



A projekt a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával valósult meg.

NEMZETI TECHNOLOGIAI PLATFORM A TEXTIL- ÉS RUHAIPAR MEGÚJÍTÁSÁÉRT

Orvosbiológiai textilanyagok

Szakértői tanulmány a Stratégiai Kutatási Tervhez

Készült a Texplat 2. munkacsoport munkájának keretében

Szerző: Lázár Károly

2009. október

A gyógyászatban már régóta és széles körben használnak textíliákat, erre utaló leletek az ókorból is fennmaradtak. Habár feltételezhető, hogy kézi szövésű lenvásznakat, pókhálókat már sokkal régebben is használtak a vérző sebek ellátására, az első írásos feljegyzés arról, hogy a gyógyításban textíliát használtak, egy i. e. 17. századból származó egyiptomi papiruszon olvasható¹. Egy másik, mintegy 2500 évvel ezelőtt keletkezett indiai leírás² különböző sebvarró anyagokat ismertet, amelyek között egyebek között pamutfonalat és növényi rostokat is említ.

Az egészség és a higiénia az emberiség legalapvetőbb igényei közé tartozik, amelynek kielégítése óriási piacot jelent egyebek között a textilanyagok számára is. Márpedig ez a piac egyre növekszik, hiszen a Föld népessége állandóan nő, ugyanakkor az emberek igényei is mind magasabb színvonalú termékeket kívánnak, és az orvostudomány fejlődése is mind újabb és újabb területeken teszi lehetővé – sőt, igényli – a korszerű anyagok, köztük a legkülönfélébb textilanyagok alkalmazását.

Az egészségügyi piac legnagyobb részét – az egészségügyi intézményekben használatos öltözékek és ágyneműk és a hagyományos kötszerek mellett – az egyszer használatos, eldobható textilanyagok töltik ki, amelyek főleg az ún. nemszőtt kelmékből készülnek (gondoljunk csak a korszerű pelenkákra, maszkokra, törülközőkre stb.), de nem elhanyagolható és egyre bővülő területet jelentenek a sebvarró fonalak, valamint az orvosi műszerekben használt textíliák (csövek, hálók, szűrők stb.) is, továbbá azok a textilanyagból készült termékek, amelyeket a testbe beépítve, valamely szerv vagy testszövet pótlására alkalmaznak – az ún. implantátumok. Az utóbbi évtizedekben vagyunk tanúi annak, hogy egyre szélesebb körben terjednek el az ilyen célt szolgáló termékek és az ezeket alkalmazó gyártási és sebészeti technológiák. Az ún. orvosbiológiai textíliákból készült implantátumokkal sérült testszövetek vagy szervek működését segítik vagy ilyeneket helyettesítenek. Ezek az anyagok hatékonyan elősegítik a sebek gyógyulását (varratok formájában) vagy mint pl. mesterséges véredények, inak stb. használhatók.

Bár a sérült testrész vagy szerv helyettesítésének természetes módja a transzplantáció volna, ez igen sok esetben a gyakorlatban nem megvalósítható. Ennek oka részben az, hogy szerves (élőlényből származó) implantátumok – ha vannak egyáltalán – nem mindig állnak rendelkezésre a kellő időben, másrészt ez a módszer nagyon drága. Fennáll az esetleges összeférhetetlenség és a kilökődés veszélye is. Ezért folyamodnak az orvosok a mesterséges anyagok használatához, az ún. orvosbiológiai anyagokhoz, termékekhez, protézisekhez.

1. Általános követelmények

Az orvosbiológiai textilanyagoknak alkalmasaknak kell lenniük arra a célra, amire készülnek. Egy kívül alkalmazott kötszer csak ideiglenesen van jelen a testen és főleg csak védelmi szerepe van. A testen belül alkalmazott sebvarró cérnának, vi-

¹ A szakirodalomban [2] „Surgical Papyrus” (sebészeti papirusz) néven ismert leírás a legrégebb írásos emlék, amely különböző sérülések és törések gyógykezelését írja le konkrét esetek ismertetésével és egyebek között a sebek összevarrására és lenből készült kötszerek alkalmazására is kitér. A papiruszt Edwin Smith amerikai egyiptológus találta meg Luxorban 1862-ben, de csak 1930-ban sikerült James H. Breastednek lefordítania a hieroglifákkal írt dokumentumot.

² Az indiai „Susanta Sambita” elnevezésű mű a lószőr, a bőrcsíkok és az állati inak mellett a pamutot és a kéregrostokat is említi [3].

szont biológiailag lebomló anyagból kell készülnie, egy szöveterősítő hálónak, inpro-tézisnek vagy műérnek ezzel szemben tartósnak és az azt körülvevő más szövetekkel összeférhetőnek (biokompatibilisnek) kell lennie.

Általános követelmény, hogy a gyógyászatban használt anyagoknak nem szabad mérgezőknek, allergiát kiváltóknak, rákkeltőknek lenniük, és hogy kémiai vagy mechanikai károsodásuk nélkül sterilizálhatók legyenek. Számos alkalmazási területen fontos a jó nedvszívó képesség és egyes esetekben követelmény, hogy a kilökődés elkerülése végett az emberi szervezettel kompatibilisek legyenek (biokompatibilitás).

Az emberi szervezetbe beültetett mesterséges implantátumokkal szemben a következő követelményeket támasztják [1]:

- legyenek porózusak, hogy könnyen beépülhessenek a környező szövetekbe;
- rövid, kör keresztmetszetű szálakból készüljenek, mert ezek könnyebben beágyazódnak a szervezet természetes szöveteibe, mint a hosszú, szabálytalan keresztmetszetű szálak;
- ne legyenek mérgező hatásúak és sem a szálakat alkotó polimer, sem a szálak, sem pedig szálképzésnél és az implantátum előállításánál alkalmazott eljárás ne tartalmazzon szennyező anyagokat;
- az alkalmazási helytől függően legyen biológiailag lebomló, vagy éppen stabil.

A mesterséges orvosbiológiai anyagokat az 1. táblázat foglalja össze [3].

