

Szegedi Tudományegyetem  
Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Kar  
Fogorvostudományi Kar  
Fogpótlástani Tanszék

**Az All-On-Four™ implantációs eljárás biomechanikai  
tulajdonságainak vizsgálata**

Ph.D. Tézisfüzet

**Dr. Szabó Árpád László**

Témavezető:

Prof. Dr. Baráth Zoltán Lajos, Ph.D., Habil. Prof.

Szeged

2024

# I. PUBLIKÁCIÓK

## 1. A tézis alapjául szolgáló eredeti közlemények

I. **Szabó ÁL**, Nagy ÁL, Lászlófy C, Gajdács M, Bencsik P, Kárpáti K, Baráth ZL: Distally Tilted Implants According to the All-on-Four® Treatment Concept for the Rehabilitation of Complete Edentulism: A 3.5-Year Retrospective Radiographic Study of Clinical Outcomes and Marginal Bone Level Changes. *Dent J* 2022; 10(5): e82.

**IF<sub>2022</sub>: 2.6, SJR besorolás: Q2, Idézők összesen: 6 (Független idézők: 5)**

II. **Szabó ÁL**, Matusovits D, Sylteen H, Lakatos ÉI, Baráth ZL: Biomechanical Effects of Different Load Cases with an Implant-Supported Full Bridge on Four Implants in an Edentulous Mandible: A Three-Dimensional Finite Element Analysis (3D-FEA). *Dent J* 2023; 11(11): e261.

**IF<sub>2022</sub>: 2.6, SJR besorolás: Q2, Idézők összesen: - (Független idézők: -)**

**ΣIF: 5.2**

## 2. Egyéb közlemények

I. Körtvélyessy G, **Szabó ÁL**, Pelsőczy-Kovács I, Tarjányi T, Tóth Z, Kárpáti K, Matusovits D, Hangyási BD, Baráth Z: Different Conical Angle Connection of Implant and Abutment Behavior: A Static and Dynamic Load Test and Finite Element Analysis Study. *Materials* 2023; 16(5): e1988.

**IF<sub>2022</sub>: 3.4, SJR besorolás: Q2, Idézők összesen: 1 (Független idézők: 1)**

**ΣIF: 3.4**

**ΣIF az összes közlemény alapján: 8.6**

## II. BEVEZETÉS

A fogak elvesztése az egész életen át tartó szájbetegségek végpontjának tekinthető, amely a maradandó fogak szuvasodása, a súlyos fogágybetegség vagy traumás sérülések következtében jön létre, amelyek az érintett fogak extrakciójához vagy elvesztéséhez vezetnek. Az endoszeális, csontintegrált implantátummal támogatott, rögzített vagy kivehető fogpótlások biztonságos és hatékony kezelési alternatívát jelentenek a fogatlan páciensek szájrehabilitációjában. A csontban és az implantátumok körüli terhelésátvitel és feszültségeloszlás jellemzői fontos meghatározói az implantátumok használhatóságának és túlélésének. Korábban hagyományos (késleltetett, kétlépcsős) terhelési protokollokat végeztek, ahol a betegek 2-3 hónapos gyógyulási periódus után kapták meg a pótlást; a közelmúltban azonban az azonnali terheléses (egylépcsős) protokollokat számos kutatás vizsgálta klinikai alkalmazhatóságuk és hatékonyságbeli összehasonlíthatóságuk szempontjából. Azonban a fogatlan, atrofias állcsont anatómiai korlátai miatt (különösen a mandibula esetében), vagy ha a maradék alveoláris csont minősége és mennyisége elégtelen, az implantátumokon alapuló protetikai kezelés az implantátum beültetést megelőző komplex műtéti beavatkozások (pl. irányított regenerációs műtét, idegátültetés, sinus eleváció eljárás, lágyszövet management) nélkül lehetetlen, amelyek jelentős kockázattal, magasabb költségekkel és hosszabb gyógyulási idővek járnak a páciensek részére. A döntött implantátumok használata az állkapocsban egy másik lehetséges alternatíva a komplex sebészeti eljárások elkerülésére, mivel nincs jelentős klinikai különbség a sikeresség arányában az axiálisan behelyezett implantátumokhoz képest, és a betegek általi elfogadhatóságuk is magasabb. Az "All-on-Four" (Ao4) koncepció – melynek megalkotása Maló és munkatársainak nevéhez fűződik (Nobel Biocare, Göteborg, Svédország) 2003-ban – szintén egy lehetséges módszerként írták le, amely lehetővé teszi a klinikusok számára a mandibuláris csont anatómiai korlátainak leküzdését. Az Ao4 szájrehabilitációs stratégia négy implantátum beültetését jelenti a fogatlan állcsontba – két axiális implantátum, amelyek az elülső alveoláris régióban vannak elhelyezve, míg a másik két döntött implantátum megdőntve (15-45°) a hátsó régióban – az ideiglenes, rögzített és azonnal terhelt protézisek elhorgonyzására. A fogatlan állcsont Ao4-koncepcióval történő kezelése során még mindig jelentős hiányosságok vannak az implantátum körüli csontban, az implantátumokban és a protézisekben megfigyelt terhelésátvitel és feszültségeloszlás jellemzőinek ismeretében. Az implantátumokkal alátámasztott pótlások hosszú távú túlélése és kiszámíthatósága nagymértékben függ ezen erők és terhelések eloszlásától és a terhelés átadási hatékonyságától a csont-implantátum határfelületén, mivel ezek a terhelések mind az elsődleges (az azonnali terhelésnél kritikus), mind a másodlagos stabilitást (a csontremodelling folyamatok befolyásolásában kritikus) meghatározzák. Kisebb számú (döntött) implantátum alkalmazása esetén az Ao4 koncepció egyik hátránya, hogy az implantátum körül és a csontban fellépő nagyobb igénybevétel és feszültség meghaladhatja a csont teherbíró képességét (azaz túlterhelést okoz), aminek eredményeként a mikrosérülések felhalmozódását és marginális csontlebontódást okozhat. A fogorvosoknak ismerniük kell az állcsontban a rágóerők és az implantátumok hatására fellépő különféle igénybevételekkel (húzó-, nyomó- és nyírófeszültségekkel) a kezelés tervezése során, hogy biztosítsák ezeknek a lehető legjobb eloszlását a protetikai kezelést követően. A végeelem-analízis (FEA) és -modellek alkalmazása háromdimenziós (3D) kvalitatív és kvantitatív biomechanikai adatok elemzésére az orvostudomány és a fogászat területén jelentős figyelmet kapott, és széles körben elfogadott, nem invazív kutatási módszerré vált komplex biológiai rendszerekben (pl. a fogatlan mandibula, a periimplantáris csont, fogpótlások) eredő specifikus biomechanikai igénybevételek és paraméterek modellezésére, adatok becslésére.

