



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZETEI

Írta:

Bognár Eszter

okl. gépészmérnök

okl. egészségügyi mérnök

Koszorúérsztentek passzív és aktív bevonatai és bevonatolási technológiái

című témakörből,
amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Konzulens: Dr. Dobránszky János

Budapest

2009

A kutatások előzménye

A szív- és érrendszeri betegségek az Európai Unióban a halálesetek majdnem feléért felelősek, így a férfiak és nők körében egyaránt a leggyakoribb halálok. Az étrendi változtatások, a testmozgás és a korszerű gyógyszeres kezelés hatására ezek a halálozások jelentősen lecsökkenthetők. Az életmód, a környezet valamint az egészségügy döntően meghatározzák e betegségek alakulását [1, 2]. Az orvostechika is kiveszi a részét az ezzel a betegségcsoporttal folytatott küzdelemből. Az egyik leghatékonyabb eszköz a koszorúérsztentek alkalmazása.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának Anyagtudomány és Technológia Tanszékén már 12 éve folynak sztentekkel kapcsolatos kutatások és 2000-től kezdve diplomamunkák és doktori témák is szerepet kaptak.

Szakirodalmi összefoglalásomban a koszorúérsztentekhez kapcsolódó szakirodalmat tekintettem át, úgymint

- az angioplasztika eszközeit, amelynek része maga a sztent is;
- a sztentek bevonatainak jellemző anyagait és az ezekkel szerzett tapasztalatokat. A sztentbevonatok aktív és passzív jellegűek lehetnek. Amíg a passzív bevonatok elhatároló réteggként működnek a sztent és a környező szövetek között, addig az aktív bevonatok az alkalmazott hatóanyagokkal érik el a megfelelő hatást [3]. Részletesen bemutattam azt a kutatást, ahol alapbevonatként poliuretánt tartalmazó, kétrétegű sztentbevonatot fejlesztettek ki. A kifejlesztett bevonatokkal in vivo kísérleteket is végeztek. Az eredmények alapján a kétrétegű, fedőbevonattal is ellátott sztentek esetében jelentősen lecsökkent a resztenózis mértéke [4, 5];
- a sztentek főbb bevonatolási eljárásait, amelyek közül számomra a porlasztás, a bemártás és a bemártás ultrahangos rezgetés mellett volt a legfontosabb [6];
- a sztentbevonatok szerkezeti felépítéseit, kiemelve a hatóanyag-felviteli módokat, amelyeknél a diffúzióval történő szabályozás [7] és a porózus szerkezet kialakítása [8] voltak a leghasznosabbak számomra;
- a kifejlesztett sztentmegfogásokat [9];
- a bevonatos sztentek vizsgálati módszereit, amelyek között elterjedt a sztereo mikroszkóp és az elektronmikroszkóp [10], az atomierő-mikroszkóppal, és a röntgenfotoelektron spektroszkópia [11];
- a sztentretenció mérésére található szakirodalmakat. W. Schmidt és munkatársai e tulajdonság meghatározásához egy ragadós szalagot szorítanak a ballonra krimpelt sztenthez, és a katétert szakítógéppel húzzák [12]. A cikkben azonban az eredményeket és a mérés részletes körülményeit nem tárgyalják.

Az irodalom kritikai elemzése

Értekezésem szakirodalmat ismertető részében bemutattam a koszorúérsztenteknél alkalmazott bevonatok típusait, a bevonatolási technológiákat, a bevonatok struktúráit, valamint a bevonatolást elősegítő megfogó szerkezeteket.

Habár a fémbevonatok jól tapadnak a hordozó felülethez, nagy alakváltozások esetén sem válnak le és viszonylag könnyen felvihetők, hiszen a fém-fém kapcsolatok erős kötést hoznak létre és maga a sztentek alapanyaga is a legtöbb esetben fém, azonban biokompatibilitásuk nem olyan jó, mint a polimereké és a kerámiáké. A kerámiabevonatok jó biokompatibilitással rendelkeznek és szerkezetük is megfelelően alakítható, ugyanakkor közülük sok nem képes elviselni a sztentek feltágítása során fellépő nagy alakváltozásokat és felvitelük csak speciális eszközökkel lehetséges. A polimerbevonatok közepesen jó biokompatibilitással rendelkeznek, ami könnyen javítható hatóanyag hozzáadásával és emellett bevonatképzési technológiájuk is igen változatos, ami könnyen megvalósítható lehetőségeket ad. A polimerek nagyobb mértékű alakváltozást képesek elviselni, mint maga az alapfém. Ezekkel a tulajdonságokkal bíró polimerek anyagcsoportja a legígéretesebb koszorúérsztentek bevonására.

