

Új anyagok műanyag implantátumokhoz

Az emberi szervezetben fém vagy műanyag implantátumokkal sokszor életmentő műtéteket hajtanak végre. A műanyag implantátumokhoz alkalmas anyagokkal szemben az elvárások és a követelmények sokrétűek. Csak a vezető alapanyaggyártók képesek a nagy költségigényű fejlesztéseket a sikeres alkalmazásig végigvinni.

Tárgyszavak: műszaki műanyagok; poli(éter-ke-ton); polipropilén; implantátum; orvosi alkalmazás; biokompatibilitás; hidrogélek; fémhelyettesítés.

Új műanyagok implantátumok készítésére

Az emberi szervezetbe beépített eszközök (ún. implantátumok, pl. szívritmus-szabályozók, csontokat rögzítő csavarok és csapok vagy az artériákat kitámasztó stentek) esetében a műanyagok egyre gyakrabban a legjobb választást jelentik – de ezek hosszú évek óta többnyire ugyanazok az anyagok. Ha nagyon hosszú életű anyagokra van szükség, akkor szilikonokat, polietilént vagy poli(éter-éter-ke-ton)-t (PEEK) választanak. Ha lebomló implantátumokat akarnak, akkor polilaktidot, poliglükolátot használnak, amelyek végső soron természetes anyagokra (teljsavra, glikolsavra) épülnek. Ezek között az anyagok között vannak újabbak és régebben használtak is, de a választék mindenképpen viszonylag szűk. Felmerül a kérdés, hogy miért nem akarnak vagy mernek az implantátumgyártók (élve a modern tudomány lehetőségeivel) újabb anyagokat bevonni ebbe a körbe?

A miéltre az egyik válasz a szilikon mellimplantátumokkal kapcsolatban az 1990-es években felmerült problémák sora. Számos per indult a gyártók ellen, amelyben különféle elváltozásokért (mellrák, autoimmun betegségek) a szilikon implantátumokból szivárgó szilikonvegyületeket tették felelőssé. Noha az elvégzett vizsgálatok nem bizonyították a vádakat, a pereskedés 1995-be csődbe vitte a **Dow Corning** céget, amely csak kilenc évvel később talált magára. Az a tény, hogy ez megtörténhetett a szilikonnal, amely implantátumként még ma is széles körben használatos, sok vegyipari céget meggyőzött arról, hogy egyszerűen túlságosan kockázatos az orvosi implantátum területre műanyagokat fejleszteni. Ez azzal párosul, hogy *ezen a területen viszonylag kis mennyiségű műanyagot használnak fel*, ami tovább csökkenti a jövedelmezőséget – bár ezt valamelyest ellensúlyozza az ilyen termékek átlagosnál jóval magasabb egységára. Mindenesetre sok vegyipari cég úgy látja, hogy a hátrányok súlyosabbak, mint az előnyök, ezért nem fejlesztenek és nem szállítanak polimereket az

implantátumokhoz. Az orvosi eszközgyártók nagy része is úgy gondolkodik – talán a perekől való félelmében – hogy jobb megmaradni a régi, bevált megoldásoknál, mint újakkal próbálkozni. Az ilyen cégek akkor érzik magukat biztonságban, ha biztosan tudhatják, hogy az általuk felhasznált anyag nem okoz később problémákat. Eddig a szilikonokról, a polietilénről, a PEEK-ről, a polilaktidról és a poliglitolról bizonyosodott be, hogy biokompatibilisek, vagyis a szervezet „nem vesz tudomást” a jelenlétükről.

Testtel kölcsönhatásban lévő implantátumok

A fenti, szűk körből kiindulva azonban keveréssel, módosítással és adalékokkal sikerült kifejleszteni egy sor hasznos és érdekes anyagot. Az inert anyagok előnye, hogy nem váltanak ki immunreakciókat a szervezetből. *Egyre inkább szükség van azonban olyan implantátumokra, amelyek tervezett módon lépnek kölcsönhatásba a szervezettel.* Attól ugyanis, hogy nem alakul ki immunválasz a beépített anyagokkal szemben, azoknak még lehetnek negatív hatásai. Szolgálhatnak például baktériumfertőzések színhelyéül, ha a baktériumok feldúsulnak felületükön és nehezen lebontható biofilmet képeznek. Ez különösen akkor jelent veszélyt, ha az implantátum valamilyen módon (pl. egy katéter révén) összeköttetésben van a külvilággal. Az is előfordul, hogy az implantátum végül növeli azt a problémát, amiért elhelyezték: a koronerekben elhelyezett stentre lerakódó biológiai anyag ismét éreltömődést okozhat.

