

# Karbon/karbon implantátumok az arc- és állcsontsebészetben – 2. rész

Sebők Béla<sup>1</sup> ■ Kiss Gábor dr.<sup>1</sup> ■ Szabó Péter János dr.<sup>2</sup>  
 Rigler Dániel<sup>3</sup> ■ Molnár László Milán<sup>3</sup> ■ Dobos Gábor<sup>1</sup>  
 Réti Ferenc dr.<sup>1</sup> ■ Szócs Hajnal dr.<sup>4</sup>  
 Joób F. Árpád dr.<sup>5</sup> ■ Körmöczy Kinga dr.<sup>5</sup> ■ Szabó György dr.<sup>5</sup>

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, <sup>1</sup>Atomfizika Tanszék,

<sup>2</sup>Anyagtudomány és Technológia Tanszék, <sup>3</sup>Elektronikai Technológia Tanszék, Budapest

<sup>4</sup>Men for Care Kft., Százhalombatta

<sup>5</sup>Semmelweis Egyetem, Fogorvos-tudományi Kar, Arc-, Állcsont-, Szájsebészeti és Fogászati Klinika, Budapest

A szerzők előző közleményükben karbon/karbon állcsontimplantátumokkal kapcsolatos hosszú távú tapasztalataikról számoltak be. A jó funkcionális és esztétikai eredmények értékelése után a szervezet hatását vizsgálták az implantátum struktúrájára és morfológiájára nézve modern felületanalitikai módszerekkel. Nyolc év után eltávolított és be nem ültetett (referencia-) implantátumokat hasonlítottak össze. Mind a referencia-, mind a szervezetből eltávolított implantátum két fő komponense a szén és az oxigén, azonban a szervezet hatására az oxigén mennyisége három-négyszeresére nőtt, és nyomelemmennyiségben foszfort, ként, kalciumot és vasat mutattak ki. Az implantátumokat alkotó szénszálak vastagsága (5–7 µm) a szervezet hatására nem változott meg. A szervezetből eltávolított implantátum felületét – a referenciaimplantátum felületén nem található – 15–17 µm vastag réteg fedte, amelynek összetétele megegyezett a szénszálak összetételével. (A csontszövetre jellemző nagy mennyiségű kalciumot nem detektáltak.) Mindezek alapján megállapítható, hogy a karbon/karbon implantátumokat a szervezet agresszív hatása jelentős mértékben nem változtatja meg sem funkcionálisan, sem szerkezetileg. *Orv. Hetil.*, 2012, 153, 744–750.

**Kulcsszavak:** karbon/karbon implantátum, CarBulat™, állcsont-rekonstrukció, felületanalitikai vizsgálatok, szervezet hatása

## Carbon/carbon implants in oral and maxillofacial surgery – Part 2

In their previous report, the authors presented observations regarding the long-term application of carbon/carbon implants. After evaluating the good functional and aesthetic results, the effect of the human body on the structure and morphology of the implants was investigated with state of the art methods. An implant retrieved from the body after eight years was compared to implants which were sterilized but not implanted (reference). Carbon and oxygen were the main components of both implants, however, as a result of the interaction with the human body the amount of oxygen increased 3–4 times and phosphorus, sulphur, calcium and iron were detectable as trace elements on the surface. The width of the carbon fibres (5–7 µm) building up the implants was not changed during the interaction with the human body. The surface of the implant retrieved from the human body was covered with a 15–17 µm thick layer, not present on the reference implant, having a similar composition to that of the carbon fibres (high amount of calcium that is typical to bone tissue was not detected). According to these results, the structure and the morphology of the implants were not altered notably by the human body. *Orv. Hetil.*, 2012, 153, 744–750.

**Keywords:** carbon/carbon implant, CarBulat™, mandibular reconstruction, surface analytical studies, effect of the body

(Beérkezett: 2012. március 9.; elfogadva: 2012. március 29.)

## Rövidítések

BSE = (backscattered electron) visszaszórt elektron; EDS = (energy dispersive spectroscopy) energiadiszperzív spektroszkóp; SE = (secondary electron) szekunder elektron; SEM = (scanning electron microscope) pásztázó elektronmikroszkóp

Előző közleményünkben [1] a karbon/karbon implantátumokkal kapcsolatos irodalmi áttekintést, azok gyakorlati alkalmazását, valamint a hosszú távú klinikai eredményeket mutattunk be 16 beteg alsó állcsont-rekonstrukciós műtete után. Megállapítottuk, hogy abban az esetben, ha az implantátum (főleg intraoralis) lágyszövetfedése megfelelő, akkor mind funkcionálisan, mind esztétikailag kiváló eredmény jöhet létre. Megállapítottuk továbbá, hogy az implantátumoknak sem szisztémás, sem helyi toxicitásuk vagy más káros hatásuk nincs.

Nyitva hagytuk azt a kérdést, hogy hosszú távon a szövet agresszív hatása hogyan változtatja meg az implantátum struktúráját és morfológiáját. Jelen munkánkban ezt vizsgáljuk, ezért az emberi szövetből nyolc év után eltávolított és a még nem beültetett (eredeti vagy referencia-) implantátumok szerkezetét, morfológiáját és felületi összetételét hasonlítottuk össze.

