

# MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISFÜZET

Digitális lenyomatvétel: új perspektívák a  
fogótlásban



**Dr. Hermann Péter**

BUDAPEST

2023

# **Digitális lenyomatvétel: új perspektívák a fogpótlásban**

## **1. fejezet: Kitűzött kutatási feladat rövid összefoglalása**

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. Hagományos munkafolyamatok során a precíziós-szituációs lenyomatot megfelelően kiöntve nagy pontosságú gipszmintát kapunk. A CAD/CAM technológia térhódításával a hangsúly egyre nagyobb mértékben a virtuális modellek szerepe felé tolódott. Háromdimenziós virtuális modellt létre tudunk hozni a

gipszmintát laboratóriumi szkennerral digitalizálva, amire a tervező szoftver segítségével a fogpótlás megtervezhető, majd a gyártás számítógép vezérelte CNC marógéppel vagy 3D nyomtatással kivitelezhető a megfelelő anyagból. A marást vagy nyomtatást követően a fogtechnikus kidolgozza, és ha kell leplezi a fogművet. Virtuális modellhez juthatunk intraorális digitális lenyomatvétel során közvetlenül a szájképletek szkennelésével. Monolitikus kis kiterjedésű restaurátumok fizikai modell nélkül is készülhetnek (chairside dentistry), vagy az intraorális digitális adatok alapján 3D nyomtatás útján állíthatunk elő rezin modellt. A digitális munkafolyamatok alapja minden esetben a digitális lenyomat. A CAD/CAM rendszerek bemeneti jelét a számítógéppel támogatott lenyomatkozás (CAI) biztosítja, létrejön a virtuális modell a számítógéppel támogatott tervezéshez (CAD), és a terv alapján történik a számítógéppel támogatott gyártás (CAM). A digitális lenyomatvétel klinikai felhasználását alapvetően az határozza meg, hogy milyen a lenyomatvételi technika pontossága, és mennyire egyszerű az eszközök klinikai használata. Az intraorális digitális lenyomatvételi eszközök, az intraorális szkennerek

szakszerű klinikai felhasználását tanulási folyamat előzi meg. A hazai piacon egyre több intraorális szkennerek rendszer érhető el, amelyek összehasonlításához objektív és átfogó szempontrendszerre van szükség.

Vizsgálataink célkitűzése a digitális lenyomatvétel pontosságának értékelése, az intraorális digitális lenyomatvétel tanulhatóságának jellemzése, és a hazai piacon elérhető intraorális szkennerek összehasonlítása:

1. Direkt és indirekt CAD/CAM rendszerek pontosságának (valódiság, precizitás) értékelése intraorális szkennerekkel (iTero-Align Technology, Trios- 3Shape és CEREC Omnicam- Sirona) és laboratóriumi szkennerekkel (Straumann Cares Scan CS2) létrehozott virtuális modellek összehasonlításával.
2. Laboratóriumi szkennerekkel (Straumann Cares Scan CS2) létrehozott virtuális modellek valódiságának értékelése.
3. Az intraorális digitális lenyomatvétel tanulási görbéjének leírása a szkennelési idő és a képszám

(a szkennelés során létrejövő képek száma) segítségével.

4. Intraorális szkennerek objektív összehasonlítása a felállított egységes és átfogó szempontrendszer alapján történik (speciális tulajdonságok összefoglalása, ergonómiai paraméterek (intraorális szkennerek tömege és fejtárfoka), szkennelési idő/folytonosság megszakadás és a szkennerek pontossága).

## 2. fejezet: Az elvégzett vizsgálatok rövid leírása, a feldolgozás módszerei

1. A „Direkt és indirekt CAD/CAM digitalizációs rendszerek pontosságának összehasonlítása” in vitro vizsgálat során az intraorális szkennerekkel készített virtuális modellt, és a hagyományos lenyomat kiöntésével nyert mintáról laboratóriumi szkennerekkel készített virtuális modellt egy referencia modellhez hasonlítottuk. Egy preparált fogakat és fogatlan állcsontgerincet is tartalmazó

