

A fogászati implantátumok felületmorfológiájának befolyása a csontintegrációra

Összefoglaló referátum

DR. KOPPÁNY FERENC

A dentális implantátumok felületi morfológiájának fontosságát már Bränemark is hangsúlyozta a nyolcvanas években megfogalmazott csontintegráció folyamatának alapjaként. Az elmúlt pár évtizedben – mint sok más területen – az orális implantológián belül is jelentős változások történtek. A felületi morfológia jelenleg is az egyik legintenzívebb alapkutatási terület. Az internetes keresőportálok szerint napi egy-két tudományos publikáció jelenik meg ebben a témában. A hazai kutatások is jelentősek. Több tudományos műhelyben – kooperálva a műszaki területen tevékenykedő kollégákkal – vizsgálatok sora zajlik most is. Számtalan publikáció, előadás, PhD munka született az implantátumok felületének vizsgálati anyagából. A szerző célja az volt, hogy összefoglalja a múlt és jelen állását a témából és irányvonalakat mutasson a jövőbeli kutatások tárgyából is.

Kulcsszavak: felületi morfológia, csontintegráció, felületkezelés

Bevezetés

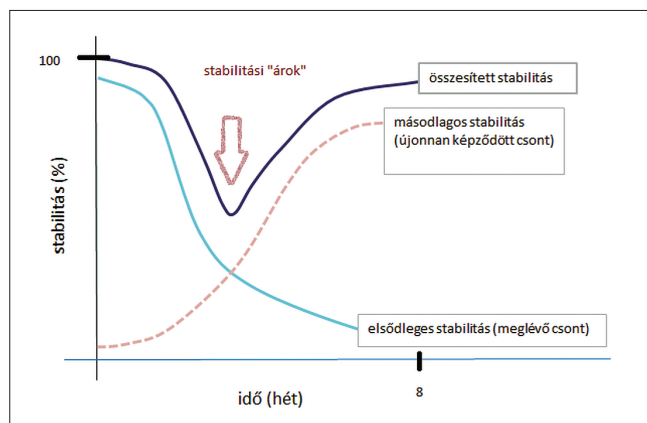
A fogászati implantátumok megbízható megoldást jelentenek részleges vagy teljes foghiányok pótlását elvégző fogművek megtámasztásában. Felhasználásuk jól körülírt javallati, műtéttechnikai és fogpótlástani szabályokat követve megfelelő eredményeket nyújtanak a betegek számára és szakmai megelégedettséget a fogorvos kollégák számára. Bränemark már több évtizede, 1969-ben leírta a csontintegráció folyamatát és feltételrendszerét [4, 5]. Munkássága révén új korszak indult el az implantológiában és megszorodtak az implantátumok különböző formáját és anyagát vizsgáló kutatások. Az elmúlt évtizedben az implantológiai fejlődés alapkutatási szakasza új irányvonalat vett. Az alaktani tulajdonságok vizsgálatának helyét egyre inkább átvették az implantátumok felszínének hatását taglaló kutatások. Erre számos hazai és nemzetközi publikáció a bizonyíték [3, 4, 15, 16, 17, 19]. Magyarországon három Fogorvostudományi Karnak (budapesti, debreceni, szegedi) négy kutatócsoportja is dolgozik ebben a témában. Napjainkban több mint 1000 féle implantációs rendszer létezik. A két legáltalánosabban használt forma a cilindrikus és a kúpos kialakítás. A felület morfológiai jellemzői közül a felszíni érdesség különböző mérettartományai, a nedvesítőképeség és a különböző típusú bevonatok erősen hozzájárulnak a csontintegráció során zajló biológiai folyamatokhoz azáltal, hogy közvetlen kapcsolatot létesítenek a gazda csontsejtekkel [20]. Általánosságban elmondható, hogy az implantátumok hosszú távú

sikeressége kitűnő. A sikertelenségek elsősorban a nem megfelelő csontintegráció miatt alakulnak ki az első néhány hónapban (~1–2%), másodsorban pedig a hosszabb időt követően kialakuló periimplantitis miatt (~5%) [8, 31]. Egyre gyakrabban találkozunk az anamnézisben cukorbetegséggel, véralvadást gátló problémáival, csonttritkulással, biszfoszfonát kezeléssel vagy rendszerbetegségekkel [14, 25]. Ezek a társuló állapotok megnehezítik a csontintegráció kialakulását és szükségessé teszik olyan bioaktív felszín kialakítását, amely az összeintegráció folyamatát felgyorsítja. Emellett hozzájárulhat a korai terhelési protokollok alkalmazásához is. Összességében elmondható, hogy az implantátumfelszín módosításának célja a korai csontintegráció (primer) elősegítése, amely hosszú távon minimális marginális csontvesztést okoz.