## Vizsgált anyag és módszer

### Vizsgált implantátumok

A vizsgálatainkat CarBulat™ (Ametist Goldy Management Group LLC) típusú, pirolitikus karbonnal bevont, C-C kompozit implantátumokon végeztük, amely során a szövetből nyolc év után tervszerűen eltávolított és referencia- (sterilizált, de nem beültetett) implantátumok morfológiáját és felületi összetételét hasonlítottuk össze. A tervszerűen eltávolított implantátum nyolc évvel korábban egy 10 éves gyermekbe került beültetésre. A betegnek a bal mandibula corpusa csaknem teljes egészében inszolváló Ewing-sarcomája volt, ami miatt elsődlegesen intenzív citosztatikus kezelésben részesült. Ezek után az érintett csontrészt eltávolítottuk. A gyógyszereknek az erekre kifejtett károsító hatása miatt és a bizonytalan kimenetelre való tekintettel csontpótlást nem végeztünk. A mandibula integritását C-C kompozit lemezzel állítottuk helyre. Nyolc év után – a beteg 18 éves korában – tünet- és panaszmentes állapotban, az alloplasztikus anyagot saját, a csípőlapátból vett csontalvisszatöltéssel cseréltük. A saját transzplantáció lehetőségét ad a későbbiekben teljesebb rehabilitációra, foggyökér-implantátumok beültetésére.

### Minták előkészítése

Méréseink során három különböző mintát vizsgáltunk:

1. *Szervezetbe nem beültetett* (referencia-) implantátum, amelyet közvetlenül a mérések elvégzése előtt vettük ki a steril csomagolásból.

2. *Az emberi szövetből eltávolított implantátum* egyes darabjait – a felületi morfológia és az összetétel meghatározásához – *megtisztítottuk az emberi szövet maradványaitól*. Ehhez csapvízben oldott, 20 ml/l koncentrációjú ENZYRIM-OSS (Arte Copia, Svájc) enzimoldatot használtunk, amelynek segítségével eltávolítható a lágyszövet a csontos képletekről [2]. A mintákat 37 °C-on öt, illetve tíz napig kezeltük az oldatban, majd desztillált vizes mosás után levegőben megszárítottuk. Az öt, illetve tíz napig az enzimoldattal kezelt minták morfológiájában és összetételében különbséget nem tapasztaltunk, a továbbiakban az enzimmel öt napig kezelt minták mérési eredményeit mutatjuk be.

Annak ellenőrzésére, hogy az enzimoldat valóban csak az emberi szövetet távolítja el, de a szén-szén kompozit morfológiáját és szerkezetét nem változtatja meg, az emberi szövetből eltávolított implantátummal együtt a referenciaimplantátum egy darabját is kezeltük az enzimoldatban. Méréseink alapján az enzimes kezelés a referenciaimplantátum felületi morfológiáját és összetételét detektálható módon nem változtatta meg. Ez alapján azt feltételezzük, hogy az emberi szövetből eltávolított implantátumról az enzim csak a szövetmaradékot távolítja el, de a felületének morfológiáját, illetve összetételét detektálható módon nem változtatja meg.

3. *A szövetből kivett implantátum* olyan darabjai, amelyeket a kivétel után *változatlan állapotban* – azaz enzimes kezelés nélkül – vizsgáltunk.

A mérésekhez az implantátumokat – alaposan megtisztított fűrész segítségével – kisebb darabokra vágtuk. A minták mintatartóra történő felszereléséhez használt eszközöket ultrahangos mosóban, etanol segítségével tisztítottuk.

### Vizsgálati módszerek

A felület morfológiáját Philips XL30 típusú, a felületi összetételt pedig Bruker QUANTAX 200 energiadiszperzív spektroszkópiai (energy dispersive spectroscopy, EDS) feltétellel és XFlash 5010 típusú detektorral rendelkező FEI Inspect S50 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal (scanning electron microscope, SEM) határoztuk meg. A vizsgálatokat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen végeztük.

### Felület morfológiájának meghatározása

A felület morfológiájának tanulmányozására a pásztázó elektronmikroszkóp szekunder elektron- (secondary electron, SE) detektoros módját használtuk. Ebben a módban a mintát nagy energiájú (20 keV) elektronokkal bombázzuk és a felületből kilépő kis energiájú (<50 eV) elektronokat detektáljuk. Az így létrejövő képnek topográfiai kontrasztja van, azaz a felület morfológiája meghatározható.



