

DIGITÁLIS HÁROM-DIMENZIÓS TECHNOLÓGIÁK ALKALMAZÁSA A REKONSTRUKTÍV PARODONTÁLIS SEBÉSZETBEN ÉS AZ IMPLANTOLÓGIÁBAN

Doktori tézisek

Palkovics Dániel

Semmelweis Egyetem

Rácz Károly Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Windisch Péter, Ph.D, tanszékvezető egyetemi tanár

Hivatalos bírálók: Dr. Fráter Márk, Ph.D, egyetemi adjunktus
Dr. Szabó Bence, Ph.D, egyetemi adjunktus

Komplex vizsga szakmai bizottság elnöke:
Dr. Németh Zsolt, Ph.D egyetemi docens, med. habil.

Komplex vizsga szakmai bizottság tagjai:
Dr. Árpád Joób-Fancsaly, Ph.D, egyetemi docens
Dr. Nagy Ákos, Ph.D egyetemi docens

Budapest

2021

1. BEVEZETÉS

Parodontológiában intraoszer defektusok regeneratív sebészi kezelések döntéshozatali folyamatában alkalmazott klinikai és radiológiai diagnosztikus eszközök bizonyos esetekben csak részlegesen vagy egyáltalán nem nyújtanak kellő információt a defektusok valós morfológiájáról. Ebből kifolyólag előfordulhat, hogy az adott defektusmorfológia kezeléséhez nem a megfelelő sebészi beavatkozás kerül kiválasztásra, rontva műtét sikerességét. Számos publikáció ezért cone-beam számítógépes tomográfia (CBCT) parodontális diagnosztikai alkalmazását javasolja, lehetővé téve ezzel a parodontális defektusok több síkban történő vizsgálatát. Ezen vizsgálatok többségében azonban a CBCT felvételek síkbeli nézeteit alkalmazzák diagnosztikai célra, melyek továbbra sem tényleges három-dimenziós megjelenítése a klinikai helyzetnek. CBCT felvételek radiológiai feldolgozásával azonban lehetséges az anatómiai struktúrák digitális 3D megjelenítése. Három-dimenziós modellek parodontális defektusok regeneratív kezelése mellett reménytelen prognózisú fogak eltávolítása után visszamaradt előrehaladott extrakciós defektusok kezelésében, alveolus prezervációs technikák során is alkalmazhatóak.

Jelenleg a dento-maxillofaciális radiológiában alkalmazott képfeldolgozási módszerek többsége azonban nem biztosít megfelelő megoldást a dento-alveolveoláris struktúrák pontos szegmentációjára. Különböző tervezőszoftverek által alkalmazott globális határérték alapú szegmentáció hátránya, hogy nem tesz különbséget egyes anatómiai képletek között, valamint nem képes a fogászati restaurátumok által generált műtermékek hatékony kiszűrésére. Másik lehetőség a manapság egyre gyakrabban alkalmazott mesterséges intelligencián (MI) alapuló algoritmusok alkalmazása. Ezen módszerek jelenlegi hátránya, hogy a keményszöveti defektusok morfológiai diverzitása miatt a MI tanítására alkalmazott adatbázis túlságosan heterogén, ezért a szegmentáció eredménye nem megbízható. Szájüregi képletek (fogak klinikai koronája, lágyrészviszonyok) 3D leképezésére alkalmazott intraorális szkennelrel (IOS) vett digitális lenyomat és CBCT adatok szuperimpozíciójával létrehozható „virtuális páciens” nemcsak a keményszöveti defektusok 3D morfológiájának megjelenítésére, de a felettük lévő lágyrészviszonyok virtuális megjelenítésére is alkalmas.

Digitális technológiának különböző rekonstruktív műtétek tervezése mellett az eredmények posztoperatív kiértékelésében is fontos szerepe lehet. Alkalmazása ugyanis lehetővé teszi az eredmények alaposabb volumetrikus és 3D morfológiai kiértékelését, ezáltal a műtétek után bekövetkezett gyógyulási folyamatok jobban megérthetőek.

