

# Koszorúérsztentek anyagvizsgálata

Bognár Eszter\* – Ring György\* – Dobránszky János\*\*

## Summary

**Investigation of coronary stents.** The authors write about PSE (Percentage Shortening on Expansion), recoil and surface characteristics of the endovascular prosthetics. Four stents were examined: Biocompatibles, Biodivysio PC coated stent; Sorin Biomedica Tecnico Carbostent; Guidant Multi-Link Zeta uncoated stent; Boston Scientific LP uncoated stent. In the discussion we compared them.

## Bevezetés

Hazánkban a szív koszorúereinek betegsége az egyik leggyakrabban előforduló és gyakran infarktushoz, esetleg korai halálhoz vezető megbetegedés (1. ábra).



1. ábra. A keringési rendszer betegségei az elhalálozások fő okozói (1. keringési rendszer megbetegedései; 2. daganatos megbetegedések; 3. baleset, erőszak; 4. emésztőrendszer betegedései; 5. légzőrendszer betegségei; 6. egyéb)

A betegség megelőzhető, vagy ha már kialakult, úgy előrehaladása lassítható, sőt vissza is fordítható. Kutatások szerint pusztán az étkezési szokások megváltoztatásával a korai halálozás mintegy 30%-kal csökkenthető lenne. A szív- és érrendszeri megbetegedések elleni küzdelemben a kutatások két, egymással kapcsolatban lévő elemről állnak: monitoring és egészségnevelési intervenció. A monitoring infarktus- és agyvérzésregisztert, valamint célzott szűrővizsgálatokat tartalmaz a kockázati tényezők előfordulási gyakoriságának feltárása céljából [6].

Ha egy betegnél elvégezték a ma már egyre inkább elterjedő szívkatéteres vizsgálatot, annak eredménye alapján a betegen háromféle módon lehet segíteni: vagy gyógyszeres terápiában részesül, vagy koszorúér-tágítást végeznek rajta, vagy ún. bypass műtetre kerül sor. A koszorúér-tágítás (PTCA: percutan transluminális coronaria angioplastica) előnye, hogy viszonylag könnyen kivitelezhető, a beteget kevésbé terheli, mint a műtét, továbbá nem fájdalmas. Hátránya a nagy visszaszűkülési (restenosis) arány, viszont könnyebben ismétlődő, mint a műtét [1].

A szív- és érrendszeri betegségek már Kr.e. 3000 évvel is gondot je-

lentettek: elsőként az egyiptomiak végeztek kísérleteket, különféle csöveket használva. Ma a sztent kifejezésről olyan eszközre asszociálunk, amely az érfal kitámasztásáról gondoskodik a ballonkatéterrel tágitott érszakaszon, és amely meggátolja annak visszaszűkülését [8].

Az angioplastica fő eszközei a vezetődrótok, a ballonkatéterek és az előbbi kettő segítségével az érbe juttatott sztentek. A sztentek olyan hálós szerkezetű implantátumok, amelyek az érfal kitámasztásáról gondoskodnak. Rendeltetésük az, hogy meggátolják az ér visszaszűkülését. A sztentek előgyártmánya általában cső, illetve huzal. Jellemző rájuk a nagyon precíz megmunkálás és az igen jelentős ár (200–2500 euró). A vékony falú csőből lézersugaras vágással alakítják ki a hálós szerkezetet. A huzalból készült sztenteket az alapanyagból szövással, fűzéssel, csévével vagy hegesztéssel alakítják ki. A sztentek anyagukat tekintve készülhetnek rozsdamentes acélból, nitinolból, tantáliból, Co-Cr ötvözetből, különleges polimerekből [1].

A ballonos tágitású sztentek a szűkült érszakaszba ballonkatéterrel juttathatók be, majd a ballont nagy nyomás alá helyezve (folyadékkal, pl. vízzel feltöltve) nyelik el a sztentek a végleges formájukat, tartást adva a kitágított érnek. Az „öntáguló” sztentek rugalmas ötvözetből készült fémhármaszterű szerkezetek, amelyek az érintett érszakaszban a takaróhüvely lehúzásával érik el eredeti formájukat [2]. Léteznek speciális kialakítású sztentek, amelyeket különböző elváltozások esetén alkalmaznak, például az aneurizma kezelésére. Ezek PTFE-bevonatú sztentek, de a különleges kialakítás nemcsak a bevonatra, hanem például a sztentet alkotó cellák számára is vonatkozhat. A jelenlegi kutatások a ballon-expandált típusú sztentekre összpontosítanak, különösen ezek felületi bevonására.

A bevonatok a vérlemezkék aktivációját akadályozzák meg. Ez azért fontos, mert a tágitott érszakaszon sztent nélkül is megnő a trombocita-aktiváció. A bevonat, anyaga szerint, lehet aktív vagy passzív. Az aktív bevonatnak a szabályozott gyógyszerleadású rendszereket nevezzük, amelyek a hatóanyagot adott időtartamon belül, előre meghatározott sebességgel adják le a felhasználási helyen.

Biztosítani kell, hogy a testtel érintkező polimer tulajdonságai ne változzanak. Lebomló polimereknél a bomlástermékek nem lehetnek mérgezőek vagy rákkeltő hatásúak. A kioldandó gyógyszerfelületen való megkötésére több módszert is kidolgoztak. Heparin (vérvaldásgátló) felvitelére két lehetőség van ionos vagy kovalens kötés létrehozásával [5].

A passzív bevonatok lehetnek nemesfémek (arany), oxidos, nitrides és karbidos bevonatok (pl.: SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, TiN, SiC); szilikongyanták, gélek és más polimerek (PE, PP) valamint gyémántszerű filmek (Diamond Like Coating).

