

SEMMELWEIS EGYETEM

DOKTORI ISKOLA

Ph.D. értekezések

3085.

BÉRCZY KINGA

Fogorvostudományi kutatások

című program

Programvezető: Dr. Varga Gábor, egyetemi tanár

Témavezető: Dr. Joób Fancsaly Árpád, egyetemi docens

Az implantátumok méretváltozásának tendenciái az utóbbi évtizedekben

Doktori értekezés

Dr. Bérczy Kinga

Semmelweis Egyetem
Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Joób-Fancsaly Árpád, med. habil., egyetemi docens

Hivatalos bírálók: Dr. Kispélyi Barbara, egyetemi docens

Dr. Seres László, med. habil., egyetemi docens

Komplex vizsga szakmai bizottság:

Elnök: Dr. Hermann Péter, egyetemi tanár

Tagok: Dr. Gyulai-Gaál Szabolcs, egyetemi docens

Dr. Vajdovich István, címzetes egyetemi tanár

Budapest
2024

Tartalomjegyzék

1. Rövidítések jegyzéke	5
2. Bevezetés.....	6
2.1. Az oszteointegráció „klasszikus” tényezőinek változása	8
2.1.1. Implantátumok felületi morfológiája.....	8
2.1.2. Implantátumok anyaga	10
2.1.3. Implantátumok formája	11
2.1.4. Műtéti technika.....	16
2.2. Rövid implantátumok alkalmazásával kapcsán felmerülő kérdések.....	18
2.2.1. Primer stabilitás és a csont - implantátum kapcsolat.....	19
2.2.2. A rövid implantátumok biomechanikai tulajdonságai	21
2.2.3. A rövid implantátumok sikerességi aránya.....	24
2.3. Rövid implantátumok alkalmazásának előnyei és kihívásai.....	26
2.3.1. Rövid implantátumok alkalmazásával elkerülhető beavatkozások	27
2.3.2. A rövid implantátumok alkalmazásának kihívásai	32
2.4. A bevezetés összegzése.....	35
3. Célkitűzés	36
4. Anyag és módszer	37
4.1. A vizsgálat felépítése.....	37
4.2. Adatgyűjtés	37
4.3. Statisztikai elemzés	39
5. Eredmények	40
5.1. Demográfiai eredmények.....	40
5.2. Protetikai terhelés óta eltelt idő és a klinikai vizsgálatok eredményei.....	42
5.3. Radiológiai vizsgálat eredményei.....	47

6. Megbeszélés	50
7. Következtetések	59
8. Összefoglalás	61
9. Summary	62
10. Irodalomjegyzék	63
11. Saját publikációk jegyzéke.....	81
<i>11.1 A disszertációhoz kapcsolódó közlemények:</i>	<i>81</i>
<i>11.2. A disszertációhoz nem kapcsolódó közlemények:</i>	<i>81</i>
12. Köszönetnyilvánítás.....	82
Ábrajegyzék	83
Táblázatjegyzék	85

1. Rövidítések jegyzéke

AG - Aktien-Gesellschaft

ASA - American Society of Anesthesiologists, Amerikai Aneszteziológiai Társaság

ASTM - American Society of Testing and Materials, Amerikai Anyag és Kísérleti Egyesület

BIC - Bone to Implant Contact, Csont-Implantátum Kapcsolat

BL - Bone Level, Csontszintű

BOP - Bleeding on Probing, Ínyvérzési Próba

C/I ratio - Crown to Implant Ratio, Korona/Implantátum arány

C/R ratio - Crown to Root ratio, Fogkorona/Foggyökér arány

EDI - European Association of Dental Implantologists, Európai Fogászati Implantológusok Társasága

iPRF - Injectable Platelet Rich Fibrin, injektálható Trombocitában Gazdag Fibrin

FEA - Finite Element Analysis, Végelelemes Vizsgálat

GBR - Guided Bone Regeneration, Irányított Csontregeneráció

ISQ - Implant Stability Quotient, Implantátum Stabilitási Hányados

ITI - International Team of Implantology, Nemzetközi Implantológiai Társaság

MBL - Marginal Bone Loss, Marginális Csontvesztés

PRF - Platelet-Rich-Fibrin, Trombocitában Gazdag Fibrin

PD - Probing Depth, Szondázási Mélység

Ra – Roughness Average, Érdesség átlag

Sa - Surface Average, Felület átlag

Scx - Surface Curvature X, Felület görbület átlag

Sdr - Surface Developed Ratio, Felületi fejlettség arány

SE – Semmelweis Egyetem

SLA - Sandblasted and acid-etched, Homokfújt és Savmaratott felszín

SLActive - Sandblasted and Acid-etched Active, Aktív Homokfújt és Savmaratott felszín

SLPI - Silness–Löe Plakk Index

SPD - Severe Plastic Deformation, Nagymértékű Képlékeny Deformáció

TPS - Titanium Plasma Sprayed, Titánium Plazma Spray

TiO₂ - Titánium-dioxid

TiZr - Titán-Zirkónium

TL - Tissue Level, Lágyszöveti Szintű

2. Bevezetés

Albrektsson és *Brånemark* [1] az 1980-as évek elején leírták a csontintegráció kialakulásáért felelős tényezőket. Tapasztalataik és eredményeik alapján megállapították, hogy az osseointegráció létrejöttét befolyásolja: az implantátum primer stabilitása, az implantátum anyaga és felülete, az implantátum mérete, a zavartalan gyógyulás és a sebészeti technika. Megállapításaik az általuk alkalmazott, esztergált felszínű implantátumokkal szerzett tapasztalataikon alapultak. Az implantológia a kezdetektől fogva folyamatosan, és egyre dinamikusabban fejlődik. Új implantátum felületek kerültek kialakításra, amelyek önmagukban jelentős hatással vannak az implantátum-csont kapcsolatra, az osseointegrációra és a hosszú távú sikerességre [2]. Új implantátum alapanyagok kerültek forgalomba, melyek hatással vannak a biomechanikai tulajdonságokra. Új implantátum formák jelentek meg, melyek befolyásolják az implantátumok primer stabilitását. Új műtéti technikákat fejlesztettek ki, melyek egyrészt hatással vannak a primer stabilitásra, másrészt segítségükkel egyre pontosabban, biztonságosabban helyezhetők be az implantátumok. Az *Albrektsson* és *Brånemark* által megfogalmazott állítások napjainkban is érvényesek. Ma is azt gondoljuk, hogy mindegyik pontjának szerepe van a csontintegrációban. Azonban mindegyik, általuk leírt, „klasszikus” csontintegrációt befolyásoló tényezőben történt változás. Ha az egyik tényező módosul, fejlődik, az maga után vonja egy másik tényező változását, fejlődését is. A tényezők változásai hatással vannak egymásra, a csont-implantátum kapcsolatra és a hosszú távú sikerességre. Ugyanakkor a klinikusok érthető módon a változásokat óvatosan kezelik. Az évtizedek alatt, szinte dogmaként tisztelt állításokhoz sokszor túl sokáig ragaszkodunk. Ez utóbbi állítás jellemző az implantátumok méretével összefüggésben is. Korábban széles körben elfogadott volt a rövid implantátumok alacsony sikerességi és kiszámíthatatlan idejű túlélési aránya. A szerzők nagyrésze egyetértett abban, hogy csak a standard hosszúságú implantátumok hozhatnak megbízhatóan hosszú távú eredményeket. Az 1990-es évek elején kockázati tényezőnek számított az implantáció sikeressége szempontjából, ha a mandibulába 10 mm-nél, a maxillába 13 mm-nél rövidebb implantátumot helyeztek be [3]. Még a 2000-es évek elején is számos publikációban leírták, hogy a rövid implantátumok (≤ 10 mm) kevésbé sikeresek a standard hosszúságú implantátumokhoz képest [4, 5]. 2016-ban, az Európai Fogászati Implantológusok Társaságának (European Association of Dental

Implantologists - EDI) konszenzusos konferenciáján a rövid implantátumok definícióját ≤ 8 mm-ben határozták meg [6]. Ugyanezen a megbeszélésen fogalmazták meg azt az ajánlást, hogy a rövid implantátumok alkalmazásakor, azok átmérője legalább 3,75 mm legyen. Bevezettek egy új kifejezést is, az „ultrarövid implantátum” fogalmát, amely a ≤ 6 mm hosszú implantátumot jelenti. Majd 2023-ban a 18. EDI konferencián ugyanezeket a fogalmakat megerősítették [7]. Érdekesség, hogy jelenleg a szakmai szervezetek között sincs egyetértés az implantátumok méretének besorolását illetően. Ugyanis 2018 óta az ITI (International Team of Implantology - ITI) a 6 mm-es, vagy annál kisebb implantátumokat tekinti rövid implantátumnak, ugyanakkor véleményük szerint ezeknek az implantátumoknak a használatával kapcsolatban még nagyon sok a megválaszolatlan kérdés, és csak nagyon indokolt esetben választandóak [8]. Ha a szakmai szervezetek között sincs egyetértés, akkor a klinikusok körében is érthető a bizonytalanság. Bármelyik nemzetközi szervezet besorolását vesszük alapul, több pozitív eredménnyel záruló vizsgálatra van szükség ahhoz, hogy a rövid implantátumok használata mihamarabb, széles körben elterjedjen a klinikai gyakorlatban.

Ahogy a fent említettek alapján is látható, az implantátumok méretváltozásainak kérdése folyamatosan a szakmai szervezetek fókuszában van, ennek oka, hogy a rövid implantátumok alkalmazásának számos előnye van. Elkerülhetőek a különböző vertikális csontmagasságot növelő műtéti beavatkozások, a csontpótlással kombinált implantációhoz képest alacsonyabb a fontos anatómiai képletek sérülésének kockázata. Kisebb a morbiditás, rövidebb a kezelési idő, könnyebb a páciens számára a posztoperatív időszak, és összességében alacsonyabb a műtéti költség [9–11]. A rövid implantátumok alkalmazása nemcsak állcsontatrófia esetén jelenthet előnyt, hanem fibulával vagy szkapulával végzett állcsont-rekonstrukciós műtétek esetén is, mivel a korlátozott csonttér fogat miatt, a rövid implantátum alkalmazása jobban megkönnyíti a protetikai rehabilitációt [12, 13]. Ugyanakkor számos kérdés merül fel használatukkal kapcsolatban. A kisebb felület miatt milyen lesz az implantátumok primer stabilitása? Elegendő lesz a csont - implantátum kapcsolat? A megnövekedett korona - implantátum hosszarány (Crown to Implant Ratio - C/I) milyen hatása lesz a marginális csontvesztésnek (Marginal Bone Loss - MBL) és a protetikai szövődményekre? A rövidebb implantátumhossz nem okoz-e nagyobb vagy korai marginális csontvesztést? Ezek együttesen mennyire befolyásolják az implantátum hosszú távú stabilitását? Mi változott a korábbi eredmények óta, amiért egyre többen számolnak be a rövid implantátumok használatának sikereiről?

2.1. Az osseointegráció „klasszikus” tényezőinek változása

A rövid implantátumok definíciója, azaz, hogy milyen méretű implantátumokat tekintünk rövidnek, folyamatosan módosult az elmúlt évtizedekben. Ebben a fejezetben sorra vesszük az osseointegráció kialakulásáért felelős tényezők változásait, amelyek ahhoz vezettek, hogy ma már a 6 - 8 milliméteres implantátumokat nevezzük rövidnek és alkalmazzuk azokat a klinikai gyakorlatban.

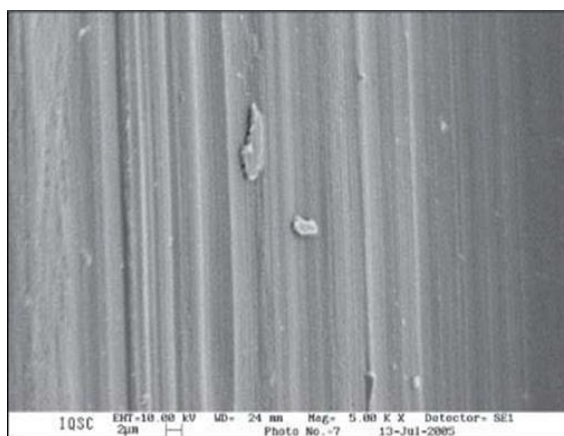
2.1.1. Implantátumok felületi morfológiája

Az implantátumok felszínével összefüggésben két fogalmat fontos megkülönböztetni, a topográfiát, és a morfológiát. A morfológia fontossága a csontintegráció kialakulásában régóta ismert [1]. A felületi topográfia alatt a milliméteres nagyságrendű geometriai formaváltozást, felületi érdességet értjük. A felület morfológia a felület érdességének háromdimenziós megjelenése. Ennek jellemzésére a leggyakoribb paraméterek a következők:

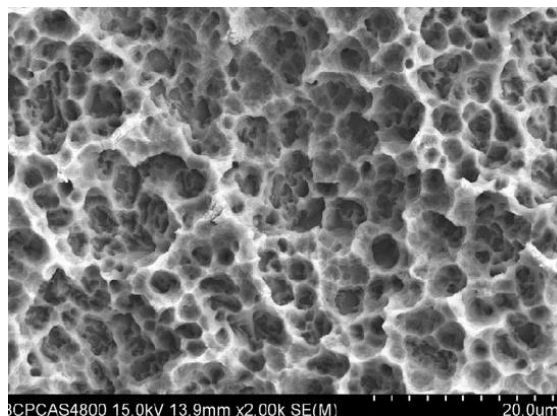
- Sa (2D-s vizsgálat esetén Ra): az elemek kiemelkedéseinek magasság különbségének átlaga
- Sdr: kezelt és nem kezelt felszínnek hányadosa
- Scx: elemek hullámhosszának átlaga

Az 1960-as évektől kezdve esztergált felszínű, azaz minimálisan érdes felszínű titán implantátumokat használtak (*1.ábra*), így egy viszonylag gyengébb, egyenetlen csont-implantátum kapcsolat alakult ki az integrációt követően [14]. Ez a kapcsolat - tengelytől eltérő terhelés esetén - korlátozott ellenállást eredményezett a feszítőerőkkel szemben. Ezáltal a protetikai terhelés hatására az implantátum - csont kapcsolat könnyebben megszakadhatott. Véltetően ezt igyekeztek ellensúlyozni a hosszabb implantátumok használatával, amelyek nagyobb felületet biztosítanak a csonttal való érintkezéshez. Erre utal a fentebb említett, korábbi ajánlás, amely szerint a maxillában legalább 13 mm hosszú implantátumokat szükséges alkalmazni [3]. Napjainkban a felületkezelt implantátumok érdes felszínűek, melyek nagysága mikro-, illetve nanométeres nagyságú. A felületkezelési eljárásoknak köszönhetően az implantátum - csont kapcsolat jelentősen javult [15]. A mikrométeres érdesség jobb biomechanikai kapcsolódást biztosít az implantátum számára. A nanométeres érdesség nagyobb felszínt biztosít a fehérjék

kitapadásához. Ezeknek köszönhetően a csontgyógyulási folyamatok felgyorsultak [16]. Az implantátumok felületének módosítására számos módszert fejlesztettek ki. Napjainkban a legjobb eredménye az anyageltávolítással, vagy a legkülső felületi réteg átalakításával előállított izotróp, közepesen érdes felületeknek van. Ilyen például a TiUnite (Nobel Biocare AG, Zürich, Svájc) implantátum, ahol az oxidréteg vastagságot megnövelik és a titánkristályok közötti határt eloxálási eljárással feltörik. Szintén számos publikációban beszámoltak az SLA (Sandblasted and acid-etched - SLA, 2. ábra. SLA felszín elektronmikroszkópos képe) és SLActive (Sandblasted and acid-etched Active - SLActive) felszínek jó eredményeiről [17, 18]. Az SLActive hatással van az emberi csontban lévő mezenchimális sejtekre és az oszteointegrációs periódusra [19]. Napjainkban intenzív kutatások zajlanak a nanostruktúrák vizsgálatával kapcsolatban. Bizonyos eljárásokkal az implantátum felületéről a szennyeződéseket eltávolítják és rendezett, titánium-dioxid (TiO_2) nanostruktúrákat hoznak létre. Ezeknek a nanostruktúráknak a sűrűsége a megmunkálási módszertől és az implantátum anyagától függően, eltérő lehet. Számos vizsgálat alátámasztotta, hogy több csontsejt kötődik és szaporodik a felszínen, illetve erősebb csontszövet képződik, ha az implantátum nanostruktúrákkal rendelkezik [20, 21]. Napjainkban a legtöbb felületkezelési eljárással hidrofób felület hozható létre, azonban elérhetőek hidrofil felületek is. Egyes eljárásokkal, úgynevezett szuperhidrofil felületek alakíthatók ki. Egy csepp víz, vagy vér azonnal szétterül és nedvesíti az ilyen felületet. Ez hatással van az oszteoblaszt-szerű sejtek kezdeti kötődésére, proliferációjára és fokozza a differenciálódásukat [22].



1.ábra. Esztergált felszínű implantátum elektronmikroszkópos képe 5000x-es nagyításban [23]



2. ábra. SLA felszínű implantátum elektronmikroszkópos képe 4000x-es nagyításban [24]

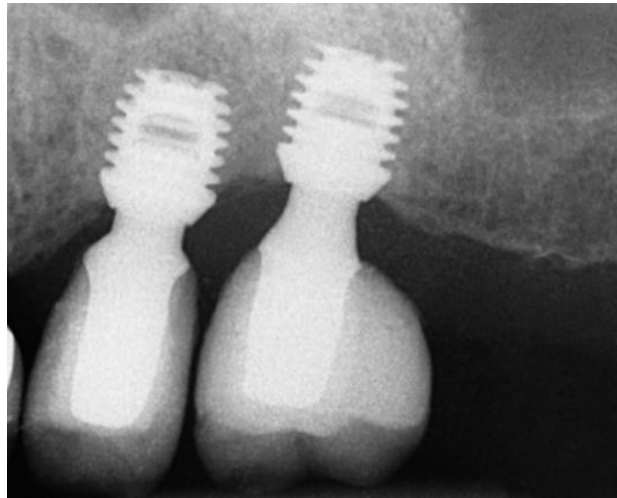
2.1.2. Implantátumok anyaga

Az implantátum anyagának a biokompatibilitás, a biomechanikai funkcióképesség és mechanikai stabilitás követelményeinek kell megfelelnie. A modern implantológia kezdete óta a titán a leginkább elterjedt implantátum anyag, azonban az utóbbi évtizedekben többféle implantátum anyag (mint például az alumínium-oxid kerámia és a cirkónium) jelent meg kereskedelmi forgalomban. Ugyanakkor ezeknek az anyagoknak a biomechanikai tulajdonságai elmaradtak a titánétól. A mechanikai tulajdonság kiemelkedően fontos a csökkentett méretű implantátumok esetén, ezért rövid implantátumok alkalmazásakor csak a titán és ötvözeteinek használata javasolt. Jelenleg az American Society of Testing and Materials (ASTM) [25] 6 titán típust tart számon, fogászati implantátum gyártáshoz alkalmas bioanyagként (Grade I-VI.). Kezdetben Grade I.-es típusú titánból készült implantátumokat használtak. Manapság Grade IV.-es titánt, azaz tiszta titánt, vagy ötvözeteit ($\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$, TiZr) használják az implantátum előállítására, melynek keménysége és mechanikai ellenállóképessége sokkal nagyobb, mint a Grade I.-es titáné. A „Grade” jelölés a szennyezőanyagok százalékos tartalmáról ad információt. A titán és ötvözetei jó mechanikai és fizikai tulajdonságaik miatt terjedtek el. A magas kopásállóság mellett a korrózióknak is ellenállnak a felszínén kialakuló oxidrétegnek köszönhetően. Habár a titán merevebb, mint a csont, a titán ötvözetek rugalmassági modulusa áll a legközelebb a csont rugalmassági modulusához, ennek köszönhetően kedvezőbb lesz a rágóerő eloszlása a csont - implantátum felületen. A 15% cirkóniumot tartalmazó titán ötvözet biokompatibilitása előnyösebb, a mechanikai szilárdsága jobb, mint a tiszta titáné, és várhatóan hatékonyan megakadályozza az

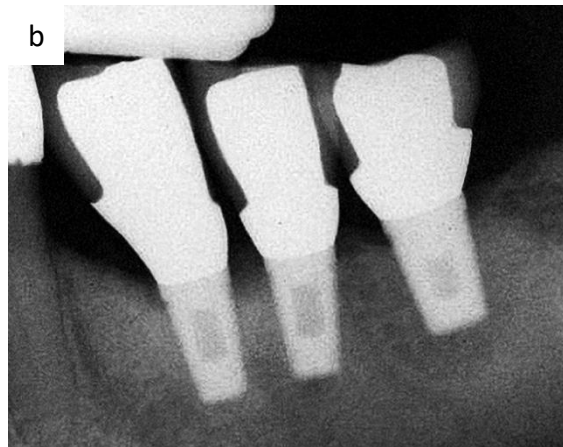
implantátum testének törését [26, 27]. A titán - cirkónium (TiZr) implantátumok nem mutatnak szignifikáns különbséget a marginális csontreszorpcióban és a túlélési arányban a tiszta titán implantátumokhoz képest [28, 29]. A TiZr-ből készült implantátumok mechanikailag jobban ellenállnak a töréssel szemben, még kisebb méretű implantátumok esetén is. Egyes végelelemes vizsgálatok (Finite Element Analysis - FEA) szerint rövid implantátumok használata esetén érdemes TiZr anyagú implantátumot választani [30]. Vizsgálati és preklinikai stádiumban vannak az úgynevezett ultrafinom szemcsés nanotitánok. Nanotitánt nagymértékű, képlékeny deformációval (severe plastic deformation - SPD) vagy meleg profilhengerezéssel lehet előállítani. A nagymértékű, nyíró alakváltozással járó állapotban az anyag nem reped, és kezdeti szemcseszerkezete ultrafinom szemcsésre, nanoszemcsésre transzformálódik. A nanotitánok magasabb folyáshatárral, nagyobb szilárdsággal és keménységgel rendelkeznek és fokozottabb ellenállást mutatnak a korrózióval szemben [31].

2.1.3. Implantátumok formája

Az implantátum formájának fontos szerepe van az implantátum primer stabilitásában, illetve a protetikai terhelés során az optimális erőátvitelben. Az implantológia fejlődése során számos implantátum forma jelent meg, azonban az enosszeális csavarimplantátumok terjedtek el, és alkalmazzuk őket ma is széles körben. Kereskedelmi forgalomban megjelentek speciálisan a rövid implantátumokhoz fejlesztett implantátum formák, mint például a „plateau root form” implantátumok (3. ábra). Egyes szerzők ajánlják a „press-fit” típusú (4. a. és 4. b. ábra) implantátumokat is. Ezekről a típusú implantátumokról is fellelhetők hosszú távú eredmények az irodalomban. Azonban a rendelkezésre álló publikációk száma csekély, és a szakmai szervezetek sem számolnak be róluk, így vizsgálatunk nem terjed ki ezen implantátumokra.



3. ábra. 4 éve funkcióban lévő „plateau root form” implantátumok [32]



4. ábra. (a) Press-fit típusú implantátum makroszkópos képe [33], (b) 12 éve funkcióban lévő press-fit implantátumok röntgenfelvétele [33]

A csavar implantátumok közül, a párhuzamos falú (5. ábra) implantátumok jelentek meg először, később úgynevezett „rootform”, „tapered” vagy másnéven gyökér formájú (6. ábra) implantátumokat hoztak létre. A kúposág mértéke implantátum típustól függően általában 3 - 5 fok. A kúposág mértéke hatással van a primer stabilitásra, illetve a protetikai terhelés okozta feszültségátvitelre. A kúpos formának további előnye is lehet, ha az apikális harmadban keskeny az oro - vesztibuláris csontkínálat. Azonban - egyes végeselemes vizsgálatok alapján - a párhuzamos falú implantátumok geometriája jobb, mint a gyökérformájú implantátumoké [34]. *Atieh és mtsai.* [35] végeselem (finite element analysis - FEA) vizsgálatokkal arra a következtetésre jutottak, hogy alsó állcsontba helyezett gyökérformájú implantátumok azonnali terhelésekor a kisebb

kúpszögek ($2 - 5^\circ$) kisebb lokális terhelést jelentenek a marginális csontra, mint a nagyobb kúpos szögek (14° - ig). Az ITI 2018-as ajánlása szerint azt a szakmai döntést, hogy párhuzamos falú, vagy gyökér formájú implantátumot választunk, a páciens anatómiája, csontminősége és mennyisége, valamint az oszteotómia protokollja határozza meg [8]. Tehát önmagában a rövid implantátum alkalmazása nem indokolja a gyökérformájú implantátum választását.

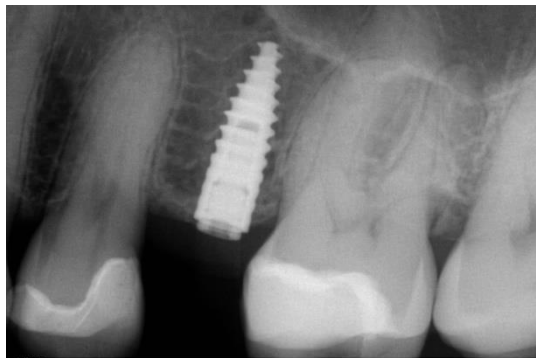
Az implantátum platformjának szintje alapján megkülönböztetünk „Bone Level” (BL) (5. és 6. ábra) és „Tissue Level” (TL) (7. ábra) típusú implantátumokat. Előbbinél az implantátum behelyezésekor annak platformja a csont szintjébe kerül. TL implantátum esetén az implantátum nyaka polírozott, és a polírozott implantátum platform a lágyrészben helyezkedik el. Ennek megfelelően az implantátum és az implantátum protetikai fejének csatlakozása más szöveti szintben helyezkedik el a BL és TL típusú implantátum esetén.



5. ábra. Párhuzamos falú, BL implantátum röntgenképe (SE, Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinika képanyagából)

Végeseleemes vizsgálatok szerint, a feszültségeloszlás mértéke a kortikális csontban és az implantátum testben kisebb volt a rövid TL típusú implantátumoknál, mint a rövid BL típusú implantátumok esetében [30]. A vizsgálat implantátumok esetében azonban a különbség nem volt olyan mértékű, hogy annak klinikai relevanciája lehetne. *Hadzik és mtsai.* [36] vizsgálatában a BL rövid implantátumok mutattak jobb eredményeket. Vizsgálatukban a 8 mm hosszú BL (teszt) és TL (kontroll) implantátumok esetében létrejövő MBL-t, primer és szekunder stabilitást hasonlították össze. Az MBL a tesztcsoportban a 12. héten $0,19 \pm 0,1$ mm volt, míg a 36. héten $0,29 \pm 0,2$ mm. A

kontrollcsoportban az első méréskor $0,53 \pm 0,2$ mm volt az MBL, míg második vizsgálaton $0,57 \pm 0,3$ mm. Az implantátum behelyezésekor a primer stabilitás a teszt csoportban jelentősen magasabb volt (77,8 ISQ), mint a kontroll csoportban (66,5 ISQ). 12 héttel később a szekunder stabilitás szignifikáns növekedését találták (tesztcsoport: 78,9 ISQ, kontrollcsoport: 73,9 ISQ). Az eredmények alapján a BL implantátumokkal kisebb MBL-t, illetve jobb primer és szekunder stabilitást értek el, mint a TL implantátumok alkalmazásával. Ugyanakkor az MBL értékek alapján úgy tűnik, ennek az eredménynek sincs klinikai szempontból jelentősége.



6. ábra. Gyökérformájú, BL implantátum röntgenképe (SE, Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinika képanyagából)

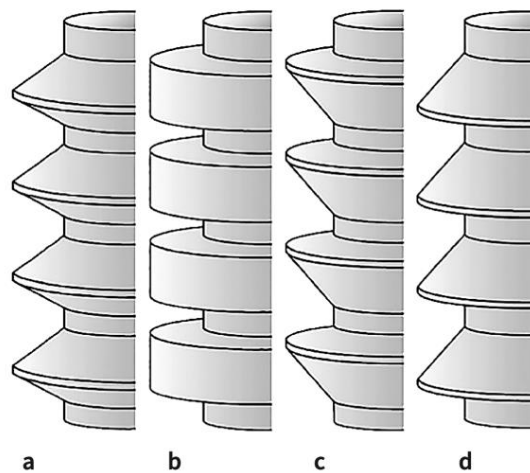


7. ábra. Párhuzamos falú, TL típusú implantátum röntgenképe (SE, Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinika képanyagából)

A csavarimplantátumok menetkialakítása gyártónként, sőt ugyanazon gyártó különböző termékei között is jelentősen eltér. A menetek alakja, mélysége, vastagsága, szöge és emelkedése mind befolyásolja a primer stabilitást, az implantátum - csont kapcsolatot, és az okklúziós terheléssel együtt jelentős hatással van az implantátum és a

csontszerkezet feszültségeloszlására és deformációjára, különösen szivacsos csontállományban [37] [38]. Minél nagyobb a menetek száma, azaz minél kisebb a menetemelkedés, és minél nagyobb a menetek mélysége, annál nagyobb lesz a csonttal érintkező felület, és annál jobb lesz az implantátum azon képessége, hogy eloszlassa a rágóerőt. Az optimális menetemelkedés és mélység a menet alakjától függően változhat. Egy 2017-ben végzett [39] FEA vizsgálat alapján a háromszögletű, azaz V-alakú (8. ábra) menetek lehetnek a legjobbak 10 mm hosszú implantátumok esetén. Azonban nem történt vizsgálat a rövid implantátumok és az optimális menetkialakítás tekintetében. A legtöbb gyártó hasonló menetkialakítást alkalmaz a rövid és standard hosszúságú implantátumokhoz egyaránt.

Megkülönböztetünk önmetsző és nem önmetsző implantátumokat. Egyes in vivo vizsgálatok szerint az önmetsző implantátumokkal szignifikánsan magasabb behajtási nyomaték érhető el [40], ezt a megállapítást klinikai vizsgálatok is megerősítették [41]. Rövid implantátumok alkalmazáskor felmerül a kérdés, hogy makroszkóposan kisebb implantátum mérettel, megfelelő primer stabilitást tudunk-e elérni. Az önmetsző implantátumok vélhetően hozzá tudnak járulni a jobb primer stabilitás eléréséhez rövid implantátumok esetében is.

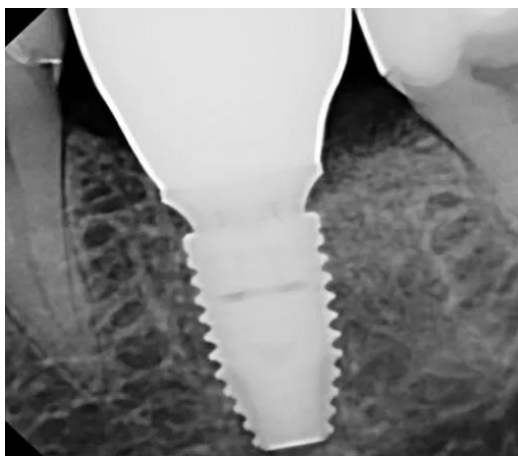


8. ábra. A fogászati implantátumokhoz használt tipikus menetkialakítások. (a) szabványos V-menet, (b) négyzetes menet, (c) támpilléres menet, (d) fordított támpilléres menet [42]

2.1.4. Műtéti technika

A modern implantológia kezdetéhez képest a műtéti technikák is jelentős fejlődésen mentek keresztül. A műtétek kivitelezése során több ponton hatással lehetünk az implantáció sikerességére. Az aszeptikus műtéti környezet, az alkalmazott vízhűtés, a megfelelő primer stabilitás eléréséhez szükséges eszközök és technikák alkalmazása, mind hatással vannak a műtét sikerességére.

A felületkezelt implantátumok megjelenése után hamar kialakult az a nézet, hogy az implantátumok felületkezelt részét 1 - 2 milliméterrel szubkresztálisan kell elhelyezni (9. ábra). Ennek az az oka, hogy ha a gyógyulás kezdeti fázisában marginális csontvesztés történik, akkor a felületkezelt rész így sem kerül csontszint fölé, ezáltal elkerülhető egy gyorsan terjedő, gyulladásos folyamat az implantátum körül. Ez a technika számos más előnnyel is jár: csökkenti a korai mikromozgások kockázatát, biztosítja a megfelelő kresztális csontvastagságot, minimalizálja a kresztális csontfelszívódást, és növeli a szivacsos csont és az implantátum közötti érintkezést [15].



9.ábra. Szubkresztálisan behelyezett BL implantátum radiológiai képe [43]

Az implantátum fészket, az implantátum típustól függően, az implantátum átmérőjéhez képest körülbelül 0,3 milliméterrel alul méretezzük, így növelve a primer stabilitást [44]. Egyes rövid implantátumokat gyártó cégek ehhez külön profilfúrókat hoztak létre. Az implantátum fészek alul méretezésének vannak azonban felső határai [45], ezeket átlépve károsodik a marginális csont. Ha a behajtási nyomaték túl nagy, kompressziós nekrosis, illetve mikrotörések alakulhatnak ki az implantátum körüli kortikális csontban [46]. Ez az implantátum stabilitásának átmeneti csökkenésével járhat,

amely olyan mikromozgásokat eredményezhet, melyek elegendőek az oszteogenezis késleltetéséhez, vagy akár gátlásához, és ez korai implantátumvesztéshez vezethet [47]. Ennek a folyamatnak a hátterében nem csak az implantátum fészek túlzott alul méretezése állhat, hanem a magas csontsűrűség is. Alternatív megoldást jelentenek bizonyos speciális műszerek, úgymint kézi oszteotómok vagy összeodenzifikáló fúrók [48, 49]. Ezekkel a csontkárosodás minimálisra csökkenthető, és az implantátum körüli szivacsos csontsűrűség növelhető. A csontot nem „marják”, hanem az implantátum fészek falaihoz tömörítik. Rövid implantátumok esetén, főleg a maxilla moláris régiójában van ezeknek jelentősége.

Rövid implantátumok esetén mind az egy-, mind a kétfázisú műtéti technika választható. Amennyiben a műtét során alacsonyabb primer stabilitást érünk el, jobb a kétfázisú műtéti technikát alkalmazni. Jó primer stabilitás esetén azonban használható az egyfázisú műtéti technika, így elkerülhető a második sebészeti beavatkozás, amely esetén - főleg a mandibula moláris területén - fennáll a kresztális csontvesztés kockázata.

Az utóbbi pár évtizedben megjelenő sebészi sablonok segítségével az implantátumokat - a szabadkézi behelyezéssel összehasonlítva - egyre ideálisabb pozícióba tudjuk behelyezni [50, 51]. A megfelelő implantátum pozíció közvetlenül, és a protetikai terhelésen át közvetve is, hatással van a csontszövetre és az implantáció hosszútávú sikerességére [52]. A rövid implantátumok használata sokszor nehéz anatómiai szituációkban kerül előtérbe, így a sablonokkal együtt történő használatuk nagyban megkönnyítheti a sebész munkáját. Ugyanakkor egyes szerzők úgy vélik, hogy rövid implantátum használata esetén, olyan területeken, ahol a csontsűrűség kritikusan alacsony, a vízűtés korlátozottsága miatt a sebészi sablonok kerülendőek [53].

Egyes szerzők ajánlják a „platelet-rich fibrin” (PRF) készítményeket a rövid implantátumok alkalmazásakor, mivel a bennük lévő koncentrált növekedési faktorok fokozhatják a csontintegráció sebességét és minőségét. Az autogén PRF „plug” -ot úgy állítják elő, hogy a páciens vérént antikoaguláns nélküli csövekben centrifugálják. A PRF „plug” közvetlenül az implantátum beültetése előtt helyezhető be az implantátum fészekbe, vagy magát az implantátumot is bevonhatjuk PRF folyadékkal (injectable PRF - iPRF) [54].

Ma már elfogadott tény, hogy az implantátumok körüli keratinizált íny szélessége és vastagsága fontos tényező az implantátumok hosszú távú sikerességében [55]. Legalább 2 mm széles feszes ínyt tekintjük megfelelőnek, amelynél szondázáskor a

műszer színe nem tűnik át a nyálkahártyán. Mind a standard, mind a rövid implantátumok esetén fontos ennek megléte. A keratinizált íny vastagítására sokféle műtési technikát fejlesztettek ki az utóbbi évtizedekben, amelyek szintén hozzájárultak ahhoz, hogy a rövid implantátumok hosszú távú sikeressége egyre kiszámíthatóbb.

A 2.1. fejezet összefoglalásaként elmondhatjuk, hogy az osseointegráció feltételeiként leírt „klasszikus” tényezők jelentős fejlődésen mentek keresztül az elmúlt évtizedekben. Egy-egy „klasszikus” tényező vizsgálata kezdetben elsősorban az alapkutatások részét képezi, majd az alapkutatásokat követően a klinikai kutatások alapjául szolgálnak. Az implantológiában klinikai szempontból fontos következtetéseket általában csak hosszú távú tapasztalatok alapján lehet levonni, ami legalább 10 évet jelent. Ezért az újítások elterjedése, evidenciaként való elfogadása, majd a klinikumban való átültetése hosszú folyamat. A csavar implantátumok felülete közel 20 évig esztergált volt, amely időszak gyakorlatilag a modern implantológia eddigi történetének közel felét jelenti. Ugyanakkor ma már teljesen evidens, hogy felületkezelt implantátumokat használunk. Az implantátumok felületének, anyagának, formájának fejlődése, és az új műtési technikák kialakulása, lehetővé teszik, hogy az implantátumok mérete csökkenjen. A rövid implantátumok hosszának jelenlegi alsó határát az alap és klinikai kutatások egyaránt keresik. A mindennapi gyakorlatba való átültetésükhöz, elterjedésükhöz azonban több, és kiterjedt vizsgálatra van szüksége. Egyrészt azért, mert a klinikai kutatások standardizálása, reprodukálhatósága nagyon nehéz, másrészt a klinikusokban számos elméleti és gyakorlati kérdés merül fel a használatukkal összefüggésben.

2.2. Rövid implantátumok alkalmazásával kapcsán felmerülő kérdések

A 2.1. fejezetben részleteztem, hogy az osseointegráció feltételeiként leírt, „klasszikus” tényezők tulajdonképpen minden pontjában jelentős változások történtek. Ezek a változások az implantáció sikerességét folyamatosan javították. A rövid implantátumoknak számos előnye van a standard méretű implantátumokhoz képest, ezért elterjedésük mind a szakma, mind a páciensek előnyére válik. Azonban, részben a korábbi elméletek szinte dogmaként való tisztelete miatt, a klinikusokban számos kérdés merül fel a rövid implantátumok alkalmazásával kapcsolatban. Ebben a fejezetben ezeket a kérdéseket veszem sorra és foglalom össze a jelenlegi ismereteinket.

