

Karbon/karbon implantátumok az arc- és állcsontsebészetben – 1. rész

Szabó György dr. ■ Barabás József dr.
Németh Zsolt dr. ■ Bogdán Sándor dr.

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

Az elmúlt 20–30 évben a különböző karbonimplantátumok egyre nagyobb jelentőségre tettek szert, mivel a biológiai környezet nagyszerűen befogadja a kARBONT. A tradicionális polimer mátrixú, kARBONSZÁLAS implantátumoknak a polimer okozta hibáját a pirokARBON mátrixú, kARBONSZÁLAS implantátumok (kARBON/kARBON) nagyrészt kiküszöbölik. *Cél:* A dolgozat célja a karbon/karbon implantátumok hosszú távú eredményeinek a bemutatása. *Módszer:* Állcsontpótlás céljából 16 beteg esetében tiszta (99,99%-os) karbonból készült implantátumot alkalmaztak. A betegek többségében állcsont- vagy az állcsontot is érintő daganateltávolítás miatt volt szükség a rekonstrukcióra (16 esetből 10 daganat, négy nagy kiterjedésű ciszta és két augmentatio). *Eredmények:* A műtétek óta hat–nyolc év telt el, így a hosszú távú eredményekről számolnak be a szerzők. A 16 esetből öt betegnél kellett intraorális sebészeti eltávolítás miatt az implantátumot idő előtt eltávolítani. A sikertelenség nem a karbon miatt, hanem a beültetés során felmerült műtéttechnikai nehézségekből adódott (előző többszörös műtét, sugárkezelés miatti heges, rossz vérrellátású szövetek stb.). A karbonimplantátumok körül gyulladással vagy más eltérést sem klinikailag, sem szövettanilag nem észleltek. Törés, implantátumkilazulás sem jött létre. Volt olyan implantátum, amelyet nyolc év után saját csontra cseréltek. *Következtetések:* A klinikai tapasztalatok alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy abban az esetben, ha az implantátum fedésére elégséges lágyrész áll rendelkezésre, mind funkcionálisan, mind esztétikailag igen jó eredmény jön létre. Az implantátum strukturális és kémiai vizsgálatait folyamatban vannak, és az eredményeket a szerzők a későbbiekben közlik. Orv. Hetil., 2012, 153, 257–262.

Kulcsszavak: karbon/karbon implantátum, CarBulat™, állcsont-rekonstrukció

Carbon/carbon implants in the oral and maxillofacial surgery – Part 1

Over the past 20–30 years various carbon implant materials have become more interesting, because they are well accepted by the biological environment. The traditional carbon-based polymers give rise to many complications. The polymer complication may be eliminated through carbon fibres bound by pyrocarbon (carbon/carbon). *Aim:* The aim of this study is to present the long-term results of carbon/carbon implants. *Methods:* Mandibular reconstruction was performed with pure (99.99%) carbon implants in 16 patients. Predominantly tumorous cases were included (10 malignant tumors, 4 large cystic lesions and 2 augmentative processes). *Results:* Because the interventions had been performed 6–8 years before the last follow-up visit, the authors report long-term results. Of the 16 patients, the implants had to be removed earlier in 5 patients because of the defect that arose on the oral mucosa above the carbon plates. The most probable cause of this complication was the strain in the oral mucosa and disturbances in its blood supply (previous surgery, irradiated tissue, etc.). During the long-term follow-up, plate fracture, loosening of screws, infection or inflammation around the carbon/carbon implants were not observed. After 8 years one carbon implant was substituted with an autogenous bone. *Conclusions:* The clinical conclusion is that if the soft part cover is appropriate, the carbon implants are cosmetically and functionally more suitable than titanium plates. The structural and chemical investigation of the removed implant will be published in the near future. Orv. Hetil., 2012, 153, 257–262.

Keywords: carbon/carbon implant, CarBulat™, mandibular reconstruction

(Beérkezett: 2011. december 11.; elfogadva: 2012. január 5.)