## Minőségi követelmények

Tekintettel arra, hogy a sztentek a cardiovascularis rendszerbe ültetett endoprotézisek, komoly, három fő csoportba sorolható: gyártástechnológiai, orvostechnikai és funkcionális követelményeknek kell megfelelniük. A követelményeket az 1. táblázat rendszerezi, de az abban felsorolt – olykor egymással ellentétes – követelmények nyilvánvalóan nem minden sztentre általános érvényűek. A sztent mint termék gyártásához kötődő minőségi követelmények változhatnak a sztent anyagának (korroszióálló acél, Co-Cr ötvözet, Ni-Ti ötvözet, Ta, polimer, Mg-ötvözet stb.) és gyártási technológiájának függvényében. Ezeknek az implantátumoknak a kifáradással szembeni ellenállása tíz éves időtartamra garantált kell legyen. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a Ni-Ti ötvözet anyagú, öntáguló sztentekre egészen másféle elvárások vonatkoznak, mint a

\* Bognár Eszter és Ring György – a BME Gépészmérnöki Karán az orvostech-nika modul V. évfolyamos hallgatói.

\*\* Dobránszky János – az MTA-BME Fémtechnológiai Kutatócsoport tudomá-nyos főmunkatársa. A Koszorúérsztentek új generációjának kifejlesztése klinikai tapasztalatok alapján című NKFP-3A/042/04 projekt egyik vezető szakértője.

1. táblázat. A sztentekkel szemben támasztott követelmények

Gyártástechnológiai minőségi követelmények	Orvostechnikai követelmények	Funkcionális követelmények
Méretpontosság	Profilméret (beültetésiátmérő)	Haemokompatibilitás
Bordavastagság, bordaszélesség	Flexibilitás	Kis radiális visszarugózás
Felületi érdesség	Feltolhatóság	Kis fémmel fedett felület
Szemcseszervezet	Röntgensugaras láthatóság	Kis tágulási rövidülés
Csíramentesség, sterilitás	Radiális szilárdság	Non-trombotikus
Bevonatmegtartás	Egyenletes kinyílás	Szabályozott gyógyszerkibocsátás
Kis hőhalásóvvezet	Endothelizáció	Biodegradabilitás

ballonos tágítású sztentekre, amelyek alapanyaga jellemzően AISI 316LVM ausztenites acél.

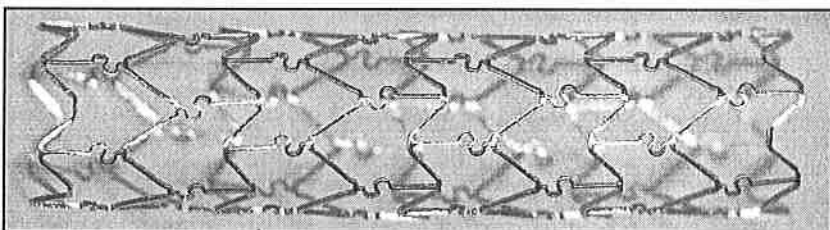
### A sztentek vizsgálata

A vizsgálati programot 2–2 db bevonatos, illetve bevonat nélküli sztent vizsgálatával alakítottuk ki. A vizsgálati mintákat, amelyek meg-egyeznek a forgalomba hozott, klinikai alkalmazásokban használtakkal, az MTA–BME Fémtechnológiai Kutatócsoport szerezte be vizsgálati célból. A vizsgálat közben nyert eredmények alapján pontosítottuk a sztent-vizsgálati metódikát. Ezt a vizsgálati rendszert a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tan-  
székén dolgoztuk ki a különböző gyártóktól származó minták kutatási célra történő tanulmányozására. A vizsgált sztentek jellemzőit a 2. táblázat foglalja össze.

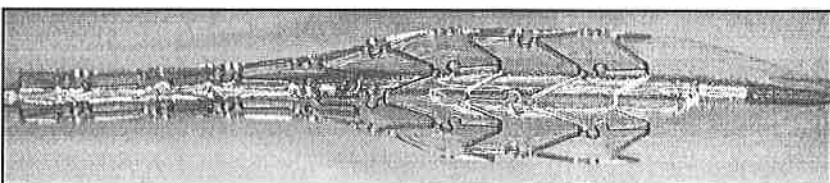
A sztenteknek mind műszakilag, mind pedig biológiailag meg kell felelniük az elvárásoknak, ezért a méréseket két csoportra lehet osztani. A műszaki szempontok vizsgálata elsősorban a felület minőségére, a

2. táblázat. A vizsgált sztentek geometriai adatai

Jellemzők	Biodivysio PC-coated	Tecnic Carbostent	Guident Multi-link Zeta	Boston Scientific LP stent*
<i>Méreték ballonra helyezve</i>				
Falvastagság	0,09 mm	0,08 mm	0,11 mm	0,09 mm
Külső átmérő	1,15 mm	1,12 mm	1,11 mm	1,01 mm
<i>Méreték tágítás után</i>				
Külső átmérő	3,58 mm	3,82 mm	4,15 mm	3,39 mm
<i>Funkcionális jellemzők</i>				
Hosszúság	14,19 mm	25 mm	17,78 mm	8,19 mm
Külső átmérő	3,45 mm	3,74 mm	3,96 mm	3,24 mm
Belső átmérő	3,27 mm	3,27 mm	3,43 mm	2,96 mm
Tágulási rövidülés	4,13%	0%	1,71%	2,96%
Visszarugózás (recoil)	3,63%	2%	4,58%	4,58%



2. ábra. Biodivysio PC-bevonatos sztent



3. ábra. Biodivysio PC-bevonatos sztent 5 bar nyomásnál, a tágulás kezdetekor

bevonat tartósságára, homogenitására és más fizikai tulajdonságaira irányul. A biológia vizsgálatok pedig a felület és az azt körülvevő sejtek interakcióját kutatják [9].