2.2.1. Primer stabilitás és a csont - implantátum kapcsolat

Az implantátum primer stabilitása függ az implantátum alakjától, felületétől, a műtéti technikától, az implantátum körüli csont minőségétől és mennyiségétől. Az implantátumok felületében, alakjában és műtéti technikában történt változásokat a 2.1. fejezetben részletesen tárgyaltam. Ezek a változások mind hozzájárultak ahhoz, hogy a rövid implantátumok makroszkópos méretcsökkenése ellenére, megfelelő primer stabilitást tudjunk elérni. Az optimális primer stabilitás meghatározása azonban a standard és a rövid implantátumok használata esetében sem könnyű. A sebészi technikával és az új implantátum formákkal, felületekkel magas behajtási nyomaték érhető el. Azonban, ha a behajtási erő túl nagy, akkor meghaladhatja a kortikális csont természetes rugalmasságát [45], ilyenkor mikrotörések, kompressziós törések jöhetnek létre. Ennek eredményeként, mielőtt új kortikális csont képződhetne, az elhalt csont eltávolítása érdekében csontreszorpció fog kialakulni [46, 47]. Emiatt az implantátum stabilitása átmenetileg csökkenhet, vagy akár korai implantátum veszteség történhet [56]. 1-2 milliméteres, korai MBL az ultrarövid (4-6 mm) implantátumok esetén nagyobb eséllyel vezethet az implantáció sikertelenségéhez, mint egy standard méretű implantátum alkalmazásakor. *In vivo* vizsgálatokban nem találtak különbséget a rövid és standard hosszúságú implantátumok között [57], azonban rövid implantátumok behelyezésekor - főleg gyengébb csontminőség esetén - alacsonyabb primer stabilitás alakulhat ki [58, 59]. *In vitro* vizsgálatok szerint a primer stabilitás szempontjából az implantátum hosszának nagyobb szerepe van, mint az implantátum átmérőjének [60, 61]. Ha nem megfelelő a primer stabilitás, akkor mikromozgás keletkezhet, és ez kötőszövetes gyógyuláshoz vezethet. Egyes szerzők szerint a kisebb nyomaték (25 Ncm) előnyösebb, és az implantátum megfelelő stabilitását jobb rezonancia - frekvencia tesztel ellenőrizni, azaz axiális stabilitást mérni, mintsem magas primer stabilitásra törekedni, azaz forgási stabilitást elérni [62]. Rövid implantátum alkalmazása esetén, a kezdeti gyógyulás befejeződése után, a protetikai terhelés előtt, érdemes rezonancia - frekvencia tesztet végezni a stabilitás ellenőrzésére [56]. Ha ennek értéke nem éri el a 60-at, akkor a protetikai terheléssel várni kell. *Deporter és mtsai.* [63] ajánlása szerint, amennyiben a rövid implantátum primer stabilitása <35 Ncm, akkor mindenképp két lépéses műtéti technikát kell választani, és legalább 5 hónapot kell várni a protetikai terheléssel.

A fentiek alapján is látható, hogy sem a standard, sem a rövid implantátumok esetében még nem sikerült azonosítani a primer stabilitást befolyásoló tényezők ideális

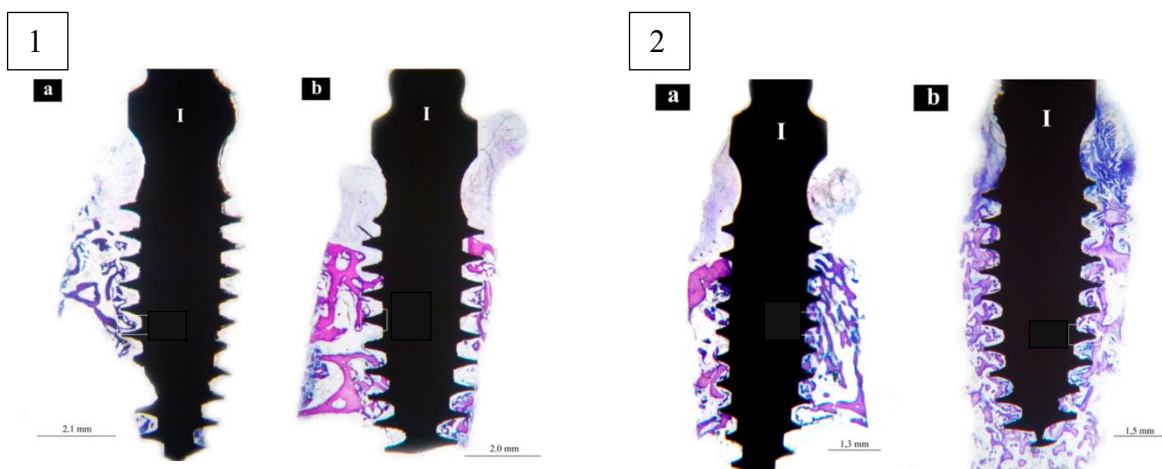
kombinációját, amely folytonos új csontképződéssel járna az osseointegráció folyamatában [64]. Az *in vivo* és *in vitro* vizsgálatok alapján elmondható, hogy a gyenge (IV. típusú) csontminőséget kivéve, alapvetően nincs különbség a rövid és standard méretű implantátumok között a primer stabilitás tekintetében.

A csont - implantátum kapcsolat százalékos értékével (BIC) jellemezhető az implantátum felületének biológiai szerepe. A BIC értéket a szövettani metszet dekalcinálását követően - hisztomorfometriai vizsgálattal lehet meghatározni. A BIC a közvetlen csont - implantátum kapcsolat arányszáma. A klinikai gyakorlatban nem lehetséges a csontintegráció közvetlen mérése, elsősorban indirekt jelekből következtethetünk az osseointegráció mértékére vagy hiányára [65]. A csont - implantátum kapcsolatot, az implantátum felülete mellett, meghatározza az implantátum hossza, átmérője, és az implantátum oldalai által bezárt szög (kúposága) [66].

Az 1960-as évektől kezdve esztergált felszínű, azaz minimálisan érdes felszínű titán implantátumokat használtak, ahol egy viszonylag gyengébb, egyenetlen csont-implantátum kapcsolat alakult ki az integrációt követően [14]. Ez a kapcsolat tengelytől eltérő terhelés esetén korlátozott ellenállást eredményezett a feszítőerőkkel szemben. Ezáltal, protetikai terhelés hatására, a kapcsolat könnyebben megszakadhatott. Vélhetően ezt igyekeztek ellensúlyozni a hosszabb implantátumok használatával, amelyek nagyobb felületet biztosítanak a csonttal való érintkezéshez. Azonban a felületkezelési eljárások fejlődésének köszönhetően, az implantátum - csont kapcsolat és ezzel együtt a BIC jelentősen megnőtt [15].

Albrektsson [67] egyik vizsgálatában 700, különböző felületű implantátum BIC értékét elemezte. Az implantátumokat eltérő indokkal távolították el a beültetést követően legkorábban 6 hónappal, legkésőbb 20 évvel később. Az átlagos BIC érték körülbelül 60% volt. A maxillába helyezett implantátumok BIC értéke <50%, a mandibulába ültetett implantátumok BIC értéke <75% volt. Egyes *in vivo* vizsgálatok szerint a titán plazmával kezelt implantátum felülettel (Titanium Plasma Sprayed - TPS) körülbelül 46%-os BIC érték, SLA felszín esetén körülbelül 76%-os BIC érték érhető el [68]. Más szerzők szerint SLA felszín esetén a BIC érték akár a 80%-ot is elérheti [69, 70]. A nanostrukturált implantátumokkal az implantációt követő 4., illetve 6. héten nagyobb BIC érték érhető el, mint SLA felszínnel [71]. SLA esetén a 4. héten 18.5%, a 6. héten 33.7% BIC-t mértek.

Nanostruktúrált felszínnel a 4. héten 22.4%, a 6. héten 38.6% BIC értéket mértek (10. ábra).



10. ábra. (a) Esztergált felszínű és (b) nanostruktúrált felszínű implantátumok fénymikroszkópos képe 4 (1. kép), illetve 6 hét (2. kép) után [71]

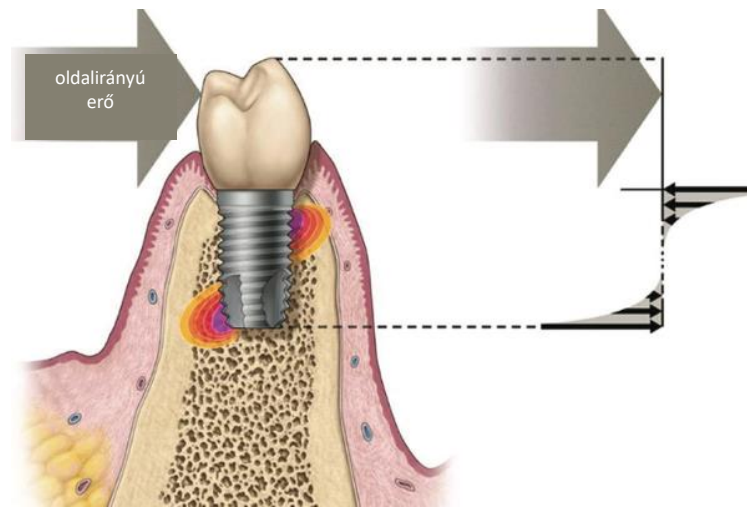
A kutatások előrehaladtával, a felszínek folyamatos fejlődésével a csont - implantátum kapcsolat jelentősen nőtt az esztergált felszínű implantátumokhoz képest, ezért nem szükséges a gyengébb csont - implantátum kapcsolatot az implantátum méretének növelésével kompenzálni. Felmerül a kérdés, vajon a felszínt módosító eljárások fejlődésével az implantátumok makroszkópos mérete tovább csökkenhet-e, vagy a biomechanikai tulajdonságok ennek gátat szabnak?

2.2.2. A rövid implantátumok biomechanikai tulajdonságai

Az implantátumok sikerességének egyik alapfeltétele az optimális erőátvitel a protetikai felépítményről a környező csontszövetre. Az implantátum a függőleges tengelytől eltérő, oldalirányú erőkkel szemben a legkevésbé ellenálló, ezért fontos, hogy minimalizáljuk ezeket a nyíróerőket (11. ábra).

A fogkorona - foggyökér arány (crown/root ratio – C/R) kulcsfontosságú szerepe régóta elfogadott hagyományos rögzített fogpótlások készítése esetében. A fogakra készített, rögzített fogpótlásoknál fokozott kockázati tényezőként tartjuk számon az 1:1-nél nagyobb fogkorona/foggyökér arányt, és ez a nézet az implantátumokon elhorgonyzott rögzített fogpótlások esetében is elterjedt. A magas C/I arány megnöveli az erőkar hosszát

(az implantátum nyakához mérve), és ezáltal növeli a fogpótlás túlterhelésének kockázatát, amely egyrészt marginális csontvesztést, másrészt protetikai szövődményeket okozhat. A klinikusok sokszor azért választják a vertikális csontaugmentációs beavatkozásokat, hogy hosszabb implantátumot tudjanak beültetni, így csökkentve a majdani C/I arányt. Ugyanakkor számos tanulmány alapján a magas C/I arány önmagában nem okoz klinikailag szignifikáns MBL-t [72–74].



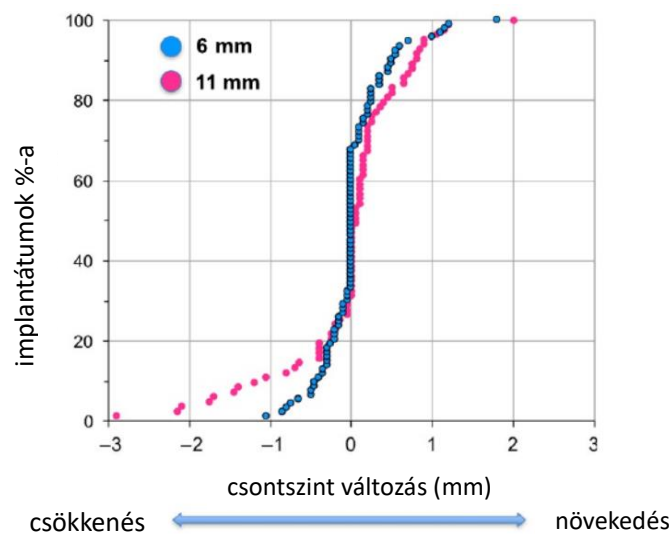
11. ábra. Rágás közben az implantátumot különböző irányú erők érik. A csavar implantátumok alacsony ellenállással rendelkeznek a tengelyen kívüli erőkkel szemben, ezért elmozdul az erővektor hatására, ami elsősorban a kompressziós csontterhelést eredményez az implantátum melletti keresztális csontban, és az átlósan ellentétes oldalon lévő apikális csontharmadban [75]

Garaicoa-Pazmiño és mtsai. [76] megállapították, hogy amennyiben C/I arány 0,6 : 1 és 2,36 : 1 között van, akkor nem kell magasabb MBL veszteségre számítani. Egyes tanulmányok szerint a rövid implantátumon elhorgonyzott fogpótlások esetén a magas C/I arányok, ahelyett, hogy MBL-hez vezetnének, védőhatást jelenthetnek az implantátum körüli marginális csontszintre. Szignifikánsan nagyobb csontsűrűséget mutattak ki a rövid (6 mm), közepesen durva felületű implantátumok körül, mint a hasonló, de hosszabb (10 mm) implantátumok esetében, ami arra utal, hogy a csont kedvezően reagál a megnövekedett feszültségekre [77]. *Zadeh és mtsai.* [78] rövid és standard méretű implantátumokat hasonlítottak össze. Eredményeiket az 1. táblázat

foglalja össze. Értékelték a C/I arányt, a protetikai szövődményeket és az MBL-t. Mindkét csoportban közel azonos MBL értékeket és magas túlélési arányt figyeltek meg a 3 éves vizsgálat során. Az MBL változását az 12. ábra mutatja be.

1. táblázat: Zadeh és mtsai. eredményeinek összefoglaló táblázata [78]

implantátum méret (átmérő x hossz mm-ben)	4x6	4x11
implantátum szám	108	101
implantátum vesztes	4	1
C/I arány	1,78	0,93
Protetikai szövődmény: csavar kilazulás	3	7
Protetikai szövődmény: csavartörés	3	0
Felépítménytörés	5	2



12. ábra. Zadeh és mtsai. vizsgálatában a rövid és standard implantátumok MBL változásai [78]

Egyes vizsgálatok szerint még a fokozott rágóerőknek kitett mandibula moláris régiójába helyezett implantátumok esetében sem vezet a 2 - 3 C/I arány jelentős MBL-hez [79, 80]. Jelentős protetikai szövődményekre nem kell számítani, amennyiben az okklúziós felszíneket megfelelően alakítják ki és nincsenek parafunkciós mozgások [81]. Azonban fontos mérlegelni a rövid implantátumok számának megválasztását, és az implantátumok

összesínezését, amikor erre lehetőség van. Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy a C/I aránynak lehetnek felső határértékei, amely felett a protetikai és biológiai problémák aránya növekedhet. Egyes szerzők azt javasolták, hogy az implantátum átmérőjének növelésével kompenzáljuk a hosszcsökkenést [82, 83]. Más szerzők szerint azonban, ha az osseointegrációt elértük, úgy tűnik, hogy az implantátum átmérőjének szerepe nem befolyásolja jelentősen az implantátumok hosszú távú túlélését [84]. Egyes szerzők szerint a maxilla moláris régiójában alacsonyabb a rövid implantátumok sikerességi aránya, illetve nagyobb MBL értékeket mértek ([85–87]. *Deporter és mtsai.* szerint főleg a gyulladás nélküli MBL fordul elő a maxilla poszterior régiójában, ami a biomechanikai túlterhelése utal [87].

Tehát jelenleg a rövid implantátumok sikeressége szempontjából a felső állcsont moláris régiójában történt implantáció a legkritikusabb. Vélhetően a gyengébb csontminőségből adódó alacsonyabb implantátum - csont kapcsolat miatt, illetve a magasabb C/I arányból adódó erők itt fejtik ki leginkább a hatásukat.

2.2.3. A rövid implantátumok sikerességi aránya

Az első enosseális implantátum beültetése óta több, mint 50 év telt el. Ugyanakkor a mai napig sok a bizonytalanság azzal kapcsolatban, hogy milyen az implantátumok optimális formája és mérete. Annak ellenére igaz ez a megállapítás, hogy számtalan releváns tudományos anyagot publikáltak a témában. A rövid implantátumok” rossz híre” - nagyrészt - az eredeti *Brånemark*-típusú implantátumok eredményein alapuló szakirodalomban jelentek meg. A szerzők arról számoltak be, hogy a rövid (≤ 10 mm) implantátumok sikertelenségi aránya magasabb, mint a hosszabbaké [88, 89]. A 90-es évek elején kockázati tényezőnek tekintették az implantáció sikeressége szempontjából, amennyiben a mandibulába 10 mm-nél, a maxillába 13 mm-nél rövidebb implantátum behelyezése történt [3]. Még a 2000-es évek elején is számos publikációban leírták, hogy a rövid implantátumok (≤ 10 mm) kevésbé sikeresek a standard hosszúságú implantátumokhoz képest [4, 5]. Ahogy az 1.1 fejezetben tárgyalt „klasszikus” osseointegráció feltételeiként leírt tényezők változtak, fejlődtek, úgy jelentek meg a rövid implantátumok sikerességéről is a beszámolók. *Telleman és mtsai.* [85] 2011-ben publikált irodalmi áttekintésében 2.611 darab 5 - 9,5 mm hosszúságú implantátum adatait elemezték. Igen magas túlélési arányokról számoltak be, ugyanakkor az implantátum

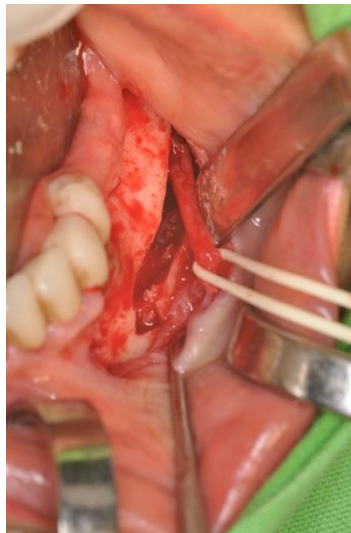
hosszának növekedése az implantátum túlélési arányának növekedésével járt (93,1%-ról 98,6%-ra). A maxillában több volt a sikertelenség, mint a mandibulában. 2013-ban *Lai és mtsai.* [86] 5 - 10 éves (átlag: 7,2 év) retrospektív 6 - 8 mm hosszú Straumann TL implantátumok eredményeiről számoltak be, amelyeket a maxilla és a mandibula moláris régiójába helyeztek, és szóló koronákkal látták el őket. Az implantátumok többsége (86%) 8 mm hosszú volt. A teljes túlélési arány 98,3% volt, és nem volt mérhető összefüggés az implantátum átmérőjével (4,1 és 4,8 mm) összefüggésben. A sikeresség IV. típusú csont esetén alacsonyabb volt (94%). Az átlagos MBL $0,63 \pm 0,68$ mm és a fogpótlások túlélési aránya 95,2% volt, de az esetek 12,6%-ban előfordultak protetikai hibák. *Lemos és mtsai.* [90] 2016-ban publikált eredményei alapján nem találtak különbséget a túlélési arány, MBL és protetikai szövődmények tekintetében a 8 mm-nél nagyobb, vagy 8 mm-nél kisebb implantátumok között, de véleményük szerint 8 mm-es implantátumhossz alatt növekszik a sikertelenség kockázata. 2018-ban *Deporter és mtsai.* [63] 1.331 darab, 6 - 8 mm-es TL implantátum eredményeiről számoltak be. Véleményük szerint úgy tűnik, a 8 mm-es implantátumokkal hasonló eredmények érhetőek el, mint a nagyobb hosszúságú implantátumokkal, amennyiben jó minőségű csontba helyezik be őket. A 6 mm-es TL-implantátumok eredményei azonban nem ilyen jók. Az abszolút és kumulatív túlélési arány 88,9%, illetve 88,6%. Leggyakrabban az implantátum körüli gyulladásos jelek nélküli sikertelenségről számoltak be, ami az okklúziós túlterhelésre utal.

A fentiek jól példázzák, hogy a rövid implantátumok iránti érdeklődés folyamatos. Az implantológia fejlődésével a rövid implantátum fogalma is folyamatosan változik. A fogalmakban meghatározott értékek alsó határa egyre alacsonyabbra kerül. Azonban általános probléma, hogy az egyes publikációk a sikeresség paramétereit különbözőképpen értékelik, sokszor csak az átlagos MBL-t publikálják. Nem teszik közzé külön a meziális, és külön a disztális oldalon mért MBL-t, így az eredmények akár pozitív, akár negatív irányba torzulhatnak. A szondázási mélységet (probing depth - PD) gyakran nem mérik, vagy nem számolnak be róla. A PD véleményünk szerint fontos klinikai paramétere az implantátumnak, és a sikerességet sokszor az MBL-el és PD-el együtt lehet csak objektíven értékelni. A szerzők egy része nem számol be a protetikai szövődményekről. Az implantáció sikerességét számos tényező befolyásolja, amelyek mindegyikét szinte lehetetlen egy-egy vizsgálatban figyelembe venni. Ezért több

vizsgálatra van szükség, hogy átfogó képet kapjunk és evidenciákat tudjuk megállapítani a rövid implantátumok sikerességével kapcsolatban.

2.3. Rövid implantátumok alkalmazásának előnyei és kihívásai

A rövid implantátumok használatának számos előnye lehet a standard méretű implantátumokkal összehasonlítva. A standard méretű implantátumok sokszor csak a vertikális csontdimenzió relatív, vagy abszolút növelését követően helyezhetőek be. Az alsó állcsonton ilyen beavatkozás a nervus alveolaris inferior transzpozíciója (13. ábra), a disztrakciós oszteogenezis, vagy a különböző csontaugmentációs eljárások.



13. ábra. A nervus alveolaris inferior transzpozíciója (Dr. Bogdán Sándor képanyagából)

A felső állcsonton a zárt, vagy nyitott sinus lift segítségével tudjuk növelni a vertikális térfogatot. Az említett beavatkozások közül jónéhány eredménye kérdéses és komoly szövődmény-veszélyeket rejtenek magukban. Sokszor bonyolult, az orvostól nagy tapasztalatot igénylő műtétek, melyek kezelési és/vagy gyógyulási ideje elhúzódó, a beteg számára megterhelő és költséges. Ugyanakkor számos olyan problémával kellett, és kell ma is számolni, amelyeket meg kell oldani ahhoz, hogy a rövid implantátumokkal előrelátható sikereket érjünk el. Ilyen például a megfelelő sebészi és protetikai tervezés.

2.3.1. Rövid implantátumok alkalmazásával elkerülhető beavatkozások

A felső állcsont moláris régiója kihívást jelenthet a standard méretű implantátum beültetése szempontjából. Sokszor nem kielégítő a csont mennyisége és minősége. Korlátozott a műtési terület láthatósága, és sokszor szűk az intermaxillaris térköz. A pneumatizáció miatt gyakran kiterjedt a sinus maxillaris. *Kopecka és mtsai.* [91] publikációja alapján, annak esélye, hogy a vertikális csontkínálat ≤ 5 mm, a második premoláris területén 31,6%, az első moláris területén 73,1%, a második moláris területén 54,2%. A sinus elevációs műtéteket igen gyakran alkalmazzuk a maxilla vertikális dimenziójának növelésére. A műtét során esetek 20 - 44%-ában fordul elő a sinus membrán perforációja [92] (14. ábra), amely késleltetheti vagy meg is megghiúsíthatja a csontpótlást. Egyes anatómiai tényezők, mint például a gingiva vastagsága, illetve az arcüreg mediális és laterális fala által bezárt szög előre vetítheti a sinus membrán szakadásának kockázatát [93, 94]. A sinus maxillaris falában futó érkepletek vérzéses szövődeményeket okozhatnak.

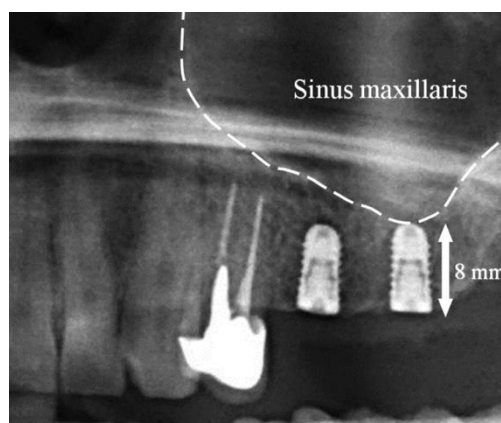
Rövid implantátumok alkalmazásával a sinuslift műtétek, és az ezzel járó szövődemények sokszor elkerülhetőek (15. ábra). A rövid implantátumok alkalmazása becslések szerint, a sinusliftet követő standard méretű implantátumok kezelési költségének a felével egyenlő. A rövid implantátum beültetéshez szükséges műtési idő is sokszor lényegesen rövidebb, ami mind az orvos, mind a páciens számára előnyös. Ráadásul az általános sebészet területén végzett tanulmányok kimutatták, hogy az összetettebb eljárások nagyobb valószínűséggel okoznak emberi mulasztásból származó szövődeményeket [95].



14. ábra. Nyitott sinus lift műtét közben bekövetkezett membrán perforáció [96]

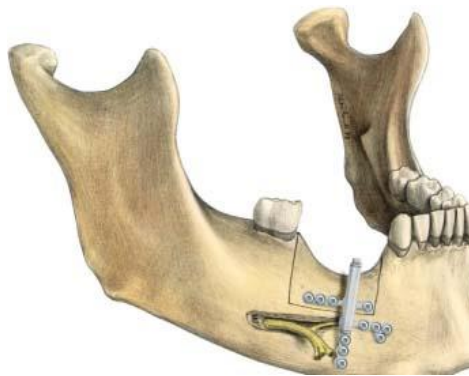
A nyitott sinuslifttel egyidőben végzett implantáció a műtétet végző orvosban elég jelentős feszültségszintet hozhat létre ahhoz, hogy kevésbé tudjon koncentrálni az implantátum helyes pozíciójára, amely az implantátum behelyezése szempontjából az egyik legfontosabb tényező. Minél nagyobb a stressz szintje, annál nehezebb hosszú ideig arra összpontosítani, ami igazán fontos [97, 98]. *Thoma és mtsai.* [9] által végzett vizsgálat alapján a rövid implantátum alkalmazása (tesztcsoport) esetén a műtéti idő átlagosan 52,6 perc (15 - 165 perc), sinus lifttel egyidőben végzett implantáció esetén (kontrollcsoport) 74,6 perc (20 - 210 perc). Műtéti szövődmény kétszer olyan gyakran fordult elő a kontroll-, mint a tesztcsoportban. A kontroll csoport átlagos műtéti költsége 1.944 euró, ezzel szemben a tesztcsoport átlagos műtéti költsége 941 euró volt. Egyes vizsgálatok szerint a sinus lifttel növelt csontba helyezett implantátumok 17%-ánál fordul elő implantátum vesztes az első 3 évben [99]. *Phol és mtsai.* [100] sinus liftet követő standard hosszúságú implantátumok, és a csontpótlás nélkül behelyezett rövid implantátumok eredményeit hasonlította össze egy 3 éves prospektív vizsgálatban. A rövid implantátumoknál $0,44 \pm 0,56$ mm, a standard implantátumoknál $0,43 \pm 0,58$ mm volt az MBL. A szondázási mélység a rövid implantátumoknál $2,8 \pm 0,9$ mm, míg a standard implantátumok esetében $3,0 \pm 0,76$ mm volt.

Amennyiben a felső állcsonton a vertikális csontkínálat 5 mm, felvetődhet a rövid implantátumok transzkresztális sinuselevációval történő behelyezése. Ennek feltétele a páciensek gondos kiválasztása (lehetőleg nemdohányzók), a megfelelő oro-vesztibuláris gerincszélesség, a jó primer stabilitás, és a megfelelő gyógyulási idő [63].

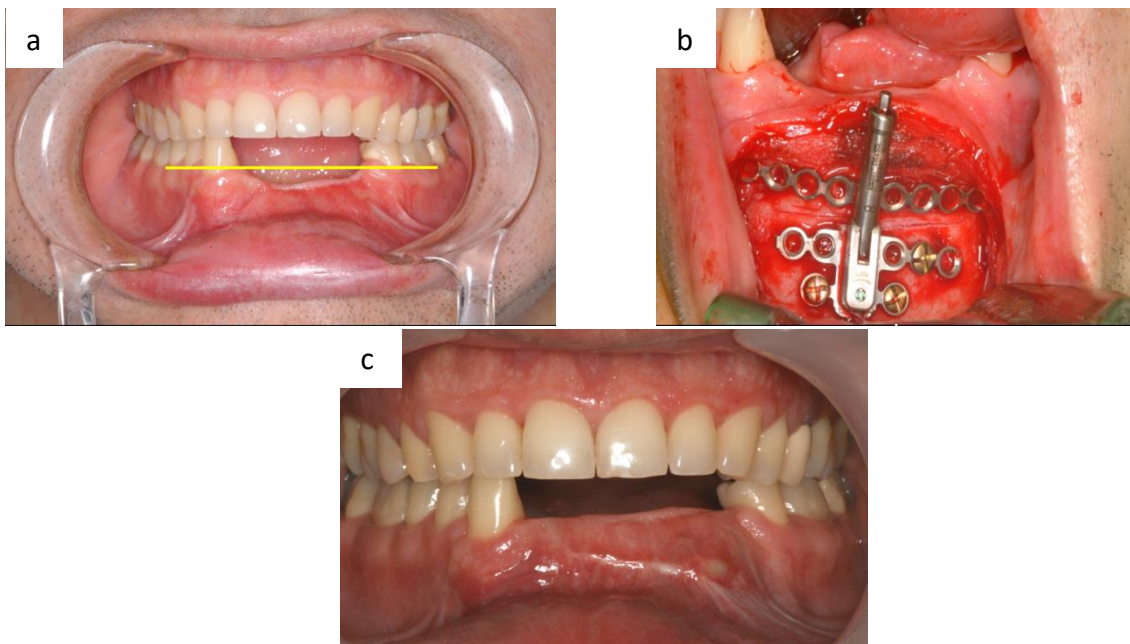


15. ábra: A rövid implantátum használatával elkerült sinuslift röntgenképen történő ábrázolása [31]

Az alsó állcsonton alkalmazott disztrakciós oszteogenezis - melyet a *16. és 17. ábra* szemléltet - sikeres végrehajtása esetén mind a csont, mind a lágyszövetek szükséges vertikális növekedését érhetjük el. Irodalmi adatok alapján a várható csontmagasság növekedés 5 - 15 mm között van [101]. Alkalmazása során a páciens szoros együttműködésére, rendszeres kontrolljára van szükség. A technikai költségek magasak. A komplikációk 10 - 76%-ban fordulnak elő [102, 103]. Lehetséges szövődmény a disztraktor elmozdulása, az új csont reszorpciója, a disztraktor vagy a csont fraktúrája, lokális gyulladás, valamint az állandó hipesztézia és a csontminőségéből fakadó implantátum veszteség. Gyakran, a beavatkozás ellenére, másodlagos csontpótlás válik szükségessé [104]. A mandibula moláris területén a szájfenék izmai állandó erős húzó hatást fejtenek ki, és egyéb, funkcionális zavarok veszélyeztethetik a végeredményt.



16. ábra: Disztraktor felhelyezésének sematikus ábrája az alsó állcsonton [105]



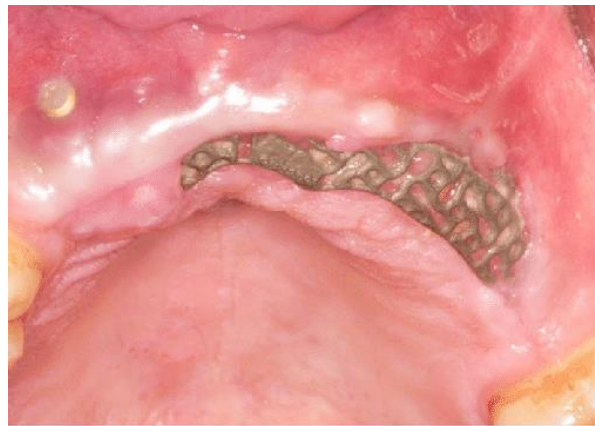
17. ábra: Disztraktor alkalmazása a vertikálisan sorvadt alsó állcsont frontális régiójában. Kiindulási állapot (a). Intraoperatív szituáció a disztraktor felhelyezésekor (b). A disztrakció klinikai eredménye (c). (Dr. Bogdán Sándor képanyagából)

Saját csontblokk áthelyezéssel teljes oszteogenezis érhető el, amely lehetővé teszi a sorvadt processus alveolaris helyreállítását mind a vertikális, mind a horizontális dimenzióban. Az autogén csontblokk graft behelyezéséhez donorhelyre van szükség, ami jelentős morbiditást okozhat [106], ezenkívül a graft jelentős felszívódására lehet számítani [107]. Körülbelül 3,5 mm-es csontmagasság növekedés érhető el és a komplikációk az esetek negyedében fordulnak elő [103]. A csontgraft feletti, feszülésmentes zárás sokszor nehezített, ennek hiányában a nyálkahártya fenesztrálódhat (18. ábra), amely a műtét sikertelenségéhez vezet.

Irányított csontregenerációs (Guided Bone Regeneration - GBR) technikát is alkalmazhatunk akár a vertikális, akár a horizontális csonthiány pótlására. Körülbelül 4 mm-es csontmagasság növekedést lehet elérni a GBR-rel, a komplikációk esélye pedig 12% [103]. A GBR technika szövődményei általában a membrán expozícióval és a graft felülfertőződésével járnak (19. ábra), melynek leggyakoribb oka a nem feszülésmentes lágyrészzárás [108]. Jelentősebb morbiditással, szövődményekkel, hosszú rehabilitációs időszakokkal és magas költséggel járnak.



18.ábra. Csontblokk áthelyezést követően a nyálkahártya fenesztrálódott [109]



19. ábra. GBR-t követő membrán expozíció [110]

A rövid implantátumok alkalmazásával a mandibula neurovaszkuláris károsodásának kockázata kisebb, a posztoperatív időszak könnyebb és gyorsabb, rövidebb a kezelési idő és költségeket tekintve előnyösebb eljárások. Mindezek az előnyök különösen fontosak a geriátriai betegek számára, akik gyakran komoly egészségügyi problémákkal küzdenek. A döntést, hogy egy adott betegnél melyik megközelítést választjuk, mindig releváns, tudományos bizonyítékoknak kell vezérelnie és alátámasztania. Befolyásoló tényező a klinikus tapasztalata és készségei, valamint a páciens preferenciái, egészségügyi állapota és anyagi forrásai. Nyilvánvaló, hogy a rövid fogászati implantátumok használata a páciens és az orvos számára egyaránt előnyben részesített megközelítés lenne, ha ehhez minden feltétel adott. Ugyanakkor, mint minden implantációs sebészeti eljárás, a rövid implantátumok alkalmazása is kihívást jelent, és a sebész tapasztalatától is függ.

2.3.2. A rövid implantátumok alkalmazásának kihívásai

A rövid implantátumok alkalmazásának előnyei egyértelműek mind az orvos, mind a beteg szempontjából. Azonban a rövid implantátumok előnyeit pont azoknál a foghiányoknál tudjuk, vagy tudnánk legjobban kihasználni, ahol a legösszetettebb szituációkkal találkozunk. Ezek az alsó és felső állcsont premoláris/moláris foghiányainak rögzített fogpótlással történő megoldásai. Ezeken a területeken a standard méretű implantátumok - csontpótlás nélküli - beültetéséhez gyakran kevés a vertikális csontmagasság az anatómia képletekhez képest. A premoláris/moláris területeken érvényesülnek a legnagyobb rágóerők. A rossz szokásokból (pl. bruxizmus) eredő hatások itt érik legjobban az implantátumokat. Ezen a területen legkisebb az intermaxilláris távolság. Az implantáció szempontjából általában a felső állcsont moláris régiójában a legrosszabb a csontminőség. Tehát sokszor a standard méretű implantátumokat nem tudjuk beültetni ezekre a helyekre, illetve a standard méretű implantátumok esetén is kérdéses annak hosszú távú sikeressége. Az említett nehézségek a rövid implantátumok esetén is fennállnak, azonban a csökkentett vertikális csontkínálat mellett is sokszor behelyezhetőek, bonyolult csontaugmentációs eljárások nélkül. Rövid implantátum alkalmazásakor kérdésként merülhet fel, hogy a moláris régióban, ahol az implantátum a legnagyobb rágóerő terhelésnek van kitéve, és magas lehet a C/I arány, ott milyen eredmények várhatóak. Ahogy a 2.1.2. fejezetben ismertettem, a magas C/I arány önmagában nem feltétlenül okoz problémát. Azonban egyes vizsgálatok szerint a rövid implantátumok esetében, a felső állcsont moláris régiójában, gyakrabban fordul elő az implantáció sikertelensége, mint az alsó állcsont ugyanezen régiójában. Egyes vizsgálatok szerint a legtöbb rövid implantátum sikertelenség is a maxilla moláris régiójában történik [63]. Ez vélhetően az alacsonyabb csontsűrűség következménye. A nagyobb csontsűrűség csökkenti az implantátumok körüli stresszkoncentrációt és javítja a csont - implantátum határfelület mechanikai tulajdonságait. A maxilla moláris régiójában, szóló foghiányok esetében, további kockázatot jelenthet, ha a disztálisan nincs szomszédos, természetes fog [63]. Ennek hátterében a rosszabb csontminőség, a nehezebben elérhető, jó behajtási nyomaték és vélhetően az alacsonyabb csont - implantátum kapcsolat állhat. *Tabrizi és mtsai.* [111] megállapítása szerint az összesínezett implantátumok számának növekedésével a keresztális csontvesztés csökken. Több, összehasonlító vizsgálat irányult a mandibula poszterior régióba helyezett rövid

implantátumokra [112, 113]. Az egyik vizsgálati csoportban csontpótlást követően, standard hosszúságú implantátumokat, míg a másik csoportban csontpótlás nélkül, rövid implantátumokat helyeztek be. A két vizsgált csoportban nem találtak szignifikáns különbséget az implantátumok sikeressége szempontjából, viszont több komplikációt írtak le a csontpótlással összefüggésben.