Áttekintés

Csontintegráció

A fogászati implantátumok közvetlenül a behelyezést követően mechanikailag rögzülnek, ezt hívjuk elsődleges stabilitásnak. A csontintegráció folyamán fiziológias és funkcionális kapcsolat jön létre az újonnan kialakuló csontstruktúra és az implantátum felülete között. Biomechanikai szempontból ezt másodlagos stabilitásnak hívjuk [3]. Az implantátum sebészi behelyezésekor csontsérülést okozunk a csontban, amely beindítja a sebgyógyulási folyamatokat. Az új csont képződhet a furat fala felől az implantátum irányába (hívjuk distant osteo-



1. ábra: Elsődleges és másodlagos stabilitási görbe közötti mélyedés

genesis-nek) vagy közvetlenül az implantátum felszínén, az ott jelenlévő oszteogén sejtek hatására de novo csontot eredményezve (contact osteogenesis) [18, 33]. A másodlagos stabilitás nagymértékben függ az új csont képződésétől a csont-implantátum felületén és ez jelentősen befolyásolja az implantátum élettartamát is [29]. A csontátrendeződést (remodeling) követően az implantátum felszínének körülbelül 60-70%-át csont borítja közvetlenül fénymikroszkópos szinten [28]. Ezt nevezzük csont-implantátum kapcsolatnak (bone-to-implant contact, BIC), amely széles körben használt paramétere a csontintegráció megítélésének. A csont átépülése és átrendeződése az implantátum egész élettartama alatt megtörténik [36].

Felületi morfológia hatása a csontintegrációra

A fogászati implantátumok felületének döntő jelentősége van a csontintegrációban és befolyásolják mind a stabilitást, mind a sikerességi és túlélési rátáját. A topográfia leírása makro, mikro és nano szinten történhet. A makrotopográfiát a látható elemek képezik (geometria, menetek). Az implantátum behelyezését követően a csont-implantátum távolságtól függően a gyógyulás elméletileg három lehetséges módon történhet. Első esetben az implantátum menetének legkisebb átmérője megfelel a furat szélességének. Mikrosérülések talaján az implantátum megszorul és ez nagymértékű primer stabilitást eredményez. Az első hetekben a nyomás következtében a felület közelében csontnekrozis alakul ki, amely a stabilitás átmeneti csökkenéséhez vezet (1. ábra). Ezt követően a remodeling során új csont képződik és kialakul a másodlagos stabilitás [10]. A második esetben a furat szélessége megegyezik az implantátum menetének legnagyobb átmérőjével. Ennek következtében a menetszélességnek megfelelő területen tér keletkezik, úgynevezett gyógyulási kamrák, amelyek granulációs szövetet tartalmaznak. Ezen területek elcsontosodása alakítja ki a másodlagos stabilitást [21].

A fejlesztők célja, hogy a primer és szekunder stabilitási görbe minél jobban közelítsen egymáshoz, más

szóval, minél kevesebb idő teljen el az elsődleges és másodlagos stabilitás kialakulása között.

A harmadik esetben a sebészi előkészítés a menet szélességének köztes részénél helyezkedik el, így a nyomás miatt a remodeling és a gyógyulási kamrák csontosodása egyaránt létrejön. A gyógyulási kamrák jelentőségét az adja, hogy ezek biztosítanak teret a különböző mikro- és nanotopográfiai felületmódosításoknak, illetve bevonatok alkalmazásának [10].

