

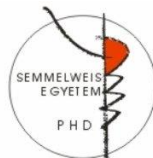
Fogászati szkennerek vizsgálata

Doktori értekezés

Dr. Joós-Kovács Gellért Levente

Semmelweis Egyetem

Klinikai orvostudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Hermann Péter, Ph.D., egyetemi tanár

Társ-témavezető: Dr. Borbély Judit, Ph.D., egyetemi docens

Hivatalos bírálók: Dr. Vág János, Ph.D., egyetemi tanár

Dr. Antal Márk, Ph.D., egyetemi docens

Szigorlati bizottság elnöke: Dr. Gerber Gábor, Ph.D., egyetemi docens

tagjai: Dr. Divinyi Tamás, Ph.D., ny. egyetemi tanár

Dr. Végh András, Ph.D., egyetemi m. tanár

Budapest

2021

1. Bevezetés

A fogászati szkennereket sok tudományterület használja. A háromdimenziós felszínek leképezésére ismerünk fizikai kontaktuson alapuló, úgynevezett kontakt vagy mechanikai szkennereket, és ismerünk optikai elven működő, tehát valamilyen fény vagy lézer visszaverődését érzékelő non-kontakt szkennereket. Kontakt szkennerek között csak szájon kívül használható extraorális-, fogtechnikai laboratóriumi-, vagy asztali szkennereknek nevezett eszközöket találunk az irodalomban. Optikai szkennerek között találunk intraorális- (szájüregi képletek lemintázására alkalmas) és extraorális szkennereket is. A mechanikus letapogatásra jellemző a nagy pontosság, de ezzel együtt a hosszú szkennelési idő és a magas üzemeltetési költségek. Az optikai szkennerekre jellemző a gyorsabb letapogatás és az alacsonyabb karbantartási költségek. Kontakt szkennerek pontosságát limitálhatja az érintő szonda mérete, negatívan befolyásolhatja a letapogatni kívánt felszín rugalmassága. Az optikai szkennereket pedig a felszín, vagy a felszínt borító anyag optikai tulajdonságai zavarhatják (kompozit-, kerámia-, fém felszín, vér, nyál, illetve szkenneléshez használt por stb.). Ma már a fogtechnikai- és intraorális szkennereket széles körben használják diagnosztikai, szájsebészeti és protetikai célokra is. Az utóbbi csoporthoz tartoznak azok a munkafolyamatok, amelyek során a rögzített fogpótlások is készülnek. A CAD (Computer Aided Design – számítógép által segített tervezés) /CAM (Computer Assisted Manufacturing - számítógép vezérelt megmunkálás) technológia pontosságát a fogászatban alapvetően meghatározza, hogy a szájüregi képletek információi mennyire pontosan kerülnek a virtuális térbe. Az intraorális és fogtechnikai szkennerekkel, felhasználási területükből adódóan, más-más úton jön létre a szájüregi információ digitális mása. Az intraorális szkennelés során a szájüregben közvetlenül történik az adatfelvétel, extraorális digitalizáció során jellemzően gipszminta szkennelésével kerülnek az adatok a virtuális térbe, habár lehetőség van hagyományos lenyomatok

szkennelésére is. Ha a szájúregi adatok a tervezőszoftverben vannak, a fogpótlásokat számítógépen tervezik, a digitalizált adatokra virtuális mintázat készül. Végül a gyártás egy számítógép vezérelt megmunkáló gép segítségével történik.

2. Célkitűzés

A vizsgálataink alatt felmerült kérdések miatt a kérdésfeltevéseink egymásra épülnek

- 2.1. Négytagú híd pilléreihez kézzel előkészített fogakat tartalmazó mintáról intraorális digitális lenyomatvétellel, vagy a fogtechnikai digitalizációval készíthető pontosabb digitális lenyomat?

Nullhipotézis: Fogatlan állcsontgerinccel tagolt felső fogív kis területének digitalizációjakor fogtechnikai szkennelssel szignifikánsan pontosabb virtuális minta készíthető, mint intraorális szkenneléssel.

