

Semmelweis Egyetem, Arc-Állcsont-Szájsebészeti és Fogászati Klinika, Budapest*
 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Biomechanikai Kooperációs Kutatóközpont, Budapest**

Uniplant SP® fogászati ideiglenes implantátumok laboratóriumi terheléses vizsgálata

DR. SZÚCS ATTILA,* DR. BORBÁS LAJOS,** DR. DIVINYI TAMÁS,* DR. BARABÁS JÓZSEF*

Vizsgálatainkban a szerzők az Uniplant SP® ideiglenes implantátumok mechanikai szilárdságát vizsgálták. Az ideiglenes implantátumok használatának célja az ideiglenes fogpótlás készítésének elősegítése, beültetéses fogpótlások készítésekor. Az ideiglenes implantátumok kis átmérőjű, egyrészes, nagyon jó primer stabilitással rendelkező implantátumok, általában a végleges implantátumok behelyezésekor, topográfiaik az állcsontokba beültetésre. Jó rögzítettségüknek köszönhetően a beültetést követően azonnal terhelhetőek, funkciójuk általában a definitív célú implantátumok terhelhetővé válásáig tart, ezt követően eltávolításra is kerülnek.

A fogpótlást hordozó fej az implantátummal egy részben kerül kialakításra, elkeskenyített nyaki résszel összekötve. A nyak fokozott törésveszélynek van kitéve, részben a fejek párhuzamosításához szükséges hajlításkor, részben az ideiglenes implantátum eltávolításakor. Vizsgálatainkban a nyaki rész mechanikai tulajdonságát vizsgáltuk az e célra készített terhelő berendezés segítségével, eredményeink alapján ajánlást tette a jelenlegi konstrukció módosítására.

Kulcsszavak: fogászati implantátumok, laboratóriumi terheléses vizsgálat

Bevezetés

A fogászati implantátumok behelyezését követően bizonyos várakozási idő (2–6 hónap) kivárása általában javasolt az implantátumok terhelése előtt. A végleges fogpótlás ezt követően készíthető el. Addig is szükség van azonban a beteg szokásos életvitelének biztosításához ideiglenes fogpótlás készítésére, ami gyakran nehezen megoldható feladat. Az ideiglenes fogpótlás készítését megkönnyíthetik az ideiglenes implantátumok, amelyek formájuknak, kialakításuknak, behelyezési technikájuknak köszönhetően, azonnali terhelésre alkalmasak. Az ideiglenes implantátumoknál, illetve bizonyos definitív célú implantátumoknál is, az implantátum csontba kerül része és a szájüregbe nyúló, a fogpótlást hordozó rész (az ún. protetikai fej), elkeskenyített nyaki résszel van összekötve, amelyek egy darabban kerülnek legyártásra. Rendszerint több implantátum felhasználása szükséges, ezek párhuzamos elhelyezése részben anatómiai, részben műtétechnikai okokból nem minden esetben lehetséges, azonban a fogpótlás készítésének feltétele a pilléreként szolgáló fejek, bizonyos tűréshatáron belüli, párhuzamos helyzete. Az ideiglenes implantátumok esetében a szükséges párhuzamosítás a nyaki rész hajlításával lehetséges [1]. Bizonyos más, definitív felhasználású implantátumok esetén is az implantátum nyak hajlításával lehetséges a szükséges tengelykorrekció megvalósí-

tása. Végeeselemes vizsgálatok igazolták a magas mechanikai feszültségeket [2]. A maradandó alakváltozás hatására megváltozhat az implantátum nyaki területének felületi struktúrája [3], maradandó sérülések, repedések jöhetnek létre, meggyengülhet a funkció során egyébként is fokozott mechanikai terhelésnek kitétt nyaki rész, ami törésveszélyhez vezet [4]. Az implantátum-törés emellett, hogy a fogpótlás tönkremenetelét okozza, az implantátum eltávolítását is megnehezíti. Szükséges emiatt az implantátum nyaki részének pontosabb tanulmányozása. Vizsgálatunkban célul tűztük ki az Uniplant SP® (Protetim Kft., Hódmezővásárhely) ideiglenes implantátumok direkt terheléses vizsgálatát a nyaki rész hajlíthatósági paramétereinek meghatározására. Vizsgálatunk arra irányult, hogy megállapítsuk a csap a szükséges, legfeljebb 20 fokos, meggömböztetést tönkremenetel nélkül bírja-e, illetőleg tisztázzuk – amennyiben a fenti szögterületig törés nem következik be –, a fent definiált beavatkozás milyen mértékű szilárdsági változást okoz a csapban.