1. táblázat. A leggyakrabban használt mesterséges orvosbiológiai anyagok és alkalmazásaik

Alkalmazási terület	Anyag	Felhasználási forma
Varratok		
Biológiailag lebomló (felszívódó)	Kollagén, polilaktid, poliglükolid	Monofilament vagy fonatolt
Biológiailag nem lebomló (nem felszívódó)	Poliamid, poliészter, politetrafluoretilén (PTFE), polipropilén	Monofilament vagy fonatolt
Lágy szövet implantátumok		
Mesterséges inak	Politetrafluoretilén (PTFE), poliészter, poliamid, hernyóselyem, polietilén	Szövött vagy fonatolt
Mesterséges szalagok	Poliészter, szén	Fonatolt, himzett
Mesterséges porcok	LDPE	Nemszött kelme
Mesterséges bőr	Kitin	Nemszött kelme
Kontaktlencse, mesterséges szemlencse	Polimetilmetaklirát, kollagén, szilikon	
Ortopédiai implantátumok		
Mesterséges ízületek, csontok	Szilikon, poliacetál, polietilén	
Szív- és érrendszeri implantátumok		
Műerek	Polietilén, politetrafluoretilén	Kötött, szövött
Szívbillentyűk	Polietilén	Kötött, szövött

2. A szervezetbe beültethető orvosbiológiai készítmények

2.1. Sebvarró fonalak

A sebvarró fonalak a legegyszerűbb orvosbiológiai anyagok, amelyeket ott alkalmaznak, ahol az érintett testrészeket a megfelelő helyen rögzíteni kell és ott kell tartani néhány hétig. A műtételnél használt sebvarró fonalak lehetnek biológiailag lebomlók vagy nem lebomlók. Az előbbieket főleg belső varratokhoz használják, az utóbbiakat pedig a testfelületen levő sebek összevarrására, mert ezeket a sebgyógyulásának előrehaladásakor el lehet távolítani. Anyagaik lehetnek természetes vagy mesterséges eredetűek, attól függően, hogy milyen kémiai és biológiai követelményeknek kell megfelelniük.

A hagyományos sebvarró fonal a **bélhúr**, amit juh- vagy szarvasmarha-bélből³, szigorúan ellenőrzött körülmények között állítanak elő. Nagy előnye, hogy ott is alkalmazható, ahol a fertőzési veszély miatt egy nem felszívódó anyagból készült fonal nem lenne használható. Hátránya viszont, hogy nem elég erős, tisztasága kétséges lehet és drága. Ezeknek a hátrányoknak a kiküszöbölésére kollagén anyagú fonalat használnak: marha-izomrostokat bontanak fibrillákra, ezeket extrudálják, majd visszaalakítják kollagénné és ebből varrófonalat készítenek.

Használatos még nem felszívódó sebvarró fonalként néhány **természetes szálanyag** is: hernyóselyem, pamut, len. (Sebvarrásra alkalmas lencéznát a Coats Magyarország Kft. is gyárt.)

A **szintetikus sebvarró fonalak** között is vannak felszívódó és nem felszívódó típusok. A felszívódó típusok között leggyakrabban a poliglikol-sav (Dexon) alapú fonalak használatosak. Ez ugyan lassabban szívódik fel, mint a bélhúr, de a belőle készült sebvarró fonal előnye a nagy szilárdság és az, hogy nagyon kevésbé lép reakcióba a természetes szövetekkel és jól csomózható. Hátránya viszont, hogy szilárdsága mintegy 15 nap múltán erősen csökken. Kopolimerekkel – pl. poliglaktin (Vicryl), polidioxon (PDS), poliglikonát (Maxon) használatával [4] – ez a hátrány kiküszöbölhető, az ilyen készítmény 4–6 hétig nem veszít a szilárdságából. A Vicryl Plus triklozánnal, egy szerves klórvegyülettel impregnált poliglaktin szál, amely antibakteriális tulajdonságával tűnik ki [5]. A Vicryl és Dexon sebvarró fonalakat a bőrfelszín alatti varratokhoz, valamint ott használják, ahol a varrat eltávolítása veszélyeztetné a seb gyors gyógyulását, például kisgyerekeknél, akik nehezen tűrik a varratkiszedést [7].

Nem felszívódó szintetikus sebvarró fonal céljára a poliészter és a politetrafluoretilén (PTFE, Teflon) vált be leginkább, de használnak poliamid, polietilén, polipropilén és (főként inak varrására [22]) polivinilidén-fluorid fonalakat is.

Néhány fontos szintetikus, felszívódó sebvarró fonal összehasonlítását a 2. táblázat tartalmazza [10].

2. táblázat. Néhány szintetikus, felszívódó sebvarró fonal összehasonlítása

	Caprosyn	Biosyn	Maxon	Polysorb	Dexon II
Anyag	60% glikolid, 10% kaprolakton, 10% tri-metilén- karbonát, 10% laktid	60% glikolid, 26% trimetilén- karbonát, 14% dioxanon	Poli- glikonát	90% poliglikol sav, 10% tejsav	100% poliglikol sav
Szerkezet	monofil fonal	monofil fonal	monofil fonal	fonatolt	fonatolt
Bevonat	nem ismert	nem ismert	nem is- mert	kaprolakton/gli- kolid, kalcium sztearoil laktid	poli- kaprolakton
Szilárdság megőrzése	10 nap	21 nap	42 nap	21 nap	21 nap
Felszívódás	56 nap	90–110 nap	180–210 nap	56–70 nap	60–90 nap

Megjelenési formájukat tekintve a sebvarró fonalak sima felületű monofil fonalak, vagy fonatok [38]. A **fonalak** kevésbé lépnek reakcióba a környező testszövetekkel, de a kissé merev monofil (egyetlen, viszonylag vastag elemiszálból álló, inkább vékony huzalhoz hasonlító) fonalak hátránya, hogy a kibomlás megakadályozására sokszor többszörös csomóval kell őket rögzíteni. A **fonatok** – amelyeket a textiliparban ismert fonatolási eljárással, több fonal egyesítésével állítanak elő (1. ábra) – eleinte gyakran okoznak gyulladást, de kevesebb csomó kötését teszik szük-

³ A marhabélből készült varrófonal használatát a szivacsos agyvelőgyulladás veszélye miatt 2001-ben betiltották [9].

ségessé (szerkezetüknél fogva kevésbé hajlamosak a kibomlásra) és tartósabb kötést biztosítanak. Ezeket többnyire se-lyemből, pamutból vagy poliészterből állítják elő.