- 2.2. A hagyományos precíziós-szituációs lenyomatok digitalizált adatai és az azok gipszelésével készült szekciós minták fogtechnikai szkennelésével létrehozott virtuális minták adatai között mutatkozik-e különbség
 - a preparált fogak méreteiben?
 - a preparált fogak között mérhető távolságokon?

Nullhipotézis: A precíziós-szituációs lenyomatok méretei és a fogtechnikai szkenneléssel készült virtuális minták méretei között nincs szignifikáns különbség.

- 2.3. A szekciós gipszminták referencia szkenneléssel készített és fogtechnikai szkenneléssel készített adatai között
 - mutatkozik-e különbség a preparált fogak méreteiben?

- mutatkozik-e különbség a preparált fogak között mérhető távolságokon?

Nullhipotézis: A szekciós minták és az arról fogtechnikai szkenneléssel létrehozott virtuális minták méretei között nincs szignifikáns különbség.

3. Módszerek

- 3.1. Fogtechnikai és intraorális szkennerek pontosságának összehasonlítása egy fogatlan területekkel tagolt maxilla minta pillérfogain mért távolság változásának mérésével

Egy PMMA (polimetil-metakrilát) maxilla referencia mintáról (négy, chamfer vállasan kézzel előkészített fog: 14, 21, 24, 27; két területen fogatlan állcsontgerinc 13-21; 24-27) referencia STL fájlt hoztunk létre, majd egy erre alkalmas összehasonlító programba helyeztük (Geomagic verify software, 3Dsystems, 333 Three D Systems Circle, Rock Hill, USA) és mérési pontokat rögzítettünk a virtuális mintán. A fogtechnikai szkenneléshez precíziós-szituációs lenyomatokat (10 db) készítettünk PVS (polivinil-sziloxán) lenyomatanyaggal (Express XT Penta Putty, Express XT Light Body, 3M ESPE) a referencia mintáról, amelyeket felhasználva szekciós gipszmintákat készítettünk Giroform rendszerrel (Amann Girschbach Dental, Pforzheim, Németország). A szekciós mintákat fogtechnikai szkennerekben szkenneltük (Straumann CARES CS2, Visual 8.0 Software, Straumann Holding AG, Basel, Svájc) és a létrehozott virtuális mintákat STL formátumban kimentettük. A vizsgálatba bevont intraorális szkennerekkel (iTero, Align Technology Inc., San Jose, CA, USA; Trios Standard, 3Shape A/S, Copenhagen, Dánia; és CEREC Omnicam, Sirona Dental Company, Bensheim, Németország) 10-10, összesen 30 digitális lenyomatot vettünk, majd a létrehozott adatokat STL formátumban exportáltuk. Az intraorális szkennerek és a fogtechnikai szkennerek STL fájljait mérési csoportonként, egyesével az összehasonlító programban a referencia adataira illetve virtuális

tolómérésekkel rögzítettük. Az eredmények kiértékelésénél az egyes csoportok referencia adatokhoz viszonyított eltéréseit, valamint az intraorális szkennerek és a fogtechnikai szkennerek csoportja közötti különbségeket mértük valóság és precizitás szerint.