Anyag és módszer

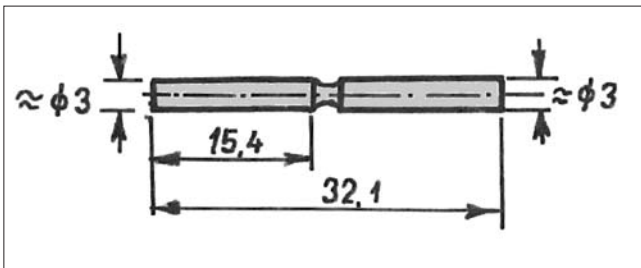
Az implantátumok geometriai kialakítása és anyagjellemzői

A vizsgálat elvégzéséhez a gyártási prototípus alapján próbatesteket terveztünk, amelyek legyártása a Pro-



1. ábra. Gyári csomagolású ideiglenes implantátumok, vizsgálat előtt

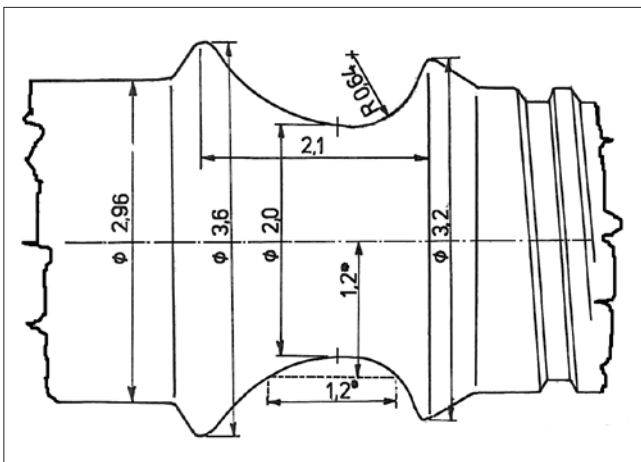
tetim Kft. segítségével történt. Kézhez kaptunk öt darab, a Protetim Kft. által gyártott 88-033 katalógusszámú, „ideiglenes implantátum II. változat” elnevezésű csapot.



2. ábra. A vizsgált ideiglenes implantátumok (csapok) főbb geometriai méretei

A vizsgálati darabok gyári csomagolásban az 1. ábrán láthatók.

(Azonosítójuk rendre: F06-0026...0030.) Az ideiglenes implantátumok (csapok) fő geometriai méreteit a 2. ábra mutatja. A hossz mérték adatok az ábrákon

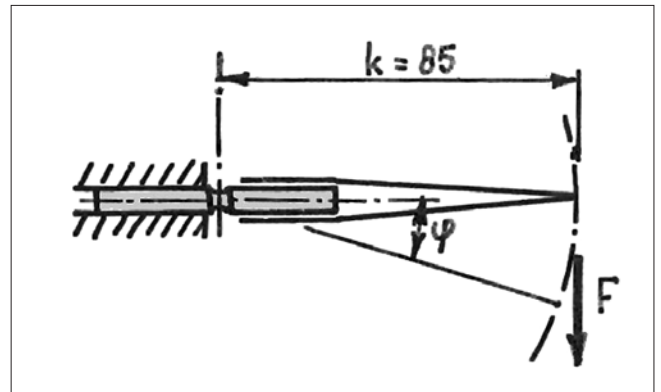


3. ábra

A csap bemetszéssel gyengített szakaszának (hornyának) geometriai méretei profil-projektoron történt mérés (50x nagyítás) alapján

rendre milliméterben, a szögértékek fokban kerülnek megadásra

A csap középső, bemetszéssel gyengített szakaszának (hornyának) környezetét profil-projektossal térképeztük fel (50x nagyításban), az ennek alapján kiadódó méreteket a 3. ábra mutatja.



4. ábra. Hajlító vizsgáló berendezés elvi kialakítása

A csapok anyaga titánium (műbizonylat szerinti gyári jele: 2016.03), ennek tulajdonságai a gyártó cég által a csapokhoz mellékelte műbizonylat alapján (metrikus, SI mértékegységre átszámítva) az 1. táblázat alapján az alábbiak:

1. táblázat.