A fém, a kerámia és a polimer bevonatokról összegyűjtött jelenlegi információim alapján kijelenthető, hogy a polimer bevonatokban rejlenek a legnagyobb lehetőségek.

A poliuretánt választottam kísérleteim alapanyagául az irodalmi adatok alapján, mert a fent említett tulajdonságokkal rendelkezik és orvostechikai célokra is régóta alkalmazzák, ugyanakkor csak rendkívül kis számban számolnak be a szakirodalomban a sztentbevonatként való alkalmazásáról.

A sztenteknél alkalmazott bevonatolási technológiákat elemezve arra jutottam, hogy a fémbevonatok felvitele galvanizálással könnyen megoldható és egyenletes, jól szabályozható bevonat felvitelét teszi lehetővé, azonban a kevésbé jó biokompatibilitás miatt nem célszerű fémbevonatot alkalmazni. A kerámiák felvihetők PVD, CVD eljárással is. A galvanikus bevonatolási eljárás a fizikai elve alapján nem alkalmas polimer bevonatok felvitelére, továbbá a PVD eljárás sem megfelelő az ilyen célokra. A szakirodalomban vannak utalások arra vonatkozóan, hogy CVD eljárást alkalmaztak már korábban polimer bevonatok előállítására, de a módszer jellegéből fakadóan a megfelelő anyagú, minőségű és vastagságú bevonat egyenletes felvitele nehézkes. A termikus szórás egyes hőre lágyuló polimerek esetén jól alkalmazható módszer, de az egyenletes bevonat felvitele nehezen biztosítható. Ezzel szemben az ultrahanggal segített porlasztásos és bemártásos technikák egyenletes és jó minőségű bevonatok készítésére alkalmasak, ezért a kísérleteimben ezeket használom fel. A piezoelektromos mikroszórást a szakirodalom szerint a rezervoárok feltöltésére alkalmazzák.

A szakirodalom alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a polimer alapanyagok felhasználása abból a szempontból is előnyös, hogy a legtöbb technológiával ezek vihetők fel sztentekre, ami lehetőséget ad a bevonatok minőségének javítására az egyes technológiák összevetése által. A szakirodalom között alig található olyan, amely a bevonatolási körülményeket, a minőségre ható tényezőket elemzi. A cikkek elsősorban az orvosi felhasználásról és a klinikai eredményekről, valamint biokompatibilitási vizsgálatokról szólnak. Kevés olyan cikket találtam, amelyek a bevonatfejlesztéseket részletezik.

A sztentek bevonatolása közben alkalmazott megfogás jelentősen befolyásolja a kész bevonat minőségét azáltal, hogy mekkora felületet takar ki. Tehát egy sztentrögzítő készülékkel szemben három fő követelményt támasztottam, a minél kisebb felületen történő minél biztosabb megfogást a sztent deformálódása nélkül. Mivel a megfogás mindegyik módszerénél, mindenféleképpen kitakar egy részt a bevonás során, így azt lehetőleg úgy kell elhe-

lyezni, hogy ne az érfallal érintkező felületeket takarja ki. Ezeknek a szempontoknak a figyelembevételével az ékes befogókészüléket találok a legalkalmasabbnak a szakirodalomban említettek közül.

A bevonatstruktúrák közül egyszerű, teljesen sima felületű bevonatot és porózus bevonatot látok célszerűnek. A sima bevonat passzív bevonat lehet, míg a porózus hatóanyagot is tárolhat.

A kész bevonatok vizsgálatára a szakirodalomban általában konfokális mikroszkópot, elektronmikroszkópot, atomierő-mikroszkópot és optikai mikroszkópokat alkalmaznak. Ezen kívül a hatóanyag-kioldódás mérése elterjedt. A hatóanyagokkal kapcsolatban egymással ellentmondó publikációkat találtam. Egyesek szerint a vérlemezkék teljes tapadásának és növekedésének a gátlása a cél, mások szerint pedig ez késői szövődményekhez vezet. Véleményem szerint a teljes gátlás nem jó megoldás, mert elő kell segíteni az érbelhártya minél gyorsabb egészséges növekedését.