A műszaki tulajdonságokat szemrevételezéssel, optikai mikroszkópokkal, pásztázó elektronmikroszkóppal és az ahhoz csatolt X-EDS-analizátorral (energiadisziperzív röntgenanalízis) rendszerrel vizsgáltuk. Az optikai mikroszkópos mérések eredményét digitális fényképezőgéppel rögzítettük. Számítógépes képfeldolgozó rendszerek segítségével számítottuk ki a sztentek tágulási jellemzőit.

### A Biodivysio PC-bevonatos sztent vizsgálata

Általában, ha egy idegen anyagot helyeznek a szervezetbe, az „külső” az idegen testet, amelyet az őt körülvevő folyadék proteinnel, lipidekkel és egyéb anyagokkal von be. Ha a vér idegen anyaggal találkozik, véralvadási folyamat indul be. A Biodivysio szabadalmaztatott bevonata a PC (phosphorylcholine) bevonat (2. ábra). Ez a polimer vonzza a vizet, amelyet szorosan megköt maga körül. Ennek eredményeképpen, ha PC-bevonatot alkalmazunk, a proteinek és lipidek lerakódása jelentősen lecsökken, a véralvadási folyamatok minimalizálódnak [4].

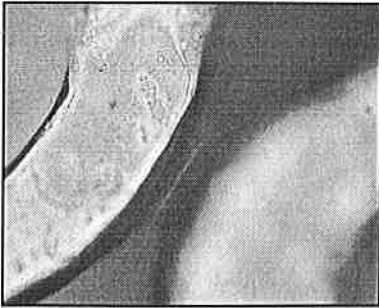
A PC tulajdonképpen egy szintetikus másolata a vörösvértest külső membránjának. A fosfolipidek több mint 90%-a tartalmaz PC-t. Tehát a PC egy kémiai főcsoport neve, amely a lipidrétegek külső és belső részét alkotja. Pozitív és negatív töltéseket is tartalmaz, és elektromosan teljesen semleges, széles pH-skálán. Mivel semleges természete párosul azzal, hogy meg tudja kötni a vizet, így figyelemreméltó a biokompatibilitása is [4].

A Biodivysio PC-bevonatos sztentet cső előgyártmányból, lézersugaras vágással készítették. Az utólagos sorjalevágást, illetve a felületi simítást elektropolírozással végezték. A sztent anyaga rozsdamentes acél (AISI 316LVM). A fémhidak, illetve bordák (strut) téglalap keresztmetszetűek, élei lekerekítettek. A bevonatot bemártással vitték fel [3].

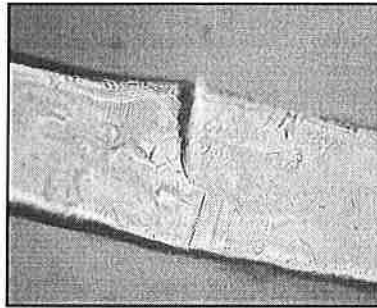
A ballont a bepumpált vízzel felfújva a sztent először a pumpa felőli oldalon kezdett tágulni, majd közepén, végül a ballon csúcsa felől. 5 bar nyomásnál kezdett el szétnyílni (3. ábra), és ugyanezen a nyomásértéken teljes hosszában szétnyílt.

Felfújás előtt a bevonat minőségének megálapítására optikai mikroszkópos vizsgálatokat alkalmaztunk. Ezen a sztenten a bevonat a kezdeti állapotban egységes, egybefüggő volt. Jól látható, hogy kezdeti állapotban a fémhidak bizonyos helyeken összeérnek, a bevonatuk össze van ragadva (4. ábra). Ez tágulási problémákat okozhat expandálás során. Ezáltal deformálódhat a sztent, mert a strutok nem tudják felvenni a megfelelő helyzetüket és a sztent alakja eltérhet az eredeti cső alaktól. Így áramlási zavarokat okozhat, amely a trombózis és újraszűkülés előidézője lehet.

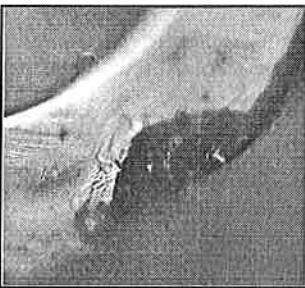
A sztenten felületi hibák mutatkoztak, karcok, rovátkákat, gödröket lehetett megfigyelni, amelyeket vagy a tisztítási folyamat vagy pedig az elektropolírozás okozott. Főleg a repedések a veszélyesek, mert töréshez vezethetnek az expandálás után. Az eltört fémhidak könnyen megsérthetők, esetleg kilyukasztathatók az ér falát.



4. ábra. Strutok összeragadva a Biodivysio PC-bevonatos sztenten



5. ábra. Felületi repedés a Biodivysio PC-bevonatos sztenten



6. ábra. Gödör a Biodivysio PC-bevonatos sztent felületén

A többi felületi hiba is könnyen az érfal sérüléséhez vezethet (5. és 6. ábra).

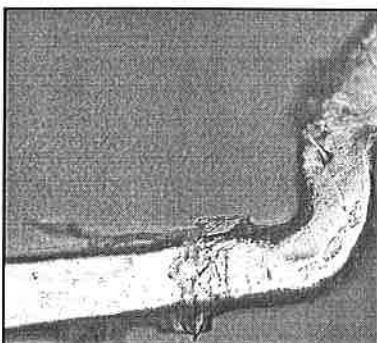
A felfújás után szintén észlelhetők voltak a sztent felületén karcolások, de emellett tisztán látható volt, hogy a bevonat már nem egységes, levált a felszínről és helyenként hátrétegeként lebeg a sztenten. A leszakadt bevonat az ér más részein fennakadva újra szűkülethez vezethet. Ha keményebb, akkor áramlás

közben megsértheti, esetleg kiszakíthatja az érfalat. Ahonnan hiányzik a bevonat, és a vér érintkezik a kevésbé haemokompatibilis alapanyaggal, ott megkezdődik a vér alvadása a felületen. Ez szintén növeli a restenózis és trombózis esélyét (7. és 8. ábra).