A csap titán alapanyagának jellemzői

Anyagjellemző	Érték műbizonylat alapján
Szakítószilárdság	$\sigma_B = 535,7 \text{ MPa}$
Folyási határ	$\sigma_F = 282,7 \text{ MPa}$
Szakadási nyúlás	$\epsilon_B = 31,4\%$

CP Titanium Grade 2

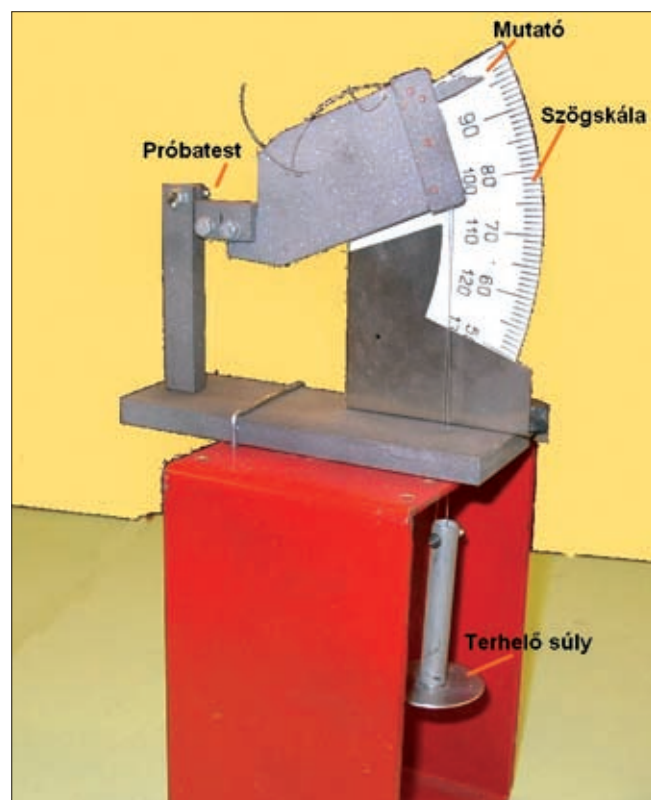
ASTM B348-00 GR 2, ISO 5832 PT2 GR 2

ATI Titanium International Ltd, Birmingham, UK

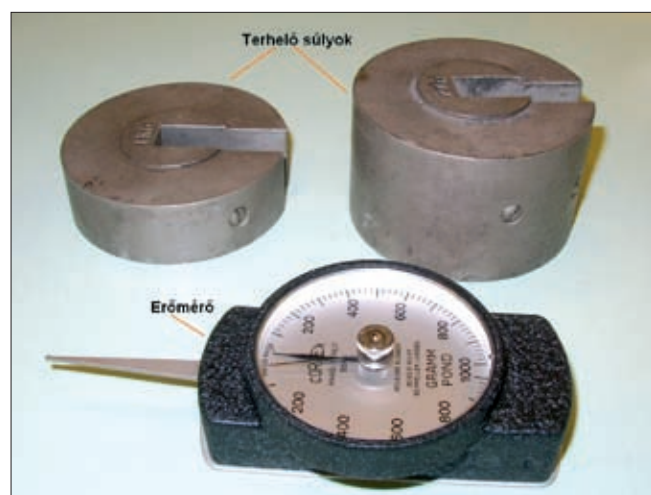
Az implantátumok vizsgálatára kifejlesztett eljárás

A vizsgálatra kapott csapokat hajlító igénybevételnek vetettük alá oly módon, hogy a csap egyik felét szorosan befogtuk, a másik végére terhelő kart szereltünk, melynek végét változó F erővel terheltük.

Az F erő támadási pontját úgy vezettük meg, hogy az általa, a csap bemetszéssel gyengített keresztmetszetére ható nyomaték k karja állandó maradjon, függetlenül a csap alakváltozásából adódó φ szögválto-



5. ábra. Csaphajlító berendezés fényképe



6. ábra. A csapok terhelését és a terhelő erő mérését biztosító eszközök

zástól (ív pályán történő erőbevezetés) [5]. Ezáltal biztosítottuk, hogy a mért F erő arányos volt a csapot terhelő $M = F \cdot k$ hajlító nyomatékkal. A vizsgálat elvi vázlatát a 4. ábra mutatja.

A készülékbe fogott csapot folyamatos erőmérést biztosító, csúcserték tároló mutatóval felszerelt erőmérő eszköz segítségével hajlítottuk.

