

## 4.4. | Konjugált polimerek alkalmazása 1.6 | orvosbiológiai szabályozók céljára 2.1

*Tárgyszavak: orvosbiológiai alkalmazások; mesterséges izmok; mikrosebészeti eszközök; konjugált polimerek; vezetőképes polimerek.*

Az élőlényekben végbemenő mozgásokat nehéz utánozni hagyományos berendezésekkel, mint például motorokkal. Mikrosebészeti eszközökhöz, mesterséges záróizmok előállítására és más hasonló célokra jelentős igény mutatkozik újfajta, például az izomzathoz hasonló mozgást előállítani képes szabályozók létrehozására. A cél elérése érdekében intenzív kutatások folynak a világon, a kutatók számos anyagot próbáltak ki. Ideális anyagot még nem sikerült találniuk, azonban a konjugált polimereknek egyre nagyobb figyelmet szentelnek. A szabályozható mozgásra képes elektroaktív polimereknek és a belőlük készített szerkezeteknek (aktuátoroknak, mesterséges izmoknak) 2001-ben az USA-ban önálló tudományos konferenciát szenteltek.

### A konjugált polimerek szerkezete és tulajdonságai

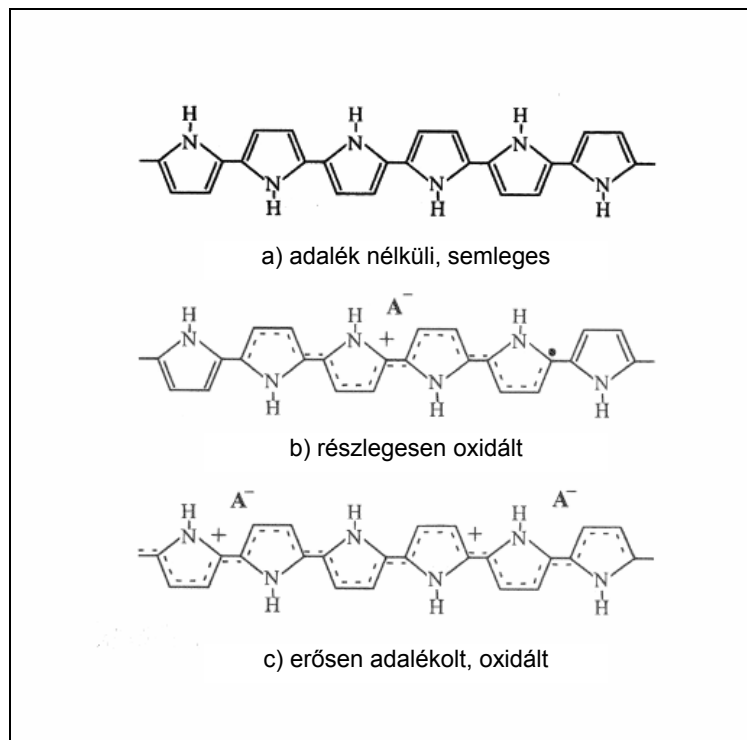
A konjugált polimerek szerves félvezetők, amelyek a polimerláncban felváltva egyes, ill. kettős kötéseket tartalmaznak. Az orvosbiológiai szabályozók céljára leggyakrabban a polipirrolokat és a polianilint alkalmazzák. Ha a polimerből egy elektront eltávolítanak, akkor szerkezetükből adódóan delokalizált pozitív töltés keletkezik (1. ábra). Az elektron eltávolítása (ami egyben oxidációt jelent) elektrokémiai úton megfelelő pozitív feszültség hatására történhet. Ekkor az anyag elektromosan vezetővé válik. A semleges állapot megőrzéséhez negatív töltésű anionokat kell a polimerbe építeni, amivel a polimerláncban lévő pozitív töltéseket kompenzálni lehet. Ezt nagyobb negatív feszültség alkalmazásával lehet elérni, amelynek a hatására az elektronok reverzibilisen visszatérnek a láncba, redukálják a polimert, és a láncot semleges, illetve töltésmentes állapotba hozzák.