Az ilyen problémák elkerülésére az amerikai **PolyMedex** cég módszereket dolgozott ki, amelyek segítségével *a hagyományos implantátum célú műanyagokba antibiotikumokat, véralvadásgátlókat vagy gyulladásgátlókat lehet bevinni.* A fokozatosan felszabaduló hatóanyag megakadályozhatja a baktériumok szaporodását vagy a véralvadást.

Hasonló módszerekkel egyéb hasznos anyagok is bevihetők az implantátumokba. A felszívódó polimereket gyakran használják ideiglenes támaszként és az új szövet növekedését serkentő eszközként. Az elképzelés az, hogy a lebomló polimer helyét fokozatosan az újranövő szövet tölti ki. A polilaktid és a poliglitolát keverésével és kémiai módosításával egy sor különböző sebességgel felszívódó polimer állítható elő. Az időtartam néhány héttől vagy hónaptól néhány évig terjedhet. Az ilyen polimerek nagyon hasznosnak bizonyultak pl. csontok rögzítésénél használt csavarok vagy csapok előállításakor, amelyek rögzítik a csontokat, és ahogy lassan felszívódnak, helyüket a lassan növekvő csontszövet veszi át.

Csontnövekedést stimuláló implantátumok

Ha olyan szert tesznek az implantátumba, amely stimulálja a csontnövekedést, a fent említett folyamat meg is gyorsítható. A PolyMedex cég e célból különböző kalcium-foszfátokat, többek között – a természetes csontok fontos alkotórészét – hidroxipapatitot tett a polilaktid/poliglitolát keverékekbe. Mindez azonban még mindig a hagyományos polimerek világa.

A friss kutatási eredményeket összegző tudományos cikkek alapján már látszik, hogy a fejlesztések előtt új távlatok nyílnak. A tudományos műhelyekben már javában folyik a *szövetnövekedést támogató vázanyagok* következő generációjának fejlesztése. Ezek a hagyományos felszívódó polimerek helyett egyre inkább a *hidrogélekre alapulnak*, amelyek nagy mennyiségű (akár 99%) vizet képesek felvenni, tehát leginkább vizet tartalmazó laza térhálóknak tekinthetők. E törekvésnek az az oka, hogy a hagyományos polilaktid/poliglikolát alapú polimerek jól használhatók olyan merev szövetek esetében, mint a csontszövet, de nem alkalmasak olyan lágy környezetben, mint pl. a tüdő. A hidrogélek ideális támaszul szolgálhatnak a lágy szövetek számára: hasonló a víztartalmuk és a tápanyagok valamint az anyagcseretermékek diffúzió útján képesek mozogni bennük. Hidrogélek készülhetnek szintetikus polimerekből (pl. polietilén-glikol-diakrilátból – PEGDA) vagy természetes polimerekből (poliszaharidokból, polipeptidekből) – de mindkettő lebontható a szervezetben található enzimek segítségével. Nagy víztartalmuk miatt injektálhatók a szervezetbe és aztán fény hatásának kitéve polimerizációt lehet előidézni bennük. Ezért könnyebben be is juttathatók a szervezetbe, mint a legtöbb orvosi polimer, amelyek bejuttatásához többnyire műtetre van szükség. A hidrogélekbe is számos vegyületet, pl. ún. növekedési faktorokat lehet elhelyezni. Nagy víztartalmuk azt is lehetővé teszi, hogy élő sejteket helyezzenek el a gélekbe, amelyek akár abból a páciensből is származhatnak, akibe az implantátumot el akarják helyezni. Ezek jelentősen felgyorsíthatják a további sejtnövekedést. *Hidrogélekben sikerült már csontsejteket, de idegsejteket is növeszteni.* Sok esetben azonban a növekedési faktorok és a sejtek nem elegendők, hanem vérrellátásra is szükség van, hogy a növekvő sejtek oxigénhez és tápanyagokhoz jussanak. A **Georgia Institute of Technology**-n a PEDDA hidrogélt például érhámsejt (endotél) növekedési faktorokkal látták el, amely stimulálja a véredények növekedését. Ha úgy tervezték meg a hidrogélt, hogy ezeket a növekedési faktorokat csak akkor adják le, amikor kolonizáló sejtek lebontják a térhálót, sikerült vérereket növeszteni a gélbe laboratóriumi patkányok szervezetében. Ezt csak lebomló hidrogélekkel lehet megvalósítani.