A sebvarró fonalak **vastagságát** egy speciális (az USA-ból származó) ill. a metrikus mértékegységeken alapuló (EP) számozással jelölik, összehasonlításuk a 3. táblázatban lát-ható [9].



1. ábra. Fonatolt sebvarró fonal vázlatos képe

3. táblázat. A sebvarró fonalak vastagságának megadása

USP	6/0	5/0	4/0	3/0	2/0	0	1	2	3	4	6	8
EP	0,7	1	1,5	2	3	3,5	4	5	6	6	8	10
Átmérő (mm)	0,07	0,15	0,18	0,25	0,3	0,36	0,45	0,55	0,7	0,7	0,85	0,95

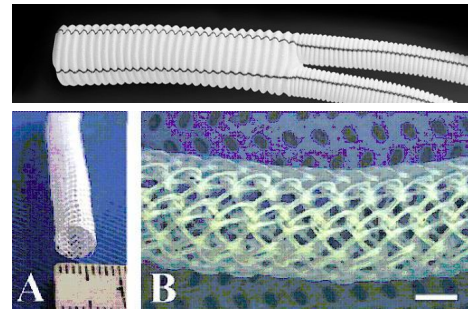
2.2. Mesterséges véredények

A mesterséges véredényeket (graftokat) elzáródott vagy meggyengült erek (vé-nák, artériák) helyettesítésére használják. Készülnek egyenes vagy elágazó kivitel-ben, leggyakrabban vetülék- vagy láncrendszerű kötési technikával (2. ábra). Szer-kezetük porózus, így könnyen beágyazódnak a környező szövetekbe. (Készítenek többrétegű mesterséges véredényeket is, ezekben két porózus réteg között egy nem porózus réteg helyezkedik el.) Átmérőjük 6–10 mm. Vékonyabb (3–5 mm átmérőjű) mesterséges véredények al-kalmazásának az a hátránya, hogy a belsejükben folyó lassú véráramlás következtében lerakódások jönnek létre, ami szűkíti ezeket az ereket. Ennek elkerülésére rugalmas polimer bevonatot lehet al-kalmazni, amely kollagén szerű bevonatot képez a műér belsejében, meggátolva a lerakódást, vagy ilyen anyagú rugalmas fonalat használnak a szöv-éssel vagy kötéssel előállított kelme gyártására [15].

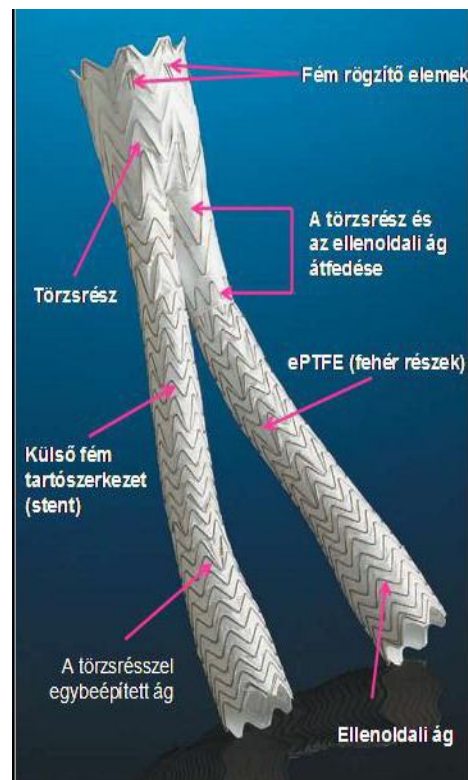
Ezekkel a termékekkel szemben szigorú kö-vetelmény a vér anyagával való összeférhetőség, a porózus szerkezet, a jó alakíthatóság és bennük a véralvadás megakadályozása. Mint anyag, jól be-vált a mesterséges véredények gyártására a poli-észter és a polietiléntereftalál (PTFE), amelyeknek jó a biokompatibilitása. A porózus PTFE cső elő-nyös abból a szempontból, hogy különlegesen jól gátolja a vér koagulálását. A poliészter érpótláso-kat mellkasi és hasüregi artériákban, a PTFE ér-pótlásokat a karokban és lábokban futó artériák és vénák, valamint a krónikus vesebetegségben szenvedők dialízis kezelésében ajánlják elsősor-ban [34].

A mesterséges ereknél közvetlenül a beülte-tést követően vérszivárgás keletkezhet, ami elke-rülhető, ha a kötött szerkezetet kívül vagy belül bolyhos felülettel készítik, vagy ha a beteg saját vérével átítatják a beültetés után.

A mesterséges erek egy speciális típusa az értágulatok kiváltására használt ún. endovaszkuláris műér, amelyet a beteg igazi ér belsejébe vezetnek be, hogy ezzel a kitágult részt

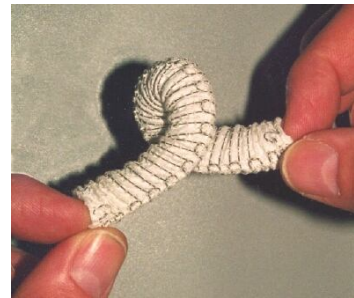


2. ábra. Kötőgépen készült műerek



3. ábra. Műér hasüregi értágulat éren belüli kiváltására (Gore Excluder)

belül áthidalják. A 3. ábra erre mutat példát [12]. (Az ábrán bemutatott típus a hasüregben való elhelyezésre szolgál, oda, ahol a fő verőér kétfelé ágazik a két comb felé.) Ez a műér Teflon-szövetből készül. (Megjegyezzük, hogy készítenek hasonlókat mikroszálak⁴ poliészterből is. A mikroszálak előnye, hogy az így készült szövet igen jól zár, a vér nem szivárog át rajta.) A „közönséges” műerekkel ellentétben, amelyek merevítését és hajlékonyságát harmonikaszzerűen hullámos kiképzésük adja, ezek sima felületűek, hogy könnyebben lehessen őket behúzni a katéterrel az ér belsejébe. Ezért a falát fémhuzalokkal merevítik. Ezeket a fémhuzalokat nikkel-titán-ötvözetből (Nitinol) készítik, amely igen nagy rugalmasságával és biokompatibilitásával tűnik ki. A beültetett műeret a felső részén beépített fém kapcsokkal vagy rugógyűrűvel rögzítik a valódi ér belső falához.