### III. CÉLKITŰZÉS

Az Ao4 terápiás koncepciója jelentős figyelmet kapott a fogorvosoktól a fogatlan betegek szájrehabilitációjában, a kezelési protokollhoz kapcsolódó előnyös, rövid távú klinikai kimenetek miatt; továbbá az Ao4-es implantátum beültetést azonnali terhelés követi, ami jobban megfelel a páciens preferenciáknak. Másrészt az Ao4 koncepció számos gyakorlati vonatkozásával kapcsolatosan jelentős szakirodalmi hiányosságokkal rendelkezünk; például, korlátozott számú közép- és hosszú távú retrospektív vagy prospektív vizsgálat létezik, amelyben az Ao4 koncepciót követően az implantátumok sikerességét, túlélési rátáját és a peri-implantáris csontszint változását határozták meg. Továbbá, jelenleg nincs konszenzus az előnyben részesítendő terhelés típusát illetően, részben az állcsont kezelését követően megfigyelhető, az implantátum körüli csontokban, az implantátumokban és a protézisekben megfigyelt biomechanikai igénybevételek korlátozott ismerete miatt. Jelen vizsgálatunk céljai ezért a következők voltak: *i)* az Ao4 protetikai koncepció szerinti disztálisan döntött implantátumok beültetése utáni klinikai túlélés és a peri-implantáris csontszint-változások (marginális csontvesztés; MBL) mértékének felmérése egy retrospektív, egycentrumos vizsgálatban, radiológiai módszerekkel mérve; *ii)* fogatlan mandibula biomechanikai viselkedésének vizsgálata implantátum által alátámasztott, négy implantátumonon horgonyzott híddal (az Ao4 protetikai koncepció modellezése céljából) kezelt beteg páciens-specifikus végeelem-modelljében szimulált rágóerők hatására, 3D-FEA módszer felhasználásával, különböző terhelési esetek és anyagtani tulajdonságok összefüggésében,

#### **A vizsgálat konkrét céljai a következők voltak:**

1. A disztálisan döntött **Ao4 implantátumok túlélési arányának meghatározása (%) a kiindulási időpontban** ( $T_0$ ; 3 hónap után), valamint **18 hónap** ( $T_1$ ; 1,5 évvel a helyreállítás után), **30 hónap** ( $T_2$ ; 2,5 évvel a helyreállítás után), és **42 hónap** ( $T_3$ ; 3,5 évvel a helyreállítás után) utánkövetéssel
2. Az **MBL szintjének meghatározása a maxillába és mandibulába ültetett Ao4 implantátumok körül a kiindulási időpontban** ( $T_0$ ; 3 hónap után), valamint **18 hónap** ( $T_1$ ; 1,5 évvel a helyreállítás után), **30 hónap** ( $T_2$ ; 2,5 évvel a helyreállítás után), és **42 hónap** ( $T_3$ ; 3,5 évvel a helyreállítás után) utánkövetéssel
3. Az **MBL szintjének meghatározása döntött (posterior) és axiális (anterior) Ao4 implantátumok körül a kiindulási időpontban** ( $T_0$ ; 3 hónap után), valamint **18 hónap** ( $T_1$ ; 1,5 évvel a helyreállítás után), **30 hónap** ( $T_2$ ; 2,5 évvel a helyreállítás után), és **42 hónap** ( $T_3$ ; 3,5 évvel a helyreállítás után) utánkövetéssel
4. Az **MBL szintjének meghatározása az Ao4 implantátumok mezio-approximális (MA) és diszto-approximális (DA) oldalán a kiindulási időpontban** ( $T_0$ ; 3 hónap után), valamint **18 hónap** ( $T_1$ ; 1,5 évvel a helyreállítás után), **30 hónap** ( $T_2$ ; 2,5 évvel a helyreállítás után), és **42 hónap** ( $T_3$ ; 3,5 évvel a helyreállítás után) utánkövetéssel
5. Az **elsődleges főfeszültség [ $P_{max}$ ], harmadlagos főfeszültség [ $P_{min}$ ] és von Mises főfeszültségértékek [ $P_{eqv}$ ] meghatározása a kortikális és trabekuláris csontban, négy különböző szimulált terhelési esetben (LC1-LC4), egy beteg-specifikus fogatlan mandibula végeelemes modelljében**
6. Az **elsődleges főfeszültség [ $P_{max}$ ], harmadlagos főfeszültség [ $P_{min}$ ] és von Mises főfeszültségértékek [ $P_{eqv}$ ] meghatározása a kortikális és trabekuláris csontban, különböző fogsorváz és implantátumtest anyagtani konfigurációk (S1 és S2) esetében, egy beteg-specifikus fogatlan mandibula végeelemes modelljében**