1. ábra | A referenciaimplantátum a steril csomagolásból kibontva. A kép az implantátum belső (szájüreghez közelebbi) oldalát mutatja

### Felület összetételének meghatározása

A felületi összetétel meghatározásához egyrészt energiadisperzív spektroszkópiát (EDS) használtunk. Ebben az esetben a nagy energiájú elektronok által kiváltott karakterisztikus röntgensugárzás spektrumát vizsgáljuk. A spektrumból a felület összetételének kvantitatív meghatározása válik lehetővé. Az általunk használt elektrongyorsító feszültség (20 kV) esetén az információs mélység tiszta szénben körülbelül 4,5  $\mu\text{m}$  [3]. Az EDS-spektrumok kiértékeléséhez Bruker ESPRIT 1.9 programot használtunk.

Másrészt a felület összetételének vizsgálatára a felületről visszaszórt (backscattered electron, BSE) elektronokból alkotott képet használtuk, amelynek rendszámkontrasztja van: az eltérő átlagos rendszámú tartományok más színnel jelennek meg a képeken.

### Eredmények és értelmezésük

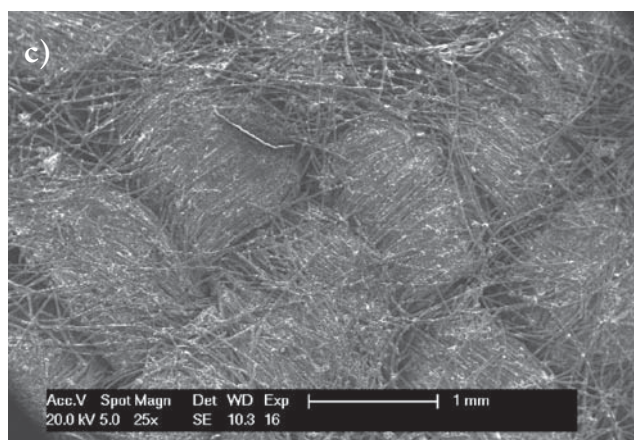
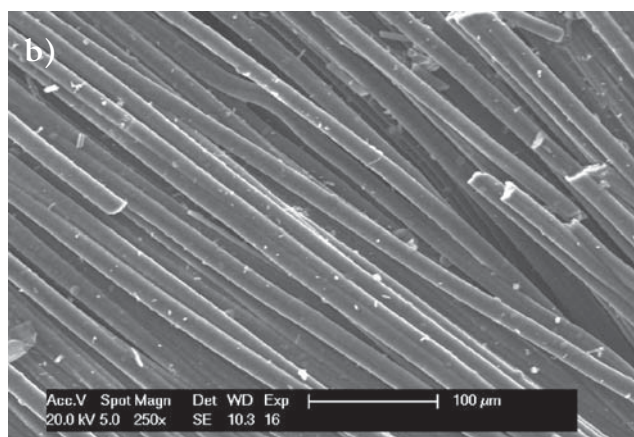
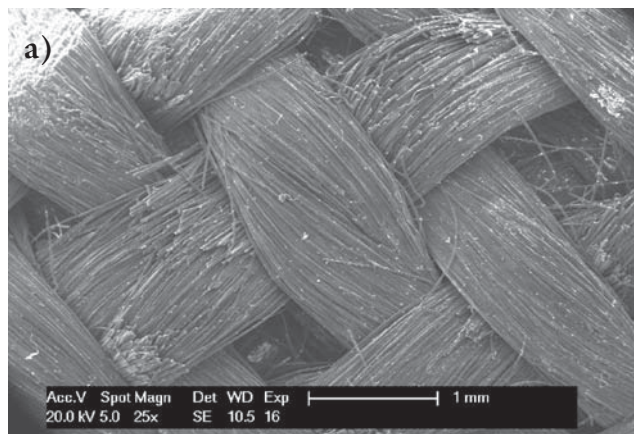
#### Az implantátumok morfológiája és szerkezete

A referenciaimplantátum szájüreghez közelebbi oldalát (továbbiakban belső oldal) az 1. ábra mutatja a steril csomagolásból való kibontás után. A beültetés során az implantátumnak ezt az oldalát helyezik a csontvégekre, majd csavarokkal rögzítik. Az implantátum másik oldalára a továbbiakban külső oldalként hivatkozunk.

#### Referencia- (új) implantátum

A referenciaimplantátum külső felületén [2. a) ábra] a szénszálak körülbelül 1 mm széles, egymásra merőleges kötegekben helyezkednek el. A forgalmazó Ametist Goldy Management Group LLC szóbeli közlése szerint egy köteg hozzávetőlegesen 6000, párhuzamosan futó szálal tartalmaz [2. b) ábra].