2 CÉLKITŰZÉS

Digitális technológiák rekonstruktív parodontális sebészi alkalmazásának egyik legjelentősebb akadálya, hogy a jelenlegi digitális adatfeldolgozási módszerekkel nem hozhatóak létre olyan virtuális 3D modellek melyek a klinikai szituációt a lehető legnagyobb pontossággal mutatják. Ezért a tézis célja, egy újszerű modellalkotási metódust ismertetése, mely a jelenleg elérhető módszerek korlátait megkerülve teszi lehetővé valóság-hű virtuális 3D modellek előállítását. A tézis további célja a létrehozott modellek néhány lehetséges klinikai alkalmazásának bemutatása.

Parodontális rekonstruktív sebészi és implantológiai kezelések során alkalmazható munkafolyamat lépései: (i) digitális adatszerzés, (ii) digitális adatfeldolgozás, (iii) virtuális műtéti tervezés, (iv) számítógép által támogatott műtéti beavatkozás és (v) 3D posztoperatív kiértékelés. Ezen munkafolyamat alapján a „Metódus” fejezet két fő részre tagolható, az első rész az újszerű virtuális modellalkotási folyamat lépéseit ismerteti. A második rész pedig az előállított modellek klinikai alkalmazási lehetőségeit taglalja a parodontális regeneratív rekonstruktív sebészet és az implantológia tárgykörében. Klinikai alkalmazások:

1. Diagnosztika és sebészi kezelés döntéshozatali folyamatának támogatása intraoszer parodontális defektusok regeneratív ellátásában
2. Teljesen digitális munkafolyamat alkalmazása egy komplex parodontális defektus rekonstruktív két-lépéses sebészi ellátásában
3. Alveolus prezervációs beavatkozások eredményeinek kiértékelése újszerű 3D szubtrakciós analízissel

3 MÓDSZER – I. RÉSZ: Virtuális modellalkotás

Digitális adatok feldolgozása két szoftver egymásutáni alkalmazásával történt. Szegmentációhoz a nyílt forráskódú, ingyenesen elérhető 3D Slicer radiológiai képfeldolgozó szoftvert alkalmaztuk. A szegmentált CBCT modellek és IOS adatok további CAD modellezésére, a végleges „virtuális páciens” előállítására pedig a szintén ingyenesen elérhető Meshmixer® (Autodesk, San Rafael, Kalifornia, USA) szoftvert alkalmaztuk. A modellalkotás fő lépései: (i) CBCT adathalmazok fél-automatikus szegmentációja, (ii) CBCT és IOS adatok térbeli illesztése, valamint (iii) CAD modellezés.

3.1 Szegmentáció

Szegmentáció során a CBCT adathalmaz síkbeli nézetein a különböző anatómiai struktúrákat reprezentáló voxeleken bináris labelmap-eket hozunk létre, mely megjelöli, hogy az adott voxel a struktúrán belül (1) vagy azon kívül (0) helyezkedik el. A szoftver a bináris adatokból automatikusan három-dimenziós felszíni modelleket generál. Fogászati tervező szoftverek által alkalmazott globális határérték alapú szegmentációs algoritmus korábban említett korlátai miatt a tézisben összefoglalt módszer félautomatikus szegmentációs eljárások sorrendjét alkalmazza.

Először az *anatómiai struktúrák körvonalainak detektálása* történik. A 3D Slicer szoftverben szegmentációs eszköztárában található „Level tracing” eszköz a kiválasztott voxel (seed point) intenzitás értéke alapján a hasonló intenzitású voxelek mentén húz egy körvonalat, amin belül a szoftver létrehoz egy bináris labelmap-et. Szegmentációs idő csökkentésére a körvonalazást elegendő a CBCT adathalmazon 5-10 metszetenként elvégezni.

A hiányzó labelmap-ek generálását egy iteratív *kontúr interpolációs* algoritmussal („Fill between slices”) végeztük. Ez az eszköz a bemeneti bináris adatok körvonalát elemezve kiszámítja két bináris labelmap közötti átmenetet, kitöltve ezzel a hiányzó részeket.