## IV. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 1. Retrospektív klinikai vizsgálat

A kutatás egy retrospektív, egycentrumos vizsgálat volt, melyet az SZTE Fogorvostudományi Karán végeztünk 2017.01.01. és 2022.01.01. között, Ao4 protokollt követő, azonnali terhelésű, négy implantátumon rögzített fogpótlásban részesülő betegek esetében, akik megfeleltek a beválogatási és kizárási kritériumoknak. A vizsgálat kényelmi mintavétel alapján a centrumban, és radiológiai adatok (peri-implantáris csontszint-változás) longitudinális elemzését végeztük el. A vizsgálat megkezdése előtt a következő beválogatási kritériumokat határoztuk meg: (i) 18 éves vagy annál idősebb betegek, (ii) általánosan jó egészségi állapotban lévő, sebészeti beavatkozásra alkalmas betegek; (iii) a fogatlan maxilla vagy mandibula teljes rehabilitációjára szoruló betegek, akik alkalmasak legalább 4 (legalább 10 mm hosszú) implantátum beültetésére; (iv) elegendő csontszint az implantátumok behelyezésére szolgáló helyeken (min. 6 mm, preoperatív CT-vizsgálattal értékelve). Továbbá, a következő kizárási kritériumokat határoztuk meg: (i) akut fertőzés jelenléte a tervezett beültetési helyeken; (ii) ismert koagulopátiák vagy egyéb hematológiai betegségek az anamnézisben; (iii) közelmúltban történt, súlyos kardiovaszkuláris vagy cerebrovaszkuláris esemény az anamnézisben; (iv) az immunrendszert érintő betegségek az anamnézisben; (v) kontrollálatlan diabetes mellitus (DM); (vi) terhesség vagy szoptatás; (vii) csontokat érintő anyagcsere-betegségek, biszfoszfonát-terápia az anamnézisben; (viii) erős dohányzás; (ix) szisztémás kemoterápia, vagy a fej-nyak régiójának besugárzása az elmúlt 12 hónapban; (x) parafunkcionális szokások jelenléte, például súlyos bruxizmus vagy fogak összeszorítása (a klinikusok értékelték és azonosítják a klinikai jelek és tünetek alapján); (xi) nem megfelelő szájhigiénés szint (a plakk- és vérzési index több, mint 20%), vagy a páciens nem megfelelő motivációja a jó szájhigiénia fenntartására a vizsgálat során. Az összes műtéti beavatkozást ugyanaz a sebész végezte, aki több mint húsz éves tapasztalattal rendelkezik az azonnali terhelésű eljárásokban. Az állcsont mennyiségi és minőségi értékelését preoperatív röntgenfelvételek, szemrevételezés és fúrás közbeni tapintásos értékelés segítségével végeztük; a csont minőségének értékelését CBCT-felvételek segítségével végeztük. Minden egyén kapott (i) 2 disztálisan döntött implantátumot a posterior régióba, és ezt követően (ii) 2 elülső implantátumot a maxillába vagy a mandibulába. A maxillában a megdöntött implantátumok közvetlenül a sinus maxilláris előtt, míg a mandibulában a formamen mentale előtt helyezkedtek el. Az implantátumok behelyezése az Ao4 kezelési koncepció szerint történt, az Ao4 sebészeti sablon (Nobel Biocare; Kloten, Svájc) segítségével. A csontregeneráció tekintetében univerzális klinikai protokollokat alkalmaztunk az azonnali implantátum beültetésre. Szükség szerint lokalizált csontátültetést végeztünk az exponált meneteket, a fogeltávolítással kapcsolatos csontdefektusokat demineralizált allograftokkal fedtük. A betegek ideiglenes restaurációját készítő mester minta elkészítéséhez nyitott tálcás, több egységből álló lenyomatborítást helyeztek el a több egységből álló műcsonkokra, hogy precíziós lenyomatanyag felhasználásával lenyomatot készítsünk (Flexitime, Heraeus Kulzer, Hanau, Németország). A műtéti eljárást követően a betegeket arra utasították, hogy a műtét utáni első 7 napban tartózkodjanak a fogmosástól, és meleg vízzel öblítsék le. A műtétet követő 24 órában utasításokat és ajánlásokat adtak a lágy (hideg vagy szobahőmérsékletű) étrendre, amelyet a következő három hónapban félig szilárd étrend követ. A betegeket antibiotikumokkal (500 mg amoxicillin naponta kétszer vagy klindamicin 300 mg naponta kétszer) és fájdalomcsillapítókkal (nem szteroid gyulladáscsökkentő szerekekkel) kezelték a posztoperatív fájdalom és gyulladás szabályozására a szájsebészet standard irányelvei és

protokolljai szerint. Az implantátumok és a protézis helyzetének igazolására közvetlenül a műtét után CBCT-felvételt készítettük. A műtėti beavatkozás előtt hőkeményített akrilát (Ivocap High Impact acrylic, Ivoclar Vivadent; Amherst, NY, USA) előregyártására került sor, amelyet közvetlenül a műtét után a mestermoddellre módosítottak. A gyártást hidegen keményedő anyaggal (Probase, Ivoclar Vivadent; Amherst, NY, USA) végeztük. A műtét befejezése után 3-4 órával az ideiglenes teljesen akrilát protézist beültettük. A műtétet követő 7., 14. és 28. napon, valamint a műtét utáni 3. hónapban a betegek rutinkövetését tervezték, majd ezt követően a betegek évente jelentek meg kontrollvizsgálaton. A 3. hónapos időpontot követően megkezdődött a végleges protézis gyártása, amely egy mart Ti keretből és, körbetekerhető hőre keményedő akrilátból állt (Nobel ProCera Implant Bridge Ti keret, kompozittal furnézott). Az antagonista fogsor minden esetben rögzített fogsor/implantátum alátámasztott pótlás volt. A 3. hónapos időpontban és az azt követő rendeléseken kalibrált panoráma röntgen (OPT) felvételek elkészítésére került sor. A végleges protézis behelyezése után a 3. hónapos röntgenfelvételeket használtuk kiindulási értéként ( $T_0$ ) a csontszint longitudinális értékelésére. A megfelelő utánkövetések során az implantátumokat a rutin klinikai irányelvek alapján értékelték a peri-implantitisz, a dentális plakk és a szondázáskori vérzés (BOP; bleeding on probing) tekintetében. Az implantátum körüli csontszint változásait a 3. hónapos röntgenfelvételeket (azaz kiindulási érték,  $T_0$ ), valamint 18 hónap ( $T_1$ ; 1,5 évvel a helyreállítás után), 30 hónap ( $T_2$ ; 2,5 évvel a helyreállítás után) és 42 hónap ( $T_3$ ; 3,5 évvel a helyreállítás után) utáni követés során készített, illesztett és kalibrált OPT-képekkel mértük. A marginális csontszintet (a legkoronálisabb csont-implantátum kontaktust) MA és DA szempontok alapján értékeltük. Egy független kutató – aki nem állt kapcsolatban a vizsgálókkal – értékelt a panorama röntgen felvételeket, melyeket  $640 (H) \times 480 (V)$  pixeles mátrix képen digitalizáltuk, 8-bites mélységben. A sűrűséget és a kontrasztot ezután beállítottuk a marginális csont optimális megjelenítéséhez, és a digitális képeket .TIF kiterjesztésű képként mentettük el. A 2D képeket ezután a CLINIVIEW (MI Dental; Knowsley, Prescott, Egyesült Királyság) képelemző szoftverrel exportáltuk és elemeztük. A képanalízishez a kalibrációt egyedi implantátum szinten ( $n = 288$ ) végeztük el a lehető legpontosabb eredmények elérése érdekében, ahol az egyes dokumentált implantátumok ismert méreteit és specifikációit vettük alapul a kalibráláshoz, hogy lehetővé tegyünk a marginális csontszint-változások kiszámítását az érintett területen. A csontszintek értékelését külön-külön végeztük el az implantátum MA és DA oldalán. Az implantátum körüli marginális csontszint-változás (MBL) mértékét (mm-ben kifejezve) a kiindulási állapothoz képest ( $T_0$ ) a  $T_1$ ,  $T_2$  és  $T_3$  utánkövetési időpontokban.