Az utóbbi 25–30 évben számos karbonanyagot alkalmaznak orvosi implantátumként. A karbonnak mint bioanyagoknak az előállítása különböző eljárások segítségével történhet, ezért a „késztermék” is különböző lehet, többek között attól függően, hogy a prekursor szilárd, folyékony vagy gáz alakú [1, 2].

Az úgynevezett pirolitikus folyamatok során így változó struktúrájú – mikrostruktúrájú – anyagok állíthatók elő: filmszerű bevonat, por, hálólakzat, esetleg tiszta karbontestek. Mátrixként szerepelhet polimer (ilyen csípő-térd protéziseket és szívbillentyűket ismerünk) [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] vagy a mátrix pirolitikus karbon, amelyre karbonszálatat visznek fel. Ez az úgynevezett karbon/karbon.

A kristályszerkezet különbözhet a pirolízis hőfokától is, ami általában 1200–2700 °C között mozog. A karbonszálak mikrostruktúrája meghatározza azok fizikai és kémiai tulajdonságait. Orvosi implantátumok esetében ennek különös jelentősége van, hiszen ettől függ az anyag biokompatibilitása: mennyire befolyásolja a karbon a környezetét, illetve a környezet a beültetett anyagot.

A karbon orvosi célra való alkalmazása ma már széles körben elfogadott. Ennek alapján – mint minden bioanyag esetében – az irodalomban számos kísérleti adatot találunk, hogyan lehet a mikro- és makrostruktúra változtatásával a szervezet számára még inkább elfogadhatóbb anyagot előállítani [1, 2, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

A karbon/karbon arc- és állcsontsebészeti vonatkozásáról viszonylag kevés adat áll rendelkezésünkre [18, 19, 20]. Orosz és lengyel szerzők por és szilárd testek formájában alkalmazták állcsontciszták feltöltésére, va-

lamint alveolus, arccsont- vagy állkapocspótlásra [21, 22, 23, 24]. A többéves, hosszú távú eredmények alapján 86%-os sikerről számolnak be. Az esetek mintegy egyhatod részében előforduló sikertelenség nem a karbon/karbon protézisek spontán kilökődéséből adódott, hanem a műtét (beültetés) során felmerült különböző technikai okok miatt jött létre. Így legfőbb problémaként az elégtelen lágyszövet-fedés vagy a sebfezsülés miatti sebszétnyílás szerepelnek. A koponyatetőpótlás viszont 100%-ig sikeres volt [11]. Itt meg kell jegyezni, hogy a koponyacsontpótlás technikailag sokkal egyszerűbb műtétet jelent, mint az állcsontok funkcionális és esztétikai helyreállítása.

A karbon/karbon és a saját csont hajlítási, törési szilárdság, elaszticitás stb. jellemzőit összehasonlítva, nemzetközileg elismert, hogy az összes bioanyag közül a karbon/karbon áll legközelebb a csontoz [16, 20]. A rozsdamentes acél vagy titán sokkal rigidebb, kevésbé hajlékony. A fémnek a csontozhoz való rögzítésére alkalmazott csavarok sokkal jobban igénybe veszik a fém-csont kapcsolatot, mint ahogy ez a karbon/karbon és csont esetében történik.

Intézetünkben 2002 és 2005 között lehetőségünk adódott, hogy a karbon/karbon (CarBulat™) anyagot állcsontpótlások céljából alkalmazzuk. Az azóta eltelt idő (hat-kilenc év) elégséges arra, hogy hosszú távú következtetéseket vonhassunk le.

Betegek és módszer

A CarBulat™ (a karbon/karbon szabadalmaztatott neve) anyagot (amely szerepel az FDA [U.S. Food and