A rövid implantátumokat amennyire lehetséges, javasolt sínnel összekötni, így csökkentve a csontban keletkező feszültséget. A sínezés különösen ajánlott, ha az C/I arány 1 : 1-nél nagyobb. *Mendonça és mtsai.* [114] vizsgálatában tízszer gyakrabban fordult elő implantátum veszteség azoknál a férfiaknál, akiknél a szomszédos, rövid implantátumokat nem sínezték össze. Javasolt továbbá az okkluzális felszín csökkentése, a csücskök dőlésszögének csökkentése, a tengelyen kívüli terhelés minimalizálása, és a szabad végek kerülése [114]. Ugyanakkor a sínnel összekötött implantátumok esetén olyan kontúrokat kell kialakítani, amelyek lehetővé teszik a megfelelő otthoni ápolást, így elkerülve a plakk felhalmozódásból eredő szövődményeket [115]. A moláris, szoló foghiányok pótlása rövid implantátummal az érdeklődés középpontjában áll, azonban jellemzően csak rövid távú eredmények érhetőek el az irodalomban, és a vizsgálatok anyag és módszerei eltérőek. *Rossi és mtsai.* [116] által publikált 5 éves, prospektív vizsgálatban az egy foghiány helyére ültetett rövid (6 mm) implantátumok túlélési aránya 86,7%, szemben a standard méretű implantátumoknál mért 96,7%-kal. *Lai és mtsai.* [86] 6 - 8 mm-es implantátumok eredményeit közölték 5 - 10 éves után követéssel, melyeket moláris régióba helyeztek. A sikerességi arányuk 98% volt. Egyes szerzők szerint, a szoló rövid implantátumoknál nagyobb eséllyel fordulhat elő a protetikai fejet rögzítő csavar meglazulása [86]. Azonban a szerzők nagyrésze nem vizsgálja, illetve nem számol be a protetikai szövődményekről.

Rövid implantátumok esetén mind az egy-, mind a kétfázisú műtési technika választható, azonban alacsonyabb primer stabilitás esetén jobb a kétfázisú műtési technikát alkalmazni. Ebben az esetben plusz műtési teherrel, és elhúzódóbb gyógyulással kell számolnunk. Jó primer stabilitás esetén azonban használható az egyfázisú műtési technika, így elkerülhető a második sebészeti beavatkozást, amely esetén fennáll a keresztális csontvesztés kockázata, főleg a mandibula moláris területén.

Régóta elfogadott megállapítás, hogy a dohányzás hatással van az implantátumok hosszú távú sikerességére. Az implantátum hosszától függetlenül, a maxilla poszterior régiója jelenti a dohányzás okozta implantátumvesztés legnagyobb kockázatát [117]. A

rövid implantátumok sikeressége szempontjából a maxilla ezen régiója dohányzás nélkül is rizikót jelent a gyengébb csontsűrűség miatt. Ezért különösen fontos, hogy a páciens ne legyen dohányos, ha a maxilla moláris területére tervezzük az implantációt. A dohányzó betegeknél, illetve a súlyos parodontitisben szenvedő pácienseknél az implantátum körüli kresztális csontvesztés elegendő lehet ahhoz, hogy az negatív biomechanikai hatást gyakoroljon a rövid implantátumokra [118]. Amennyiben a páciensnek parodontitise van és az implantátum behelyezése után továbbra is dohányzik, akár 2,4-szer nagyobb csontvesztése lehet az implantátum körül, a parodontálisan egészséges nemdohányzó páciensekhez viszonyítva [119]. Ekkora csontmennyiség elvesztése egy rövid implantátum körül vélhetően befolyásolja a hosszú távú eredményeket.

A rövid implantátumok előnyeit és alkalmazásuk nehézségeit a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: A rövid implantátumok alkalmazásának előnyei és nehézségei [42]

Előnyök	Hátrányok
kevesebb sebészeti beavatkozás: kisebb morbiditás, könnyebb posztoperatív időszak	primer stabilitás kihívást jelenthet
kevesebb anyag: kevesebb költség	IV. típusú csont nagyobb kockázat
rövidebb műtéti idő: kevesebb stressz, kisebb szövetkárosodás, alacsonyabb költség	sokszor javasolt a kétfázisos műtéti technika
kevesebb preoperatív és posztoperatív szövődmény	protetikai szövődmény gyakoribb
kisebb a szomszédos foggyökerek károsodásának kockázata	több vizsgálatra van szükség, főleg ultrarövid és szőlőkoronával ellátott rövid implantátumok esetén
nagyobb a valószínűsége az implantátum optimális behelyezésének	

2.4. A bevezetés összegzése

Összefoglalásaként elmondható, hogy a rövid implantátumok alkalmazása folyamatosan az érdeklődés középpontjában áll. Ennek oka, hogy használatuk mind a páciens, mind az orvos szempontjából számos előnnyel járhat. Azonban az évtizedeken keresztül publikált, sikertelen eredményekről beszámoló közlemények hatására a klinikusok a mai napig fenntartásokkal kezelik a témát. Ugyanakkor az összeintegrációt befolyásoló, „klasszikus” tényezőkben bekövetkező változások mind a standard, mind a rövid implantátumok alkalmazását kiszámíthatóbbá tette. Ma már tudjuk, hogy a természetes fogakra igaz C/R arány szabályait nem lehet egy az egyben átültetni az implantációs protetikára. A klinikusok bizonytalansága érthető, hiszen a szakirodalomban megjelenő klinikai vizsgálatok rendkívül inhomogének, az eredmények nem összehasonlíthatóak. Más és más az alkalmazott implantátumok mérete, átmérője, a megfigyelési periódusok hossza, az implantátumokon elhorgonyzott fogpótlások típusa és a mérési módszerek. Még a szakmai társaságoknál sem azonos a rövid implantátumok fogalma. A jelenlegi szakirodalom alapján a 6 - 8 milliméteres implantátumok, és a rajtuk elhorgonyzott rögzített fogpótlások alkalmazásával kapcsolatban a legnagyobb a bizonytalanság, főleg a moláris régióban. A klinikai vizsgálatok egységesítése szinte lehetetlen, ezért úgy gondolom, hogy minél több, hosszú távú vizsgálat eredményére van szükség, hogy teljes képet kaphassunk a témában és megtaláljuk azt a minimális implantátum méretet, amely még kiszámíthatóan és biztonságosan alkalmazható az adott klinikai körülmény figyelembevételével.

3. Célkitűzés

Munkánk célja a Semmelweis Egyetem Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinikán behelyezett rövid (≤ 8 mm) implantátumok sikerességének retrospektív vizsgálata, illetve a kapott eredmények összehasonlítása saját kontrollcsoporttal (≥ 8 mm). További célunk a kapott eredmények összehasonlítása a nemzetközi irodalomban fellelhető adatokkal. Tekintve, hogy az irodalomban található vizsgálatok módszerei rendkívül különbözőek, szükségesnek tartjuk a meglévő irodalom bővítését ahhoz, hogy megtaláljuk azt a határt, amely felett a rövid implantátumok még biztonságosan, illetve amely alatt már csak kompromisszumokkal használhatóak. Munkánkkal szeretnénk hozzájárulni ahhoz, hogy a nemzetközi szervezetek a rövid implantátumok fogalmát egységesíteni tudják, és ajánlásokat tudjanak megfogalmazni a témával kapcsolatban

Cél:

1. Rövid implantátumok (tesztcsoport) klinikai és radiológiai vizsgálata: MBL, PD, BOP, SLPI mérése.
2. Standard méretű implantátumok (kontrollcsoport) klinikai és radiológiai vizsgálata: MBL, PD, BOP, SLPI mérése.
2. A rövid és standard méretű implantátumok klinikai és radiológiai vizsgálatokkal mért eredményeinek kiértékelése és összehasonlítása.
3. A rövid implantátumok eredményeinek összehasonlítása a nemzetközi irodalomban fellelhető eredményekkel.

4. Anyag és módszer

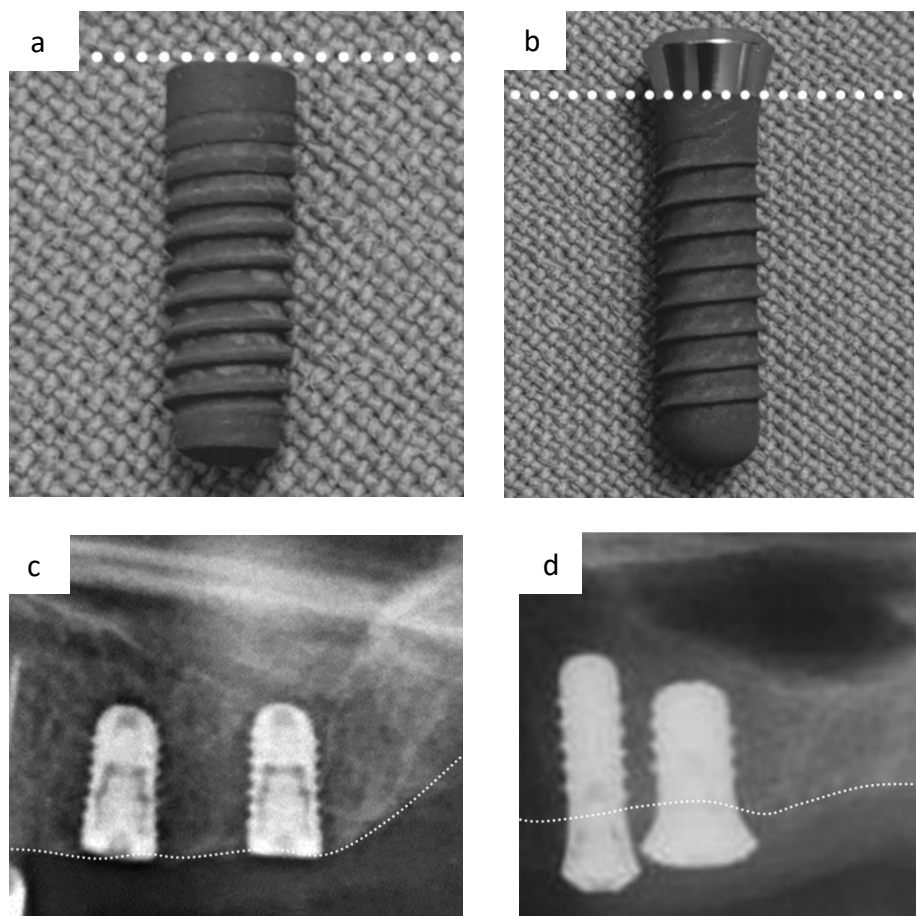
4.1. A vizsgálat felépítése

A vizsgálatunkba olyan pácienseket vontunk be, akiknél 2007 - 2016 között implantátum behelyezés történt a Semmelweis Egyetem Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinikáján. A vizsgálatba való bekerülés kritériumai voltak: nincs olyan általános betegség az anamnézisben, amely hátrányosan befolyásolná az implantáció hosszú távú sikerességét (például diabetes mellitus vagy immunszuppresszív állapot), nemdohányzó páciensek, jó szájhygiéné, a protetikai megterhelés óta legalább 6 hónap eltelt, a vizsgált implantátumon rögzített fogpótlást horgonyoztak el. A kizárási kritériumok a következők voltak: szisztémás szteroidok alkalmazása, antireszorptív terápia, az implantáció sikerességét befolyásoló általános betegség, okklúziós eltérések, bruxizmus, csontaugmentáció (implantációval egy időben, vagy az implantáció előtt), a vizsgált implantátumon kivehető fogpótlást horgonyoztak el. A vizsgálati protokollt az Országos Gyógyszerészeti és Élelmezés-egészségügyi Intézet hagyta jóvá (hivatkozási szám: 29164/2019). Az adatgyűjtés a páciensek tájékoztatásával és írásos beleegyezésével történt. A vizsgálatot teljes mértékben a 1975-ös [120], majd 2013-ban [121] felülvizsgált Helsinki Nyilatkozat alapján végeztük. A pácienseket két csoportra osztottuk: (i) ≤ 8 mm-es (rövid) implantátummal rendelkező páciensek (tesztcsoport), és (ii) > 8 mm hosszú (standard) implantátummal rendelkező páciensek (kontrollcsoport). A csoportosításnál az EDI legújabb irányelvei szerint besorolást vettük alapul [7]. Az implantátumokat mindkét vizsgált csoportban két tapasztalt dentoalveoláris szakorvos helyezte be. A műtéti protokoll a rendelkezésre álló dokumentációk alapján minden páciensnél közel azonos volt. Boríték vagy trianguláris lebenykészítést, majd, ahol lehetett, kétfázisú műtéti technikát alkalmaztunk. Az implantátumok behajtási nyomatéka 25 és 35 Ncm közé esett. Kétfázisú műtéti technikát követően, az implantátumokat a beültetés után 3 - 4 hónappal felszabadítottuk és megkezdődött a protetikai terhelés.

4.2. Adatgyűjtés

Az implantátumok radiológiai kiértékeléséhez „long-cone” intraorális röntgenfelvételeket készítettünk. A felvételen mértük az implantátumok meziális és disztális MBL-jét, és rögzítettük. Az MBL mérése BL implantátumok esetén az implantátum platformjától, TL implantátumok esetén a felületkezelt és polírozott

implantátum nyak határától történt (20. ábra). Értékeltük továbbá az alábbi klinikai vizsgálatok eredményeit: szondázási mélység (PD), implantátumonként hat ponton (meziobukkális, bukkális, disztobukkális, diszto-orális, orális, mezio-orális), Silness - Loe plakk index (SLPI), szondázási ínyvérzés (Bleeding on Probing - BOP). Rögzítésre kerültek továbbá: a foghiány típusa (részleges foghiány vagy szoló foghiány), a fogpótlás típusa (korona, hídpótlás) és a protetikai terhelés időpontja, illetve az azóta eltelt idő. A következő implantátum paramétereket rögzítettük: implantátum mérete, helyzete, átmérője, típusa, anyaga és felülete.



20. ábra. Bone level (a, c) és Tissue level (b, d) implantátumok radiológiai és klinikai képe. A fehér vonal jelzi a vizsgálatukban alkalmazott MBL szintjének viszonyítási határát [31]

4.3. Statisztikai elemzés

Az adatok kezdeti feldolgozása során kétlépéses módszert alkalmaztunk, melynek során első lépésként feltáró faktorelemzést [122], majd azt követően ellenőrző faktorelemzést végeztünk. Az elvégzett vizsgálatok alapján az alábbi független változókat vizsgáltuk:

- az implantátum típusa (BL vagy TL),
- BOP megfigyelése,
- SLPI értéke,
- foghiány típusa (szóló vagy részleges foghiány).

Ezeket a független változókat *Welch*-féle tesztel vizsgáltuk. Nullhipotézisként minden esetben feltételeztük, hogy a két minta között nincsen szignifikáns különbség. Amennyiben a p -érték 0,05 feletti, úgy a nullhipotézist elfogadottnak tekintjük. Ha a p -érték 0,05 vagy az alatti, úgy a különbséget szignifikánsnak tekintjük.

5. Eredmények

5.1. Demográfiai eredmények

A vizsgálatba 34 beteget vontunk be, akiknek korábban összesen 60 Straumann (Straumann Holding AG, Basel, Svájc) implantátumot helyeztünk be. A tesztszoportba 17 páciens 30 rövid implantátummal, míg a kontrollsoportba 17 páciens 30 standard méretű implantátummal vontunk be. Vizsgálatunkba azok, a beválogatási és kizárási kritériumoknak megfelelő páciensek kerültek be, akiknek a kontrollja a vizsgálati periódusban éppen esedékes volt. A betegek átlagéletkora $56,94 \pm 14,74$ év volt a tesztszoportban és $60,31 \pm 10,46$ év a kontrollsoportban. Az 3. táblázat a vizsgálat implantátumok jellemzőit mutatja a teszt-, és kontrollsoportokban. A 4. és 5. táblázat a rövid, valamint a standard méretű implantátumok állcsontok és fogcsoportok közötti eloszlását mutatja. A rövid implantátumok 53%-a a maxillába, 47%-a mandibulába került beültetésre. A standard méretű implantátumok esetében az implantátumok 40%-a a maxillába, 60%-a a mandibulába került beültetésre. Az Amerikai Aneszteziológiai Társaság (ASA) szerint az összes vizsgálatba bevont beteg I. csoportba sorolható [123]. A 6. táblázat az ASA besorolást mutatja.

3. táblázat. A vizsgálatban szereplő implantátumok jellemzői

	Rövid	Standard
Elhelyezkedés		
Front	2	4
Premoláris	17	9
Moláris	11	17
Átmérő		
3.3 mm	10	4
4.1 mm	18	26
4.8 mm	2	0
Hossz		
8 mm	30	0
10 mm	0	27
12 mm	0	3
Típus		
Bone level	17	16
Tissue level	13	14
Anyag		
Grade4Ti	26	30
TiZr	4	0
Felszín		
SLA	23	30
SLActive	7	0

4. táblázat. Rövid implantátumok állcsontok és fogcsoportok szerinti eloszlása

	maxilla	mandibula
front	0	2
premoláris	11	5
moláris	5	7

5. táblázat. Standard méretű implantátumok állcsontok és fogcsoportok szerinti eloszlása

	maxilla	mandibula
front	1	3
premoláris	5	4
moláris	6	11

6. táblázat. ASA klasszifikáció [122]

ASA klasszifikáció	Definíció
I. csoport	Egészséges páciens
II. csoport	Enyhe rendszerbetegség
III. csoport	Súlyos rendszerbetegség
IV. csoport	Súlyos rendszerbetegség állandó életveszéllyel
V. csoport	Moribund, a páciens műtét nélkül menthetetlen
VI. csoport	Izolált agyhalál

5.2. Protetikai terhelés óta eltelt idő és a klinikai vizsgálatok eredményei

A protetikai megterhelés óta eltelt idő átlagosan $39,33 \pm 21,96$ hónap volt a tesztcsoportban, és $41,6 \pm 27,5$ hónap a kontrollcsoportban. A protetikai terhelés óta eltelt minimális idő 9 hónap volt a tesztcsoportban és 20 hónap a kontrollcsoportban. A protetikai terhelés óta eltelt maximális idő 95 hónap volt a tesztcsoportban és 134 hónap a kontrollcsoportban. A tesztcsoportban a protetikai megterhelés óta eltelt idő az esetek 67%-ában volt több, mint 2 év, és az esetek 30%-ában pedig több, mint 5 év. A kontrollcsoportban a protetikai megterhelés óta eltelt idő az esetek 83,33%-ában haladta meg a 2 évet, és az esetek 13,3%-ában haladta meg az 5 évet. A 7. táblázat az esetek százalékos megoszlását mutatja protetikai megterhelés óta eltelt idő alapján. Az 21.a és 21.b ábrák a protetikai megterhelés óta eltelt időt szemlélteti a két vizsgált csoportban.

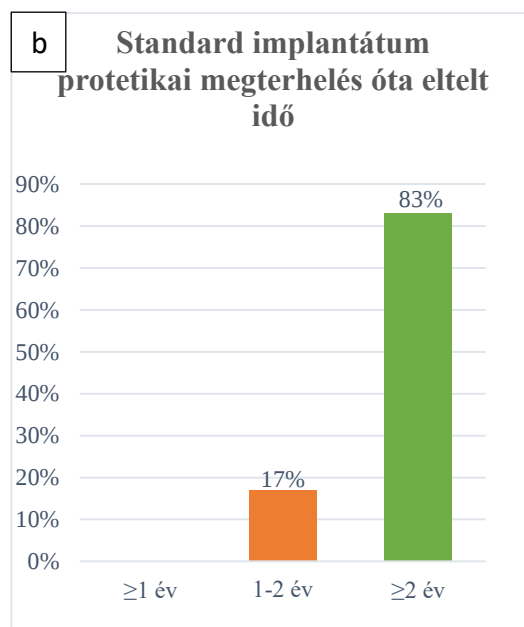
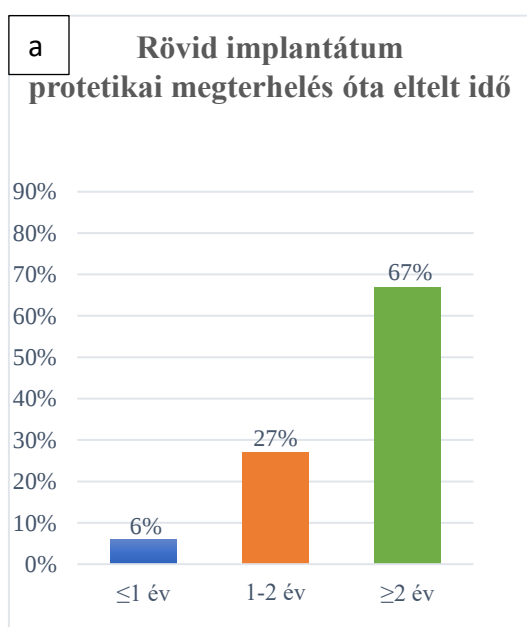
Mind a teszt-, mind a kontrollcsoportban a páciensek a behelyezett implantátumokon rögzített fogpótlást viseltek (szólókorona vagy hídpótlás). Egyik

betegcsoportban sem volt szükség tengelykorrekciós protetikai fejre. A felépítmény törését egyik csoportban sem regisztráltuk.

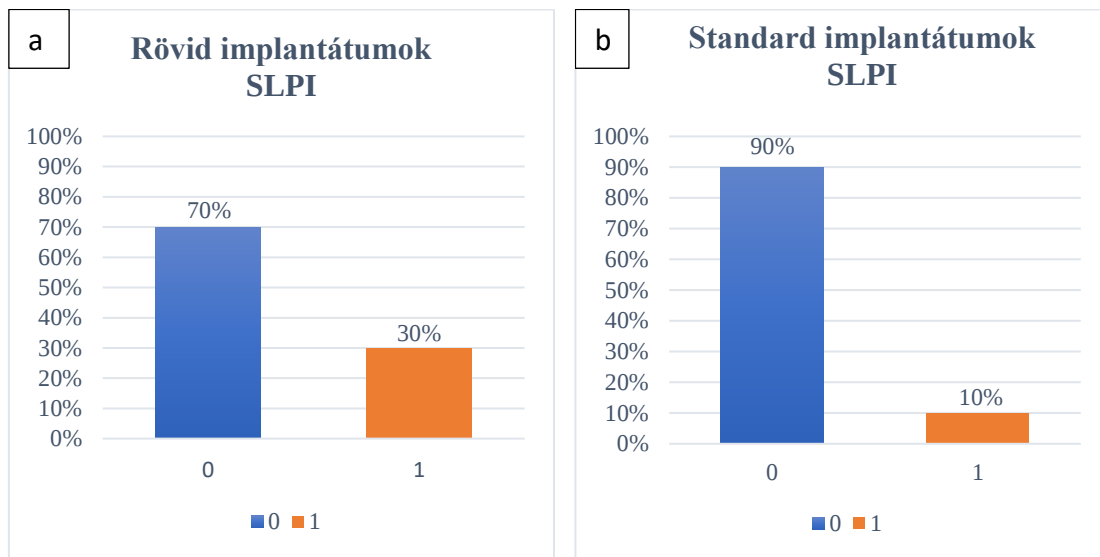
A Silness–Löe plakk index (SLPI) a tesztcsoportban a páciensek 70%-ánál 0, a betegek 30%-ánál 1 volt (22. a. ábra). Az SLPI a kontrollcsoportban betegek 90%-ánál 0, a kontrollcsoportban a páciensek 10%-ánál 1 volt (22.b. ábra). Elmondható, hogy az SLPI értékek alapján a páciensek általános szájhygiéniája jó volt. A BOP a teszt csoportban a páciensek 50%-ánál (23. a. ábra), a kontrollcsoportban a páciensek 30%-ánál volt pozitív (23. b. ábra). A 8. táblázat a teszt-, és a kontrollcsoportok összesített SLPI és BOP értékeit mutatja.

7. táblázat. Az esetek százalékos megoszlása a protetikai terhelés óta eltelt idő szerint

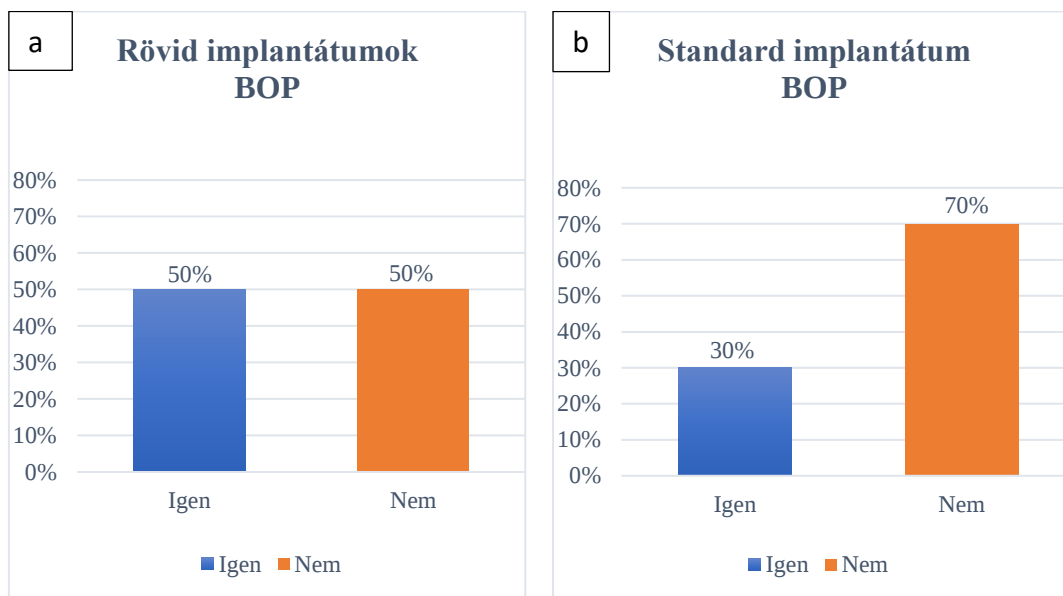
protetikai megterhelés óta eltelt idő	tesztcsoport	kontrollcsoport
>2 év	67%	83%
>5 év	30%	13%
0,5-1 év	6%	0%



21. ábra. A rövid (a) és a standard (b) méretű implantátumok protetikai megterhelés óta eltelt időt szemlélteti %-ban kifejezve



22. ábra. A rövid (a) és standard (b) implantátumok SLPI értékének %-os eloszlása



23. ábra. A rövid (a) és standard (b) implantátumok BOP értékének %-os eloszlása

8. táblázat. Az SLPI és a BOP értékek a teszt-, és kontrollcsoportban

	tesztcsoport	kontrollcsoport
SLPI 0	70%	90%
SLPI 1	30%	10%
BOP	50%	30%

A tesztcsoportban mért szondázási mélységértékek a következők voltak: meziobukkálisan $2,86 \pm 1,07$ mm, disztobukkálisan $2,83 \pm 1,23$ mm, bukkálisan $2,16 \pm 0,98$ mm, mezio-orálisan $3,16 \pm 1,72$ mm, diszto-orálisan $3,06 \pm 1,48$ mm, és orálisan $3,00 \pm 1,33$ mm. A kontrollcsoportban mért szondázási mélység értékek a következők voltak: meziobukkálisan $3,10 \pm 1,26$ mm, disztobukkálisan $3,36 \pm 1,29$ mm, bukkálisan $2,46 \pm 1,00$ mm, mezio-orálisan $2,53 \pm 0,93$ mm, diszto-orálisan $3,46 \pm 1,04$ mm, és orálisan $2,6 \pm 1,10$ mm. A 9. táblázat és 24. ábra az implantátumok körül hat ponton mért szondázási mélységértékeket foglalja össze. A szondázási mélység értékeket a két csoportban *Welch*-próbával értékeltük ki, 0,05-ös szignifikanciaszinten. A hat szondázási mélységértéket (i) egyenként páronként és (ii) átlagos páronként hasonlítottuk össze. A *Welch*-próbák részletes *p*-értékei az 10. táblázatban láthatók. A fent felsorolt *p*-értékek egyike sem volt a szignifikancia küszöb alatt.

Az egyes fogcsoportok (front, premoláris, moláris) szondázási mélysége között azonban szignifikáns különbségek voltak. A szondázási mélység értékeknél a *Welch*-próba 0,027 és 0,016 *p*-értéket eredményezett az front és a moláris pozíciókban lévő implantátumok körül, illetve a front és a premoláris pozíciókban lévő implantátumok körül.

A szondázási mélység és a protetikai terhelés óta eltelt idő közötti korrelációt 0,075; az MBL és a protetikai terhelési ideje közötti korrelációt 0,056-nek számoltuk. Tehát nincs korreláció a szondázási mélység, az MBL, és a protetikai megterhelés óta eltelt idő között.

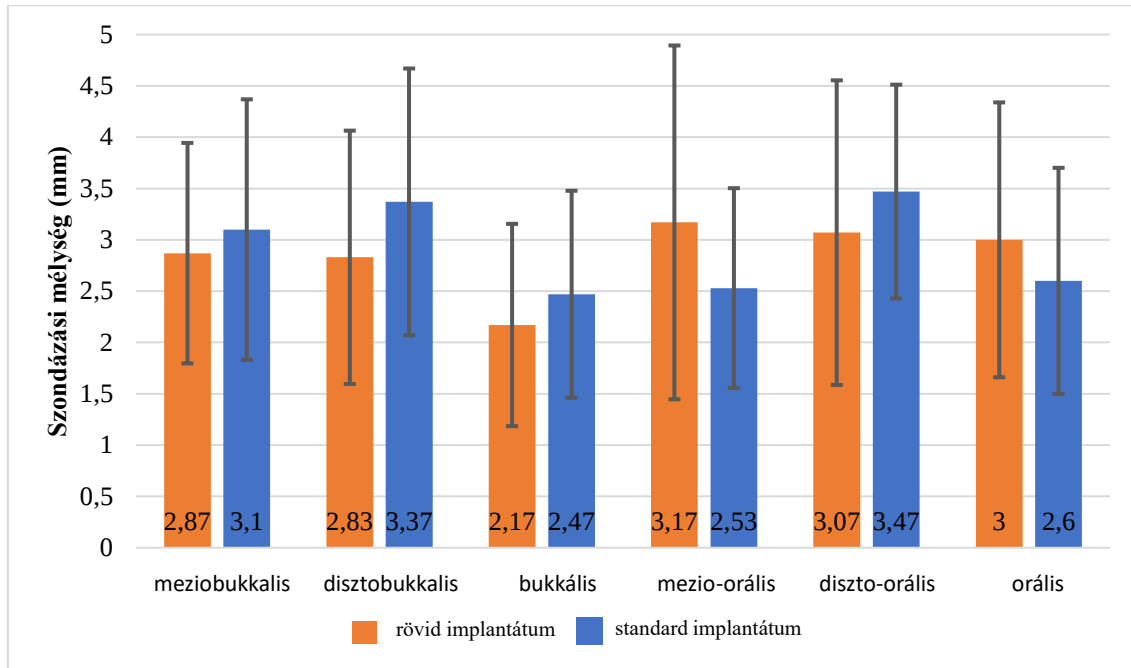
A rövid BL implantátumok esetében az átlagos PD $2,70 \pm 0,75$ mm volt, rövid TL implantátumok esetén az átlagos PD $2,9 \pm 1,18$ mm volt. A rövid implantátumok szondázási mélységében nem volt szignifikáns különbség a BL és TL implantok között (*p*-érték 0,773). A standard méretű BL implantátumok esetében az átlagos PD $2,93 \pm 0,46$ mm volt, rövid TL implantátumok esetén az átlagos PD $2,85 \pm 0,70$ mm volt. A standard méretű implantátumok szondázási mélységében sem volt szignifikáns különbség a BL és TL implantok között (*p*-érték 1,000).

9. táblázat. PD értékek (mm) a rövid és standard implantátumok körül

	Rövid implantátum	Standard implantátum
Meziobukkális	2,87	3,10
Disztobukkális	2,83	3,37
Bukkális	2,17	2,47
Mezio-orális	3,17	2,53
Diszto-orális	3,07	3,47
Orális	3,00	2,60
Átlag	2,84 ± 0,09	2,91 ± 0,35

10. táblázat. A PD statisztikai tesztjeinek *p*-értékei

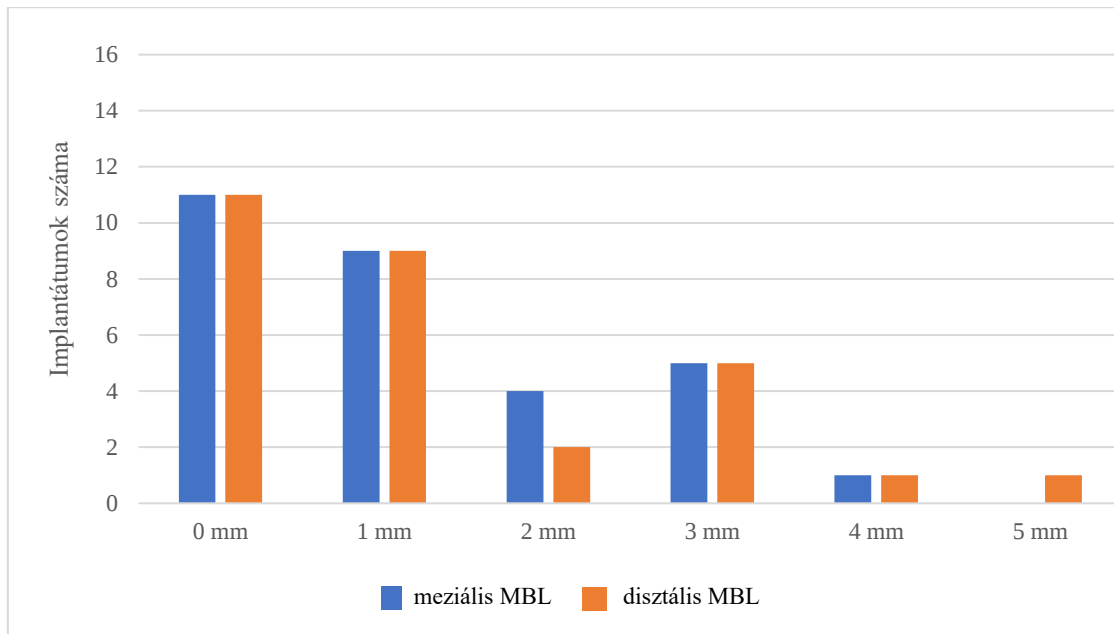
	<i>p</i>-érték
Meziobukkális	0,445
Disztobukkális	0,108
Bukkális	0,248
Mezio-orális	0,076
Diszto-orális	0,232
Orális	0,211
Átlag	0,762



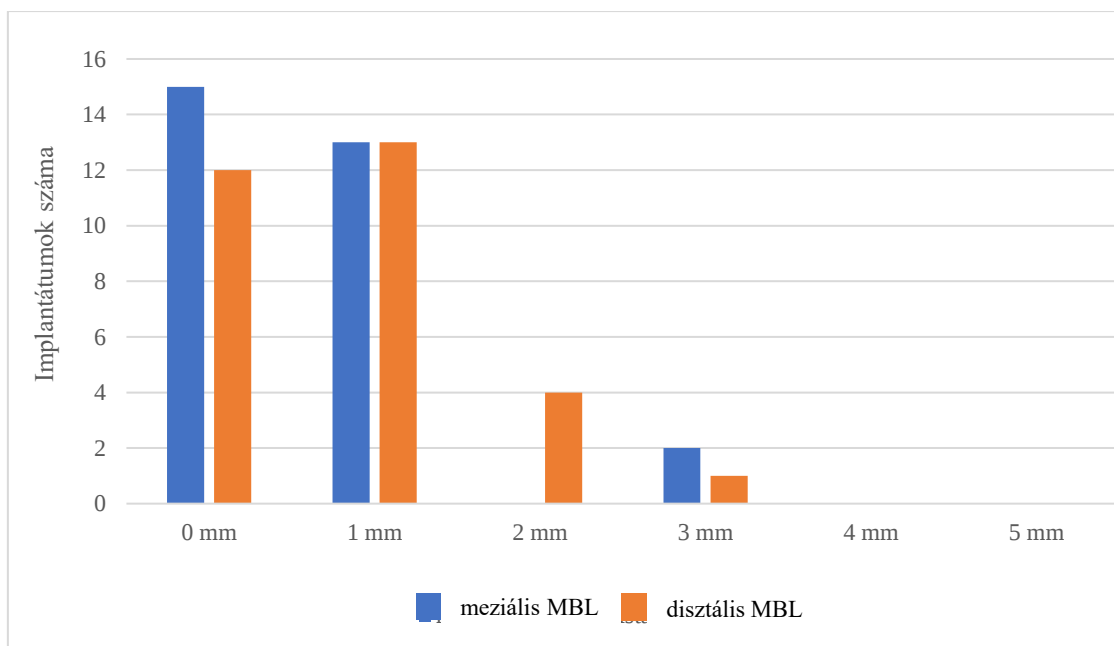
24. ábra Az átlagos szondázási mélység értékek a rövid és standard méretű implantátumok körül

5.3. Radiológiai vizsgálat eredményei

Az átlagos MBL a rövid implantátumok esetében meziálisan $1,2 \pm 1,21$ mm, disztálisan $1,36 \pm 1,47$ mm (25. ábra), míg a standard hosszúságú implantátumok esetében meziálisan $0,63 \pm 0,80$ mm, disztálisan $0,78 \pm 0,70$ mm (26. ábra). A két csoport MBL-értékeit *Welch*-próbával hasonlítottuk össze 0,05-ös szignifikanciaszinten. A két MBL értéket külön-külön hasonlítottuk össze a meziális és a disztális oldalon, azok átlagait felhasználva. A *Welch-féle t-próbák* részletes *p*-értékeit a 11. táblázat tartalmazza.



25. ábra. Átlagos MBL meziálisan és disztálisan, rövid implantátumok esetén



26. ábra. Átlagos MBL meziálisan és disztálisan, standard implantátumok esetén

11. táblázat. Az MBL statisztikai tesztjeinek *p*-értékei

	<i>p</i> -érték
Meziális	0,038
Disztális	0,071
Átlag	0,034

A rövid BL típusú implantátumok esetében az átlagos MBL értéke $1,44 \pm 1,41$ mm volt, rövid TL típusú implantátumok esetén az átlagos MBL $1,07 \pm 1,16$ mm volt. A rövid TL és BL implantátumok között az átlag MBL tekintetében nem volt szignifikáns különbség (*p*-érték 0,367). A standard BL implantátumok esetében az átlagos MBL $0,87 \pm 0,90$ mm volt, standard TL implantátumok esetén az átlagos MBL $0,46 \pm 0,50$ mm volt. A standard méretű TL és BL implantátumok között az átlag MBL tekintetében nem volt szignifikáns különbség (*p*-érték 0,091).

