

# Intraorális szkennerek értékelése gyakorlati paraméterek alapján

Doktori tézisek

**Dr. Róth Ivett**

Semmelweis Egyetem  
Klinikai orvostudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Borbély Judit, Ph.D., egyetemi docens

Társ-témavezető: Prof. Dr. Hermann Péter, Ph.D., egyetemi tanár

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

Dr. Sándor Balázs, Ph.D., egyetemi adjunktus

Komplex vizsga szakmai bizottság:

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

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

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

Budapest  
2022

## 1. Bevezetés

A fogászati CAD/CAM technológia alapjaiban változtatta meg a fogorvoslás minden szegmensét, így a protetikai beavatkozások menetét is. A Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing angol szókapcsolat rövidítése a fogorvosi nyelvezetben elterjedt és gyakran alkalmazott CAD/CAM betűszó. A CAD/CAM angol betűszó magyar jelentése számítógépes tervezés és megmunkálás. A digitális technológia új munkafolyamatokat nyitott meg a fogorvosok és fogtechnikusok számára is, amelyek kiszámíthatóbbak, tervezhetőbbek, mint a hagyományos eljárások során. A digitális innovációk megjelenése a fogászatban új kihívások és célok elé állították a fogorvosokat is. Az intraorális szkennerek megjelenése egy olyan mérföldkő volt a fogászati digitális forradalomban, amellyel a fogorvosok is aktívan bekapcsolódhattak a digitális munkafolyamatokba. Az intraorális szkennerek olyan orvosi eszközök, amelyek egy kamerával ellátott kézzel tartott készülékből (hardveres háttér), egy számítógépből és egy szoftveres háttérből állnak. Az intraorális szkennelés egy optikai lenyomatvételt jelent, a felületek fény segítségével történő digitalizálását. A virtuális mintát a különböző típusú intraorális szkennerek különféle technológiával készítik el, amelyeket leképezési elveknek nevezünk. Az intraorális szkennerek 7 különböző leképezési elven működhetnek, amelyek működési elvek hatással lehetnek a klinikai alkalmazhatóságra: triangulációs elv, konfokális lézerszkennelés, mikroszkópia, aktív hullámfront mintavétel, sztereofotogrammetria, multiszenzor képalkotás, optikai koherencia tomográfia, harmonika interferometria (accordion fringe interferometry). Az intraorális szkennelés előnyeként említhetjük a következőket: kiszámíthatóbb, jobban felügyelhető és időtakarékosabb munkafolyamatok, gyorsabb és hatékonyabb kommunikáció a fogtechnikussal, eredményesebb kommunikáció a pácienssel, továbbá a páciens diszkomfort érzetének csökkentése, szállítási idő lerövidülése, fenntarthatóbb beavatkozások megvalósítása (kisebb anyagvesztés, kevesebb hulladéktermelés). Az intraorális szkennereknek vannak közismert limitációi: a magas beruházási és fenntartási költségek, a hosszú tanulási folyamat, amely a magabiztos szkennelési használatot megelőzi és a mély, szubgingivális széli záródási vonalak detektálási nehézségei.

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

## 2. Célkitűzések

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

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

### 3. Módszerek

#### 3.1. Intraorális szkennelés idejének és képszámának változása a gyakorlással összefüggésben

A kutatásban 10 önként jelentkező, negyed- és ötödéves fogorvostan-hallgató vett részt, akik nem rendelkeztek gyakorlati tapasztalattal a digitális lenyomatvétel területén. A vizsgáló hallgatókon kívül vizsgálatunkban részt vettek önként jelentkező páciensek (akik fogorvostan-hallgatók vagy a klinika munkatársai voltak) és felügyelő orvosok, akik a lenyomatvételek megfelelő elvégzését ellenőrizték. A digitális lenyomatvételeket megelőzően a vizsgálatban vizsgálóként résztvevő hallgatók elméleti és gyakorlati oktatásban részesültek. A Semmelweis Egyetemen végzett vizsgálatokhoz a Semmelweis Egyetem Etikai Bizottsága (SE TUKEB szám: 61/2016) adott engedélyt. A vizsgáló hallgatók párban dolgoztak a digitális lenyomatvételek során, egymásnak asszisztálva. Minden hallgató fejenként 10 digitális lenyomatot készített. Az alsó és felső digitális tanulmányi lenyomatvételekhez, valamint a harapás szkenneléshez minden esetben ugyanazt az intraorális szkennert használtuk: a 3Shape Trios 3 Pod verzióját (szoftver verzió: 3Shape Trios Classic 1.3.4.6). Jelen vizsgálatunkban a lenyomatvétel teljes idejére és képszámára fókuszáltunk. Rögzítésre került a teljes szkennelési idő, amely az adatfelvételtől a virtuális minta küldéséig tartott. A digitális lenyomat képszáma is regisztrálásra került, amely a Trios 3 Pod intraorális szkennelése esetében a számítógép képernyőjén automatikusan megjelenik a lenyomatvétel után.