4. ábra. Hímzési technikával készült műér (Ellis, [30])

A 4. ábra egy hasi aorta értágulat kezelésére szolgál [30] és azt illusztrálja, hogy még ebben a megcsavart állapotában sem szűkül le sehol az átmérője és nem törik be.

A mesterséges véredények piaca évente 2–3 %-kal növekszik [16, 34].

2.3. Egyéb cső alakú implantátumok

A mesterséges erek mellett cső alakú implantátumokat (sztenteket) alkalmaznak a nyelőcső, a légcső, a húgycső rendellenességeinek gyógyítására is (5. ábra). Ez a cső kötött vagy fonatolt szerkezetű lehet és különféle méretekben (átmérőben és hosszban) állítható elő [11]. A nyelőcsőben elhelyezhető implantátum pl. poliészterből, vagy nitinolból készülhet [24].



5. ábra. Szentek

A kutatások előterében állnak azok a fejlesztések, amelyek célja a sérült idegvégződések áthidalásának megoldása [3, 23]. Elektromosan vezető polimerekkel (pl. polipirollal) kísérleteznek, amelyek az elektromos stimuláció révén elősegítik az ideg regenerálódását. A textilipar szempontjából ez fontos terület, mert az idegvezető csatorna egy folytonos cső, amit textilipari eljárással lehet előállítani. Az e célra alkalmazott implantátum (sztent) mintegy 2 mm átmérőjű és legalább 90°-ban meghajlíthatónak kell lennie anélkül, hogy a hajtásnál betörne. Felszívódó anyagból kell készülnie, hogy az ideg regenerálódását követően ne kelljen újabb műtétet végrehajtani az eltávolítására. Erre a célra jól megfelel a poiglikol-sav (PGA) [23].

2.4. Mesterséges szívbillentyűk

A mesterséges szívbillentyűket szívbillentyű-elégtelenség esetén alkalmazzák. Legjobban elterjedt típusuk, az ún. mechanikus szívbillentyű fémrészeit PTFE, polipropilén vagy poliészterfonalból kötött textiliával burkolják (6. ábra), aminek révén be tud épülni a szervezet környező szöveteibe, ill. gyűrű alakú részét a textil bevonat segítségével be tudják varrni a megfelelő helyre.

A 6/a ábrán bemutatott, ún. „első generációs” mechanikus szívbillentyű króm/nikkel/kobalt/molibdén-ötvözetből készül, amit Teflon-polipropilén kötött kelmével burkolnak [19]. Más gyártók a fémrészeket titánból készítik és a kötött kelmeréteg alatt szilikongumi bélést alkalmaznak [16]. A 6/b ábrán látható, újabb

⁴ A textiliparban azokat a szálakat nevezik mikroszálaknak, amelyek finomsága nem haladja meg az 1 dtex-et (vagyis amelyekből 1 grammnyi legalább 10 000 m hosszú).

konstrukciójú mesterséges szívbillentyű gyűrűje wolframmal impregnált és Pyrolittal bevont grafit, amit poliészter fonalból kötött, bolyhos kelmével burkolnak [19]. A textil bevonat minden esetben azért szükséges, hogy a szívbillentyű ennél fogva bevarrható legyen, valamint, hogy szervesen beépülhessen a környező testszövetekbe.

Ilyen szerkezeteket 17–35 mm átmérőben készítenek és beültetésük után a beteg egész további élete során használható marad.]. A mechanikai szívbillentyűket főleg fiatal betegekben alkalmazzák, mert időszakos ellenőrzést igényelnek és idővel szükség lehet újabb műtetre [34].

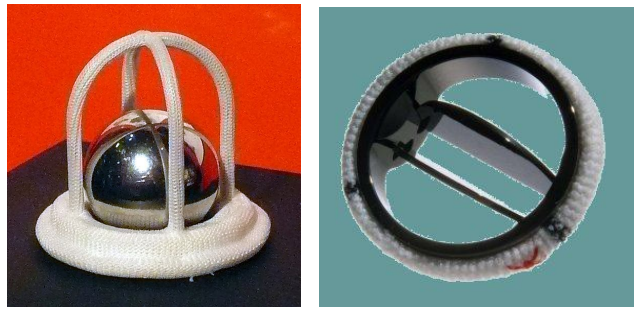
A mesterséges szívbillentyűk egy másik típusát, az ún. biológiai szívbillentyűt egy hasonlóképpen kötött textiliával burkolt fémgyűrűvel készítik, amire azonban sertésbőr vagy szarvasmarhából származó lebenyeket erősítenek [17]. Alkalmazásukat főleg idősebb betegeknek ajánlják, mert nem igényelnek időszakos ellenőrzést és élettartamuk 15–20 év [34].

Becslések szerint a mesterséges szívbillentyűk iránti kereslet évente mintegy 7 %-kal növekszik [16, 34].

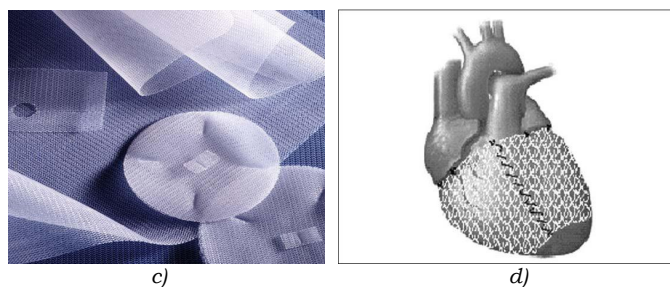
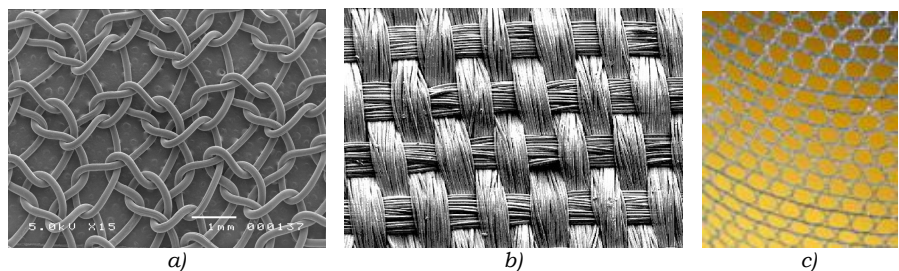
2.5. Sebészeti hálók

A sérv kezelésére és a hasfal helyreállítására, de más műtéti célokra is használnak szövött vagy kötött hálókat.