A 21. század polimerjei

A hidrogélekkel szemben, amelyeket viszonylag könnyű bejuttatni a szervezetbe, a merevebb polimerek bejuttatása több problémával jár, különösen, ha mélyen kell őket bevinni a test belsejébe. Az invazív (műtéti) beavatkozás helyett alternatívaként megvizsgálták a *alakmemóriával rendelkező polimerek alkalmazásának lehetőségét*, amelyek az ún. átmeneti hőmérséklet fölé hajolva felveszik eredeti alakjukat. A műanyagot a feldolgozás során először az átalakulási hőmérséklet fölé melegítik, és valamilyen alakúra formázzák. Ezután ismét felmelegítik, valamilyen más formát adnak neki, majd a befagyott deformációval együtt lehűtik. Ha ismét az átalakulási hőmérséklet fölé hevítik, a polimer spontán módon visszanyeri eredeti formáját. A „memorizált” alak az implantátum végső alakja, amit a szervezetben kell felvennie, a „befagyasztott” alak pedig olyan, hogy könnyen bejuttatható legyen a szervezetbe (például

hosszú csőforma, amely egy katéteren át bevezethető). Amikor a helyére került, a katéteren keresztül hőt lehet alkalmazni, és az implantátum felveszi kívánt alakját.

Noha számos alakmemóriával rendelkező polimert fejlesztettek ki, az emberi testben alkalmazható hőmérsékleten alakot váltó polimerek kidolgozása nem magától értetődő feladat. A Massachusetts-i Egyetem Orvosi Iskolájában (**University of Massachusetts Medical School**) jelentették be egy 45 °C-on alakot váltó polimer kifejlesztését, amelyet az emberi szervezet még könnyedén kibír. Nem szokványos polimerről van szó: poliéderez szilszeszkvioxán (POSS) nanorészecskéket tartalmaz, amelyet hosszú polilaktidláncok kötnek össze.

A nanorészecskék gyógyításban történő felhasználását más csoportok is kutatják. A Purdue Egyetem (**Purdue University**) kutatói pl. felfedezték, hogy polietilén-glikolból és polilaktidból felépülő nanorészecskék felhasználhatók gerincsérülések esetén az idegsejtek gyógyítására. A villamosan vezető polimerek orvosi alkalmazására is lesz lehetőség: úgy tűnik, hogy a polipirrol- vagy politiofénalapú vezető polimerekkel villamos jelek segítségével stimulálni lehet idegsejteket és befolyásolni lehet a sejtaktivitást. Ez elvezethet olyan „*intelligens*” *implantátumok* kidolgozásához, amelyek alkalmasak a testben végbemenő folyamatok monitorozására és szabályozására. Erre példa az olyan implantátum, amely életmentő gyógyszert fecskendez be, ha szívrohamot észlel.

Tekintettel arra, hogy az időskorúak száma folyamatosan nőni fog, az implantátumok száma is nőni fog, ezért sok vegyipari cég újult érdeklődéssel fordul a legkorszerűbb polimerek orvosi alkalmazásai felé. Olyan cégek, mint a **Solvay** vagy a **DSM** elkezdett implantátum céljára szolgáló polimereket kínálni a piacon – köztük olyanokat is, amelyeket eddig nem használtak ilyen célra (ld. az önerősítő polifenilént, amelynek fajlagos merevsége az egyik legnagyobb a polimerek között). Az új alkalmazások között van egy speciális alakmemóriával rendelkező polimer is, amelyet *aneurizmák gyógyítására* használnak. Az aneurizma olyan gömbszerű értágulat, amely ha kifakad, gyors vérvesztést és akár halált is okozhat. Ha ezt a tágulatot belülről egy rugalmas polimerfallal bélelik, jelentősen csökken a baleset veszélye.