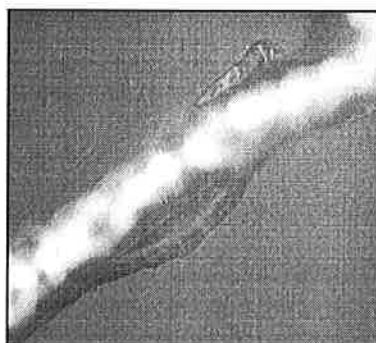
Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat során 25 kV-os elektronsugárral gerjesztettük a sztentet. Ennek segítségével jól láthatóvá váltak a szemcsehatárok, a képlékeny alakváltozás okozta csúszási vonalak, a felületi karcolások, gödrök. A látható sötétebb foltok valószínűleg a sztent tisztításához használt alkohol száradási nyomai (9. és 10. ábra).

Energia-diszperzív röntgenspektroszkópos mikroelemzéssel (X-EDS) határoztuk meg a bevonat, illetve a felületen található anyagok pontos összetételét. A felületen lebegő részecskékről bebizonyosodott, hogy valóban a bevonat vált le – hatalmas C-csúcsot mutatott –, és nem szennyeződés van a felületen. A vizsgálat szerint foszfor (P) is nagy mennyiségben van jelen, amely szintén a bevonat jellemző alkotója (11. ábra).

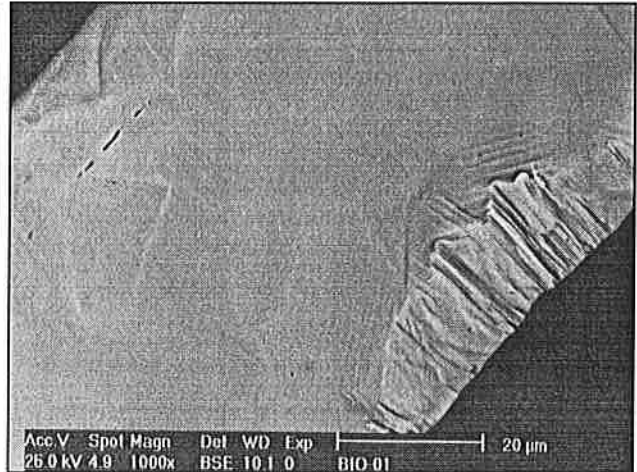
A sztent tágulási rövidülése és visszarugózása a cég által megadott értékeknek megfelel, azonban a tágítást követően a bevonat megrepedezett, rengeteg helyen levált az alapanyagról, illetve leszakadt róla, pedig a bevonat épsége, homogenitása nagyon fontos követelmény. Hozzá kell azonban tennünk, hogy a ballonos tágítást szárazon végeztük, és valószínűsíthető, hogy normál esetben, az ér folyadékkozegében ezek a repedések nem alakulnak ki.



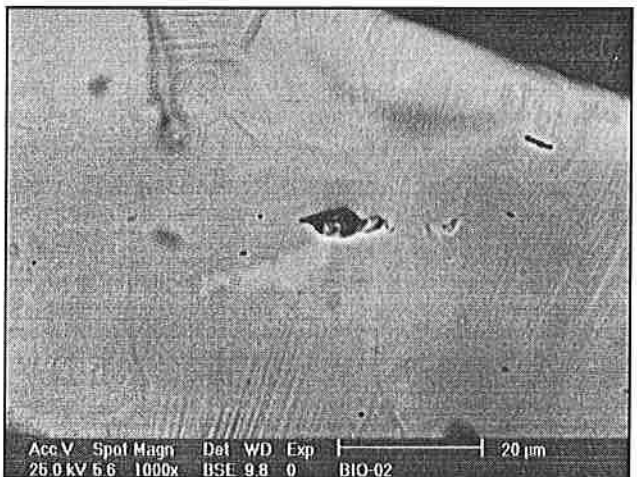
7. ábra. A leszakadt bevonat a Biodivysio PC-bevonatos sztenten felfújás után



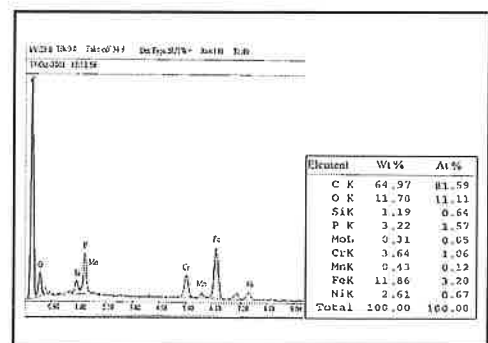
8. ábra. Hídyszerű leválás a Biodivysio PC-bevonatos sztenten felfújás után



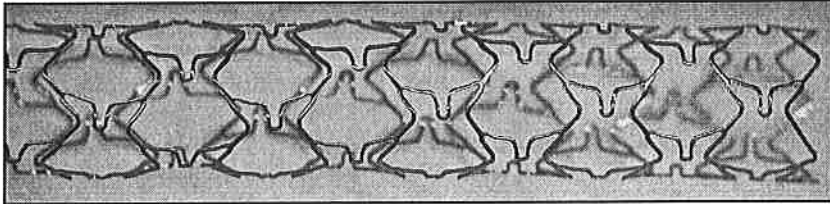
9. ábra. Sérülés és szemcsehatárok a Biodivysio PC-bevonatos sztent felületén