polymethyl methacrylate (PMMA) modellről dupla triangulációs elven működő pontlézer ipari szkennerral referencia stl. fájlt hoztunk létre. A PMMA modellről Polyvinyl-siloxane (PVS) hagyományos lenyomatok és intraorális szkennerekkel (iTero-Align Technology, a Trios-3Shape és a CEREC Omnicam- Sirona) a gyártó cég szkennelési stratégiájának megfelelően digitális lenyomatok készültek. A PVS lenyomat kiöntését követően Giroform rendszerrel (Amann Girrbach Dental) készültek el a szekcionált gipszminták, amelyek laboratóriumi szkennerral (Straumann Cares Scan CS2) a gyártó utasításait követve két lépcsős szkennelési protokoll szerint digitalizáltunk. Az adatok STL fájlként lettek exportálva. Az intraorális és laboratóriumi szkennerek STL fájljait a referencia szkennerek STL fájljal szoftveresen hasonlítottuk össze (Geomagic verify software, 3Dsystems). A programban az STL fájlkat a legjobb illesztés elve (best fit alignment) szerint szuperimpozicionáltuk. A fogív

3 különböző távolságát meghatározó 6 pont került kijelölésre virtuális tololómérős vizsgálatokhoz:

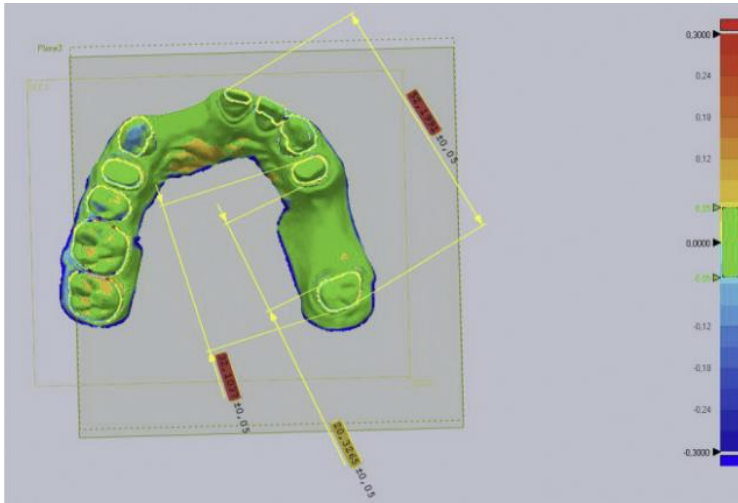
- rövid távolság (24 - 27 fog legközelebbi pontjai közötti távolság)
- közepes távolság (24 - 27 fog legtávolabbi pontjai közötti távolság)
- legnagyobb távolság (21 - 27 fog legtávolabbi pontjai közötti távolság)

A vizsgálat során a távolságmérések eredményeit értékeltük, mert ez mutatja legjobban a fogív torzulásának mértékét. Az optikai lenyomatvételek leggyengébb pontja az az illesztés, ahogyan a teljes fogív képe kialakul. Egy apró elmozdulás vagy elfordulás a képek illesztése során a szemközi oldal pontatlan lenyomatát eredményezi. Az összehasonlító szoftver beépített eszközei közé tartozik a szuperimpozíció lehetősége (a direkt/indirekt szkennelés illesztése a referencia szkennelésre), és a digitális tololómérő (az előre kijelölt referencia pontok közötti távolságok mérésének lehetősége). Ahhoz, hogy a 3D szkennelési 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-es fog meziális- 27-es fog disztális pontja, 24-es fog meziális- 27-es fog disztális pontja és 24-es fog disztális és 27-es fog meziális pontja között jelöltük ki. Három különböző távolság mérése vált lehetővé a fogívben: rövid távolság (24–27 belső), közepes távolság (24–27 külső), és legnagyobb távolság (21–27 bal oldal).

A statisztikai analízis Stata programcsomag segítségével történt. Levene tesztet (iqr) és Brown-Forsythe tesztet használtunk a precizitás eltérések meghatározására. A valóság kiértékeléséhez a csoportok közötti átlag kevert hatású lineáris regressziós analízist végeztünk.





1. ábra A szuperimpozíció eredményének szinkódolt 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.)