A tanulási görbe olyan teljesítmények sorozata, mely mutatója annak, amit a megfigyelt alanyok már megtanultak. Sokféle tanulási görbét ismerünk, de a klasszikus típusú a nulla tanulási szintről induló, szigmoid alakú, emelkedő görbe. A statisztikai kiértékelés során az x tengelyen a mérések számát, az y tengelyen pedig a teljesítményt, azaz az időigényt vagy a képszámot tüntetjük fel, így megkapjuk a vizsgáló hallgatók tanulási görbét mind az időigény,

mind a képszám szempontjából. A statisztikai analízist Stata programcsomagban, random hatásmodalitású, általánosított legkisebb négyzetes regressziós modellezéssel végeztük ( $\alpha = 0,05$ ). A fix hatású modellváltozat indokoltságának eldöntésére a Hausman-féle specifikációs próbát használtuk.

### 3.2. Intraorális szkennerek értékelése azonos szempontrendszer alapján

Vizsgálatunkban 8 gyártótól 12 különböző intraorális szkennert értékeltünk, amelyeket minden esetben a hazai forgalmazó cég 2 hétre biztosított számunkra. A vizsgált intraorális szkennerek a vizsgálat sorrendjében felsorolva a következők voltak (a neveik után zárójelben a gyártás éve került feltüntetésre): 3Shape Trios 3 Pod, Planmeca Emerald (2017), Straumann DWIO (2015), GC Aadva (2017), iTero Element 2 (2018), CEREC Primescan (2019), Medit i500 (2018), 3Shape Trios 4 Move (2019), Carestream CS3600 (2016), 3Shape Trios 4 Pod (2019), Carestream CS3700 (2020), Planmeca Emerald S (2020). Vizsgálatunkban nem csak a különböző típusú intraorális szkennerek összehasonlítására nyílt mód, hanem ugyanazon szkennerek előző és új generációs verzióinak vizsgálatára (Planmeca Emerald és Planmeca Emerald S, Carestream 3600 és 3700, 3Shape Trios 3 és Trios 4 intraorális szkennerek) is.

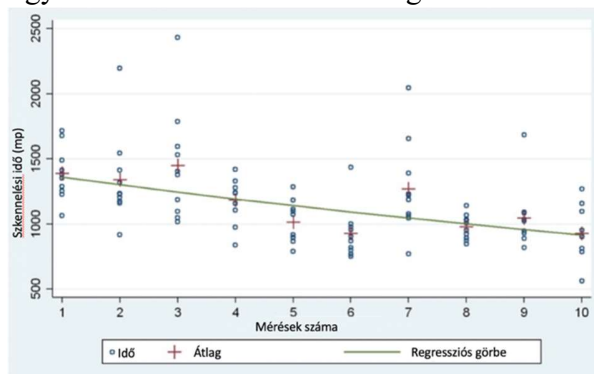
Az intraorális szkennerek tesztelésében mindig három negyed- vagy ötödéves fogorvostan hallgató vett részt (összesen 36 hallgató vett részt a 12 intraorális szkennert vizsgálatában). A fogorvostan hallgatók a vizsgálatok elvégzése előtt oktatáson vettek részt, amelyet minden esetben az intraorális szkennert forgalmazó cég biztosított számukra. A vizsgálat 2018 júniusától 2020 decemberéig zajlott. A Semmelweis Egyetemen végzett vizsgálatokhoz a Semmelweis Egyetem Etikai Bizottsága (SE RKEB szám: 108/2019) adott engedélyt. Az intraorális szkennerek objektív értékelése 4 különböző módon történt: (a) összefoglaló táblázat, (b) összehasonlító értékelés (az intraorális szkennert kézirabjának tömege és a szkennertfej átmérője), (c) szkennelési idő és folytonosság megszakadás modell szkennelése esetén, illetve (d)