A polimer oxidációs fokának változása során számos folyamat zajlik le, változik például a szén-szén kötések hossza, a szomszédos monomeregységek hajlásszöge, *cisz-transz* izomerizáció megy végbe. A kívánt térfogatválto-

zást azonban alapvetően a tömegváltozás, illetve a tömegtranszport szabja meg. Az ionok és/vagy az oldószer beépülésekor megnő a polimer térfogata, amikor pedig ezek az anyagok eltávoznak belőle, akkor összezsugorodik. Az ionok vagy az oxidált állapotban (1. egyenlet), vagy a redukált állapotban (2. egyenlet) léphetnek be a polimerbe az alábbi egyenletek szerint:



ahol  $P^+$  a polimer oxidált (adalékolt) állapotát,  $P^0$  a polimer redukált, semleges (adalék nélküli) állapotát jelenti.  $P^+(A^-)$  jelöli, hogy az  $A^-$  anion, amit ellenionnak neveznek, adalékként beépül a polimerbe, és a  $P^0(AC)$  pedig kationként épül be a polimerbe a redukció során. Ezek az egyenletek azt igazolják, hogy a töltéssemlegesség megtartásához az elektromos töltésváltozást egyben az ionos töltés ezzel ekvivalens változásának kell kísérnie, ami tömegtranszporttal jár együtt a polimer és az elektrolit között.



1. ábra A polipirrol oxidációs állapotai. [Az adalékolt anion ( $A^-$ ) beépülése az oxidált állapotban fenntartja a töltéssemlegességet.]

A konjugált polimerek, ezek közül is különösképpen a polipirrolok előnyös tulajdonságai a mesterséges izomzatok, illetve más orvosbiológiai alkalmazások szempontjából a következők:

- lineáris, térfogati és behajlásszabályozóként egyaránt alkalmazhatók nagy erejük miatt,
- elektromosan szabályozhatók,
- a szabályozáshoz kis (1V, ill. kisebb) feszültséget igényelnek,
- folyamatosan szabályozhatók a minimum és a maximum értékei között,
- szobahőmérsékleten vagy az emberi test hőmérsékletén működnek,
- biokompatibilisek, emberi szövetekbe hosszú időtartamra beépíthetők,
- folyékony elektrolitekben is működőképeseek, beleértve az emberi testnedveket,
- segítik a szövetek regenerálódását,
- segítik a sejt kultúrák növekedését,
- könnyűek, tömegük kicsi,
- könnyen előállíthatók mikroméretekben is.

## **Folyékony elektrolitekben működő szabályozók**

Az unimorf szerkezetben a szabályozófóliát ráerősítik egy másik, elektromechanikusan inert rétegre és elektrolitba merítik, amelynek ionjaival cserére képes. Az elektrolitban a működő elektródként elhelyezett szabályozón kívül referencia- és ellenelektrod is van (háromelektrodos elrendezés). A konjugált polimerfóliában az elektrokémiai indukált erő hatására a kétrétegű fólia meghajlik. Leggyakrabban ezt az összeállítást használják a konjugált polimereket tartalmazó szabályozókban.

A bimorf szabályozók felépítése az öntapadó fóliákhoz hasonlít: itt egy passzív fólia mindkét oldalára konjugált polimerből készült fóliát ragasztanak, az egyik a működő, a másik az ellenelektrod szerepét tölti be (kételektrodos elrendezés).