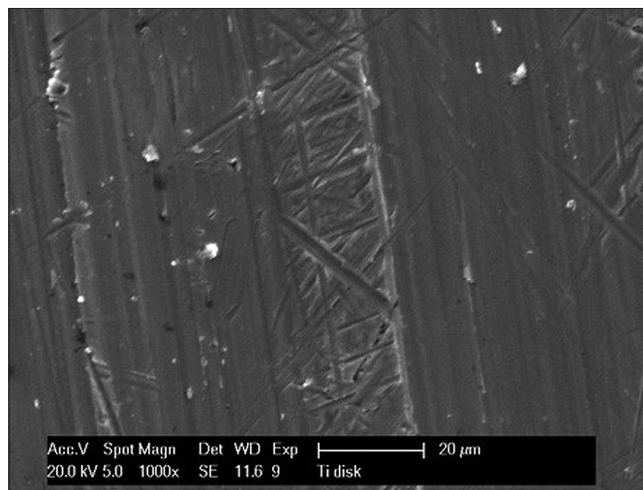
A mikrotopográfia az érdesség megvalósítását jelenti mikrométeres szinten (1–100 μm). Ide tartozik a mechanikai megmunkálás, savval maratás, anodizációs eljárások, homokfúvás, részecske-fúvás és a lézeres kezeléssel történő bevonatok megvalósító eljárások [12, 16, 19, 24, 30]. A mikrométeres struktúrák befolyásolják a környezetükben lévő sejtek proliferációját és differenciálódását. Számos eddig leírt és még fel nem fedezett biológiai folyamatot indítanak be. Az 1990-es évekig a fogászati implantátumokat elsősorban mechanikailag kezelték, ami magában foglalta az esztergálást, érdesítést és polírozást (2. ábra). Az így létrehozott érdes felület biztosította a csontképző sejtek megtapadását és a 3–6 hónap alatt lezajló csontintegrációt az anatómiai helytől és a csontminőségtől függően [1, 7].

A felszíni érdesség általános jellemzésére két paramétert alkalmaznak: 1. R_a érték (kiemelkedések átlagértéke, két dimenzió), 2. S_a érték (területi kiemelkedések átlagértéke, három dimenzió). A legtöbb fogászati implantátum R_a értéke 1–2 μm között van. Albrektsson és Wennerberg leírták, hogy ez az értéktartomány kedvező a csontintegráció kialakulása szempontjából. A barázdák, árkok és kiemelkedések felületet biztosítanak a csontintegráció biológiai folyamataihoz. A felület mikrométeres módosításai befolyásolják a csontképző sejtek növekedését, anyagcseréjét és vándorlását, citokin és növekedési faktor termelését. Napjainkban a legtöbb fogászati implantátumokat gyártó cég ebben a tartományban befolyásolja a felületeket. A mikromorfológiát befolyásoló eljárások jól dokumentáltak és évtizedek óta klinikai alkalmazásban vannak (3. ábra) [1, 2, 8].

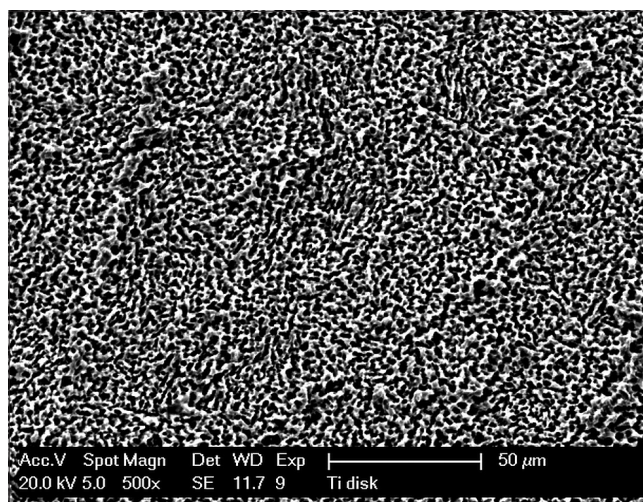
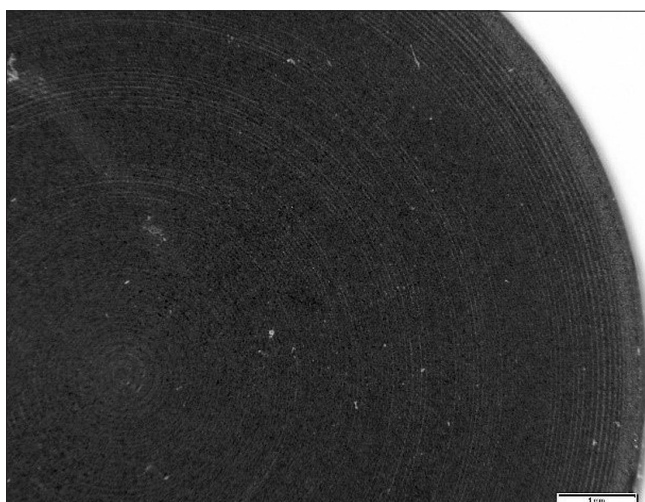
Nanomorfológia hatása a csontintegrációra

