic review. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 10/11 2018;7:10-20.).....	13
3. ábra A CIM -számítógépes leképezés, tervezés, megmunkálás folyamatábrája. (Vecsei B. A CAD/CAM technológia felépítése. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.) .....	16
4. ábra A szkennerek szoftveres algoritmusa eltérő módon képezi a poligonhálót. Az A és B képeken látható szkennerek a preparált felszínhez közel eső felszínt sűrűbb poligonhálóval mintázza le, a pótlás szempontjából kevésbé fontos felszíneken pedig nem pásztázza (Vecsei B. A CAD/CAM technológia felépítése. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.).....	19
5. ábra A felületmodell (≈mesh) kialakulása összetevőiből. A: pontfelhő (vertex), B: pontokat összekötő élek (edges), C: poligon felszínek (faces). (Vecsei B. A CAD/CAM technológia felépítése. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.).....	20
6. ábra Pontfelhőből elkészült háromszögelés és fehér fény szkennere. (Hollenbeck K, Allin T, van der Poel M. Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best. 3ShapeTechnology Research, Copenhagen. 2012.).....	27
7. ábra A CEREC Bluecam intraorális szkennere strukturált kék fényvel tapogatja le a fogakat. A rendszer a rendelőben elhelyezett marógéppel szék melletti fogpótlások készítésére nyújt lehetőséget. (Logozzo S, Zanetti E, Franceschini G, Kilpela A, Mäkynen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. Optics and Lasers in Engineering. 03/01 2014;54:203–221.) .....	28
8. ábra Lézer szkennere. (Hollenbeck K, Allin T, van der Poel M. Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best. 3ShapeTechnology Research, Copenhagen. 2012.) .....	29
9. ábra Vörös lézernyalábok a felszín letapogatása közben. Ilyen technológiával működik a 3Shape D250 fogtechnikai laboratóriumi szkennere. (Logozzo S, Zanetti E, Franceschini G, Kilpela A, Mäkynen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. Optics and Lasers in Engineering. 03/01 2014;54:203–221.) .....	29
10. ábra Konfokális képalkotás. (Hollenbeck K, Allin T, van der Poel M. Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best. 3ShapeTechnology Research, Copenhagen. 2012.).....	30
11. ábra Trianguláció elve. (Hollenbeck K, Allin T, van der Poel M. Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best. 3ShapeTechnology Research, Copenhagen. 2012.).....	31
12. ábra A digitális harapásregisztráció egyik lehetséges módja, hogy a megfelelő méretű és kialakítású optikai szkennerekben a beartikulált modellek kerülnek szkennelésre (Temple Roland ftm. anyagából)(Joós-Kovács G. Fogászati szkennerek vizsgálata. Doktori értekezés.2022.).....	33
13. ábra Szekciós gipszminta szkennelésekor az optikai fogtechnikai szkennere valamilyen fényt bocsát a minta felszínére, amit kamerával érzékel. (Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Dent J. May 10 2008;204(9):505-511.) .....	34
14. ábra A páciens fogairól vett digitális lenyomata alapján készült virtuális modellek. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétele (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.).....	35
15. ábra Inlay üreg preparációról vett teljes fogív szkennelési képekkel és a nagy felbontású kiegészítő képek hozzáadásával. (Vecsei B, Czigola A, Róth I, Hermann P, Borbély J. Digital	