## **2. Végeselem-analízis (FEA)**

Vizsgálatunk keretében a FEA elvégzéséhez egy páciens-specifikus végeselemes modellt állítottunk össze egy 63 éves, megfelelő csontellátottságú férfi beteg implantátum beültetés előtti és utáni CT felvételei alapján, aki alkalmas volt négy implantátumon megtámasztott teljes hídon alapuló kezelésre. Az implantátum beültetése 6 hónappal extrakció után történt. A páciens végső pótlása egy mart kobalt-króm (Co-Cr) ötvözetből készült keretből állt, hidegen keményedő, önthető akril műfogsor alappal (Vertex Dental B.V., Soesterberg, Hollandia) és Ivoclar Vivadent (Schaan, Liechtenstein) fogsorból tevődött össze. A lehető legpontosabb csontmodellezés érdekében a beültetés előtti fogatlan mandibula CT-képeinek szegmentálásával a trabekuláris és a kompakt csont végeselemes modelljei készültek. Ez megakadályozta a fémes anyagok környezetében lévő röntgenképi műtermékek torzító hatását a modellre. Az implantátumok geometriáját és pontos elhelyezkedését az állcsontban a beültetés utáni CT képek feldolgozásával kaptuk meg. A két külön szegmentációval nyert adatkészletet egyesítettük a végső modell létrehozásához, amely

magában foglalja a trabekuláris csontot, a kompakt csontot és az implantátumokat. A CT-képeket (.dicom formátumban) a 3D Slicer Computer Aided Design (CAD) szoftverbe importáltuk, amelyből létrehoztuk a mandibuláris modellt. A cilindrikus implantátumok 3D geometriáját ugyanazon páciens CT-képei alapján állítottuk össze, aki négy implantátumot kapott mind a maxillába, mind a mandibulába, a SmartGuide® protokollnak megfelelően (iRES®, Mendrisio, Svájc). Az így létrejött CAD modelleket „.step” és „.iges” formátumban rögzítettük, amelyeket az ANSYS SpaceClaim szoftverbe (ANSYS 19.1, Canonsburg, PA, USA) importálva, létrehoztuk az implantátumok és a mandibula alkatrészek szilárd testhálóját. A mandibula és az implantátumok hálójának létrehozásához SOLID187 (10 csomópontos, magasabb rendű 3D elem, négyzetes elmozdulási viselkedéssel, amely ideális szabálytalan hálók modellezésére) és CONTA174 (8 csomópontos 3D elem, amely a felületek közötti érintkezések és a csúszás modellezésére alkalmas) elemeket használtunk, az ANSYS SpaceClaim szoftverrel. Az implantátumokhoz való függőleges igazodás ellenőrzése után a műfogsort az implantátum hálójába integráltuk, egyetlen oldalt alkotva, amely áthatol a mandibulán, amelyet ezután kivontunk a kortikális és trabekuláris csont modelljéből. A modellben az implantátum körüli csont kortikális és trabekuláris csontokból állt, egy átmeneti régióval, amely túlnyúlik az implantátum legkülső szélén. A csont és az implantátum közötti határfelületet kötöttnek állítottuk be; az összeintegrációt a vizsgálat során 100%-osnak feltételeztük. A modellezett testek fizikai tulajdonságait meghatározó anyagi tulajdonságokat betápláltuk a szoftverbe. Az implantátum körüli csont fizikai jellemzőit úgy modelleztük, hogy azok tükrözzék a Lekholm és Zarb osztályozás szerinti II-es típusú csont jellemzőit. A modellben szereplő összes testet homogénnek, izotrópnak és lineárisan elasztikusnak fogadtuk el. Két szimulációsorozatot végeztünk el: *i*) az első szimulációsorozatban (S1 jelöléssel) a fogsorvázhoz és az implantátumtestekhez ugyanazon anyagtani tulajdonságokat (Ti, azaz TiAl6V4) rendeltük, *ii*) a második szimulációsorozatban (S2-vel jelölve) eltérő anyagi tulajdonságokat rendeltük az implantátumtestekhez (TiAl6V4) és a fogsorvázhoz (70-30%-os Co-Cr ötvözet). Felmértük a különböző okklúziós esetek – azaz a rágóerő megfelelő elhelyezkedésének – hatását a modellre. Az összehasonlíthatóság kedvéért a rágóerők vertikális komponenseit építettük bele a modellbe; ezeket 300 N-ra állítottuk be, és négy különböző szimulált terhelési esetben (LC1-LC4) vizsgáltuk az ennek hatására ébredő feszültség-értékeket. Az ANSYS Workbench-ből a mandibula feszültségkimeneteit elsődleges főfeszültségként [Pmax], harmadlagos főfeszültségként [Pmin] és von Mises főfeszültségként [Peqv] adtuk meg.

A kutatásunk a Szegedi Tudományegyetem Szent-Györgyi Albert Klinikai Központjának Regionális Humán Orvos-biológiai Tudományos és Kutatás-Értékelési Bizottsága által kiadott, érvényes etikai engedéllyel rendelkező (az etikai engedély azonosítója: 158/2021-SZTE [5035]). A részt vevők a kutatásba való bevonás előtt tájékoztatásban részesültek a vizsgálat természetéről és céljairól, valamint az összegyűjtött adatokról, majd a tájékozott beleegyező nyilatkozat aláírását követően kerültek bevonásra. A leíró statisztikai elemzést (beleértve az átlagokat  $\pm$  SEM (az átlag standard hibája), a tartományokat és a százalékokat) Microsoft Excel 365 (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) segítségével végeztük. A statisztikai elemzéseket az SPSS v.22.0 (IBM Corp., Endicott, NY, USA) segítségével végeztük: a változók normális eloszlását Shapiro–Wilk teszttel vizsgáltuk. Az összehasonlító statisztikai elemzések során független mintás t-próbával, egyszempontos varianciaanalízissel (ANOVA; Tukey post-hoc teszttel) és Pearson korrelációs (r) együttható meghatározásával végeztük. 0,05 alatti *p* értékeket tekintettük statisztikailag szignifikánsnak. A FEA eredményeinek nincs varianciája, így ebben az esetben nem volt szükség statisztikai elemzésre.