Az ezredforduló után került a kutatások középpontjába az implantátumok felszínének nanométeres tartományban történő befolyásolása. A nanomorfológiai tartomány a topográfia nanométeres megváltoztatását jelenti (1–100 nm). A mikromorfológia befolyásolja a csontképző sejtek működését, a nanomorfológia módosulásai azonban már a fehérjeszinten hatnak a sejt-implantátum kapcsolat alakulására. Nemcsak érdességek alakíthatók ki, hanem megváltoztathatók a felszín kémiai tulajdonságai is. Ezáltal növelhető a felületi energia, amely kedvezően befolyásolja az oszteoblasztok megtapadását és működését [9, 22, 26, 34]. Napjainkban használatos eljárások a nanomorfológiai módosításokban:

1. Diszkrét kristályfelhordás, melynek során 20–100 μm nagyságú kalcium-foszfát részecskéket visznek fel kettősen elősavazott felszínre.



2. a, b ábra: Esztergált Grade5 titánkorongok felületei (sztereo- és scanning elektronmikroszkópos képek)



3. a, b ábra: Kémiai maratással létrehozott felületek Grade5 titánkorongok felszínén (sztereo- és scanning elektronmikroszkópos képek)

2. Lézeres felületkezelés, melynek során nanoméretű csatornákat képeznek az implantátum nyaki felszínébe.
3. Anodikus oxidáció, amelynek során kémiai úton megnövelik a TiO_2 réteg vastagságát.
4. Titánium-oxid szórás követő savval maratás, amelynek során fluorid ionban gazdag nanostruktúra alakul ki a felszínen.

A fenti eljárások elősegítik a gyorsabb csontintegrációt, kedvezően hatnak a csontsejtek megtapadására és elősegítik a biológiai zárás kialakulását; Hidrofil felszín hozható létre, ami szintén a csontképző folyamatokat segíti [6, 11, 25, 33].

Bizonyos eljárások nem tartoznak a klasszikus felszínképző eljárások közé, hanem valamilyen utókezelést jelentenek, azaz a felszíni réteg kémiai tulajdonságait változtatják meg. Ide tartozik a felszín hidroxilálása és az ultrabolya sugárral (UV) történő kezelés. Hidrofil felszín létrehozása gyorsítja a csontintegráció kiala-

kulását, UV-kezelés pedig növeli a felszíni energiát és elősegíti a fehérjék megtapadását [23, 37].

Jövőbe mutató vizsgálatok, lehetőségek a csontintegráció tökéletesítésére

Napjainkban az implantátumok felszínét befolyásoló vizsgálatok két jelentősebb irányvonalat követnek. Az egyik a felszín különböző anyagokkal történő bevonása, a másik pedig új felszín kialakítása meghatározottan elrendezett nanosintű TiO_2 képződényekkel (nanocsöves titán), illetve e kettő kombinációja.

1. Felszíni bevonatok módosítása:

- a) Hidroxiapatit és nanoösszetételű bevonatok kialakítása

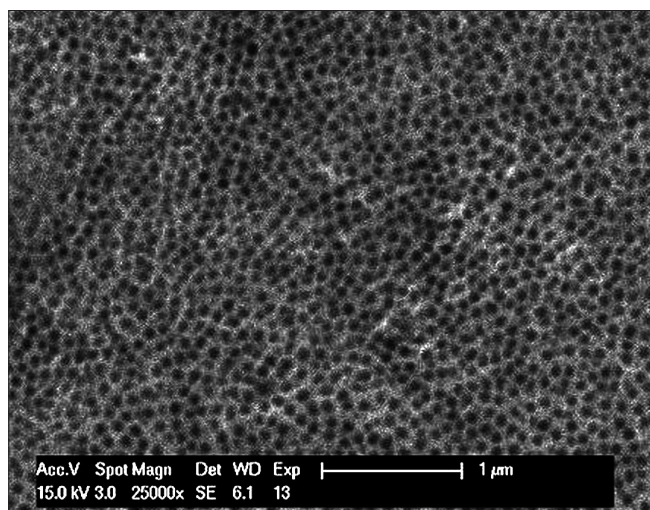
A hidroxiapatit biológiailag stabil kalcium-foszfát és a csontintegráció során a szerves mátrix mineralizáció-

ját segíti. Az eddigi eredmények ellentmondások. Egyes vizsgálatok nem írnak le különbséget a kezelt és kezeletlen felszínnek között [32].

