

VÖRÖS ÁDÁM¹



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

MULTIDISZCIPLINÁRIS MŰSZAKI

TUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA



EKÖP

Egyetemi Kutatói
Ösztöndíj Program



DENT-ART-TECHNIK Kft.

Kutatási terv

Egyedi szubperioszteális implantátumok nagy ciklusú fárasztó vizsgálata

Vörös Ádám

TOX6H5

Témavezető:

Dr. Zsoldos Ibolya

Anyagtudományi és Technológiai Tanszék

Vállalati szakértő:

Dr. Kónya János

Dent-Art-Technik Kft.

Győr, 2026.04.29

¹ Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,
Témavezető: Dr. Zsoldos Ibolya, egyetemi tanár, Vállalati szakértő: Dr. Kónya János,
Munkáltató: DENT-ART-TECHNIK Kft.

Tartalomjegyzék

1. A kutatási probléma.....	1
1.1. Kutatási előzmények	1
1.2. A probléma bemutatása	1
2. Kutatási célok.....	2
3. Publikációk és tervezetek.....	3
4. Eredmények hasznosítása.....	4
5. A kutatás jelenlegi állása.....	4
6. A kutatás további menete	5
7. Hivatkozások.....	7

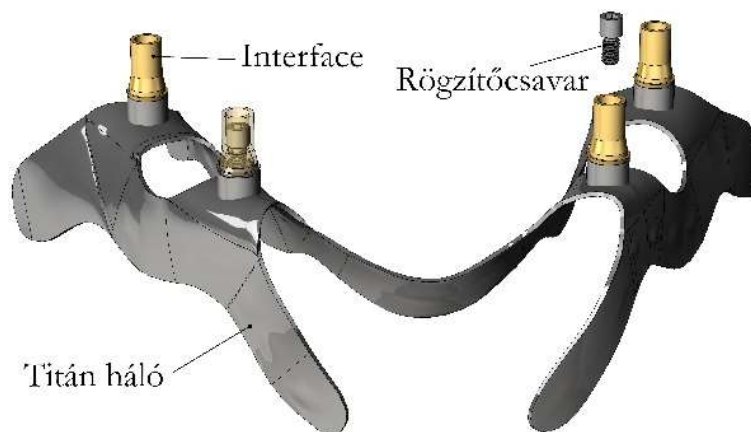
¹ Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,
Témavezető: Dr. Zsoldos Ibolya, egyetemi tanár, Vállalati szakértő: Dr. Kónya János,
Munkáltató: DENT-ART-TECHNIK Kft.

1. A kutatási probléma

1.1. Kutatási előzmények

Diplomamunkám témája orvosi célra felhasznált orális implantátumok tesztelésére szolgáló berendezés tervezése és építése volt. Az orvostudomány és az ipar gyors fejlődésének és szoros együttműködésének köszönhetően manapság már a betegségekkel küzdő, balesetet szenvedett, vagy idős páciensek fogpótlása, rágóképességének helyreállítása lehetséges különféle implantátumok beültetésével. [1]

Ezen implantátumok típusai eltérőek lehetnek, képesek vagyunk egy fog, több fog, de szubperiosteális (íny alá, de állcsont fölé behelyezett, 1. ábra) vagy endosteális (állcsontba ültetett) implantátumokkal akár egy komplett műfogsor felépítésére is. A szubperiosteális implantátumok nagy előnye, hogy használhatók akkor is, amennyiben a páciens nem rendelkezik megfelelő csontállománnyal a hagyományos endosteális implantátumok fogadásához. Ezen felül a szubperiosteális implantátumok használatakor nem szükséges az állkapocscsont megfúrása, elegendő az implantátumot a lágyyszövetek alá helyezni, valamint a lehető legkisebb (M1,5-M2) csavarokkal ideiglenes rögzíteni, amíg a csontintegráció megtörténik. [2]



1. ábra: Szubperiosteális implantátum főbb részei [3]

1.2. A probléma bemutatása

Mivel biomechanikailag minden egyes páciens teljesen eltérő, ezért a szubperiosteális implantátumok tervezése mindig egyedi, eltérő feladat. Ezen egyediség miatt a szerkezetek végeselemanalízissel való vizsgálata nagyon bonyolult, időigényes feladat. Minden egyes

¹Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,
Témavezető: Dr. Zsoldos Ibolya, egyetemi tanár, Vállalati szakértő: Dr. Kónya János,
Munkáltató: DENT-ART-TECHNIK Kft.

alkalommal egyedi végeelem modellt kell alkotni, teljesen eltérő terhelésekkel és kényszerekkel, és csak idealizált modellel futtathatók szimulációk. Még egy felemerülő probléma, hogy jelenleg ezen implantátumok tesztelésére, validálására nem áll rendelkezésre sem berendezés, sem szabványosított folyamat.