szkennelési sebesség klinikai szkennelés során. Az összefoglaló táblázatban 26 különböző speciális tulajdonság került felsorolásra, amely alapján a vizsgált készülékek pontokat kaptak. Ilyen módon a vizsgált intraorális szkennerek speciális és a klinikai alkalmazhatóságot befolyásoló tulajdonságai objektíven összehasonlíthatók. Az intraorális szkennerek ergonómiájának értékeléséhez az intraorális szkennerek kézzel tartásának tömege és a fejtámasztóje 3 alkalommal lemérésre került, majd ezen mérések átlagát jegyeztük fel. A modell szkenneléseknek kettős célja volt: meghatározni az adott intraorális szkennerekre jellemző szkennelési időt, valamint folytonosság megszakadást. A modell szkennelések során egy PMMA (polimetil-metakrilát) felső állcsont mintát használtunk referencia mintaként, amelyet a vizsgálatban résztvevő hallgatók 10-10-10 alkalommal szkenneltek. A digitális lenyomatvételek során a szkennelési stratégia és az intraorális szkennerek beállításainak szempontjából minden esetben a gyártó cég ajánlásai lettek követve. A teljes szkennelési idő lemérésre került a digitális lenyomatvételek megkezdésétől, a virtuális minta betöltéséig. A folytonosság megszakadást a supervisor regisztrálta. Mindkét mért értékből átlagot számoltunk. A klinikai szkenneléseket ugyanaz a 3 fogorvos hallgató végezte, akik a modell szkennelésekben is részt vettek. Minden vizsgált intraorális szkennerekkel 18 digitális lenyomat készült (6 db lenyomat/hallgató): 3 teljes állcsont és 3 kvadráns digitális lenyomat. Lemérésre került a teljes lenyomatvételek ideje: alsó és felső állcsont, harapás rögzítéssel. A klinikai szkennelési időket is rögzítettük és átlagoltuk.

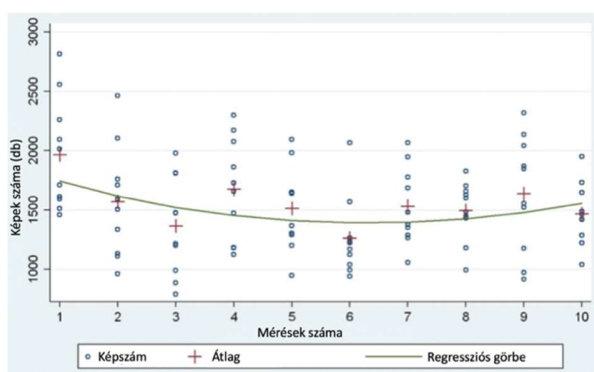
## 4. Eredmények

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

A null hipotézis alapján a mérések sorrendje és a vizsgált eredmények (teljes szkennelési idő és rögzített képek száma) között nincs összefüggés. Az eredményeink alapján a null hipotézist elvetettük, mivel az intraorális szkennelés ismételt használatával a szkennelési idő és a rögzített képek száma is csökkent. Az elvégzett 100 mérésből látható, hogy a teljes lenyomatvételi idő átlaga 23 perc 9 másodperc az első szkennelés esetén és 15 perc 28 másodperc a tizedik szkennelés esetén. A két érték közötti különbség (7 perc 41 másodperc) szignifikáns ( $p=0.007$ ). Az átlag teljes képszám az első szkennelés esetén 1964,5 volt, míg a tizedik alkalomra ez a szám 1468,6-ra csökkent (a különbség 495,9). A képszám átlagos csökkenése nem mutat egyenletes lefutást. A szkennelési idő esetén a mért adatokra illesztett tanulási görbe egybeesik a klasszikus tanulási görbe második szakaszával. (1. ábra)



1. ábra Az átlagos szkennelési időeredmények alapján felállított inverz tanulási görbe