2. Az „Extraorális -laboratóriumi szkennelvel végzett digitalizálás pontosságának vizsgálata” során az indirekt digitalizációs útvonal lépésenként került kiértékelésre. Referenciaként az első vizsgálat során már korábban is használt PMMA modellről referencia szkennelvel létrehozott referencia stl. adathalmaz szolgált. A hagyományos lenyomatvétel során 10 precíziós-szituációs lenyomat készült A-szilikon lenyomatanyaggal,

helyfenntartó fóliával és peremes, perforált fém gyári kanállal. A mesterminták 4-es típusú mintázógipsszel készültek (GC Fujirock EP, GC Corp.) a szakma szabályait követve, és Giroform (Giroform, Amann Girrbach GmbH) műanyag talppal. A gipszcsonkok fogívből történő szekcionálásával készültek el a Giroform rendszer kivehető csontos szekciós minták. Az indirekt CAD/CAM digitalizációs útvonal lépéseinek megfelelően a lenyomatok, a mesterminták és a szekciós minták referencia szkenneléstől történő digitalizálásával STL fájlok készültek. További STL fájlokat kaptunk a laboratóriumi szkenneléstől (Straumann Cares Scan CS2) végzett digitalizáció során. A gyártó utasításainak megfelelően a szekciós mintákat két lépcsős szkennelési protokoll szerint digitalizáltuk. Először a teljes fogív leképezése történt, majd következő lépésben a szekciós minta preparált csontjait egyesével szkenneltük. A digitalizált mintacsontokat a szkenneléstől szoftveresen a teljes fogív virtuális modelljéhez illesztette. Az STL fájlok

kiexportálását és best fit alignment (legjobb illesztés elve) szerinti illesztését követően a Geomagic verify szoftver virtuális tolómérő funkciójával távolságmérések történtek az első vizsgálat során definiált három távolságnak megfelelően:

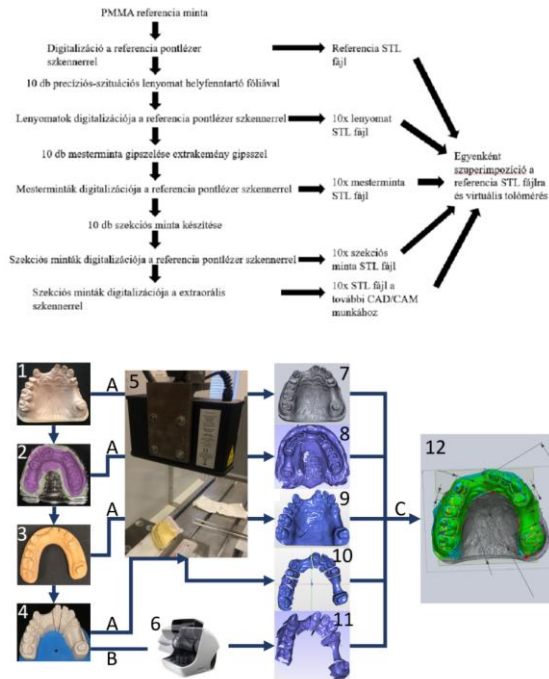
- legkisebb távolság a 24-27 fogak legközelebbi pontjai között,
- közepes távolság a 27-24 fogak legtávolabbi pontjai között,
- legnagyobb távolság a 21-27 fogak legtávolabbi pontjait között.

A preparált fogak csonkátmérőinek méréséhez az eredeti síkban felvett mérőpontokkal a csonkok mezio-disztális és bukko-palatinális átmérője is kijelölésre került:

- 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 abszolút eltéréseket többszintű kevert hatású lineáris regressziós modell segítségével számítottuk.