3.2. Fogtechnikai digitalizáció valóságát befolyásoló tényezők vizsgálata

Annak érdekében, hogy a teljes folyamat során fellépő változásokat nyomon követhessük, a lenyomat- és mintakészítés lépéseinél STL fájlokat hoztunk létre, amelyeket kiértékelünk. Először 10 db precíziós-szituációs lenyomatot (Express XT Penta Putty, Express XT Light Body, 3M ESPE) készítettünk a referencia mintáról. A lenyomatok referencia szkennerek történetét szkennelésével 10 STL fájlt mentettünk el, majd a lenyomatokat felhasználva 10 mestermintát készítettünk (GC Fujirock, GC Corp., Tokyo, Japan) az egyetemi fogtechnikai laboratóriumban. A mestermintákat is szkenneltük a referencia szkennerekkel, majd az így nyert STL fájlokat is elmentettük. A hagyományos mintakészítés utolsó lépéseként a mesterminták szekcionálásával kivethetőcsontos gipszmintákat készítettünk Giroform rendszerrel. A szekciós mintákat is digitalizáltuk a referencia szkennerekkel, ezzel az összes hagyományos lépéshez tartozó STL fájlt elmentettük. A vizsgálat célkitűzését követve az elkészült szekciós mintákat az fogtechnikai szkennerekben is digitalizáltuk a gyártó utasításait követve két lépéses szkennelési protokoll szerint. A referencia szkennerek és az fogtechnikai szkennerek által létrehozott adatokat végül egyesével a referencia adathalmazra illesztve elvégeztük a virtuális tolóméréseket Geomagic verify szoftverben, a következők szerint:

Preparált csontok átmérőinek mérésére:

14 mesio-distalis (14MD) és bucco-palatinalis (14BP) átmérő,

21 mesio-distalis (21MD) és bucco-palatinalis (21BP) átmérő,

24 mesio-distalis (24MD) és bucco-palatinalis (24BP) átmérő,

27 mesio-distalis (27MD) és bucco-palatinalis (27BP) átmérő.

Fogív méretének változásai mérésére:

24-27 fogak legközelebbi pontjai, mint legkisebb távolság,

24-27 fogak legtávolabbi pontjai, mint közepes távolság,

21-27 fogak legtávolabbi pontjait, mint legnagyobb távolság.

Az összehasonlító szoftver a legjobb illeszkedés (best fit alignment) funkcióval egyesével kiértékelte a referencia szkennelvel készített lenyomatok, mesterminták és a szekciós minták STL fájljait, valamint az fogtechnikai szkennelvel a szekciós mintákról készült STL fájlkat. A program minden esetben elvégezte a távolságméréseket, majd az eredményeket táblázatba írt számokként Excel dokumentumban megadta.

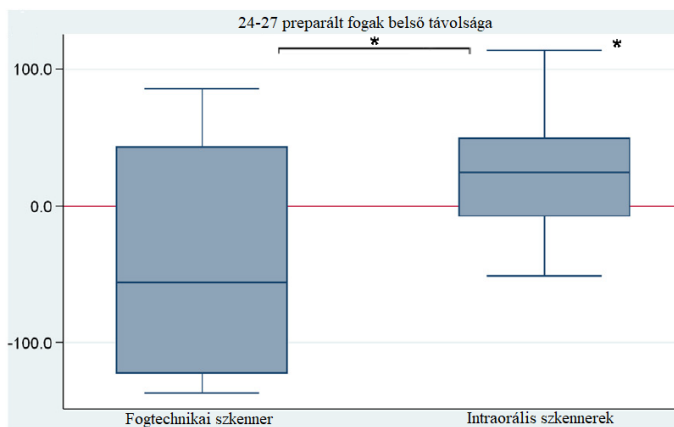
4. Eredmények

4.1. Fogtechnikai és intraorális szkennerek pontosságának összehasonlítása

Az analízis statisztikailag szignifikáns eltérést mutatott ki az intraorális és a fogtechnikai szkennerek valódisága és a precizitás között is.

Valódiság

Az intraorális szkennerekkel készített virtuális minták átlagos eltérése a referencia adattól $22.3 \pm 40.0 \mu\text{m}$ volt, a fogtechnikai szkennerekkel készítetté $-40.3 \pm 79.7 \mu\text{m}$. Az intraorális szkennerek virtuális mintái a referencia értéktől szignifikánsan eltértek ($p=0,002$), a fogtechnikai szkennerek mintái viszont nem ($p=0,092$). A két szkennertípus egymáshoz viszonyított valódiságának összehasonlítása szignifikáns eltérést mutatott ($p=0,012$). (1. ábra)



1. ábra Az intraorális szkennerek és a fogtechnikai szkennerek valódiságában és precizitásában is szignifikáns különbség mutatkozik. Az intraorális szkennerek valódisága szignifikánsan különbözik a referencia értéktől is (Kiadó engedélyével).