## V. EREDMÉNYEK

### 1. Retrospektív klinikai vizsgálat

A vizsgálati időszak alatt  $n = 36$  betegnél ( $n = 24$  [66,7%] férfi és  $n = 12$  [33,3%] nő) végeztek implantátum-beültetést az Ao4 koncepció alkalmazásával az SZTE Fogorvostudományi Karon, és rendelkeztek a vizsgálathoz dokumentált periapikális röntgenfelvételekkel. A betegek átlagos életkora a beavatkozás idejében  $58,75 \pm 13,71$  év volt (tartomány: 19-90 év). Összesen,  $n = 144$  implantátum került beültetésre a páciensek maxillájába és  $n = 144$  implantátum a mandibulába (Nobel Biocare), tehát az elemzésünk összesen  $n = 288$  egyedi implantátum adataira terjedt ki. A 42 hónapos vizsgálati időszak alatt 100%-os túlélési rátát figyeltünk meg (100% T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> és T<sub>3</sub> esetén). Egyetlen beteget ( $n = 0$ ) sem veszítettünk el a követési időszak alatt, egyik időpontban sem (azaz 3 hónapnál, 18 hónapnál, 30 hónapnál, illetve 42 hónappal a pótlás után), minden beteg betartotta a meghatározott ütemtervet. Az átlagos MBL a kiindulási időpontban (T<sub>0</sub>)  $0,181 \pm 0,011$  mm volt (átlag  $\pm$  SEM; maxilla ( $n = 144$ ):  $0,178 \pm 0,017$  mm vs. mandibula ( $n = 144$ ):  $0,184 \pm 0,015$  mm,  $p > 0,05$ ); a további elemzésekben a marginális csontszint-változásokat ( $\Delta$ BL) a T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> és T<sub>3</sub> követési időpontokban ezzel a kezdeti értékkel hasonlítottuk össze. Az átlagos MBL-érték a 1,5 évvel a helyreállítás után  $0,558 \pm 0,029$  mm és  $0,484 \pm 0,024$  mm voltak a maxillában és a mandibulában, míg 3,5 évvel a helyreállítás után az MBL-értékek  $0,770 \pm 0,029$  mm and  $0,713 \pm 0,026$  voltak; a csontszint-változás mértéke az idő múlásával szignifikáns volt ( $p = 0,035$  és  $p = 0,033$ ), míg a maxilláris és a mandibuláris implantátum körül megfigyelt csontszint-változások nem különböztek szignifikánsan ( $p > 0,05$ ). A mért csontvesztés szignifikánsan magasabb volt a posterior implantátumokban a követési időszak alatt (1. táblázat); emellett a csontszint változás mértéke szignifikáns volt az idő múlásával ( $p = 0,041$  és  $p = 0,039$ ). Az implantátumok MA és DA oldalán mért csontszint-változásokban nem volt szignifikáns különbség a vizsgálati időszak alatt ( $p > 0,05$  minden esetben), míg a csontvesztés következetesen nőtt a követési időszakok során mind az MA ( $p = 0,029$ ) és a DA ( $p = 0,035$ ) oldalon. Az alcsoport-elemzés során tendenciát mutattak a magasabb mértékű csontvesztésre mind az MA (T<sub>1</sub>:  $-0,586 \pm 0,043$ ; T<sub>2</sub>:  $-0,716 \pm 0,046$ ; T<sub>3</sub>:  $-0,767 \pm 0,042$ ), mind a DA (T<sub>1</sub>:  $-0,545 \pm 0,05$ ; T<sub>2</sub>:  $-0,757 \pm 0,063$ ; T<sub>3</sub>:  $-0,825 \pm 0,060$ ) esetében; azonban ezek a különbségek nem voltak statisztikailag szignifikánsak ( $p > 0,05$ ).

**1. táblázat:** Marginális csontszint-változások az axiális és dőlt implantátumok körül a 42-hónapos vizsgálati időszak alatt

Követés időpontja	Marginális csontszint-változás mértéke ( $\Delta$ BL) (mm $\pm$ SEM)		<i>p</i> -érték (csoportok közötti összehasonlítás)**
	Axiális (anterior) ( <i>n</i> = 144)	Dőlt (posterior) ( <i>n</i> = 144)	
T <sub>1</sub>	$-0,405 \pm 0,021^a$	$-0,637 \pm 0,027^a$	<i>p</i> = 0,008
T <sub>2</sub>	$-0,592 \pm 0,024^b$	$-0,676 \pm 0,028^a$	<i>p</i> = 0,048
T <sub>3</sub>	$-0,606 \pm 0,022^b$	$-0,833 \pm 0,029^b$	<i>p</i> = 0,002
<i>p</i> -érték (időpontok közötti összehasonlítás)*	<i>p</i> = 0,041	<i>p</i> = 0,039	

\*az egyszempontos variancia-analízis (ANOVA) alapján a csoportok közötti szignifikáns különbségeket ( $p < 0,05$ ) a különböző betűk (*a* és *b*) jelölik; \*\*a független-mintás t-próba alapján; a 0,05 alatti *p*-értékeket **felkövérrel** jelöltük