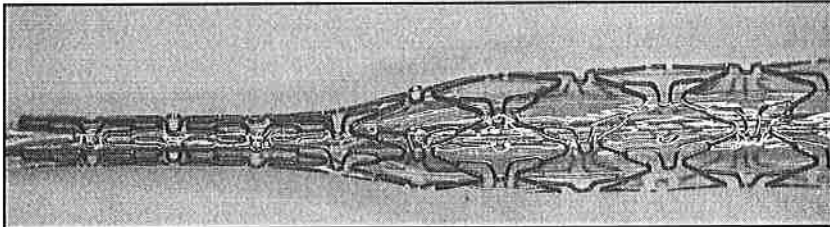
10. ábra. Gödröcskék a Biodivysio PC-bevonatos sztent felületén



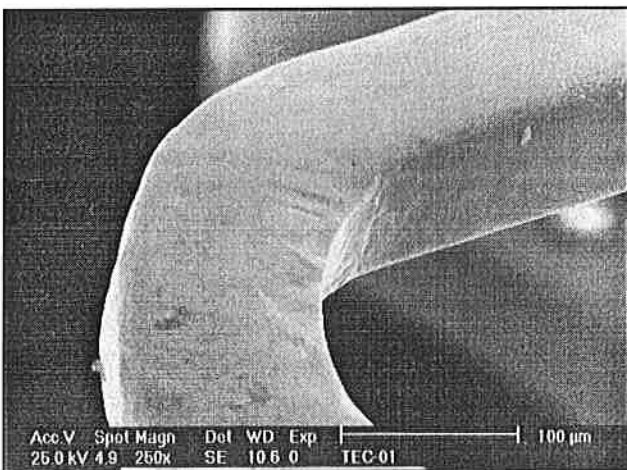
11. ábra. A Biodivysio PC-bevonatos sztent felületéről levált bevonat anyagösszetétele



12. ábra. Sorin Biomedica Tecnic Carbostent



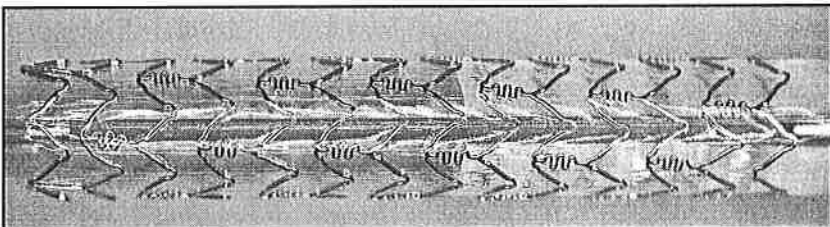
13. ábra. A Tecnic Carbostent 3,5 bar nyomáson, a tágulás kezdetekor



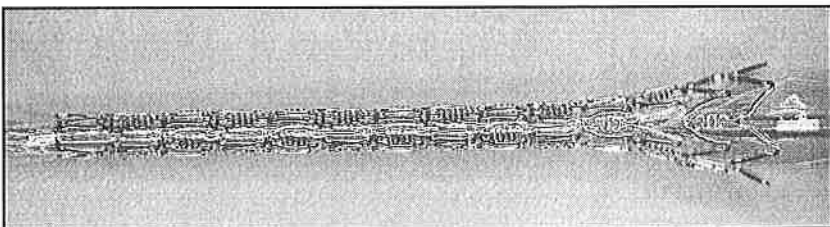
15. ábra. Elektronmikroszkópos felvétel a Tecnic Carbostent felületéről felfújás után

készült. Az utólagos sorjalevágást, illetve a felületi simítást elektropolírozással végezték. A sztentre a bevonatot bemártással vitték fel. A sztent anyaga rozsdamentes acél (316LVM), carbofilm bevonattal. A fémhidak téglalap alakúak, lekerekítettek. Tágulási rövidülése (PSE) a cég adatai szerint 0%, amely a mérési eredmények alapján valóban igaz [3].

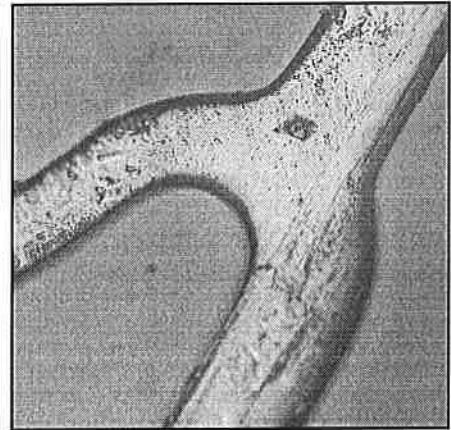
A felfújás során jól lehet látni, hogy a sztent a pumpa felőli oldalán kezdett tágulni, majd középen, végül a túlsó oldalán. 3,5 bar nyomásnál



16. ábra. Guidant Multi-Link Zeta sztent



17. ábra. A Guidant Multi-Link Zeta sztent 3,5 bar nyomásnál



14. ábra. Gödrök a Tecnic Carbostent felületén felfújás után

kezdett el szétnyílni és ugyanezen a nyomásértéken teljes hosszában szétnyílt (13. ábra).

Ennél a sztentnél a bevonat teljesen összefüggő volt, felületi sérüléseket alig tartalmazott. A kezdeti vizsgálatoknál a szennyeződések minimálisak voltak, amelyek a csomagolás során kerülhettek rá. Felfújás után a bevonat is teljesen ép, összefüggő, folytonos maradt, egyáltalán nem akadtak leszakadt, levált bevonati rétegek. Csúszási vonalakat, apróbb gödröket találtunk, ám ennél nagyobb felületi hibát nem (14. ábra). Érdekes módon felületi szennyeződések is alig voltak rajta a kísérlet végén.

Pásztázó elektronmikroszkópban vizsgáltuk a sztentet, és megfigyeltük a képlékeny alakváltozás hatására láthatóvá vált szemcsehatárokat (15. ábra). A belső ívekben a lekerekedések az elektropolírozás miatt keletkeztek. A sztent tágítás után is megtartotta egységes bevonatát, felületi sérüléseket nem találtunk rajta, a visszarugózás egészen kicsi.