A szegmentáció utolsó lépéseként a két-dimenziós adatokból létrehozott *3D modell felületének simítását* kell elvégezni, ugyanis az előző két lépésben végrehajtott szegmentáció eredménye egy egyenletlen felszínű 3D modell. Az egyes szeletek közötti

átmenet kiegyenlítését anatómiai részletek elvesztése nélkül lehet elvégezni, folyamatosan ellenőrizve a 2D-s képeken a simítás eredményének helyességét.

3.2 Szegmentált 3D modellek és IOS adatok illesztése

Más módszerekhez hasonlóan identikus pontok kijelölésével történik. Az “Image Guided Therapy (IGT)” 3D Slicer bővítményben a térben fix és mozgó pontokat kell kijelölni a két modellen, majd rigid transzformáció elvégzésével szuperimpozícionálható a két modell.

3.3 CAD modellezés

A modellalkotás utolsó fázisa a szabad felszínű CAD modellezés, mely során a külön levő, szuperimpozícionált 3D modelleket egy lágyszövet- és keményszöveteket egyaránt megjelenítő modellt dolgozzuk össze. Boole operációk sorozatával történik a végleges „virtuális páciens” modell előállítás. Elsőként a CBCT-ből szegmentációval előállított fog modellek koronáját helyettesítjük a fogak intraorális szkener által leképezett digitális modellen lévő koronájával, mely jobb minőségben képezi le a fogak klinikai koronáját. A végző „virtuális páciens” modell összeállításához szükséges az alveoláris csont- valamint a fogak 3D modelljét kivonni Boole kivonással a lágyszöveteket leképező 3D modelltől, így a keményszövetek mellett a lágyszövetek anatómiai viszonya is a lehető legpontosabban megjeleníthető.

4 MÓDSZER – II. RÉSZ: Klinikai alkalmazások

4.1 Virtuális 3D modellek alkalmazása regeneratív-rekonstruktív parodontális műtéti beavatkozások tervezésében

Egy első, esetsorozat tanulmány fő célja, hogy bemutassa a korábban leírt szegmentációs módszerrel előállított 3D modellek jelentőségét az intraoszer defektusok morfológiájának feltérképezésében és regeneratív célzatú műtétek tervezésében. Hat

esetben végeztük el preoperatív CBCT felvételek szegmentációját a korábban ismertetett módszer szerint. A 3D virtuális modelleken a defektus morfológiának megfelelően terveztük meg az alkalmazott unilaterális lebenyképzés (modified minimally invasive surgical technique, single flap approach) irányát, a defektushoz való legkézenfekvőbb hozzáférés alapján. A minimálinvazív műtéti technika során minden esetben zománc mátrix derivátumokat alkalmaztunk a defektusok regenerációjának céljából. Intraoperatív direkt mérések és a 3D modelleken történt digitális mérések eredményeinek összehasonlításával végeztük a modellek pontosságának meghatározását. Intraoperatív UNC-15 parodontális szondával mértük a defektusok intraoszer komponensének vertikális (INTRA) és horizontális (WIDTH) dimenzióját. Virtuálisan az intraoszer méréseknek megfelelően szintén regisztráltuk az előbb említett paramétereket. Továbbá vizsgáltuk a műtétechnikák kiválasztását befolyásoló defektus karakterisztikák (alapvető defektus morfológia, érintett fogfelszínnek száma, defektus csontos falainak száma, furkációérintettség foka) meghatározhatóságát mind konvencionális diagnosztikus eszközökkel mind pedig a 3D modellek alkalmazásával.