Az erőmérő készülék maximálisan $\cong 10$ N terhelést tudott biztosítani, így az esetleges ennél nagyobb terhelőerő szükséglet biztosítására több fokozatban kalibrált terhelő súlyokat is készletbe helyeztünk.

A csaphajlító készülék fényképét az 5. ábra, míg a terhelést és erőmérést biztosító eszközöket a 6. ábra mutatja.

Eredmények

A vizsgált csapokon a felrakott (alkalmazott) terhelő erő (F), és az általa keltett görbülés (a csap két szakasza közötti szögelfordulás, φ) közötti kapcsolat mért értékeit a II. táblázatban foglaltuk össze. A táblázat 4 db csap mérési adatait tartalmazza. (Az 5. csapot az előkísérletek alkalmából oly értékben terheltük, hogy annak mérési adatai nem voltak felhasználhatók a kiértékelés során.)

Ahhoz, hogy a mért szögelfordulás-értékeket össze tudjuk hasonlítani az anyag műbizonylatában található szakadási nyúlás értékeivel, közelítőleg feltételeztük, hogy a csap görbülése csaknem teljesen az annak a középső szakaszán kialakított horonyban (bemetszésben) folyik le, azaz a száruk alakváltozása elhanyagolható.

A hajlított tartók elmélete alapján a vizsgált keresztmetszet görbületi sugara és a szélső szálban ébredő fajlagos nyúlás közötti kapcsolat:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{r}{\rho}, \quad (1)$$

Ahol r a horony kör-keresztmetszetének sugara, és ρ a meggörbült tartó középvonalának görbületi sugara. Ez utóbbi a 7. a.) ábra jelöléseivel a következőképpen írható fel:

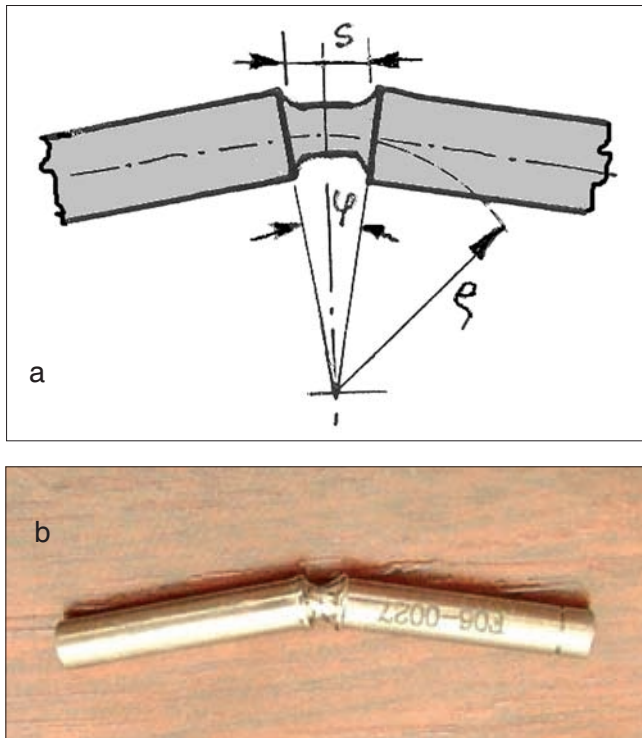
$$\rho = \frac{s}{\varphi}, \quad (2)$$

(a φ szöget ívmértékben mérve és helyettesítve). Az (1) valamint (2) összefüggésből kapjuk:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{r}{s} \varphi \quad (3)$$

Mivel a bemetszés görbülése miatt az r sugár a bemetszés hossza mentén változik, közelítőleg a 3. ábrában csillaggal jelölt $r = r^* = 1,2$ mm, valamint $s = s^* = 1,2$ mm középértékekkel számoltunk.

A vizsgálat eredményei alapján szükség volt megvizsgálni a beszúrás (horony) s hossza megnövelésének hatását is, $s^* = 2,2$ mm értéket felvéve.



7. ábra. A beszúrás környezetében a terhelt, meggörbült tartó
a) elméleti alak, modell, b) valóságos kivitelről készült felvétel

A kapcsolatot ϵ_{max} és φ között mindkét esetben feltüntettük a III. táblázatban.