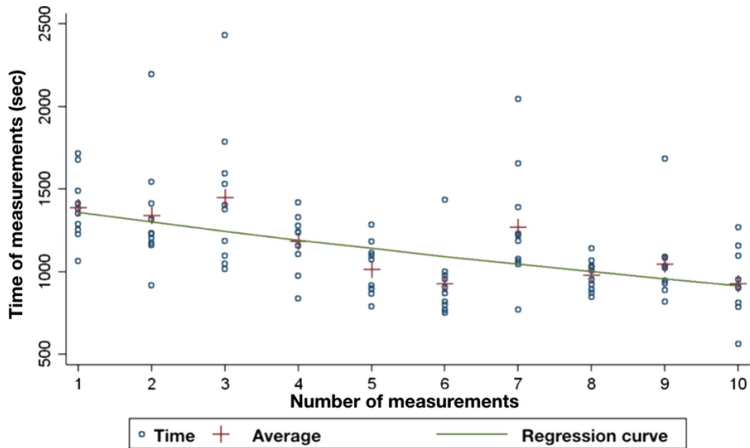


2. ábra Folyamatábra az indirekt digitalizáció vizsgálatának lépéseire. PMMA referencia mintáról (1) precíziós-szituációs lenyomatvétel helyfenntartó fóliával (2) mesterminták készítése (3), szekciós minták készítése (4). Digitalizáció ipari nagy pontosságú pontlézer szkennel (5) STL fájlok kiexportálása (7-10) és virtuális tolméréssel végzett távolságmérések az eltérések meghatározásához (12). Digitalizáció Straumann CARES Scan CS2 laboratóriumi szkennelrel, (6) a kiexportált STL fájlok best fit alignment illesztése a referencia STL fájlra (11) és távolságmérések virtuális tolmérő szoftveres funkcióval. (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.)

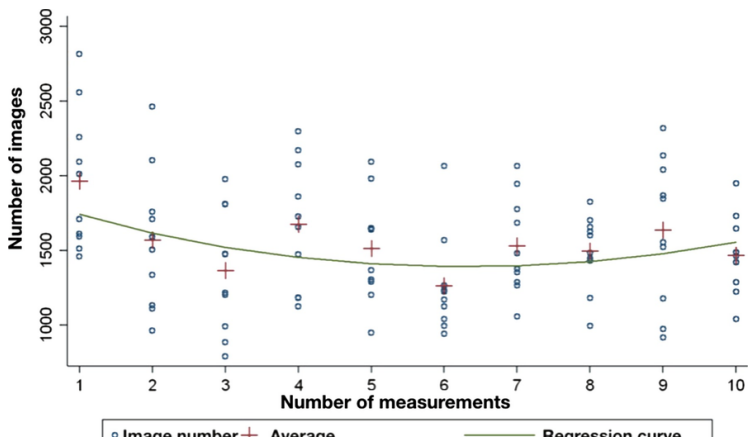
3. "A digitális lenyomatvétel tanulási görbéjének klinikai vizsgálata" során leírtuk az intraorális szkennelés tanulási görbéjét, a lenyomatvételhez szükséges idő és a lenyomatozás képszáma alapján. A vizsgálatban a Semmelweis Egyetem Fogorvostudományi Karának 10 hallgatója vett részt, akik a vizsgálatot megelőzően a szkennelés elméleti és gyakorlati oktatásában részesültek. A hallgatók egyenként 10 db intraorális szkenn felvételt készítettek a vizsgálatra önként jelentkező páciensekről a Trios3 (3 Shape) intraorális szkenn segítségével úgy, hogy az első és utolsó páciens minden esetben azonos volt. A szkenn kalibrálása, és a digitális munkalap kitöltését követően a digitális lenyomatok a gyártói utasításnak megfelelő szkennelési stratégiával készültek a felső és alsó állcsontokról, az IKP pozíció rögzítésével. A szkenneket egy a digitális lenyomatvételben járatos fogorvos értékelt ki. A szkennelési időt stopperórával mértük. A teljes szkennelési idő tartalmazta az adatok felvételének idejét, a lenyomatvétel időtartamát, mely magába

foglalja a teljes felső és alsó állcsont szkennelését, a harapásrögzítést mindkét oldalon, és a szkennfeldolgozásának idejét is. Rögzítésre került a képszám a felső és alsó állcsont szkennelése közben, illetve a harapásrögzítés alatt. A képszám a képek azon összege, amelyet az intraorális szkennerrögzít a szkennelés ideje alatt. A tanulási görbe segítségével vizuálisan ábrázoltuk a tanulás ütemét az ismétlése okozta tapasztalat függvényében. A hallgatók tanulási görbáját a teljes szkennelési idő, és a képek számának függvényében értékeltük.