Egy második, esetbemutatás célja a modellek diagnosztikus alkalmazása mellett egy teljesen digitális munkamenet klinikai alkalmazásának bemutatása. A defektus komplexitásából adódóan a defektuskarakterisztikák feltérképezése helyett a hangsúly a műtéti lépések szimulációjára tevődött. A vizsgálat során egy, a teljes bal felső támasztózónára kiterjedő konfluáló parodontális defektus regeneratív-rekonstruktív ellátásának tervezését, műtéti kezelését és az eredmények kiértékelését is digitális módszerekkel végeztük. A korábban leírt munkafolyamat alapján végeztük el a preoperatív „virtuális páciens” modell előállítását melynek segítségével felállítottunk egy két-lépéses regeneratív-rekonstruktív sebészi kezelési tervet. Az előző vizsgálattal ellentétben csupán a szegmentált 3D modellek alkalmazása helyett ezen vizsgálat teljes folyamatában egy tényleges virtuális páciens modellt alkalmaztunk. A műtéti kezelés első lépésében a reménytelen prognózisú 26-os fog eltávolítását és szimultán alveolus prezervációt végeztünk a *Windisch és mtsai.* által leírt „extraction site development (XSD)” technika segítségével. A műtéti kezelés második fázisában a két premoláris fog körül kialakult kedvezőtlen morfológiájú cirkumdentális defektus regeneratív célzatú ellátását végeztük. Jobb posztoperatív sebgyógyulás elérése érdekében egy újszerű minimálinvazív műtéti technikát alkalmaztunk. Műtét során két fog közötti interdentalis

papilla átvágása nélkül egy palatinálisan ejtett paramarginális metszésből, valamint két bukkálisan ejtett „pihole” metszésből végeztük a defektus tisztítását és a regeneratív anyagok behelyezését. Mindkét lépésben elvégeztük a műtétek egyes lépéseinek preoperatív virtuális szimulációját (metszésvonal, lebenyképzés, regeneratív stratégia alkalmazása).

4.2 Virtuális 3D modellek alkalmazása műtéti eredmények volumetrikus kiértékelésében

A második esetbemutatásban műtéti tervezés mellett elvégeztük az eredmények volumetrikus kiértékelését, 3D szubtrakciós analízis segítségével (lásd: **lejjebb**). A premoláris fogak körül bekövetkezett keményszöveti változásokat az egyes fogak mellett négy ponton (meziális, palatinális, disztális, bukkális) mind a kiindulási, mind pedig a 9 hónapos kontroll 3D modelleken elvégzett lineáris mérésekkel is megvizsgáltuk. Az alábbi paramétereket rögzítettük:

- **CEJ-BD**: vertikális távolság a zománc-cement határ (CEJ) és a defektus bázisa (BD) között
- **CEJ-BC**: vertikális távolság a CEJ és a keresztális csontszél (BC) között
- **INTRA**: defektus intraoszer komponensének vertikális dimenziója
- **WIDTH**: horizontális távolság a fogfelszín és a keresztális csontszél között
- **VREC** (virtuális ínrecesszió): vertikális távolság a CEJ és a marginális ínyszél között a virtuális modellen mérve
- **VBS** (virtuális bone sounding): vertikális távolság a marginális ínyszél és a defektus bázisa között.

Egy harmadik, esetsorozat tanulmány során tíz esetben, az XSD technikának megfelelően elvégzett alveolus prezervációs beavatkozás előtt és 6 hónappal utána készül CBCT felvételek összehasonlítását végeztük retrospektív módon. A vizsgálat célja, hogy bemutassa az XSD technikával elvégzett alveolus prezervációs műtétek eredményeként bekövetkezett volumetrikus és három-dimenziós morfológiai keményszöveti változásokat. Pre- és posztoperatív CBCT adathalmazok illesztése az “elastix” 3D Slicer bővítmény segítségével történt. Az algoritmus a két felvételt voxel intenzitás értékek közötti hasonlóság alapján illeszti össze. A térben illesztett CBCT adathalmazokon

elvégezzük a korábban leírt félautomatikus szegmentációt és a pre- és posztoperatív 3D modelleket egymásból kivonjuk. Elsődleges vizsgálati paraméter az XSD technika eredményeként bekövetkezett volumetrikus keményszöveti változások analízise volt. Másodlagos vizsgáltuk a horizontális- és vertikális dimenzióváltozásokat a műtéti területen három ponton, melyeket a 3D modelleken történő lineáris mérésekkel végeztünk.