Nem találtam azonban olyan irodalmat, amelyben összefoglalóan, komplex módon leírják, hogy egy bevonatos sztenten milyen paramétereket szükséges megvizsgálni.

A sztentretenció mérésének módszeréről nem találtam szakirodalmat, csak néhány utalást. Néhány, sztentvizsgálatra specializálódott vállalat saját eszközöket fejlesztett ki, de azok még szabadalmakban is csak elvétve jelennek meg, ebből fakadóan még a mérési eredményeket sem publikálták.

Célkitűzések

A szakirodalomkutatás összegzéseképpen tehát egyértelművé vált számomra, hogy a doktori kutatómunkám célkitűzéseit azokra a témakörökre érdemes irányítani, amelyekben tudományosan fontos és hazai szentes szakterület számára is érdekesítő problémák várnak tisztázásra. Ennek megfelelően határoztam meg az elvégzendő kutatási feladatokat az alábbiak szerint:

1. A jelenleg kereskedelmi forgalomban lévő bevonatos koszorúérsztentek vizsgálatára egy teljes körű minősítést lehetővé tevő vizsgálati metodika szakértői rendszerként való kidolgozása.
2. A bevonatolási technológiai paraméterek hatásának megismerése a bevonat morfológiájára és ennek ismeretében eltérő struktúrájú bevonatok előállítására.
3. Különböző bevonatolási technikákkal megfelelő, hatóanyag hordozására is alkalmas bevonatok előállítása. Gyógyszerbevonatos sztentek hatóanyag-eloszlásának és a gyógyszer kioldódásának vizsgálata.
4. A sztentfelület érdességének módosítása és a bevonat tapadásának vizsgálata.
5. A sztentretenció mérésére alkalmas módszer kidolgozása és a módszer tesztelése, majd a sztentretenció értékét befolyásoló főbb paraméterek meghatározása.

Vizsgálati módszerek

Kutatómunkámat három fő részre osztottam. Elsőként azt az általam kifejlesztett komplex metodikát dolgoztam ki, amelyet alkalmazva minimális számú sztent felhasználásával kaphatjuk meg az összes sztentbevonatot jellemző értéket. A második részben azt mutattam be, hogy milyen módszerekkel és kísérletekkel állítottam elő poliuretán bevonatokat, majd az első részben bemutatott módszer alapján elemeztem és értékeltem a saját bevonataimat. A harmadik szakaszban a sztentretenciával foglalkoztam és a bevonatnak erre a sztentjellemzőre gyakorolt hatásával.

Sztentbevonatok teljes körű minősítési rendszere Az 1. ábra szemlélteti az általam kidolgozott bevonatos sztent vizsgálati eljárás felépítését. A szemléltető ábra első, „**ÁLLAPOT**” szakasza azt mutatja, hogy ha passzív bevonatos sztentek esetében a bevonat minden jellemzőjét meg szeretnénk határozni, akkor ehhez három mintára van szükség, míg aktív bevonatosak esetébe négyre (narancssárgával jelölve). A három, illetve négy darab sztent egy teljes vizsgálatsorozat lefolytatásához elegendő, azonban a korrekt és megbízható eredményekhez többszöri mérésre van szükség, amelyhez a vizsgálatsorozatot a kívánt számban meg kell ismételni, tehát ennyiszor három, illetve négy sztentre van szükség. Az egyik minta egy ballonra krimpelt kiinduló állapotú sztent, a második (és negyedik) egy feltágított végállapotú sztent, és a harmadik minta egy vizsgálati berendezésben feltágított sztent.

A különböző állapotban lévő értágítóbetéteket a kidolgozott eljárás szerint, megfelelő sorrendben a második, „**VIZSGÁLATOK**” szakaszban felsorolt vizsgálati módszerekkel kell elemezni. A vizsgálatok sorrendjét a szerint állapítottam meg, hogy ugyanazon a sztenten minél több mérést lehessen elvégezni. Az általam kidolgozott vizsgálati sorrendnél először a roncsolásmentes felületi vizsgálati módszerek kerülnek elvégzésre, majd azokat a roncsolással járó vizsgálatok, kísérletek követik.