**Guidant Multi-Link Zeta sztent**

A Guidant Multi-Link Zeta ballonos tágítású sztent (16. ábra) 316L rozsdamentes acélból készült, hullámos-gyűrűs mintára kivágva. Megfigyelhető, hogy a ballon felfújódása a pumpa felőli végénél kezdődik. 3,5 bar nyomásnál telítődik a ballon először levegővel, majd – a nyomást folyamatosan növelve – folyadékkal (17. ábra).

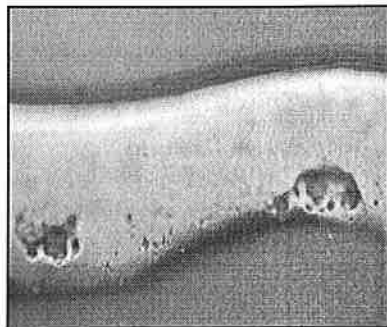
A Multi-Link Zeta sztenten már a tágítás előtt is sok felületi hiba volt megfigyelhető: pontszerű anyaghiányok, nagyobb gödrök, amelyek az elektropolírozásnak tulajdoníthatók (18. ábra). A sztent ballonra való rányomkodásakor az anyag képlékenyen deformálódott, 50-szeres illetve 100-szoros nagyításnál már láthatóvá váltak a csúszási vonalak.

A ballon felpumpálása után a felületi hibák száma megnőtt, a kanyarulatokban – ahol az anyag a legnagyobb igénybevételnek volt kitéve – a szemcsékben újabb csúszási vonalak jelentek meg. Az anyag felülete helyenként egyenetlenné vált, narancsosodás volt megfigyelhető, és a felületen árkok, rovátkák voltak láthatóak (19. ábra).

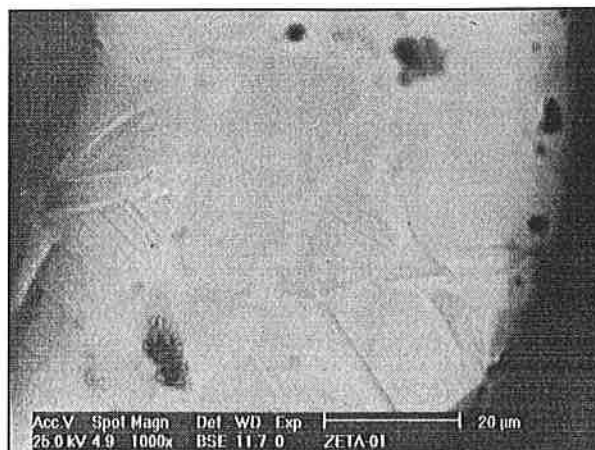
A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat során a sztent felületén, sok helyen szennyeződések voltak tapasztalhatóak, amelyek nagy része a gyártás során kerülhetett az anyagra, hiszen a többi – azonos körülmények között vizsgált és tárolt – sztent vizsgálatokor nem tapasztaltunk ilyen szennyeződések. Minden kanyarulatban megfigyelhetők voltak csúszási vonalak, amelyek jól kirajolták a szemcsehatárokat (20. ábra).



18. ábra. A Guidant Multi-link Zeta sztent felületén található gödrök a felfújás után



19. ábra. A Guidant Multi-Link Zeta sztent felülete a ballon felpumpálása után



20. ábra. Csúszási vonalak a Guidant Multi-Link Zeta sztent felületén

### Boston Scientific LP sztent

A Boston Scientific LP sztentje ballonos tágítású, csőből kivágott sztent (21. ábra). Kémiai maratással kombinált, a legjobb minőségű 316L rozsdamentes acélból, a Photo-Mask-and-Etch-on-a-Tube (PMEOAT) néven ismert egyedi gyártási folyamat biztosítja, hogy a fém felülete teljesen feszültségmentes és a lehető legsimább legyen, ami kitűnő hajlékonyságot és nyomásállóságot nyújt. A kémiai maratás kis hőmérsékleten végbemenő folyamat, amely nem csökkenti a végtermék szakítószilárdságát. Az LP sztent egyedi, trapéz alakú keresztmetszete lehetővé teszi, hogy a sztent fémhídjai kis erővel és kevesebb, nyomás által okozott sérüléssel ágyazódjanak be az érfalba. Az LP sztentek további kiváló tulajdonságai a nagy radiális terhelhetőség, a minimális visszarusogás és a minimális tágulási rövidülés.

Az LP sztent esetében a ballon mindkét vége felől felfújódik. A nyomást 4,2 barról minimálisan növelve hirtelen telítődik a ballon (22. ábra).

Felfújás előtt az LP sztent felületén jól láthatók voltak az utólagos mechanikai megmunkálás következtében keletkezett sérülések. Itt főleg a mikroköszörvülés okozta horzsolásszerű felületi hibák voltak megfigyelhetők, de észlelni lehetett a maratás következtében előforduló gödrösödést, anyagihiányokat is (23. ábra).

A ballon felpumpálása következtében a sztent anyaga képlékenyen deformálódott, csúszási vonalak jelentek meg, és megfigyelhető volt a narancsosodás jelensége is, azonban az implantátum felülete nem változott meg jelentősen.