Precizitás

A fogtechnikai szkennerekhez tartozó csoport szignifikánsan rosszabb eredményt mutatott az intraorális szkennerekhez képest interkvartilis terjedelem regressziós analízissel is ($p=0,033$), és Brown-Forsythe szóráshomogenitás teszttel is ($p=0,007$). Ez alapján a fogtechnikai szkennerek precizitása szignifikánsan rosszabb az intraorális szkennerekéhez képest.

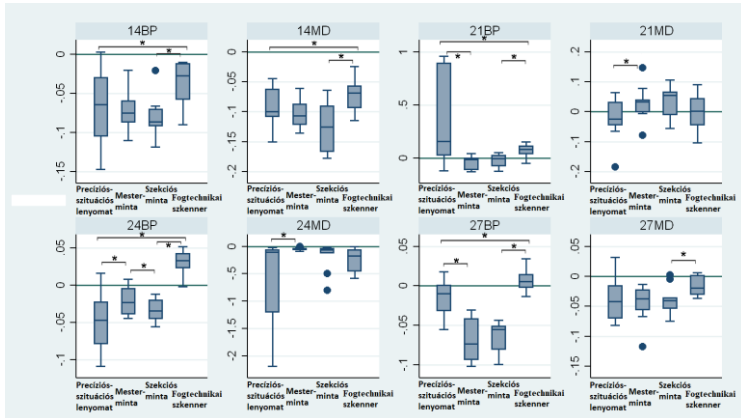
Az analízis statisztikailag szignifikáns eltérést mutatott ki az intraorális és a fogtechnikai szkennerek valósága és a precizitás között is.

4.2. Fogtechnikai digitalizáció valóságának változásai

4.2.1. Preparált fogak átmérőinek változásai

A mért nyolc csonkátmérő mindegyikénél megfigyelhető volt szignifikáns különbség legalább az egyik lépésnél, de volt, ahol mindegyiknél. (2. ábra) A lenyomatok fogátmérői és a fogtechnikai szkennerek adatai között a nyolcból ötnél ($p < 0,05$), továbbá a szekciós minták és a fogtechnikai szkennerek adatai között a nyolc vizsgált átmérőből hatnál látható szignifikáns eltérés ($p < 0,01$).

Mindegyik preparált fognál megfigyelhető volt szignifikáns változás a fogtechnikai szkennerekkel készített virtuális mintán a szekciós mintához képest, valamint a lenyomatokhoz képest is.



2. ábra A preparált fogak (14,21,24,27) bucco-palatinalis és mesio-distalis átmérőin mért eltérések. Az x-tengelyen a fogtechnikai digitalizáció lépései találhatóak sorrendben: Precíziós-szituációs lenyomatok, Mesterminták, Szekciós Minták, Fogtechnikai szkennerek adatai. Az y-tengely milliméter beosztással mutatja a mért eltéréseket.

4.2.2. Fogív méretének változásai

Legkisebb távolságon (24-27) mért változások

A precíziós szituációs lenyomatokon 0.006mm (IQR = 0.071) mértük a legkisebb eltérést a referencia minta adataihoz viszonyítva. A mestermintákon 0.149mm (IQR = 0.034) valódiságot, a szekciós mintákon -0.023mm (IQR = 0.073) mértünk. Az fogtechnikai szkennerekkel készített virtuális mintán az eredeti távolsághoz képest - 0.086mm (IQR = 0.043) volt az eltérés. Szignifikánsan kisebb a fogtechnikai szkennerekkel készített virtuális minták ezen mérete, mint a lenyomatokról és a szekciós mintákról referencia szkennerekkel készült virtuális mintáké.