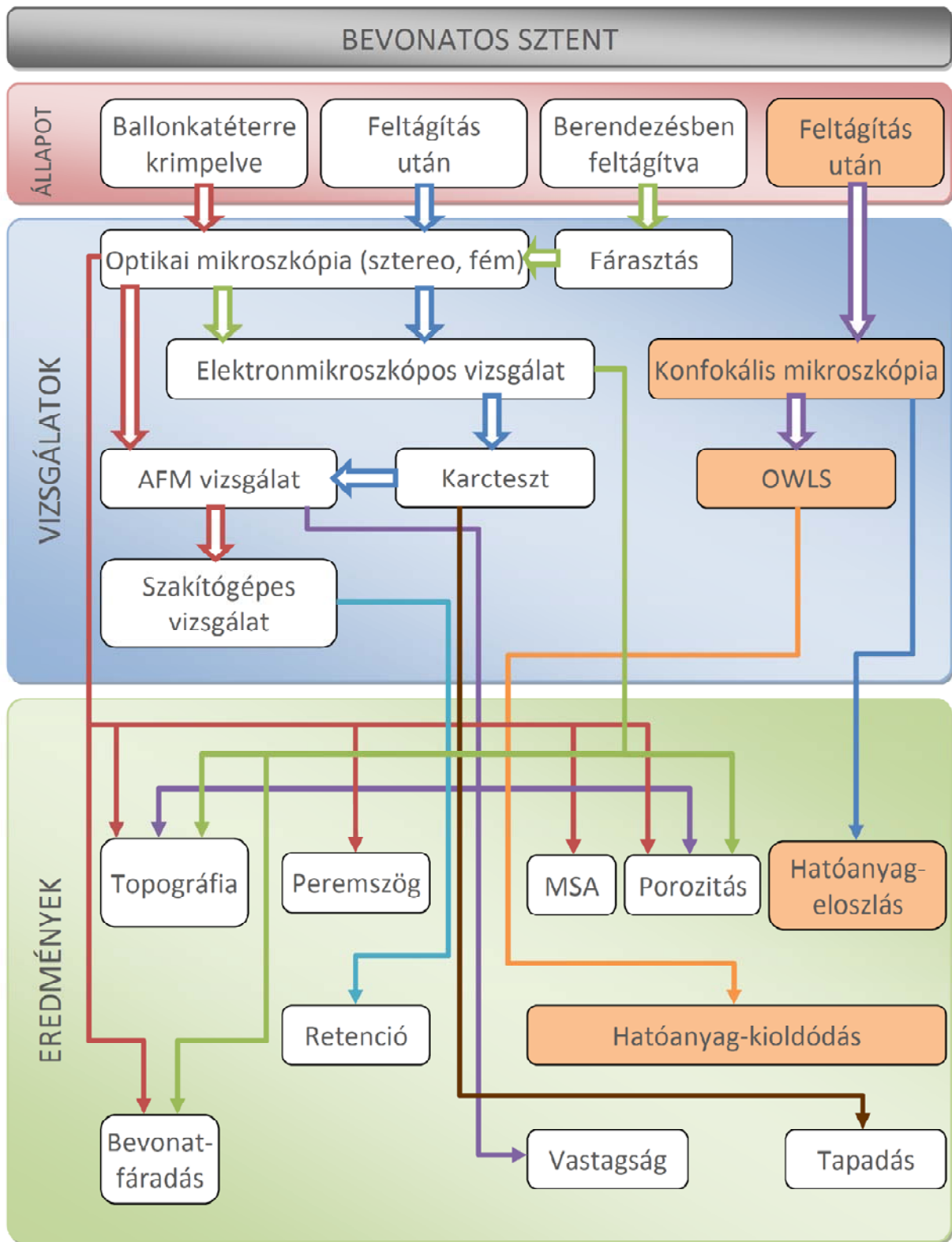
A harmadik, „**EREDMÉNYEK**” szakaszban mutatom be, hogy a különböző vizsgálatokból milyen eredmények meghatározását javaslom.

A ballonra krimpelt sztenten rendre a következő vizsgálatokat kell elvégezni: optikai mikroszkópos (topográfia, peremszög), AFM (topográfia) és végül szakítógépes (retenciós) vizsgálatok.