## 2. Végeelem-analízis (FEA)

Elemzéseink során a különböző implantátum-fogsor anyagtani jellemzőknek (azaz S1 és S2) megfelelő, négy különböző szimulált terhelési esethez (LC1-LC4) kapcsolódó feszültségeredményeket MPa-ban fejeztük ki, mint elsődleges főfeszültség ( $P_{max}$ ), harmadlagos főfeszültség ( $P_{min}$ ) és von Mises feszültségértékek ( $P_{eqv}$ ), mind a kortikális, mind a trabekuláris csontra vonatkozóan. Az alsó állcsont szerkezetére vonatkozó feszültségértékek eredményeit a 2. táblázat foglalja össze. Összességében, az elsődleges főfeszültségre vonatkozó feszültségértékek alapján a legmagasabb feszültségértékek mindig az implantátum-csont határfelületen voltak megfigyelhetők. A harmadlagos főfeszültségértékek 1,5-2,5-szer, illetve 1,1-1,4-szer magasabbak voltak, mint az elsődleges főfeszültség értékei a modellezett kortikális csontban, illetve a trabekuláris csontban. A legnagyobb elsődleges főfeszültség értékeket az LC2 terhelési esetenél tapasztaltuk, mind a kortikális- (S1  $P_{max}$ : 89,57 MPa, S2  $P_{max}$ : 102,98 MPa), mind a trabekuláris csont (S1  $P_{max}$ : 3,03 MPa, S2  $P_{max}$ : 2,62 MPa) tekintetében. Az LC2 terhelési esetenél legnagyobb elsődleges főfeszültség a kortikális csont esetében a harmadik implantátum tetejénél, a trabekuláris csont esetében pedig a második implantátum tetejénél volt látható. A legmagasabb harmadlagos főfeszültség értékeket a kortikális csont esetében az S2 LC2 ( $P_{min}$ : -265,35 MPa) és az S1 LC3 esetekben ( $P_{min}$ : -172,30 MPa), míg a trabekuláris csont tekintetében az LC4 (S1  $P_{min}$ : -3,49 MPa, S2  $P_{min}$ : -3,52 MPa) esetben tapasztaltuk, amelyek következetesen a második implantátum teteje közelében voltak láthatók. A kortikális csontban az elsődleges főfeszültség értékek 15,87%-kal, 14,97%-kal, 11,50%-kal, 14,97%-kal voltak magasabbak az S2 szimuláció esetében az LC1, LC2, LC3 és LC4 terhelési esetekre vonatkozóan. A harmadlagos főfeszültség értékek a kortikális csontban 93,20%, 94,54%, 46,61% és 87,96%-kal voltak magasabbak az S2 szimuláció esetén, az LC1, LC2, LC3 és LC4 terhelési eseteknél. A trabekuláris csontban az elsődleges főfeszültség értékek 11,16%, 15,65%, 15,87% és 15,87%-kal voltak magasabbak az S1 szimuláció esetén, az LC1, LC2, LC3 és LC4 terhelési esetekre vonatkozóan. A harmadlagos főfeszültség értékek különbségei a trabekuláris csontban jóval alacsonyabbak voltak, 2,85%, 1,20%, 0,0% és 0,86%-kal magasabbak az S2 szimuláció esetében, az LC1, LC2, LC3 és LC4 terhelési eseteknél. A von Mises feszültségértékek 47,19%-kal, 68,12%-kal, 61,58%-kal és 83,29%-kal voltak magasabbak az S2 szimuláció esetében az LC1, LC2, LC3 és LC4 terhelési esetekre vonatkozóan (2. táblázat).

**Table 2.** Elsődleges főfeszültség ( $P_{max}$ ), harmadlagos főfeszültség ( $P_{min}$ ), és von Mises főfeszültség ( $P_{eqv}$ ) értékek a mandibula csontszerkezetének különböző részein [MPa].

	LC1		LC2		LC3		LC4	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
<b>Kortikális csont</b> $P_{max}$ [MPa]	76,39	88,51	<b>89,57</b>	<b>102,98</b>	85,63	95,48	81,02	93,15
$P_{min}$ [MPa]	-115,30	-222,76	-136,4	<b>-265,35</b>	<b>-172,30</b>	-252,61	-125,20	-235,32
<b>Trabekuláris csont</b> $P_{max}$ [MPa]	2,49	2,24	<b>3,03</b>	<b>2,62</b>	2,95	2,52	2,92	2,59
$P_{min}$ [MPa]	-2,81	-2,89	-3,34	-3,38	-3,25	-3,25	<b>-3,49</b>	<b>-3,52</b>
$P_{eqv}$ [MPa]	<b>166,40</b>	244,92	166,36	<b>279,69</b>	164,36	265,58	142,27	260,77

A *dolt* betűvel jelölt értékek jelölik a legalacsonyabb, míg a *félkövérrel* jelölt értékek a legmagasabb elsődleges főfeszültség ( $P_{max}$ ), harmadlagos főfeszültség ( $P_{min}$ ), és von Mises főfeszültség ( $P_{eqv}$ ) értékeket minden esetre vonatkozóan; **LC1-LC4**: 1-4-es terhelési eset; **S1**: A fogsorvázakhoz és az implantátumtestekhez rendelt anyagtani jellemző mindkét esetben a TiAl6V4; **S2**: az implantátumtestekhez rendelt anyagtani jellemző TiAl6V4, míg fogsorváz esetében ez egy Co-Cr ötvözet volt; **MPa**: megapascal.

# VI. MEGBESZÉLÉS

## 1. Retrospektív klinikai vizsgálat

Az Ao4 kezelési koncepció az elmúlt években széles körben népszerű alternatívává vált az atrófiás mandibula szájüregi rehabilitációjában, a magas szintű funkcionalitás és beteg-elégedettség miatt. Ennek a technikának az egyértelmű előnyei közé tartozik a szükséges implantátumok kevesebb száma, a kevésbé komplex műtéti eljárás, a hosszabb, megdöntött disztális implantátumok használata (rövidebb szabadvéget eredményezve), valamint az implantátumok közötti nagyobb távolságok, amelyek a csonthoz való jobb rögzítést és magasabb elsődleges stabilitást eredményeznek. A retrospektív klinikai vizsgálat célja, hogy további klinikai bizonyítékokat szolgáltatson az Ao4 terápiás koncepció szerint disztálisan döntött implantátumokkal kapcsolatos klinikai kimenetelekről, valamint radiográfiai leletek segítségével felmérje a marginális csontvesztés mértékét az eltelt idő és a betegek jellemzőinek függvényében. Az implantátum beültetését megelőző különféle eljárások (pl. lenyomatvétel, fúrás és eszközök behelyezése) gyulladáshoz vezethetnek, és ennek következtében elkerülhetetlenül bekövetkezik valamekkora mértékű csontlebontódás. Csak a betegek körülbelül kétharmada teljesen szövődménymentes az implantátumon horgonyzott, rögzített fogpótláson alapuló szájüregi rehabilitációt; ezek a szövődmények lehetnek biológiai eredetű nemkívánatos események (pl. periimplantitis vagy alveoláris csontvesztés) és technikai jellegű szövődmények (csavar kilazulása, retencióvesztés vagy felépítmények törése), amelyek az implantátumok károsodásához vagy elvesztéséhez vezethetnek. Az Ao4 kezelési koncepció klinikai hasznosságát számos tanulmány bizonyítja, ami azt mutatja, hogy ezt a technikát kiszámítható, pozitív prognózis és magas betegelégedettségi ráta jellemzi. Ennek a terápiás koncepciónak az előnyei közé tartozik az atrófiás maxilla vagy mandibula felhasználhatósága, a kevésbé komplex műtéti eljárás és utánkövetés, valamint a megfelelő tartományban lévő rágóerők megvalósítása a szájüregben és a pótláson. A vizsgálatunk 3,5-éves követési periódusa során harminchat beteg adatait vizsgáltuk, ahol az implantátumok teljes túlélési aránya 100%, kiemelve az Ao4 koncepció klinikai sikerét. Az kiindulási időpontban (T<sub>0</sub>; ~0,18 mm) és a három követési ponton (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> és T<sub>3</sub>) mért MBL értékek alapján a csontvesztés a telítési görbére jellemző kinetikát mutatott, azaz viszonylag magas  $\Delta$ BL értékeket figyeltünk meg az első nyomon követési időpontban, majd a csontszintben bekövetkező változások „kisimítják” a görbét. A harmadik követési időpontban a pácienseink átlagos csontvesztése 0,7-0,8 mm körüli volt mind a maxillában, mind a mandibulában, azonban a maxilla és a mandibula specifikus pontjai kiemelten érintettek voltak. A csontvesztés mértéke minden időpontban szignifikánsan magasabb volt a döntött implantátumok körül, mint az axiális implantátumoknál. A döntött vagy rövid implantátumok figyelemre méltó alternatívát kínálnak a csont-augmentációs eljárásokra; másrészt magasabb feszültség-értékek kialakulásához vezethetnek a környező csontban. Összességében tanulmányunk arra a következtetésre jutott, hogy az Ao4 protetikai koncepció alkalmazása a teljes fogív-rehabilitáció során magasabb MBL-t eredményez döntött implantátumokkal összefüggésben, és bizonyos esetekben az axiális implantátumok MA felületén >40 hónapos működés után. A jelen tanulmány rávilágít néhány területre az Ao4 koncepcióval végzett protetikai rehabilitáció során, amely még további vizsgálatokat igényel. Vizsgálatunk korlátait – ideértve a retrospektív, egyközpontú vizsgálati tervezést, a viszonylag alacsony elemszámot és az utánkövetési időt – figyelembe szükséges kell venni az eredményeink értelmezésekor.