5 EREDMÉNYEK

5.1 Virtuális 3D modellek diagnosztikus értékének vizsgálata

Intraoperatív direkt mérések során defektusok intraoszer komponensének vertikális kiterjedése (INTRA) átlagosan 4.22 ± 1.67 mm, horizontális dimenziója (WIDTH) pedig 3.17 ± 0.98 mm volt. Ezzel szemben az INTRA és WIDTH értékek virtuálisan mért átlagos értéke 4.05 ± 1.51 mm és 3.50 ± 1.02 mm volt átlagosan. Intraoperatív és virtuális mérések eredménye között megállapítható különbség (INTRA: 0.31 ± 0.21 mm; WIDTH: 0.41 ± 0.44) statisztikailag nem volt szignifikáns ($P < 0,001$). A vizsgált hat esetből konvencionális diagnosztikus eszközökkel mindössze egy esetben lehetett meghatározni minden, a műtéti tervezés szempontjából jelentős defektuskarakterisztikát. Ezzel szemben 3D modellek alkalmazásával a korábban említett paraméterek minden esetben 100%-os pontossággal meghatározhatóak voltak.

5.2 Virtuális 3D modellek jelentősége a parodontális sebgyógyulás pontosabb megértésében

A 24-es fog körül a CEJ-BD értékek meziálisan 2,08 mm, palatinálisan 1,17 mm, disztálisan 1,35 mm és bukkálisan 0,31 mm csökkenést mutattak, mely értékek az intraoszer komponensben bekövetkezett keményszöveti nyereséget határozták meg. Ezzel szemben a CEJ-BC értékek meziálisan 0,39 mm, palatinálisan 3,06 mm, disztálisan 0,57 mm és bukkálisan 1,18 mm növekedést mutattak, mely értékek a kresztális

csontrezorpció mértékét határozták meg az egyes fogfelszíneken. Összességében a 24-es fog körüli defektus intraoszer komponensének telődése 45.5 % volt melyet a CEJ-BD változás és a kiindulási INTRA érték arányából határoztunk meg.

A 25-ös fog körül a meziálisan 3,08 mm, palatinálisan 2,18 mm, disztálisan 3,18 mm és bukkálisan 0,31 mm CEJ-BD csökkenés volt detektálható. CEJ-BC értékek ezzel szemben meziálisan 0,70 mm, palatinálisan 1.57 mm, disztálisan 0.00 mm, bukkálisan pedig 2,59 mm növekedést mutattak. Az intraoszer komponens telődésének aránya a 25-ös fog körül 62,25 % volt.

5.3 Alveolus prezervációs beavatkozások 3D szubtrakciós analízise

A harmadik esetsorozat vizsgálatban virtuális 3D modellek szubtrakcióját követően az XSD eredményeként létrejött volumetrikus keményszöveti nyereség átlagértéke $0,34 \text{ cm}^3 \pm 0,09 \text{ cm}^3$ volt. Midkresztálisan mért vertikális lineáris változások átlaga meziálisan $5,97 \pm 3,18 \text{ mm}$, disztálisan, $6,40 \pm 3,03 \text{ mm}$, a középvonalban pedig $7,01 \pm 3,02 \text{ mm}$ volt. Ugyanezen pontokon elvégzett horizontális lineáris változások meziális, disztális és középvonali értéke átlagosan $6,19 \text{ mm} \pm 0,68 \text{ mm}$, $6,32 \text{ mm} \pm 1,52 \text{ mm}$ és $6,90 \text{ mm} \pm 1,48 \text{ mm}$ volt.

Morfológiai változások analízisét követően megállapítható, hogy az extrakciós defektusok keményszöveti telődése minden esetben elérte az approximális csont preoperatív szintjét, valamint a preoperatív bukkális kortikális ívét. Bizonyos esetben a bukkális kortikális ívén kívül defektus által nem érintett területeken is megfigyelhető volt keményszöveti nyereség. A beválogatott tíz eset közül 6 esetben lehetett megfigyelni a szomszédos fogak proximális csontjának az érintettségét, az approximális fogfelszínnek denudációját. Ezekben az esetekben azonban az XSD technika hatására bekövetkezett keményszöveti nyereség a denudált fogfelszíneken is megfigyelhető volt.

6 KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen disszertációban következtetéseket három szinten: (i) modellalkotás módszerével kapcsolatos, (ii) virtuális modellek klinikai alkalmazásával kapcsolatos és (iii) klinikai eredményekkel kapcsolatos következtetéseket lehet levonni.