A feltágított sztenten a következő sorrendben: optikai mikroszkópos (topográfia, MSA, porozitás), elektronmikroszkópos (topográfia, porozitás), karcteszt (tapadás), AFM (vastagság) vizsgálatokat kell végrehajtani. A roncsolásmentes vizsgálatokat célszerű elvégezni ezen a sztenten még a feltágítás előtt.

A berendezésben tágított sztenten a következő vizsgálatokat kell elvégezni rendre: fásztás, optikai mikroszkópos vizsgálat (topográfia, bevonatfáradás), elektronmikroszkópos vizsgálat (topográfia, bevonatfáradás). A roncsolásmentes vizsgálatokat célszerű elvégezni ezen a sztenten még a feltágítás előtt.

Hatóanyagot is tartalmazó sztent esetében szükséges egy negyedik is. Feltágítás után rendre a következő vizsgálatokat célszerű elvégezni: konfokális mikroszkópia (hatóanyageloszlás), OWLS (hatóanyag-kioldódás). A roncsolásmentes vizsgálatokat célszerű elvégezni ezen a sztenten még a feltágítás előtt.



1. ábra: Bevonatos sztentek vizsgálati eljárásának áttekintő ábrája

Poliuretán-sztentbevonatok fejlesztése A kereskedelmi forgalomban kapható sztentek vizsgálata és a vizsgálati metodika kirajzolódásával párhuzamosan elkezdtem a saját bevonatok felviteli módszerének kidolgozását és ennek segítségével a bevonatkészítést is.

A kísérleteim során fontosnak tartottam a bevonatolás tényezőinek pontos vizsgálatát, mert jelentősen befolyásolják az elkészített bevonat morfológiáját, ezért ezeknek a tényezőknek a hatását külön-külön és együttesen is vizsgáltam. A bevonáshoz háromféle poliuretán bevonat alapanyagot alkalmaztam, amelyeket orvosi célokra fejlesztettek ki (Tecothane[®], Carbothane[®] és Chronoflex[®]).

Kísérleteimet először lapkákon és csőszeleteken végeztem el, mert ezeknek a vizsgálata és az eredmények értékelése sokkal egyszerűbb és pontosabb, majd az optimálisnak ítélt paraméterekkel elvégeztem a kísérleteket sztenteken is. Ide tartoznak például a felület bevonatolását megelőző felületkezelések, úgymint a maratás és elektropolírozás, a peremszögmérések a felület nedvesítési paramétereinek megállapításához, valamint a bevonási kísérletek paramétereinek vizsgálata és optimalizálása.

A bevonást két fő módszerrel, bemártással és szórással végeztem el. A bemártás esetében módosítottam:

- a bemártás módját (hagyományosan vagy ultrahangos készülékben),
- a kihúzás sebességét (lassú (2 mm/s) vagy gyors (10 mm/s)),
- a szárítás módját (levegőn vagy légfúvatással),
- az oldatbentartás idejét (1-20 s),
- az oldat hőmérsékletét (szobahőmérséklet vagy 60°C).

Vizsgáltam, hogy ezek a változások hogyan módosítják a bevonat minőségét. Ezek kombinálásával létrehoztam sima, teljesen egyenletes felületet, amely passzív bevonatként alkalmazható, és készítettem porózus felületű bevonatot is, amely hatóanyag hordozására alkalmas.

A szórásos technológiával szintén olyan bevonatot sikerült előállítani, amely hatóanyag befogadására képes.

Az alapfém és a bevonat kapcsolatának optimalizálásához változtattam a minta felületi érdességét. Tapadási, rétegvastagsági, morfológiai, hatóanyag-eloszlási és kioldódási kísérleteket is végeztem a mintákon, és ezek együttes eredményei alapján határoztam meg az optimális paramétereket.

Sztentretenció mérése Kidolgoztam a sztentretenció meghatározását szolgáló két mérési módszert (tapadóbetétes és ütközőperemes). Bevezettem a fajlagos sztentleválási erőt, amely egységnyi sztenthosszra vonatkoztatva mutatja meg a sztent ballonról történő leválasztásához szükséges erőt, amely a retenciós görbék erő maximuma.

Megállapítottam, hogy mind a két általam kidolgozott módszer, úgymint a tapadóbetéttel és az ütközőperemmel történő mérés, alkalmazható és szükséges az eltérő hibaesetek szimulálása végett, koszorúersztentek retenciójának mérésére. A tapadóbetéttel történő mérésnél az eredmények összehasonlíthatóak, míg az ütközőperemnél számolni kell a szakadt ballon miatt megnövekedett erővel is. Tapadóbetét esetében a ballon nem sérül és a sztent is nagyobb sérülés nélkül lejön, míg az ütközőperemnél megfelelő krimpelésnél elszakad a ballon és a sztent is összegyűródik.