Meg kell jegyeznünk, hogy a vizsgálatban előírt, szükséges $\varphi = 20^\circ$ szögelfordulásnak

$s^* = 1,2 \text{ mm}$ esetén $\epsilon_{max} = 34,90 \%$, míg
 $s^* = 2,2 \text{ mm}$ esetén $\epsilon_{max} = 19,04 \%$, nyúlás felel meg.

Az eredmények értékelésekor megállapíthatjuk, hogy az $s^* = 1,2 \text{ mm}$, jelenlegi kivitel esetén a maximális fajlagos nyúlás (ϵ_{max}) értéke nagyobb, mint az anyag műbizonylatában, anyagvizsgálat által megadott ϵ_b szakadási nyúlás, tehát fennáll a csap törésének lehetősége, amit kísérletünk egy esetben ki is mutatott.

A csap viselkedésének jobb áttekintése érdekében a csap anyagának kézhez kapott szilárdsági adatai (műbizonylat) alapján meghatároztuk a gyengített keresztmetszetet rugalmas határesetbe hozó F_R , illetve képlékeny határesetre vonatkozó F_k erő értékét, az $M_{hr} = k \cdot F_R$ illetve $M_{hk} = k \cdot F_k$ hajlító nyomaték hatására (8. ábra).

Rugalmas határesetben

$$\sigma_{max} = \sigma_F = \alpha_k \cdot \frac{F_R \cdot k}{K} = \alpha_k \cdot \frac{M_{KR}}{K}, \quad (4)$$

ahol K a csap keresztmetszeti tényezője, esetünkben

$$K = \frac{d^3 \cdot \pi}{32} = \frac{2^3 \cdot \pi}{32} = 0,785 \text{ mm}^3 \quad k = 85 \text{ mm, és } \alpha_k$$

a csap változó keresztmetszetét figyelembe vevő alak-tényező (Ún. feszültség-koncentráció hatás), esetünkben mértéke irodalmi adatok alapján [6] $\alpha_k = 1,27$. A számértékek behelyettesítésével a (4) egyenlet átrendezésével F_R erőre megoldva kapjuk:

II. táblázat

Kapcsolat a csapterhelő erő és a meggörbült csap két szakasza közötti φ szögeltérés (szögelfordulás) között

A próbatest jele	Terhelőerő F [N]	Számított nyomaték M_h [Nm]	Szögelfordulás φ [°]	Megjegyzés
	8,826	750,2	5	Megfolyt
F O6 0026	9,807	833,6	15	Megfolyt
	9,807	833,6	20	Megfolyt
	0	0	18	Visszarugózott
	8,826	750,2	6	Megfolyt
	10,297	875,3	20	Megfolyt
F O6 0027	0	0	17,5	Visszarugózott
	10,297	875,3	25	Megfolyt
	0	0	22,5	Visszarugózott
	8,826	750,2	6	Megfolyt
	10,297	875,3	25	Megfolyt
F O6 0028	0	0	23	Visszarugózott
	10,297	875,3	28	Megfolyt
	0	0	26	Visszarugózott
	8,336	708,6	12	Megfolyt
	9,317	791,9	15	Megfolyt
F O6 0030	9,807	833,6	25	Megfolyt
	0	0	23	Visszarugózott
	9,807	833,6	26	Megfolyt, megrepedt

$$F_R = \frac{K \cdot \sigma_F}{\alpha_k \cdot k} = \frac{0,785 \cdot 382,7}{1,27 \cdot 85} = 2,783 \text{ N}$$

Képlékeny határesetben, tökéletesen képlékeny, nem felkeményedő anyagtulajdonság feltételezésével

A keresztmetszetet terhelő M_{hk} hajlító nyomaték, amelyik a horony teljes keresztmetszetét képlékeny állapotba hozza (tökéletesen képlékeny anyagot) feltételezve [7]:

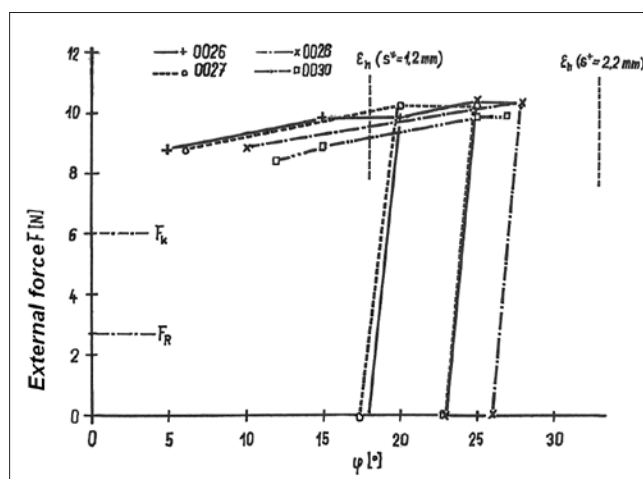
$$M_{hk} = F_k \cdot k = 2 \cdot S \cdot \sigma_F, \quad (5)$$

A hol $S = d^3/12$, a fél-keresztmetszet statikai nyomatéka a hajlítás tengelyére.