6. Megbeszélés

Marginális csontvesztés

A protetikai terhelést követő marginális csontvesztés három tényezővel magyarázható [124–126]. Az **egyik tényező**, a biomechanikai erő, illetve erők, amelyek az implantátum és a csont, valamint az implantátum és a felépítmény közötti határfelületeken hatnak. Ezeket az erőket a fogpótlást ért terhelések okozzák. A **második tényező**, hogy a baktériumok felhalmozódhatnak az implantátum és a felépítmény közötti mikrorésekben. A következményes gyulladásos reakciókat a baktériumok és más, gyulladáskeltő anyagok okozhatják, mint például a határfelületen megkötött és nem kellő alapossággal eltávolított ragasztócement. A biofilm felhalmozódása és az implantátum - protetikai fej kapcsolat-típusa elősegítheti a gyulladásos választ és az oszteoklasztok által kiváltott csontreszorpciót. Az implantátum körüli csontvesztés **harmadik tényezője** a hibás műtéti technika. Javasolt a klinikai helyzethez igazodó optimális pozícióban szubkresztális nívóban elhelyezett implantátum, a kétfázisú műtéti protokoll és a megfelelő lágyszövetvastagság és ínyformázás. Vizsgálatunkban törekedtünk arra, hogy az említett MBL-t befolyásoló tényezőket egységesítsük a teszt-, és kontrollcsoportokban, amennyire az egy retrospektív vizsgálattól elvárható. A rágóerők iránya és mértéke egyénenként más és más, így standardizálása szinte lehetetlen, azonban vizsgálatunkból a harapási rendellenességgel, vagy bruxizmussal rendelkező pácienseket kizártuk. A pácienseknek nem volt az implantátum hosszú távú sikerességét befolyásoló alapbetegségük. Ugyanakkor egyes tanulmányok szerint az általános állapot nem is feltétlenül befolyásolja jelentősen az implantátumok hosszú távú sikerét [127]. A páciensek csak rögzített fogpótlást viseltek, ahol sokkal nagyobb rágóerő éri az implantátumokat, mint kivehető fogpótlás esetén. A szájhigiéné vélhetően nem befolyásolta az eredményeinket, hiszen 0 vagy 1-es SLPI-vel rendelkeztek a páciensek. A rendelkezésre álló dokumentumok alapján, a műtéti protokollokat betartva, azonos műtéti technikával, megfelelő primer stabilitást elérve (25 - 35 Ncm) kerültek behelyezésre az implantátumok. Tehát a lehetőségeinkhez mérten standardizáltuk a vizsgálatunkat, hogy megállapíthassuk, a mért változókat valóban az implantátumok hossza befolyásolta.

A teszt-, és kontrollcsoport MBL-értékeit (i) külön-külön a meziális és a disztális oldalon, valamint (ii) az értékek átlagának felhasználásával hasonlítottuk össze. Az átlagos MBL enyhe, de szignifikánsnak mondható (p -érték 0,034) különbséget mutatott a

vizsgált két csoport között. Ugyanakkor az implantátumok két oldalon mért és az átlag MBL értékek következetlensége nem támasztotta ezt alá. A meziális oldalon mért MBL értékek között alacsony szignifikancia (p -érték 0,038) mutatkozott a rövid ($1,2 \pm 1,21$ mm) és a standard implantátum ($0,63 \pm 0,80$ mm) csoportok között; azonban a disztális oldalon ez nem mondható el (tesztcsoport $1,36 \pm 1,47$ mm, kontrollcsoport $0,78 \pm 0,70$ mm, p -érték 0,071). Mint látható, a fenti eredmények nagyon közel voltak a p -érték 0,05-ös küszöbértékéhez. Ezek az inkonzisztens MBL eredmények vélhetően a mérési módszerből eredő problémával magyarázhatók. Amennyiben az implantátumot a műtét során orális vagy vesztibuláris irányban megdöntötték, a tengelyeltérésből adódó szögeltérés a radiológiai képekből nyert adatokat torzíthatja, így különösen a marginális csontvesztés nagyobbban tűnhet, mint amilyen valójában. A mérési hibák elfogadható magyarázatával együtt, ezek az eredmények azt mutatják, hogy bár statisztikailag találtunk némi különbséget a rövid és a standard implantátumok körüli átlagos MBL értékek között, a szondázási mélységgel való együttes értékelés alapján elmondhatjuk, hogy ennek klinikai jelentősége nincs. Ha a kapott eredményeket nem egymáshoz, hanem önmagukban értékeljük, akkor elmondható, hogy a *Misch*-féle szabálynak mindkét vizsgált csoport megfelelt. A *Misch*-féle klasszifikáció [128] szerint az MBL a protetikai megterhelést követő 1 évben nem haladhatja meg az 1 mm-t, és utána a 0,2 mm/évet, azaz 5 év után maximum 2 mm lehet. A tesztcsoportban szereplő implantátumok 94%-a, a kontrollcsoportban szereplő implantátumok 100%-a több mint 1 éve álltak protetikai megterhelés alatt, és az MBL tekintetében lényegében egyik csoport sem haladta meg a *Misch* által felállított szabályt. Ugyanakkor a vizsgálatunkban csak 8 mm-es rövid implantátumok szerepelnek, ennél rövidebb (4 - 6 mm) implantátumok esetén, az 1 - 2 milliméteres MBL már okozhat a funkcionalitásban problémát.

Célkitűzésünk között szerepelt a kapott eredményeink összehasonlítása a nemzetközi irodalomban fellelhető adatokkal. *Sang-Yun és mtsai.* [129] 154 db, ≤ 8 milliméter hosszú implantátumot vizsgáltak. Az átlagos követési idő $51,35 \pm 24,97$ hónap volt. Az átlagos MBL $0,76 \pm 0,27$ milliméter. Nem rögzítették külön a meziális és disztális MBL-t. Mindegyik implantátumot moláris régióba helyezték (120 implantátumot a mandibulába, 34 implantátumot a maxillába) és az implantátumok nem voltak egymással összekötve. Szondázási mélységet nem mértek. *Benlidayi és mtsai.* [130] 8 milliméternél rövidebb implantátumokat vizsgáltak, és összehasonlították standard méretű implantátumokkal. A

protetikai megterhelés óta eltelt átlagos követési idő 39,4 hónap a teszt-, és 36,6 hónap a kontrollcsoport esetében. Az MBL 3 év után $0,51 \pm 0,54$ mm a teszt-, és $0,79 \pm 0,72$ mm a kontrollcsoportban. A meziális és disztális MBL-t külön-külön szintén nem publikálták. Szondázási mélységet nem mértek. *Felice és mtsai.* [112] bilaterális foghiánnyal rendelkező pácienseknél végzett implantációt. Az egyik oldalon történt vertikális csontpótlás és standard hosszúságú (10 - 12 mm) implantátum behelyezés, a másik oldalon viszont rövid implantátumokat (5 mm) használtak. 68 db standard és 60 db rövid implantátum került behelyezésre 30 páciensnél (15 páciensnél a felső, 15 páciensnél az alsó állcsont moláris). Mindegyik implantátumra rögzített fogpótlás került. 3 év után a rövid implantátumoknál az MBL 1,23 mm, a standard implantátumok körül 1,55 mm. Ennél a vizsgálatnál is elmondhatjuk, hogy nem publikálták külön a meziális és disztális oldalon mért MBL értékeket.

A fenti példák jól mutatják, hogy azt a célkitűzésünket, hogy a kapott MBL eredményeinket összehasonlítsuk a nemzetközi irodalommal, nem tudtuk maradéktalanul megvalósítani. Ennek fő oka, hogy a publikációkban szereplő vizsgálati módszerek és implantátum számok különbözőek voltak, illetve a vizsgálatok többségében nem mérték a PD-t, illetve külön a meziális és külön disztális MBL-t. Ez utóbbi akár pozitív, akár negatív irányban torzíthatja az eredményeket. Ugyanakkor elmondhatjuk, hogy nem kaptunk a nemzetközi irodalomban megtalálható átlagos MBL értékekhez képest lefelé vagy felfelé kiugró eredményeket.

Az MBL-t értékeltük a két vizsgált csoportban az implantátum típusa szerint is. Vizsgálatunkban nem találtunk szignifikáns különbséget az MBL tekintetében a TL és BL típusú implantátumok között sem a teszt-, sem a kontrollcsoportban. Ezt alátámasztották a mért PD értékek is. *Cosola és mtsai.* [131] irodalmi áttekintésükben arról számoltak be, hogy a BL és TL implantátumok sikerességi arányban nincs különbség. Három publikációt találtak, amelyben a BL, és egy publikációt, amelyben a TL implantátumoknál találtak kisebb MBL-t. Ebben a vizsgálatban azonban csak standard méretű implantátumokat vizsgáltak. *In vitro* vizsgálatokban beszámoltak arról, hogy magasabb feszültségértékek mérhetőek a rövid BL implantátumok körül, mint a TL implantátumok esetében, de a szerzők véleménye, hogy ezek az értékek nem voltak elég magasak ahhoz, hogy problémát okozhattak volna a klinikumban [132]. Vizsgálatunk alapján közép-hosszú távon nincs különbség a rövid BL és rövid TL implantátumok sikeressége között.

Szondázási mélység

Az implantátumok sikerességének további megítélésére, 6 ponton mértük a szondázási mélységet az implantátumok körül. Úgy gondoltuk, hogy a mért PD értékeknek körülbelül meg kell egyeznie a marginális gingiva és a marginális csont távolságával [133]. Feltételeztük, hogy a vizsgálatunkban hasonló eredményeket fognak hozni. A rövid implantátumok átlagos szondázási mélysége $2,84 \pm 0,09$ mm, a standard implantátumok átlagos szondázási mélysége $2,91 \pm 0,35$ mm volt. Eredményeink alapján a szondázási mélység nem különbözött jelentős mértékben a két csoport között. A mért értékek megfelelő gingivális zárásról árulkodnak. Ugyanakkor - vizsgálati csoporttól függetlenül - szignifikánsan nagyobb szondázási mélységet mértünk az implantátumok orális oldalán, és a korrelációt tudtunk kimutatni az általános szájhigiénés szokásokkal. Vélhetően a páciensek az orális fogfelszínek tisztítására kevesebb hangsúlyt fektetnek. Ez a téma jövőbeli tanulmányok tárgya lehet. Az átlagos PD értékeink - bár kevés vizsgálatban mérték - nem tértek el a nemzetközi irodalomban található adatoktól [100].

Fogcsoportok

Vizsgálatunk során a nem elegendő esetszámból adódóan, nem tudtuk összehasonlítani a különböző lokalizációjú fogak eredményeit, de értékelni tudtuk a különböző fogcsoportokat, így a front, premoláris és moláris fogakat. A szondázási mélység értékeknél a *Welch-féle t-próba* 0,027 és 0,016 *p*-értéket eredményezett a front és a moláris, illetve a front és a premoláris implantátumok között. Az implantátum helyzetétől függően szignifikáns különbség mutatható ki a front régióba és az premolár/moláris régióba helyezett implantátumok között, és ennek hátterében két tényezőt feltételezünk. Egyrészt vélhetően a jó szájhigiéné nehezebben fenntartható a moláris régióban, másrészt az implantátumok különböző erőbehátásoknak lehetnek kitéve az állcsontok különböző régióiban, ami szintén befolyásolhatta az eredményeinket. A vizsgálatunkban szereplő rövid implantátumok 53%-a a felső állcsont premoláris/moláris régiójába kerültek behelyezésre. *Deporter és mtsai.* [63] szerint, a felső állcsont moláris régiójába helyezett rövid implantátumok jelentik a legnagyobb kockázatot a hosszú távú sikeresség szempontjából. Az MBL szempontjából nem találtunk különbséget a front és premoláris/moláris fogcsoportok között, igaz MBL esetében csak két, még PD esetében 6 ponton tudtunk mérni és ez torzítást okozhat. Ugyanakkor a felső állcsont premoláris/moláris régiójába helyezett rövid implantátumok

MBL értékei ($1,52 \pm 0,35$ mm) és az alsó állcsont premoláris/moláris régiójába helyezett rövid implantátumok MBL értékei ($0,83 \pm 0,35$ mm) között jelentős különbséget találtunk. Vizsgálatunkban a behelyezett standard méretű implantátumok 37%-a került a felső állcsontba. A maxilla premoláris/moláris területére került standard implantátumok MBL értékei ($0,86 \pm 0$ mm) és a mandibula premoláris/moláris területére került standard méretű implantátumok MBL értékei ($0,63 \pm 0,70$ mm) között kisebb különbséget találtunk, mint a rövid implantátumok esetében. A rövid implantátumoknál mért két állcsont közötti MBL különbség jelentősnek tűnhet, ugyanakkor ez a különbség klinikai szempontból a 8 mm-es implantátumoknál elhanyagolható. Az eredményeinkből látható, hogy a standard méretű implantátumoknál sokkal kisebb volt az MBL különbség az alsó és felső állcsont között. Ez felveti annak a gondolatát, hogy a felső állcsontban mért rosszabb eredmények összefüggésben lehetnek az implantátumok méreteivel. Ezért felmerül annak a lehetősége, hogy az ultrarövid implantátumok esetében még nagyobb MBL-re lehet számítani, és egy ilyen mértékű csontvesztés a 4 – 6 milliméteres implantátumok esetében már okozhat funkcionális problémákat. *Villarinho és mtsai.* [134] ellentétes következtetéseket vontak le *Deporter és mtsai.* -hoz képest. Szerintünk a mandibula moláris régiójában van a legnagyobb bizonytalanság a rövid implantátumok sikerességét illetően. A szerzők többsége egyetért abban, hogy a moláris régió rizikótényezőt jelent, de hogy melyik állcsontban, abban nincs konszenzus.

A protetikai megterhelés óta eltelt idő, az MBL és a PD összefüggései

Megvizsgáltuk, hogy a MBL, illetve a PD mutat-e összefüggést a megterhelés óta eltelt idővel. Hipotézisünk az volt, hogy ha a pácienseket a rizikótényezők szempontjából nem megfelelően szelektáltuk, akkor a hosszabb megterhelést követően, nagyobb marginális csontvesztés és szondázási mélység értékeket kapunk. Ehhez az MBL, illetve a PD értékeit a megterhelés óta eltelt idő adataival vetettük össze. Az elemzések szerint azonban egyik mérték sem korrelál jelentősen a megterhelés óta eltelt idővel. Ez azt jelenti, hogy sem a MBL-ra, sem a PD értékekre nem volt hatással a megterhelés óta eltelt idő, azaz a szelekciónkba vélhetően nem került hiba.

Implantátumok anyaga és felszíne

Régóta ismert, hogy az implantátum anyaga hatással van az osztointegrációra, azonban az implantátum anyagának, nem csak rövid, de hosszú távú hatása is lehet sikerességre.

A TiZr-ból készült implantátumoknak nagyobb a rugalmassági modulusa és keményebbek, mint a tiszta titánból készült implantátumok, ezért jobban ellenállnak a nagyobb terhelésnek [135], így fontos szerepük lehet a rövid implantátumok hosszú távú eredményeiben. A TiZr anyag jobb eredményeket mutat az MBL tekintetében, mint a Ti anyagból készült implantátumok [136]. Vizsgálatunkban mindkét csoportban főleg Grade 4 Ti anyagú implantátumokat találtunk. A tesztcsoportban csak 4 darab, a kontrollcsoportban pedig egyáltalán nem volt TiZr-ból készült implantátum. Ezért ezt a sikerességet befolyásoló tényezőt, az említett aránytalanság miatt, nem tudtuk vizsgálni.

Albrektsson és Brånemark [1] tanulmányai óta ismert, hogy az implantátum felülete fontos szerepet játszik az oszeintegrációban. Ezt követően a különböző felületkezelések nagyobb jelentőséget kaptak az implantátumok hosszú távú sikerében. A vizsgálatunkba bevont implantátumok túlnyomó többsége SLA felülettel rendelkezett. A tesztcsoportban összesen 7 darab, a kontrollcsoportban pedig nem volt implantátum volt SLActive felülettel. Így a két felület összehasonlítása nem volt lehetséges. Ugyanakkor irodalmi adatok alapján, az SLActive felület kifejezettebb hatással van az emberi csont mezenchimális őssejtjeire [19] és az oszeintegrációs periódusra [137], azonban az MBL-ra és az implantátum sikerességére hosszú távon nincs hatással [138], így eredményeinket a két különböző implantátum felület alkalmazása vélhetően nem befolyásolhatta.

Implantátumok átmérője

Ahogy fentebb leírtuk, a protetikai terhelés során, biomechanikai hatások miatt, feszültség alakulhat ki az implantátum körüli csontszövetben. A feszültség átadása a csontban számos tényezőtől függ, például az implantátum hosszától és átmérőjétől. *In vitro* vizsgálatok szerint, a jobb feszültségátvitel szempontjából az implantátum átmérője fontosabb, mint az implantátum hossza, azonban önmagában az implantátum hossza is hatással van a csontban keletkező feszültségre [139, 140]. *Sang-Yun és mtsai* [129], valamint *Tabrizi és mtsai*. [111] az implantátum átmérőjét további sikertényezőként azonosították. Egyes vizsgálatokban, ha szélesebb implantátumokat alkalmaztak, akkor nem találtak szignifikáns különbséget az MBL-ben, vagy az implantátum túlélési arányában, függetlenül az implantátumok hosszától, a műtési technikától, a fogívben való elhelyezkedéstől, vagy a fogpótlás típusától [141, 142]. Az EDI jelenlegi ajánlása szerint

rövid implantátum alkalmazása esetén annak legalább 3,75 mm átmérőjűnek kell lennie [6]. Vizsgálatunk nem terjedt ki az implantátum hosszának és átmérőjének együttes szerepére, a sikerességre szempontjából. Azonban 50 implantátum (83,33%) megfelelt az EDI ajánlásnak, ezek 4,1 vagy 4,8 mm átmérővel rendelkeztek. 10 implantátum (16,66%) azonban nem csak rövid, de egyben keskeny (3,3 mm) is volt. Ezeknél nem tapasztaltunk kiugró MBL értékeket, azonban esetszámunk nem elegendő a statisztikai elemzésre.

C/I arány

Vizsgálatunk nem tér ki a C/R arány értékeire. Ennek oka, hogy számos tanulmány alapján a magas C/R arány önmagában nem okoz klinikailag szignifikáns MBL-t [72–74]. A szerzők egy része szerint a magas C/I arány bár nagyobb MBL-t nem okoz, protetikai szövődményekkel járhat, úgymint az átmenőcsavar kilazulása vagy törése. *Zadeh és mtsai.* [78] vizsgálatában a rövid implantátumoknál körülbelül 4%-ban, a standard implantátumoknál körülbelül 2%-ban fordultak elő protetikai szövődmények. Csavarral rögzített fogpótlások esetén ezek a hibák viszonylag könnyen javíthatóak és relatív kis költséggel járnak a páciens számára. Ezzel ellentétben az állcsontok növelésre irányuló műtétek gyakrabban (10-76%-ban) [102, 103] és súlyosabb szövődményekkel járhatnak, melyek sokkal költségesebbek a páciensek számára. A rendelkezésre álló dokumentációk alapján vizsgálatunkban protetikai szövődmény nem fordult elő.

Sikeresség

Az implantátum sikeresség fogalmának pontatlan meghatározása általános probléma a szakirodalomban. Sok szerző különböző értelmezéseket és különböző mérési értékeket használ, ami megnehezíti kutatások összehasonlítását. Egyrészt azért, mert maga a siker definíciója nem egyértelmű, másrészt pedig azért, mert a sikerarány értékelésének módszere sincs meghatározva. A prospektív és jól összehasonlítható vizsgálatok pedig általában rövid követési időről számolnak be. Vizsgálatunkban a sikeresség értékeléséhez *Misch-féle* [128] beosztást alkalmaztuk, mely összefoglalja a siker különböző szintjeit és fogalmait. A meziális és disztális MBL adatok alapján, a 30 rövid implantátumból 21 darab sikeres, 8 darab implantátum a kielégítő túlélési csoportba, 1 darab pedig a kompromisszumos túlélési csoportba került. A 12. táblázat a *Misch-féle* beosztást foglalja össze. A *Misch-féle* beosztás alapján a vizsgálatunkban a tesztcsoport 70% -a tartozott a „sikeres” csoportba. A „sikeres és kielégítő túlélési” csoportba együttesen az

implantátumok 96,66%-a tartozott. A kontrollcsoportban az implantátumok 90%-a tartozott a “sikeres”, és 10%-a a “kielégítő túlélésű” csoportba. Eredményeink nehezen összevethetők ilyen tekintetben a nemzetközi irodalomban található eredményekkel, ugyanis jellemzően nem definiálják a sikeresség fogalmát. *Malmstrom és mtsai.* [143] vizsgálatukban a rövid implantátumok sikerességi arányának 100%-ról számol be 2 év követés után. *Lombardo és mtsai.* [144] arról számoltak be, hogy a rövid implantátumok sikerességi aránya 97,6% volt 3 év követés után. Azonban a vizsgálatokban jellemzően a sikerességet csak a marginális csontmennyiség szabja meg.

12. táblázat. Implantátumok sikerességének felosztása [127]

Implantátumok sikerességének beosztása	Klinikai feltétele
Sikeres (ideális gyógyulás)	Nincs fájdalom/érzékenység funkció közben Nincs mobilitás <2 mm MBL a kiindulási állapothoz képest Nincs exudátum
Kielégítő túlélés	Nincs fájdalom funkció közben Nincs mobilitás 2-4 mm MBL Nincs exudátum
Kompromisszumos túlélés	Lehet érzékenység funkció közben Nincs mobilitás >4 mm MBL (kevesebb, mint az ½-e az implantátumnak) PD >7 mm Lehet exudátum
Sikertelenség (klinikailag vagy abszolút sikertelen)	Bármely az alábbiak közül: Fájdalom funkció közben Mobilitás MBL >1/2-e az implantátumnak nincs csontban Kontrollálatlan exudátum Implantátum vesztes

A vizsgálatunk limitációi

Vizsgálatunk validitásában a bevont páciensek száma jelenti a legjelentősebb kompromisszumot. Ugyan 60 implantátumot vizsgáltunk meg, de csak 34 páciensnél kerültek behelyezésre ezek az implantátumok. Ez a viszonylag kis mintaszám potenciális siker/sikertelenség tényezőket eredményez a statisztikai elemzésben, amelyek rejtve maradnak, és ezért nem mérhetők megfelelően. A kutatási korlátjainkhoz hasonló problémák azonban a szakirodalomban is fellelhetők. Csak az irodalmi áttekintések (systematic review) tartalmazznak lényegesen nagyobb számú pácienset. A metaanalízisek és az irodalmi áttekintések azt mutatják, hogy nincs különbség a rövid implantátumok és a csontpóoló eljárások után behelyezett standard méretű implantátumok eredményei között [113, 145, 146]. Ezek az eredmények azonban nem reprezentálják az eredeti kutatási eredményeket. A saját és a nemzetközi eredmények is előre mutatóak a rövid implantátumok sikerességét illetően. Azonban saját és mások vizsgálataiban is csak a “mesterségesen” megszűrt páciensek adatai kerülnek be az elemzésekbe, amely egyrészt a standardizálás miatt szükséges is, ugyanakkor bizonyos szempontból torz képet adhat. Az Amerikai Aneszteziológus Társaság besorolása szerint minden kiválasztott páciensünk az I. csoportba soroltató be, azonban a teljes globális populációnak csak egy kis százaléka tehető ebbe a csoportba. Egyes tanulmányok szerint azonban az általános állapot nem feltétlenül befolyásolja jelentősen az implantátumok hosszú távú sikerét [127].

7. Következtetések

Vizsgálatunk alapján az találtuk, hogy a *Misch-féle* osztályozás alapján a 8 mm-es (rövid) és a 8 mm-nél nagyobb (standard) méretű implantátumok sikeressége összevethető. A rövid implantátumok közép-hosszú távú sikere nem különbözik nagymértékben a standard implantátumok közép-hosszú távú sikerétől a vizsgálatunk protokolljának korlátjain belül. Az MBL tekintetében a vizsgált periódusban volt némi különbség a rövid és standard implantátumok között, azonban ez nem olyan mértékű, hogy ennek klinikai jelentősége lenne. Vizsgálatunk alapján a 8 mm-es implantátumok mindkét állcsont moláris régiójában jó eredményeket mutatnak. A 8 mm-es és >8 mm-es implantátumok sikerességben klinikailag nincs különbség a két állcsontban való elhelyezkedésük szempontjából. A PD értékeink alapján stabil gingivális zárás alakult ki a vizsgált implantátumok körül. Azonban minél rövidebb implantátumokat használunk, annál nagyobb jelentősége lehet akár olyan kis mértékű MBL különbségnek, mint amit vizsgálatunkban mértünk. Kis mértékű csontmennyiség elvesztése az ultrarövid implantátumok körül befolyásolhatja a hosszú távú eredményeket, különös tekintettel arra, ha az implantáció a maxillában történik, illetve, ha páciens dohányzik és/vagy parodontitisben szenved. A rövid BL és rövid TL implantátumok sikerességében nem találtunk különbséget. Az irodalom áttekintése, és az eredményeink alapján a rövid implantátumok definíciójában az EDI felosztást tartjuk követendőnek, ahol megkülönböztetünk rövid és ultrarövid implantátumokat. A rövid implantátumok használata számos előnnyel járhat. Használatuk során azonban figyelembe kell venni, hogy egy adott páciens esetében milyen nehézségek adódhatnak, amelyek befolyásolhatják a primer stabilitást, a csontban keletkező feszültséget, ezáltal az implantátum hosszú távú sikerességét. Ezek a tényezők közé tartozik a csont minősége, az oro-vestibuláris csont szélessége (az implantátum átmérője), a C/I arány, az implantátum helye az állcsontban, az implantátumok száma, a páciens rossz szokásai, mint például a bruxizmus, vagy a dohányzás, valamint a beteg általános állapota és betegségei. Eredményeink azt sugallják, hogy a rövid fogászati implantátumok előnyei összehasonlítható sikeraránnyal használhatók. Hipotézisünket egészséges, nemdohányzó betegeken teszteltük, ezeknek az eredményeknek az általánosabb populációra történő kiterjesztése további kutatások tárgya.

Új megállapítások:

1. Magyarországon elsőként végeztünk összehasonlító vizsgálatot a rövid implantátumok sikerességéről.
2. Megállapítottuk, hogy a rögzített fogpótlással ellátott rövid implantátumok sikeressége nem marad el a standard implantátumok sikerességétől, és igaz ez a megállapítás mindkét állcsont premoláris/moláris régiójára is.
3. A rögzített fogpótlással ellátott 8 mm-nél rövidebb implantátumok alkalmazása a felső állcsont premoláris/ moláris régiójában csak erősen indokolt esetben ajánlott.
4. Megállapítottuk, hogy rövid „bone level”, illetve „tissue level” implantátumok sikeressége között nincs különbség.
5. A jelenleg elterjedt, átlagos MBL érték használata helyett - a torzítások elkerülése érdekében - bevezettük a meziális és disztális MBL értékeket külön-külön feltüntetését és értékelését.
6. Az objektív sikeresség megítélése céljából indokolt, hogy a két oldalon mért MBL és hat ponton mért PD értékek együttesen kerüljenek értékelésre.

8. Összefoglalás

Munkánk célja a rövid implantátumok sikerességének retrospektív vizsgálata, valamint a kapott eredmények összehasonlítása a nemzetközi irodalomban fellelhető, rövid implantátumok sikerességét vizsgáló kutatások eredményeivel. Vizsgálatunk során 30 rövid (tesztcsoport) és 30 standard hosszúságú (kontrollcsoport) implantátum eredményeit rögzítettük. A sikeresség vizsgálatához az alábbi, mért paramétereket vettük alapul: marginális csontvesztés mértéke (long-cone röntgenfelvételek segítségével), szondázási mélység (az implantátumok körüli 6 ponton), szájhigiéné kvalitatív értékelése (Silness-Löe plakk index szerint), ínyvérzési próba (Bleeding on Probing), az implantátumok helyzete, valamint a fogpótlás típusa. A vizsgálatban szereplő rövid implantátumok protetikai megterhelése óta eltelt idő 39.33 ± 21.96 hónap; a standard implantátumok esetén $41,6 \pm 27,5$ hónap. Az átlagos marginális csontvesztés a rövid implantátumoknál meziálisan 1.2 ± 1.21 milliméter, disztálisan $1,36 \pm 1,47$ milliméter. Az átlagos marginális csontvesztés a standard implantátumoknál meziálisan $0,63 \pm 0,80$ milliméter, disztálisan $0,78 \pm 0,70$ milliméter. Az átlagos szondázási mélység a tesztcsoportban $2,84 \pm 0,09$ mm, a kontrollcsoportban $2,91 \pm 0,35$ mm. A Silness-Löe plakkindex értéke a teszt csoport 70%-ában 0; 30%-ában 1, ugyanezek a számok a kontrollcsoport 94%-ában 0; 6%-ában 1. A vérzési próba a teszt csoport 50%-ában, a kontrollcsoport 37%-ában volt pozitív. A tesztcsoportban a premoláris és moláris régióban statisztikailag szignifikánsan nagyobb szondázási mélység volt mérhető a frontrégióhoz képest. A rövid implantátumok esetében a maxilla premoláris/moláris régiójában nagyobb MBL értékeket mértünk, mint a mandibulában, azonban klinikai szempontból ennek a különbségnek nincs jelentőség. A rövid implantátumok sikeressége saját összehasonlító vizsgálatunk alapján nem marad el a standard méretű implantátumokhoz képest.

9. Summary

The aim of our work is to retrospectively examine the success of short implants and compare the obtained results with the findings of studies on the success of short implants available in the international literature. In our study, we recorded the results of 30 short implants (test group) and 30 standard-length implants (control group). The following measured parameters were used to assess success: marginal bone loss (using long-cone x-rays), probing depth (at 6 points around the implants), qualitative evaluation of oral hygiene (according to the Silness-Löe plaque index), Bleeding on Probing, the position of the implants, and the type of prosthetics. The time elapsed since prosthetic loading of the short implants included in the study was 39.33 ± 1.96 months, whereas for the standard implants, it was 41.6 ± 2.75 months. The average marginal bone loss for the short implants was 1.2 ± 1.21 millimeters medially and 1.36 ± 1.47 millimeters distally. In comparison, the average marginal bone loss for the standard implants was 0.63 ± 0.80 millimeters medially and 0.78 ± 0.70 millimeters distally. The average probing depth was 2.84 ± 0.09 mm in the test group and 2.91 ± 0.35 mm in the control group. The value of the Silness-Löe plaque index is 0 in 70% of the test group, 1 in 30%, and 1 in 94% of the control group. The bleeding test was positive in 50% of the test group and 37% of the control group. In the test group, a statistically significantly greater probing depth was measured in the premolar and molar region compared to the front region. In the case of short implants, higher MBL values were measured in the premolar/molar region of the maxilla than in the mandible, however, from a clinical point of view, this difference is not significant. Based on our own comparative study, the success of short implants is not inferior to that of standard-sized implants.

10. Irodalomjegyzék

1. Albrektsson T, Brånemark PI, Hansson HA, Lindström J. Osseointegrated Titanium Implants: Requirements for Ensuring a Long-Lasting, Direct Bone-to-Implant Anchorage in Man. *Acta Orthop Scand*. 1981;52:155–70. doi: 10.3109/17453678108991776
2. Sennerby J, Roos J. Surgical determinants of clinical success of osseointegrated oral implants: a review of the literature. *Int J Prosthodont*. 1998;11:408–20.
3. vanSteenberghe D, Lekholm U, Bolender C., Folmer T, Henry P, Hermann I. Applicability of osseointegrated oral implants in the rehabilitation of partial edentulism: a prospective multicenter study on 558 fixtures. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1990;5:272–81.
4. Weng D, Jacobson Z, Tarnow D, Hureler M, Faehen O, Sanavi F. Multicenter prospective clinical trial of 3i machined surface implants: result after 6 year of follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2003;18:417–23.
5. Naert I, Koutsikakis G, Duyck J, Quirynen M, Jacobs R, Van Steenberghe D. Biologic outcome of implant-supported restorations in the treatment of partial edentulism. *Clin Oral Implants Res*. 2002;13:381–9. doi: 10.1034/j.1600-0501.2002.130406.x
6. Neugebauer J, Nickenig HJ, Zöller JE, Bolz W, Bowen A, Deporter D és mtsai. Guidelines of the 11th European Consensus Conference. Short, angulated and diameter-reduced implants. *EDI Journal*. 2016;12:16–9.
7. Guideline 2023: 2nd Update on short, angulated and diameter-reduced implants 18th European Consensus Conference (EuCC). *EDI Journal*. 2023;1:2–10.
8. Jung RE, Al-Nawas B, Araujo M, Avila-Ortiz G, Barter S, Brodala N és mtsai. Group 1 ITI Consensus Report: The influence of implant length and design and medications on clinical and patient-reported outcomes. *Clin Oral Implants Res*. 2018;29:69–77. doi: 10.1111/clr.13342

9. Thoma DS, Zeltner M, Hüsler J, Hämmerle CHF, Jung RE. EAO Supplement Working Group 4 - EAO CC 2015 Short implants versus sinus lifting with longer implants to restore the posterior maxilla: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26:154–69. doi: 10.1111/clr.12615

10. Cruz RS, Lemos CA de A, Batista VE de S, Oliveira HFF e, Gomes JM de L, Pellizzer EP és mtsai. Short implants versus longer implants with maxillary sinus lift. A systematic review and meta-analysis. *Braz Oral Res.* 2018;32. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0086

11. Nielsen HB, Schou S, Isidor F, Christensen A-E, Starch-Jensen T. Short implants (≤ 8 mm) compared to standard length implants (≥ 8 mm) in conjunction with maxillary sinus floor augmentation: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019;48:239–49. doi: 10.1016/j.ijom.2018.05.010

12. Nguyen TTH, Eo MY, Myoung H és mtsai. mplant-supported fixed and removable prostheses in the fibular mandible. *Int J Implant Dent.* 2020; 6: 44. doi: 10.1186/s40729-020-00241-7

13. Hocková B, Slávik R, Azar B és mtsai. Short and Extra Short Dental Implants in Osseous Microvascular Free Flaps: A Retrospective Case Series. *J Pers Med.* 2024; 14: 384. doi: 10.3390/jpm14040384

14. Pilliar RM. Overview of surface variability of metallic endos- seous dental implants: Textured and porous surface- structured designs. *Implant Dent.* 1998;7:305–14. doi: 10.1097/00008505-199807040-00009

15. Albrektsson T, Wennerberg A. Oral implant surfaces: Part 1-Review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and in vivo responses to them. *Int J Prosthodont.* 2004;17:536–43.

16. Albrektsson T, Wennerberg A. On osseointegration in relation to implant surfaces. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2019;21:4–7.

17. Wennerberg A, Jimbo R, Stübinger S, Obrecht M, Dard M, Berner S. Nanostructures and hydrophilicity influence osseointegration: a biomechanical study in the rabbit tibia. *Clin Oral Implants Res.* 2014;25:1041–50. doi: 10.1111/clr.12213
18. Feighan JE, Goldberg VM, Davy D, Parr JA, Stevenson S. The influence of surface-blasting on the incorporation of titanium-alloy implants in a rabbit intramedullary model. *J Bone Joint Surg.* 1995;77:1380–95. doi: 10.2106/00004623-199509000-00015
19. Yin L, Chang Y, You Y, Liu C, Li J, Lai HC. Biological responses of human bone mesenchymal stem cells to Ti and TiZr implant materials. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2019;21:550–64. doi: 10.1111/cid.12756
20. Meirelles L, Currie F, Jacobsson M, Albrektsson T, Wennerberg A. The effect of Chemical and nanotopographical modifications on the early stages of osseointegration. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2008;23:641–7.
21. Wennerberg A, Jimbo R, Stübinger S, Obrecht M, Dard M, Berner S. Nanostructures and hydrophilicity influence osseointegration: a biomechanical study in the rabbit tibia. *Clin Oral Implants Res.* 2014;25:1041–50. doi: 10.1111/clr.12213
22. Yamamura K, Miura T, Kou I, Muramatsu T, Furusawa M, Yoshinari M. Influence of various superhydrophilic treatments of titanium on the initial attachment, proliferation, and differentiation of osteoblast-like cells. *Dent Mater J.* 2015;34:120–7. doi: 10.4012/dmj.2014-076
23. Faeda RS, Tavares HS, Sartori R, Guastaldi AC, Marcantonio E Jr. Evaluation of titanium implants with surface modification by laser beam: biomechanical study in rabbit tibias. *Braz Oral Res.* 2009;23:137–43. doi: 10.1590/s1806-83242009000200008
24. Beom-Su K, Jin Seong K, Young Min P, Bo-Young C, Jun L. Mg ion implantation on SLA-treated titanium surface and its effects on the behavior of mesenchymal stem cell. *Materials Science and Engineering: C.* 2013;33:1554–60. doi: 10.1016/j.msec.2012.12.061

25. Osman RB, Swain MV. A Critical Review of Dental Implant Materials with an Emphasis on Titanium versus Zirconia. *Materials* (Basel). 2015;8:932–58. doi: 10.3390/ma8030932

26. Grandin HM, Berner S, Dard M. A Review of Titanium Zirconium (TiZr) Alloys for Use in Endosseous Dental Implants. *Materials*. 2012;5:1348–60. doi: 10.3390/ma5081348

27. Lee T, Ueno T, Nomura N, Wakabayashi N, Hanawa T. Titanium-Zirconium Binary Alloy as Dental Implant Material: Analysis of the Influence of Compositional Change on Mechanical Properties and In Vitro Biologic Response. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2016;3:547–54. doi: 10.11607/jomi.4349

28. Al-Nawas B, Brägger U, Meijer HJA, Naert I, Persson R, Perucchi A és mtsai. A Double-Blind Randomized Controlled Trial (RCT) of Titanium-13Zirconium versus Titanium Grade IV Small-Diameter Bone Level Implants in Edentulous Mandibles – Results from a 1-Year Observation Period. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2012;14:896–904. doi: 10.1111/j.1708-8208.2010.00324.x

29. Altuna P, Lucas-Taulé E, Gargallo-Albiol J, Figueras-Álvarez O, Hernández-Alfaro F, Nart J. Clinical evidence on titanium–zirconium dental implants: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2016;45:842–50. oi: 10.1016/j.ijom.2016.01.004

30. Araki H, Nakano T, Ono S, Yatani H. Three-dimensional finite element analysis of extra short implants focusing on implant designs and materials. *Int J Implant Dent*. 2020;6:5. doi: 10.1186/s40729-019-0202-6

31. Koppány F, Bérczy K, Körmöczy K, Németh Zs. A fogászati implantátumok csontbeépülését befolyásoló „klasszikus” tényezők változásai az elmúlt évtizedekben. *Orv Hetil*. 2019;160:1455–63. doi: 10.1556/650.2019.31503

32. Rainier AU. Plateau Root Form Implants (chapter 8.). Short and ultra-short implant. Quintessence Publishing. 2018:116.