Impression Systems, CAD/CAM, and STL file. In: Kinariwala N, Samaranayake L, eds. Guided Endodontics. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2021:27-63.) .....	36
16. ábra Az intraorális szkennerek a lenyomatvételen túl, számos további szoftveres lehetőséget biztosítanak pl. az okklúzió szinkódolt értékelése (a) vagy fogszínmérés (b). (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.).....	36
17. ábra CAM /számítógép vezérelt marás a megfelelő színű tömbből. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.).....	39
18. ábra CAM /számítógép vezérelt marás a megfelelő színű tömbből. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.).....	39
19. ábra A tervező szoftverek számos automatikus eszközzel (preparációs határ felismerése, behelyezési irány beállítása) rendelkeznek, hogy a restaurátum 3D modelljének tervezése gyors és egyszerű legyen, ugyanakkor rendkívül széles a palettája azoknak az eszközöknek, amelyekkel a terv individualizálható. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.) .....	40
20. ábra Monolitikus cirkónium-dioxid fogpótlások a front területen cut-back megoldással a leplezéshez és a 3D nyomtatással készített modellek ínmaszkkal és az elkészült fogpótlások a modellen. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.).....	41
21. ábra Rendelői/szék melletti CAD/CAM rendszer felépítése. A fogorvos rendelkezésére áll a rendelőben az intraorális szkennerek (1), a CAD tervező program (2), a marógép (3), és a fogpótlás egyéniesítéséhez szükséges eszközök (pl. égetőkályha, festékek). (Vítai V. Rendelői/in clinic/chairside/szék melletti rendszerek. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.) .....	42
22. ábra Szék melletti CAD/CAM technika (Vítai V. Rendelői/in clinic/chairside/szék melletti rendszerek. In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.).....	43
23. ábra A készítendő fogpótlás megfelelő illeszkedését a lenyomat pontossága döntően meghatározza. A pontosság két eleme a valódiság és a precizitás. Valódiságnak nevezzük azt, hogy a mérés eredménye mennyire közelíti meg a valódi értéket. Precizitás alatt azt értjük, hogy az ismételt mérések során mekkora ezek egymáshoz viszonyított eltérése. (Borbély J, Hermann P. CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. Fogpótlástan. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.) .....	47
24. ábra Vizsgálatainkhoz használt PMMA referencia minta. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. J Prosthodont Res. Apr 2017;61(2):177-184.) .....	55
25. ábra A PMMA mintáról a referencia szkennerekkel készített STL formátumú virtuális minta, amit a későbbiekben referencia adatként használtunk. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.) .....	56
26. ábra A szuperimpozíció eredményének szinkódolt megjelenítése és a 3 különböző távolság értékelése virtuális tolmérővel. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. J Prosthodont Res. Apr 2017;61(2):177-184.) .....	58
27. ábra A vizsgálatot összefoglaló folyamatábra. Az fogtechnikai digitalizáció lépéseit követve egy PMMA referencia mintáról (1) helyfenntartó fóliával precíziós-szituációs lenyomatokat (2) vettünk, ezekből mestermintákat (3), majd szekciós mintákat (4) készítettünk. Mindegyik lépésnél nagy pontosságú ipari célra fejlesztett pontlézer szkennerekkel (5) STL fájlokat készítettünk (7-10), amelyeken	

virtuális tolómérős vizsgálattal határoztuk meg az eltéréseket (12). Az fogtechnikai szkennelést Straumann CARES Scan CS2 (6) szkennelvel végeztük. Az így létrehozott STL fájlokat (11) szintén ráillesztettük a referencia STL fájlra, és elvégeztük a tolóméréseket. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.).....	60
28. ábra A két fázissal két időben vett precíziós-szituációs lenyomatokhoz peremes fém gyári kanalat (A) és helyfenntartó fóliát használtunk. A gépi keverésű alap lenyomat (B) megkötése után a fóliát eltávolítottuk, és a korrekciós fázist (C) keverő pisztollyal a kanálba és a fogak köré fecskendeztük. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.).....	61
29. ábra IV-es típusú mintázó gipszből készült, kidolgozott mester Minta. A mester Mintából a Giroform rendszerrel készült a szekciós Minta. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.) .....	62
30. ábra A mester Minta szekcionálásával létrehozott a szekciós Minta. A műanyag talpak, valamint a fém stiftnek köszönhetően a fogak a fogív ből szabadon eltávolíthatók és visszahelyezhetők. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)..	62
31. ábra Szekciós mintákról fogtechnikai szkennelvel készített virtuális modellek. A szkennelés során először a teljes gipsz Minta (A) kerül szkennelésre, így létrejön egy néhol hiányokat tartalmazó elsődleges virtuális Modell (C). Második lépésben a gipszcsontokról (B) nagy felbontású adatfelvétel történik, amivel kiegészíti a program a hiányos területeket, létre hozva a végleges virtuális Modellt (D). (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.).....	63
32. ábra Virtuális tolómérős vizsgálatot végeztünk az 14,21,24,27 preparált fogak mezo-disztális és bukko-palatinális átmérőin. A preparált csontok közötti távolságot a 24-27 legközelebbi pontjai között „kis távolság”, a 24-27 legtávolabbi pontjai között „közepes távolság”, és a 21-27 legtávolabbi pontjai között „legnagyobb távolság” mértük. Az eltéréseket a program színekkel és táblázatos formában megadta. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.).....	64
33. ábra A virtuális Minta elfogadásának feltételei, hogy minden fog és azok minden felszíne leképezésre került, és a harapásrögzítés sikeres volt. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.) .....	68
34. ábra A klasszikus típusú tanulási görbe. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.).....	69
35. ábra Az inverz tanulási görbe. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.) .....	69
36. ábra A referenciaként használt PMMA Modell: az 11, 14, 17 fogak koronához, a 26 fog inlayhez lett előkészítve, és az 15 és 16 fogak hiányoztak. (Róth I, Czigola A, Fehér D, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health. Apr 26 2022;22(1):140.).....	78
37. ábra Az IOS rendszerek pontosságának értékeléséhez mért 5 paraméter. (Róth I, Czigola A, Fehér D, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health. Apr 26 2022;22(1):140.).....	80