2. ábra Az átlagos képszám eredmények alapján felállított inverz tanulási görbe

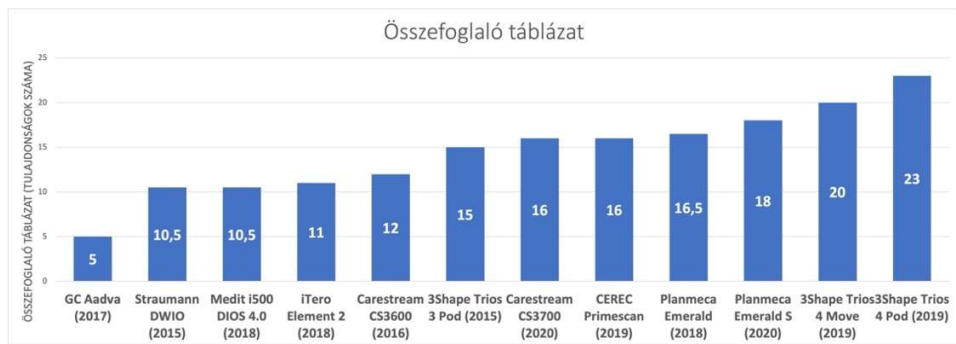
A képszámok esetén a görbe a hatodik mérésig csökkenő tendenciát mutat, majd emelkedni kezd. (2. ábra) A méréseink korlátjain belül elmondható, hogy a kialakult görbe az inverz tanulási görbe középső és harmadik harmadának határán helyezkedik el.



## 4.2. Intraorális szkennerek értékelése azonos szempontrendszer alapján eredmények

### 4.2.1. Összefoglaló táblázat eredmények

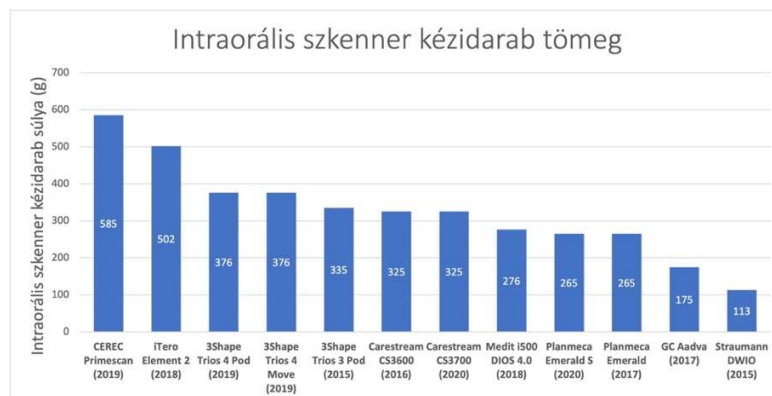
Az összefoglaló táblázat alapján a legmagasabb pontszámot elért intraorális szkennerek összesen 23 tulajdonsággal rendelkezik a 26-ból. A legkevesebb pontot elért intraorális szkennerekre mindössze 5 tulajdonság volt igaz a 26-ból. (3. ábra)



3. ábra Összefoglaló táblázat eredmények

### 4.2.2. Intraorális szkennerek kézdarab tömeg eredmények

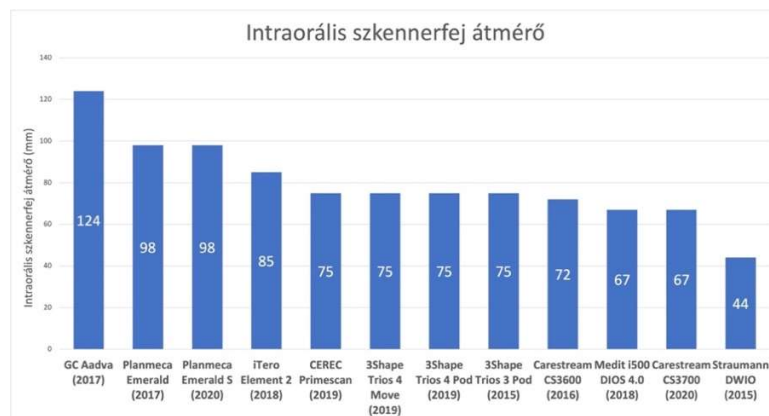
Az összehasonlító értékelésben a legkönnyebb intraorális szkennerek 113 g volt, a legnehezebb készülék pedig 585 g. (4. ábra) Fontos kiemelni, hogy a legnehezebb intraorális szkennerek esetében a gyártó cég egy mikroszámítógépet épített a készülék kézdarabjába a gyorsabb és pontosabb leképezés érdekében, amely tömeg növekedést okozott.