Új tudományos eredmények

1. tézis [1,2,3,4,5,6,7]

Kifejlesztettem egy szakértői rendszert a bevonatos koszorúersztentek minősítésére, amely a bevonatspecifikus tulajdonságok teljes körű meghatározását biztosítja. A szakértői rendszer részeként eredeti vizsgálati eljárásokat is kidolgoztam. A minősítési eljárást optimalizáltam, és meghatároztam, hogy a teljes körű minősítéshez passzív bevonatos sztentek esetében három darab, míg aktív bevonatosakból négy darab sztent szükséges és elégséges.

2. tézis [8,9,10]

A felületi érdesség és a Chronoflex®-bevonat tapadási jellemzőinek vizsgálatával megállapítottam, hogy a bevonatos sztenteknél a sztentbevonatok legerősebb tapadásához $R_a=1,5-2,0$ mikrométer érdességet eredményező elektrokémiai kezelést kell alkalmazni. Ez az érték a sztentgyártási technológia anyagválasztási követelményét is figyelembe vevő lehetséges maximum.

3. tézis [8,9,10]

Megállapítottam, hogy bemártással a sima, porozitásmentes bevonat létrehozásához 1 tömegszázalékos PUR-oldat szükséges. Bemártással, porózus PUR-bevonatok létrehozásához 2 tömegszázalékos oldat az optimális. Mindkét bevonatfajtánál a 3 bemártás biztosítja a legjobb bevonattulajdonságokat. Porozitásmentes bevonat előállításához szobahőmérsékletű, buborékmentes oldatra és lassú száradásra van szükség.

4. tézis [8,9,10]

Mindhárom bevonatnál a hatóanyag tárolásra legalkalmasabb, porózus bevonatfelület bemártásos eljárással gyors szárítással érhető el. A Carbothane® bevonat-alapanyagnál a porózus szerkezet gyors szárítás és ultrahangos rázás kombinációjával is elérhető. Megállapítottam, hogy egyszeri bemártással az alkalmazott technológiai ablakban nem alakul ki porózus bevonat.

5. tézis [8,9]

A pórusok eloszlását, mennyiségét és térbeli kiterjedését a porozitási indexszel jellemeztem mint a sztentbevonat hatóanyag-hordozó képességét. Mérésekkel igazoltam, hogy az oldatkoncentráció és a rétegszám növekedése a porozitási indexet növeli, és hogy az a 2-4 tömeg%-os oldatokból stabilan $0,25-0,35 \mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ értéken biztosítható.

6. tézis [4,7,11]

Kidolgoztam két vizsgálati eljárást a sztentretenció meghatározására: a tapadóbetéttel végezett mérés a szűkületekben bekövetkező sztentekadásokat, az ütközőperemes vizsgálat pedig a vezetőkatéteren fellépő ütközéseket, felakadásokat modellezi és számszerűsíti.

A sztentretenciót mint a szállítórendszer funkcionális tulajdonságát a lehúzóvizsgálattal meghatározható „fajlagos sztentleválási erővel” kell jellemezni, amelynek értékét növeli a PUR-bevonat jelenléte és a lehúzási sebesség növekedése; Chronoflex®-bevonatos sztentekre a fajlagos sztentleválási erő $0,45 \text{ N/mm}$ -ről $0,76 \text{ N/mm}$ -re növekedett a húzósebesség vizsgált intervallumán.

Az eredmények hasznosítása

A kifejlesztett, bevonatos koszorúérsztentek minősítésére szolgáló szakértői rendszer hasznos az orvosoknak és a mérnököknek egyaránt, hiszen az általam kidolgozott vizsgálati eljárások eredményei az orvosfelhasználók számára fontos kérdésekre adnak a gyakorlatba beépíthető választ, míg a módszerek által nyerhető további eredményeket a mérnökök tudják hasznosítani a koszorúérsztentek fejlesztéséhez. További előnye, hogy a különböző értágítóbetétek bevonatai összehasonlíthatóvá válnak a vizsgálatok elvégzésével.