1. táblázat | CarBulat™ implantációs betegek

Beteg	Neme	Diagnózis	Beültetés ideje	Implantátum élettartama	
1	Cs. D.	♀	Cysta radicularis mandibulae 2×2 cm Ø	2002	Jelenleg is működik
2	K. T.	♂	Keratocysta mandibulae 2×5 cm Ø	2002	Jelenleg is működik
3	T. S.	♂	Keratocysta mandibulae 2,6×6 cm Ø	2002	Egy hónap után eltávolítás
4	K. J.	♂	Cysta follicularis mandibulae 2×4 cm Ø	2002	Három hét után eltávolítás
5	G. B.	♂	Defectus mandibulae tumor műtét után, augmentatio	2003	Jelenleg is működik
6	L. A.	♀	Hemifacialis microsomia augmentatio	2004	Jelenleg is működik
7	F. M.	♂	Sugárkezelés után gingiva-mandibula tumor	2002	Egy hónap után eltávolítás
8	B. S.	♂	Recidív gingivatumor sugárkezelés után	2003	Egy hónap után eltávolítás
9	F. N.	♀	Ewing-szarkóma mandibulae-kemoterapia után	2002	Nyolc évig jó, saját csontra cserélve
10	S. J.	♂	Vesedaganat-metasztázis a mandibulában	2002	Három év után exitus, implantátum a helyén
11	N. T.	♀	Synovialis sarcoma mandibulae	2002	Öt év után exitus, implantátum a helyén
12	F. G.	♀	Osteosarcoma mandibulae kemoterápia után	2002	Három év után exitus, implantátum a helyén
13	K. J.	♂	Recidív gingiva- és mandibulatumor	2003	Négy hónap után tumorrecidíva miatt implantátumeltávolítás
14	H. M.	♂	Recidív gingivatumor sugárkezelése után	2003	Egy hét után implantátumeltávolítás
15	M. T.	♀	Tüdőtumor-metasztázis a mandibulában, fibulapótlás kilökődött	2003	Jelenleg is működik
16	K. J.	♂	Mesopharynx-tumor-műtét és sugárkezelés után	2003	Jelenleg is működik

Drug Administration] és a WHO által közzétett emberi szervezetbe beültethető anyagok listáján) az Egészségügyi Tudományos Tanács Tudományos és Kutatásügyi Bizottsága (ETT TUKEB) 2002-ben szájsebészeti alkalmazhatósági vizsgálatra engedélyezte a Semmelweis Egyetem Arc-, Állcsont- és Szájsebészeti Klinikáján. Ezt az engedélyt 2003-ban a pozitív eredmények alapján meghosszabbították.

2002 és 2005 között a CarBulat™-ből készült implantátumot állcsontpótlás céljából 16 beteg esetében alkalmaztuk (1. táblázat). A betegek között hat nő és 10 férfi volt. Átlagéletkoruk 41 év.

A betegek többségének (10 beteg) nagy kiterjedésű állcsontdaganata volt, ahol valamilyen ok miatt a daganat eltávolítása után primeren „élőcsont”-pótlást nem lehetett végezni. Ilyen okként szerepelt a megelőző intenzív citosztatikus kezelés (Ewing-szarkóma a mandibulában) vagy az előzőleg fibulával történt pótlás kilökődése, vagy az, hogy a tumor olyan kiterjedésű volt, hogy az eltávolítása csak palliatív célt szolgált (például nagy kiterjedésű osteosarcoma).

Négy esetben mandibulaciszta eltávolítása után végeztünk karbon/karbon granulátummal feltöltést.

Két esetben állcsont-augmentációt végeztünk CarBulat™ lemezzel.

A CarBulat™ implantátumokat az „Ametist Goldy Management Group L. L. C.”, az Amerikai Egyesült Államokban bejegyzett cég állítja elő. 99,99%-ban tartalmaz karbont. Alapvetően három formában alkalmaztuk:

- 500–1000 µm nagyságú granulátum (cisztaüreg-feltöltésre);
- tömör, a mandibula corpusának megfelelő (körülbelül 15 mm vastag) volumenű implantátum (1. a–d ábra);
- 2 mm vastag, a mandibula külső felszínére ráilleszhető (csavarozható) háló, amely az alsó állcsont görbületét követi (2. a–c ábra).