4. ábra Intraorális szkennerek kézdarab tömeg eredmények

#### 4.2.3. Intraorális szkennervej átmérő eredmények

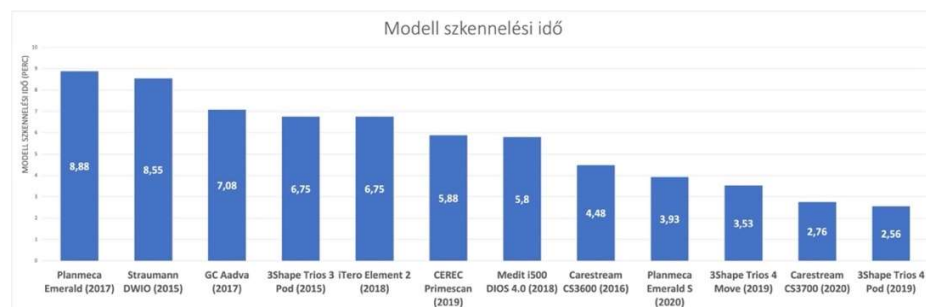
A legkisebb fejkerület 44 mm, a legnagyobb pedig a 124 mm volt a vizsgálatunkban. (5. ábra) A kisebb fejátmérő ergonomikusabb, így könnyebben lehet elkészíteni a digitális lenyomatot és a páciens számára is kényelmesebb a beavatkozás. Ezzel szemben a nagyobb fejátmérővel rendelkező intraorális szkennerek szignifikánsan pontosabbak.



5. ábra Intraorális szkennervej átmérő eredmények

#### 4.2.4. Szkennelési sebesség eredmények

A leggyorsabb intraorális szkennerek szkennelési ideje 2.56 perc volt, a lelassúbb készülék esetében ez 8.88 percre adódott. A 2019 után megjelent intraorális szkennerek gyorsabbnak bizonyultak, mint a korábban megjelent készülékek. Az öt leggyorsabb intraorális szkennerek szkennelési sebessége közötti eltérés klinikailag elhanyagolható. (6. ábra)



6. ábra Modell szkennelési időeredmények

#### 4.2.5. Folytonosság megszakadás eredmények

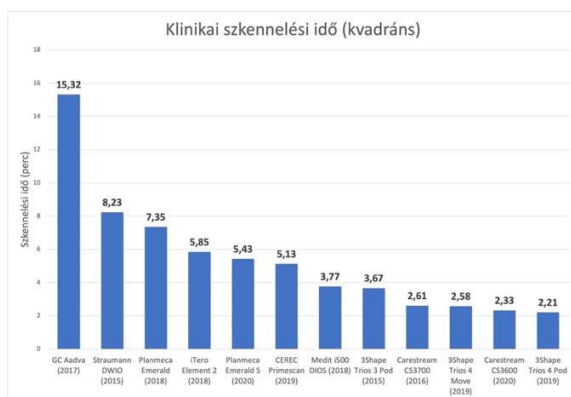
A folytonosság megszakadás tekintetében hat intraorális szkener teljesített a legjobban, ezek a készülékek átlagosan 2 folytonosság megszakadással dolgoztak. (7. ábra) A folytonosság megszakadás és a szkennelési időeredmények között hasonló tendencia figyelhető meg: azok a készülékek, amik gyorsabbak voltak, kevesebb megszakadással is dolgoztak. A folytonosság megszakadás közvetve befolyásolhatja a pontosságot, hiszen minél több a megszakadás, annál többször kell újratekinteni a szkennelést, így több kép összeillesztése szükséges a digitális lenyomat elkészítéséhez.



7. ábra Folytonosság megszakadás eredmények

#### 4.2.6. Klinikai szkennelés időeredmények

Méréseink alapján a leggyorsabb intraorális szkener klinikai körülmények között teljes állcsont és kvadráns lenyomatvétel esetében ugyanaz a készülék volt (3.85 perc teljes állcsont, 2.21 perc kvadráns). A leglassúbb intraorális szkener is ugyanaz a készülék volt teljes állcsont és kvadráns esetén (29.32 perc teljes állcsont, 15.32 perc kvadráns). (8.ábra és 9. ábra) A klinikai szkennelések időeredményeit befolyásolhatják a páciensek egyéni adottságai (nyáltermelés és szájnnyitás mértéke, páciens kooperációja).