33. Deporter D. Press-Fit Sintered Porous-Surfaced Implants (chapter 7.). Short and ultra-short implants. Quintessence Publishing. 2018:93.
34. Liang R, Guo W, Qiao X, Wen H, Yu M, Tang W és mtsai. Biomechanical analysis and comparison of 12 dental implant systems using 3D finite element study. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2015;18:1340–8. doi: 10.1080/10255842.2014.903930
35. Atieh MA, Shahmiri RA. Evaluation of Optimal Taper of Immediately Loaded Wide-Diameter Implants: A Finite Element Analysis. *Journal of Oral Implantology.* 2013;39:123–32. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-11-00104
36. Hadzik J, Botzenhart U, Krawiec M, Gedrange T, Heinemann F, Vegh A, et al. Comparative evaluation of the effectiveness of the implantation in the lateral part of the mandible between short tissue level (TE) and bone level (BL) implant systems. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger.* 2017;213:78–82. doi: 10.1016/j.aanat.2017.05.008.
37. Misch CE. *Contemporary Implant Dentistry*, ed 3. St Louis: Mosby. 2008.
38. Dawit-Bogale A, Yeau-Ren J. Three-Dimensional Finite Element Investigation into Effects of Implant Thread Design and Loading Rate on Stress Distribution in Dental Implants and Anisotropic Bone. *Materials.* 2021;14:6974. doi: 10.3390/ma14226974
39. Lima de Andrade C, Carvalho M, Bordin D, da Silva W, Del Bel Cury A, Sotto-Maior B. Biomechanical Behavior of the Dental Implant Macrodesign. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017;32:264–70. doi: 10.11607/jomi.4797
40. Toyoshima T, Wagner W, Klein MO, Stender E, Wieland M, Al-Nawas B. Primary Stability of a Hybrid Self-Tapping Implant Compared to a Cylindrical Non-Self-Tapping Implant with Respect to Drilling Protocols in an Ex Vivo Model. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2011;13:71–8. doi: 10.1111/j.1708-8208.2009.00185.x
41. Marković Al, Calvo-Guirado JL, Lazić Z, Gómez-Moreno G, Calasan D, Guardia J, és mtsai. Evaluation of Primary Stability of Self-Tapping and Non-Self-Tapping Dental Implants. A 12-Week Clinical Study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2013;15:341–9. doi: 10.1111/j.1708-8208.2011.00415.x

42. Deporter D. The Performance of Short and Ultra-Short Implants (chapter 2.). Short and ultra-short implants. Quintessence Publishing 2018:9.
43. Birdi B, Edher F, Zokol R, Rawal S, Jivraj S. Final molar in one day: digital implant therapy utilizing current technology. Oral Health. 2019. nov.
44. Al-Marshood MM, Junker R, Al-Rasheed A, Al Farraj Aldosari A, Jansen JA, Anil S. Study of the osseointegration of dental implants placed with an adapted surgical technique. Clin Oral Implants Res. 2011;22:753–9. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.02055.x
45. Campos FEB, Jimbo R, Bonfante EA, Barbosa DZ, Oliveira MTF, Janal MN és mtsai. Are insertion torque and early osseointegration proportional? A histologic evaluation. Clin Oral Implants Res. 2015;26:1256–60. doi: 10.1111/clr.12448
46. Coelho P, Jimbo R. Osseointegration of metallic devices: Current trends based on implant hardware design. Arch Biochem Biophys. 2014;561:99–108. doi: 10.1016/j.abb.2014.06.033
47. Cha JY, Pereira MD, Smith AA, Houschyar KS, Yin X, Mouraret S és mtsai. Multiscale Analyses of the Bone-implant Interface. J Dent Res. 2015;94:482–90. doi: 10.1177/0022034514566029
48. Nkenke E, Kloss F, Wiltfang J, Schultze-Mosgau S, Radespiel-Tröger M, Loos K és mtsai. Histomorphometric and fluorescence microscopic analysis of bone remodelling after installation of implants using an osteotome technique. Clin Oral Implants Res. 2002;13:595–602. doi: 10.1034/j.1600-0501.2002.130604.x
49. Nóbrega AR, Norton A, Silva JA, Silva JPS, Branco FM, Anitua E. Osteotome versus conventional drilling technique for implant site preparation: a comparative study in the rabbit. Int J Periodontics Restorative Dent. 2012;32:109–15.

50. Varga E, Antal M, Major L, Kiscsatári R, Braunitzer G, Piffkó J. Guidance means accuracy: A randomized clinical trial on freehand versus guided dental implantation. *Clin Oral Implants Res.* 2020;31:417–30. doi: 10.1111/clr.13578
51. Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29:416–35. doi: 10.1111/clr.13346
52. Canullo L, Tallarico M, Radovanovic S, Delibasic B, Covani U, Rakic M. Distinguishing predictive profiles for patient-based risk assessment and diagnostics of plaque induced, surgically and prosthetically triggered peri-implantitis. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27:1243–50. doi: 10.1111/clr.12738
53. Kennedy KS, Jones EM, Kim DG, McGlumphy EA, Clelland NL. A Prospective Clinical Study to Evaluate Early Success of Short Implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2013;28:170–7. doi: 10.11607/jomi.2810
54. Neiva RF, Gil LF, Tovar N, Janal MN, Marao HF, Bonfante EA és mtsai. The Synergistic Effect of Leukocyte Platelet-Rich Fibrin and Micrometer/Nanometer Surface Texturing on Bone Healing around Immediately Placed Implants: An Experimental Study in Dogs. *Biomed Res Int.* 2016;2016:1–9. doi: 10.1155/2016/9507342
55. Apse P, Zarb AG, Schmitt A, Lewis DW. The longitudinal effectiveness of osseointegrated dental implants. The Toronto Study: peri-implant mucosal response. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 1991;11:94–111.
56. Sennerby L, Meredith N. Implant stability measurements using resonance frequency analysis: biological and biomechanical aspects and clinical implications. *Periodontol 2000.* 2008;47:51–66. doi: 10.1111/j.1600-0757.2008.00267.x
57. Comuzzi L, Tumedei M, Romasco T, Petrini M, Afrashtehfar KI, Inchingolo F és mtsai. Insertion Torque, Removal Torque, and Resonance Frequency Analysis Values of Ultrashort, Short, and Standard Dental Implants: An In Vitro Study on Polyurethane Foam Sheets. *J Funct Biomater.* 2022;14:10. doi: 10.3390/jfb14010010

58. Wu HC, Huang HL, Fuh LJ, Tsai MT, Hsu JT. Effect of Implant Length and Insertion Depth on Primary Stability of Short Dental Implant. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*. 2023;38:62–70. doi: 10.11607/jomi.9769
59. Triches DF, Alonso FR, Mezzomo LA, Schneider DR, Villarinho EA, Rockenbach MI és mtsai. Relation between insertion torque and tactile, visual, and rescaled gray value measures of bone quality: a cross-sectional clinical study with short implants. *Int J Implant Dent*. 2019;5:9. doi: 10.1186/s40729-019-0158-6
60. Gottlow J, Sennerby L. Influence of diameter and length on primary stability in various implant site densities - An in vitro study in polyurethane blocks. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2023. <https://doi.org/10.1111/cid.13290>.
61. Kucukguven M, Topaloglu G, Isikhan S, Tosun E, Saysel M. In Vitro Evaluation of the Primary Stability of Short Implants in Different Surgical Techniques. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2020;35:700–6. doi: 10.11607/jomi.8081
62. Norton MR. The influence of insertion torque on the survival of immediately placed and restored single-tooth implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2011;26:1333–43.
63. Deporter D. Short and ultra-short implants. Hanover Park, IL: Quintessence Publishing Co Inc. 2018.
64. Campos FEB, Jimbo R, Bonfante EA, Barbosa DZ, Oliveira MTF, Janal MN és mtsai. Are insertion torque and early osseointegration proportional? A histologic evaluation. *Clin Oral Implants Res*. 2015;26:1256–60. doi: 10.1111/clr.12448
65. Szűcs A, Divinyi T, Koppány F, Bujtár P, Veres D, Barabás J. Fogászati implantátumok csontintegrációjának klinikai vizsgálatával szerzett tapasztalataink. *Fogorv Sz*. 2011;104:55–63.
66. Smeets R, Stadlinger B, Schwarz F, Beck-Broichsitter B, Jung O, Precht C és mtsai. Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration. *Biomed Res Int*. 2016;2016:1–16. doi: 10.1155/2016/6285620

67. Albrektsson T. Hard tissue implant interface. *Aust Dent J.* 2008;53. doi: 10.1111/j.1834-7819.2008.00039.x
68. Hayakawa T, Kiba H, Yasuda S. A Histologic and Histomorphometric Evaluation of Two Types of Retrieved Human Titanium Implants. *Int J Periodontics Restor Dent.* 2002;22:164–70.
69. Faeda RS, do Nascimento SCS, Santos PL, Boeck RJ, Sartori R, Margonar R és mtsai. Human non-decalcified histology of three dental implants 45 months under function - a case report. *Int J Implant Dent.* 2019;5:33. doi: 10.1186/s40729-019-0184-4
70. Shah FA, Nilson B, Brånemark R, Thomsen P, Palmquist A. The bone-implant interface – nanoscale analysis of clinically retrieved dental implants. *Nanomedicine.* 2014;10:1729–37. doi: 10.1016/j.nano.2014.05.015
71. Makary C, Menhall A, Lahoud P, An HW, Park KB, Traini T. Nanostructured Calcium-Incorporated Surface Compared to Machined and SLA Dental Implants—A Split-Mouth Randomized Case/Double-Control Histological Human Study. *Nanomaterials.* 2023;13:357. doi: 10.3390/nano13020357
72. Di Fiore A, Vigolo P, Sivoilella S, Cavallin F, Katsoulis J, Monaco C és mtsai. Influence of Crown-to-Implant Ratio on Long-Term Marginal Bone Loss Around Short Implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019;34:992–8. doi: 10.11607/jomi.7161
73. Nunes M, Almeida R, Felino A, Malo P, de Araújo Nobre M. The Influence of Crown-to-Implant Ratio on Short Implant Marginal Bone Loss. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2016;1156–63. doi: 10.11607/jomi.4336
74. Malchiodi L, Ricciardi G, Salandini A, Caricasulo R, Cucchi A, Ghensi P. Influence of crown–implant ratio on implant success rate of ultra-short dental implants: results of a 8- to 10-year retrospective study. *Clin Oral Investig.* 2020;24:3213–22. doi: 10.1007/s00784-020-03195-7

75. Hagi D, Deporter DA, Pilliar RM, Arenovich T. A Targeted Review of Study Outcomes With Short (≤ 7 mm) Endosseous Dental Implants Placed in Partially Edentulous Patients. *J Periodontol*. 2004;75:798–804. doi: 10.1902/jop.2004.75.6.798
76. Garaicoa-Pazmiño C, Suárez-López del Amo F, Monje A, Catena A, Ortega-Oller I, Galindo-Moreno P és mtsai. Influence of Crown/Implant Ratio on Marginal Bone Loss: A Systematic Review. *J Periodontol*. 2014;85:1214–21. doi: 10.1902/jop.2014.130615
77. Sahrman P, Schoen P, Naenni N, Jung R, Attin T, Schmidlin PR. Peri-implant bone density around implants of different lengths: A 3-year follow-up of a randomized clinical trial. *J Clin Periodontol*. 2017;44:762–8. doi: 10.1111/jcpe.12737
78. Zadeh HH, Guljé F, Palmer PJ, Abrahamsson I, Chen S, Mahallati R és mtsai. Marginal bone level and survival of short and standard-length implants after 3 years: An Open Multi-Center Randomized Controlled Clinical Trial. *Clin Oral Implants Res*. 2018;29:894–906. doi: 10.1111/clr.13341
79. Blanes RJ, Bernard JP, Blanes ZM, Belser UC. A 10-year prospective study of ITI dental implants placed in the posterior region. II: Influence of the crown-to-implant ratio and different prosthetic treatment modalities on crestal bone loss. *Clin Oral Implants Res*. 2007;18:707–14. doi: 10.1111/j.1600-0501.2006.01307.x
80. Anitua E, Alkhraist M, Piñas L, Begoña L, Orive G. Implant Survival and Crestal Bone Loss Around Extra-Short Implants Supporting a Fixed Denture: The Effect of Crown Height Space, Crown-to-Implant Ratio, and Offset Placement of the Prosthesis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29:682–9. doi: 10.11607/jomi.3404
81. Tawil G, Aboujaoude N, Younan R. Influence of prosthetic parameters on the survival and complication rates of short implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2006;21:275–82.
82. Mertens C, Bäumer-Meyer A, Kappel H, Hoffmann J, Steveling HG. Use of 8-mm and 9-mm implants in atrophic alveolar ridges: 10-year results. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2012;27:1501–8.

83. Kotsovilis S, Fourmoussis I, Karoussis IK, Bamia C. A Systematic Review and Meta-Analysis on the Effect of Implant Length on the Survival of Rough-Surface Dental Implants. *J Periodontol*. 2009;80:1700–18 doi: 10.1902/jop.2009.090107.
84. Javed F, Romanos GE. Role of implant diameter on long-term survival of dental implants placed in posterior maxilla: a systematic review. *Clin Oral Investig*. 2015;19:1–10. doi: 10.1007/s00784-014-1333-z
85. Telleman G, Raghoobar GM, Vissink A, den Hartog L, Huddleston Slater JJR, Meijer Henny JA. A systematic review of the prognosis of short (<10 mm) dental implants placed in the partially edentulous patient. *J Clin Periodontol*. 2011;38:667–76. doi: 10.1111/j.1600-051X.2011.01736.x
86. Lai HC, Si MS, Zhuang LF, Shen H, Liu YI, Wismeijer D. Long-term outcomes of short dental implants supporting single crowns in posterior region: a clinical retrospective study of 5–10 years. *Clin Oral Implants Res*. 2013;24:230–7. doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02452.x
87. Deporter D. Short Dental Implants: What Works and What Doesn't? A Literature Interpretation. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2013;33:457–64. doi: 10.11607/prd.1304
88. Friber B, Jemt T, Lekholm U. Early Failures in 4,641 Consecutively Placed Branemark Dental Implants. A Study from Stage I Surgery to the Connection of Completed Prosthesis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1991;6:142–6.
89. Lekholm U, Gunne J, Henry P. Survival of the Brånemark implant in partially edentulous jaws: a 10-year prospective multicenter study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1999;14:639–45.
90. Lemos CAA, Ferro-Alves ML, Okamoto R, Mendonça MR, Pellizzer EP. Short dental implants versus standard dental implants placed in the posterior jaws: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2016;47:8–17. doi: 10.1016/j.jdent.2016.01.005

91. Kopecka D, Simunek A, Brezda T, Rota M, Slezak R, Capek L. Relationship between subsinus bone height and bone volume requirements for dental implants: a human radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2012;27:48–54. doi: 10.7727/wimj.2013.059
92. Zijdeveld SA, van den Bergh JPA, Schulten EAJM, ten Bruggenkate CM. Anatomical and Surgical Findings and Complications in 100 Consecutive Maxillary Sinus Floor Elevation Procedures. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2008;66:1426–38. doi: 10.1016/j.joms.2008.01.027
93. Cho SC, Wallace. SS, Froum SJ, Tarnow DP. Influence of anatomy on Schneiderian membrane perforations during sinus elevation surgery: three-dimensional analysis. *Pract Proced Aesthet Dent*. 2001;13:160–3.
94. Aimetti M, Massei G, Morra M, Cardesi E, Romano F. Correlation between gingival phenotype and Schneiderian membrane thickness. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2008;23:1128-32.
95. Barach P, Johnson JK, Ahmad A, Galvan C, Bognar A, Duncan R és mtsai. A prospective observational study of human factors, adverse events, and patient outcomes in surgery for pediatric cardiac disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2008;136:1422–8. doi: 10.1016/j.jtcvs.2008.03.071
96. Robiony M, Tenani G, Sbuelz M, Casadei M. A simple method for repairing membrane sinus perforation. *Open Journal of Stomatology*. 2012;2:348-351. doi: 10.4236/ojst.2012.24059
97. Wetzel CM, Kneebone RL, Woloshynowych M, Nestel D, Moorthy K, Kidd J és mtsai. The effects of stress on surgical performance. *The American Journal of Surgery*. 2006;191:5–10. doi: 10.1016/j.amjsurg.2005.08.034
98. Weigl M, Stefan P, Abhari K, Wucherer P, Fallavollita P, Lazarovici M és mtsai. Intra-operative disruptions, surgeon's mental workload, and technical performance in a full-scale simulated procedure. *Surg Endosc*. 2016;30:559–66. doi: 10.1007/s00464-015-4239-1

99. Fan T, Li Y, Deng WW, Wu T, Zhang W. Short Implants (5 to 8 mm) Versus Longer Implants (5-8 mm) with Sinus Lifting in Atrophic Posterior Maxilla: A Meta-Analysis of RCTs. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2017;19:207–15. doi: 10.1111/cid.12432
100. Pohl V, Thoma DS, Sporniak-Tutak K, Garcia-Garcia A, Taylor TD, Haas R és mtsai. Short dental implants (6 mm) versus long dental implants (11–15 mm) in combination with sinus floor elevation procedures: 3-year results from a multicentre, randomized, controlled clinical trial. *J Clin Periodontol*. 2017;44:438–45. doi: 10.1111/jcpe.12694
101. Rocchietta I, Fontana F, Simion M. Clinical outcomes of vertical bone augmentation to enable dental implant placement: a systematic review. *J Clin Periodontol*. 2008;35:203–15. doi: 10.1111/j.1600-051X.2008.01271.x
102. Saulačić N, Somosa MM, de los Angeles LCM, García GA. Complications in Alveolar Distraction Osteogenesis: A Clinical Investigation. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2007;65:267–74. doi: 10.1016/j.joms.2006.03.049
103. Urban IA, Montero E, Monje A, Sanz-Sánchez I. Effectiveness of vertical ridge augmentation interventions: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*. 2019;46:319–39. doi: 10.1111/jcpe.13061
104. Milinkovic I, Cordaro L. Are there specific indications for the different alveolar bone augmentation procedures for implant placement? A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2014;43:606–25. doi: 10.1016/j.ijom.2013.12.004
105. Haerle F, Champy M, Bill CT, Reinhardt A. Atlas of Craniomaxillofacial Osteosynthesis. Chapter: Alveolar Bone Distraction. Thieme. 2009: 162-164. doi: 10.1055/b-002-72255
106. Chiapasco M, Casentini P, Zaniboni M. Bone augmentation procedures in implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009;24:237–59.
107. De Bruyn, Bouvry P, Collaert B, De Clercq C, Persson GR, Cosyn J. Long-Term Clinical, Microbiological, and Radiographic Outcomes of Brånemark™ Implants

Installed in Augmented Maxillary Bone for Fixed Full-Arch Rehabilitation. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2013;15:73–82. doi: 10.1111/j.1708-8208.2011.00359.x

108. Fontana F, Maschera E, Rocchietta I, Simion M. Clinical classification of complications in guided bone regeneration procedures by means of a nonresorbable membrane. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2011;31:265–73.

109. Bach L. Bone augmentation: Failures and complications. *Peri-implant Advisory.* 2020.

110. Sagheb K, Schiegnitz E, Moergel M, Walter C, Al-Nawas B, Wagner W. Clinical outcome of alveolar ridge augmentation with individualized CAD-CAM-produced titanium mesh. *Int J Implant Dent.* 2017;3:36. doi: 10.1186/s40729-017-0097-z

111. Tabrizi R, Arabion H, Aliabadi E, Hasanzadeh F. Does increasing the number of short implants reduce marginal bone loss in the posterior mandible? A prospective study. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2016;54:731–5. doi: 10.1016/j.bjoms.2016.04.010

112. Felice P, Barausse C, Pistilli R, Ippolito D, Esposito M. Five-year results from a randomised controlled trial comparing prostheses supported by 5-mm long implants or by longer implants in augmented bone in posterior atrophic edentulous jaws. *Int J Oral Implantol.* 2019;12:25–37.

113. Nisand D, Picard N, Rocchietta I. Short implants compared to implants in vertically augmented bone: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26:170–9. doi: 10.1111/clr.12632

114. Mendonça JA, Francischone CE, Senna PM, Matos de Oliveira AE, Sotto-Maior BS. A Retrospective Evaluation of the Survival Rates of Splinted and Non-Splinted Short Dental Implants in Posterior Partially Edentulous Jaws. *J Periodontol.* 2014;85:787–94. doi: 10.1902/jop.2013.130193

115. Serino G, Ström C. Peri-implantitis in partially edentulous patients: association with inadequate plaque control. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20:169–74. doi: 10.1111/j.1600-0501.2008.01627.x
116. Rossi F, Botticelli D, Cesaretti G, De Santis E, Storelli S, Lang NP. Use of short implants (6 mm) in a single-tooth replacement: a 5-year follow-up prospective randomized controlled multicenter clinical study. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27:458–64.
117. Bain CA, Moy PK. The association between the failure of dental implants and cigarette smoking. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1993;8:609–15.
118. Vervaeke S, Collaert B, Cosyn J, De Bruyn H. A 9-Year Prospective Case Series Using Multivariate Analyses to Identify Predictors of Early and Late Peri-Implant Bone Loss. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2016;18:30–9. doi: 10.1111/cid.12255
119. De Bruyn H, Christiaens V, Doornewaard R, Jacobsson M, Cosyn J, Jacquet W és mtsai. Implant surface roughness and patient factors on long-term peri-implant bone loss. *Periodontol 2000.* 2017;73:218–27. doi: 10.1111/prd.12177
120. Shephard DA. The 1975 Declaration of Helsinki and consent. *Can Med Assoc J.* 1976;115 (12):1191–2.
121. World Medical Association Declaration of Helsinki. *JAMA.* 2013;310:2191. doi: 10.1001/jama.2013.281053
122. <https://www.r-project.org/> Megtekintés dátuma: 2024. 04. 03.
123. ASA Physical Status Classification System. <https://www.asahq.org/standards-and-guidelines/asa-physical-status-classification-system> Megtekintés dátuma: 2024. 04. 03.
124. Kozlovsky A, Tal H, Laufer B-Z, Leshem R, Rohrer MD, Weinreb M és mtsai. Impact of implant overloading on the peri-implant bone in inflamed and non-inflamed peri-implant mucosa. *Clin Oral Implants Res.* 2007;18:601–10. doi: 10.1111/j.1600-0501.2007.01374.x

125. Klineberg IJ, Trulsson M, Murray GM. Occlusion on implants - is there a problem? *J Oral Rehabil.* 2012;39:522–37. doi: 10.1111/j.1365-2842.2012.02305.x
126. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1986;1:11–25.
127. Sodnom-Ish B, Eo MY, Kim MJ, Kim SM. A 10-year survival rate of tapered self-tapping bone-level implants from medically compromised Korean patients at a maxillofacial surgical unit. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2023;45:35. doi: 10.1186/s40902-023-00401-w
128. Misch CE, Perel ML, Wang H-L, Sammartino G, Galindo-Moreno P, Trisi P és mtsai. Implant Success, Survival, and Failure: The International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference. *Implant Dent.* 2008;17:5–15. doi: 10.1097/ID.0b013e3181676059
129. Sang-Yun K, Jeong-Kui K, Hyun-Suk K, Pil-Young Y, Young-Kyun K. A retrospective clinical study of single short implants (less than 8 mm) in posterior edentulous areas. *J Adv Prosthodont.* 2018;10:191. doi: 10.4047/jap.2018.10.3.191
130. Benlidayi ME, Ucar Y, Tatli U, Ekren O, Evlice B, Kisa HI és mtsai. Short Implants Versus Standard Implants. *Implant Dent.* 2018;27:95–100. doi: 10.1097/ID.0000000000000710
131. Cosola S, Marconcini S, Boccuzzi M, Menchini FGB, Covani U, Peñarrocha-Diago M és mtsai. Radiological Outcomes of Bone-Level and Tissue-Level Dental Implants: Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17:6920. doi: 10.3390/ijerph17186920
132. Avağ C, Akkocaoğlu M. The evaluation of stress on bone level and tissue level short implants: A Finite Element Analysis (FEA) study. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2023;124:101298. doi: 10.1016/j.jormas.2022.09.019
133. Mombelli A, Lang NP. Clinical parameters for the evaluation of dental implants. *Periodontol 2000.* 1994;4:81–6. doi: 10.1111/j.1600-0757.1994.tb00008.x

134. Villarinho EA, Triches DF, Alonso FR, Mezzomo LAM, Teixeira ER, Shinkai RSA. Risk factors for single crowns supported by short (6-mm) implants in the posterior region: A prospective clinical and radiographic study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2017;19:671–80. doi: 10.1111/cid.12494
135. Sharma A, Waddell JN, Li KC, A Sharma L, Prior DJ, Duncan WJ. Is titanium–zirconium alloy a better alternative to pure titanium for oral implant? Composition, mechanical properties, and microstructure analysis. *Saudi Dent J*. 2021;33:546–53. doi: 10.1016/j.sdentj.2020.08.009
136. Haimov E, Sarikov R, Haimov H, Juozdbalys G. Differences in Titanium, Titanium–Zirconium, Zirconia Implants Treatment Outcomes: a Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *J Oral Maxillofac Res*. 2023;14:e1 doi: 10.5037/jomr.2023.14301
137. Lang NP, Salvi GE, Huynh-Ba G, Ivanovski S, Donos N, Bosshardt DD. Early osseointegration to hydrophilic and hydrophobic implant surfaces in humans. *Clin Oral Implants Res*. 2011;22:349–56. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02172.x
138. Şener-Yamaner ID, Yamaner G, Sertgöz A, Çanakçı CF, Özcan M. Marginal Bone Loss Around Early-Loaded SLA and SLActive Implants. *Implant Dent*. 2017;26:592–9. doi: 10.1097/ID.0000000000000625
139. Naguib GH, Hashem ABH, Natto ZS, Abougazia AO, Mously HA, Hamed MT. The Effect of Implant Length and Diameter on Stress Distribution of Tooth-Implant and Implant Supported Fixed Prostheses: An In Vitro Finite Element Analysis Study. *Journal of Oral Implantology*. 2023;49:46–54. . doi: 10.1563/aaid-joi-D-21-00023
140. Arosio P, Arosio F, Di Stefano DA. Implant Diameter, Length, and the Insertion Torque/Depth Integral: A Study Using Polyurethane Foam Blocks. *Dent J (Basel)*. 2020;8:56. doi: 10.3390/dj8020056
141. Vargas-Moreno VF, Ribeiro MCO, Gomes RS, Faot F, Del Bel CAA, Marcello-Machado RM. Clinical performance of short and extrashort dental implants with wide

diameter: A systematic review with meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.01.004>.

142. Ku J, Yi YJ, Yun PY, Kim YK. Retrospective clinical study of ultrawide implants more than 6 mm in diameter. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2016;38:30. doi: 10.1186/s40902-016-0075-z

143. Malmstrom H, Gupta B, Ghanem A, Cacciato R, Ren Y, Romanos GE. Success rate of short dental implants supporting single crowns and fixed bridges. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27:1093–8. doi: 10.1111/clr.12693

144. Lombardo G, Pigghi J, Marincola M, Corrocher G, Simancas-Pallares M, Nocini PF. Cumulative Success Rate of Short and Ultrashort Implants Supporting Single Crowns in the Posterior Maxilla: A 3-Year Retrospective Study. *Int J Dent.* 2017;2017:1–10. doi: 10.1155/2017/8434281

145. Vetromilla BM, Mazzetti T, Pereira-Cenci T. Short versus standard implants associated with sinus floor elevation: An umbrella review of meta-analyses of multiple outcomes. *J Prosthet Dent.* 2021;126:503–11. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.002

146. Badaró M, Marin D, Pauletto P, Gonçalves T, Porporatti A, De Luca Canto G. Failures in Single Extra-Short Implants (≤ 6 mm): A Systematic Review and Meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2021;36:669–89. doi: 10.11607/jomi.8689

11. Saját publikációk jegyzéke

11.1 A disszertációhoz kapcsolódó közlemények:

Bérczy K, Göndöcs Gy, Komlós Gy, Shkolnik T, Szabó Gy, Németh Zs. Outcomes of treatment with short dental implants compared with standard-length implants: A retrospective clinical study. *Maxillofac Plastic Reconstr Surg*. 2024; 46:1:6 doi: 10.1186/s40902-024-00419-8. (2023 IF: 2,3 2024 várható IF:2,0)

Koppány F, **Bérczy K**, Körmöczi K. Németh Zs. Fogászati implantátumok csontbeépülését befolyásoló, „klasszikus” tényezők változásai az elmúlt évtizedekben. *Orvosi Hetilap*. 2019; 37: 1455–1463. (2019 IF: 0, 497)

Bérczy K, László Zs, Göndöcs Gy, Joób-Fancsaly Á. Az implantátumok méretváltozásának tendenciái az utóbbi években 1. rész. Rövid implantátumok szerepe a fogászati implantológiában. Irodalmi áttekintés. *Fogorvosi Szemle*. 2016; 4: 136-140 (2016 IF: 0)

11.2. A disszertációhoz nem kapcsolódó közlemények:

Bogdán S, **Bérczy K**, Hardi E, Kaposvári I, Németh Zs. A bölcsességfogak sebészete 2023-ban. *Orvosi Hetilap*. 2023; 164. 48: 1887-1894 (2023 IF: 0,8)

Bérczy K, Lőrincz Á, Fónyad L, Princz Gy. A sinus maxillaris mucormycosis fertőzésének diagnosztikai problémái. Esetbemutatás. *Fogorvosi Szemle*. 2017; 1: 15-19 (2017 IF: 0)

12. Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki témavezetőmnek, **Dr. Joób-Fancsaly Árpád** Docens Úrnak, hogy segített a tudományos munkám kidolgozásában, végig kísért és támogatott nem csak a dolgozatom elkészítésében, hanem egész eddig pályafutásom során. Mindig motivált, és tanácsokkal látott el a tudományos munka egész ideje alatt. Szakmai vezetése és barátsága nélkül ma biztosan nem tarthatnék itt.

Köszönöm munkahelyi vezetőmnek, **Dr. Németh Zsolt** Professzor Úrnak, hogy bár nem témavezetőm, de szintén mindig számíthattam szakmai és baráti tanácsaira. Támogatta szakmai pályafutásomat, és humorával átlendített egy-egy nehéz pillanaton.

Hálás vagyok **Dr. Szabó György** Professzor Úrnak, amiért a szakma iránti elkötelezettségével, alázatával nap, mint nap ösztönöz.

Köszönöm **Dr. Göndöcs Györgynek, Dr. László Zsuzsának, Dr. Kaján Zsoltnak, Dr. Galambos Bencének, Dr. Csomó Krisztiánnak** a vizsgálat kivitelezésében nyújtott segítséget.

Hálás vagyok a Semmelweis Egyetem, Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinika minden dolgozójának, akik lehetővé tették, hogy a betegellátás mellett legyen időm a tudományos munkám elkészítéséhez.

Köszönöm közvetlen Kollégáimnak (**Dr. Erdei Csilla, Dr. Körmöczy Kinga, Dr. Csurgay Katalin, Dr. Komlós György, Dr. Koppány Ferenc**), hogy szakmailag és barátilag is támogattak a nehezebb pillanatokban.

Köszönöm barátaim feltétel nélküli támogatását.

És végül, de nem utolsósorban ajánlom ezt a dolgozatot Családom minden tagjának, kiváltképp Édesanyámnak, Édesapámnak, akik egész életemben mellettem álltak, támogattak és lehetővé tették, hogy mindig csak arra tudjak koncentrálni, amire éppen szükséges.

Ábrajegyzék

- 1. ábra.** Esztergált felszínű implantátum elektronmikroszkópos képe 5.000X-es nagyításon [23]
- 2. ábra.** SLA felszínű implantátum elektronmikroszkópos képe 4000X-es nagyításban [24]
- 3. ábra.** 4 éve funkcióban lévő „plateau root form” implantátumok [32]
- 4.a. ábra.** Press-fit típusú implantátum makroszkópos képe [33]
- 4.b. ábra.** 12 éve funkcióban lévő press-fit implantátum röntgenfelvétele [33]
- 5. ábra.** Párhuzamos falú BL implantátum röntgenképe (SE, Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinika képanyagából)
- 6. ábra.** Gyökérformájú BL implantátum röntgenképe (SE, Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinika képanyagából)
- 7. ábra.** Párhuzamos falú TL típusú implantátum röntgenképe (SE, Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinika képanyagából)
- 8. ábra.** A fogászati implantátumokhoz használt tipikus menetkialakítások. (a) Szabványos V-menet, (b) Négyzetes menet, (c) Támpilléres menet, (d) Fordított támpilléres menet [42]
- 9. ábra.** Szubkresztálisan behelyezett BL implantátum radiológiai képe [43]
- 10. ábra.** (a) Esztergált felszínű és (b) nanostruktúrált felszínű implantátumok fénymikroszkópos képe 4 (1. kép), illetve 6 hét (2. kép) után [71]
- 11. ábra.** Rágás közben az implantátumot különböző szögekben függőleges, nyíró és oldalirányú (azaz a tengelyen kívüli) erők kombinációi érik. A csavar implantátumok alacsony ellenállással rendelkeznek a tengelyen kívüli erőkkel szemben, ezért elhajlanak az erővektortól, ami elsősorban a kompressziós csontterhelést eredményezi a kresztális csontban, és az átlósan ellentétes oldalon lévő periapikális csontban [75]
- 12. ábra.** *Zadeh és mtsai.* vizsgálatában a rövid és standard implantátumok MBL változásai [78]
- 13. ábra.** A nervus alveolaris inferior transzpozíciója (Dr. Bogdán Sándor képanyagából)
- 14. ábra.** Nyitott sinus lift műtét közben bekövetkezett membrán perforáció [96]
- 15. ábra.** A rövid implantátum használatával elkerült sinuslift műtét röntgenképen történő ábrázolása [31]
- 16. ábra.** Disztraktor felhelyezésének sematikus ábrája az alsó állcsonton [105]

17. ábra. Disztraktor alkalmazása a vertikálisan sorvadt alsó állcsont frontális régiójában. Kiindulási állapot (a). Intraoperatív szituáció a disztraktor felhelyezésekor (b). A disztrakció klinikai eredménye (c). (Dr. Bogdán Sándor képanyagából)

18. ábra. Csontblokk áthelyezést követően a nyálkahártya fenesztrálódott [109]

19. ábra. GBR-t követő membrán expozíció [110]

20. ábra. Bone level (a, c) és Tissue level (b, d) implantátumok radiológiai és klinikai képe. A fehér vonal jelzi a vizsgálatban alkalmazott MBL szintjének viszonyítási határát [31]

21. ábra. A rövid (a) és a standard (b) méretű implantátumok protetikai megterhelés óta eltelt időt szemlélteti %-ban kifejezve

22. ábra. A rövid (a) és standard (b) implantátumok SLPI értékének %-os eloszlása

23. ábra. A rövid (a) és standard (b) implantátumok BOP értékének %-os eloszlása

24. ábra. Az átlagos szondázási mélység értékek a rövid és standard méretű implantátumok körül

25. ábra. Átlagos MBL meziálisan és disztálisan, rövid implantátumok esetén

26. ábra. Átlagos MBL meziálisan és disztálisan, standard implantátumok esetén

Táblázatjegyzék

- 1. táblázat.** *Zadeh és mtsai.* eredményeinek összefoglaló táblázata [78]
- 2. táblázat.** A rövid implantátumok alkalmazásának előnyei és nehézségei [41]
- 3. táblázat.** A vizsgálatban szereplő implantátumok jellemzői
- 4. táblázat.** Rövid implantátumok állcsontok és fogcsoportok szerinti eloszlása
- 5. táblázat.** Standard méretű implantátumok állcsontok és fogcsoportok szerinti eloszlása
- 6. táblázat.** ASA klasszifikáció [122]
- 7. táblázat.** Az esetek százalékos megoszlása a protetikai terhelés óta eltelt idő szerint
- 8. táblázat.** Az SLPI és a BOP értékek a teszt és kontroll csoportban
- 9. táblázat.** PD értékek a rövid és standard implantátumok körül
- 10. táblázat.** A PD statisztikai tesztjeinek p -értékei
- 11. táblázat.** Az MBL statisztikai tesztjeinek p -értékei
- 12. táblázat.** Implantátumok sikerességének felosztása [127]

RESEARCH

Open Access



Outcomes of treatment with short dental implants compared with standard-length implants: a retrospective clinical study

Kinga Bérczy^{1*} , György Göndöcs¹, György Komlós¹, Tatiana Shkolnik¹, György Szabó¹ and Zsolt Németh¹

Abstract

Background The size of dental implants is a key success factor for appropriate osseointegration. Using shorter implants allows the possibility of avoiding complex surgical procedures and reduces the morbidity of treatment. Shorter implants also enable implant-prosthetic rehabilitation after maxillofacial reconstructions where only limited bone is available. In this study, the success rates of short implants were examined and compared to those of standard-sized implants.

Methods Patients who received dental implants between 2007 and 2016 at the Department of Oro-Maxillofacial Surgery and Stomatology Semmelweis University were enrolled in the study. Several clinical parameters were recorded and supplemented with radiological examinations. The data were statistically analysed.

Results Thirty-four patients with a total of 60 implants were included. The average time after prosthetic loading was 39.33 ± 21.96 months in the group with 8-mm implants and 41.6 ± 27.5 months in the group with > 8-mm implants. No significant differences were observed between the two groups in terms of probing depth (short implants, 2.84 ± 0.09 mm; standard implants, 2.91 ± 0.35 mm) or mean marginal bone loss (short implants, 1.2 ± 1.21 -mm mesially and 1.36 ± 1.47 -mm distally; standard implants: 0.63 ± 0.80 -mm mesially and 0.78 ± 0.70 -mm distally).

Conclusions In this study, the success rate of short dental implants was comparable to that of standard-sized implants. Consequently, it can be claimed that the long-term success of short dental implants does not differ significantly from the long-term success of standard implants.