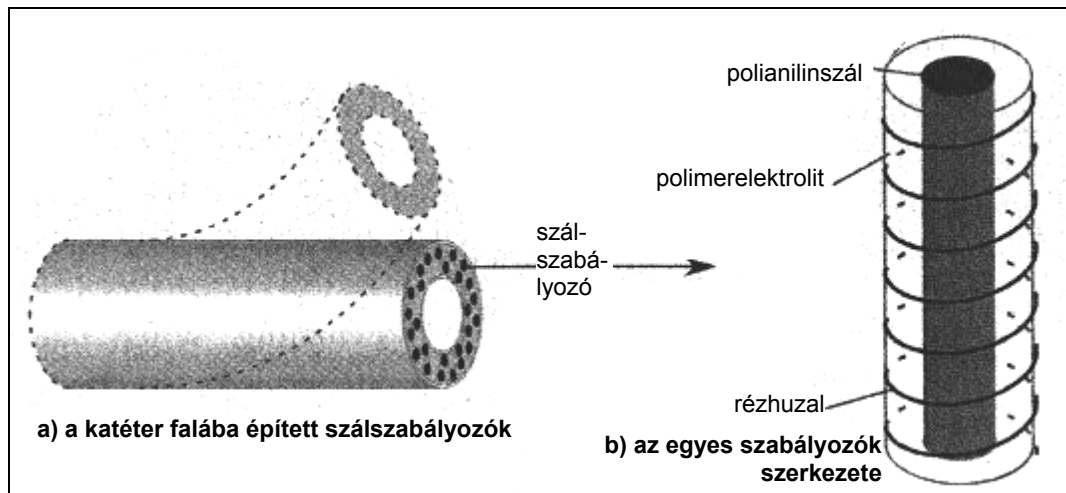
A fenti felépítésű szabályozókon kívül – inkább lineáris mozgások szabályozásához – más elrendezések is ismertek, illetve intenzív kutatások folynak új szerkezetek létrehozására.

## **Levegőben működő szabályozók**

Az ún. száraz szabályozókban két polimerfólia elektrolittal van elválasztva. Az elektromos áram hatására a két konjugált polimer között ioncsere megy végbe, amikor az egyik polimer oxidálódik, akkor a másik redukálódik, miközben az elektrolit összetétele nem változik. Az ionmozgás hatására létrejövő mechanikai mozgás lehet méretváltozás vagy behajlás.

A levegőben működő szabályozók érdekes példája a polianilinszállal működő irányítható katéter, amelyet optikai endoszkópba építve szív-műtételnél alkalmaznak. A nyomás alatti véredényekben való mozgás miatt az eszköznek kis (1,65 mm-nél kisebb) átmérővel, nagy (min. 20°) hajlítási szöggel, elegendően nagy erővel (2,5 g a csúcsonál) és másodpercekben mérhető reaklási

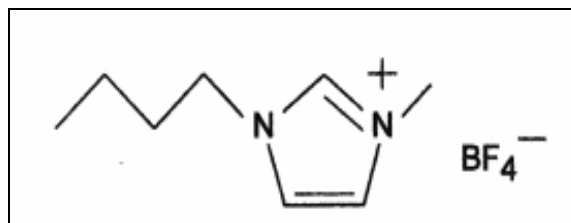
idővel kell rendelkeznie. A szerkezet a katéterbe helyezett szilárd polimer elektrolitmátrixba ágyazott polianilinszálból, polimerelektrolitból és az azt körülvevő rézhuzalból áll. A szilárd polimerelektrolit lehet poliakrilnitril vagy propilén-karbonát gél (2. ábra).



2. ábra Forgatható katéter

Meg kell azonban jegyezni, hogy a felsorolt szabályozók levegőben csak rövid ideig működnek. Működésükhöz víz vagy más oldószer szükséges, és ha teljesen kiszáradnak, elvesztik mozgékonyágukat.

Az igazi előrelépés a levegőben működő szabályozók terén az ún. ionos folyadékok előállításával várható. Ezek az anyagok jellemzően egy nitrogéntartalmú szerves kationból és szerves anionokból állnak. A legújabb kísérleteket a 3. ábrán bemutatott szerkezetű vegyülettel végzik a kutatók.