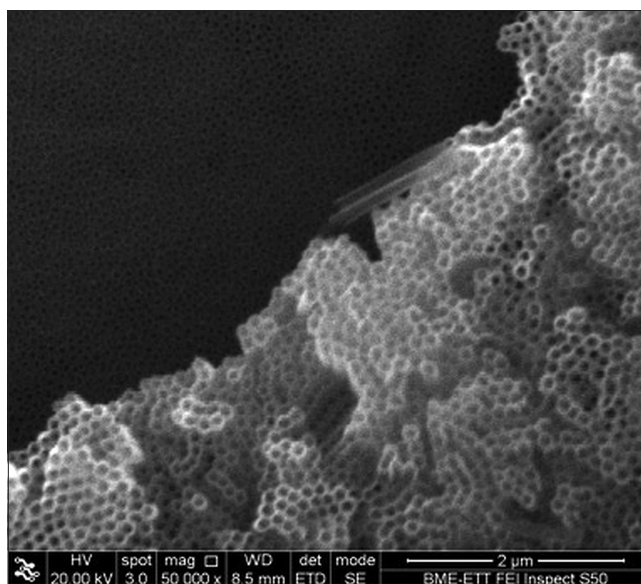
- b) Növekedési faktorok felvitele a felszínre. Ide tartozik a PDGF, TGF- β , és a fibroblaszt növekedési faktor (FGF) felvitele. A TGF- β családba tartoznak az 1965-ben leírt csontmorfogenetikus fehérjék. Mindhárom csoportot érintő vizsgálatok egyöntetűen kedvezőbb eredményeket mutatnak nem kezelt felszínhez képest.
- c) Extracelluláris mátrix (ECM) fehérjékkel történt felületkezelés
A csontintegráció proliferációs szakaszában a fibroblasztokat a fibroblaszt növekedési faktor (FGF) serkenti az extracelluláris mátrixfehérjék kiválasztására (pl. kollagén, fibronectin, proteoglikánok). Az ECM segíti az oszteoblasztok megtapadását a felszínen.
- d) Peptidekkel történő kezelés A rövid aminosavláncokból kialakított biomolekulák segítik a szöveti sejtek megtapadását a baktériumokkal szemben, emellett elősegítik az oszteoblasztok proliferációját. Egyelőre csak preklinikai vizsgálatok történtek.
- e) Hírvívó fehérjék felvitele a felszínre. A csont remodeling folyamán az oszteoklasztok hírvívó anyagot (szklerosztin) termelnek, amely gátolja az oszteoblasztok tevékenységét. Szklerosztin antitestek szisztémás bevitelével patkányokon fokozott csontképződést értek el. Ígéretes bevonatnak tűnik.
- f) Gyógyszerekkel történő felületkezelés. A biszfoszfónátok gátolják az oszteoklasztok tevékenységét, ezáltal hozzájárulnak a csont mennyiségének növeléséhez. Biszfoszfónát (zolendronát) felhordása implantátum felszínre magasabb csont-implantátum kapcsolat és nagyobb stabilitást eredményezett patkányokon. Hasonló eredményeket értek el 16 páciens esetében. Jelentősen nagyobb mechanikai rögzülést tapasztaltak, amelyet rezonancia frekvencia analízissel igazoltak.
2. Nanocsöves elrendezésű TiO_2
1991-ben írták le először a sokatomos szénmoleku-

lák (fullerének) nanocsöves elrendeződését, mely azóta az anyagtudományi kutatások középpontjában áll. A fullerének legalább hatvan atomból állnak, szabályos zárt szerkezetet képeznek és ezáltal sajátos anyagfajlagosságokat nyernek. Amennyiben a zárt szerkezet csöves elrendeződést nyer (nanocső), úgy a csövecskék térbeli elrendeződésének megváltoztatása a fullerént tartalmazó anyag tulajdonságainak hangolását 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 néhány mikrométeres nanocsöveket visznek fel anodizációs eljárással. Ez a felépítés sajátos elektromos, kémiai és biológiai hatásokat eredményez, amelyek a csövek elrendezésével megváltoztathatók, hangolhatóak. 2007-ben kezdett vizsgálatsorozat arra derített fényt, hogy a különböző szöveti sejtek a legerősebben akkor kötődnek a felszínhez, ha a csövek mérete 15 nm körüli. A csövek méretének 100 nm-re történő módosítása azonban ugyanezen sejtek apoptózisát idézte elő. A csövecskék elrendeződésének megváltoztatásával befolyásolható a felszín hidrofilitása, antibakteriális hatása és felületi energiája is. A nanocsövek belső ürege hordozó felületként is szolgálhat, amelybe például ezüstszemcséket juttatva az antibakteriális hatás fokozható, hidroxipatitot juttatva pedig a csontosodás kezdeti szakasza gyorsítható (4. ábra) [27].