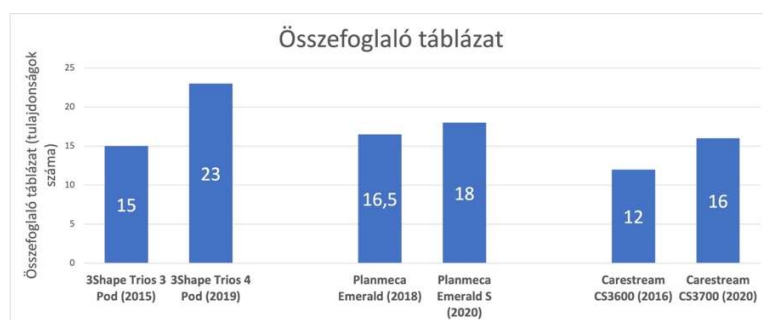
8. ábra Klinikai szkennelési időeredmények kvadráns digitális lenyomatvételek esetén



9. ábra Klinikai szkennelési időeredmények teljes állcsont digitális lenyomatvételek esetén

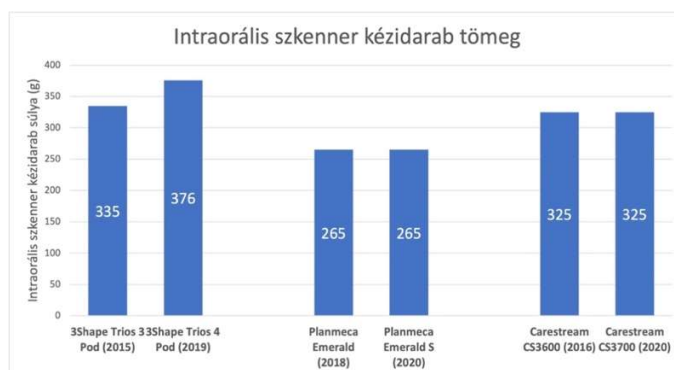
#### 4.2.7. Intraorális szkennerek generációk összehasonlítása eredmények

Az összefoglaló táblázat alapján mindhárom intraorális szkennerek típus esetében az újabb generációs verzió rendelkezett több speciális tulajdonsággal. (10. ábra) Ezek a tulajdonságok például a fogszín-meghatározás, caries detektálás, egyéni mozgáspályák detektálása, prepreparációs szkennelési lehetőség, fogorvosi munkafolyamat.



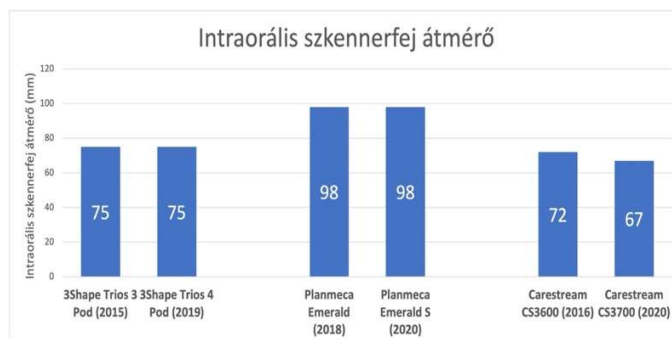
10. ábra Összefoglaló táblázat eredmények – azonos intraorális szkennerek típusok, de eltérő generációk között

Az ergonómiai paramétereket vizsgálata alapján, az intraorális szkennerek kézdarab tömeg szempontjából a különböző generációk között csak egy esetben találtunk különbséget, amely a két intraorális szkennerek konfigurációjából adódott. (11. ábra) Az új generációs verzió vezeték nélküli készülék, amely esetében az akkumulátor plusz tömeget jelent.