A felületi érdesség és a bevonat tapadási összefüggéseit, az alkalmazott bevonatolási technológiák paramétereinek a hatását elsősorban a hazai sztentbevonat-fejlesztéshez dolgoztam ki, de hasznos lehet más bevonatok fejlesztésével foglalkozó kutatóknak is.

A sztentretenció meghatározására kidolgozott eljárásaim a valós körülményeket szimulálják és az általam definiált „fajlagos sztentleválási erő” segítségével ez a paraméter mérhetővé és összehasonlíthatóvá válik, amely szintén segíti az orvosok döntéseit, a mérnököknek pedig további fejlesztési lehetőségeket mutat.

Irodalmi hivatkozások listája

- [1] Nabel E G: Cardiovascular Disease. N Engl J Med. 349. (2003) 60-72.
- [2] Pearson T A, Blair N S, Daniels R S et al: AHA Guidelines for Primary Prevention of Cardiovascular Disease and Stroke: 2002 Update. Circulation. 106. (2002) 388-391.
- [3] Wieneke H, Sawitowski T, Wnendt S H et al: Stent Coating: A New Approach in Interventional Cardiology. Herz. 27 (2002) 518-526.
- [4] Lee Y, Park J H, Moon H T et al: The short-term effects on restenosis and thrombosis of echinomycin-eluting stents topcoated with a hydrophobic heparin-containing polymer. Biomaterials. 28 (2007) 1523-1530.
- [5] Byun Y, Yoon J H: Multi-coated drug eluting stent for antithrombosis and antirestenosis. United States Patent 6702850 (2004)
- [6] Jayaraman S: Process for coating a surface of a metallic stent. United States Patent 5891507 (1999)
- [7] Acharya G, Park K: Mechanisms of controlled drug release from drug-eluting stents. Adv. Drug Deliv. Rev. 58. (2006) 387-401.
- [8] White C J: Drug-Eluting Stents. Taylor & Francis Group (2001) 19-30.
- [9] Epstein S, Hansen H, Coyle S et al: Stent coating holders. European Patent EP1723938 (2006)
- [10] Raval A, Choubey A, Engineer C: Novel Biodegradable Polymeric Matrix Coated Cardiovascular Stent for Controlled Drug Delivery. Trends Biomater. Artif. Organs, 20 (2). (2007) 131-141.
- [11] Lewis F, Horny P, Hale P et al: Study of the adhesion of thin plasma fluorocarbon coatings resisting plastic deformation for stent applications. Journal of Physics D: Applied Physics. 41.(2008)

- [12] Schmidt W, Behrens P, Schmitz K P: New Aspects of in vitro Testing of Arterial Stents based on the new European Standard EN 14299. Institute for Biomedical Engineering, University of Rostock, Germany. Biomed. Techn. 50. (2005) 861-862.

A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] **Bognár E**, Ring Gy, Dobránszky J: Koszorúérsztentek anyagvizsgálata. Anyagvizsgálók Lapja. 14 (2004:4) 127-132.
- [2] **Bognár E**, Ring Gy, Albrecht K, Dobránszky J, Ginsztler J: Haemocompatible Coatings of Coronary Stents. Advances in Science and Technology. 49 (2006) 85-90.
- [3] **Bognár E**, Ring Gy, Dobránszky J: Investigation of coated coronary stents. Materials Science Forum. 537-538 (2007) 307-314.
- [4] **Bognár E**, Ring Gy, Balázs T, Dobránszky J: Investigation of Drug Eluting Stents. Materials Science Forum 589. (2008) 361-366. (ISSN 0255-5476)
- [5] **Bognár E**, Ring Gy, Dobránszky J: Examinations of coated coronary stents' expansion features and stability of the coatings. In: Hozman J, Kneo P (editors): IFMBE Proceedings, Vol. 11. Prague: IFMBE, 2005. ISSN 1727-1983. Proceedings of the 3rd European Medical & Biological Engineering Conference-EMBEC05. (2005) 1913-1917. CD-ROM
- [6] **Bognár E**, Ring Gy, Dobránszky J, Ginsztler J: Examination of the coatings of coronary stents. In: Papp É, Mácsay I, Holubetz L (szerk.) Gépészet 2006 Proceedings of Fifth Conference on Mechanical Engineering, Budapest University of Technology and Economics, National Technical Information Centre and Library, Budapest, 2006, http://152.66.34.17:4001/pdf/bognar_ring_dobranszky_examination.pdf; CD-ROM (ISBN 963 593 456 3)
- [7] **Bognár E**, Ring Gy, Balázs T, Dobránszky J: Drug Distribution And Stent Retention of Drug Eluting Stents. Gépészet 2008, G-2008-N-12 n12.pdf 7 oldal (ISBN 978-963-420-947-8)
- [8] **Bognár E**, Ring Gy, Marton H Zs, Dobránszky J: Development and Examination of Coated Coronary Stents. Anyagok Világa-Materials World. 7 (2007:1) http://www.kfki.hu/anyagokvilaga/tartalom/2007/jun/3_Bognar_Ring_Marton_Dobranszky.pdf
- [9] **Bognár E**, Ring Gy, Marton H Zs, Dobránszky J, Ginsztler J: Polyurethane coating on coronary stents. Key Engineering Materials. 345-346. (2007) 1269-1272.
- [10] **Bognár E**, Ring Gy, Dobránszky J: Koszorúérsztentek bevonatainak tulajdonságai. Elektronikai technológia, Mikrotechnika. (megjelenés alatt)
- [11] **Bognár E**, Ring Gy, Balázs T, Dobránszky J: Szentek retenciójának mérése. VII. Országos Anyagtudományi Konferencia, elfogadva