A nanocsöves szerkezet irodalma szerteágazó. Implantológiai szempontból a felhasználhatóság számos kérdést tartogat. 2016-ban az eddigi kutatások eredményeit, a nanocsöves szerkezet implantológiai felhasználhatóságát és a felület reprodukálhatóságát



4. a, b ábra: Nanocsöves felület Grade2 titánkorongokon (25000 és 50000-szeres nagyításban)



gát összegezte egy Európai Unióra kiterjedő multicentrikus vizsgálatosorozat, a NanoTi projekt. A vizsgálat végső következtetései alapján a nanotubuláris felszín biokémiai tulajdonságai (hidrofilitás, szöveti sejtek megtapadása, antibakteriális hatás, csont-implantátum kapcsolat) jobbak a napjainkban általánosan használt implantátumfelszíneknél. A klinikai vizsgálatok azonban még váratnak magukra. A NanoTi projektben a Budapesti Műszaki Egyetem is részt vett és kifejlesztettek egy olyan (nanobarázdált) felszínt, amelyben a nanocsövek helyett csőszerű bemélyedések képeztek az elektropolírozott felszínen. Ezen felszín alapvető tulajdonságai a nanocsöves felszínnel hasonló értékeket mutattak, azonban a felület fizikai ellenállóképessége (kicsavarási teszt) jelentősen jobbnak mutatkozott [35].

Összefoglaló

A fogászati implantátumok felületmorfológiájának kutatása az elmúlt évtizedben jelentős változáson esett át. A mechanikailag megmunkált felszín egészen a kilencvenes évekig a leggyakrabban alkalmazott kialakítás volt. Bebizonyosodott, hogy a felszín további (mikroszintű) módosítása (pl. homokfúvás, savval maratás, részecskeszórás) hozzájárul a gyorsabb és teljesebb csontintegrációhoz. A napjainkban használatos implantátumok legnagyobb része ilyen módon kezelte.

Több olyan tényező is van, amelyek szükségessé teszik a 60-70%-osnál nagyobb BIC kialakítását, a csontintegráció gyorsabb és baktériumoktól védettebb lezajlását. Ezek közé tartozik a rizikópáciensek számának növekedése (diabetes mellitus, biszfoszfonát terápia, sugárkezelés), a periimplantitis és a terjedő antibiotikum rezisztencia emelkedett száma. Az implantátumok felszínének nanoszintű módosításával és új típusú bevonatok alkalmazásával tovább növelhető a szöveti sejtek megtapadása, fokozható a csontosodás és csökkenthető a mikrobák megtapadása.

A napjainkban használatos implantátumfelszín kialakításának eljárásai elsősorban a mikrométeres tartományban történnek. Létrehoznak nanométeres módosításokat is, azonban ezek véletlenszerűen vannak jelen egy adott felszínen. A felszínre felhordott bioanyagok pedig nem mutattak magas fizikai ellenállóképességet.

Az elmúlt évek kutatásai alapján nyilvánvalóvá vált, hogy a nanocsöves TiO_2 szerkezet kedvezőbb felületi tulajdonságokkal rendelkezik a mikrokezelt felszínhez képest és lehetővé teszi különböző bioanyagok, gyógyszerek integrálását a felületbe. A nanocsöves szerkezetű TiO_2 preklinikai vizsgálatok alapján a mikrokezelt felszínnel megegyező vagy annál jobb eredményt mutatott, hasonlóan a magasabb fizikai ellenállást mutató nanobarázdált felszínhez. Könnyű kialakíthatósága, antibakteriális tulajdonsága és a biológiai hatások hangolhatósága ígéretes felületkezelési eljárásá teszi.