3. ábra  $\text{BF}_4^-$ /1-butil-3-metil-imidazol ionos folyadék szerkezete

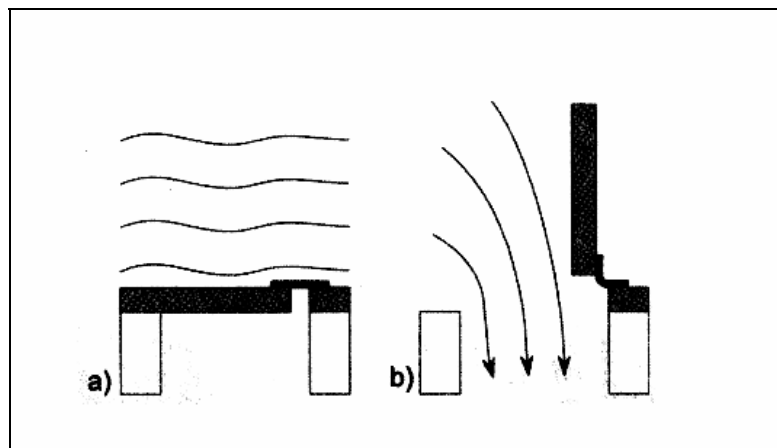
## Mikroszabályozók

A vezetőképes polimereket tartalmazó mikroméretű szabályozók jelentőségét az 1990-es évek elején ismerték fel. A méretcsökkenés hatékonyabbá

tette az elektromos energia mechanikai mozgássá történő átalakítását, kisebb lett a reagálási idő. A legkisebb méretű mikroszabályozók működtetéséhez áramforrásként manapság már egy gombemlé is elegendő.

Amerikai és svéd kutatók együttműködése eredményeként polipirrolalapú szabályozóval, ún. véredény-összekötőket fejlesztettek ki. Segítségükkel az operáció során megszakadt vérereket egy-két perc alatt össze lehet illeszteni, míg korábban ez a művelet mintegy harminc percet vett igénybe. A konjugált polimert tartalmazó laminátumcsövecske a redukált/oxidált állapot változásának hatására kitágul az erek végeihez illeszkedve, és azokat összekapcsolva a véredények gyógyulásáig biztosítja a szükséges véráramot. Az összekötő elem nem idéz elő trombózist, és fokozatosan beépül az érfalba, későbbi eltávolítása nem szükséges.

A polipirrol mikroszelepeknek a vizeletmegtartási zavarok kezelésében is jelentős szerepük van. Az USA-ban kifejlesztett szabályozók már megjelentek a világpiacon. Működési elvük a 4. ábrán látható.



4. ábra A vizeletszabályozó mikroszelep működési elve

## A kutatások jövője

A kutatások három fő irányban folynak tovább:

- a konjugált polimer szabályozók működési mechanizmusának feltárása, szerkezetük és várható tulajdonságaik összefüggéseinek megismerése. Ez utóbbiak közül különösen a mechanikai erő növelése és a reagálási idő csökkentése fontos;
- a szabályozók előállításában meglévő problémák megoldása. A polipirrolok jelenleg ismert elektropolimerizációs előállítási technológiája például csak vékony fóliák előállítását teszi lehetővé. A polianilin ezzel szemben kémiai úton polimerizálható, és fólia vagy szál egyaránt előál-

lítható belőle. Sok tennivaló van még az elektródok felépítésének és működésének javítása terén is;

- a konjugált polimerek szerkezetének „testre szabásához”, azaz az adott alkalmazás céljára optimális szerkezet kialakításához elengedhetetlen a mérési módszerek fejlesztése, az új szerkezetek ennek megfelelő jellemzése, összehasonlítása.

Az eddig elért kutatási eredmények és a kereskedelemben már megjelent eszközök sikere a konjugált polimerek alkalmazásának bővítését vetíti előre az orvosbiológiában.

**(Dr. Orbán Sylvia)**

Proceedings of SPIE Volume 4329. Smart structures and materials 2001: Electroactive polymer actuators and devices. = SPIE Papers – Publications – SPIE Web, [www.spie.org/scripts/toc.pl?volume=4329&journal=SPIE](http://www.spie.org/scripts/toc.pl?volume=4329&journal=SPIE)

Smela, E.: Conjugated polymer actuators for medical applications. = Advanced Materials, 15. k. 6. sz. 2003. márc.17. p. 481–494.