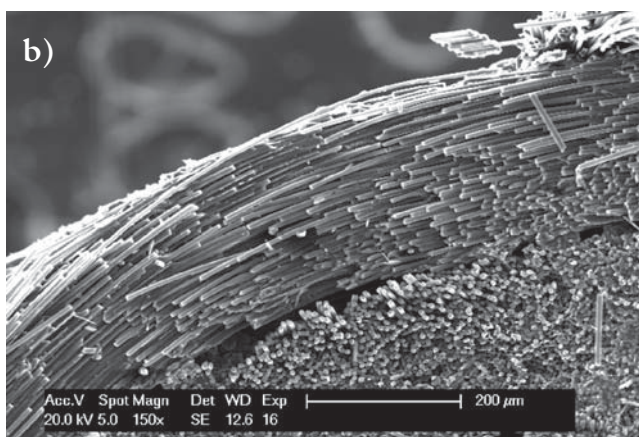
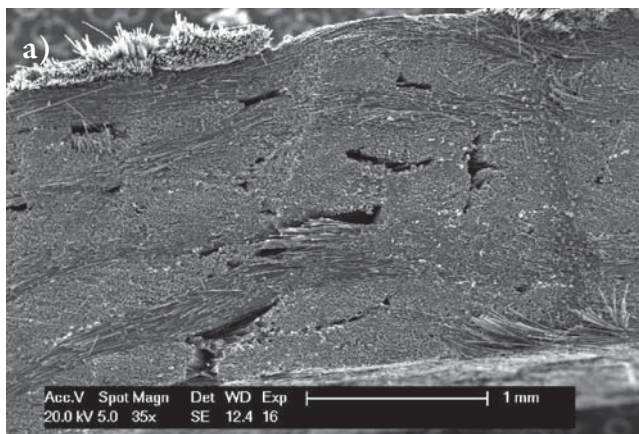
A 2. c) ábra a referenciaimplantátum belső oldalának szerkezetét mutatja. Ezen az oldalon is felismerhető az egymásra merőleges irányú, szénszálkötegekből



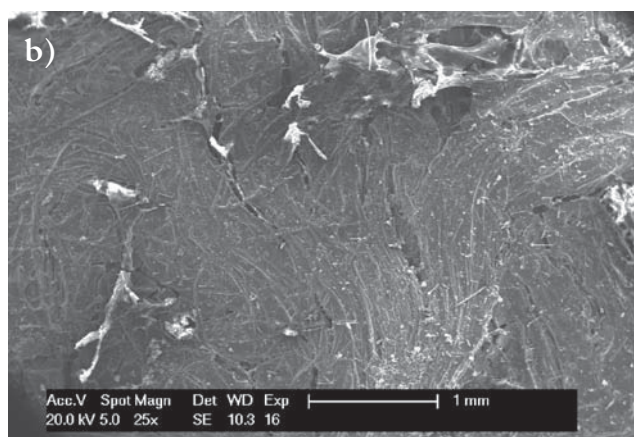
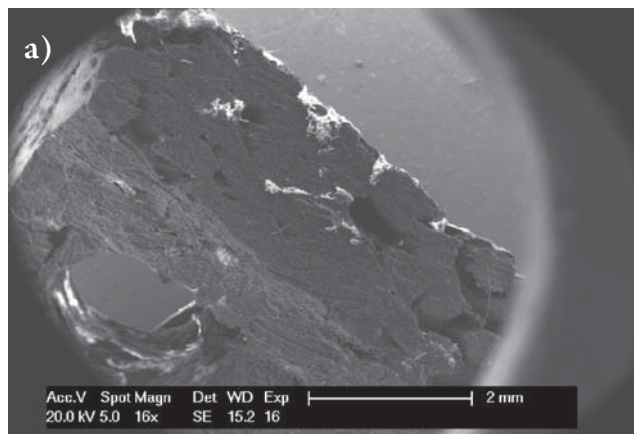
2. ábra | A referenciaimplantátum felületéről készült SEM-képek:  
a) külső oldal, 25-szörös nagyítás;  
b) külső oldal, 250-szeres nagyítás;  
c) belső oldal, 25-szörös nagyítás

álló szerkezet, de itt a szálak a felületen rendezetlenebbül állnak. Ennek oka valószínűleg az, hogy a gyártás folyamán a szénszövet rétegeit egy formára helyezik, majd az implantátumnak erről a formáról való eltávolítása során a belső felületen lévő szálak sérülhetnek.

A referenciaimplantátum keresztmetszeti képét mutatja a 3. a) ábra. Ezen jól látszanak az implantátumban lévő, egymásra merőleges irányú szénszálkötegek, valamint az e kötegek között lévő viszonylag kisméretű üregek. A 3. b) ábra az implantátum keresztmet-



**3. ábra** | Referenciaimplantátum keresztmetszetéről készült SEM-képek:  
*a)* 25-szörös nagyítású kép a teljes keresztmetszetről;  
*b)* 150-szeres nagyítású kép a felülethez közeli rétegekről



**4. ábra** | Az emberi szervezetből nyolc év után eltávolított, enzimmel nem kezelt implantátumról készült SEM-képek:  
*a)* az implantátum keresztmetszete és belső oldala, nagyítás: 16-szoros;  
*b)* az implantátum felülete a külső oldalon, nagyítás: 25-szörös

szetét mutatja nagyobb nagyításban a felület közelében. E képen is megfigyelhetők a vágás irányába és az arra merőlegesen haladó szénszállkötetek. Sem az implantátum felületén, sem a különböző irányú kötégek hátrfelületén nincs a szénszállstruktúrától eltérő réteg.