38. ábra A referencia tartományok és átszámított pont értékek a vizsgált terület nagysága alapján. (Róth I, Czigola A, Fehér D, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health. Apr 26 2022;22(1):140.) .....	80
39. ábra A rövid távolságon (24-27 inside) mért eltérések box-plot diagramjai. Az értékek mikrométerben vannak megadva, a referencia távolság a „0” érték. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. J Prosthodont Res. Apr 2017;61(2):177-184.) 85	
40. ábra A közepes távolságon (24-27 outside) mért eltérések box-plot diagramjai. Az értékek mikrométerben vannak megadva, a referencia távolság a „0” érték. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. J Prosthodont Res. Apr 2017;61(2):177-184.) 85	
41. ábra A legnagyobb távolságon (21-27 legtávolabbi pontjai) mért eltérések box-plot diagramjai. Az értékek mikrométerben vannak megadva, a referencia távolság a „0” érték. (Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P. Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. J Prosthodont Res. Apr 2017;61(2):177-184.) 86	
42. ábra A preparált fogak átmérőinek változását (FDI 14,21,24,27) a bukko-palatinális és mezio-disztális átmérők változásainak összehasonlításával vizsgáltuk. Az x-tengelyen az indirekt útvonal lépései kerültek feltüntetésre: Precíziós-szituációs lenyomatok, Mesterminták, Szekciós Minták, Fogtechnikai szkener adatai. Az y-tengely a mért eltéréseket mutatja milliméterben. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.) .....	87
43. ábra Az ábrán a fogtechnikai digitalizáció egyes lépéseihez tartozó 8 csonkátmérő relatív torzulásának átlaga látható. A lépések közül a precíziós-szituációs lenyomatoknál volt a legnagyobb mértékű változás. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.) .....	90
44. ábra A csonkokon mért relatív torzulások átlaga (Y tengely) a fogtechnikai digitalizációs munkafolyamat egyes lépéseinél, különböző színnel jelölve. X-tengelyen a csonkok referencia méretei mm-ben nagyság szerint növekvő sorba rendezve. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.) .....	90
45. ábra A három mért távolságon (kis-, közepes- és legnagyobb távolság) összesített adatok eloszlása. A legkisebb az eltérés a fogtechnikai szkennelés lépésénél. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.) .....	91
46. ábra Az indirekt digitalizációs útvonal egyes lépéseinél mért abszolút eltérések a rövid távolság (24-27 legközelebbi pontjai között), közepes távolság (24-27 legtávolabbi pontjai között) és a legnagyobb távolság (21-27 legtávolabbi pontjai között) esetében (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.) .....	93
47. ábra Az indirekt digitalizáció lépéseinek vizsgálata a távolságok nem lineáris relatív torzulását mutatta (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.) .....	94
48. ábra Regressziós görbe a szkennelési idő és a mérések számának függvényében. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.) .....	96
49. ábra Regressziós görbe a képszám és a mérések számának függvényében. (Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, Hermann P, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.) .....	97

50. ábra Az Összefoglaló táblázat eredményei.....	98
51. ábra Intraorális szkennerek kézzel tartott súly eredmények.....	99
52. ábra Intraorális szkennerek fej átmérő eredmények.....	99
53. ábra Szkennelési sebesség eredmények.....	100
54. ábra Folytonosság megszakadás eredmények.....	100
55. ábra Pontosság mérések eredményei (valódiság + precizitás).....	101
56. ábra Klinikai szkennelési időeredmények kvadráns digitális lenyomatvételek esetén.....	102
57. ábra Klinikai szkennelési időeredmények teljes fogív digitális lenyomatvételek esetén.....	103
58. ábra Intraorális szkennerek összehasonlításának összesített pontszámai.....	103