A mandibulapótlást a szokásos módszerrel végeztük: a csont reszekciója előtt – amennyiben az a daganatos elváltozástól lehetséges volt – az állcsont fél oldalára 1,8 mm vastagságú osteosynthesishez alkalmazott titánlemezt csavaroztunk. Ez a lemez biztosította, hogy a reszekció után az állcsont az eredeti helyzetében megmaradjon. Ez után (a lemezt a helyén hagyva) a beteg csont rész eltávolítása következett. A reszekált csont helyére szorosan beillesztettük az előre elkészített CarBulat™-darabot, azt a titánlemezhöz csavaroztuk. A beillesztéshez a CarBulat™ implantátumot bizonyos mértékig alakítani kellett. A korrekciót gyémántvágóval egy erre a célra alkalmas edényben, fiziológiás sóoldat alatt végeztük azért, hogy a vágás során keletkező fekete por ne szennyezze a környezetet. A CarBulat™ háló esetében a titánlemezt legtöbb esetben el lehetett távolítani, amennyiben a distalis és proximalis csont részhez csavarokkal biztonságosan rögzíthető volt az implantátum.

A CarBulat™ behelyezése után legfontosabb feladat, hogy az implantátumot mind a szájüreg, mind az arc

felé minél vastagabb lágyrész-réteggel zárjuk. A feszülésmentes zárás a szájüregben, a többször operált, irradiált betegek esetében általában nehézséget okozott, ezért azt különös figyelemmel kellett végezni.

Tömör CarBulat™-ot két beteg esetében alkalmaztunk. Nyolc esetben CarBulat™ hálával pótoltuk az állcsontot.

Két esetben augmentációs célból alkalmaztunk CarBulat™ hálót. Az egyik beteg esetében a mandibulát is érintő tumor eltávolítása után öt évvel korrigáltuk az arcaszimmetriát (egy 5×2,5 cm-es hálóval).

A másik esetben hemifacialis microsomia miatt a mandibula felhágó ágának pótlására előzőleg már kétszer is bordatranszplantációt végeztünk. Ezután 10 évvel (a beteg 18 éves korában) a még mindig meglévő arcaszimmetria miatt, méretre elkészített CarBulat™ hálóval korrigáltuk a csont- és lágyrész-defektust. Erre azért kerülhetett sor, mert a beteg további sajátcsont-transzplantációba nem egyezett bele (3. a–d ábra).

Eredmények

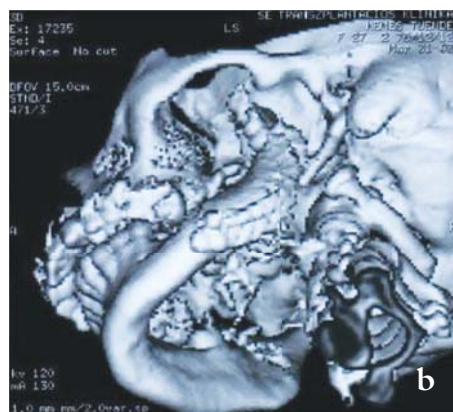
Eredményeink az 1. és 2. táblázatban láthatók.

1. A négy mandibulaciszta-feltöltésből kettő volt sikeres. A két sikeres esetben a jó nyálkahártya-záródás biztosította a gyógyulást. Két esetben (mindkét betegnél a ciszta felső és lateralis csontos fala hiányzott) néhány nap–hét múlva sebszétnyílás jött létre, emiatt a beültetett anyagot el kellett távolítani.
2. Mindkét augmentációs eset sikeres volt. Az implantátumokat vastag lágyrész-réteggel lehetett fedni (bőr, izom), így a gyógyulást semmi nem akadályozta.
3. A 10 daganatos esetből három betegből kellett az implantátumot idő előtt eltávolítani. Mindhárom esetben intraoralis sebszétnyílásról volt szó. A betegeket előzőleg többször operálták és sugárkezelésen estek át. Az intraoralis varrat feszült, a nyálkahártya vérelátása az előző történések miatt megromlott.