A statisztikai analízist Stata programcsomagban, random hatásmodalitású, általánosított legkisebb négyzetes regressziós modellezéssel végeztük.



3. 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.)



4. 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.)



4. Az „Intraorális szkennerek rendszerek összehasonlítása egységes szempontrendszer alapján” vizsgálat során 12 IOS rendszert értékeltünk, a tesztelés sorrendjében: Trios 3 Pod 3Shape, Emerald Planmeca, DWIO Straumann, Aadvia GC, Element 2 iTero, Primescan CEREC, Medit i500, Trios 4 Move 3Shape, CS3600 Carestream, Trios 4 Pod 3Shape, CS3700 Carestream és Emerald S Planmeca. Minden IOS tesztelésében három fogorvostanhallgató vett részt (összesen 36 hallgató vett részt a vizsgálatokban), akik nem rendelkeztek korábbi tapasztalattal az intraorális szkennelést illetően. A szkennerek 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. A IOS rendszerek könnyen összehasonlítható objektív értékeléséhez pontrendszer került kidolgozásra. A pontrendszerben az egyes vizsgált paramétereket

súlyoztuk: összefoglaló táblázat [max. 10 pont]+ IOS kézidarab súly [max. 2.5 pont]+ szkennervej kerület [max. 2.5 pont]+ /szkenelési idő [max. 2.5 pont]+ szkennelési folyamat folytonossága [max. 2.5 pont]+ pontosság [max 5 pont valódiság + max 5 pont precizitás= max. 10 pont] = összesen [max. 30 pont].

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 a szkennervej kerületét és a kézidarab súlyát mértük. Az in vitro mérésekhez a hallgatók egy polimetil-metakrilát (PMMA) modellt szkenneltek be, ahol a 11, 14, 17 fogak koronához, a 26 fog pedig inlayhez volt preparálva; míg az 15 és az 16 fogak hiányoztak. Nagy pontosságú ipari precíziós szkennerral (stereoSCAN neo; AICON 3D

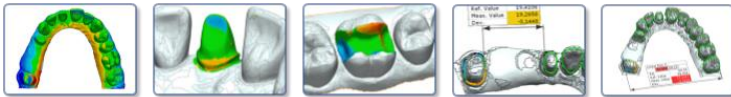
Systems, Németország) a modellről referencia STL fájlt hoztunk létre.

Az in vitro mérések kettős célt szolgáltak: a szkennelési idő és folytonosság, valamint a pontosság értékelését. A pontosság vizsgálata során a kiexportált STL fájlokat a Geomagic Verify (v2015.2.0; 3D Systems, Three D Systems Circle, USA) szoftverben a best fit alignment legjobb illesztés elve szerint szuperimpozicionáltuk a referencia fájlra, és az egymásra illesztett adatok eltéréseit mértük a teljes fogíven, az inlay üreg, valamint a preparált metszőfog esetén. A digitális tolómérővel végzett mérésekhez referenciapontok kerültek kijelölésre. 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).

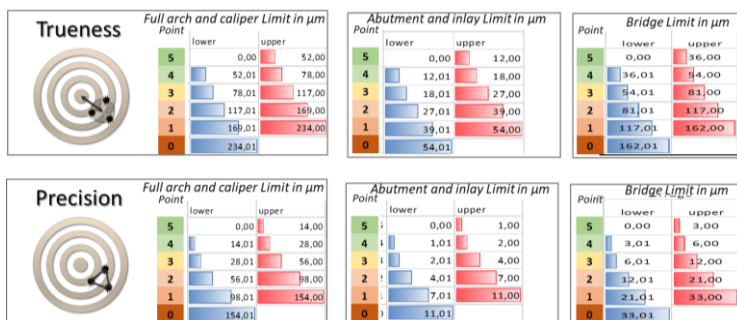
Az IOS-ek pontosságát (valódiság és precizitás) jelző 5 paramétert vizsgáltunk:

- A teljes fogív szkennelési átlagos eltérése megmutatja az általános pontosságot.