Fémhelyettesítés műanyagokkal

A nagy teljesítményű műanyagokból fröccsöntéssel vagy extrúzióval készült orvosi eszközök egyszerre rugalmasak, sterilizálhatóak, tetszőlegesen alakíthatóak és színezhetőek. Nem lépnek kölcsönhatásba az adagolt gyógyszerekkel, és forró gőzzel, levegővel vagy sugárzással is jól sterilizálhatóak. Ezek a jellemzők valósággal predestinálják a műanyagokat az orvostechikai alkalmazásokra. Az **Ensinger** cég számos, nagy követelménynek eleget tevő hőre lágyuló műanyag alapanyagot és félkészterméket kínál ilyen célra. Az *Ensinger MT* sorozatba tartozó műanyag csövek megfelelnek az **FDA** (az amerikai Élelmiszer és Gyógyszerbiztonsági Hivatal) követelményeinek, biokompatibilisek és összeférnek testszövetekkel. A cég gyárt röntgensugárzást bizonyos mértékben elnyelő, ezért a röntgenkészülékekben jól követhető poli(fenil-szulfon) (PPSU, *Tecason P*) és poli(fenil-éter) (PPE, *Tecanyl*) anyagokat,

valamint *Tecapeek* márkanéven a *Victrex* PEEK alapanyagából készült termékeket és *Tecapro* (PP) típusokat célberendezések és sterilizációs tartályok gyártására.

Sok esetben nem helyettesítésről, hanem „békés egymás mellett élésről” van szó a műanyagok és az ezen a területen szívesen alkalmazott nemesfémek között. A fémhelyettesítés mellett más szempontok is a műanyagok mellett szólnak: a tömegcsökkentés, a tervezési szabadság és a funkciós integrálhatóság. Tipikus alkalmazási területek a sebészeti eszközök, ortopédiai segédeszközök (irányzékok és rögzítőberendezések).

A polipropilénből (*Tecapro MT*) készült sterilizációs tartály ellenáll a tisztító- és sterilizálószereknek, a hidrolízis és a forró gőz hatásának. A jó hőstabilitás javítja a sterilizálhatóságot és csökkenti a vetemedésre való hajlamot. További előnye a kis nedvességfelvétel és a jó csúszási jellemzők.

A PEEK lehetővé teszi a titán kiváltását

Egy felmérés szerint az USA-ban a hátfájás (gerinchez és csigolyákhoz köthető panaszok) az egyik leggyakoribb panasz, egyedül 2005-ben közel 20 millióan fordultak ezzel orvoshoz. Sok esetben csak a műtéti beavatkozás segít, az USA-ban évente kb. 800 000 gerincműtétet végeznek, ezek egy részében csigolyákat távolítanak el vagy helyettesítenek részben vagy teljesen implantátumokkal. Ezen a területen a PEEK [poli(éter-éter-keton)] egyre gyakrabban használt nyersanyag. Ez a polimer biokompatibilis, ellenáll a testnedveknek, és viszonylag egyszerűen készíthetők belőle egyedi implantátumok. A titánnal szemben nem nyeli el a röntgensugárzást, és rugalmassági modulusa összemérhető a csontokéval. Rendkívül jó tulajdonságai miatt implantátumként a titánt kiváltó anyagok között az első helyre emelkedett. Mivel az implantátumoknak egy életen át ki kell tartaniuk, biológiailag és mechanikailag is hosszú távon stabil anyagokat kell használni. Hosszú ideig ezeknek a követelményeknek csak bizonyos fémek (Ti, és Co-Cr ötvözetek) feleltek meg. Egy idő óta a félkész termékekből forgácsolással vagy a fröccsöntéssel előállított PEEK implantátumok is rendelkezésre állnak.

Az **Evonik** cég PEEK polimerjeinek (*Vestakeep*) alkalmazása viszonylag rövid időre tekint vissza, de máris fontos eredményeket értek el velük sebészeti eszközökben, endoszkópokban, in vitro diagnosztikai eszközökben, ortopédiai és analitikai eszközökben, valamint gyógyszeradagoló berendezésekben. 1999 óta a PEEK fontos szerepet tölt be titán implantátumok kiváltásában. Itt a titánnal szemben előnyt jelent, hogy a PEEK modulusa összemérhető a csontéval, amivel elkerülhető a „feszültség-árnyékolásnak” nevezett jelenség. Ez azt jelenti, hogy a nagy modulusú fém a kellenél jobban átveszi a csonttól a terhelést, és az nem tud megerősödni. A csontoknak pedig a növekedéshez, a gyógyuláshoz és a tartós szilárdság fenntartásához megfelelő terhelésre van szükségük. Nem megfelelő terhelés esetén a gyógyulás lassabb, sőt a csont egyes részei akár le is épülhetnek.