Azokban az esetekben, amikor a CarBulat™ lemez tumorrecidíva miatt vagy tervszerűen, a későbbi sajátcsont-transzplantáció miatt kellett eltávolítani, látható volt, hogy a CarBulat™ a szövetekbe, illetőleg a szövetek a karbonlemez köré igen jól integrálódtak. Az is látható volt, hogy a lemez körüli lágyrészekbe fekete szén szemcsék „migráltak”. A finom szemcsék körül sem klinikailag, sem szövettanilag gyulladással vagy más jellegű hisztológiai eltérést nem lehetett észlelni. Egy esetben a sajátcsont-transzplantációra több mint nyolc év után került sor. Itt sem észleltünk az implantátum körül az előzőeknél jelzett fekete elszíneződésen kívül eltérést. A karbonszemcséket tartalmazó anyagból szövettani vizsgálatot végeztünk. Idézet a szövettani leletből: „... A mélyebb régiókban heges kötőszövet látható, amelyben helyenként apró fekete szemcsék formájában idegen test található, amelyek polarizációs mikroszkóppal kettős törést nem mutatnak. A részecskék környezetében egy-egy lymphocita előfordul, de



1. ábra | Ewing-szarkóma miatt citosztatikus kezelésben részesült 10 éves gyermek mandibulaműtéti preparátuma (a), CarBulat™-pótlás (b), 10 hónappal a műtét után (c) és nyolc évvel később (d)



2. ábra | Synovialis sarcoma miatt féloldali mandibularezekció. Pótlás CarBulat™ hálóval (a), CT-kép (b) és három évvel a műtét után (c)

mértékadó gyulladáshoz nem látható, óriássejt, granulomaképződés szintén nem figyelhető meg.”

Tehát a 16 implantátumból ötöt kellett a tervezett idő előtt eltávolítani intraorális sebszénnyílás miatt.

Két implantátumot tumorrecidíva vagy a tervezett csontbeültetés miatt távolítottunk el.

Három beteg három-öt év között exitált, az implantátum a helyén volt.

Hat implantátum (két ciszta, két augmentatio és két tumorműtét utáni rekonstrukció) érintetlenül funkcionál ma is. A betegek a felajánlott csontbeültetést nem

fogadták el, mivel számukra az implantátum megfelelő életminőséget biztosít.

Megbeszélés

Az orvosi implantátumok eredményességének értékelésekor több kérdés merül fel. Jelenleg mi csak az alábbi három szemponttal kívánunk foglalkozni:

- Milyen a funkcionális (és az esztétikai) eredmény? Elérte-e a beültetés a célját?



3. ábra | Hemifacialis microsomia miatti arcdefektus (c), CarBulat™ háló elkészítése viaszmodellből (a–b) és nyolc évvel a műtét után (d)

- Milyen hatása van az implantátumnak a beültetés után a távolabbi és a közvetlen környezetére? (Van-e szisztémás vagy helyi toxikus hatás?)
- Milyen hatása van a szervezetnek az implantátumra? Hogyan és milyen mértékben károsodik (károsulhat) az implantátum a funkció miatti megterhelés és a szervezet agresszív hatása miatt?

Az első kérdésre a válaszuk az, hogy azokban az esetekben (16-ból 11), amikor a CarBulat™-ot nem kellett idő előtt eltávolítani, mind funkcionális, mind esztétikai értelemben igen jó az eredmény. Az idő előtti eltávolítás pedig nem a CarBulat™ mint anyag miatt jött létre, hanem különböző technikai problémák játszottak közre (heges, rossz vérellátású szövetek, sebészület, sebszétnyílás). Az esztétikai eredményeket összehasonlítva a titán rekonstrukciós lemezek alkalmazása utáni eredményekkel, a CarBulat™ köré a szövetek jobban integrálódnak, és a pótlás jobban hasonlít az eredeti állcsont alakjához, volumenéhez [18].

A második kérdés első részére (a szisztémás toxicitással kapcsolatban) részben már válaszoltak azok a vizsgálati eredmények, amelyek az FDA-engedélyhez

2. táblázat | CarBulat™ implantációs betegek (összegzés)

Diagnózis	Betegszám	Sikeres eset
Cysta mandibulae	4	2
Augmentatio	2	2
Tumorműtét utáni pótlás	10	7
<i>Összes esetszám</i>	<i>16</i>	<i>11</i>

szükségesek voltak: tehát szisztémás toxikus hatása a karbonnak nem ismeretes. Saját anyagunkban a beültetés után, több éven át rendszeresen elvégzett laboratóriumi vizsgálatok sem mutattak ki egyik esetben sem olyan elváltozást, amely erre bármilyen formában utalt volna.