- A preparált metszőfog felszíne az a legkisebb általunk vizsgált terület, amely az IOS legjobb pontosságát jelzi.
- Az inlay üreg és az approximális felületek referenciától való átlagos eltérése a chairside rendszerek pontosságára utal.
- A négytagú híd esetében a pillérfogak közötti távolság mutatja meg a fogatlan gerinc torzító hatását.
- A második moláris fogak distobuccalis csücskei közötti távolság jelzi a teljes fogíven a szkennelési pontosság általános torzulását, az összeillesztésből adódó hibák indikátora.



5. 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.)



6. 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.)

A statisztikai elemzésekhez az IBM SPSS Statistics programcsomagot (v27.0; IBM Corp.) használtuk. Az adatok eloszlásának normalitását a Kolmogorov-Smirnov teszt segítségével vizsgáltuk (StataCorp. Stata statisztikai szoftver: Release 15. College Station, Texas: StataCorp LLC).

1. táblázat A valódiság 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 DWIG	Ipero Element 2	Medit 600 DIOS 4	Planmeca Emerald	Planmeca Emerald 5	3Shape Trios 3 Pod	3Shape Trios 4 Move	3Shape Trios 4 Pod
Full arch WHL	Trueness value and point	123,4	72,1	85,7	49,9	133,2	43,5	41,5	174,5	82,7	106,0	61,2	38,2
	Precision value and point	2	4	3	5	2	5	5	1	3	3	4	5
	Trueness value and point	25,5	15,4	20,7	20,9	51,2	45,1	13,7	49,9	11,1	55,7	19,1	17,5
Single abutment WHL	Trueness value and point	32,9	23,5	23,5	11,0	28,8	14,6	11,8	114,3	20,9	14,1	12,1	12,9
	Precision value and point	2	3	3	5	2	4	5	0	3	4	4	4
	Trueness value and point	6,9	19,0	19,0	1,2	2,4	2,8	2,1	17,5	2,6	1,7	0,6	1,3
Inlay WHL	Trueness value and point	33,3	30,6	31,5	20,0	43,2	20,6	20,7	47,3	34,8	23,3	26,2	21,0
	Precision value and point	2	2	2	3	1	3	3	1	2	3	3	3
	Trueness value and point	13,9	6,0	5,6	3,9	11,6	4,5	2,6	18,0	4,1	3,1	6,2	4,7
Bridge caliper	Trueness value and point	150,3	118,1	118,0	11,6	102,0	52,0	24,6	166,0	83,4	62,1	32,0	18,3
	Precision value and point	1	1	1	5	2	4	5	0	2	3	5	5
	Trueness value and point	113,5	118,1	118,0	11,6	65,9	23,6	19,5	38,1	13,1	61,2	19,6	16,5
Arch caliper	Trueness value and point	0	0	0	3	0	1	2	0	2	0	2	2
	Precision value and point	443,4	161,9	161,5	86,0	843,0	139,2	137,4	534,5	252,7	355,0	144,7	74,3
	Trueness value and point	0	2	2	3	0	2	2	0	0	0	2	4
Accuracy point	Trueness value and point	368,2	158,7	158,3	85,8	408,1	51,0	135,5	476,1	200,2	324,0	136,4	74,3
	Precision value and point	0	0	0	2	0	3	1	0	0	0	1	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	

### 3. fejezet: Új tudományos eredmények tételes összefoglalása

A vizsgálatok (1.) az intraorális szkennelssel és laboratóriumi szkennelssel készített STL fájlok összehasonlításával a direkt és indirekt CAD/CAM rendszerek pontosságát, (2.) a laboratóriumi szkennelssel létrehozott virtuális modellek valódiságát, (3.) az intraorális digitális lenyomatvétel tanulási

görbáját és (4.) egységes szempontrendszer alapján az intraorális szkennerek értékeltek.

A vizsgálatok konklúziójaként megállapítást nyert:

1.