Irodalom

1. ABRAHAM CM: A brief historical perspective on dental implants, their surface coatings and treatments. *Open Dent J.* 2014; 8: 50–55.
2. 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: 536–544.
3. ALBREKTSSON T, JACOBSSON M: Bone-metal interface in osseointegration. *J Prosthet Dent.* 1987; 57: 597–607.
4. BRANEMARK PI, ADELL R, BREINE U, HANSSON BO, LINDSTROM J, OHLSSON A: Intra-osseous anchorage of dental prostheses: I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1969; 3: 81–100.
5. BRANEMARK PI, ADELL R, ALBREKTSSON T, LEKHOLM U, LUNDKVIST J, ROCKLER B: Osseointegrated titanium fixtures in the treatment of edentulousness. *Biomaterials.* 1983; 4: 25–28.
6. BONFANTE EA, GRANATO R, MARIN C: Biomechanical testing of microblasted, acid-etched/microblasted, anodized, and discrete crystalline deposition surfaces: an experimental study in beagle dogs. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2013; 28: 136–142.
7. BUSER D, JANNER SFM, WITTNEBEN JG, BERGER U, RAMSEIER CA, SALVI, GE: 10-Year survival and success rates of 511 titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface: a retrospective study in 303 partially edentulous patients. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012; 14: 839–851.
8. CHRCANOVIC BR, ALBREKTSSON T, WENNERBERG A: Reasons for failures of oral implants. *J Oral Rehabil.* 2014; 41: 443–476.
9. COELHO PG, JIMBO J, TOVAR N, BONFANTE, EA: Osseointegration: hierarchical designing encompassing the micrometer, micrometer, and nanometer length scales. *Dent Mater.* 2015; 31: 37–52.
10. COLLAERT B, WIJNEN L, DE BRUYN H: A 2-year prospective study on immediate loading with fluoride-modified implants in the edentulous mandible. *Clin Oral Implants Res.* 2011; 22: 1111–1116.
11. DOHAN EHRENFEST DM, COELHO PG, KANG BS, SUL YT, ALBREKTSSON T: Classification of osseointegrated implant surfaces materials, chemistry and topography. *Trends Biotechnol.* 2010; 28: 198–206.
12. ESPOSITO M, DOJCINOVIC I, GERMON L, LÉVY N, CURNIO R, BUCHINI S, PÉCHY P, ARONSSON BO, et al.: Safety and efficacy of a biomimetic monolayer of permanently bound multi-phosphonic acid molecules on dental implants: 1 year post-loading results from a pilot quadruple-blinded randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol.* 2013; 6: 227–236.
13. GOMEZ-DE DIEGO R, MANG-DE LA ROSA MR, ROMERO-PEREZ MJ, CUTANDO-SORIANO A, LOPEZ-VALVERDE-CENTENO A: Indications and contraindications of dental implants in medically compromised patients: update. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2014; 19: 483–489.
14. GUIDA L, OLIVA A, BASILE MA, GIORDANO M, NASTRI L, ANNUNZIATA A: Human gingival fibroblast functions are stimulated by oxidized nano-structured titanium surfaces. *J Dent.* 2013; 41: 900–907.
15. JOÓB-FÁ, KARACS A, PETŐ G, KÖRMÖCI K, BOGDÁN S, HUSZÁR T: Effects of a Nano-structured Surface Layer on Titanium Implants for Osteoblast Proliferation Activity. *Acta Politechnica Hungarica.* 2016: 7–25.
16. JOÓB-FÁ, DIVINYI T, KARACS A, KONCZ S, PETŐ G, SÜLYOK L: Lézerrel felületkezelt dentális implantátumok túlélési és sikerességi rátájának vizsgálata. *Fogorvosi szemle.* 2015; 108: 75–80.
17. JOÓB-FÁ, DIVINYI T, HUSZÁR T, NAGY P, PAMMER D, BOGNÁR E: A fogászati implantátumok felületkezelésének csontintegrációra kifejtett hatásának új, kvantitatív mérési lehetőségei klinikai esetek kapcsán. *Fogorvosi szemle.* 2014; 107: 59–66.
18. JUNKER R, DIMAKIS A, THONEICK M, JANSEN JA: Effects of implant surface coatings and composition on bone integration: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2009; 20 Suppl 4: 185–206.
19. KISS G, SEBŐK B, SZABÓ PJ, JOÓB JÁ, SZABÓ Gy: Surface analytical studies of maxillofacial implants: influence of the pre-operative treatment and the human body on the surface properties of retrieved implants. *J of Craniofac Surg.* 2014; 25: 1062–1067.