Közepes távolságon (24-27) mért változások

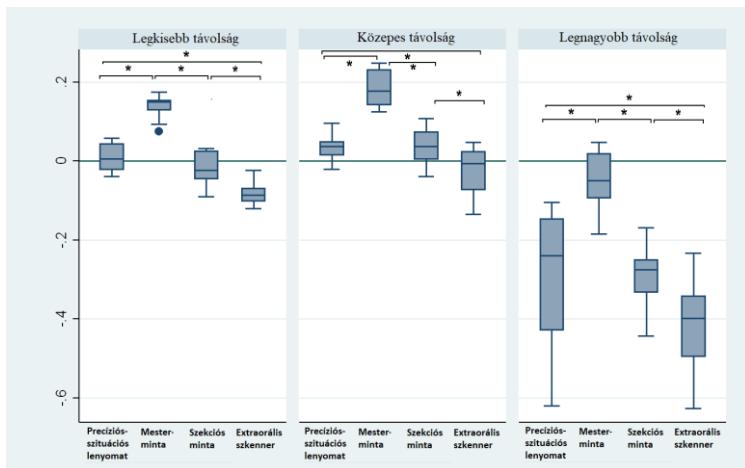
A legkisebb távolsághoz képest a preparált 24-27 fogak legtávolabbi felszínein valamivel nagyobb értékeket mértünk. Lenyomatokon 0.038mm (IQR = 0.051), mestermintákon 0.177mm (IQR = 0.093), a szekciós mintákon pedig 0.037mm (IQR = 0.075) lett a változás mértéke. Csak a fogtechnikai szkennel által készített virtuális mintákon -0.006 mm (IQR = 0.103) mértünk negatív előjelű értéket. A fogtechnikai szkennelrel készített virtuális minták mérete itt is szignifikánsan kisebb volt, mint a lenyomatokról és a szekciós mintákról referencia szkennelrel készült virtuális minták.

Legnagyobb távolságon (21-27) mért változások

A fogív általunk mért legnagyobb távolságán jelentkeztek a legnagyobb eltérések: a lenyomatokon -0.240 mm (IQR = 0.306), a mestermintákon -0.050 mm (IQR = 0.13), a szekciós mintákon pedig -0.276 mm (IQR = 0.121) mutatkozott. Az fogtechnikai szkennelrel -0.398 mm (IQR = 0.169) valódiságot mértünk. Az általunk vizsgált legnagyobb távolságon is szignifikánsan kisebbek voltak a fogtechnikai szkennelrel készített virtuális minták, mint a lenyomatokról és a szekciós mintákról referencia szkennelrel készült virtuális minták.

Összességében elmondható, hogy a statisztikai analízis a digitalizációhoz vezető minden lépésnél, minden mért távolságon szignifikáns eltérést mutatott. A vizsgálat célkitűzése szempontjából fontos kiemelni, hogy a lenyomatok és a fogtechnikai szkennelrel készített virtuális minták értékei között is, valamint a szekciós minták referencia szkennelrel létrehozott adatai és a fogtechnikai szkennelrel létrehozott adatai között is szignifikáns

különbség mutatkozott ($p < 0.01$). Mindhárom távolságon a legkisebb értékeket az utolsó lépésnél mértük. (3. ábra)



3. ábra A legkisebb távolságon (24-27 legközelebbi pontjai között), közepes távolságon (24-27 legtávolabbi pontjai között) és a legnagyobb távolságon (21-27 legtávolabbi pontjai között) az fogtechnikai digitalizáció egyes lépéseinél mért abszolút eltérések. *-gal jelölve, ahol a statisztikai analízis szignifikáns eltérést mutatott ki.