Az (5) összefüggést a képlékeny határeset terhelő erő szükségletére (F_k) átrendezve, a számértékeket behelyettesítve kapjuk:

$$F_k = \frac{2 \cdot S \cdot \sigma_F}{k} = \frac{d^3}{6} \cdot \frac{\sigma_F}{k} = \frac{2^3}{6} \cdot \frac{382,7}{85} = 6,003 \text{ N}$$

Megállapíthatjuk, hogy mind F_R , mind F_k lényegesen kisebb a kísérletek alkalmával alkalmazott, a II. táblázatban található értékeknél.



8. ábra. A csapok hajlító-vizsgálatának összegezett eredményei, a terhelőerő-szögelfordulás függvényében bemutatva

lapotát előíró F_R , valamint a képlékeny határállapot kialakulásához szükséges (ideálisan rugalmas-képlékeny anyagot feltételezve) F_k terhelő erőt is.

III. táblázat

Kapcsolat a csap φ szögtorzulása és a gyengített csaphossz s^* működő csaphossza között, $s^* = 1,2 \text{ mm}$ (a), és $s^* = 2,2 \text{ mm}$ (b) esetén

φ [°]	φ [rad]	ε [%]	
		$s^* = 1,2 \text{ mm}$	$s^* = 2,2 \text{ mm}$
5	0,08726	8,726	4,76
10	0,1745	17,45	9,52
15	0,2618	26,18	14,28
20	0,1490	34,90	19,04
25	0,4363	43,63	23,80
30	0,5236	52,36	28,56

Megbeszélés

A bemutatottak alapján az ideiglenes implantátumok tartó csapjával kapcsolatban elvégzett kísérleteinkből, az azokhoz kapcsolódó elméleti megfontolásokból az alábbi következtetések vonhatók le:

- A kísérletek során a vizsgált csap nem volt egyensúlyban: a torzulás a teher (F) hosszabb ideig való felrakása esetén tovább folytatódott volna, egészen a csap tönkremeneteléig. A csap hajlítását ezért gondosan, „túlhajlítás” elkerülve kell végezni.
- A csap szerkezeti anyaga (a valóságban *nem tökéletesen képlékeny*) erősen felkeményedésre hajlamos. A képlékeny határterhelés F_k értéke ezért a csap torzulása számára csak alsó határnak tekinthető.

Összegezve vizsgálatainkat, azok eredményeit a 8. ábrán mutatjuk be, ahol is a terhelő erő mért értékeit a csap szögelfordulása függvényében rajzoltuk fel.

Az 8. ábrában berajzoltuk a csap rugalmas határál-

Berajzoltuk továbbá az alakváltozásnak azt az $\varepsilon_{max} = \varepsilon_h$ határértékét, amelyik $\varphi = \varphi_h = 20^\circ$ szögtorzulást eredményez, abban az esetben, ha:

- a horony alakja a 3. ábrának felel meg ($s = s^* = 1,2 \text{ mm}$),
- a horony hosszát 1 mm-el megnövelik, amely esetben az $s = s^* = 2,2 \text{ mm}$ értékre növekszik. A módosított horony kialakítására vonatkozó elképzelésünket a 9. ábrán mutatjuk be.