20. LE GUEHENNEC L, SOUEIDAN A, LAYROLLE P, AMOURIQ Y: Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. *Dent Mater.* 2007; 23: 844–855.
21. MARIN C, GRANATO R, SUZUKI M, GIL JN, JANAL MN, COELHO, PG: Histomorphologic and histomorphometric evaluation of various endosseous implant healing chamber configurations at early implantation times: a study in dogs. *Clin Oral Implants Res.* 2010; 21: 577–583.
22. MENDONC G, MENDONC DBS, ARAGAO FJL, COOPER LF: Advancing dental implant surface technology – from micron – to nanotopography. *Biomaterials*, 2008; 29: 3822–3835.
23. MINAMIKAWA H, et al.: Photofunctionalization increases the bioactivity and osteoconductivity of the titanium alloy Ti6Al4V. *J Biomed Res.* 2014; 102: 3618–3630.
24. NAGY P, JOÓB-FÁ, SCHINDLER Á, PAMMER D, BOGNÁR E: Fogászati implantátumok felületkezelése. *Biomechanica Hungarica*, 2014: 42–49.
25. NAGY R, SZÜCS A, RUSZIN T, JOÓB FÁ: A rheumatoid arthritis a szájsebészet és implantológiai ellátásban a szakirodalom alapján. *Fogorvosi szemle*, 2017; 110: 3–6.
26. RIGOLIN MSM, DE AVILA ED, BASSO FG, HEBLING J, DE S COSTA CA, MOLLO JUNIOR FA: Effect of different implant abutment surfaces on OBA-09 epithelial cell adhesion. *Microsc Res Tech.* 2017; 80: 1304–1309.
27. SALOU L, HOORNAERT A, STANOVICI J, BRIAND S, LOUARN G, LAYROLLE P: Comparative bone tissue integration of nanostructured and microroughened dental implants. *Nanomedicine*, 2015; 10: 741–751.
28. SCHENK RK, BUSER D: Osseointegration: a reality. *Periodontol.* 1998; 17: 22–35.
29. SCHWARTZ Z, NASAZKY E, BOYAN BD: Surface microtopography regulates osteointegration: the role of implant surface microtopography in osteointegration. *Alpha Omegan.* 2005; 98: 9–19.
30. SEBŐK B, KISS G., SZABÓ P J., RIGLER D, MOLNÁR ML, DOBOS G, RÉTI F, SZŐCS H, JOÓB-FÁ, BOGDÁN S, SZABÓ GYÖRGY: 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.
31. SHIBATA Y, TANIMOTO Y: A review of improved fixation methods for dental implants-part I: surface optimization for rapid osseointegration. *J Prosthodont Res.* 2015; 59: 20–33.
32. SMEETS A, HENNINGSEN A, JUNG O, HEILAND M, HAMMACHER C, STEIN JM: Definition, etiology, prevention and treatment of peri-implantitis – a review. *Head Face Med.* 2014; 10: 34–47.
33. SUL YT, BYON E, WENNERBERG A: Surface characteristics of electrochemically oxidized implants and acid-etched implants: surface chemistry, morphology, pore configurations, oxide thickness, crystal structure, and roughness. *Int Journal Oral Maxillofac Implants.* 2008; 23: 631–640.
34. WEBSTER TJ, EJIOFOR, JU: Increased osteoblast adhesion on nanophases metals: Ti, Ti6Al4V, and CoCrMo. *Biomaterials*, 2004; 25: 4731–4739.
35. WESZL M, TÓTH K L, KIENTZL I, NAGY P, PAMMER D, PELYHE L, VRANA NIHAL E, SCHARNWEBER D, WOLF-BRANDSTETTER C, JOÓB-FANCSALY Á, BOGNÁR E: 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.
36. WILMOWSKY C, MOEST T, NKENKE E, STELZLE F, SCHLEGEL KA: Implants in bone – part II: research on implant osseointegration – material testing, mechanical testing, imaging and histoanalytical methods. *Oral Maxillofac Surg.* 2014; 18: 355–372.
37. ZOLLNER A, GANELES J, KOROSTOFF J, GUERRA F, KRAFFT T, BRAGGER U: Immediate and early non-occlusal loading of Straumann implants with a chemically modified surface (SLActive) in the posterior mandible and maxilla: Interim results from a prospective multicenter randomized-controlled study. *Clin Oral Implants Res.* 2008; 19: 442–450.

KOPPÁNY F

The influence of the surface morphology of dental implants on bone integration

Summary Report

Surface morphology of dental implants is one of the Bränemark osseointegration conditions formulated in the eighties. In the past couple of decades – as in many other areas within oral implantology – significant changes have taken place. It is perhaps the most intensive area in the field of basic research, according to the Internet search portals, there are at least one or two new scientific papers a day on this topic. Domestic research is also significant. In a number of scientific workshops several research projects are running in cooperation with experts from the industry and technology. There are countless publications, lectures, and Ph.D. works from the study material on the surface of the implants. The author's aim was to summarize the past and present of the subject and point out the lines of future research.

Keywords: surface morphology, osseointegration, surface modification