Az LP sztent pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálata is alátá-

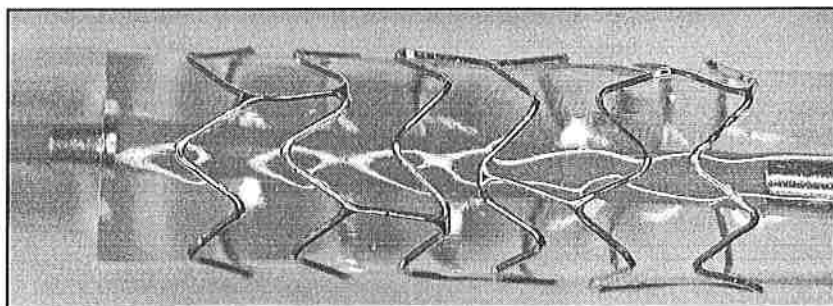
masztotta, hogy a sztent felülete rendkívül sima. A ballonnal történt – a névleges tágítási nyomás fölötti – felpumpálása után sem lehetett találni rajta újabb jelentős szerkezeti károsodásokat. Megfigyelhető volt azonban – a fémmikroszkóppal is látható, az utómegmunkáláskor keletkezett sérüléseken kívül – egy kanyarulatban lévő gödör, ami a gyártáskor keletkezhetett. A kémiai maratás során esetleg egy nagyobb szemcse vagy egy kis szennyeződés szakadhatott ki az anyagból (24. ábra).

### Összefoglalás

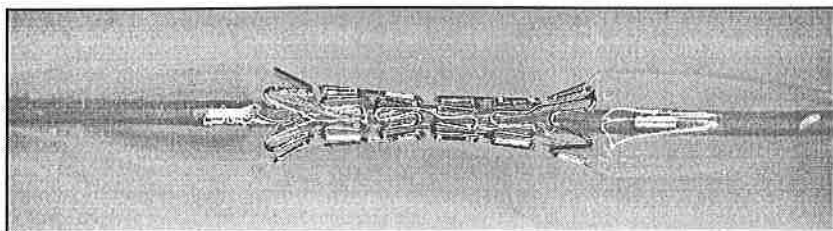
Vizsgálataink elsősorban a 2–2 db bevonatos, illetve bevonat nélküli sztent tágulási jellemzőinek, valamint feltágítás előtti és utáni állapotok felületi minőségének meghatározására vonatkoznak.

Megállapítottuk, hogy a felület minőségi követelményeinek leginkább a Tecnic Carbostent, valamint a Boston Scientific LP sztentje felelt meg. Egyik sztent felülete sem változott meg jelentősen a feltágítást követően. Mindezek megállapításában elsősorban a pásztázó elektronmikroszkópos felvételek nyújtottak segítséget, valamint az optikai mikroszkóppal készített képek. A feltágítás után észlelt csúszási vonalak és narancsosodás a képlékeny alakváltozás következménye, ám ez a felhasználhatóságát döntően nem befolyásolja. A narancsosodás elkerülése miatt is kívánatos a finomszemcsés anyagok használata.

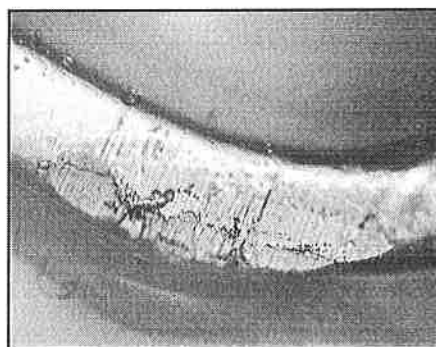
A Biodivysio PC-bevonatos sztentjéről a feltágítás következtében több helyen is levált a bevonat, azonban hozzá kell tenni, hogy a kísérleteket levegőn végeztük. Bizonyosra vehető, hogy in-vivo körülmények között a bevonat épsége megmaradt volna. A Multi-Link Zeta sztenten a feltágítás következtében újabb felületi hibákat találtunk, amelyek esetleg a vér alakos elemei megtapadhatnak, így növelhetik a restenosis esélyét.



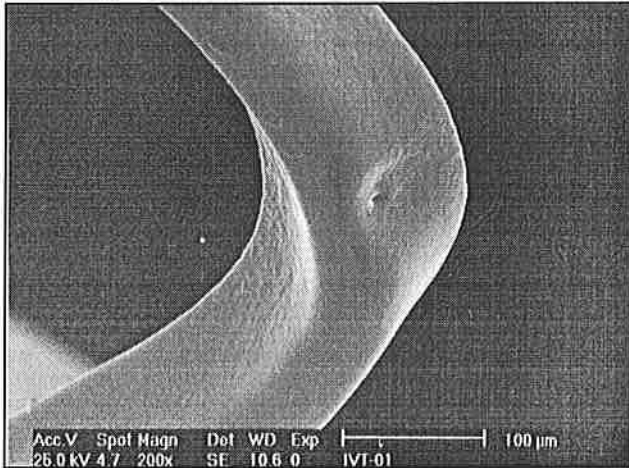
21. ábra. A Boston Scientific LP sztent



22. ábra. A Boston Scientific LP sztent 4,2 bar nyomásnál



23. ábra. A Boston Scientific LP sztent felületi hibái felpumpálás előtt



24. ábra. A Boston Scientific LP sztent egy kanyarulatában keletkezett gödör

A bemutatott vizsgálatok végeredményei alapján dolgoztuk ki a sztentek anyagainak, bevonatainak és szerkezeti kialakításának minősítésére is alkalmas anyagvizsgálati módszert, amely makroszkópos, optikai és pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokból, valamint in-situ, a folyamatok közben változó geometriai méreteknek a digitális képfeldolgozásra épülő meghatározásából áll. Ezt a vizsgálati metodikát

jelenleg már alkalmazzuk más sztentek tágulási viselkedésének részletes jellemzésére.