Keywords Short implants, Standard implants, Success rate

Background

In the 1980s, Albrektsson and Brånemark [1] described the necessary conditions to achieve optimal osseointegration. These factors included the following: implant material, adequate surgical technique, prosthetic loading, implant surface treatment, and implant size. The

use of short implants raises questions in several areas. The primary stability, the bone-implant contact, the increased crown-implant ratio, and their combined effect on marginal bone loss, as well as the long-term success of the implant, are questionable. However, many factors have changed since the 1980s. Surface-treated implants appeared, new implant materials and different implant forms were developed, and new surgical techniques have been developed. However, the implant length and the definition of short implants are changing continuously. In the past, implants shorter than 10 mm placed in the lower jaw and shorter than 13 mm placed in the upper jaw were considered to be risk factors for implant success

*Correspondence:

Kinga Bérczy
berczy.kinga@semmelweis.hu

¹ Faculty of Dentistry, Department of Oro-Maxillofacial Surgery and Stomatology, Semmelweis University, Mária Street 52, 1085 Budapest, Hungary

[2]. Furthermore, it was expected that short implants would have a lower success rate and an unpredictable survival rate. Even in the early 2000s, numerous publications described short dental implants as being less successful than standard implants of conventional length [3, 4]. Later, in 2016, at the European Association of Dental Implantologists (EDI) consensus meeting, a short implant was defined as being 8-mm long [5]. At the same meeting, the recommendation was issued that short implants should be a minimum of 3.75 mm in diameter. The term “ultrashort implant” has emerged, describing implants with a length of 6 mm. For ultrashort implants, there is insufficient evidence to make recommendations at this time. These definitions were confirmed in 2023 at the 18th EDI conference [6]. Publications from the end of the 2010s reported more favourable data on the success of short implants [7–9]. According to the current classification, the 8-mm-long implants included in our study were considered short, and implants larger than 8 mm were considered standard. The use of short implants has many advantages. Bone vertical augmentation, as well as sinus elevation procedures in the posterior maxilla directed to increase vertical dimensions, can be avoided. Furthermore, compared with implant placement combined with bone augmentation, there is a lower risk of damaging important anatomical structures, a lower morbidity, a shorter treatment time, and an overall lower cost [10–12]. The use of short implants can have advantages not only in the case of jaw atrophy but also in jaw reconstruction surgery involving the fibula or scapula because, due to limited bone volume, the use of a short implant better facilitates prosthetic rehabilitation [13, 14]. The aim of the present study was to clinically and radiographically assess the success of short and standard implants in a retrospective comparative clinical trial.

Methods

Study design

Patients who had received at least one dental implant during 2007–2016 at the Department of Oro-Maxillofacial Surgery and Stomatology Semmelweis University, Budapest, Hungary, were enrolled in the study. The inclusion criteria were as follows: no medical conditions that would adversely influence the long-term outcomes of implant therapy (such as diabetes mellitus and immunosuppressive status); nonsmoking; good oral hygiene; and at least 6 months of loading. The exclusion criteria were as follows: the use of systemic steroids, bisphosphonate therapy, pathological conditions at the study sites, misfitting of prosthetic components, malocclusions, bruxism, or no bone augmentation (neither at the same time as the implantation nor prior to the implantation).

The study protocol was approved by the National Institute of Pharmacy and Nutrition (reference number: Országos Gyógyszerészeti és Élelmezés-egészségügyi Intézet/29164/2019). The data collection was performed with the understanding and written informed consent of every participant. The study was conducted in full accordance with the Helsinki Declaration of 1975 [15], as revised in 2013 [16]. The patients were divided into two groups: (i) patients with 8-mm-long implants (test group) and (ii) patients with >8-mm-long implants (control group). Implants with a length of 8 mm were considered short implants according to the latest guidelines of the European Association of Dental Implantologists [6]. Envelope or triangular mucoperiosteal flaps were prepared, and a two-phase surgical technique was used. In all cases, the implants had adequate primary stability (25–35 Ncm). The implants were exposed and loaded 3 months after the insertion.

Data collection

For the radiographic analysis, *long-cone* intraoral radiographs were taken to identify mesial and distal marginal bone loss (MBL) as the primary outcome measure. MBL was measured either from the implant platform in the case of bone level (BL) implants or from the border of treated and polished implant surfaces in the case of tissue level (TL) implants. The following clinical parameters were assessed as secondary outcome measures: probing depth at six sites per implant (mesiobuccal, buccal, distobuccal, disto-oral, oral, mesio-oral), the *Silness–Löe plaque index* (SLPI), and bleeding on probing (BOP). Furthermore, the extent of tooth loss (total, partial, single); the type of prosthesis (single crown, fixed partial denture, full arch bridge); and the duration of prosthetic implant loading were also recorded. The following implant parameters were recorded: implant size, position, diameter, type, material, and surface.

Statistical analysis

We followed a two-step approach of (i) exploratory data analysis [17] and (ii) a subsequent confirmatory data analysis. In the exploratory step, the relevant phenomena in the underlying data were verified at a high level. Pairwise correlations amongst the numeric variables were calculated, and the results were visually investigated. Additional graphical techniques were applied to gain insight into the characteristics of the data, such as their normality. In the confirmatory step, a test of equal values was carried out between the test and control group data. Having gained no relevant insight into the correlations between the variables in the prior step, the following independent variables were manually selected for the test:

- The type of implant (BL or TL);
- Observable BOP;
- The value of the SLPI;
- The type of tooth loss (free-end situation, complete edentulism in one arch, total edentulism in both arches).

Using these independent variables, Welch's *t* tests of unequal variances were carried out. Welch's *t* test is an adaptation of Student's *t* test, with improved reliability for data samples with unequal variances and unequal sample sizes. Even though Welch's test assumes a normal distribution of the underlying data, it is considered to be robust against deviations from normality.

The null hypothesis stated that the means of the two samples would not be significantly different. Upon observation of a *p* value that was above the chosen significance threshold of 0.05, the null hypothesis was accepted; i.e. the two samples were considered not to be different. Upon observation of a *p* value that was less than the chosen significance threshold of 0.05, the null hypothesis was rejected, and the alternate hypothesis was accepted; i.e. the two samples were considered significantly different.

Results

Patient demographics

In the present study, 34 patients with 60 Straumann (Straumann Holding AG, Basel, Switzerland) implants were enrolled. The test group included 17 patients with 30 short implants, whilst the control group included 17 patients with 30 standard implants. The mean age of the patients was 56.94 ± 14.74 years in the test group and 60.31 ± 10.46 years in the control group. Table 1 shows the study implant characteristics in the test and control groups. All of the selected patients were classified as "Group I" according to the American Society of Anesthesiology (ASA) [18]. Table 2 shows the ASA classification.

Radiographic outcomes

The mean MBL was 1.2 ± 1.21 mm mesially and 1.36 ± 1.47 mm distally for short implants (Fig. 1a) compared to 0.63 ± 0.80 mm mesially and 0.78 ± 0.70 mm distally for the standard-length implants (Fig. 1b). The MBL values in the two groups were compared using Welch's *t* test at a significance level of 0.05. The two MBL values were compared individually on the mesial and distal sides and using their means. The detailed *p* values of Welch's *t* tests are shown in Table 3.

In the case of short BL implants, the mean MBL was 1.44 ± 1.41 mm; in the case of short TL implants, the mean MBL was 1.07 ± 1.16 mm. In the case of standard BL implants, the mean MBL was 0.87 ± 0.90 mm;

Table 1 The relevant properties of the short and standard implants

	Short	Standard
Position		
Front	2	4
Premolar	17	9
Molar	11	17
Diameter		
3.3 mm	10	4
4.1 mm	18	26
4.8 mm	2	0
Type		
Bone-level	17	16
Tissue-level	13	14
Material		
Grade4Ti	26	30
TiZr	4	0
Surface		
SLA	23	30
SLActive	7	0

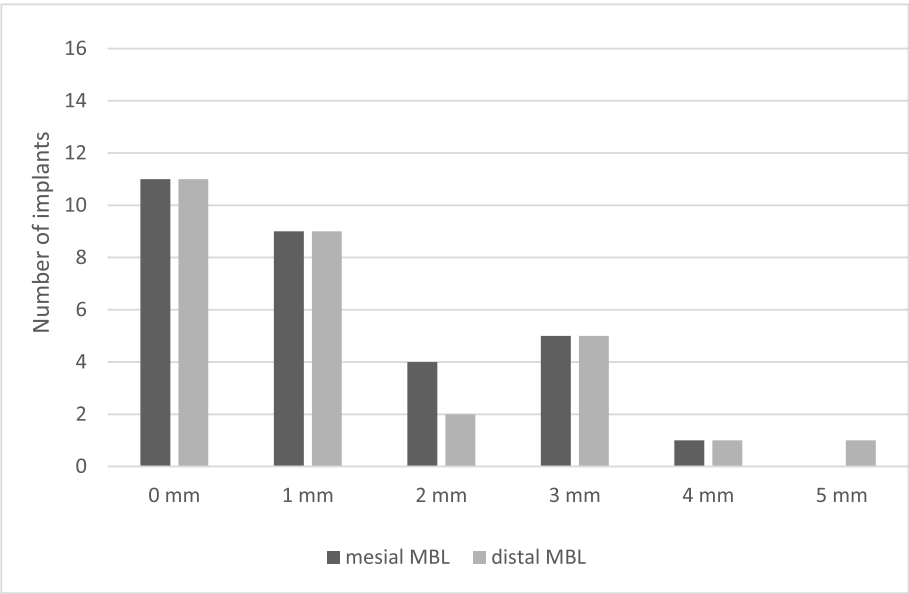
in the case of short TL implants, the mean MBL was 0.46 ± 0.50 mm.

Clinical outcomes

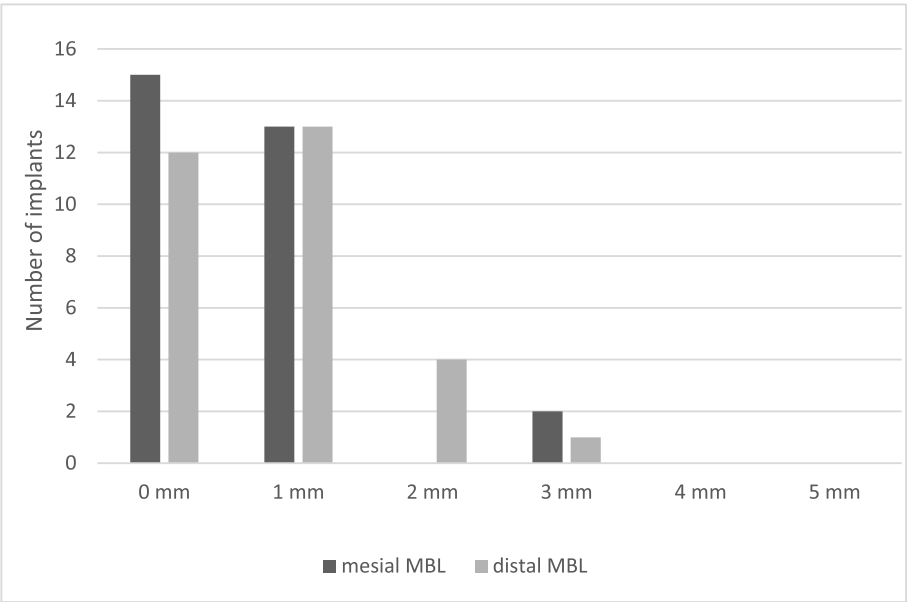
During the study period, the survival rate of the implants was 100% in the test and control groups. The probing depth values measured in the test group were as follows: mesiobuccally, 2.86 ± 1.07 mm; distobuccally, 2.83 ± 1.23 mm; buccally, 2.16 ± 0.98 mm; mesio-orally, 3.16 ± 1.72 mm; disto-orally, 3.06 ± 1.48 mm; and orally, 3.00 ± 1.33 mm. The probing depth values measured in the control group were as follows: mesiobuccally, 3.10 ± 1.26 mm; distobuccally, 3.36 ± 1.29 mm; buccally, 2.46 ± 1.00 mm; mesio-orally, 2.53 ± 0.93 mm; disto-orally, 3.46 ± 1.04 mm; and orally, 2.6 ± 1.10 mm. Table 4 and Fig. 2 summarise the probing depth values measured around the implants at six characteristic points. The probing depth values in the two groups were evaluated using Welch's *t* test at a significance level of 0.05. The six probing depth values were compared (i) in an individually pairwise and (ii) in a mean pairwise fashion. The detailed *p* values of Welch's *t* tests are shown in Table 5. None of the above-listed *p* values were below the significance threshold. However, there were significant differences between the probing depth of each tooth group (front, premolar, molar). For the probing depth values, Welch's *t* tests resulted in *p* values of 0.027 and 0.016 between the front and molar implants and between the front and premolar implants, respectively. The correlation between the probing depth and the time since prosthetic loading

Table 2 The ASA classification

ASA PS classification	Definition
Group I	A normal healthy patient
Group II	A patient with mild systemic disease
Group III	A patient with severe systemic disease
Group IV	A patient with severe systemic disease that is a constant threat to life
Group V	A moribund patient who is not expected to survive without the operation
Group VI	A declared brain-dead patient whose organs are being removed for donor purposes



(a)



(b)

Fig. 1 **a** Mean MBL mesially and distally for short implants. **b** Mean MBL mesially and distally for standard implants

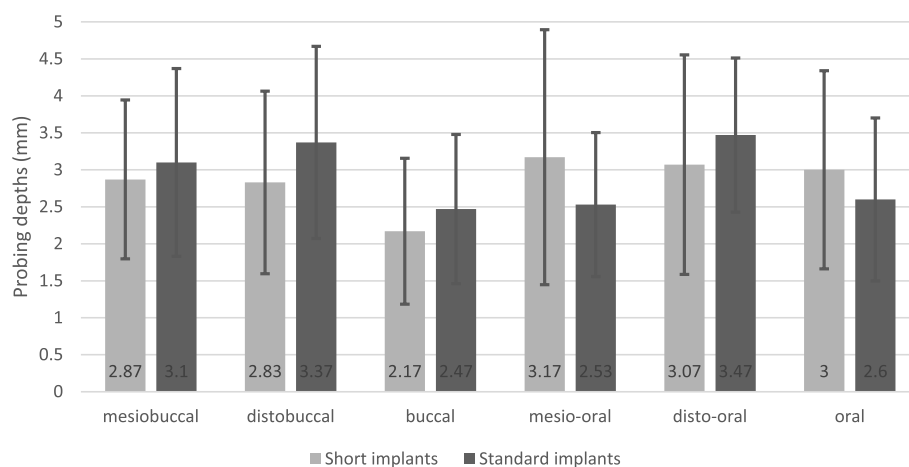
Table 3 The *p* values of the statistical tests for MBL

	<i>p</i> value
Mesial	0.038
Distal	0.071
Mean	0.034

Table 4 Probing depths around short and standard implants

	Short implant (mm)	Standard implant (mm)
Mesiobuccal	2.86	3.10
Distobuccal	2.83	3.36
Buccal	2.16	2.46
Mesio-oral	3.16	2.53
Disto-oral	3.06	3.46
Oral	3.00	2.60
Average	2.84 ± 0.09	2.91 ± 0.35

was calculated to be -0.0759 . The correlation between MBL and the time of prosthetic loading was calculated to be 0.0562. Therefore, we could not correlate between the probing depth and MBL, nor the time since loading. In the case of short BL implants, the mean PD was 2.7 ± 0.75 mm; in the case of short TL implants, the mean PD was 2.9 ± 1.18 mm. In the case of standard BL implants, the mean MBL was 2.93 ± 0.80 mm; in the case of short TL implants, the mean MBL was 2.85 ± 1.07 mm. The *Silness–Löe plaque index* (SLPI) was 0 in 70% of the patients and 1 in 30% of the patients in the test group. The SLPI was 0 in 90% of the patients and 1 in 10% of the patients in the control group. According to the SLPI values, the general oral hygiene of the patients was good. Bleeding on probing was positive in 50% of the patients in the test group and in 30% of the patients in the control group. Table 6 shows the summarised SLPI and BOP values for the test and control groups. The average time period of prosthetic loading was 39.33 ± 21.96 months in the test group and 41.6 ± 27.5 months in the control group. The minimum time since prosthetic loading was

**Fig. 2** Probing depths around short and standard implants**Table 5** The *p* values of the statistical tests for probing depth

	<i>p</i> value
Mesiobuccal	0.445
Distobuccal	0.108
Buccal	0.248
Mesio-oral	0.076
Disto-oral	0.232
Oral	0.211
Mean	0.762

Table 6 The SLPI and BOP values in the test and control groups

	Test group	Control group
SLPI 0	70%	90%
SLPI 1	30%	10%
BOP	50%	30%

9 months in the test group and 20 months in the control group. The maximum time since prosthetic loading was 95 months in the test group and 134 months in the control group. In the test group, the loading time was more than 2 years in 67% of the cases and longer than 5 years

in 30% of the cases. In the control group, the loading time was greater than 2 years in 83.33% of the cases and exceeded 5 years in 13.3% of the cases. Table 7 shows the distribution in percentage of the cases according to the prosthetic loading time. In both the test and the control groups, the patients had fixed prosthetic appliances on the placed implants (single crowns and bridges). None of the patient groups required an axis correction abutment during the fabrication of fixed prosthetic appliances. A prosthetic abutment fracture was not registered.

Discussion

The MBL values of the two groups were compared (i) individually on the mesial and distal sides and (ii) using their means. Even though the mean MBL demonstrated a true difference between the means of the two samples, the inconsistency in the detailed MBL values did not support this observation. On the one hand, the MBL values on the mesial side demonstrated a significant difference between the groups with short implants and standard implants; on the other hand, the MBL values on the distal sides were comparable. Additionally, the results above were very close to the *p* value threshold of 0.05. These inconsistent MBL results can be explained on the basis of a problem originating from the measurement method. Most notably, deviations in the implant angulation in the oral or the vestibular direction could result in distorted radiographic images; thus, marginal bone loss in particular can appear larger than it is in reality. Together with the observations of the probing depth and the plausible explanation of the measurement errors, these findings indicate that there was no significant difference between the mean MBLs around the short and standard implants.

In our study, there was not a significant difference between the BL and TL implants in the test and control group in terms of mean MBL or PD. This result aligns with the data available in the literature, indicating no difference in terms of MBL between the two implant types [19]; if there is adequate keratinized gingiva around the implant, the success rate is almost the same [20]. Based on in vitro tests, higher stress values can be measured around short BL implants but are not high enough to cause failure [21].

In addition, a significantly greater probing depth on the oral side was recorded, and a correlation with overall oral hygiene habits was demonstrated. This topic is a subject of future studies. Furthermore, the value of the probing depth was expected to be similar to the distance between the marginal bone level and the marginal gingiva [22]; we hypothesised that our study would yield similar results. The probing depth did not differ markedly between the samples. For the probing depth values, Welch's *t* tests resulted in *p* values of 0.027 and 0.016 between the front and the molar and between the front and the premolar implants, respectively.

Depending on the position of the implant, a significant difference could be demonstrated between the implants placed in the front region and those placed in the anterior/posterior regions since proper plaque removal in the molar region is more difficult to achieve than in the front region. Moreover, implants may be exposed to different forces in different regions of the jaws, which could also have affected our results. In our study, we could not compare the results of different teeth, but we could evaluate the different tooth groups, thus the front, premolar, and molar teeth.

The correlations between time after prosthetic loading, probing depth, and MBL were evaluated by calculating the respective correlations of the two measured variables with the prosthetic loading time. No correlation was found, indicating that neither the probing depth nor the MBL increased (nor decreased) as a function of time.

The occurrence of bone loss, however, can be explained by three factors during the loading time, as previously shown [23–25]. First, biomechanical forces act on the interfaces between the implant and bone and between the implant and the abutment. These forces are caused by prosthetic loading. Second, bacterial accumulation in microgaps can occur between the implant and the abutment. Consequent inflammatory reactions may be caused by bacterial flora and other inflammatory agents, such as residual cement at the interface. Plaque accumulation and the type of implant–abutment connection can promote an inflammatory response and osteoclast-induced bone resorption. A third factor of peri-implant bone loss may be traumatic surgery. Amongst the most important aspects, subcrestal implant placement, proper implant positioning, a two-phase surgical protocol, and adequate soft-tissue thickness and contouring are recommended. Although soft tissue management often increases the number of surgical procedures, currently, there is increasing effort to reduce surgical loading in periodontology, e.g. with less invasive flap designs [26, 27]. It has been known since Albrektsson and Bråne-mark [1] published their groundbreaking study in the 1980s that the implant surface plays an important role in

Table 7 Distribution in percentage of the cases according to the prosthetic loading time

Prosthetic loading time	Test group	Control group
> 2 years	67%	83.33%
> 5 years	30%	13.3%
0.5–1 year	6%	0%

osseointegration. Subsequently, different surface treatments have been given greater importance in the long-term success of implants. The interaction of proteins at the nanometric level is emerging as a crucial factor for the integration of implants [28, 29]. Nevertheless, recent studies have shown that with various surface treatments, different osseointegration periods can be achieved [28, 30]. The vast majority of the implants included in our study had an SLA surface. There were seven implants in the test group and zero in the control group with a SLActive surface. A comparison of the two surfaces was thus not possible. The SLActive surface has a more pronounced effect on human bone mesenchymal stem cells [31] and the osseointegration period [32]; however, it has no effect on MBL and the success of the implant in the long term [33].

Osseointegration can also be affected by the material of the implant. Grade 4 Ti and TiZr material implants were found in both examined groups. However, only four implants were made of TiZr in the test group, and zero implants were made of TiZr in the control group. Due to disproportionality, we could not examine this influencing factor. However, implants made of TiZr have a higher modulus of elasticity and greater hardness and thus are more suitable for higher loading [34]; thus, they can have an important role in the use of short implants. The TiZr material also shows better results in terms of MBL than implants made of Ti material [35].

As a result of prosthetic loading, due to biomechanical effects, tension may develop in the bone tissue around the implant. The stress transmission in the bone depends on many factors, such as the length and diameter of the implant. According to in vitro studies, the diameter of the implant is more important than the length of the implant for better stress transmission; however, the length of the implant itself has an effect on the stress generated in the bone [36, 37]. The implant diameter as well as implant colocalization have been identified as further success factors of short implants by Sang-Yun et al. [38] and Tabrizi et al. [39], respectively. In some studies, if wide enough implants were used, then no significant differences were found in the volume of marginal bone resorption or in the implant survival rate according to the length of the implants, surgical type, location of the arch, or prosthetic type [40, 41]. According to the current recommendation of the EDI, if a short implant is used, it should be at least 3.75 mm in diameter [5].

In our study, the primary stability of the implants was not covered. However, the length and diameter of the implant may have an effect on primary stability. According to in vitro studies, in terms of primary stability, the length of the implant has a greater role than the diameter of the implant [42]. A lower primary stability may form

with short implants; this statement is especially true in the case of lower bone quality [43].

A limitation of our study is that it did not include the measurement of the implant-to-crown ratio (C/R ratio). However, based on numerous studies, a high C/R ratio alone does not cause clinically significant MBL [44–46].

The imprecise definition of implant success is a general problem in the literature. Many authors use different explanations and different measurement values, rendering comparisons between their research infeasible, firstly because the definition of success itself is ambiguous and secondly because the method for evaluating the success rate is also not defined. The scale of implant quality established by Misch et al. [47] used in our study summarises existing definitions of success and related data. Based on the mesial and distal MBL data, 21 out of the 30 implants were in the *success* group, 8 implants were in the *satisfactory survival* group, and 1 implant was in the *compromised survival* group. Table 8 shows the Implant Quality Scale groups.

According to the conventions of the scale by Misch, the success rate of the test group in our study was 70%. The success and satisfactory survival rates together yielded 96.66%. Our findings are comparable with other results found in the international literature. In the study of Malmstrom et al. [48], the success rate of short implants was 100% after 2 years of follow-up. Lombardo et al. [49] reported that the success rate of short implants was 97.6% after 3 years of follow-up.

Table 8 The implant quality scale

Implant Quality Scale group	Clinical conditions
I. Success (optimum health)	No pain or tenderness upon function 0 mobility < 2-mm radiographic bone loss from initial surgery No exudate history
II. Satisfactory survival	No pain on function 0 mobility 2–4-mm radiographic bone loss No exudate history
III. Compromised survival	May have sensitivity on function No mobility Radiographic bone loss > 4 mm (less than 1/2 of implant body) Probing depth > 7 mm May have an exudate history
IV. Failure (clinical or absolute failure)	Any of the following: Pain on function Mobility Radiographic bone loss: > 1/2 length of XXX implant Uncontrolled exudate No longer in the mouth

The number of selected patients represents the most significant compromise to the validity of our study. Even though 60 implants were examined in this study, only 34 patients received these implants. This relatively small sample size gives rise to potential success/failure factors in the statistical analysis that remain hidden and therefore cannot be properly measured. However, similar limitations comparable to our research limitations were also identified in the literature. Only systematic reviews feature significantly larger amounts of patient data. Various meta-analyses and systematic reviews indicate that there is no difference between the use of short implants in comparison to standard implants with grafting procedures for the marginal bone level development or success rates [50–52]. However, these findings do not represent the original research results. All the selected patients were classified as “Group I” by the American Society of Anesthesiology classification, but only a small percentage of the overall global population was classified as Group I. However, according to some studies, the general condition does not necessarily significantly affect the long-term success of implants [53].

The use of short implants can have many advantages; however, when using them, it is necessary to take into account what difficulties may arise in the case of a given patient, which may affect the primary stability, the generated tension in the bone, and thus the long-term success of the implant. These factors include bone quality; width of the orovestibular bone (implant diameter); crown-implant ratio; implant location in the jaw; number of implants; harmful behaviours such as bruxism or smoking; and a patient’s general condition and diseases.

Conclusions

In this study, we found that the long-term success of short implants did not differ widely from the long-term success of standard implants within the limitations of this study’s protocol. These results imply that the advantages of short dental implants can be used with comparable success rates. Our hypothesis was tested in healthy, nonsmoking patients; extrapolation of these results to a more general population is a subject for further research.

Abbreviations

EDI	European Association of Dental Implantologists
MBL	Marginal bone loss
BL	Bone level
TL	Tissue level
SLPI	Silness–Löe Plaque Index
BOP	Bleeding on probing
C/R ratio	Implant-to-crown ratio
ASA	American Society of Anesthesiology

Acknowledgements

The authors would like to thank Zsuzsa László, Bence Galambos, Zsolt Kaján, and Csilla Erdei for their valuable insights.

Authors’ contributions

KB, GyG, GyK, TS, GySz, and ZsN contributed to this clinical trial, i.e., study design, study conduct, and data collection. All authors have reviewed the manuscript and approved the manuscript prior to submission.

Funding

Open access funding provided by Semmelweis University. The authors declare there was no funding in the design of the study, collections, analysis, interpretation of data, and in writing the manuscript.

Availability of data and materials

The datasets used and/or analysed during the current study are available from the corresponding author (Kinga Bérczy, berczy.kinga@semmelweis.hu) on reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

The necessary ethical approval to our study was consented by the National Institute of Pharmacy and Nutrition (reference number: Országos Gyógyszerészeti és Élelmezés-egészségügyi Intézet/29164/2019). Address: 1051, Budapest, Zrínyi utca 3. Hungary. E-mail: amd@ogyei.gov.hu. All the methods were carried out in according to the relevant guidelines and regulations. All the patients were informed in written form about the study protocol and explained orally that the results of clinical and radiological examinations would be used for research purposes. The patients filled out a personal health record and they also approved with a signature to participate in the study. Patients consent with their signature that their data could be used anonymously in the study.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Received: 22 December 2023 Accepted: 13 February 2024

Published online: 28 February 2024

References

1. Albrektsson T, Brånemark PI, Hansson HA, Lindström J (1981) Osseointegrated titanium implants: requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand* 52(2):155–170
2. vanSteenberghe D, Lekholm U, Bolender C, Folmer T, Henry P, Hermann I (1990) Applicability of osseointegrated oral implants in the rehabilitation of partial edentulism: a prospective multicenter study on 558 fixtures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 5(3):272–281
3. Naert I, Koutsikakis G, Duyck J, Quirynen M, Jacobs R, vanSteenberghe D (2002) Biologic outcome of implant-supported restorations in the treatment of partial edentulism. *Clin Oral Implants Res* 13(4):381–389
4. Weng D, Jacobson Z, Tarnow D, Hureler M, Faehen O, Sanavi F (2003) Multicenter prospective clinical trial of 3i machined surface implants: result after 6 year of follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants* 18(3):417–423
5. Neugebauer J, Nickenig HJ, Zöller JE, Bolz W, Bowen A, Depoorter D et al (2016) Guidelines of the 11th European Consensus Conference. Short, angulated and diameter-reduced implants. *EDI J* 12(1):16–19
6. Neugebauer J, Nickenig HJ, Zöller JE (2023) Guideline 2023: 2nd Update on short, angulated and diameter-reduced implants 18th European Consensus Conference (EuCC). *EDI Journal* 19(1):2–10
7. Benlidayi ME, Ucar Y, Tatli U, Ekren O, Evlice B, Kisa HI et al (2018) Short implants versus standard implants. *Implant Dent* 27(1):95–100

8. Lemos CAA, Ferro-Alves ML, Okamoto R, Mendonça MR, Pellizzer EP (2016) Short dental implants versus standard dental implants placed in the posterior jaws: a systematic review and meta-analysis. *J Dent* 47(1):8–17
9. Hong DGK, Oh JH (2017) Recent advances in dental implants. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 39(1):33
10. Thoma DS, Zeltner M, Hüsler J, Hämmerle CHF, Jung RE (2015) EAO supplement working group 4-EAO CC 2015 short implants versus sinus lifting with longer implants to restore the posterior maxilla: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 26(11):154–169
11. Cruz RS, Lemos CA de A, Batista VE de S, Oliveira HFF, Gomes JM de L, Pellizzer EP et al (2018) Short implants versus longer implants with maxillary sinus lift. A systematic review and meta-analysis. *Braz Oral Res* 32:e86
12. Nielsen HB, Schou S, Isidor F, Christensen AE, Starch-Jensen T (2019) Short implants (≤ 8 mm) compared to standard-length implants (≥ 8 mm) in conjunction with maxillary sinus floor augmentation: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 48(2):239–249
13. Jelovac D, Micic M, Hajdarevic S, Kuzmanovic C, Cukic B, Stefanovic B et al (2023) Immediate placement of extra-short implants in refined scapula tip microvascular free flaps: in house virtual planning and surgical technique—Proof of concept. *Heliyon* 9(1):e18021
14. Wang F, Huang W, Zhang C, Sun J, Kaigler D, Wu Y (2015) Comparative analysis of dental implant treatment outcomes following mandibular reconstruction with double-barrel fibula bone grafting or vertical distraction osteogenesis fibula: a retrospective study. *Clin Oral Implants Res* 26(2):157–165
15. Shephard DA (1976) The 1975 Declaration of Helsinki and consent. *Can Med Assoc J* 115(12):1191–1192
16. World Medical Association Declaration of Helsinki (2023) *JAMA*. 310(20):2191–94.
17. <https://www.r-project.org/>. Accessed 19.01.2024
18. ASA Physical Status Classification System. <https://www.asahq.org/standards-and-guidelines/asa-physical-status-classification-system>. Accessed 19.01.2024
19. Cosola S, Marconcini S, Boccuzzi M, Menchini FGB, Covani U, Peñarrocha-Diogo M et al (2020) Radiological outcomes of bone-level and tissue-level dental implants: systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 17(18):6920
20. Bethhäuser M, Schilter R, Enkling N, Suter VGA, Abou-Ayash S, Schimmel M (2022) Clinical outcomes of different implant types in mandibular bar-retained overdentures: a retrospective analysis with up to 20 years follow-up. *Int J Implant Dent* 8(1):38
21. Avağ C, Akkocaoğlu M (2023) The evaluation of stress on bone level and tissue level short implants: a finite element analysis (FEA) study. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 124(1):101298
22. Mombelli A (2000) Lang NP (1994) Clinical parameters for the evaluation of dental implants. *Periodontol* 4(1):81–86
23. Kozlovsky A, Tal H, Laufer BZ, Leshem R, Rohrer MD, Weinreb M et al (2007) Impact of implant overloading on the peri-implant bone in inflamed and non-inflamed peri-implant mucosa. *Clin Oral Implants Res* 18(5):601–610
24. Klinberg U, Trulsson M, Murray GM (2012) Occlusion on implants—is there a problem? *J Oral Rehabil* 39(7):522–537
25. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR (1986) The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1(1):11–25
26. Windisch P, Martin A, Shahbazi A, Molnar B (2017) Reconstruction of horizontal alveolar defects. Presentation of a novel split-thickness flap design for guided bone regeneration: a case report with 5-year follow-up. *Quintessence Int* 48(7):535–547
27. Shahbazi A, Feigl G, Sculean A, Grimm A, Palkovics D, Molnár B et al (2021) Vascular survey of the maxillary vestibule and gingiva—clinical impact on incision and flap design in periodontal and implant surgeries. *Clin Oral Invest* 25(2):539–546
28. Joób FA, Divinyi T, Fazekas A, Pető G, Karacs A (2000) A fogászati implantátumok felületkezelése nagyteljesítményű lézersugárral. *Fogorv Sz* 93:169–180
29. Joób FA, Karacs A, Pető G, Körmöczy K, Bogdán S, Huszár T (2016) Effects of a nano-structured surface layer on titanium implants for osteoblast proliferation activity. *Acta Polytechnica Hungarica* 13(7):7–25
30. Körmöczy K, Komlós G, Papócsi P, Horváth F, Joób-Fancsaly Á (2021) The early loading of different surface-modified implants: a randomized clinical trial. *BMC Oral Health* 21(1):207
31. Yin L, Chang Y, You Y, Liu C, Li J, Lai HC (2019) Biological responses of human bone mesenchymal stem cells to Ti and TiZr implant materials. *Clin Implant Dent Relat Res* 21(4):550–564
32. Lang NP, Salvi GE, Huynh-Ba G, Ivanovski S, Donos N, Bosshardt DD (2011) Early osseointegration to hydrophilic and hydrophobic implant surfaces in humans. *Clin Oral Implants Res* 22(4):349–356
33. Şener-Yamaner ID, Yamaner G, Sertgöz A, Çanakçı CF, Özcan M (2017) Marginal bone loss around early-loaded SLA and SLActive implants. *Implant Dent* 26(4):592–599
34. Sharma A, Waddell JN, Li KC, Sharma A, L, Prior DJ, Duncan WJ, (2021) Is titanium–zirconium alloy a better alternative to pure titanium for oral implant? Composition, mechanical properties, and microstructure analysis. *Saudi Dent J* 33(7):546–553
35. Haimov E, Sarikov R, Haimov H, Juozdabalys G (2023) Differences in titanium, titanium-zirconium, zirconia implants treatment outcomes: a systematic literature review and meta-analysis. *J Oral Maxillofac Res* 14(3):1–13
36. Naguib GH, Hashem ABH, Natto ZS, Abougazia AO, Mously HA, Hamed MT (2023) The effect of implant length and diameter on stress distribution of tooth-implant and implant supported fixed prostheses: an in vitro finite element analysis study. *J Oral Implantol* 49(1):46–54
37. Arosio P, Arosio F, Di Stefano DA (2020) Implant diameter, length, and the insertion torque/depth integral: a study using polyurethane foam blocks. *Dent J (Basel)* 8(2):56
38. Kim S-Y, Ku J-K, Kim H-S, Yun P-Y, Kim Y-K (2018) A retrospective clinical study of single short implants (less than 8 mm) in posterior edentulous areas. *J Adv Prosthodont* 10(3):191
39. Tabrizi R, Arabion H, Aliabadi E, Hasanazadeh F (2016) Does increasing the number of short implants reduce marginal bone loss in the posterior mandible? A prospective study. *Br J Oral Maxillofac Surg* 54(7):731–735
40. Vargas-Moreno VF, Ribeiro MCO, Gomes RS, Faot F, Del Bel CAA, Marcello-Machado RM (2023) Clinical performance of short and extra short dental implants with wide diameter: a systematic review with meta-analysis. *J Prosthet Dent*. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.01.004>
41. Ku J, Yi Y, Yun PY, Kim YK (2016) Retrospective clinical study of ultrawide implants more than 6 mm in diameter. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 38(1):30
42. Gottlow J, Sennerby L (2023) Influence of diameter and length on primary stability in various implant site densities—an in vitro study in polyurethane blocks. *Clin Implant Dent Relat Res*. <https://doi.org/10.1111/cid.13290>
43. Wu HC, Huang HL, Fuh LJ, Tsai MT, Hsu JT (2023) Effect of implant length and insertion depth on primary stability of short dental implant. *Int J Oral Maxillofac Implants* 38(1):62–70
44. Di Fiore A, Vigolo P, Sivoletta S, Cavallin F, Katsoulis J, Monaco C et al (2019) Influence of crown-to-implant ratio on long-term marginal bone loss around short implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 34(4):992–998
45. Nunes M, Almeida R, Felino A, Malo P, de Araújo NM (2016) The influence of crown-to-implant ratio on short implant marginal bone loss. *Int J Oral Maxillofac Implants* 31(5):1156–1163
46. Malchiodi L, Ricciardi G, Salandini A, Caricasulo R, Cucchi A, Ghensi P (2020) Influence of crown–implant ratio on implant success rate of ultra-short dental implants: results of a 8- to 10-year retrospective study. *Clin Oral Invest* 24(9):3213–3222
47. Misch CE, Perel ML, Wang H-L, Sammartino G, Galindo-Moreno P, Trisi P et al (2008) Implant success, survival, and failure: the International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference. *Implant Dent* 17(1):5–15
48. Malmstrom H, Gupta B, Ghanem A, Cacciato R, Ren Y, Romanos GE (2016) Success rate of short dental implants supporting single crowns and fixed bridges. *Clin Oral Implants Res* 27(9):1093–1098
49. Lombardo G, Pighi J, Marincola M, Corrocher G, Simancas-Pallares M, Nocini PF (2017) Cumulative success rate of short and ultrashort implants supporting single crowns in the posterior maxilla: a 3-year retrospective study. *Int J Dent* 27:1–10

50. Vetromilla BM, Mazzetti T, Pereira-Cenci T (2021) Short versus standard implants associated with sinus floor elevation: an umbrella review of meta-analyses of multiple outcomes. *J Prosthet Dent* 126(4):503–511
51. Badaró M, Marin D, Pauletto P, Gonçalves T, Porporatti A, De Luca CG (2021) Failures in single extra-short implants (≤ 6 mm): a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 36(4):669–689
52. Nisand D, Picard N, Rocchietta I (2015) Short implants compared to implants in vertically augmented bone: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 26(11):170–179
53. Sodnom-Ish B, Eo MY, Kim MJ, Kim SM (2023) A 10-year survival rate of tapered self-tapping bone-level implants from medically compromised Korean patients at a maxillofacial surgical unit. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 45(1):35

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

A fogászati implantátumok csontbeépülését befolyásoló „klasszikus” tényezők változásai az elmúlt évtizedekben

Koppány Ferenc dr. ■ Bérczy Kinga dr.
Körmöczy Kinga dr. ■ Németh Zsolt dr.