### Testből eltávolított implantátum

A 4. *a)* ábra a páciens testéből nyolc év után eltávolított, enzimmel nem kezelt implantátum keresztmetszetét és belső oldalát mutatja. Az implantátumot az ábrán látható furaton keresztül csavarral rögzítették az állkapocscsonthoz. A keresztmetszeti kép alapján megállapítható, hogy a szénszállakból álló fonatok között elhelyezkedő üregek mérete nagyobb, mint a referenciaimplantátum esetén. A képen látható fehér színű foltok olyan elektromosan szigetelő területek, amelyek a mérés során – az elektronsugárral történő pásztázás következtében – töltődnek fel. Ezek valószínűleg az emberi kötőszövet maradványai, amelyek az implantátum felületét részben fedik, valamint „be is hatolnak” az implantátum belsejébe a szénszállakból álló fonatok résein keresztül. Ez alátámasztja azt a megfigyelést, hogy az

implantátumok felületének érdekessége befolyásolja a szövettünetek és a tapadás mértékét [4, 5, 6, 7].

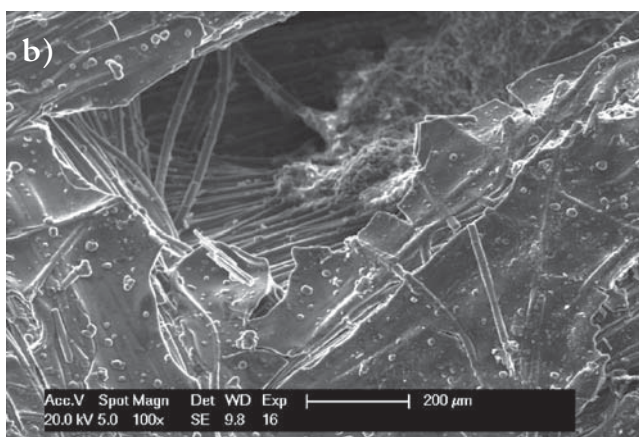
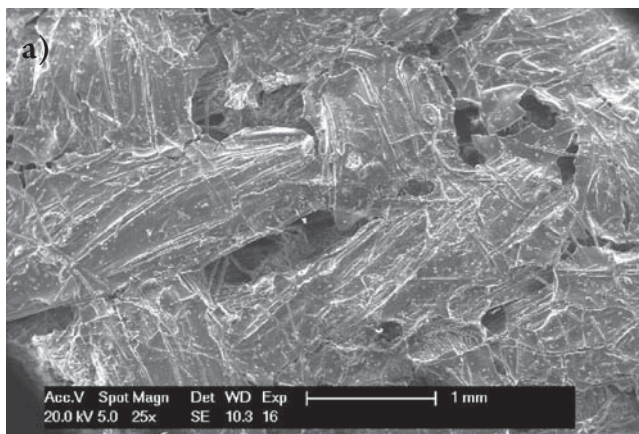
Az emberi szervezetből származó szövetréteg az implantátum mindkét oldalán elfedi a felület morfológiáját [4. *b)* ábra].

Az emberi szervezetből eltávolított implantátum morfológiájának tanulmányozásához az implantátumot – a korábban leírt módon – enzimoldatba helyeztük (37 °C, öt nap) a kötőszövet eltávolítása céljából.

Az emberi szervezetből eltávolított, enzimmel kezelt implantátumok külső és belső felülete nagyon hasonló. A külső felületről készült SEM-képek az 5. ábrán, a keresztmetszetről készült SEM-képek pedig a 6. ábrán láthatók.

Az emberi szervezetből eltávolított, enzimmel nem kezelt implantátummal ellentétben (4. ábra) ezeken a képeken sem az implantátum felületén, sem a keresztmetszetén nem figyelhetők meg a fehér színű, elektromosan szigetelő foltok. Ez azt a feltételezést támasztja alá, hogy ezek a foltok az emberi kötőszövet maradványából állnak, amelyet az enzim kezelés eltávolított.

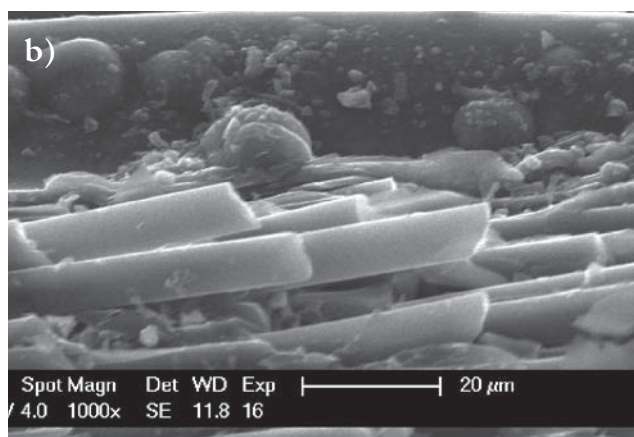
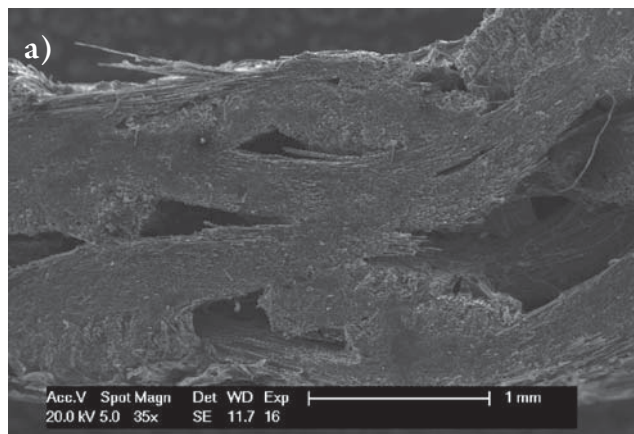
Az enzimmel tisztított, emberi szervezetből eltávolított implantátum külső és belső felületének morfoló-