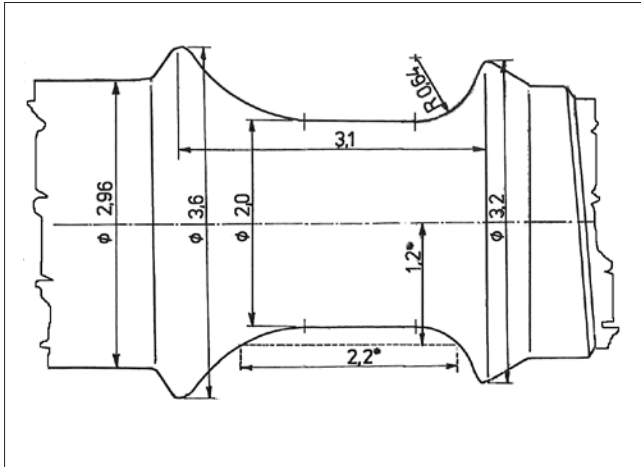
Az eredmények értékelése azt mutatja, hogy a horony hosszának megnövelése adott φ szögelfordulás esetén a határnyúlás, és ezzel a csap berepedésének veszélyét is csökkenti.

A hajlító-vizsgálatok eredményeit összegezve 8. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy $\varphi = 20^\circ$ szögtorzulás esetén a horony szélső szálaiban fellépő nyúlás ($s^* = 1,2 \text{ mm}$) esetén meghaladja a csap anyagára a műbizonylatban megadott ε_B szakadási nyúlás értékét, tehát ezek alapján a szélső szálban előfordulhat a csap törése.

Megnövelt horonyhossz esetén, $\varphi = 20^\circ$ szögtorzuláshoz tartozóan, a nyúlás csúcserkéke nem éri el a műbizonylatban megadott ε_B szakadási nyúlás értékét.

Erre való tekintettel javasoljuk a horony geometriájának a 9. ábra szerinti módosítását.

Az általunk alkalmazott eljárás más implantátumoknak a vizsgálatára is alkalmas lehet, amelyeknél az implantátumfej tengelykorrekciója a implantátum nyaki rész meghajlításával lehetséges.



9. ábra. A módosított, növelt hosszúságú csap-horony ($s=s^*=2,2$ mm) kialakítása

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a Protetim Kft.-nek a próbatetek legyártásáért, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Biomechanikai Kooperációs Kutatóközpont Központi Laboratóriuma dolgozóinak, a vizsgálat megvalósításában nyújtott segítségért.

Irodalom

1. DIVINYI T: *Orális implantológia*. Semmelweis Kiadó, Budapest, 2007.
2. GOLDMANN T, IHDE S, KUZELKA J, HIMMLOVA L: Bendable vs. angulated dental implants: consideration of elastic and plastic material properties based on experimental implant material data and FEA. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Rebus* 2008; 152 (2): 309–316.
3. STRIETZEL FP, KRUEGER H, SEMMLER R, HOPP M: Morphological study of Osteoplate 2000-extension implants after bending. *Implant Dent* 2000; 9: 261–267.
4. PIATTELLI A, PIATTELLI M, SCARANO A, MONTESANI L: Light and scanning electron microscopic report of four fractured implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998; 13: 561–564.
5. THAMM F: Extrapolation of the stress intensity factors based on discrete experimental results. In: Czoboly E (ed.): *Proceedings of the Seventh European Conference on Fracture ECF 7, Budapest, Hungary, September 19–23, 1988*. Engineering Materials Advisory Services, Warley, 1988; 780–787.
6. MUTNYÁNSZKY Á: *Szilárdságtan*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
7. DR. SZABADITS ÖDÖN: *Acélok, öntöttvasak*. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest 2005.

DR. SZÜCS A, DR. BORBÁS L, DR. DIVINYI T, DR. BARABÁS J:

A Biomechanical Study of Uniplant SP® Temporary Dental Implants: Loading under Laboratory Conditions

The mechanical strength parameters of Uniplant SP® temporary implants were investigated. In clinical practice temporary implants are used to provide the patient with a fixed temporary restoration. Temporary implants are one-part implants small in diameter, and by design they have excellent primary stability. The temporary fixtures are usually placed simultaneously with the final implants. They positioned between the final implants. Due to their good stability they can immediately be loaded. They are usually expected to function till the final implants are ready for loading and when no longer needed, the temporary implants are removed.

The abutment that carries the prosthetic components is manufactured in one piece with the implant, connected to it with a narrower neck portion. This neck part might easily fracture in the first instance when the abutment is bent to make abutments parallel in order to fabricate the temporary prosthetic device and in a second instance when temporary implants are removed. In the present study the mechanical properties of the cervical part were studied in a custom-designed device. Based on the results of the loading studies recommendations were made to modify the current shape of the implant. With minimal modification of the implant design and lengthening the implant neck risk of fracture can be significantly reduced.

Key words: dental implants, laboratory investigation, strength parameters