### Hivatkozások

- [1] Gyenes Gábor: Az angiographia és angioplastica kézikönyve, Melania Kiadó, Budapest, 2001;
- [2] Puskás Zsolt: Szent endoprotézisek felületi állapotának hatása a haemokompatibilitásra, Diplomaterv, BME Gépészmérnöki Kar, 2000;
- [3] M. J. B. Kutryk, P. W. Serruys: Coronary Stenting Current Perspectives, A Corporation to the Handbook of Coronary Stents, Martin Dunitz Ltd., London, 1999;
- [4] <http://www.biocompatibles.com>;
- [5] Szabó Barnabás: Szentbevonatok mechanikai stabilitásának vizsgálata, Diplomamunka BME Gépészmérnöki Kar 2003;
- [6] Boronyák Veronika: Koronária beteg felépülésének elősegítése, [www.c3.hu/~etinfo](http://www.c3.hu/~etinfo);
- [7] Dobránszky János, Major László: Korszerű orvostechikai ötvözetek és gyártástechnológiájuk európai és hazai elterjedése, MTA Közgyűlési előadások 2004. megjelenés alatt;
- [8] Puskás Zsolt, Major László: Ausztenites acélból készült sztent érprotézisek felületi jellemzőinek és bevonatainak vizsgálata, Bányászati és Kohászati Lapok 134. évf. 5. szám 191-196, 2001. május.
- [9] Szabó Erzsébet: Gyógyszerbevonatos sztentek alkalmazási lehetőségei, Diplomaterv BME Gépészmérnöki kar 2002.

## BESZÁMOLÓK

### ICEM 12 – kísérleti mechanika tárgykörű nemzetközi konferencia

Az ICEM (International Committee of Experimental Mechanics) világrendezvénye a kísérleti mechanika témakörében az egyik legátfogóbb konferencia, amely ezúttal, hastesztendei szünet után, 12. alkalommal Olaszországban, Báriban került megrendezésre, 2004. augusztus 28. és szeptember 2. között.

A konferencia szakmai sokszínűségét a szekciók témái is jól tükrözik, nevezetesen:

- biomechanika; biorendszerek és bioanyagok;
- kompozit anyagok és kompozitok károsodása és törése;
- MEMS – mikro-méretű elektromechanikai rendszerek vizsgálata;
- nanotechnológia: mechanikája és anyagai, nano-kompozitok, nano-méretű csövek, maradó feszültségek mérése a nano-méretű képlékeny tartományokban;
- optikai eljárások: képalkotás, fotomechanika makro- és nano-technológiai alkalmazásai; egyéb optikai mérések; speckle interferometria;
- nyúlásmérő eljárások: elektromos ellenállások, optikai nyúlásmérés, száloptikás nyúlásmérő szenzorok; elmozdulás mérések;
- alkalmazott optikai feszültségvizsgálat; modell analízis;
- feszültségmérés: hibrid módszerek, hőfeszültségek mérési eljárásai, emlékező anyagok feszültséganalízise;
- törésmechanika; szerkezetek megbízhatósága; dinamikus ütővizsgálatok; gördülő elemek érintkezésének problémái, kifáradás;
- mérés és minőség-ellenőrzés; időfüggő anyagtulajdonságok vizsgálata; roncsolásmentes eljárások; nyomásvizsgálatok.

Jól érzékelhető, hogy témakörök lefedték a kísérleti mechanika szinte valamennyi ágát. A máshol még nem publikált, ezért **újszerűnek mondható témák és eredmények** a következők:

- Új típusú, magneto-polarizálókóppal üvegek feszültségállapota vizsgálható.
- Repedés megindulásának, ill. terjedésének mérése mikron nagyságrendű, speciális elektromos ráccsal eljárás törésmechanikai jelentősége a mikroszerkezetek vizsgálatánál nyilvánvaló.
- A digitális mérő- és képfeldolgozó eljárással kiegészített interferometriát a különlegesen nagy érzékenység és felbontás jellemzi. Alkalmazásával akár a mikroszerkezetek deformációja is elemezhető.

Értékelve a rendezvény szakmai anyagát, a következő megjegyzések tehetők:

- a kísérleti mechanikában – a hagyományos eljárások mellett – a különleges mérési és az optikai eljárások térhódítása jelentős.
- nőtt az alkalmazások sokszínűsége, különösen a hibrid módszerekkel;
- fejlett a mérési adatgyűjtés és adatfeldolgozás;
- az anyagok és szerkezetek anyagjellemzőinek meghatározása;
- előtérbe került a mikroszerkezetek, a nanotechnológia vizsgálata;
- új anyagok kifejlesztése a mikro- és a nanostruktúrák szintjén;
- a biomechanika jelentős térhódítása, új anyagok és újszerű mérési eljárások bemutatásával.

A korábbi kísérleti mechanikai konferenciák szakmai anyagától eltérően jelentősen megnőtt az optikai eljárások részaránya, különösen a különböző interferometriai módszereké. Alapvető anyagvizsgálati jellemzők (kifáradási határ és az azt befolyásoló különböző paraméterek hatásának) meghatározása mellett helyet kaptak a hagyományos anyagok és a szálerősítésű kompozitok törésmechanikai jellemzőinek pontosabb vizsgálatára irányuló törekvések is. Teljesen új, és egyre jelentősebben fejlődő, meghatározó területként tekinthetjük a mikro- és nano-szerkezetek vizsgálataival kapcsolatos kérdéseket, eljárások megjelenését, időnként kombinálva a biostruktúrák tulajdonságainak vizsgálati lehetőségével. Mindezek előrevetítik a hazai kísérleti mechanika szakterületeinek szükségszerű átrendeződését, igazodva és alkalmazkodva a világban megjelenő irányzatokhoz.

A rendezvényre bejelentett előadásokat a világ 26 országából választott 95 fős nemzetközi Tudományos Testület (Scientific Board) lektorálta és minősítette, a McGraw-Hill pedig 808 oldalas kiadványában (ISBN 88 386 6273-8) jelentette meg az elfogadott 410 előadás két oldalas összefoglalóit. Az előadások teljes (maximált 8 oldalú) anyagát a kiadványhoz csatolt CD mellékletben szintén a résztvevők rendelkezésére bocsátották. Az érdeklődők az interneten a <http://www.ingegneriapoliba.191.it> cím alatt kaphatnak további információkat.

Dr. Borbás Lajos