Semmelweis Egyetem, Fogorvostudományi Kar,
Arc-, Állcsont-, Szájsebészeti és Fogászati Klinika, Budapest

Szakmai körökben szinte mindenkinek természetes az, ami pár évtizede még elképzelhetetlennek tűnt: egy organikus környezetbe (csont) behelyezett anorganikus anyag (titán) integrálódik, és tartós pillére lehet a fogpótlásnak. Magát a csontintegrációt, amely az implantátum és a csont közötti szerkezeti és funkcionális kapcsolatot jelenti, a hatvanas évek végén fedezték fel és írták le. Ez jelenti a fogászati implantológia alapját. Ekkor fogalmazták meg azokat a feltételeket is, amelyek a csontintegráció pozitív vagy negatív lefolyását befolyásolják. Ezek a kérdések az alapkutatások részét képezik, éppen ezért a mindennapi klinikai gyakorlatban csak felszínesen kerülnek szóba. Az implantátum anyagi, formai jellemzői és felülete egyaránt hozzájárul a sikerességhez, amennyiben jól tervezzük és a megfelelő sebészeti technikát alkalmazzuk. Célunk, hogy ismertessük az elmúlt évtizedekben végbement olyan változásokat, melyek az implantátumok egyre tökéletesebb integrációját és klinikai sikerességét eredményezték. Orv Hetil. 2019; 160(37): 1455–1463.

Kulcsszavak: implantátumok, osseointegratio, felületkezelés

Changes in the “classical” factors influencing dental implant-osseointegration in recent decades

Nowadays, it is almost naturally taken among dentists that seemed unimaginable a few decades ago, namely that an inorganic material (titanium) inserted in an organic environment (bone) can be integrated and become a permanent pillar of prosthetics. Bone integration – meaning a structural and functional connection between the implant and the bone – itself was discovered and described in the late 1960s. This provides the basis of dental implantology. In those days, the conditions affecting the positive or negative course of bone integration have been formulated. This process is investigated at the level of basic research and rarely mentioned in the daily clinical practice. The material, form, and surface of the implant all contribute to success if we design well and apply the correct surgical technique. Our goal is to present the changes that have taken place over the past decades, which have resulted in an increasingly perfect integration and clinical success of implants.

Keywords: medical implants, osseointegration, surface treatment

Koppány F, Bérczy K, Körmöczy K, Németh Zs. [Changes in the “classical” factors influencing dental implant-osseointegration in recent decades]. Orv Hetil. 2019; 160(37): 1455–1463.

(Beérkezett: 2019. április 10.; elfogadva: 2019. május 3.)

Rövidítések

BIC = (bone-implant contact) csont-implantátum érintkezés; BL = (bone level) csontszint; BLT = (tapered bone level) kúpos csontszint; CBCT = (cone-beam CT) kúpsugaras CT; CP = (commercially pure) kereskedelmi tisztaságú; CT = (computed tomography) számítógépes tomográfia; EDI = (European Association of Dental Implantologists) Európai Implantológusok Szervezete; GRADE = (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) Egészségügyi állapotfelmérési, ellátásfejlesztési és -értékelési ajánlások súlyozási rendszere; HA = hidroxipatit; ITI = (International Team for Implantology) Nemzetközi Implantológiai Csoport; SLA = (sandblasting with large grit and acid etching) homokfúvás és savazás kombinált használata; SPD = (severe plastic deformation) súlyos képlékeny alakváltozás; TCP = (tricalcium phosphate) trikálcium-foszfát; TiO₂ = titán-oxid; TL = (tissue level) szöveti szint; UFSZ = ultrafinom szemcsés

A fogászati implantológia az egyike a legdinamikusabban fejlődő fogorvostudományi szakterületeknek. Számátalan publikációval, szakkönyvvel találkozunk nap mint nap, és folyamatosan növekszik a továbbképzések, kongresszusok száma, melyek ezzel a területtel foglalkoznak. Az 1960-as évek elején írta le *Per Ingvar Bränemark* (svéd ortopéd sebész) és *Tomas Albrektsson* az osseointegrációt, amely közvetlen szerkezeti és funkcionális kapcsolatot jelent a csont és az implantátum felszíne között. Eredményeikkel tudományos alapot teremtettek a biomedicina számos területén manapság nélkülözhetetlen protézisek és implantátumok számára. Ehhez kapcsolódóan fogalmazták meg a sikeres csontintegráció tényezőit. Az új ismeretek eredményei a medicina számos területén megmutatkoztak. A csípő teljes helyreállításának sebészetében megjelentek a cementezés nélküli protézisek, amelyek új sebészeti elveknek megfelelően kerültek behelyezésre. Ezeknél a csont és a protézis közötti teret nem tölti ki az implantátum rögzülését segítő cementréteg, hanem sajátos felszínnel rendelkeznek, amely a protézis csontintegrációjához vezet. Cementezett protézisek esetén a cement nem lép közvetlen kapcsolatba a csonttal, és nem ragasztóanyagként szolgál. Szerepe az, hogy a két felszín közötti egyenetlenségeket kitöltve a protézis erősebb rögzülését eredményezze. A használat során a cementből leváló részecskék azonban gyulladás-hoz vezethetnek. A cementezés nélkül behelyezett korszerű csípőprotézisek megjelenése gyakorlatilag a modern fogászati implantátumok megjelenésével egyidejű. A csontintegráció feltételeinek megismerése kulcsfontosságú a sebészet területén. Az implantáció feltételeinek minél sikeresebb megvalósítása az eredmények javulásához vezet. Folyamatosan lépést kell tartani a csontintegrációt negatívan befolyásoló tényezőkkel [1, 2]. Az elmúlt közel negyven esztendőben például megnövekedett a rizikóbetegségek előfordulásának gyakorisága. Idetartozik többek között a súlyos cukorbetegség, a csonttritkulás szekunder formája, súlyos szív- és érrendszeri betegségek, kezelés alatt álló daganatos betegségek

és fogászati szempontból a súlyos harapási rendellenességek. Idővel korszerűbb diagnosztikai eszközökkel és új műtéti eljárásokkal lettünk gazdagabbak, amelyek során újabb szövődmények is megjelentek [3, 4]. Napjainkban komoly problémát jelent a biszfoszfonátkezelésen átesett (osteoporosis, csontáttétet adó daganatos megbetegedések, egyes reumatológiai kórképek miatt) betegek megbízható szájsebészeti, implantológiai ellátása. A biszfoszfonátok többféle módon is befolyásolják a csontújraképződés folyamatát: gátolják az osteoclastok működését, illetve az érfalat károsító hatásuk van. Az állcsontokban – a kiemelkedően gyors anyagcsere miatt – különösen nagy mennyiségben halmozódnak fel ezek a gyógyszerek a többi csonthoz képest. Az állcsontokat érő sebészeti beavatkozások következtében előfordul, hogy a sebgyógyulás során kórokozó baktériumok gyuladást okoznak, és a sebgyógyulás, hámosodás nem következik be. Az osteoclastok működésének gátlása révén az új csont képződésének folyamata nem lesz megfelelő, amit tovább ront az angiogenezist gátló hatás. Ennek eredményeképpen nyálkahártyafosztott, nekrotikus csontterület alakul ki, amely a legtöbb esetben csak radikális sebészi úton távolítható el, a beteg életminőségének jelentős romlását hagyva maga után [5].

A fogászati implantátumokról

Az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján elmondható, hogy megfelelő tervezés és kivitelezés mellett a műfoggyökér-beültetés megbízható megoldás a foghiányok kezelésében. A fogászati implantátumokra készített fogművek három fő részből állnak: az implantátumból, az ebbe csavarral rögzített protetikai fejből és az ezen rögzülő fogpótlásból. A rendszer közvetlen kapcsolatát a szervezettel maga az implantátum teste adja, amelyet általában furat képzését követően helyezünk az állcsontba. Az implantátum elsődleges mechanikai rögzülését hónapokig tartó gyógyulási folyamat követi, amelynek során az implantátum beépül, integrálódik a csontba. Ezt a folyamatot nevezzük osseointegrációnak. A csontintegrációt számos tényező befolyásolja, de az egyik legfontosabb az implantátum csonttal érintkező felületének kialakítása, mert valójában maga a felszín lép közvetlen kapcsolatba a szervezettel. Ezért van kiemelt szerepük a különböző felületkezelési eljárásoknak. A gyógyulási szakaszt követően (kb. 3 hónap) a beültetett implantátum integrálódik, a rágóerővel már terhelhető, így elkészülhet a fogpótlás. Ennek eredményeképpen a fogpótlás átvezeti a rágóerőt az implantátumokra, illetve az állcsontokra. Ebben az időszakban kezdenek érvényesülni a biomechanikai tényezők. A rágóerő nem megfelelő eloszlása az implantátum körül károsodást okozhat a környező szövetekben (lágyszövetek, csont), amelyek felülferőzve bakteriális gyuladást okozhatnak az implantátum körül (periimplantitis). A gyulladással mediátorok hatására csontfelszívódás alakul ki, amely kezeletlen vagy kedvezőtlen esetben az implantátum elvesztésével járhat.

A hosszú távon elhanyagolt szájhygiéné ugyanilyen eredményre vezethet, mert a fogpótláson felhalmozódó kórokozók az íny felől szintén a csontot elérő gyulladást okozhatnak. Fontos ezért a fogpótlás és az implantátum megfelelő széli záródása, amely csökkenti a kórokozók megtapadásának veszélyét. Ezek a jelenségek hasonlóan zajlanak le a szervezet egyéb területein használatos bioanyagok, implantátumok esetében. Teljes csípő-helyreállítás esetén is szükséges a megfelelő elsődleges stabilitás kialakítása, amelynek talaján létrejöhet a csontintegráció. A gyógyulási időszakban a csont és az implantátum felzíne között bekövetkező mozgások (mikromozgás) döntően befolyásolhatják a csontintegrációt. Amennyiben ezek az elmozdulások meghaladják a 150 µm-t, úgy nagyobb valószínűséggel vándorolhatnak be kötőszöveti sejtek a két felszín közé. Ennek következtében a csont helyét a gyorsabban növekvő kötőszövet tölti ki, meggátolva az implantátum beépülését [6].

A csontintegrációval kapcsolatban a klinikusok érdeklődése a leginkább az új diagnosztikai módszerek és műtési technikák felé irányul. Emellett az ortopéd sebészetben kifejezetten fontos a rehabilitáció kérdése. A beavatkozások általában erősen megterhelik a szervezetet. Az egyik nemrég megjelent tanulmányban a beteg műtét előtti és műtét közbeni szuggesztíóját végzik hangfelvételtől a gyorsabb felépülés érdekében [7]. A sebészetben egyre nagyobb teret nyernek például a számítógép segítségével tervezett és végzett beavatkozások. Ennek egyik lehetősége az ún. irányított sebészet. Képalakító eljárás – a leggyakrabban komputertomográfia – segítségével készítenek egy sebési sablont, amely a CT-n számítógép segítségével megtervezett implantátumfuratok térbeli információit tartalmazza. Így – a fogpótlás szempontjából – előre megtervezhető az implantátumok helye és mérete. A sablont a műtési területre helyezve a CT-felvételnek megfelelően készülhetnek el az állcsontokban a furatok. Korábban a legelterjedtebb képalkotó eljárás a panorámaröntgen volt, és a nagy sugárterhelés miatt csak irányított sebészeti beavatkozás tervezésekor készült CT-felvétel. Az elmúlt 10–15 évben kifejlesztettek egy kis sugárdózisú komputertomográfias eljárást, a cone-beam CT-t (CBCT). A CBCT alkalmas az állcsontok 3D-rekonstrukciós képalkotására. A módszer sajátosságaiból adódóan azonban csak a fej-nyak régióban terjedt el. Napjainkban egyre növekvő gyakorisággal használunk fel ilyen típusú felvételt nemcsak implantáció megtervezésekor, hanem egyéb fogászati diagnosztikai célból is. Ezen a területen szinte nap mint nap találkozunk változásokkal, újabb és jobb szoftveerekkel. Hasonló a helyzet az implantációt megelőző preprotetikai csontpótló eljárásokkal vagy az alkalmazásukhoz szükséges anyagokkal is.

Az elmúlt évtizedekben jobban körvonalazódtak a csontintegrációt befolyásoló tényezők. Az 1980-as évek elején leírt, a csontintegrációt befolyásoló tényezők közül ötöt tartottak fontosnak [8]. Nem fontossági sorrendben a következőket:

- a) az implantátum anyaga,
- b) az implantátum formája és mérete,
- c) az implantátum beültetésének technikája,
- d) az implantátum protetikai terhelésének időpontja és
- e) az implantátum felülete.

Ezek a „klasszikusnak” számító tényezők azóta is folyamatosan a kutatások tárgyát képezik. Az elmúlt négy évtized után ismereteink bővülése mellett még mindig ezeket tartjuk az alapvető tényezőknek.

Az implantátum anyaga

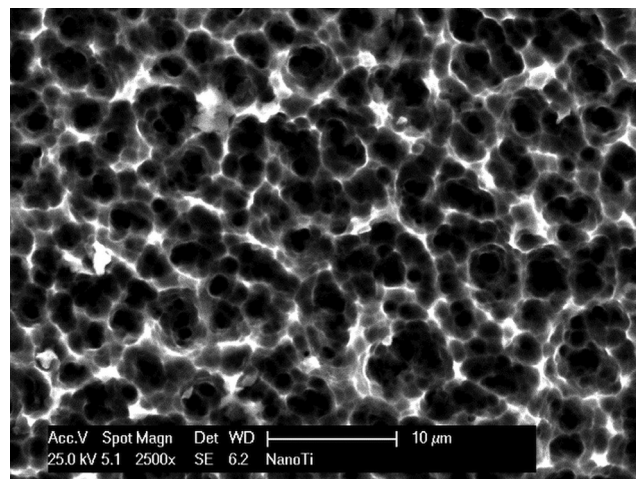
Ahogy ezt az 1970-es évek végén *Osborn* leírta, a bioanyagokat három csoportra oszthatjuk [9]: a) *biotoleráns anyagok*, melyeket a szervezet rövidebb-hosszabb ideig elfogad, de idővel szöveti reakció alakul ki ellenük. Ide tartoznak a műanyagok, az acélötvözetek, a króm-kobalt-molibdén ötvözetek (Vitalium); b) *bioinert anyagok*, melyek a szervezetbe biztonsággal beépíthetők, nem okoznak kóros szöveti reakciókat, és hosszú ideig szövetstabilak – ilyen például a titán is; c) *bioaktív anyagok*, melyek a sejteket, szöveteket proliferációra, differenciálódásra serkentik. A bioinert anyagok jellemző tulajdonsága, hogy mechanikai képességük jobb, mint a bioaktív anyagoké, de rosszabb, mint a biotoleránsoké, és fordítva érvényes ez a biológiai képességeikre is.

Az orális implantológiában leginkább alkalmazott anyag a titán és ötvözetei. A csípőprotézisek területén a leggyakrabban alkalmazott anyagok hasonlóan a titán-alumínium-vanádium, valamint a kobalt-króm-molibdén ötvözetek. A titánnak jók a mechanikai tulajdonságai, illetve jellemző rá az alacsony fajsúly, a hővezető képesség, a könnyű megmunkálhatóság és a kiváló korrózióállóság. A mechanikai tulajdonságok közül kiemelkedik az, hogy rugalmassági állandója közelebb van a csontéhoz, mint a nemesacélnak és a kobalt-króm ötvözeteknek [10]. A felületén spontán kialakuló titán-oxid réteg biztosítja az anyag biokompatibilitását. A fogászati implantátumok alapja az esetek nagy részében Grade 2-es, Grade 4-es és Grade 5-ös minőségű tiszta titán (commercially pure, CP); ezeket titántömbökből állítják elő, ipari forgácsolással. A 'Grade' jelölés a szennyezőanyagok százalékos tartalmáról ad információt. Grade 2-es esetében például ez szén-, hidrogén-, nitrogén-, vas- és oxigéntartalmat jelent, amely szám szerint maximum 0,03% nitrogént, 0,3% vasat és 0,25% oxigént jelent. Szennyezőanyagok hozzáadásával a titán mechanikai tulajdonságai módosíthatók. A legkedveltebb alapanyag a Grade 4-es titán, de előszeretettel használnak még Grade 5-ös titánt is. A harmadik a listán a Grade 2-es titán. Grade 3-as titánt csak elvétve használnak, Grade 1-est meg kifejezetten ritkán. A különböző Grade-besorolású titánok tovább ötvöztethetők. A titán ötvözeit leginkább a viszonylagosan rosszabb korrózióállóságuk miatt elsősorban a protetikai elemek esetében alkalmazzák. Implantátum nem csak titánból készíthető. Az implantológia története során

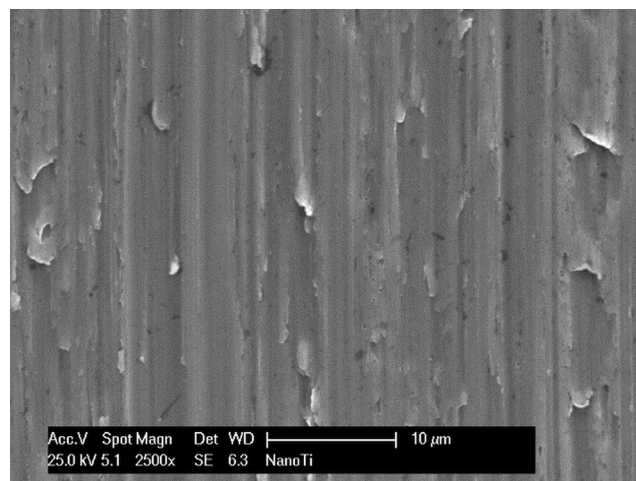
számos anyagot használtak (például különböző kerámia- és fémötvözeteket), azonban a legideálisabbnak eddig a titán mutatkozott. A cirkónium-dioxidból előállított implantátum az utóbbi évtized vívmánya. Ellenálló, magas hajlítószilárdságú és keménységű anyag. Kitűnő biokompatibilitása és ínyszéli zárása miatt csökkenti az implantátumok körül kialakuló gyulladás (periimplantitis) kialakulásának veszélyét. Az implantátumok körül kialakuló, hosszabb ideig fennálló kezeletlen gyulladás, ahogy korábban említettük, a környező csontszövet felszívódásához, illetve implantátumvesztéshez vezethet. A cirkóniumimplantátumok felhasználási területe az anyag fehér színe miatt elsősorban az esztétikai zónára, azaz a frontfogak területére esik, mert az íny szintjének csökkenése esetén sem a fémes szín tűnik elő. Nagyon sok *in vitro* és *in vivo* vizsgálat támasztja alá, hogy a cirkóniumalapú implantátum a titánból készült implantátumok alternatívája lehet. A fent említett, kitűnő ínyszéli zárás, biokompatibilitás és a kiváló esztétikai hatás mellett negatívumként említik a cirkóniumimplantátumok esetleges törését is. Ebből kifolyólag alkalmazásuk a rágófogak területén kevésbé javasolt, mert ott az esztétikai szempontokat megelőzi a rágóerőből adódó teherviselés szempontja. A hosszú távú vizsgálatok hiánya is problémát jelent a cirkóniumalapú implantátumok elterjedésében [11]. Kevésbé elterjedt megoldás a két fém ötvözet (titán/cirkon). Ennek jeles képviselői a Straumann cég (Bázel, Svájc) *Roxolid* típusú implantátumai. Ezek az implantátumok halványszürke, homogén színűek, a titánhoz képest jobb mechanikai tulajdonsággal rendelkeznek. Ebből adódóan az általánosan használt átmérőhöz képest kisebb méretben is jó a teherbíró képességük, így keskenyebb csont esetén is lehetővé válhat a beültetés csontpótlás elvégzése nélkül. A *Roxolid* implantátumok modern felületkezelési eljárásokkal kezelve kiváló osseointegrációs eredményeket mutatnak [12]. Vizsgálati és preklinikai stádiumban vannak az ún. ultrafinom szemcsés nanotitánok. Nanotitánt intenzív képlékeny alakítással (severe plastic deformation, SPD) vagy meleg profilhengerezéssel lehet előállítani. A nagymértékű, nyíró alakváltozással járó állapotban az anyag nem reped, és kezdeti szemcseszerkezete ultrafinom szemcsésre (UFSZ), nanoszemcsésre transzformálódik. A nanotitánok magasabb folyáshatárral, nagyobb szilárdsággal és keménységgel rendelkeznek, és fokozottabb ellenállást mutatnak a korrózióval szemben (1. ábra).

Az implantátum formája és mérete

A fogászati implantátumok formája az elmúlt 40 évben nagyon sokat változott. Az ideális forma keresésében sokféle variáció jelent meg. Készült a csontba ültethető, penge alakú implantátum, a periosteum alá rögzített ún. subperiostealis implantátum és még számos más változat. Az elmúlt évek tapasztalatai alapján elmondhatjuk, hogy jelenleg egyértelműen a körszimmetrikus, a természetes foggyökerek elkeskenyedését követő, csavarmen-



1/a ábra | Grade 2-es titán ultrafinom szemcsés szerkezetének (ún. nanotitán) SEM-képe 2500-szoros nagyításban
SEM = pásztázó elektronmikroszkóp



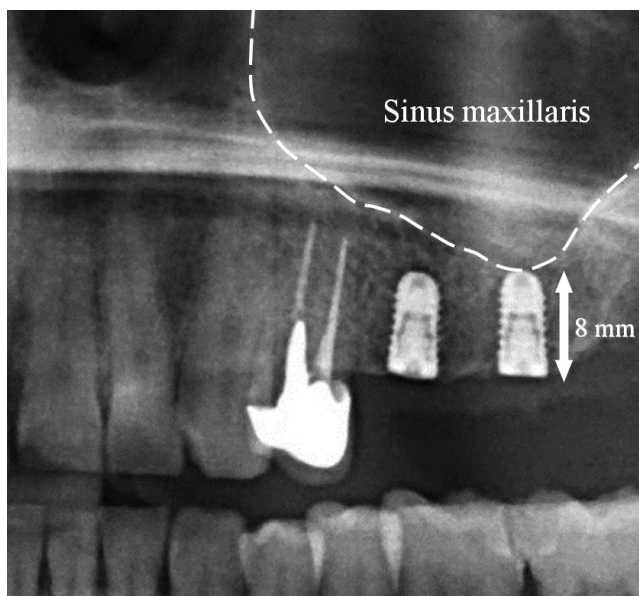
1/b ábra | Esztergált felszín; jól látható a nanotitán megnövelt felülete az esztergált felszínhez képest

nettel ellátott, kúpos forma a legideálisabb. Biomechanikai szempontból az implantátum formája alapvetően befolyásolja a terhelés alatt fellépő erők közvetítését a környező csontra. A formához tartozik a megfelelő nyaki rész kiképzése és a csavarmenetek kialakítása. Függetlenül attól, hogy milyen irányú erő éri az implantátumot, a legnagyobb erők a nyaki részen ébrednek. Fontos ezért a megfelelő sebészeti technika. A formát illetően a nyaki részen kialakított, alacsony menetemelkedésű csavarmenet tovább csökkenti a feszültséget. Az implantátumok apicalis részén háromszög alakú éles menetek segítik a sebészeti behelyezést. Koronális irányban haladva, csökkenő menetemelkedéssel és a menetek formájának trapezoid kialakításával pedig növelhető a csonttal közvetlenül érintkező felszín nagysága [13].

A standard méretű implantátumok mellett ma az ún. rövid és keskeny implantátumok használata a fogászati implantológia reflektorfényébe került. A műfoggyökér-

beültetés alapvető feltétele a megfelelő minőségű és mennyiségű befogadó csont. Az esetek számottevő részében ez nem áll rendelkezésre, ezért csontpótló anyagok (esetleg autológ csont) behelyezésével segítjük elő új csont képződését. Ilyen beavatkozás gyakran történik a felső állcsontokon, ahol az arcüreg kiterjedése miatt szükség lehet ún. arcüregemelésre (sinus-lift). A beavatkozás során laterálisan képzett csontablakból megemeljük az arcüreg nyálkahártyáját, és csontpótló granulátumot helyezünk be, amely vázat képez az új csontsejtek számára, így biztosítva elegendő csontot a későbbi beültetéshez. Rövidebb, illetve kisebb átmérőjű, ún. keskeny implantátum használatával bizonyos esetekben elkerülhetjük a csontpótlást és a korábban említett sinus-liftet is. Használatukkal az anatómiai képletek védelme biztonságosabbá válik, a műtétek alacsonyabb morbiditásúak lesznek, a csontpótlás elkerülése miatt a költségek is jelentősen csökkennek [14].

A rövid implantátum fogalmának meghatározása folyamatosan változik, mert igaz, hogy használatukkal elkerüljük a csontpótlás következményeit, rövidebb implantátum behelyezésével azonban a csontintegráció folyamata és a biomechanikai tulajdonságok kedvezőtlenebbül alakulhatnak. Korábban megjelent publikációkban még a ≤ 10 mm hosszúságú implantátumokat tekintették rövidnek. Az Európai Implantológusok Szervezetének (EDI) 2016-ban megrendezett konszenzuskonferenciája alapján ez az érték már csak ≤ 8 mm, ugyanakkor meghatározták, hogy minimum 3,75 milliméteres átmérővel kell rendelkezniük az implantátumoknak (2. ábra). Az ultrarövid implantátum mint új fogalom került meghatározásra, amelynek hossza ≤ 6 mm. A rövid implantátumoknak a standard implantátumokéhoz hasonlítható teherviselő képességét azzal magyarázzák, hogy új implan-



2. ábra | 8 mm hosszú bone level (BL-) implantátum röntgenképe. A rövid implantátum alkalmazásával elkerülhető az arcüreg emelésének műtéte (sinus-lift)

tátumformával (tapered bone level, BLT), cirkónium-titán ötvözzel (Roxolid) és SLActive felszínnel rendelkeznek.

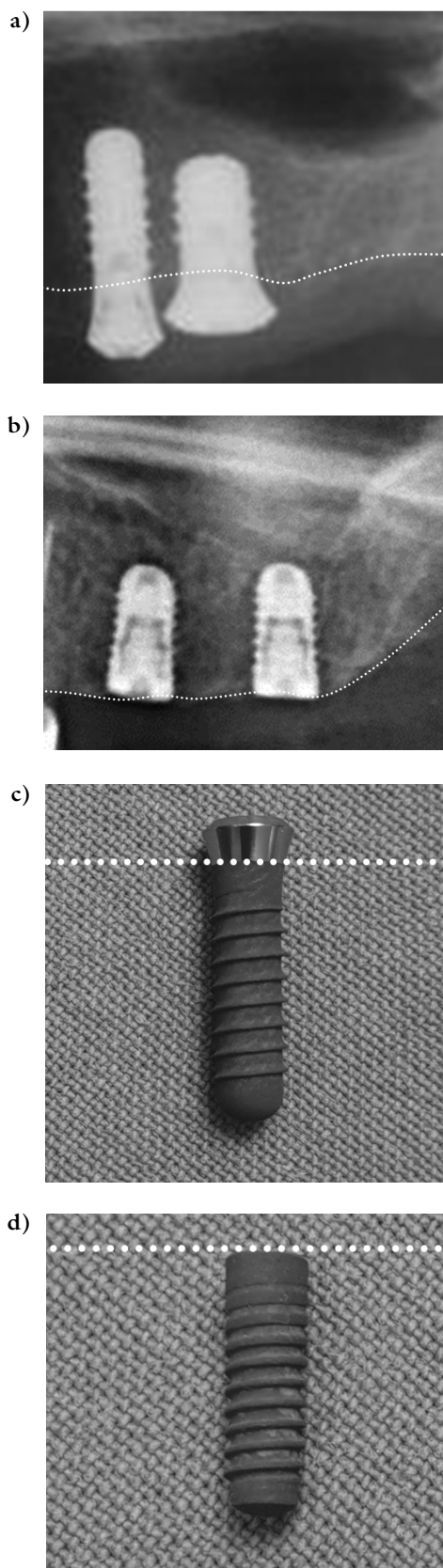
Ugyanakkor elmondhatjuk, hogy bár az irodalom alapján a rövid implantátumok megbízhatóan és biztonságosan használhatók, jelenleg nem rendelkezünk *evidence-based* eredményekkel, hanem csak rövid távú, empirikus tapasztalatokkal [15].

Hasonló a helyzet az ún. keskeny implantátumok esetében. A 2016-ban megrendezett EDI-konszenzuskonferencia óta minden olyan implantátumot, amelynek átmérője kisebb, mint 3,5 mm, keskenynek nevezzük, a 2,7 mm-nél keskenyebbet pedig miniimplantátumnak. A keskeny implantátumok alkalmazásáról is kevés hosszú távú tapasztalat áll rendelkezésünkre [16]. Éppen ezért az ismert és olvasott adatokat óvatosan kell kezelnünk.

Az implantátum beültetésének technikája

Talán ez az a terület, amelyen a legtöbb változtatás ment végbe az elmúlt évtizedekben. Nem is vállalkozhatunk mindnek az ismertetésére, de két fontos témát kiemelnénk. Az egyik az implantátum nyaki részének kiképzéséből adódó kérdések. A fogászati implantátumokat korábban szinte kizárólag polírozott nyaki peremmel készítették. Ez a rész nem volt a csontba süllyesztve, hanem a környező lágyrészekkel érintkezett, mintegy galérként kialakítva. Ezeket nevezték később a lágyrész szintjében végződő, ún. szöveti szintű (tissue level, TL) implantátumoknak. Az ezredfordulót követően megjelentek a polírozott nyak nélküli, teljes hosszában felületkezelt és a csont szintjében végződő implantátumok (bone level, BL). A problémakör lényegében a kétféle implantátum nyaki részét érintő gyógyulási, lágyrészesztetikai és biomechanikai különbségek kérdéseit és az indikációs területeket ölelte fel (3. ábra). 2010-ben, Genfben a Nemzetközi Implantológiai Csoport (ITI) nemzetközi kongresszusán külön szekciót szántak annak a kérdésnek a tisztázására, hogy milyen esetben indokolt TL- vagy BL-implantátumokat behelyezni. Neves szakemberek fogalmazták meg a BL-implantátumok indikációs területét [17]. Érdekes lehet az is, hogy a BL-implantátumot milyen mélységben helyezzük be a csont szintjéhez képest. Az irodalom eltérő eredményeket ír le esetenként attól függően, hogy supra-, epi- vagy subcrestalisan helyezzük be az implantátumot, azaz hogy az implantátum felső pereme az állcsont szintje fölött, vele egy szintben vagy kissé alatta végződik-e. Nincs egyértelmű válasz. Egyes szerzők azt mondják, hogy nincs szignifikáns különbség, hogy sub- vagy epicrestalisan rakjuk be az implantátumot, ugyanakkor van, aki a supracrestalis behelyezést javasolja [18, 19].

A másik érdekes kérdés, hogy a sebési fúrók kívül használjunk-e piezoelektromos eszközt a furat kialakításához vagy sem. A piezokészülék használata rutinos, jó sebész kezében kincs lehet, mert nem sérti a környező, fontos lágyrész-képleteket (például a nervus alveolaris



3. ábra

Tissue level (a, c) és bone level (b, d) implantátumok radiológiai és klinikai képe. Szaggatott fehér vonal jelöli az implantátumok csontba süllyesztésének javasolt mértékét. A tissue level implantátumok polírozott nyaki része a szájüregbe nyúlik, a bone level implantátumok a nyálkahártya szintje alatt helyezkednek el

inferior a mandibulában, illetve az arcüreg-nyálkahártya a felső állcsont esetén), egyenesen, pontosan lehet vele preparálni. Megkíméli a lágy szöveteket; idegszövet vagy a Schneider-membrán esetén ez komoly szövődmények elkerülését jelentheti. Ugyanakkor azt is tudjuk, hogy használata gyakorlatot és türelmet igényel. Ha nagy erővel nyomjuk, akkor a csont túlmelegedhet, és emiatt akár nekrotizálhat is. A cementezés nélkül kialakított csípőprotézisek esetében az egyik legnagyobb kérdéskört szintén az ideális sebészeti technikával párosult ideális forma megtalálása jelenti [20, 21].

Az implantátum protetikai terhelésének időpontja

A Nemzetközi Implantológiai Csoport (ITI) ötödik konszenzuskonferenciáján egyértelműen leírják a lehetséges terhelési protokollokat. Ezek alapján *azonnali fogpótlásról* akkor beszélhetünk, amikor a fogpótlás az implantátum behelyezését követő 48 órán belül elkészül, de nincs okklúzióban, azaz a fogsor záródásakor nem érintkezik a szemközti fogakkal. *Azonnali a terhelés*, amikor a fogpótlás az implantáció után 48 órán belül felhelyezésre és okklúzióba kerül. *Korai a terhelés*, amikor a fogpótlás 48 óra után, de 3 hónapon belül okklúzióba helyezve készül el. *Késleltetett a terhelés*, ha a fogpótlás a végleges formájában a hagyományos gyógyulási idő (3–6 hónap) után készül el [22]. Természetesen más a protokoll a szülő implantátumok esetében részleges fogatlan-ság mellett, mint a kiterjedt foghiány esetén. A rendszeresen megtartott konferenciák (2004, 2009, 2014) konszenzusai mindig újabb és újabb módosításokat hoznak, érdemes tehát őket figyelemmel kísérni [23, 24].

Az implantátum felülete

A felület változásainak pontos biológiai értéke nehezen ítéltető meg, de az biztos, hogy befolyásolja a szöveti gyógyulást, a sikerességet, az osteoblastproliferációt a sejtek fenotípusának megváltoztatásával, azoknak a differenciálódását és a hormonok hatására a csontsejtválaszt is. A felület mechanikai egyenetlenségei fontos szerepet játszanak a csontsejtekkel való kapcsolatban. Ma már tényként tartják számon, és számos szerző bizonyította, hogy az érdesített felület a csontintegráció szempontjából jobb, mint a sima felületi kiképzés.

Az implantológiai kutatások során nyitott kérdés maradt, hogy milyen az ideális felületi morfológia, mekkora felületi elemek, milyen formájú struktúrák és ezeknek milyen térbeli elhelyezkedése szükséges a tökéletes csontintegrációhoz. A felület morfológiája az érdeességének a háromdimenziós megjelenítését jelenti.

Az irodalomban több mint száz olyan paramétert, mérési jellemzőt írtak már le, amellyel az egyes felületeket és az azokon lévő felületi elemeket számszerűen is jellemezhetjük. Jellemezni lehet a felszín minőségét az ún.

BIC- (bone-implant contact) értékkel is, amely azt mutatja meg, hogy az implantátum felületének hány százaléka érintkezik közvetlenül a csonttal.

A legújabb kutatások azonban a mikrogeometria jelentőségét nem a felületnövelésben, hanem a csontképzésre gyakorolt hatásban látják. A létrejövő érdekesség a szövetkultúrákból származó megfigyelések szerint gyorsítja a csontsejteknek a felületre történő migrációját. A kutatási eredmények alapján valószínűnek látszik, hogy bizonyos felületi mikrogeometriák olyan sejtfenotípusokat hoznak létre, amelyek könnyebben alakulnak át osteoblastokká [25–27].

Az évtizedek során számos felületkezelési eljárást fejlesztettek ki. Ezek közül csak azokat említjük meg, amelyek a mai, korszerű morfológiai elemek kialakítását teszik lehetővé.

Esztergálás

A plazmaszórással együtt a klasszikus felületkezelési eljárásokhoz tartozik. Az implantátum felületét esztergagép munkálja meg. Az esztergált felszínt nagyon gyakran referenciamintaként alkalmazzák az összehasonlító kísérletekben. Az esztergált felszínről szóló irodalmi beszámolók mindig erős, masszív csontképződést írnak le az implantátum körül, amely stabil implantátum-csontszövet kapcsolatot eredményez.

Bevonás bioaktív anyaggal

Az implantátum felszínére hidroxipatit (HA) kerámiát vagy trikálcium-foszfát (TCP) kerámiát visznek fel, átlagosan 30–70 mikrométer vastagságban. Az 1980-as évektől kezdődően egyre gyakrabban alkalmazták ezt a módszert, és azóta megjelentek azok a problémák, amelyek a mai napig nem megoldottak. A problémák egy része technológiai jellegű, amelyek abból adódnak, hogy a fém és a kerámia hőtágulási és rugalmassági együtthatója eltér egymástól, ezért nem megfelelő terhelés esetén az implantátumról leválhatnak a hidroxipatit szemcsék. Felmerült az a kérdés is, hogy a tapadás a fém felületén milyen terhelést visel el, és ez az idő folyamán hogyan változik, valamint az sem tisztázott, hogy a technológiai eljárás nem változtatja-e meg a fém felületének mechanikai tulajdonságait.

A bioaktív anyaggal történő bevonással az a fő probléma, hogy a kecsegtető rövid távú sikerek ellenére a hosszú távú eredmények nem kedvezőek. Ennek ellenére manapság is próbálkoznak nanoméretű bioaktív anyagok felvitelével [28, 29].

Titán-oxiddal történő érdesítés

A titán-oxiddal történő érdesítés azon alapul, hogy a titán felületén spontán kialakult titán-oxid réteget mesterségesen „felduzzasztják”. A módszer abban különbözik

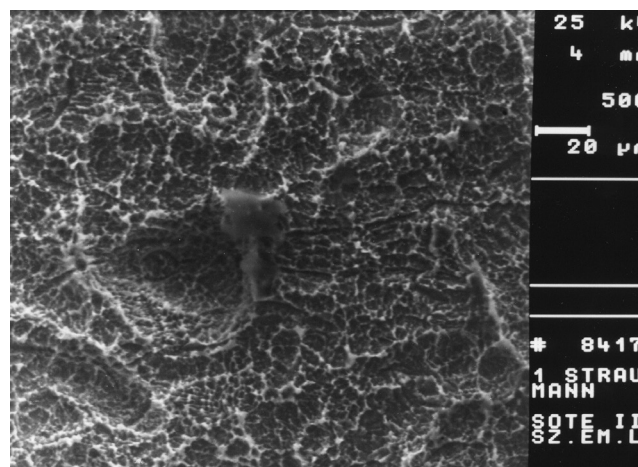
az anódos oxidációtól, hogy itt a folyamatot nem követi hőkezelés. A hőkezelés elmaradása miatt a porózus szerkezetű titán-oxid nem alakul ki, hanem a felület kikristályosodik [30].