Mivel a különböző implantátumokat érő terheléseket, erőket, fellépő deformációkat megfelelően sem virtuális körülmények között (végeselemanalízis), sem a valóságba (tesztelő eszközök) nem tudjuk modellezni, ezért ezek megfelelőségét beépítés előtt nem tudjuk teljes bizonyossággal garantálni, az esetleges tervezési vagy gyártási hibákat nem tudjuk kimutatni, kiküszöbölni. Egy nem megfelelő implantátum eltávolítása főleg az összeintegrációs szakasz kezdetét követően komoly szájsebészeti beavatkozás, amely megannyi lehetséges szövődményt hordoz magában. A hibás, nem megfelelő implantátumok beépítését elkerülhetnénk, ha beültetés előtt az beépítése váró (vagy egy teljesen hasonló paraméterekkel bíró másolatot) implantátumot fárasztó vizsgálatoknak vetnénk alá.

2. Kutatási célok

- A kutatás megalkotok egy olyan tesztelő berendezést és folyamatot, amely sietségével beépítés nélkül, nagy ciklusú fárasztó igénybevételekkel következtethetünk a szubperioszteális implantátumok várható élettartamára.
- Az egyedi tesztberendezéssel, különböző szubperioszteális implantátumok fárasztó vizsgálatai alapján, a rágó igénybevételnek megfelelően, optimális szerkezeteket határozok meg.
- Létrehozok egy virtuális (végeelem) modellt, amely segítségével következtetni lehet az egyedi implantátumok várható torzulására és a rágó erőhatás miatt keletkező belső feszültségek nagyságára. A teszt berendezés és 3D képképző alkalmazások segítségével kísérletekkel igazolom a modell helyességét.
- A tesztberendezés segítségével vizsgálni fogom az implantátumokban használt csavarkötések viselkedését. Az eredmények alapján új támpontokat, előírásokat határozok meg annak érdekében, hogy csökkentsem ezen csavarok visszalazulásának lehetőségét.

¹Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,
Témavezető: Dr. Zsoldos Ibolya, egyetemi tanár, Vállalati szakértő: Dr. Kónya János,
Munkáltató: DENT-ART-TECHNIK Kft.

3. Publikációk és tervezetek

A kutatás során folyamatosan, félévente legalább egy tudományos közleményt tervezek megjelentetni az elért eredményekről. Az 1. táblázat az elkészített publikációs tervet tartalmazza, ahol zöld színnel kerültek jelölésre a már publikált cikkek. A tudományos tevékenységemhez kapcsolódóan 2025-ben részt vettem az EKÖP–KDP 3MT versenyen, ahol II. helyezést értem el. Ugyancsak 2025-ben előadást tartottam a győri EKÖP konferencián, és a jelenlegi évben ismételt előadóként veszek részt az eseményen. A kutatási eredmények szélesebb körű bemutatása érdekében 2025 folyamán a TV2 „Innovátor” című műsorában is szerepeltem, ahol ismertettem a kutatás témáját és az addigi eredményeket. Nemzetközi konferenciaszereplésként a 2024. július 30-án megrendezett MSAM (The 7th International Conference on Material Strength and Applied Mechanics) konferencián is előadást tartottam, ahol a kutatásom aktuális eredményeit mutattam be. Emellett részt vettem a 2026-os FMTÜ (Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka) konferencián is. A jövő évtől kezdődően célom, hogy évente legalább egy nemzetközi konferencián is bemutassam a kutatásom eredményeit.