## 2. Végeelem-analízis (FEA)

3D-FEA alapú vizsgálatunk célja a különböző terheléses esetek és az implantátumtest-fogsorváz különböző anyagfajta tulajdonságainak hatása volt az az Ao4 terápiás koncepció biomechanikai tulajdonságainak modellezésére egy autentikus, fogatlan beteg CT-felvételei alapján összeállított végeelem-modellben, amelyben a beteg aki anatómiaiailag alkalmas volt négy implantátumon elhorgonyozott csavaros rögzítésű híddal történő ellátásra. A csont rugalmas anyagi tulajdonságai miatt a húzó- (elsődleges főfeszültség) és nyomófeszültség (harmadlagos főfeszültség) értékeket megfelelőnek ítéltük meg a biomechanikai tulajdonságok értékeléséhez ebben a vizsgálatban. Elemzéseink alapján a modellezett LC1-es terhelési eset bizonyult a legelőnyösebbnek, amely megerősítette kezdeti hipotéziseinket. Ezt a terhelési esetet jellemezte a legegyszerűsebb feszültségeloszlás, valamint a legalacsonyabb  $P_{max}$  és  $P_{min}$  főfeszültség értékek a mandibulatestben az összes szimuláció során. Ezzel szemben az LC2 – az a terheléses eset, ahol a rágóerő ahol a modellezett rágóerők kizárták a szabadvéget – a legmagasabb  $P_{max}$  értékeket mutatta mind a kortikális, mind a trabekuláris csontban, mind az S1 és S2 esetben; ezért elemzéseinkben ez volt a legkevesbé kívánatos terhelési eset. Amint az a feszültségeloszlási térképeken látható, a megadott feszültségértékek egy adott helyen jelölt csúcserőterek voltak; a valóságban azonban ezek a maximális főfeszültségek a csont-implantátum határfelületén átvitt terhelésként jelentkeznek, nem egyetlen ponton összpontosulnak. Az implantátum élettartama a csont feszültségeinek fiziológiás tartományban tartásával, a lehető legegyszerűsebb feszültségeloszlással biztosítható. Ha a csontot érő főfeszültség-értékek meghaladják csont szívóssága által támasztott élettani határokat, túlterhelés és ezt követő csontfelszívódás lépne fel. A FEA-ból származó feszültségértékek ezen fiziológiai határértékek alatt voltak minden szimulációban és terhelési esetben. A jelen tanulmány egyik fő megállapítása a terhelési pozíciók jelentős hatása a vizsgált feszültségek eloszlására. Megjegyzendő továbbá, hogy FEA modellünkben a legmagasabb főfeszültségértékeket döntően az implantátum-csont határfelület közelében mértük, ami a jelen tanulmányban modellezett cilindrikus implantátumokra jellemző feszültségeloszlással magyarázható. Az alkalmazott anyagfajta jellemzőkre vonatkozó szimulációs esetek (S1 és S2) viszonylag csekély hatással volt a  $P_{max}$  értékekre a kortikális csontban (különbség: 11,50–14,97%) és a trabekuláris csontban (különbség: 11,16–15,87%); másrészt a kortikális csontban a  $P_{min}$  értékek (különbség: 46,61–94,54%) és a  $P_{eqv}$  értékek (különbség: 47,19–83,29%) lényegesen magasabbak voltak az S2 (azaz a Ti és Co–Cr szimuláció) esetében. Elemzéseink elvégzéséhez bizonyos biológiaiailag összetett testeket (pl. a mandibula anatómiai komplexitása, az implantátumok makroszerkezete és mikroszerkezete, peremfeltételek) és változó tényezőket szükségszerűen állandónak tekintettünk. Például, pl. minden anyagot homogénnek, izotrópnak és lineárisan rugalmasnak tekintettünk, a szimulációhoz II-es típusú csontként tekintettük a modellünket, és 100%-os összeintegrációt feltételeztünk. A 3D végeelem-modellek megbízhatósága nagymértékben függ a modellben található elemek és csomópontok számától és arányától (beleértve a magasabb rendű elemek használatát is). Esetünkben az elemek és csomópontok száma összhangban van más, már publikált tanulmányokkal, hogy biztosítsa a modell maximális szenzitivitását. Ennek ellenére számuk növelése tovább növelné a szimulációk megbízhatóságát. A rágás egy kifinomult és összetett folyamat, ami megnehezíti annak pontos becslését a FEA vizsgálatok számára: ebben a tanulmányban a rágóerőket – amelyek valós körülmények között többvektorosak (függőleges, vízszintes és ferde) – egy lineáris, folytonos függőlegesen kifejtett erővel modelleztük az egyszerűsített fogsoron.