Lézeres felületkezelés

Lézeres felületkezelések esetében neodímium-üveg lézert alkalmaznak, ahol a kibocsátott lézersugár hullámhossza 1054 nm, energiája 0–3 J/impulzus, és a sugár által „kezelt” felszín nagysága 2 négyzetmilliméter. A felszíni hőmérséklet elérheti az 5000–6000 °C-t is, amely a besugárzás időtartamának végéig 50–100 mikron mélységű, olvadt felületi réteget hoz létre. A kezelés vákuumban vagy célszerűen választott gázatmoszférában történik. A besugárzás végeztével az olvadt anyagréteg az implantátum érintetlen, hideg tömegének hatására néhány nanoszekundum alatt ismét megszilárdul, és morfológiájában megőrzi az olvadt állapot utolsó pillanatában jelen lévő felületi alakzatokat. A lézerek másik lehetséges fajtái az ún. excimerlézerek, amelyek a nem termikus lézerek csoportjába tartoznak, azaz alkalmazásuk nem hőhatáson alapul, hanem mechanikai behatásokat okoznak [31].

Homokfúvás és savazás kombinált használata (sandblasting with large grit and acid etching, SLA)

A kombinált módszerek közül a legismertebb eljárásokhoz tartozik az SLA-felszín, amikor két metódust ötvözik azok előnyös tulajdonságainak kihasználására. Említésre méltó módszer azért is, mert ez az egyetlen olyan kombinált eljárás, melyet iparilag előállított, humán implantátumok felületén is alkalmaznak. Az irodalomban és a kereskedelemben is a leginkább elfogadott felületi struktúra (4. ábra) [32].



4. ábra

SLA-felszín SEM-képe 2000-szeres nagyításban

SEM = pásztázó elektronmikroszkóp; SLA = homokfúvás és savazás kombinált használata

Nanocsöves felületek

20 éve írták le először a sokatomos szénmolekulák (fullerének) nanocsöves elrendeződését. A fullerének legalább hatvan atomból állnak, szabályos zárt szerkezetet képeznek, és ezáltal sajátos anyagtani tulajdonságokat nyernek. Amennyiben a zárt szerkezet csöves elrendeződést nyer (nanocső), úgy a csövecskék térbeli elrendeződésének megváltoztatása a fullerént tartalmazó anyag tulajdonságainak megváltoztatását teszi lehetővé. Sajátos elektrokémiai tulajdonsága, nagy felületi energiája, valamint szilárdsága miatt számos ipari felhasználásra ad lehetőséget. A nanocsöves elrendezés nemcsak szénmolekulákkal, hanem más anyagokkal is létrehozható. Biológiai szempontból a legnagyobb jelentősége a titán-oxidból (TiO_2) kialakított nanocsöves szerkezetnek van. Ezeknek a legelterjedtebb kialakítása úgy történik, hogy egy sima, elektropolírozott felszínre nanocsöveket visznek fel anodizációs eljárással. Ez a felépítés sajátos elektromos, kémiai és biológiai hatásokat eredményez, amelyek a csövecskék elrendezésével megváltoztathatók, hangolhatók [33, 34].

Következtetés

Az alap kutatási témák általában nem népszerűek a kongresszusokon, továbbképzéseken, ugyanakkor a klinikai vizsgálatokhoz szervesen kapcsolódnak. Klinikai következtetést levonni általában csak hosszú távú tapasztalatok alapján lehet. Ez az implantológiában vagy akár a csípő-helyreállításban legalább tíz évet jelent. Éppen ezért egy-egy újítás elterjedése és meghonosodása a mindennapi gyakorlatban lassú folyamat. Az első csavarimplantátumok felületének kialakítása közel húsz évig, kizárólag esztétikával történt. A titán-oxid felület részletesebb megismerése és új technológiai folyamatok alkalmazása később elősegítette összetettebb, jobban integrálódó felszín létrehozását. Az elmúlt évtizedek elegendő időt biztosítottak arra, hogy a csontintegráció „klasszikus” feltételei maradandó érvényt szerezzenek maguknak. A kutatások leírása egyre inkább halad a jól követhető és összehasonlítható eredmények irányába, ami elősegíti az implantológia tételeinek tapasztalatokon alapuló megfogalmazását. A technika fejlődése mellett hosszú távú klinikai tapasztalatokkal rendelkezünk, és az alap kutatások eredményei a gyakorlatban is megmutatkoznak. Napjainkban az implantátumokra készülő fogpótlások kiszámítható megoldást jelentenek. Mind a fogászati implantátumok, mind a csípőprotézisek tekintetében ez kb. 60–80%-os csont-implantátum kapcsolatot jelent. A fennmaradó részt általában kötőszövet teszi ki. Szükség van azonban az osseointegratio körülményeinek javítására. Ennek egyik fő oka az, hogy növekszik a csontot érintő megbetegedések száma (osteoporosis, biszfoszfonátok) és az implantátumokat érintő bakteriális gyulladásos esetek (periimplantitis) száma. A kutatások és klinikai tapasztalatok alapján a legnagyobb változás az

implantátumok felszínének további módosításától várható. Ezek a tanulmányok jelenleg előtérben vannak, és jellemző rájuk, hogy egyre inkább haladunk a nanotartomány felé. A felületi érdességek mintegy kémiai katalizátorként is működnek, és közvetlenül hatnak a sejtekre. Mindezen eljárások javítják a csontintegrációt, azonban a nem megfelelő protetikai tervezés és sebészeti technika továbbra is egyértelmű sikertelenséghez vezet. Amennyiben a tervezés és a sebészeti kivitelezés megfelelő, úgy jobban érvényre juthatnak az alap kutatások eredményein alapuló tényezők.

Anyagi támogatás: A közlemény megírása, illetve a kapcsolódó kutatómunka anyagi támogatásban nem részesült.

Szerzői munkamegosztás: K. F.: Leíró felületmorfológia. B. K.: Az implantátumok alakja és formája. K. K.: A protetikai terhelés. N. Zs.: A sebészeti technika. A végleges változatot valamennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

Érdekltségek: A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

Irodalom

- [1] Harris WH. Long-term results of cemented femoral stems with roughened precoated surfaces. Clin Orthop Relat Res. 1998; 355: 137–143.
- [2] Albrektsson TA, Johansson CJ. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. Eur Spine J. 2001; 10(Suppl 2): S96–S101.
- [3] Joób-Fancsaly Á, Kerekes F, Koppány F, et al. Changes in the indications for oral surgical implants based on statistical analysis. [Az implantációs sebészeti beavatkozások indikációs területének változása a statisztikai vizsgálatok tükrében.] Fogorv Szle. 2007; 100: 103–107. [Hungarian]
- [4] Schreindorfer K, Kiss Á, Marada G. Maxillary sinusitis as a diagnostic adverse finding of the dental cone-beam computed tomography study. [Sinusitis maxillaris mint a fogászati cone-beam komputertomográfiás vizsgálat melléklete.] Orv Hetil. 2017; 158: 1747–1753. [Hungarian]
- [5] Zurányi A, Vasziné Szabó E, Tóth Z. Risk assessment of medication-related osteonecrosis of the jaw in general dental practice. [A gyógyszer által indukált állcsontnecrosis-kockázat mértékének meghatározása az általános fogorvosi gyakorlatban.] Orv Hetil. 2019; 160: 243–251. [Hungarian]
- [6] Pancanti A, Bernakiewicz M, Viceconti M. The primary stability of a cementless stem varies between subjects as much as between activities. J Biomech. 2003; 36: 777–785.
- [7] Szeverényi C, Csernátó Z, Balogh Á, et al. Effects of therapeutic suggestions on the recovery of patients undergoing major orthopaedic surgery. [Az ortopédiai nagyműtétek során alkalmazott terápiás szuggesztiók hatása a beteg gyógyulására.] Orv Hetil. 2018; 159: 2011–2020. [Hungarian]
- [8] Albrektsson T, Brånemark PI, Hansson HA, et al. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. Acta Orthop Scand. 1981; 52: 155–170.
- [9] Osborn JF. Biomaterials and their application to implantation. SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd. 1979; 89: 1138–1139.
- [10] Bourne RB, Rorabeck CH, Burkart BC, et al. Ingrowth surfaces. Plasma spray coating to titanium alloy hip replacements. Clin Orthop Relat Res. 1994; 298: 37–46.

- [11] Sivaraman K, Chopra A, Narayan AI, et al. Is zirconia a viable alternative to titanium for oral implant? A critical review. *J Prosthodont Res.* 2018; 62: 121–133.
- [12] Altuna P, Lucas-Taulé E, Gargallo-Albiol J, et al. Clinical evidence on titanium-zirconium dental implants: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016; 45: 842–850.
- [13] Lan TH, Du JK, Pan CY, et al. Biomechanical analysis of alveolar bone stress around implants with different thread designs and pitches in the mandibular molar area. *Clin Oral Investig.* 2012; 16: 363–269.
- [14] Thoma DS, Zeltner M, Hüsler J, et al. EAO Supplement Working Group 4 – EAO CC 2015 Short implants *versus* sinus lifting with longer implants to restore the posterior maxilla: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2015; 26(Suppl 11): 154–169.
- [15] Bérczy K, László Zs, Göndöcs Gy, et al. Changes of trends in the size of the dental implants in recent years. Part 1. The role of short implants in dental implantology. The literature review. [Az implantátumok méretváltozásának tendenciái az utóbbi években. 1. rész. Rövid implantátumok szerepe a fogászati implantológiában. Irodalmi áttekintés.] *Fogorv Szle.* 2016; 109: 136–140. [Hungarian]
- [16] Guidelines of the 11th European Consensus Conference 2016. Short, angulated and diameter-reduced implants. *EDI J.* 2016; 12(1): 16–19.
- [17] Buser D, Schmid B, Belser UC, et al. The new bone level implants – clinical rationale for the development and current indications for daily practice. *Int Dent SA.* 2010; 12: 58.
- [18] Gualini F, Salina S, Rigotti F, et al. Subcrestal placement of dental implants with an internal conical connection of 0.5 mm *versus* 1.5 mm: outcome of a multicentre randomised controlled trial 1 year after loading. *Eur J Oral Implantol.* 2017; 10: 73–82.
- [19] Rocío AG, Amparo AP, Peñarrocha-Oltra D, et al. Marginal bone loss in relation to platform switching implant insertion depth: an update. *J Clin Exp Dent.* 2012; 4: e173–e179.
- [20] Barrak I, Joób-Fancsaly A, Varga E, et al. Effect of the combination of low-speed drilling and cooled irrigation fluid on intraosseous heat generation during guided surgical implant site preparation: an *in vitro* study. *Implant Dent.* 2017; 26: 541–546.
- [21] Gurdán Zs, Vajta L, Tóth Á, et al. Effect of pre-drilling on intraosseous temperature during self-drilling mini-implant placement in a porcine mandible model. *J Oral Sci.* 2017; 59: 47–53.
- [22] Gallucci GO, Benic GI, Eckert SE, et al. Consensus statements and clinical recommendations for implant loading protocols. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29(Suppl): 287–290.
- [23] Cochran DL, Morton D, Weber HP. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols for endosseous dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19(Suppl) 109–113.
- [24] Weber HP, Morton D, Gallucci GO, et al. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24(Suppl) 180–183.
- [25] Joób-Fancsaly Á, Divinyi T, Huszár T, et al. New quantitative method to evaluate the effect of the surface morphology of dental implants on osseointegration on clinical cases. [A fogászati implantátumok felületkezelésének csontintegrációra kifejtett hatásának új, kvantitatív mérési lehetőségei klinikai esetek kapcsán.] *Fogorv Szle.* 2014; 107: 59–66. [Hungarian]
- [26] Kiss G, Sebők B, Szabó PJ, et al. Surface analytical studies of maxillofacial implants: influence of the pre-operational treatment and the human body on the surface properties of retrieved implants. *J Craniofac Surg.* 2014; 25: 1062–1067.
- [27] Nagy P, Joób-Fancsaly Á, Schindler Á, et al. Surface modification of dental implants. [Fogászati implantátumok felületkezelése.] *Biomech Hung.* 2014; 7: 42–49. [Hungarian]
- [28] Sebők B, Kiss G, Szabó PJ, et al. SEM and EDS investigation of a pyrolytic carbon covered C/C composite maxillofacial implant retrieved from the human body after 8 years. *J Mater Sci Mater Med.* 2013; 24: 821–828.
- [29] Sebők B, Kiss G, Szabó PJ, et al. Carbon/carbon implants in oral and maxillofacial surgery – Part 2. [Karbon/karbon implantátumok az arc- és állcsontsebészetben – 2. rész.] *Orv Hetil.* 2012; 153: 744–750. [Hungarian]
- [30] Degidi M, Nardi D, Piattelli A. 10 year follow-up immediately loaded implants with TiUnit porous anodized surface. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012; 14: 828–838.
- [31] Joób-Fancsaly Á, Divinyi T, Karacs A, et al. Survival and success rate of dental implants treated with high intensity laser. [Lézerrel felületkezelt dentális implantátumok túlélési és sikerességi rátájának vizsgálata.] *Fogorv Szle.* 2015; 108: 75–80. [Hungarian]
- [32] Schwarz F, Herten M, Sager M, et al. Bone regeneration in dehiscence-type defects at chemically modified (SLActive®) and conventional SLA titanium implants: a pilot study in dogs. *J Clin Periodontol.* 2007; 34: 78–86.
- [33] Weszl M, Tóth KL, Kientzl I, et al. Investigation of the mechanical and chemical characteristics of nanotubular and nano-pitted anodic films on grade 2 titanium dental implant materials. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2017; 78: 69–78.
- [34] Joób-Fancsaly Á, Karacs A, Pető G, et al. Effects of a nano-structured surface layer on titanium implants for osteoblast proliferation activity. *Acta Polytech Hung.* 2016; 13: 7–25.

(Koppány Ferenc dr.,
Budapest, Mária u. 52., 1085
e-mail: koppany.ferenc@dent.semmelweis-univ.hu)

Semmelweis Egyetem, Fogorvostudományi Kar
Arc-, Állcsont-, Szájsebészeti és Fogászati Klinika

Az implantátumok méretváltozásának tendenciái az utóbbi években

1. rész

Rövid implantátumok szerepe a fogászati implantológiában.

Irodalmi áttekintés

DR. BÉRCZY KINGA, DR. LÁSZLÓ ZSUZSA, DR. GÖNDÖCS GYÖRGY, DR. SHKOLNIK TATIANA, DR. JOÓB-F. ÁRPÁD

A csontintegráció feltételeit már évtizedekkel ezelőtt leírták, amelyek között szerepel a megfelelő méretű implantátum beültetése is. Ugyanakkor az utóbbi pár évben egyre többet lehet olvasni – mind a hazai, mind a külföldi irodalomban – a rövid és a keskeny implantátumok szerepéről mint lehetőségéről. Ezek az implantátumok alternatívái lehetnek a különböző csontpótlásoknak. Kiválthatják az időben hosszabb, költségesebb, beavatkozások számában magasabb horizontális és vertikális augmentációkat. Elkerülhetünk olyan komplikált, a beteg számára megerőltető és sok szövődményvel járó beavatkozásokat, mint a disztrakció vagy a nervus alveolaris inferior transzpozíció.

Célunk egy két részből álló irodalmi áttekintés annak érdekében, hogy képet kapjunk arról, valós alternatívát jelentenek-e a rövid és keskeny implantátumok.

Kulcsszó: rövid implantátum, vertikális csontpótlás, sikerességi ráta, túlélési ráta

Albrektsson és Brånemark [2] már a nyolcvanas évek elején leírták a megfelelő csontintegráció kialakulásának feltételeként – az implantátum anyaga, a megfelelő sebészeti technika, a protetikai terhelés és a korszerű implantátum-felület kialakítás mellett – az implantátum megfelelő méretét. Korábban széles körben elfogadott szemlélet volt a rövid implantátumok alacsony sikerességi aránya és kiszámíthatatlan idejű túlélési aránya, valamint, hogy a csak standard hosszúságú implantátumok hozhatnak hosszú távú megbízható eredményeket. A rövid implantátumok alacsony sikerességi arányáról számos publikációban beszámoltak [13, 28]. Azonban az elmúlt időszakban egyre több beszámoló jelent meg a rövid implantátumok figyelemre méltó sikerességéről. Kijelenthetjük, hogy ma a rövid implantátumok a fogászati implantológia klinikai vizsgálatainak reflektorfényébe kerültek. Jól példázza ezt, hogy a 2016 februárjában Kölnben megrendezett Európai Fogászati Implantológiai Társaság („European Association of Dental Implantologists”, továbbiakban EDI) Konszenzus Konferenciájának egyik témáját is ez adta [8]. A rövid implantátumok használata számos előnnyel járhat. Alkalmazásukkal elkerülhetjük a vertikális csontpótlást, a felső állcsont poszterior régiójában megfelelő csontmagasság kialakítását célzó „sinus-lift” műtétet. Hatékonyabb az anatómiai képletek védelme, gyorsabbak és alacsonyabb morbiditásúak lesznek a beavatkozásaink és a költségek is jelentősen csökkennek, ösz-

szehasonlítva az augmentációval kombinált implantációval.

Ugyanakkor számos kérdés merül fel használatukkal kapcsolatban. A kisebb felület miatt milyen lesz az implantátumok primér stabilitása, elegendő lesz-e a csont-implantátum-kapcsolat („bone to implant contact”)? Milyen lesz a koronahossz–implantátumhossz-arány („crown to implant ratio”, továbbiakban C/I)? Ezek együttesen mennyire befolyásolják az implantátum hosszú távú stabilitását? A rövidebb implantátumhossz nem okoz-e nagyobb vagy korai marginális csontvesztést? Mi változott a korábbi eredményekhez képest, amiért egyre több sikerről számolnak be a rövid implantátumok használatával kapcsolatban? Munkánk során ezekre a kérdésekre kerestük a válaszokat az aktuális irodalomban.

A rövid implantátum fogalmának meghatározása folyamatosan változik [26]. Korábban az implantáció sikerességében komoly kockázati tényezőként szerepelt, ha az implantátum hossza az alsó állcsonton < 10 mm, illetve a felső állcsonton < 13 mm [27]. A 2010 körül megjelent publikációkban még a ≤ 10 mm hosszúságú implantátumokat tekintették rövidnek [14]. A 2011-ben megrendezett VI. EDI Konszenzus Konferencián a ≤ 9 milliméteres implantátumokat fogadták el rövidnek. Az idei EDI Konszenzus Konferencián [8] ez az érték már csak ≤ 8 mm, ugyanakkor meghatározták, hogy minimum 3,75 milliméteres átmérővel kell rendel-

kezniük az implantátumoknak. Az ultra rövid implantátum mint új fogalom került meghatározásra, amelynek hossza ≤ 6 mm.

Számos publikációban foglalkoznak azzal a kérdéssel, hogy milyen tulajdonságok megváltozása vezethetett ahhoz, hogy a Bränemark által megfogalmazott, a csontintegráció feltételeként leírt megfelelő implantátum-méret az idő előrehaladtával egyre kisebbé válik és számos sikerről beszámoló vizsgálat jelenik meg a témában.

Az egyik változás, hogy a korábbi implantátumok esztergált felszínnel rendelkeztek, így minimális volt a felületi érdekesség, ez pedig alacsonyabb csont-implantátum („bone-to-implant contact”) kapcsolatot jelentett [29]. Ennek eredményeként alacsony volt az ellenállásuk a tengelytől eltérő terhelésekkel szemben, ami a kortikális csont mikro-sérüléseihez, csontvesztéshez és a rövid implantátum sikertelenségéhez, elvesztéséhez vezetett [9]. A Sun és mtsai [21] által publikált „systematic review” eredményei alapján az esztergált felszínnű rövid implantátumok (6–8 mm) sikertelensége 5,9–32,2% közötti, míg a 10 mm hosszú implantátumoké 14,6%. Felületkezelt implantátumok esetén ez az érték rövid implantátumoknál (6–8 mm) 0–3,6%, míg 10 milliméteres implantátumoknál 0,5–4,7%.

Egyértelmű következtetésként vonható le, hogy a felületkezelés kulcsfontosságú tényező a rövid implantátumok sikeressége szempontjából [5].

Számos munkacsoport vizsgálta a rövid implantátumok sikerességét az implantátum-átmérő változtatásának függvényében. Egyes elvek szerint nagyobb implantátum-átmérő esetén növekszik az implantátum összfelülete, a kortikális csontot alacsonyabb stresszhatás éri, csökkennek a csont mikro-sérülései. Egy vizsgálatban az esztergált felszínnű < 5 mm átmérőjű rövid implantátumok (6–8 mm) sikertelenségi aránya 6,4% volt. Ezzel ellentétben az 5 mm átmérőjű implantátumoké 20% [10]. Más vizsgálatok ezt az elméletet nem erősítették meg [17, 23].

Az utóbbi évtizedben megváltozott a műtési technika is. Az implantátumokat azok átmérőjéhez képest kisebb csontfészkekbe helyezjük, így nagyobb implantátum-csont-kapcsolat tud kialakulni [1].

A rövid implantátumok használatával megváltozik a korona-implantátum-arány, ennek korábban elfogadott maximális értéke 1 volt. Azonban kutatások kimutatták, hogy a megnövekedett korona-implantátum-arány nem jelent komoly rizikótényezőt mechanikai szempontból. Egy 10 éves prospektív vizsgálat TPS-sel felületkezelt implantátum esetén fordított arányosságot talált a C/R és marginális csontvesztés között, azaz a nagyobb C/R arány mellett alacsonyabb volt a marginális csontvesztés [4]. Garaicoa-Pazmiño és mtsai [6] 13 publikációt, összesen 2,072 darab 10 milliméternél rövidebb implantátumot értékelték és hasonló eredményre jutottak.

Új implantátum-formák (pl.: „tapered”, „bone level”) és új implantátum-anyagok (TiZr-Roxolid), új felületkezelési technikák (SLActive) jelentek meg, amelyek

hosszú távon szintén a rövid implantátumok sikerességének növekedéséhez vezethetnek [12]. Az új felszínnek esetén, mint például az SLActive az oszseointegráció gyorsabban történik meg, az úgynevezett másodlagos stabilitás („secondary stability”) hamarabb alakul ki [11, 15]. A TiZr anyagból készült implantátumok jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a tiszta titánimplantátumok [7]. Rövid implantátumok használatával, amennyiben azok „bone level” típusú implantátumok, nem feltétlenül csökken az implantátum felülete. Egy „tissue level” (Straumann) implantátum csavarmenetei között a távolság 1,25 milliméter. Egy „bone level” (Straumann) esetén ez az érték 0,8 milliméter. Ez azt jelenti, hogy egy 4 milliméteres „bone level” implantátumon több csavarmenet helyezkedik el, mint egy 6 milliméteres „tissue level” implantátum esetén.

A rövid implantátumok sikerességéről számos publikáció jelent meg a közelmúltban.

Atieh és mtsai [3] irodalmi áttekintést végeztek a témában. Ennek során 1992 és 2011 között megjelent 33 publikáció (5 randomizált klinikai kutatás; 16 prospektív, nem randomizált, nem kontrollált kutatás; 12 retrospektív, nem randomizált kutatás; 1 prospektív és retrospektív adatokat is tartalmazott) anyagát dolgozták fel. Összesen 2,573 rövid implantátum ($\leq 8,5$ mm) szerepelt a 33 beszámolóban. Egyéves utánkövetés során 59 sikertelen esetet írtak le, ezek 71%-a még a protetikai megterhelés előtt történt. Összesen 101 implantátum esetén volt öt éves követés. Konklúzióként írták le, hogy a rövid implantátumok jó alternatívái lehetnek azoknak az eseteknek, amikor a hosszabb implantátumok behelyezéséhez csont augmentációra lenne szükség.

Srinivasan és mtsai [20] 12 publikáció (1987–2011) eredményeit dolgozták fel, melyekben összesen 690 db 6 mm-es Straumann implantátum szerepelt. Az utánkövetési idő 1 és 8 év között volt. Összesen 25 implantátum-vesztés történt, ezek 76%-a a korai időszakban. A sikertelenség megoszlási aránya a maxillában 5,3%, a mandibulában 1,4%.

Rossi és mtsai [18] öt éves prospektív vizsgálatot végeztek. Ennek során 40 darab 6 mm hosszú, 4,1–4,8 mm átmérőjű, SLActive felszínnű implantátumot helyeztek be moláris régiókba. Protetikai rehabilitáció mindegyik esetben szóló korona volt, megterhelés 6-7 héttel a műtétet követően történt. Két darab implantátumvesztés történt, mindkettő a protetikai megterhelés előtt. A marginális csontvesztés $0,7 \pm 0,6$ mm volt.

Slotte és mtsai [19] 86 darab 4 milliméter hosszú implantátumot helyeztek el a mandibula hátsó régiójában. Az implantátumokat öt évig követték. Időközben összesen 6 implantátummal rendelkező két páciens elhunyt. Egy páciens az első évben három implantátumot veszített. További öt implantátumvesztés történt (3–5 év között) három másik páciens esetén. Az implantátumokat rögzített fogpótlásokkal látták el. A túlélési arányuk 92,2%. Az átlagos marginális csontvesztés 0,5 mm.

Telleman és mtsai [24] vizsgálataiból kiderült, hogy a 6 mm és a 9,5 mm hosszú implantátumok két éves

túlélési arányában nincs jelentős különbség. Az előbbi 97,4%-os, az utóbbi 98,6%-os eredményt hozott, tehát a különbség 1,2%. Azonban az 5 mm hosszú és a 6 mm hosszú implantátumok kétéves túlélési arányában jelentős különbség látható. Az 5 mm-es implantátumok túlélési aránya 93,1%, tehát a kettő közötti különbség 4,3%. Továbbá konklúzióként vonták le, hogy a mandibulában elhelyezett rövid implantátumok prognózisa jobb, mint a maxillába helyezetté.

A felső állcsonton manapság rutinszerűen alkalmazzuk a vertikális csontmagasságot növelő különböző sinus elevációs műtéteket. Nyitott „sinus-lift” esetén a sikerességi arány 98,3% [16], zárt sinus-lift esetén 92,8% [22]. Ehhez képest vajon mennyi a rövid implantátumok sikerességi aránya? Thoma és mtsai [25] arra a kérdésre keresték a választ, hogy a maxilla hátsó régiójában „sinus-lift”-et követően hosszú implantátummal, vagy augmentáció nélkül, rövid implantátum használatával érhető-e el jobb eredmény. Nyolc randomizált kontrollvizsgálat eredményét összegezték. 197 darab rövid (≤ 8 mm) implantátum (augmentáció nélkül) és 209 darab hosszú (≥ 8 mm) implantátum (augmentációt követően) behelyezés történt. A követési idő az implantációt követően 8–18 hónap, a túlélési arány ezen idő alatt 97–100%. A nyolc publikációból csak három vizsgálta a túlélési időt 12 hónappal a protetikai megterhelés után, ezek eredménye alapján mindkét műtéti technikánál 100%-os volt a túlélési arány. Biológiai komplikáció rövid méretű implantátum esetén 8 esetben fordult elő (5 intra-, 3 posztoperatív). A csontaugmentált betegeknél 21 biológiai komplikáció fordult elő (ebből 16 a sinus-elevációval összefüggésben, pl. sinus membrán perforáció). A publikációk alapján a marginális csontvesztesség rövid implantátumoknál 0,1 és 1,02 mm között mozgott. Hosszú implantátumok esetén 0,1 és 1,15 mm közötti értékek szerepeltek. A páciensek a kevésbé invazív, rövid implantátumok használatát preferálták jobban, bár a szerzők szerint a páciensek elégedettsége nem standardizált és nem összehasonlítható módszerekkel történt. A műtéti idő és a várható költségek tekintetében egyértelműen a rövid implantátumok használata mutatott kedvezőbb eredményt. A rövid implantátumok behelyezési ideje 15 és 165 perc között mozgott, míg a csontaugmentációs műtétek 20 és 210 perc időt vettek igénybe. A rövid implantátumok átlagos műtéti költsége 941 euró volt, míg az augmentáció és a hosszú implantátum együttes költsége átlagban 1.944 euró volt. A szerzők szerint annak ellenére, hogy az eredmények alapján mindkét módszer biztonsággal és kiszámíthatóan használható, az eredményeket óvatosan szükséges kezelni, főleg a rövid implantátumok behelyezése utáni követési idő miatt. Felhívják a figyelmet arra, hogy a vizsgálatok a túlélési időről, a marginális csontvesztességről, valamint a biológiai komplikációról pontosan, viszont a protetikai sikerességről következtetlően számolnak be, vagy nincs róluk adat. Szükségesnek tartják továbbá hosszú távú prospektív vizsgálatok elvégzését.

A már korábban említett, idén megrendezett kölni

EDI Konszenzus Konferencián megfogalmazásra kerültek a rövid implantátumok indikációi, illetve a komplikációk megelőzésének feltételei [8].

Indikációként tekintik mind a felső, mind az alsó állcsont részleges foghiányait a moláris régióban, amennyiben az anatómiai képletek (sinus maxillaris, nervus alveolaris inferior) közelsége miatt nem elégséges a vertikális csontmagasság standard méretű implantátum behelyezéséhez, de a horizontális csontvolumen elegendő $\geq 3,75$ mm átmérőjű implantátum alkalmazásához. Szintén indikációs terület a részleges kivehető fogpótlások elhorgonyzásához frontális régióba végzett implantáció.

A komplikációk elkerülése érdekében nem javasolják az esztergált felszínű implantátumok használatát. A rövid implantátumok alkalmazását csak megfelelő csontminőség esetén ajánlják. Kerülendő az implantátumokat oldal irányú erőbehatásoknak kitenni, tehát csak megfelelő okklúzió esetén használhatók a rövid implantátumok. Javasolják a „bone level” és a „tapered” típusú implantátumok használatát. Fontos mind a sebész, mind a protetikus megfelelő szakmai gyakorlata. Ugyanakkor nem foglalnak állást a rövid implantátumok azonnali megterheléséről, mivel a témában nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű információ.

Összefoglalás

Az említett irodalmi adatok alapján a rövid implantátumok használata kiszámítható és biztonságos módszernek tűnik, valós alternatívája lehet a csontaugmentációs műtéteknek. Azonban a kapott eredményeket óvatosan kell kezelnünk. Nem beszélhetünk „evidence based”-ről. Ennek egyik oka a publikációk többségében szereplő rövid követési idő. Gyakori probléma a protetikai megterhelést követő, hosszú távú sikeresség-arány hiánya. A szerzők tudják, hogy irodalmi áttekintésük közel sem teljes. Célkitűzésükként sem ez szerepelt. A maguknak feltett kérdésekre (csont-implantátum-felület?, marginális csontvesztesség?, korona-implantátum-arány?, túlélési arány?) az angol nyelvű irodalomban keresték a választ. A téma iránt kimagasló nemzetközi érdeklődés mutatkozik. Eerre való tekintettel retrospektív vizsgálatot indítottunk klinikánk anyagából. A behelyezett rövid, valamint keskeny implantátumok adatait a páciensek aktuális kontrollvizsgálatai során rögzítjük. Reményeink szerint hosszú távú, megbízható és szignifikáns eredményeket kapunk, melyeket hamarosan publikálni tudunk.

A jelenlegi nemzetközi trendekből – a rövid és keskeny implantátumok alkalmazásával kapcsolatban – is kiderül, hogy a fogászati implantológiában még az alaptudományhoz tartozó, csontintegrációt befolyásoló tényezők, vizsgálatok is milyen fontosak. Hajlamosak vagyunk mindig az újat keresni, új műtéti technikákat, új eszközöket kutatni, fejleszteni, és a több évtizede felfe-

dezett és leírt tényeket evidenciának kezelni. Pedig az új anyagok (pl. TiZr), új implantátumfelszínek vizsgálata, vagy akár az implantátum méretének a változtatása is hozhat új eredményeket.

Későbbiekben terveink között szerepel a keskeny implantátumok aktuális irodalmi összefoglalójának elkészítése.

Irodalom

1. AL-MARSHOOD MM, JUNKER R, AL-RASHEED A, AL FARRAJ ALDOSARI A, JANSEN JA, ANIL S: Study of the osseointegration of dental implants placed with an adapted surgical technique. *Clin Oral Implants Res.* 2011; 22: 753–759.
2. ALBREKTSSON T, BRÄNEMARK PI, HANSSON HA, LINDSTRÖM J: Osseointegrated titanium implants. *Acta orthop. scand.* 1981; 52: 155–170.
3. ATIEH MA, ZADEH H, STANFORD CM, COOPER LF: Survival of short dental implants for treatment of posterior partial edentulism: a systematic review. *J Oral Maxillofac Implants.* 2012; 27: 1323–1331.
4. BLANES R, BERNARD J, BLANES Z, BELSER U: A 10-year prospective study of ITI dental implants placed in the posterior region. II. Influence of the crown-to-implant ratio and different prosthetic treatment modalities on crestal bone loss. *Clin Oral Implants Res.* 2007; 18: 707–714.
5. DIPORTER D: Short dental implants: what works and what doesn't? A literature interpretation. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2013; 33: 457–464.
6. GARAICOA-PAZMIÑO C, SUAREZ F, MONJE A, CATENA A, ORTEGA-OLLER I, GALINDO-MORENO P, WANG HL: Influence of Crown-Implant Ratio Upon Marginal Bone Loss. A Systematic Review. *J Periodontol.* 2014; 85: 1214–1221.
7. GOTTLÖW J, DARD M, KJELLSON F, OBRECHT M, SENNERBY L: Evaluation of a new titanium-zirconium dental implant: a biomechanical and histological comparative study in the mini pig. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012; 14: 538–545.
8. GUIDELINES OF THE 11TH EUROPEAN CONSENSUS CONFERENCE. Short, angulated and diameter-reduced implants. *EDI Journal.* 2016; 12: 16–19.
9. HAGI D, DEPORTER D, PILLIAR R, ARENOVICH T: A targeted review of study outcomes with short (< 7 mm) endosseous dental implants in partially edentulous patients. *J Periodontol.* 2004; 75: 798–804.
10. IVANOFF C, GRONDAHL K, SENNERBY L, BERGSTROM C, LEKHOLM U: Influence of variations in implant diameters: A 3-to-5-year retrospective clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1999; 14: 173–180.
11. LANG NP, SALVI GE, HUYNH-BA G, IVANOVSKI S, DONOS N, BOSS-HARDT DD: Early osseointegration to hydrophilic and hydrophobic implant surfaces in humans. *Clin Oral Implants Res.* 2011; 22: 349–356.
12. LOMBARDI G, CORROCHER G, PIGHI J, FACCIONI F, ROVERA A, MARINCOLA M, et al: The impact of subcrestal placement on short locking-taper implants placed in posterior maxilla and mandible: a retrospective evaluation on hard and soft tissues stability after 2 years of loading. *Minerva Stomatol.* 2014; 63: 391–402.
13. NAERT I, KAUSIKAKIS G, DUYCK I: Biologic outcome of implant-supported restorations in the treatment of partial edentulism. Part I. A longitudinal clinic evaluation. *Clin Oral Implants Res.* 2002; 13: 381–389.
14. NKENKE E, STELZLE F: Clinical outcomes of sinus floor augmentation for implant placement using autogenous bone or bone substitutes: a systematic review. *Clin Oral Implant Res.* 2009; 4: 124–133.
15. OATES TW, VALDERRAMA P, BISCHOF M, NEDIR R, JONES A, SIMPSON J, TOUTENBURG H, COCHRAN DL: Enhanced implant stability with a chemically modified SLA surface: a randomized pilot study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2007; 22: 755–760.
16. PJETURSSON BE, TAN WC, ZWALEN M, LANG NP: A systematic review of the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination with sinus floor elevation. Part 1: Lateral approach. *J Periodontol.* 2008; 35: 216–240.
17. POMMER B, FRANTAL S, WILLER J, POSCH M, WATZEK G, TEPPER G: Impact of dental implant length on early failure rates: A meta-analysis of observational studies. *J Periodontol.* 2011; 38: 856–863.
18. ROSSI F, LANG NP, RICCI E, FERRAIOLI L, MARCHETTI C, BOTTICELLI D: Early loading of 6-mm-short implants with a moderately rough surface supporting single crowns – a prospective 5-year cohort study. *Clin Oral Implants Res.* 2015; 26: 471–477.
19. SLOTT C, GRÖNNINGSAETER A, HALMØY AM, ØHRNELL LO, MORDENFELD A, ISAKSSON S, JOHANSSON LA: Four-Millimeter-Long Posterior-Mandible Implants: 5-Year Outcomes of a Prospective Multicenter Study. *Clin Implant Res.* 2015; 17: 385–395.
20. SRINIVASAN M, VAZQUEZ L, RIEDER P, MORAGUEZ O, BERNARD JP, BELSER UC: Survival rates of short (6 mm) micro-rough surface implants: a review of literature and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2014; 25: 539–545.
21. SUN HL, HUANG C, WU YR, SHI B: Failure rates of short (< 10) dental implants and factors influencing their failure: A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2011; 26: 816–825.
22. TAN WC, LANG NP, ZWALEN M, PJETURSSON BE: A systematic review of the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination with sinus floor elevation. Part 2: Transalveolar technique. *J Periodontol.* 2008; 35: 241–254.
23. TAWIL G, YOUNAN R: Clinical evaluation of short, machine-surface implants followed for 12 to 92 months. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2003; 18: 894–901.
24. TELLEMAN G, RAGHOEBAR GM, VISSINK A, DEN HARTOG L, HUDDLESTON SLATER JJ, MEIJER HJ: A systematic review of the prognosis of short (< 10 mm) dental implants placed in partially edentulous patient retrospective study of 5–10 years. *J Periodontol.* 2011; 38: 667–676.
25. THOMA DS, ZELTNER M, HÜSLER J, HÄMMERLE CH, JUNG RE: Short implants versus sinus lifting with longer implants to restore the posterior maxilla: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2015; 26: 154–169.
26. VAJDOVICH I, OROSZ M: A short implantátumok alkalmazásának tapasztalatai az irodalomban. *Fogorvosi Szemle.* 2015; 2: 39–43.
27. VAN STEENBERGHE D, LEKHOLM U, BOLENDER C, FOLMER T, HENRY P, HERRMANN I, et al: The applicability of osseointegrated oral implants in the rehabilitation of partial edentulism: A prospective multicenter study of 558 fixtures. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1990; 5: 272–281.
28. WENG D, JACOBSON Z, TARNOW D, HURELER MB, FAEHEH O, SANAVI F, et al: Multicenter prospective clinical trial of 3i machined surface implants: result after 6 year of follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2003; 18: 417–423.
29. WENNERBERG A, EKTESSABI A, ALBREKTSSON T, JOHANSSON C, ANDERSON B: A 1-year follow-up of implants of differing surface roughness placed in rabbit bone. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1997; 12: 486–494.