A sérvműtét egyike a leggyakrabban végzett sebészeti beavatkozásoknak, amelynek során a hasfal szétnyílt szöveteit egymáshoz közelítve újra össze kell erősíteni. A hagyományos műtéti eljárásnál ez azzal jár, hogy mindkét részben feszültség keletkezik, ami meglassítja a regenerálódást. Ha azonban egy hálót helyeznek be a nyílásba, amelyet mindkét oldalhoz hozzáerősítenek, ez a feszültség keletkezését megszünteti és a gyógyulás sokkal gyorsabb. A háló szervesen beépül a hasfal szöveteibe és véglegesen ott maradhat. Hasonlóképpen beváltak a hálók a máj rögzítésére és mellműtéteknél is. Ezekre a célokra legjobban a polipropilén monofil fonalból készült kötött hálók felelnek meg [33], mert ellenáll a fertőzéseknek és nem allergén, de készülnek ilyen termékek poliészterből, poliészter/szén-szál kombinációból és polivinilidén-fluoridból (PVDF) is. A Gore-Tex hasonló célra Teflont



6. ábra. Mesterséges szívbillentyűk.
a) Régebbi konstrukció, b) újabb konstrukció



7. ábra. Sebészeti hálók

használ [1]. Készítenek hálót felszívódó anyagból is, ennek használata azon alapul, hogy beültetésének helyén egy természetes membrán képződik [34].

Ezzel a hálókkel szemben a következő fő követelményeket kell támasztani [33]:

- biokompatibilitás,
- sterilizálhatóság,
- felszívódó vagy éppen nem felszívódó tulajdonság (az alkalmazástól függően),
- megfelelő szilárdság,
- megfelelő fonalvastagság, pórusméretek és póruseloszlás,
- jó méret- és alaktartás, a pórusok alakjának megtartása,
- puhaság, jó alakíthatóság, könnyű kezelhetőség a műtét során.

A fenti követelményeknek legjobban megfelelő háló láncrendszerű kötőgépen készíthető, mint amilyenre példa a 7/a ábra ábrán látható. Ez a termék monofil polipropilén fonalból készült [20]. A 7/b ábrán bemutatott szövött hálót felszívódó anyagból állítják elő [21]. A 7/c ábra fonatolással készült sebészeti hálót mutat [39]. A 7/d ábra mutatja, hogy a hálókelt a mindenkori alkalmazási módnak megfelelően darabolva, formára vágva helyezik be a szervezetbe a műtét során, ahol varratokkal vagy kapcsokkal rögzítik. A biokompatibilis, porózus szerkezetű háló teljesen beépül a testszövetekbe.

A 7/e ábra egy kötött háló szívsebészeti alkalmazását mutatja [22].

A szakirodalom szerint [18, 34] a sebészeti hálók szükséglete évente mintegy 11 %-kal növekszik.

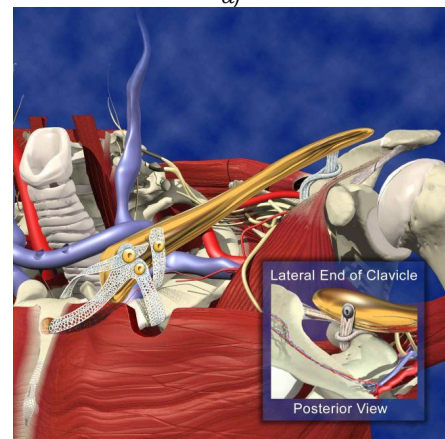
2.6. Ín- és ízületi szalagok

Az ín- és szalagsebészetben használatos implantátumoknak sok esetben rendkívül változatos alakúaknak kell lenniük, hogy illeszkedjenek az érintett testrészhöz és betölthessék feladatukat: az élő szervezet erős és rugalmas rostjainak tartós helyettesítését. Hajlékonyaknak, erőseknek, rugalmasaknak kell lenniük és természetesen olyan anyagból kell készülniük, amit a szervezet tökéletesen befogad. Ezek a termékek többnyire poliészterből, vagy polipropilénből készülnek, kötési, fonatolási, szövési vagy – újabban – hímzési technikával.

A 8. ábra egy, a vállízület megerősítésére készült, hímzési eljárással előállított szalag-implantátumot szemléltet [25, 35].



a)



b)

8. ábra. Hímzéssel előállított inszalag-csoport vállműtétéhez (Ellis [25, 35])

2.7. Testszövetek fejlesztése textílián

A testszövetek fejlesztése a modern gyógyászati kutatások egyik leggyorsabban növekvő területe [1, 32]. Egyesíti a sejt- és molekulabiológusok, klinikusok és sebészek, a bioreaktorok és bioanyagok szakértőinek tevékenységét. Kiterjed az egyszerű bőrsejtek osztódásától az egész testszövet-regenerációig terjedő széles skálára. Foglalkozik a sérült testszövetek és szervek biológiai alapon létrehozott pótlásával, kombinálva a mérnöki tudományokat az élettudomány eredményeivel.