Megjelenés	Cím	Folyóirat	Állapot	Besorolás (Scopus)
2024	Mechanical Fatigue Test of Individual Dental Implants	ADVANCES IN TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING	Megjelent	Q4
2025	Simulation Analysis of Internal Stresses in Implant Screws	ACTA MATERIALIA TRANSYLVANICA	Megjelent	-
2025	Influence of Cyclic Loading on the Removal Torque of Unique Subperiosteal Implant Screws	JOURNAL OF FUNCTIONAL BIOMATERIALS	Megjelent	Q2 (WOS Q1)
2026	Effect of Internal Structural Design on Stress Distribution in 3D-Printed Subperiosteal Implants Under Mechanical Loading	BIOENGINEERING 13 : 3 p. 368	Megjelent	Q2
2026	Experimental and Finite Element Comparative Analysis of Idealized Subperiosteal Implants with Different Internal Architectures under Extreme Loading	ACTA MATERIALIA TRANSYLVANICA	Megjelenésre vár	-
2026	Deformation Analysis of Simplified Subperiosteal Implants under Variable Loading Using GOM	-	75%	Q1/Q2
2026	Finite Element Modeling and Experimental Validation of Deformation in Simplified Subperiosteal Implants under Variable Loading	-	60%	Q1/Q2
2027	Effect of Tightening Torque on Screw Loosening in Dental Implant Connections under High-Cycle Masticatory Loading	-	50%	Q1/Q2
2027	Experimental and Finite Element Investigation of High-Cycle Fatigue and Failure of Subperiosteal Implants	-	25%	Q1/Q2
2028	Influence of Internal Structure on Stress Distribution and Critical Regions in 3D-Printed Subperiosteal Implants	-	20%	Q2/Q3
2028	Permanent and elastic deformation of an individual subperiosteal implant under force	-	10%	Q2/Q3

1. táblázat Publikációs tervezet

¹Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,
Témavezető: Dr. Zsoldos Ibolya, egyetemi tanár, Vállalati szakértő: Dr. Kónya János,
Munkáltató: DENT-ART-TECHNIK Kft.

4. Eredmények hasznosítása

Jelenleg az orvosok és fogtechnikusok számára nem áll rendelkezésre sem modell, sem teszt berendezés, sem szabványosított ellenőrző folyamat, amelyek segítségével megállapíthatnák az általuk tervezett szubperioszteális implantátumok várható élettartamát, viselkedését.

Az általam létrehozott módszerek és eszközök segítségével lehetőség nyúlik az implantátumok beépítés előtti validálására, ezáltal elkerülhető lenne a nem megfelelő implantátumok beépítése.

Ezen felül a tesztpad és a modell segítségével lehetőség lenne a különböző új implantátum:

- formák,
- anyagok,
- hőkezelése,
- felületi kikészítések,
- stb.

tesztelésére, ezzel újabb eredményeket elérni az implantátum fejlesztés területén.

A kapott eredmények alapján létrehozott tervezési irányelvek segítségével minimalizálni lehet az egyes implantátumok alapanyag, tervezési idő, gyártási költség, illetve átfutási idő igényét, ezzel gazdaságosabbá tehető a folyamatot. Így a hasonló implantátumok előállítása olcsóbb lenne, ezáltal szélesebb körben lenne elérhető.

5. A kutatás jelenlegi állása

Az előző beszámolási időszak során sikeres mechanikai vizsgálatokat végeztünk egyedi szubperioszteális implantátumokon. Eredményeink igazolták, hogy a vizsgált implantátumok három napnyi, általános rágási igénybevételnek megfelelő terhelés (mintegy 7000 harapási ciklus, ~450 N erőszint mellett) hatására – bár a vizsgálat során mérhető rugalmas deformáció jelentkezett – maradó alakváltozást nem szenvedtek. Ez megerősítette az implantátumok mechanikai alkalmasságát a klinikailag releváns terhelési tartományban.

Az ezt követő időszakban a kutatás fókusz a implantátum egyes részeit összekötő csavarok viselkedésének részletes vizsgálatára helyeződött át. A meghúzási nyomaték, valamint a ciklikus és statikus terhelések hatását elemeztük a csavarokban ébredő belső feszültségekre, illetve a visszalazításhoz szükséges nyomatéokra. Az eredmények alapján javaslatokat

¹Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,

Témavezető: Dr. Zsoldos Ibolya, egyetemi tanár, Vállalati szakértő: Dr. Kónya János,

Munkáltató: DENT-ART-TECHNIK Kft.

fogalmaztunk meg az implantátumgyártók számára a csavargeometriák optimalizálására és az ajánlott meghúzási nyomatékok pontosítására, továbbá rávilágítottunk a gyártási pontatlanságokból eredő potenciális kockázatokra. Ezen vizsgálatok eredményei a nemzetközi szakirodalomban is megjelentek, különös tekintettel a ciklikus terhelések hatására bekövetkező nyomatékváltozásokra.[5]