5. ábra | A páciens testéből nyolc év után eltávolított, majd enzimmel tisztított implantátum külső oldalának felületéről készült SEM-képek: *a)* 25-szörös nagyítás; *b)* 100-szoros nagyítás

giája hasonló, az 5. ábra a külső felületről készített SEM-képeket mutatja. Az 5. *a)* ábrán – a referencia-implantátum morfológiájához [2. *a)* ábra] hasonló – egymásra merőleges kötegekből álló szerkezet látható. A kötegekben lévő egyes szálak nem láthatók, mert a felületet egy töredezett réteg fedi, azonban e réteg alatt az egyes szénszálak megfigyelhetők [5. *b)* ábra].

A keresztmetszetről készült, kis nagyítású képen [6. *a)* ábra] jól láthatók a szénszálkötegek közti üregek, amelyek ebben az esetben is – az emberi szervezetről eltávolított, enzimmel nem tisztított implantátumhoz hasonlóan [4. *a)* ábra] – jóval nagyobbak, mint a referenciaimplantátum esetén [3. *a)* ábra]. A 6. *b)* ábra az implantátum felülethez közeli rétegeiről készült keresztmetszeti képet mutat. Látható, hogy – az 5. *b)* ábrának megfelelően – a felületet egy, a szénszálakat borító, felületi réteg fedi, amelynek vastagsága körülbelül 15–17  $\mu\text{m}$ . E felületi réteg az enzimmel nem tisztított, az emberi szervezetről eltávolított implantátum keresztmetszetéről készült nagyobb nagyítású képeken is megtalálható. A szénszálkötegek hátfelületén azonban ezen implantátumok esetén sem látható a szénszálstruktúrától eltérő réteg.



6. ábra | A páciens testéből nyolc év után eltávolított, majd enzimmel tisztított implantátum keresztmetszetéről készült SEM-képek: *a)* 35-szörös nagyítású kép a teljes keresztmetszetről; *b)* 1000-szörös nagyítású kép felülethez közeli rétegekről

Hasonló réteget már korábban is megfigyeltek beültetett C-C kompozit implantátumok felületén az eltávolításuk után [6, 7]. Ezekben az esetekben a réteget csontszövetként azonosították. Ezt az általunk mért összetételek (1. később) nem támasztják alá, mivel nem találtunk a csontszövetre jellemző nagy mennyiségű kalciumot a felületen.

#### Az implantátumokat alkotó szénszálak vastagsága

A referencia- és az emberi szervezetről eltávolított implantátumok esetén lemértük több – a kötegeket alkotó – szénszál vastagságát is. Minden implantátum esetén ezek a vastagságok 5-7  $\mu\text{m}$  között változtak, amely a forgalmazó Ametist Goldy Management Group LLC szóbeli közlése szerint megegyezik a szénzövet gyártójának specifikációjával. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a szálak vastagsága nyolc év alatt nem változott meg az emberi szervezettel történő kölcsönhatás során.

#### Az implantátumok összetétele

Az implantátumok és az emberi szervezet közti kölcsönhatás vizsgálatának céljából EDS felületanalitikai

**1. táblázat** | A referencia- és az emberi szervezetből eltávolított, enzimmel tisztított implantátumok mindkét oldalának átlagos felületi összetétele (at%) az EDS-mérések alapján

Minta	C (at%)	O (at%)	Na (at%)	P (at%)	S (at%)	Cl (at%)	Ca (at%)	Fe (at%)	Zr (at%)
Ref. külső oldal	97,4	2,6	*	–	–	*	–	–	*
Ref. belső oldal	97,0	2,3	0,4	–	–	0,3	–	–	*
Eltávolított külső oldal	92,7	7,3	–	*	*	–	*	*	–
Eltávolított belső oldal	89,5	10,5	–	*	*	–	*	*	–

\* Az elem nyomelemként detektálható, de a kvantifikációja nem lehetséges (<0,1 at%).

– Az elem nem detektálható az adott mintában.

mérésekkel meghatároztuk a referenciaimplantátum és az emberi szervezetből eltávolított implantátum felületének átlagos összetételét. Az előzőekben leírtak szerint az alkalmazott gyorsítófeszültség esetén (20 kV) az EDS információs mélysége tiszta szénben körülbelül 4,5 µm.