Ami az *implantátumok közvetlen környezetét* illeti, két implantátum esetében módunkban volt makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatokat végezni, miután ezek az implantátumok négy hónapon, illetve nyolc éven át funkcionáltak. Az eltávolításuk azért történt, mert vagy tumorrecidíva jött létre, vagy azért, mert a

CarBulat™-ot bizonyos idő elteltével saját csont beültetés miatt tervszerűen vettük ki.

Makroszkóposan látható volt, hogy a CarBulat™ főlé a csonthártyához hasonló vékony hártya képződött, amely – véleményünk szerint – a szöveti integráció egyik bizonyítéka. Az implantátumok eltávolításakor ezt a hártyát és a környező szövetekből vett mintákat hisztológiailag megvizsgálták. Az eredmények mindenfajta szöveti károsodást, gyulladást kizártak. Egyébként hasonló „csonthártyát” észleltünk az Al₂O₃ kerámia- vagy titánimplantátumok eltávolításakor. A különbség viszont az volt, hogy a hártya a CarBulat™-on jobban tapadt, klinikailag jobban integrálódott.

A fekete karbonszemcsék jelenléte az eddigi vizsgálatok szerint csupán a lemez közvetlen környezetében volt észlelhető, távolabb ilyen elváltozást nem észleltünk.

A fekete szemcsék keletkezése, véleményünk szerint, két okra vezethető vissza: Az első, hogy az adaptálás, a lemez átfúrása közben sérültek a „leforrasztott” karbonszélek és ezek degradálódása képezte az apró részecskéket. A másik ok, hogy a szervezet bizonyos fókig lebontotta a CarBulat™-ot, és ezek a lebontás termékei. Ez a feltevés azt jelentené, hogy a szervezet hosszú távon jelentősen befolyásolná az implantátumot. Ennek eldöntésére a kivett lemezek mélyreható strukturális és kémiai vizsgálatára (SEM [scanning electron microscopy], EDS [energy dispersive spectroscopy], esetleg AES [auger electron spectroscopy]) van szükség. Mindezek a vizsgálatok folyamatban vannak, az eredményekről dolgozatunk következő részében kívánunk beszámolni.