6.1 I. SZINT - Virtuális hibrid modellalkotás

1. Összességében megállapítható, hogy a jelen disszertációban taglalt virtuális modellalkotási módszer megbízhatóan alkalmazható különböző regeneratív-rekonstruktív parodontális beavatkozások során.
2. Az alkalmazott félautomatikus szegmentáció, mely segítségével jobb eredmény érhető el, mint az általában alkalmazott globális határérték alapú szegmentációval. A módszer két legjelentősebb hátrányossága a (i) relatív nagy időigényesség és (ii) információ hiánya a modellek anatómiai pontosságát illetően.
3. Időráfordítás csökkentése érdekében szükséges a modellalkotás bizonyos folyamatainak automatizálása. A tudomány jelenlegi irányát a különböző MI-án alapuló képrekonstrukciós módszerek - konvolúciós neurális hálók - alkalmazása jelenti, ami a parodontológia és a rekonstruktív sebészet területén is a jövőbeni fejlesztések egyértelmű iránya. A fogászat egyéb szakterületein (ortodoncia, endodoncia) ugyanis ez a technológia, ha korlátozottan is, de elérhető. Komplex parodontális esetekben azonban a keményszöveti defektusok morfológiai diverzitása miatt jelenleg az MI alapú szegmentáció eredménye nem megbízható.
4. Modellek anatómiai pontosságának meghatározása nem volt célja ennek a disszertációnak, melynek fókusza elsősorban a modellek klinikai alkalmazásán volt. A jövőbeni prospektív vizsgálatok elvégzése előtt azonban szükséges a modellek pontosságának validációja.

6.2 II. SZINT - Virtuális 3D modellek klinikai alkalmazása

1. Konvencionális diagnosztikus eszközök korlátai miatt számos publikáció foglalkozott CBCT felvételek parodontális diagnosztikai alkalmazásával, a közlemények többségében a CBCT adathalmazok síkbeli nézeteit alkalmazták diagnosztikus célból. Ezzel szemben a disszertációban összefoglalt esetsorozat tanulmány 3D modelleket alkalmazott parodontális intraoszer defektusok leképezésére lehetővé téve a defektusok térbeli kiterjedésének és 3D morfológiájának megjelenítését.
2. Az intraoperatív- és digitális mérések között statisztikailag szignifikáns különbség nem volt. A kis esetszám és az alkalmazott mérési módszer miatt azonban messzemenő következtetéseket nem vonhatóak le a modellek anatómiai pontosságát illetően. A jövőben nagy esetszámú prospektív vizsgálatok szükségesek ennek kiderítéséhez.
3. Keményszöveti defektusok 3D leképezése mellett a felettük lévő lágyrészviszonyok virtuális megjelenítése lehetőséget ad a metszések, a lebenyképzés menetének és a regeneratív anyagok alkalmazásának preoperatív virtuális szimulációjára. Ezáltal csökkenthető az esetleges intraoperatív komplikációk aránya.
4. A disszertáció másik fő célja volt, hogy bemutassa a 3D posztoperatív validáció jelentőségét regeneratív-rekonstruktív sebészi beavatkozások eredményeinek kiértékelésében. Lineáris és térfogati változások számszerűsítése mellett klinikailag fokozott jelentőséggel bír a 3D morfológiai változások elemzése.

6.3 III. SZINT - Klinikai eredmények

1. A disszertációban alkalmazott modellek egyik hátrányossága, hogy nincs teljes információnk a modellek anatómiai pontosságáról. Ennek ellenére megállapítható a modellek klinikai relevanciája a regeneratív célzatú parodontális sebészeti beavatkozások tervezésében. A vizsgáltunkban szereplő hat esetből 3D modellek segítségével minden esetben, míg konvencionális diagnosztikus eszközökkel mindössze egy esetben lehetett meghatározni minden, a műtéti tervezés szempontjából jelentős defektuskarakterisztikát.