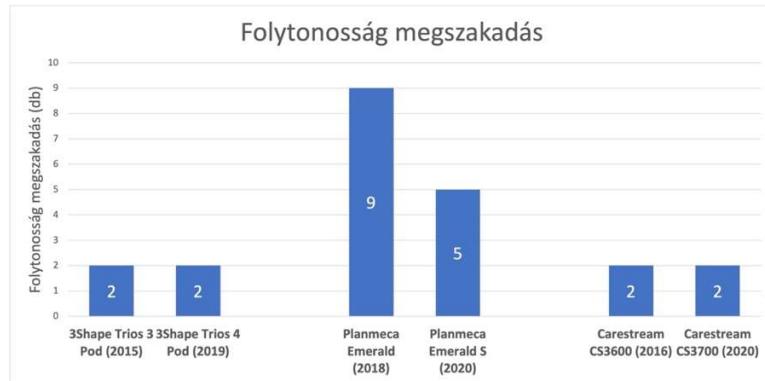
11. ábra Intraorális szkennerek kézdarab tömeg eredmények – azonos intraorális szkennerek típusok, de eltérő generációk között

Az intraorális szkennerek fej átmérőjének tekintetében is csak egy készüléknél tapasztalható eltérés. (12. ábra)



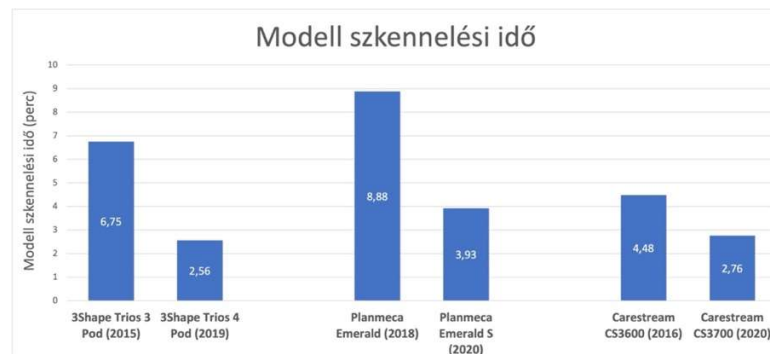
12. ábra Intraorális szkennerek fej átmérő eredmények – azonos intraorális szkennerek típusok, de eltérő generációk között

A folytonosság megszakadás szempontjából egy készülék eredményeiben látható eltérés: az új generációs verzió kevesebb megszakadással dolgozott, mint ugyanazon intraorális szkener régebbi kiadása. (13. ábra)



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

A modell szkennelési időeredmények alapján mindhárom intraorális szkener típus esetében az újabb generációs verzió gyorsabbnak bizonyult. (14. ábra)

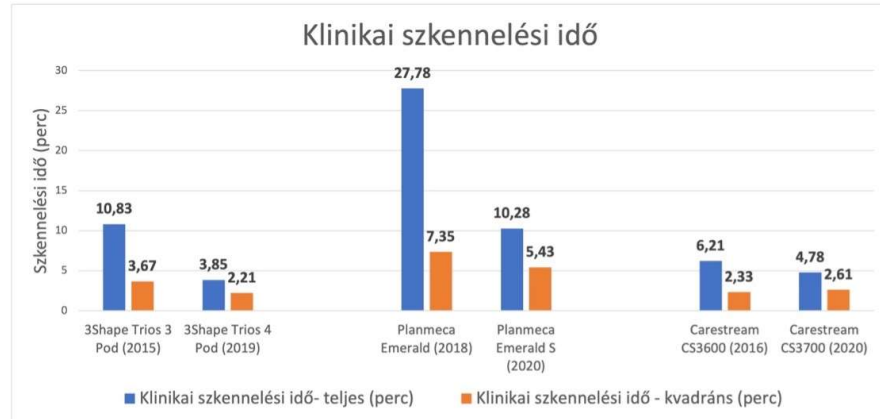


14. ábra Modell szkennelési időeredmények – azonos intraorális szkener típusok, de eltérő generációk között

A klinikai szkennelési időeredmények alapján kvadráns lenyomatvételek tekintetében 2 intraorális szkener esetén az újabb generációs készülék gyorsabb volt, mint az előző generációs, azonban egy esetben fordított tendencia volt megfigyelhető. A két generáció közötti időeredményben tapasztalható eltérés összesen 17 másodperc, amely a szkennelést végző felhasználó tapasztalatából, ügyességéből adódhat. Vizsgálatunkban

minden intraorális szkennelést másik hallgató készítette a digitális lenyomatokat.