Köszönetnyilvánítás

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

Irodalom

- [1] *Blazewicz, M.*: Carbon materials in the treatment of soft and hard tissue injuries. *Eur. Cells Mater.*, 2001, 2, 21–29.
- [2] *More, N., Baquey, C., Barthe, X., et al.*: Biocompatibility of carbon-carbon materials: in vivo study of their erosion using ¹⁴C-labelled samples. *Biomaterials*, 1988, 9, 328–334.
- [3] *Chung, K., Ram, A., Shauver, M.*: Outcomes of pyrolytic carbon arthroplasty for the proximal interphalangeal joint. *Plast. Reconstr. Surg.*, 2009, 123, 1521–1532.
- [4] *Tullberg, T.*: Failure of a carbon fiber implant. A case report. *Spine*, 1998, 23, 1804–1806.
- [5] *Kandzióra, F., Pflugmacher, R., Schäfer, J., et al.*: Biomechanical comparison of cervical spine interbody fusion cages. *Biomechanics*, 2001, 26, 1850–1857.
- [6] *Hashimoto, T., Shigenobu, K., Kanayama, M., et al.*: Clinical results of single-level posterior lumbar interbody fusion using the brantigan I/F carbon cage filled with a mixture of local morselized bone and bioactive ceramic granules. *Clinical Case Studies*, 2002, 27, 258–262.
- [7] *Jenkins, D. H. R., Forest, I. W., McKibbin, B., et al.*: Introduction of tendre and ligament formation by carbon implants. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 1997, 59, 53–57.
- [8] *Robinson, E. D., Efrat, M., Mendes, D. G., et al.*: Implants composed of carbon fiber mesh and bone-marrow-derived, chondrocyte-enriched cultures for joint surface reconstruction. *Bull. Hosp. Jt. Dis.*, 1993, 53, 75–82.
- [9] *Schoen, J. E., Titus, J. L., Lawrie, G. M.*: Durability of pyrolytic carbon-containing heart valve prostheses. *J. Biomed. Mater. Res.*, 1982, 16, 559–570.
- [10] *Bokros, J. C.*: The latest design of artificial heart valves – the medtronic-parallel prosthesis. In: *Materials in Clinical Applications*. Ed.: Vincenzini, P. Techna Srl., 1995, 723–738.
- [11] *Saringer, W., Nöbauer-Hubmann, I., Knosp, E.*: Cranioplasty with individual carbon fibre reinforced polymere (CFRP) medical grade implants based on CAD/CAM technique. *Acta Neurochir.*, 2002, 144, 1193–1203.
- [12] *Cestero, H. J. Jr., Salyer, K. E., Toranto, I. R.*: Bone growth into porous carbon, polyethylene, and polypropylene prostheses. *J. Biomed. Mater. Res.*, 1975, 9, 1–7.
- [13] *Lewandowska-Szumiel, M., Komender, J., Chłopek, J.*: Interaction between carbon composites and bone after intrabone implantation. *J. Biomed. Mater. Res.*, 1999, 48, 289–296.
- [14] *Linder, S., Pinkowski, W., Aepffelbacher, M.*: Adhesion, cytoskeletal architecture and activation status of primary human macrophages on a diamond-like carbon coated surface. *Biomaterials*, 2002, 23, 767–773.
- [15] *Blazewicz, M., Pamula, E., Silmanowicz, P., et al.*: Interaction between carbon biomaterials and biological environment. In: *Materials in Clinical Applications*. Ed.: Vincenzini, P. Techna Srl., 1995, 439–447.
- [16] *Blazewicz, S., Chłopek, J., Litak, A., et al.*: Experimental study of mechanical properties of composite carbon screw. *Biomaterials*, 1997, 18, 437–439.
- [17] *Bobem, H. P.*: Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. *Carbon*, 1994, 32, 759–796.
- [18] *Szabó, G., Barabás, J., Németh, Zs.*: Long-term Comparison of CarBulat™ (pure carbon) and titanium mandibular reconstruction plates. In: *XVIII Congress of the European Association for Cranio-Maxillofacial Surgery, Barcelona, 2006*, 141–145. Medimond. International Proceedings. (Eds.: Raspall, G., Lagunas, G. J.)
- [19] *Govindaraj, S., Costantino, P. D., Friedman, C. D.*: Current use of bone substitutes in maxillofacial surgery. *Facial Plast. Surg.*, 1999, 15, 73–81.
- [20] *Claes, L., Burri, C., Kinzl, L., et al.*: Less rigid fixation with carbon fibre-reinforced materials: Mechanical characteristics and behavior in vivo. In: *Current concepts of internal fixation of fractures*. Eds.: Ulthoff, H. K., Stahl, E. Springer, Wien–New York, 1980, 156–159.
- [21] *Straube, G. I.*: Carbon implants in the maxillo-facial surgery. [Szénimplantátumok alkalmazása a maxillo-facialis régióban.] *Stomatologia*, 2001, 27, 14–21. [Russian]
- [22] *Cieslik, T., Szczurek, Z., Chłopek, J., et al.*: Composite carbon elements in treatment of fractures of the mandible. *Acta Bioeng. Biomech.*, 1999, 1 (Suppl. 1), 77–80.
- [23] *De Santis, R., Prisco, D., Apicella, A., et al.*: Carbon fiber post adhesion to resin luting cement in the restoration of endodontically treated teeth. *J. Mater. Sci. Mater. Medicine*, 2000, 11, 201–216.
- [24] *Louis, J. P., Dabadie, M.*: Fibrous carbon implants for the maintenance of bone volume after tooth avulsion: first clinical results. *Biomaterials*, 1990, 11, 525–528.

(Szabó György dr.,
Budapest, Mária u. 52., 1085
e-mail: szabo@fok.usn.hu)