További tudományos közlemények

- [12] Ring Gy, **Bognár E**, Dobránszky J, Ginsztler J, Major L: Mechanical Behaviours of Coronary Stents. *Advances in Science and Technology*. 49 (2006) 91-96.
- [13] Bálint-Pataki Zs, **Bognár E**, Ring Gy, Szabó B, Ginsztler J: Koszorúérsztentek vizsgálata. *GÉP* 2006/11 LVII évf., pp. 3-7.
- [14] Ring Gy, **Bognár E**, Dobránszky J: Coronary Stents' Materials and Examinations of Surface and Expansion Features. *Materials Science Forum*. 537-538 (2007) 449-455.
- [15] Ring Gy, **Bognár E**, Bálint-Pataki Zs, Dobránszky J: Different properties of coronary stents. *Anyagok Világa-Materials World*, 7 (2007:2) <http://www.kfki.hu/~anyag/Ring.pdf>
- [16] Ring Gy, **Bognár E**, Dobránszky J: Fatigue testing of coronary stents. In: Hozman J, Kneo P (editors): *IFMBE Proceedings*, Vol. 11. Prague: IFMBE, 2005. ISSN 1727-1983. Proceedings of the 3rd European Medical & Biological Engineering Conference – EMBEC05. (2005) 1918-1923. CD-ROM
- [17] Ring Gy, **Bognár E**, Major L, Meszlényi Gy: Testing methods of coronary stents. In: Papp É, Mácsay I, Holubetz L (szerk.) *Gépészet 2006 Proceedings of Fifth Conference on Mechanical Engineering*, Budapest University of Technology and Economics, National Technical Information Centre and Library, Budapest, 2006, http://152.66.34.17:4001/pdf/ring_bognar_major_testingmethods.pdf; CD-ROM (ISBN 963 593 456 3)
- [18] Balázs T, **Bognár E**, Dobránszky J: Mechanical Properties of Coronary Veins. *Gépészet* 2008, G-2008-N-7 n7.pdf 5 oldal (ISBN 978-963-420-947-8)
- [19] Ring Gy, **Bognár E**, Dobránszky J: Testing Method of Stent's Radial Force. *Gépészet* 2008, G-2008-N-4 n4.pdf 5 oldal (ISBN 978-963-420-947-8)
- [20] Domján D, Molnár L M, **Bognár E**: Koszorúérsztentek polimer bevonatainak fejlesztése. VII. Országos Anyagtudományi Konferencia, elfogadva
- [21] Ring Gy, **Bognár E**, Balázs T, Dobránszky J: Bevonat nélküli, többrétegű sztent komplex vizsgálata. VII. Országos Anyagtudományi Konferencia, elfogadva
- [22] Robák B, Szabadits P, **Bognár E**, Puskás Zs, Dobránszky J: Koszorúérsztentek polimer bevonatainak optimalizálása gyógyszerfelvételi- és leadási szempontból. VII. Országos Anyagtudományi Konferencia, elfogadva