Teljes állcsont lenyomatvétel esetén mindhárom intraorális szkennertípusnál az újabb generációs készülék bizonyult gyorsabbnak. (15. ábra)



15. ábra Klinikai szkennelési időeredmények– azonos intraorális szkennertípusok, de eltérő generációk között

## 5. Következtetések

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

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



## 5.1. Új megállapítások

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

- Az általunk vizsgált objektív paraméterek meghatározzák az intraorális szkennerek fő indikációs körét és ezen tulajdonságok ismerete segíti a klinikusokat a legmegfelelőbb intraorális szkennerek kiválasztásában.
- Az ergonómiai paraméterek kivételével minden egyéb paraméter (összefoglaló táblázat, modell- és klinikai szkennelési idő, folytonosság megszakadás) esetében a legújabb szoftverrel működő, új generációs intraorális szkennerek teljesítették a legjobban.
- Az új generációs intraorális szkennerek vizsgálata alapján megállapíthatjuk, hogy több speciális tulajdonsággal rendelkeznek, kevesebb megszakadással dolgoznak, valamint gyorsabbak in vitro és in vivo körülmények között is. Az intraorális szkennerek ergonómiáját is befolyásolja a generációs különbség, azonban nem minden esetben pozitív irányban, amely az intraorális szkennerek hardveres fejlesztéseivel áll összefüggésben.
- Az intraorális szkennerek generációk eredményeinek összehasonlításából kiderült, hogy az intraorális szkennelés végző felhasználó személye befolyásolja a szkennelési időt: egy készülék esetében az előző generációs verzió szkennelési sebessége gyorsabb volt, mint az új generációs készüléké, amely a szkennelés végző felhasználó gyakorlottságával magyarázható.
- Az intraorális szkennerek kézi darab tömegének szempontjából megállapíthatjuk, hogy a vizsgált intraorális szkennerek esetében a gyártó cégeknek a gyorsabb leképezés érdekében fejleszteni kellett az intraorális szkennerek hardveres hátterét, amely tömeg növekedést eredményezett. Az intraorális szkennerek ideális fejméret tekintetében egyértelmű következtetés nem vonható le (a kisebb szkennerek ergonomikusabb, így könnyebben lehet elkészíteni a digitális lenyomatot, azonban a nagyobb méretű és ezáltal kevesebb képből álló leképezést támogató fej előnye, hogy szignifikánsabb pontosabb lenyomatot eredményez).

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

## 6. Saját publikációk jegyzéke

### Doktori értékezés alapját képező publikációk

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

### Doktori értékezés témájával összefüggő publikációk

1. Czigola A, Róth I, Vitai V, Fehér D, Hermann P, Borbély J. (2021). Comparing the effectiveness of shade measurement by intraoral scanner, digital spectrophotometer, and visual shade assessment. J Esthet Restor Dent, 33(8),1166-74.10.1111/jerd.12810
2. Borbély J CA, Vitai V, Róth I, Hermann P. (2018). INTRAORAL SCANS FOR CAD/CAM APPLICATION. Stomatology Edu Journal, 5110-7.10.25241/stomaeduj.2018.5(2).art.5
3. Czigola A BJ, Vecsei B, Joós-Kovács G L, Vitai V, Róth I, Fehér D, Módos D, Hermann P. (2020). Weboldal a Magyarországon elérhető intraorális szkennerek összehasonlítására. Magyar Fogorvos, 2020/276-84
4. Vecsei B, Czigola A, Róth I, Hermann P, Borbély J. (2021). Digital Impression Systems, CAD/CAM, and STL file. In: Kinariwala N, Samaranayake L, editors. Guided Endodontics. Cham: Springer International Publishing. p. 27-63.
5. Borbély J, Róth I. (2018). CAD/CAM történeti áttekintés. In: Róth L, editor. Fogpótlástan update: DP Hungary Kft. p. 300-302.
6. Róth L, Róth I. (2021). CAM- Számítógép vezérelt előállítás. In: Hermann P, Kispélyi B, editor. Fogpótlástan Semmelweis Kiadó. p. 1086-1088.
7. Czigola A, Róth I. (2022). Digitális kommunikáció. In: Hermann P, Kispélyi B, editor. Fogpótlástan: Semmelweis Kiadó. p. 1121-1123.
8. Joós-Kovács GL, Róth I, Vecsei B, Vitai V. A CAD/CAM technológia fogászati története. (2022). In: Hermann P, Kispélyi B, editor. Fogpótlástan: Semmelweis Kiadó. p. 1039-1041.