A betegből kivesznek néhány egészséges sejtet és laboratóriumi körülmények között szaporítják őket, majd kombinálják egy abszorpcióképes polimerrel, amit

azután a megcélzott szerv vagy szövet (pl. csont, bőr, porc, ín, máj) tükörképévé alakítanak. Ez a készítmény sokféleképpen felhasználható, pl. háromdimenziós váz készítésére is, ami megfelelő mechanikai szilárdságot és stabilitást adhat egy időre. A sejteket hozzáadják ehhez a vázhoz és hagyják őket ott megtapadni és szaporodni. Ezt a váz/sejt szerkezetet ültetik be a betegbe, akinek szervezetében a sejtek létrehozzák a kívánt szövetet. Egy idő után a műanyag váz lebomlik és eltávozik a szervezetből. A textilanyag ennek a vázszerkezetnek a kialakításában játszik fontos szerepet és lehet szőtt, kötött, fonatolt vagy nemszött kelme, de lehet hímzési technikával előállított szerkezet is – a legfontosabb, hogy megfelelő porozitása legyen. Hímzés útján nagyon változatos alakú vázakat lehet létrehozni, amelyek egyúttal megfelelő mechanikai tulajdonságokkal is rendelkeznek ahhoz, hogy beilleszkedjenek a fogadó környezetbe.

3. Implantátumok készítésére alkalmas textilipari eljárások

Mint az előzőekből is látható, implantátumok készítésére többféle textilipari eljárás alkalmazható.

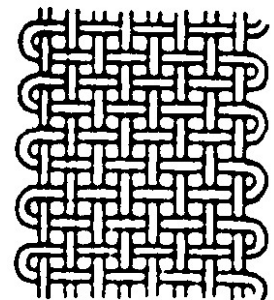
3.1. Szövés

Szövésnél két egymást keresztező fonalrendszerből, a hosszanti lánc- és a keresztirányú vetülékfonalakból épül fel a kelme⁵ (9. ábra). Míg láncfonalakból egymás mellett sok van a szövetben, vetülékfonal elvileg csak egy van, ez húzódik jobbról balra és vissza, közben hol alul, hol felül keresztezve a láncfonalakat, a kötésmódtól függően. A szőtt kelme implantátumok előállítására szempontjából előnyös tulajdonsága, hogy mindkét főirányban (hosszában és szélesség irányában is) erős, alaktartó, igen jól varrható, viszont kevésbé nyúlékony. Szalagszövőgépeken keskeny szalagok formájában is készíthető, így a szövet szélei épek, nem hajlamosak a kifoszlásra. A szövet szakítóereje, nyúlása, koptatással szembeni ellenállása – a felhasznált fonalak anyaga és mechanikai tulajdonságai mellett – a kötésmódtól és fonalsűrűségétől is jelentősen függ. A legszorosabb vászonkötés biztosítja a legszilárdabb szerkezetet (ilyet mutat a 9. ábra), ugyanakkor a fonalsűrűség bizonyos mérték fölött fizikailag nem növelhető. Az implantátumoknál nagyon fontos porozitás a lánc- és vetülékfonalak sűrűségével és a kötésmóddal állítható be, de ez egyben hatással van a szövet alaktartó képességére és szilárdságára is, ezért a fonalsűrűséget és a kötésmódot összehangoltan és a kívánt tulajdonságok szem előtt tartásával kell beállítani.

A szöveteket leggyakrabban síklap alakban állítják elő, azonban cső alakú szövött kelmék (pl. tömlők, zsákok) gyártására körszövőgépek is vannak. Minthogy a cső alakú protézisek (műerek, sztentek stb.) viszonylag kis – néhány milliméter, vagy legfeljebb néhány centiméter – átmérőjűek, ezek gyártására speciális körszövőgépre van szükség.

3.2. Kötés

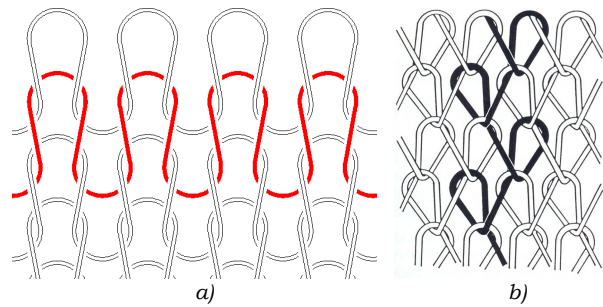
A kötött kelmék hurok formára hajlított fonal(ak)ból kialakított szemekből állnak. Az egymás melletti és egymás fölötti szemek összekapcsolódásából alakul ki az összefüggő kelme. A hurkok formájától és kapcsolódási módjától függően alapvetően



9. ábra. A legegyszerűbb szövött kelmeszerkezet

⁵ A textilipari szaknyelvben a textilipari eljárással készült lapszerű termékek összefoglaló neve – az előállítás módjától függetlenül – „kelme”.

kétféle kelmeszerkezetet különböztünk meg: a vetülékrendszerű (10/a ábra) és a láncrendszerű (10/b ábra) kötött kelméket⁶. A vetülékrendszerű kelme elvileg akár egyetlen fonalból is készülhet, a láncrendszerű kelmékben ezzel szemben legalább annyi fonalra van szükség, ahány szem készül egymás mellett a kelme szélességében.



10. ábra. A kötött kelmék két alaptípusa

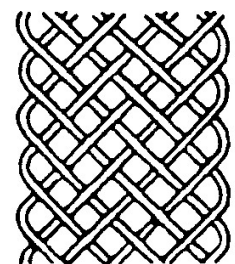
A 10. ábra a kötött kelmék legegyszerűbb változatait mutatja be. A szemformák és a szemkapcsolódások különböző változataival és ezek kombinációival rendkívül sokféle kelmeszerkezet alakítható ki, ami a gyártáshoz használt fonalak saját tulajdonságaival kombinálva egyrészt a kelme szerkezetére, másrészt a kelme legkülönbözőbb fizikai tulajdonságainak (tömeg, vastagság, szakítószilárdság, nyúlás, rugalmasság, porozitás stb.) tág határok között történő változtatására használható ki.

A kötött kelmék a szövöttekhez képest jóval hajlékonyabbak, rugalmasabbak, könnyebben alakíthatók. Porozitásuk a fonalvastagság és a kelmeszerkezet függvénye és az igényeknek megfelelően állítható be. Bár a vetülékrendszerű kelme a fonal sérülése esetén elvileg szemfutásra hajlamos, ez a veszély a protézisek kötést követő további kezelése (bevonattal való ellátása) miatt a gyakorlatban nem áll fenn. A láncrendszerű kelme a protézisek előállításában alkalmazott szerkezeténél fogva sem hajlamos a szemfutásra.