Az elmúlt egy év során a kutatás jelentősen kibővült az implantátumok belső szerkezeti kialakításának vizsgálatával. Különböző belső struktúrával rendelkező, additív gyártással készült implantátummodellek mechanikai viselkedését elemeztük végeselemes szimulációk és kísérleti vizsgálatok kombinálásával. Az eredmények rámutattak, hogy a belső struktúra módosítása hatással van a feszültségeloszlásra és a lokális deformációs viselkedésre, ugyanakkor a maximálisan elviselhető terhelések tekintetében a különbségek klinikai szempontból nem meghatározóak. Kiemelt jelentőségű eredmény, hogy a kísérleti és numerikus vizsgálatok összevetése során sikerült azonosítani a rendszer gyenge pontját: extrém terhelések esetén nem az implantátum szerkezete, hanem a befogási rendszerben alkalmazott ragasztott kapcsolat bizonyult kritikusnak. Ez az eredmény megerősítette, hogy a fejlesztett tesztberendezés és befogási módszertan alkalmas a klinikailag releváns tartományban történő megbízható vizsgálatok elvégzésére.[6]

A kutatás során alkalmazott komplex módszertan – amely magában foglalja a végeselemes analízist, a kísérleti terheléssel vizsgálatokat, valamint a CT-alapú deformációanalízist – lehetővé tette az implantátumok viselkedésének részletes és több szempontú értékelését. Az eredmények alapján meghatározhatók voltak a kritikus keresztmetszetek, amelyek minden esetben a hálószerkezet és a csatlakozó elemek találkozási zónájában jelentkeztek. A kutatási eredmények az elmúlt időszakban több nemzetközi tudományos publikáció formájában is megjelentek. Az egyik tanulmány a ciklikus terhelések hatását vizsgálta a szubperiosteális implantátumok rögzítőcsavarjainak visszalazítási nyomatékára, míg egy másik publikáció a különböző belső struktúrák hatását elemezte a feszültségeloszlásra mechanikai terhelés alatt. Ezen felül egy további közlemény jelenleg megjelenés alatt áll, amely az idealizált implantátumok extrém terhelés alatti viselkedését vizsgálja kísérleti és végeselemes összehasonlító módszerekkel, különös tekintettel a befogási rendszer megbízhatóságára.

6. A kutatás további menete

A következő kutatási időszak fő célja a megfogalmazott tézisek további bizonyítása és a

¹Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,

Témavezető: Dr. Zsoldos Ibolya, egyetemi tanár, Vállalati szakértő: Dr. Kónya János,

Munkáltató: DENT-ART-TECHNIK Kft.

már elért eredmények kísérleti alátámasztásának bővítése. Ennek érdekében folytatom a szubperiosteális implantátumok végeselemes modelljeinek fejlesztését, különös tekintettel a rágási mechanizmusból származó terhelések pontosabb leképezésére, a deformációk előrejelzésére, valamint a várható élettartam becslésére.

A kutatás egyik kiemelt feladata egy új, nagysebességű fárasztóvizsgálatokra alkalmas tesztberendezés megtervezése és megépítése. A berendezés célja, hogy akár 15 Hz körüli frekvencián is lehetővé tegye a szubperiosteális implantátumok nagyciklusú vizsgálatát, ezáltal jelentősen lerövidítve a több százezer vagy több millió ciklusból álló tesztek időigényét. A berendezéssel kapott eredmények alapot adhatnak a végeselemes élettartam-becslések kísérleti validálásához. Ezzel párhuzamosan egy olyan kiegészítő vizsgálati rendszer kialakítása is cél, amely lehetővé teszi az implantátumok terhelés közbeni alakváltozásának mérését. Ennek során a saját fejlesztésű tesztpadot CT-alapú és optikai 3D mérési eljárásokkal, különösen GOM mérésekkel kívánom kiegészíteni. Ezáltal a számított és a valóságban mért deformációk közvetlenül összehasonlíthatóvá válnak, ami elengedhetetlen a végeselemes modellek pontosságának igazolásához.