Mivel a röntgenfelvételek fontos segítséget jelentek az orvos számára mind a műtét során, mind a gyógyulási folyamat követésében, nagy előnyt jelent, hogy a PEEK

nem nyeli el a röntgensugarakat. A fémek mind a röntgen-CT, mind a mágneses rezonanciás (MRI) leképezési módszereket zavarják (a fém által kitakart csontrészek nem láthatók).

A PEEK-et, amely viszonylag fiatal műszaki műanyag, az 1980-as években elsősorban nagy igénybevételt jelentő környezeti körülmények között (magas hőmérsékleten, só vagy oldószertartalmú, korrozív közegek jelenlétében, maró anyagok, pl. savak jelenlétében, koptató környezetben) használták. A rendkívüli ellenálló képességet az aromás főlánc és a részben kristályos morfológia okozza. A kis vízfelvétel és a nagy modulus biztosítja az alaktartóságot, hőállósága is rendkívüli (tartós felhasználási hőmérséklete eléri a 260 °C-ot) és többféle módszerrel feldolgozható. A klasszikus, nem orvosi alkalmazások között említhető a félvezetőgyártás, az olajbányászat, a gépjármű- és repülőgépgyártás, ahol alumíniumot, titánt vagy acélt is helyettesíthet. A rendkívüli korrózió- és vegyszerállóság magyarázza, hogy a PEEK olyan kombinált mosási-szárítási-vegyszeres tisztítási-gőzsterilizálási ciklusokat is gond nélkül elvisel, amelyek több más műszaki műanyagban is kárt tennének. Legyen szó gőzről, etilén-oxidról vagy gammasugárzásról, a PEEK jól bírja a sterilizálást – ami nagyon fontos a sebészeti eszközök és más, többször használatos berendezéseknél. A színezhetőség kedvez a színek kódok használatának.

A biokompatibilitás szempontjából a késztermék a döntő

Az implantátumok esetében a legfontosabb a biokompatibilitás: az anyag nem lehet citotoxikus, mutagén, karcinogén, nem lehet allergén és nem változhat meg testszövetek és testnedvek jelenlétében. A biokompatibilitást mindig a készterméken vizsgálják, mert a feldolgozási és egyéb segédanyagok megváltoztathatják az alapanyagok jellemzőit. A biokompatibilitási követelmények attól is függenek, hogy milyen környezetben kerül sor az érintkezésre (bőr, vér, zsírszövet stb.), és attól is, hogy milyen hosszú az érintkezés. Éppen ezért a vizsgálat módja is függ a kívánt alkalmazástól. A *DIN EN ISO 10993* számos nemzetközi szabványt tartalmaz a biokompatibilitásra vonatkozóan és szabályozza, hogy milyen körülmények esetén milyen vizsgálatokat kell elvégezni. Van értelme bizonyos vizsgálatokat az alapanyagon is elvégezni, hiszen vannak olyan alapanyagok, amelyekből eleve nem készíthető olyan végtermék, amelyen a végső vizsgálatokat el lehetne végezni. Az alapanyag alkalmassága szükséges, de nem elégséges feltétel. Az említett ISO szabvány mellett az *USA gyógyszerkönyve (USP)* „<88> általános fejezete” is leírja az orvosi célra alkalmazható műanyagok esetében elvégzendő vizsgálatokat, és tartalmaz egy I–VI skálán történő beosztást, ahol a VI osztályba sorolt anyagoknak kell a legszigorúbb követelményeknek megfelelniük.

A Vestakeep anyagcsalád biokompatibilitási vizsgálatának eredményei

Az Evonik *Vestakeep* (PEEK) anyagcsaládjának biokompatibilitását számos módszerrel ellenőriztette független vizsgáló laboratóriumokban. A testszövettel való érint-

kezés típusa és tartóssága szerint kétféle PEEK típust ajánlanak. A *Vestakeep M* rövid idejű kontaktusra alkalmas (pl. sebészeti berendezésekben), a *Vestakeep I* pedig hosszú idejű kontaktusra (implantátum) (1. táblázat). E polimerek összetétele nagyfokú biokompatibilitást tesz lehetővé, és ezt gyártási tételenként in vitro citotoxicitási vizsgálatokkal egészítik ki a *DIN EN 10993-5* szerint. A vizsgálatok szerint (2. táblázat) a *Vestakeep* polimerek széles körben kielégítik a követelményeket. A vizsgálatok során nem lépett fel bőrpír, nem alakultak ki ödémák, az implantáció során nem lépett fel betokosodás, elszíneződés, vérzés vagy szövetelhalás.