## Táblázatok jegyzéke

1. táblázat Intraorális szkennerek leképezési elvei és fényforrásai. (Róna V. CAM/CAM technológiához felhasználható fogászati szkennerek. Szakdolgozat. 2021.) .....	25
2. táblázat Extraorális szkennerek leképezési elvei és fényforrásai. (Róna V. CAM/CAM technológiához felhasználható fogászati szkennerek. Szakdolgozat. 2021.) .....	26
3. táblázat A vizsgálat során a Fogpótlástani Klinika Digitális Munkacsoportja által vizsgált 12 intraorális szkennere.....	71
4. táblázat Az intraorális szkennerek speciális tulajdonságait összefoglaló táblázat. ....	74
5. táblázat A valóság és precizitás értékek átlagai mikrométerben és az ezek alapján számított pontosság pontok. (Róth I, Czigola A, Fehér D, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health. Apr 26 2022;22(1):140.).....	81
6. táblázat A direkt és indirekt rendszerek eltéréseinek átlagai, standard deviáció (SD) és interkvartilis tartomány µm-ben megadva az egyes vizsgált távolságoknak megfelelően. ....	84
7. táblázat Az indirekt digitalizáció lépései során milliméterben mért változások a preparált csonkok (14,21,24,27) mezio-bukkális (MB) és bukko-palatinális (BP) átmérőin. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmenyi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.).....	88
8. táblázat A preparált csonkok átmérőinek változása többszintű, kevert hatásmodalitású lineáris regresszióval kiértékelve. *- jelöli a szignifikáns eltérést (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmenyi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.).....	89
9. táblázat A indirekt digitalizáció lépései során mért átlagos csonkátmérők változások. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmenyi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)..	91
10. táblázat Az indirekt digitalizáció során vizsgált kis-, közepes- és legnagyobb távolság relatív eltérései (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmenyi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.).....	92
11. táblázat Az indirekt digitalizációs lépések milliméterben mért változásai rövid-(24-27 inside), közepes- (24-27 outside) és legnagyobb távolságon (21-27 legtávolabbi pontjai között) (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmenyi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.)..	94
12. táblázat Az indirekt digitalizációs lépések között szignifikáns eltérést mutatott a lineáris regressziós statisztikai analízis. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmenyi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.).....	95
13. táblázat A rövid-közepes és legnagyobb távolságok vizsgálata során a távolság növekedése és a torzulás mértéke között nem volt összefüggés. (Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmenyi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280.) .....	95

## A doktori mű témakörével összefüggő saját publikációk jegyzéke

### Nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények

Németh, Anna ; Vitai, Viktória ; Czumbel, Márk László ; Szabó, Bence ; Varga, Gábor ; Kerémi, Beáta ; Hegyi, Péter; **Hermann, Péter** ; Borbély, Judit

*Clear guidance to select the most accurate technologies for 3D printing dental models - A network meta-analysis* JOURNAL OF DENTISTRY 134 Paper: 104532 , 12 p. (2023)

Róth, Ivett ; **Hermann, Péter** ; Vitai, Viktória ; Joós-Kovács, Gellért Levente ; Géczi, Zoltán ; Borbély, Judit *Comparison of the learning curve of intraoral scanning with two different intraoral scanners based on scanning time* BMC ORAL HEALTH 23 : 1 Paper: 267 , 10 p. (2023)

Schmalzl, Judit ; Róth, Ivett ; Borbély, Judit ; **Hermann, Péter** ; Vecsei, Bálint *The impact of software updates on accuracy of intraoral scanners* BMC ORAL HEALTH 23 : 1 Paper: 219 , 8 p. (2023)

Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, **Hermann P**, Borbély J., Vecsei B. Digital intraoral scanner devices – a validation study based on common evaluation criteria. BMC Oral Health. 2022

Róth I, Czigola A, Joós-Kovács GL, Dalos M, **Hermann P**, Borbély J. Learning curve of digital intraoral scanning – an in vivo study. BMC Oral Health. 2020;20(1):287.

Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, **Hermann P**. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner - an in vitro study. BMC Oral Health. Dec 12 2019;19(1):280

Borbély J, Czigola A, Vitai V, Róth I, **Hermann P**. Intraoral Scans for CAD/CAM Application. *Stoma Edu J*. 2018;5(2):110-117.

Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, **Hermann P.** Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. *J Prosthodont Res.* Apr 2017;61(2):177-184.

### Magyar nyelvű folyóiratban megjelent tudományos közlemények

Czigola A, Borbély J, Vecsei B, Joós-Kovács GL, Vitai V, Róth I, Fehér D, Módos D, **Hermann P.** Weboldal a Magyarországon elérhető szkennerek összehasonlítására. *Magyar Fogorvos.* 2020:76-84.

Borbély J, Dóró M, Joós-Kovács G, Vecsei B, **Hermann P.** Okoslenyomat – a szájképletek digitális másolata. *Magyar Fogorvos.* 2016;XXV(6):274-285.

### Könyvfejezetek

Borbély J, **Hermann P.** CAI – Digitális lenyomatvétel (Computer Aided Impressioning). In: Hermann P, Kispélyi B, eds. *Fogpótlástan.* Budapest: Semmelweis Kiadó; 2022.

Vecsei B, Czigola A, Róth I, **Hermann P,** Borbély J. Digital Impression Systems, CAD/CAM, and STL file. In: Kinariwala N, Samaranayake L, eds. *Guided Endodontics.* Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2021:27-63.