Mind a vetülék-, mind a láncrendszerű kelme készíthető síklap ill. cső alakjában. A síklap alakban készített kelmék leggyakoribb sebészeti alkalmazása a sérv- és más műtéteknél használt hálók előállítása, amire a láncrendszerű kelmék a legelterjedtebbek. Cső alakú termékek gyártására általában a körkötőgépek szolgálnak, amelyeknek akár 10 mm alatti átmérőjű csövek készítésére is alkalmas változatai is ismertek. Ilyen kis átmérőjű körkötőgépeket, amelyeken cső alakú protézisek gyártathatók, több kötőgépgyár is kínál, pl. a Lamb (USA), a Rius (Spanyolország), a Harry Lucas (Németország), valamint több indiai és kínai cég is. Az akár elágazásos, cső alakú érprotézisek láncrendszerű kelme formájában történő gyártása valósítható meg a német Karl Mayer cég egy e célra szolgáló speciális gépén.

3.3. Fonatolás

A fonatolt termékek jellemzője, hogy egymást csavarvonal alakjában keresztező fonalak alkotják (11. ábra). Ezzel a módszerrel sík és cső alakú termékek is előállíthatók. A sebészeti gyakorlatban használatos sebvarró fonalak jelentős része ezzel a módszerrel készül, mert nagyon hajlékony, a szükségleteknek megfelelő vastagságú varrófonal gyártható így. Gyakran alkalmazzák ezt a technikát érprotézisek és más cső alakú implantátumok előállítására is.



11. ábra. Fonat

Felhasználják a fonatolási eljárást katéterek gyártásánál is [37].

Sebvarró fonalak, katéterek és protézisek gyártására szolgáló fonatológépeket gyárt pl. az angol Cobra, a Wardwell Braiding Machine Co. (USA), valamint a New England Catheter Corp. (USA) cég.

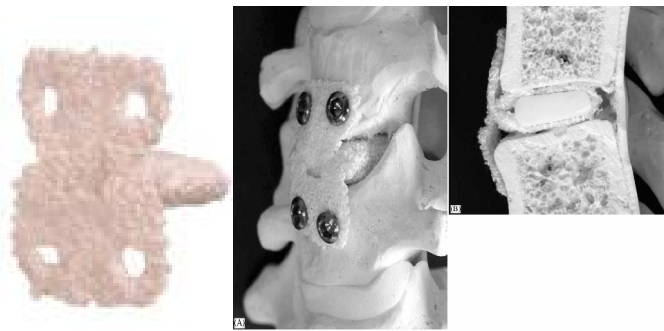
⁶ A kötött kelmék ilyen elnevezései a szövésből erednek: ott a hosszanti fonalakat láncfonalaknak, a szélességirányú fonalakat vetülékfonalaknak nevezik. Elvileg ezekben a kötött kelmékben is ehhez hasonló elhelyezkedésűek a fonalak.

3.4. Hímzés

Az implantátumok fentebb ismertetett fajtái általában kötéssel, fonatolással, szövessel készülnek. Az utóbbi időkben azonban feltűntek a hímzési eljárással készített implantátumok is, amelyek nagyon érdekes és fontos lehetséges fejlesztésnek látszanak a textiltechnológiai eljárásokkal készített implantátumok számára [6, 31, 32].

Hímzésnél egy alapkelmén (ami esetleg egy nemszött kelme lehet) alakítják ki az öltéseket, amelyek bármilyen alakzatnak megfelelően helyezkedhetnek el; az öltésekkel borított alakzat és benne az öltések iránya a korszerű hímzőgépeken számítógépes vezérléssel tetszés szerint hozható létre. Az alapkelve olyan anyagból készül, amely a hímzett forma elkészülte után kioldható (pl. polivinil alkohol) és ekkor visszamarad az öltések sokaságából adódó összefüggő hálózat, amely például mesterséges szalagok készítésére ad lehetőséget. Ilyen példát mutat a 8/a ábra [25], amelyet egy vállsérülés gyógyítására fejlesztettek ki (8/b ábra) [26, 35]. Egy másik példa a 8. ábrán látható, amely – titánból készült csavarokkal – a gerinccsigolyákra erősíthető, poliészterfonalból hímzéssel kialakított porckorong implantátumot ábrázol [27, 32, 36].

A 12. ábra a hímzési technika egy jellegzetes alkalmazását szemlélteti [36]. Az *a)* ábrán látható implantátumot hímzőgépen állították elő és azt a *b)* ábrán bemutatott módon úgy erősítették rá csavarokkal a gerinccsigolyákra, hogy az *a)* ábrán látható jobb oldali kinyúlás a csigolyák közé kerüljön (12/c ábra).



a) *b)* *c)*
12. ábra. Porckorong implantátum (NeoDisc™, [36])

A hímzési technikával előállított ilyen és hasonló implantátumok készítésére elvileg bármilyen hímzőgép alkalmas lehet, „csupán” a megfelelő hímzőprogram elkészítéséről és megfelelő fonal alkalmazásáról kell gondoskodni. Mivel a korszerű hímzőgépek mind számítógéppel programozhatók, bármilyen alakú és méretű hímzett implantátum készítését lehetővé teszik.

A hímzési technikával készült implantátumok fejlesztése a mesterséges véredényekre is kiterjedt [28, 29, 30, 32]. A 4. ábrán bemutatott készítmény egy hasi aorta értágulat kezelésére szolgál és a szakirodalom [30] szerint szintén hímzési technikával készült.

3.5. Utólagos megmunkálások

A szorosan vett textiltechnikai eljárásokkal előállított orvosbiológiai termékek a nyers kelme további kezeléseit igénylik, annak érdekében, hogy a gyógyászatban valóban eredményesen lehessen azokat felhasználni. Ezek az utólagos megmunkálások azt jelentik, hogy a textilanyagot különféle bevonatokkal, esetleg merevítésekkel kell ellátni, hogy simák, alaktartók legyenek, a varrófonalokhoz sebvarró tűket kell illeszteni, gondoskodni kell a sterilizálásukról, megfelelő csomagolásukról stb. Mindezek a gyártási folyamat igen fontos részei, amelyekhez speciális anyagokat, eljárásokat és gépeket fejlesztettek ki.