A referenciaimplantátum mindkét oldalának átlagos felületi összetételét az 1. táblázat első két sora tartalmazza. Ezek alapján látható, hogy a referenciaimplantátum két fő komponense a szén (körülbelül 97 at%) és az oxigén, valamint kis mennyiségben nátrium, klór és cirkónium is detektálható. A nátrium és a klór kisméretű NaCl-kristályok formájában van jelen a felületen, amelyekből a belső oldalon több található. A cirkónium a BSE-képek és EDS-mérések alapján – az implantátum egész térfogatában – a kötegek határfelületein foltokban helyezkedik el.

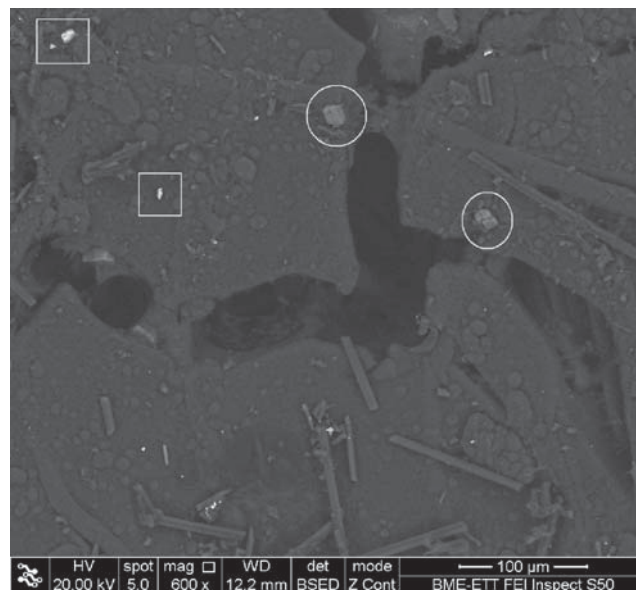
Az emberi szervezetből eltávolított implantátum mindkét oldalának átlagos felületi összetételét az enzimmel tisztított implantátumon határoztuk meg, mivel a nem tisztított implantátumok felületét részben az emberi szervezetből származó kötőszövet maradéka borítja, amely a felületi összetétel meghatározását megnehezíti.

Mivel az alkalmazott kísérleti paraméterek mellett az információs mélység körülbelül 4,5 µm az emberi szervezetből eltávolított és enzimmel tisztított implantátum esetén, az azt borító – 15–17 µm vastag – felületi réteg (5. ábra) átlagos összetételét határoztuk meg (1. táblázat harmadik és negyedik sora).

A referencia- és az emberi szervezetből eltávolított, enzimmel tisztított implantátum átlagos felületi összetételének összehasonlításából a következő megállapítások tehetők:

- Az emberi szervezetből eltávolított implantátum két fő komponense továbbra is a szén és az oxigén, de az oxigén mennyisége körülbelül három-négyszeresére nő.
- Az emberi szervezettel történő kölcsönhatás eredményeként a nátrium, a klór és a cirkónium már nem kimutatható, de az implantátum felületén nyomelemmennyiségben foszfor, kén, kalcium és vas detektálható.

Az emberi szervezetből eltávolított, enzimmel tisztított implantátum esetén a szénszálakon, illetve a felü-



7. ábra

Az emberi szervezetből eltávolított, enzimmel tisztított implantátum felületéről készült BSE-kép. Az árnyalatok az átlagos rendszámról hordoznak információt, a magasabb rendszámú elemek világosabb színnel jelennek meg. A szögletes kerettel jelölt világos foltok vasban, míg a kör alakú keretben lévő világos foltok kalciumban gazdag szemcsék

letet borító rétegen elvégzett EDS-mérések, valamint a felületről készült BSE-képek (7. ábra) alapján megállapítható, hogy a felületi réteg és a szénszálak átlagos összetétele megegyezik. A BSE-képeken az árnyalatok a minta felületén jelen lévő elemek rendszámáról hordoznak információt: a magasabb rendszámú elemek világosabb színnel jelennek meg a képen. A 7. ábra alapján látható (homogén színárnyalat), hogy a felületi réteg átlagos rendszáma (összetétele) laterálisan homogén és megegyezik a szénszálak átlagos rendszámával.

## Megbeszélés és következtetések

### Karbon/karbon implantátum morfológiája

A referenciaimplantátum külső és belső felületén az 5–7 µm vastagságú szénszálak körülbelül 1 mm széles, egymásra merőleges kötegekben helyezkednek el, de a belső felületen a szálak rendezetlenebbül állnak.

Az emberi szervezetből eltávolított implantátum felületén egy, a felületet borító, töredezett, 15–17 µm vastag réteg található, amely alatt a szénszálak továbbra is láthatók. A felületi réteg összetétele laterálisan homogén és megegyezik a szénszálak összetételével, így a méréseink nem támasztják alá más szerzők korábbi eredményeit, amelyek szerint a hasonló felületi rétegek csontos szövetekből állnak. A szénszálak vastagsága az emberi szervezettel történő kölcsönhatás során – nyolc év alatt – nem változott meg.