1. táblázat

A *Vestakeep* anyagcsalád biokompatibilitási vizsgálatai
az ISO 10993 szabvány szerint

Vizsgálat fajtája	Vestakeep M	Vestakeep I
USP VI. osztály	x	x
Akut szisztémás toxicitás	x	x
Szubkután irritáció	x	x
7 napos implantációs vizsgálat	x	x
Hemokompatibilitás		x
28 napos szubkután implantáció		x
Genotoxicitás		x
Szubkrónikus szisztémás toxicitás		x

x: megfelelő.

A dokumentáció fontossága

Egyik alkalmazási területen sem olyan fontos a biztonság, a biokompatibilitás és az alapanyag minősége, mint az orvostechikában. Éppen ezért nagyon fontos a dokumentáció és a követhetőség. A nyers- és az alapanyagokra vonatkozó adatokat és az egyes gyártási tételek felszabadítását gondosan, pontosan és hosszú időre dokumentálni kell. Számos nemzeti és nemzetközi előírás szabja meg a nyersanyagoktól és a termékektől elvárt jellemzőket. Ilyenek pl. az FDA biokompatibilitásra vonatkozó előírásai és az *EC 20232006 (helyes gyártási gyakorlat, GMP)*. Ha az alapanyaggyártó jól végzi a maga dokumentációs kötelezettségét, ezzel megkönnyíti a feldolgozó és az eszközgyártó dolgát. A megrendelőnek megfelelő betekintést kell nyernie a gyártási folyamatba, hogy kialakuljon a gyümölcsöző bizalmi viszony az alapanyag-szállítóval. Az FDA *Master File (mesterfájl)* megszerzése fontos lépés a biokompatibilis alkalmazásokban. Az Evonik *Vestakeep-I* típusa, amely fokozottan biokompatibilis, ezért 30 napon túl is a testben maradhat.

A *Vestakeep I* alkalmazása az orvosi alkalmazás követelményeinek teljesítése alapján

USA gyógyszerkönyv szerinti vizsgálat <88> „Biológiai reaktivitás vizsgálata in vivo”, VI. osztály
Akut szisztémás toxicitási vizsgálat: 4 különböző extrakciós közeg (70 °C/24 h) Irritációs vizsgálat – intrakután injekciós vizsgálat: 4 különböző extrakciós közeg (70 °C/24 h) Implantációs vizsgálat: in vivo implantációs vizsgálat, intramuszkuláris, 7 napos
További vizsgálatok az ISO 1993 szerinti megfelelés altámasztására (toxicitás, szenzibilizálás, irritáció, szubkrónikus toxicitás, genotoxicitás és implantációhoz):
citotoxicitás az <i>ISO 10993-5</i> szerint hemokompatibilitás az <i>ISO 10993-4</i> szerint intrakután reaktivitás az <i>ISO 10993-10</i> szerint szenzibilizálás az <i>ISO 10993-10</i> szerint akut szisztémás toxicitás az <i>ISO 10993-11</i> szerint
szubkrónikus toxicitás az <i>ISO 10993-11</i> szerint
genotoxicitás (Ames-vizsgálat) az <i>EN ISO 10993-3</i> és <i>OECD</i> szerint genotoxicitás (kromoszóma aberrációs vizsgálat) az <i>EN ISO 10993-3</i> szerint genotoxicitás (egér limfóma vizsgálat) az <i>ISO 10993-3</i> és az <i>OECD 476</i> szerint
intramuszkuláris in vivo implantáció 12 hetes, az <i>ISO 10993-6</i> szerint

Az orvostechnikai területen jelentős, átlagosan évente 9%-os növekedés várható Nyugat-Európában. Ennek jelentős részéért az intelligens gyógyszeradagoló berendezések felelősek. E termékek jó részét európai cégek is elő fogják állítani a jobb ellenőrizhetőség és a bizalmi kapcsolat szükségessége miatt.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György
www.polygon-consulting.ini.hu

Evans, J.: Medical implants: Time for the new materials? = *Plastics Engineering*, 66. k. 10. sz. 2010. p. 33–36.

Klingauf, P.: Multitasking = *Plastverarbeiter*, 61. k. 2. sz. 2010. p. 40–41.

Knebel, M.: Titan in Bedrängnis = *Kunststoffe*, 100. k. 2. sz. 2010. p. 68–71.