A továbbiakban folytatni kívánom a különböző belső struktúrával rendelkező implantátumok összehasonlító vizsgálatát is. A cél annak meghatározása, hogy az egyes rács- és belső szerkezeti kialakítások hogyan befolyásolják a feszültségeloszlást, a kritikus keresztmetszetek kialakulását és a fárasztó viselkedést. Az így kapott eredmények alapján olyan tervezési irányelvek fogalmazhatók meg, amelyek segíthetik a mechanikailag kedvezőbb, biztonságosabb szubperiosteális implantátumok fejlesztését. A csavarkapcsolatok vizsgálata szintén folytatódik. Ennek keretében további csavarlazulási kísérleteket tervezek végrehajtani különböző meghúzási nyomatékok mellett, nagy ciklusszámú terheléssel. A vizsgálatok egy része a BME Polimertechnika Tanszékén rendelkezésre álló fárasztó berendezéssel történik, amely lehetővé teszi a több millió cikluson keresztül tartó terhelés hatásának elemzését. A cél annak meghatározása, hogy milyen meghúzási nyomatéktartomány biztosít stabil csavarkapcsolatot klinikailag releváns terhelések mellett.

Összességében a következő időszakban a kutatás fő iránya a végeselemes modellek pontosítása, a nagyciklusú fárasztóvizsgálatok kísérleti hátterének fejlesztése, a deformációmérések CT- és GOM-alapú validálása, valamint a csavarkapcsolatok hosszú távú stabilitásának vizsgálata lesz. Ezek az eredmények közvetlenül hozzájárulnak a tézisek bizonyításához, valamint a szubperiosteális implantátumok szabványosítható mechanikai

¹Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,
Témavezető: Dr. Zsoldos Ibolya, egyetemi tanár, Vállalati szakértő: Dr. Kónya János,
Munkáltató: DENT-ART-TECHNIK Kft.

vizsgálati módszertanának kidolgozásához.

Feladat megnevezése	Kezdet	Vég
Új egyszerűsített terhelő tesztpad előállítás a GOM vizsgálatokhoz	2026. ápr.	2026. aug..
Terheléses vizsgáltok Gom megfigyeléssel	2026. szept..	2025. okt..
Végeselem modell készítése a várható deformációk meghatározásához	2026. szept.	2027. febr..
Új tesztpad (amely képes többmillió harapást szimulálni) és végeselem modell létrehozása a várható élettartam meghatározásához.	2026. ápr.	2027.ápr.
Élettartam vizsgáltok, valamint csavar lazító vizsgálatok elvégzése	2027. jan.	2027. aug.
Eredmények végső kiértékelése és publikálása	2027. aug.	2028. febr.
Szabadlom benyújtása a tesztelési folyamatra és a berendezésre	2028. márc.	2028. aug.
Disszertáció véglegesítése	2028. jún..	2028. aug.

2. táblázat Kutatás további menete

7. Hivatkozások

[1] K. Kulcsar and I. Zsoldos, “Mechanical Studies of Subperiosteal Implants,” *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, vol. 68, no. 1, pp. 53–62, Jan. 2024, doi: 10.3311/PPme.23706.

[2] J. Kónya and K. Kulcsár, “Results and design process of fixing points of a custom-made subperiosteal implant used in dentistry based on technological possibilities and empirical experiences,” *Katonai Logisztika*, no. 1–2, pp. 262–283, 2020, doi: 10.30583/2020/1-2/262.

[3] P. Csanád, K. Kulcsár, and Á. Vörös „Simulation analysis of internal stresses in implant screws under different tightening torques,” *Műszaki Tudományos Közlemények* 22, 2025

[4] K. K. Talabérné, Á. Vörös, and I. Zsoldos, “Mechanical Fatigue Test of Individual Dental Implants,” in *Material Strength and Applied Mechanics*, 2024. doi: 10.3233/ATDE240586.

[5] Á. Vörös, K. Kulcsár, D. Pammer, and I. Zsoldos, “Influence of Cyclic Loading on the Removal Torque of Unique Subperiosteal Implant Screws,” *Journal of Functional Biomaterials*, vol. 16, no. 9, pp. 1–16, 2025, doi: 10.3390/jfb16090306.

[6] Á. Vörös, B. Lőrincz, J. Kónya, and I. Zsoldos, “Effect of Internal Structural Design on Stress Distribution in 3D-Printed Subperiosteal Implants Under Mechanical Loading,” *Bioengineering*, vol. 13, no. 3, p. 368, 2026, doi: 10.3390/bioengineering13030368.

¹Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,
Témavezető: Dr. Zsoldos Ibolya, egyetemi tanár, Vállalati szakértő: Dr. Kónya János,
Munkáltató: DENT-ART-TECHNIK Kft.