Az implantátumokban az egymásra merőleges irányú szénszálkötegek között üregek figyelhetők meg, amelyek mérete az emberi szervezetből eltávolított implantátum esetében nagyobb. Az emberi szervezetből eltávolított implantátumról készült keresztmetszeti képeken megfigyelhető, hogy az emberi szövet a szervezetben töltött idő alatt „behatol” a minta térfogatába a felületen lévő szénszálkötegek közti réseken keresztül.

### *Karbon/karbon implantátum felületi összetétele*

A referenciainplantátum két fő komponense – szén (körülbelül 97 at%) és oxigén – mellett kis mennyiségben nátrium, klór és cirkónium detektálható. A nátrium és a klór kisméretű NaCl-kristályok formájában van jelen a felületen. A kötegek határfelületein foltokban elhelyezkedő cirkóniumot a gyártás során azért adagolják az implantátum anyagához, hogy az látható legyen röntgen- és CT-képeken.

Az emberi szervezetből eltávolított implantátum két fő komponense továbbra is a szén és az oxigén, de az oxigén mennyisége körülbelül három-négyszeresére nő, ami a szervezet oxidatív hatásával magyarázható. A szervezettel történő kölcsönhatás eredményeként a nátrium, a klór és a cirkónium már nem kimutatható. Ez egyrészt az emberi testbe történő diffúzióval, másrészt a kialakuló – a mérési módszer információs mélységénél vastagabb – új, felületi réteg jelenlétével magyarázható.

Az emberi szervezetből eltávolított implantátum felületén nyomelemmennyiségben kimutatható foszfor, kén, kalcium és vas. Ez egyrészt magyarázható azzal, hogy ezek az elemek beépülhetnek az emberi szervezetből, mivel a fehérjék foszfort és kén, a csontok kalciumot és foszfort, a vér pedig vasat tartalmaz. Másrészt az implantátum felületén kalciumban és vasban gazdag szilánkok találhatóak (7. ábra), amelyek az implantátum

eltávolításakor a műtéti eszközökről, illetve az implantátumot rögzítő csavarokról kerülhetnek a felületre. A vasban gazdag szilánkok a leírtakon felül még származhatnak a minta-előkészítés során használt szerszámokból is (fűrész, csipesz).

Az emberi szervezet hatásának tisztázása (felületi réteg kialakulása, a szénszálkötegek közti üregek méretnövekedése) további vizsgálatokat igényel.

### **Köszönetnyilvánítás**

A szerzők köszönetüket fejezik ki *Gottesman Mihály* úrnak, az *Ametist Goldy Management LLC* igazgatójának a *CarBulat™* implantátumok rendelkezésre bocsátásáért.

A szerzők külön köszönik a segítséget *dr. Felszeghy Endrének* (SOTE Igazságügyi és Biztosítás-Orvostani Intézet) az enzim tisztításhoz, *dr. Josepovits Katalinnak* (BME Atomfizika Tanszék), valamint *dr. László Krisztinának* (BME Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék) a mérési eredmények értelmezéséhez nyújtott segítségéért.

A projektet az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatta.

### **Irodalom**

- [1] Szabó, G., Barabás, J., Németh, Z., et al.: Carbon-carbon implants in the oral and maxillofacial surgery – Part 1. [Karbon/karbon implantátumok az arc- és állcsontsebészetben – 1. rész.] *Orv. Hetil.*, 2012, 153, 257–262. [Hungarian]
- [2] Offele, D., Harbeck, M., Dobberstein, R. C., et al.: Soft tissue removal by maceration and feeding of *Dermestes* sp.: impact on morphological and biomolecular analyses of dental tissues in forensic medicine. *Int. J. Legal. Med.*, 2007, 121, 341–348.
- [3] Kanaya, K., Okayama, S.: Penetration and energy-loss theory of electrons in solid targets. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1972, 5, 43–58.
- [4] Bačáková, L., Starý, V., Kofroňová, O., et al.: Polishing and coating carbon fiber-reinforced carbon composites with a carbon-titanium layer enhances adhesion and growth of osteoblast-like MG63 cells and vascular smooth muscle cells in vitro. *J. Biomed. Mat. Res.*, 2001, 54, 567–578.
- [5] Starý, V., Bačáková, L., Horník, J., et al.: Bio-compatibility of the surface layer of pyrolytic graphite. *Thin Solid Films*, 2003, 433, 191–198.
- [6] Adams, D., Williams, D. D.: The response of bone to carbon-carbon composites. *Biomaterials* 1984, 5, 59–64.
- [7] Ning, C., Qiang-xiu, W., Jian-wen, D., et al.: Characterization and biological behavior of carbon fiber/carbon composite scaffold with a porous surface for bone tissue reconstruction. *New Carbon Materials*, 2010, 25, 232–236.

(Sebők Béla,  
Budapest, Budafoki út 8., 1111  
e-mail: bsebok@eik.bme.hu)