4. Összefoglalás

A textilanyagok fejlesztése és alkalmazása érdekes lehetőségeket nyit meg az orvostudomány számára – és viszont: a gyógyászatban használatos textilanyagok

előállítására fontos lehetőségeket kínál a textilipar számára. A textilipar szakemberei és az orvosok együttműködése újszerű sebészeti eljárások kifejlesztését teszi lehetővé. Az implantációban alkalmazott textília szerkezetét a felépítés, az anyagösszetétel, a szálak viselkedése és lebomlási tulajdonságai határozzák meg. A biológiailag kedvező tulajdonságú, tervezhető felszívódási képességű, jól sterilizálható varrófonalak és implantátum-anyagok állandó kutatási területet jelentenek. Ugyanakkor a textiltechnológiai eljárások és gépek folyamatos fejlesztései is újabb és újabb műtéti, gyógyászati megoldásokat tesznek lehetővé. Mindehhez a textilipar és az orvostudomány szoros együttműködésére van szükség.

Hangsúlyozni kell, hogy a szigorúan vett textilipari eljárás ezeknek a termékeknek a gyártásában csak a folyamat egy részét jelenti. Ahhoz, hogy egy cég be rendezkedjék ilyen termékek előállítására, a kelmeképzésen túlmenően be kell rendezkednie a további műveletek elvégzésére is.

Tekintettel arra, hogy a végterméknek tökéletesen csíramentesnek kell lennie, a gyártás minden folyamatában a legnagyobb tisztaságra, a higiéniai feltételek maximális biztosítására kell törekedni.

Az orvosbiológiai termékek forgalomba hozatalát és használatát szigorú hatósági előírások szabályozzák.

Felhasznált irodalom

- [1] <http://www.expresstextile.com/20050228/hiperformance01.shtml>
- [2] <http://www.neurosurgery.org/cybermuseum/pre20th/epapyrus.html>
- [3] <http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=485>
- [4] <http://www.surgical-tutor.org.uk/default-home.htm?core/preop2/sutures.htm~right>
- [5] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15684799>
- [6] <http://ellisdev.co.uk/site.htm>
- [7] <http://www.circlist.com/instrstechs/sutures.html>
- [8] <http://www.jnsgateway.com/home.jhtml?loc=USENG&page=viewContent&contentId=09008b9880d6eec0&parentId=09008b9880d6eec0&nodekey=>
- [9] <http://www.hungarovet.com/wp-content/uploads/2008/03/sebeszeti-varroanyagok-1.pdf>
- [10] <http://www.fiss.soton.ac.uk/suturing/Suture%20Workshop.ppt#15>
- [11] http://www.germes-online.com/catalog/41/42/942/19828/respiratory_stent.html
- [12] <http://www.goremedical.com/en/file/AE0715.pdf>
- [13] <http://www.atriummed.com/Products/Vascular/ultramaxgraft.asp>
- [14] <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/8/780/an-analysis-of-medical-textiles5.asp>
- [15] <http://www.devicelink.com/mpb/archive/98/01/001.html>
- [16] <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/8/780/an-analysis-of-medical-textiles6.asp>
- [17] http://www.google.hu/imgres?imgurl=http://www.ifdmavt.ethz.ch/education/student_projects/heart_valve_II/types_of_heart_valves&imgrefurl=http://www.ifdmavt.ethz.ch/education/student_projects/heart_valve_II&h=565&w=390&sz=329&tbnid=EJGzMk-jWTWONM::&tbnh=134&tbnw=92&prev=/images%3Fq%3Dartificial%2Bheart%2Bvalve&hl=hu&usg=__wPBwID2h62UTF-RqcFSMPSSbZBk=&ei=ckLYSdaWIs6PsAbF97DzDg&sa=X&oi=image_result&resnum=4&ct=image
- [18] <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/8/780/an-analysis-of-medical-textiles7.asp>
- [19] <http://www.ismaap.org/81.0.html>
- [20] http://www.nibib.nih.gov/nibib/Image/Eadvances/August07/Mesh-50c_3.jpg
- [21] <http://www.bme.cornell.edu/gallery.cfm?id=27>
- [22] <http://jtcs.ctsnetjournals.org/cgi/content/full/130/4/1107#FIG1>
- [23] <http://www.secantmedical.com/knowledge-experts/case-studies.php>
- [24] <http://www.bostonscientific.com/procedure/ProcedureLanding.bsci/./navRelId/1000.1002/method/Procedure/id/10000911/seo.serve>
- [25] <http://www.judestewart.com/downloads/idMarPg62.pdf>
- [26] http://www.swisstexnet.ch/typo3/fileadmin/swisstexnet/plugins/newsletter/userfiles/File/News_2008-03/NEWS-2008-04_EMPA_TexNews.pdf
- [27] <http://www.infspine.net/content/view/35/31/>
- [28] <http://www.tipmagazine.com/tip/INPHFA/vol-7/iss-5/p18.pdf>

- [29] http://books.google.hu/books?id=3YRnunuzvCucC&pg=PA221&lpg=PA221&dq=embroidery+implant&source=bl&ots=_Dq_XgVdrU&sig=22tRI9g_TQIbZfrb0QbDXcQGnQU&hl=hu&ei=71HGSdH3B9SNsAbj7ZzNCw&sa=X&oi=book_result&resnum=6&ct=result#PPA221,M1
- [30] <http://ellisdev.co.uk/embroimp.htm>
- [31] <http://www.ellisdev.co.uk/mascetproj.html>
- [32] http://books.google.hu/books?id=IZEVddXW41wC&pg=PA376&vq=Sticktechnologie&source=gbs_search_r&cad=0_1#PPA377,M1
- [33] http://www.fibtex.lodz.pl/51_13_44.pdf
- [34] <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/8/780/an-analysis-of-medical-textiles1.asp>
- [35] <http://ellisdev.co.uk/clavicul.htm>
- [36] <http://www.infospine.net/content/view/35/31/>
- [37] <http://necatheter.com/braided.asp>
- [38] <http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=1743>
- [39] <http://www.langendorf-textil.com/langotec/produkte/langomed/>