5. Következtetések

- 1) Az előkészített 24-27 fogak legkisebb távolságának szkennelése az intraorális szkennerekkel pontosabb eredményre vezetett, mint a fogtechnikai szkenneléssel.
- 2) A preparált fogak méreteiben szignifikáns változás jelentkezett a hagyományos precíziós-szituációs lenyomatok és a fogtechnikai szkennelés között.
- 3) A hagyományos precíziós-szituációs lenyomatokhoz képest a fogtechnikai szkenneléssel létrehozott virtuális minták kisebbek lettek mind a három mért távolságon.
- 4) A szekciós minták fogtechnikai szkennelése módosította a preparált fogak átmérőit.
- 5) A szekciós gipszminta fogtechnikai szkennelése mind a három mért fogtávolságot megváltoztatta.
- 6) A fogtechnikai szkenneléssel létrehozott virtuális minták mért fogai voltak a legközelebb egymáshoz az összes fogtechnikai lépés adatai között.
- 7) A fogtechnikai digitalizáció munkafolyamatai során a fél fogív távolságon mért torzulásoknak klinikai jelentősége lehet.
- 8) A preparált fogakkal rendelkező szekciós minták szkennelése a gyártó utasításai szerint két lépésben történt, amely során a preparált fogak adatainak fogívbe illesztése befolyásolhatja a végső virtuális minta pontosságát.

6. Saját publikációk jegyzéke

Doktori értekezéssel összefüggő közlemények

Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi S, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P (2019) Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner—an in vitro study. *BMC Oral Health* 19(1):1-14. **IF: 1,911**

Vecsei B, Joós-Kovács G, Borbély J, Hermann P (2017) Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems – An in vitro study. *Journal of Prosthodontic Research* 61:177-184. **IF: 3,306**

Független közlemények

Czigola A, Borbély J, Vecsei B, Joós-Kovács G, Vitai V, Róth I, Fehér D, Módos D, Hermann P (2020) Weboldal a Magyarországon elérhető intraorális szkennerek összehasonlítására. *Magyar Fogorvos* **29**(2) 76-84.

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). **IF: 2.757**

Borbély J, Dóró M, Joós-Kovács G, Vecsei B, Hermann P (2016) Okoslenyomat – a szájképletek digitális másolata Miért jó ha digitális? *Magyar Fogorvos* **25**(6):274-281.

Borbély J, Dóró M, Joós-Kovács G, Vecsei B, Hermann P (2016) Okoslenyomat – a szájképletek digitális másolata. *Magyar Fogorvos* **25**(5):222-229.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Hermann Péter Rektorhelyettes Úrnak a témaválasztásban nyújtott segítségével, szüntelen támogatásért, biztatásért, és hogy megteremtette a feltételeket egy tartalmas és színvonalas kutatómunka elvégzéséhez!

Köszönöm Dr. Borbély Judit Docens Asszonynak a kifogyhatatlan türelmét, a rengeteg segítségét, tanácsát, és motiváló gondolatait, ami nélkül nem jutottam volna el eddig!

Köszönöm Dr. Vecsei Bálintnak a közös munkát, tanácsokat, segítségét, valamint a Semmelweis Egyetem Fogpótlástani Klinika minden dolgozójának a vizsgálatokban biztosított türelmüket, segítségüket!

Külön köszönet illeti Róth Lajost, Domonkos Tibort, Horváth Norbertet és az Interdental Studio fogtechnikai laboratórium dolgozóit a vizsgálatainkban végzett segítségért!

Köszönöm szépen Gnädig Andrásnak, Falk Györgynek és a Varinex Informatikai Zrt. munkatársainak a vizsgálatok során nyújtott sok segítséget!

Köszönöm továbbá Kovács Józsefnek és a Globdent Kft. munkatársainak, Modor Gergelynek és a Dental-Trade Kft. munkatársainak, valamint Marton Ritának és a 3M Magyarország munkatársainak a sok segítséget fáradtságot, türelmet és megértést, amivel lehetővé tették, hogy ez a dolgozat elkészülhessen!

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni Feleségemnek, Édesapámnak és Édesanyámnak, Testvéremnek, valamint Családom minden tagjának, hogy eddig eljuthattam, továbbá mindazt a megértést, támogatást, amelyet a dolgozat megírása során adtak!