### 3. Összefoglalás

Összességében kutatásunk – mind a retrospektív klinikai vizsgálat, mind a FEA elemzéseink – felhívták a figyelmet az Ao4 koncepció klinikai hasznosságára és kiszámíthatóságára, kiemelve néhány további potenciális kutatási területet az alapkutatásban tevékenykedők és a klinikusok számára, a protetikai rehabilitáció sikerességének fejlesztése céljából. Az Ao4 koncepció hosszú távú fenntartásának és biztonságosságának biztosítása érdekében – különösen a fogatlan mandibula szempontjából, ahol a rendelkezésre álló csontellátottság az extrakció utáni involúciós elváltozások miatt gyakran korlátozott – kiemelt fontosságúak az erőfeszítések a környező csontban eredő feszültségértékek meghatározására, azok fiziológiás tartományban tartására és a lehető legegyszerűsebb feszültségeloszlás elérésére. Retrospektív klinikai vizsgálatunkban a döntött implantátumok DA oldalán és az axiális implantátumok MA oldalán mutattuk ki a legmagasabb marginális csontvesztést, amely 0,7-0,8 mm-nek felelt meg – mind a maxillában, mind a mandibulában, 3,5 éves követési idő után; ea csontvesztés mértéke összevethető az irodalomban található értékekkel, azokban az esetekben, ahol hasonló követési időket alkalmaztak. A klinikai vizsgálat eredményeit FEA szimulációink tovább hangsúlyozták: a maximális feszültségértékeket (elsődleges- és harmadlagos főfeszültség, von Mises főfeszültség) az implantátum-csont határfelületen figyelték meg, leggyakrabban a második implantátum felső részének közelében. Továbbá a 3D-FEA modelljeink szerint a legmagasabb elsődleges főfeszültség (~ 100 MPa a kortikális csontban, ~ 3 MPa a trabekuláris csontban) és a legmagasabb harmadlagos főfeszültség (~ -265 MPa a kortikális csontban, ~ -3,5 MPa a trabekuláris csontban) mind az állcsontok által elviselhető tartományon belül voltak (a csont szívóssága által szabott fiziológiai határoknak megfelelően), így várhatóan nem szükséges számítani kóros szövődményekre. A kezelés tervezése során ügyelni kell arra, hogy ezeken a kiemelt érdeklődési területeken csökkentsük az implantátum-csont határfelületen a feszültséget (pl. a rágási terheléseloszlások megfelelő megválasztásával), hogy csökkentsük a beültetés utáni marginális csontvesztési szintet, és biztosítsuk az implantátumok stabilitását.

## VII. ÚJ EREDMÉNYEK

**a. Az Ao4 kezelés során a döntött (posterior) implantátumok körüli marginális csontvesztés mértéke következetesen magasabb volt:** a döntött (posterior) implantátumok körül szignifikánsan nagyobb arányú marginális csontvesztés volt megfigyelhető – az axiális (anterior) implantátumokhoz képest – a 3,5 éves vizsgálati időszak összes követési időpontja során.

**b. Az Ao4 kezelés során a marginális csontvesztés mértéke az implantátumok mesio-proximális (MA) és diszto-approximális (DA) oldalai körül hasonló volt:** a 3,5-éves vizsgálati időszak során nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget a marginális csontvesztés mértéke között az implantátumok MA és DA aspektusai között. Összességében tanulmányunkban a legmagasabb marginális csontvesztési szintet a döntött implantátumok DA oldalán és az axiális implantátumok MA oldalán mutattuk ki.

**c. A 3D-FEA során az a terhelési eset volt a legelőnyösebb, amikor a rágóerők a fogsor teljes mesio-distális felületét – beleértve a szabadvéget is – lefedték:** a mandibuláris modellek közül az 1. terhelési esetnél (LC1) figyeltük meg a legegyszerűsebb feszültségeloszlást és a legalacsonyabb elsődleges- és harmadlagos főfeszültség értékeket.

Ezzel szemben azt a terhelési esetet, ahol a modellezett rágóerők kizárták a szabadvéget (2. terhelési eset, LC2), tekintettük a legkevésbé kívánatosnak elemzéseinkben, a legmagasabb elsődleges- és harmadlagos főfeszültség értékekkel.

**d. A 3D-FEA során a fogsorváz és az implantátumtest anyagi jellege kifejezett hatással volt kortikális csontban megfigyelt feszültségértékekre:** a szimulációk során (S2), ahol különböző anyagtani tulajdonságokat rendeltünk az implantátumtestekhez (TiAl6V4) és a fogsorvázhhoz (Co-Cr), a elsődleges- és harmadlagos főfeszültség értékek és a von Mises főfeszültségértékek 11,50-15,87%-kal, 46,61-94,54%-kal, illetve 47,19-83,29%-kal voltak magasabbak a kortikális csontban az S1-hez képest, ahol az az implantátumtest és a fogsorváz egyaránt TiAl6V4 volt. Ezzel szemben, a trabekuláris csontban hasonló különbségeket nem figyeltünk meg.

## VIII. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, **Prof. Dr. Baráth Zoltánnak** a lehetőségért, hogy ezen a témán dolgozhattam. Továbbá szeretném megköszönni témavezetőmnek az értékes szakmai hozzászólásokat, tanácsokat és a tudományos munkában való részvételre vonatkozó inspirációt. Az egyetem elvégzése után Professzor Úr mentorként segített szakmai fejlődésemben és praxisom kialakulásában.

Hálás vagyok **Dr. Lakatos Éva Ilonának** és **Slyteen Haydar-nek** a háromdimenziós végelelemes-analízisek során nyújtott szakmai segítségükért.

Köszönöm **Dr. Nagy Ádám Lászlónak**, **Dr. Bencsik Péternek** és **Dr. Lászlófy Csabának** a retrospektív vizsgálatban való szakmai együttműködést.

Szeretném hálámat kifejezni **Dr. Gajdács Mária**nak és a Szegedi Tudományegyetem Fogorvostudományi Kutatásmódszertan és Egészségtudományi Csoport munkatársainak az értékes szakmai segítségükért.

Köszönöm az **Oral Centrum** Fogászatnak és Szájsebészetnek a lehetőséget, ahol az implantációs műtétet elvégezhettem és a röntgen / CBCT felvételeket elemezhettem.

Végezetül hálás vagyok **Családomnak** és **Menyasszonyomnak** kitartó türelmükért, támogatásukért, ami szintén hozzájárult ezen tanulmány létrejöttéhez.