2. Három-dimenziós szubtrakciós analízis során a keményszöveti nyereség kiértékelése mellett keményszöveti veszteség is vizualizálható. A bemutatott parodontális regeneratív beavatkozás során kifejezett palatinális kresztális csontrezorpció volt megfigyelhető, melyet mind a lineáris mérések, mind a szubtrakciós analízis igazolt. Ennek oka feltehetően a palatinális irányú lebenyképzés. Összességében megállapítható, hogy a két premoláris fog körül bekövetkezett intraoszer keményszöveti telődés és a kresztális csontlebonlás következtében a parodontális defektus nivellációja történt.
3. XSD technikával elvégzett alveolus prezervációs beavatkozások során megállapítható volt, hogy amennyiben az extrakciós defektus érintette a szomszédos fogak approximális felszínét, úgy a denudált fogfelszíneken is megfigyelhető volt keményszöveti nyereség. Ezt az esetprezentáció eredményei is alátámasztják, ugyanis a két premoláris fog körül lévő intraoszer defektus 100%-os telődése csak a 25-ös fog disztális felszínén volt megfigyelhető. Ezáltal sejthető az XSD technika másodlagos jótékony hatása a szomszédos 25-ös fog körül kialakult parodontális defektus gyógyulására.

6.4 Új megállapítások

1. Az irodalomban idáig nem közöltek olyan metódust, mely alkalmas lenne a klinikai szituáció hasonló digitális megjelenítésére a kemény- és a lágyszövetek szintjén egyaránt.
2. Modellalkotás mellett újszerűnek számít ezen virtuális 3D modellek parodontális diagnosztikai alkalmazása, valamint a lágyszövetek szuperimpozíciójával és ezt követő CAD modellezéssel létrehozott „virtuális páciens” modelleken végzett műtéti szimuláció.
3. Az újszerű 3D szubtrakciós analízis segítségével olyan morfológiai szöveti változások is igazolhatóak, melyeket korábban objektív módon nem sikerült bizonyítani.
4. Az újszerű kiértékelési módszer eredményeként megállapítható volt, hogy alveolus prezervációt követően, annak másodlagos hatásaként a szomszédos fogak defektus által érintett approximális felszínein is bekövetkezett keményszöveti nyereség.

7 SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

7.1 Disszertációhoz kapcsolódó közlemények

1. **Palkovics D**, Mangano FG, Nagy K, Windisch P. (2020) Digital three-dimensional visualization of intrabony periodontal defects for regenerative surgical treatment planning. *BMC Oral Health*, 20: 351.
2. **Palkovics D**, Pinter C, Bartha F, Molnar B, Windisch P. (2021) CBCT subtraction analysis of 3D changes following alveolar ridge preservation: a case series of 10 patients with a 6-month follow-up. *Int J Comput Dent*, 24: 241-251.
3. **Palkovics D**, Solyom E, Molnar B, Pinter C, Windisch P. (2021) Digital Hybrid Model Preparation for Virtual Planning of Reconstructive Dentoalveolar Surgical Procedures. *J Vis Exp*, doi:10.3791/62743.
4. Sólyom E, **Palkovics D**, Pintér C, Mangano FG, Windisch P. (2021) Virtuális tervezés és volumetrikus kiértékelés egy komplex parodontális defektus regeneratív-rekonstruktív sebészi ellátásában: Egy eset bemutatása. *Fogorvosi Szemle*, 114: 120-130

7.2 Disszertációtól független közlemények

1. **Palkovics D**, Gera I. (2016) [The significance of biotype in the predictability of dental-periodontal treatment]. *Fogorv Sz*, 109: 45-55.
2. Shahbazi A, Feigl G, Sculean A, Grimm A, **Palkovics D**, Molnár B, Windisch P. (2021) Vascular survey of the maxillary vestibule and gingiva-clinical impact on incision and flap design in periodontal and implant surgeries. *Clin Oral Investig*, 25: 539-546.
3. Windisch P, Iorio-Siciliano V, **Palkovics D**, Ramaglia L, Blasi A, Sculean A. (2021) The role of surgical flap design (minimally invasive flap vs. extended flap with papilla preservation) on the healing of intrabony defects treated with an enamel matrix derivative: a 12-month two-center randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Investig*, doi:10.1007/s00784-021-04155-5.