- Az indirekt és a direkt digitális lenyomatvétel pontosságát befolyásolta a leképezendő fogív hossza.
- A legrövidebb távolság (24-27 belső) intraorális szkennelésével pontosabb virtuális modell jött létre, mint az indirekt CAD/CAM digitalizációval (laboratóriumi szkennelés).
- A direkt digitalizáció (intraorális szkennelés) precizitása jobb eredményeket adott, mint az indirekt útvonal.
- Kvadráns távolság esetén (24-27 külső) mind az intraorális, mind pedig a fogtechnikai digitalizáció pontatlanabb eredményt adott, mint a kisebb kiterjedésű 24-27 belső távolság esetén.
- A leghosszabb távolság esetén mindkét digitalizációs módszer pontatlanabb 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 (intraorális szkennelés) adott pontosabb eredményeket.

2.

- Az indirekt digitalizációval létrehozott virtuális modell pontosságát a hagyományos lenyomatvételhez, a szekciós minta készítéséhez és a fogtechnikai szkennelssel végzett digitalizációhoz tartozó torzító hatások is befolyásolták.
- A fogtechnikai szkennelssel történő digitalizáció során létrehozott virtuális modellek és a szekciós minták valóságos eltérést mutatnak.
- A szekciós 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 csomópontok mérete, és a torzulás mértéke között nem volt összefüggés. Az indirekt CAD/CAM digitalizációs



útvonal utolsó lépésénél, a laboratóriumi szkennerek által létrehozott virtuális modelleken kisebb távolságok voltak mérhetőek.

- Az intraorális szkenneléssel létrehozott virtuális modellek pontosabbak lehetnek, mint a hagyományos lenyomatok kiöntésével nyert minták laboratóriumi digitalizációval nyert virtuális modellek.
- Technikailag lehetséges a laboratóriumi digitalizáció helyettesítése intraorális digitális lenyomatokkal. További vizsgálatokra van szükség a pontosság megállapításához klinikai körülmények között.

3.

- Az intraorális digitális lenyomatvétel 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 szkennerefejet. 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 szkent 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 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.

- Az intraorális szkennerek az általunk felállított szempontrendszer paraméterei alapján (speciális tulajdonságokat összefoglaló táblázat, ergonómiai paraméterek (kézidarab súly és szkennervej-átmérő), modell szkennelési idő/folytonosság megszakadás és 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 szkennerek kiválasztásában.

- Az új generációs IOS rendszerek jobb tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a korábbi verziók. Az újabb generációk több speciális tulajdonsággal bírnak (fogszín-meghatározás, mosolytervezés, caries detektálás), és pontosabbak. A szoftverfrissítések a rendszerek vizsgált paramétereit pozitívan változtatták: rövidebb szkennelési idő és kevesebb folytonosság megszakadás és jobb pontosság.
- Az egyes IOS rendszerek közötti különbségek fokozatosan tűnnek el, ahogyan az újabb generációs szkennerek, illetve a szoftverfrissítések megjelennek.

Fontos kiemelni, hogy a kapott eredmények alapján levonható következtetéseket a vizsgált eszközök és szoftverek, az informatika és a digitális workflow, valamint a mesterséges intelligencia rohamos

fejlődésének figyelembevételével szükséges a maga idejében értékelni.

## 4. Ábrajegyzék

1. ábra A szuperimpozíció eredményének szinkódolt 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.) .....9
2. ábra Folyamatábra az indirekt digitalizáció vizsgálatának lépéseire. PMMA referencia mintáról (1) precíziós-szituációs lenyomatvétel helyfenntartó fóliával (2) mesterminták készítése (3), szekciós minták készítése (4). Digitalizáció ipari nagy pontosságú pontlézer szkenneléssel (5) STL fájlok kiexportálása (7-10) és virtuális tolómérővel végzett távolságmérések az eltérések meghatározásához (12). Digitalizáció Straumann CARES Scan CS2 laboratóriumi szkenneléssel, (6) a kiexportált STL

fájlok best fit alignment illesztése a referencia STL fájltra(11) és távolságmérések virtuális tolómérő szoftveres funkcióval. (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.) .....	13
3. 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.).....	16
4. 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.).....	16
5. 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.).....	20

6. 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.) ....21

## 5. Táblázatjegyzék

1. táblázat A valódiság 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.).....22

## 6. 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**

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

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

## Könyvfejezetek

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.

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