

IKT implantátumok (az ember-számítógép kommunikáció távlatai)

Rátai Balázs¹ – Sándor Judit²

Az IKT implantátumok megjelenése és használatuk széleskörű elterjedése új gyógyászati lehetőségek mellett az emberi képességek tökéletesítését, valamint a számítógép és az ember közötti közvetlen kommunikáció lehetőségét vetíti előre.

1. Témakör

1.1 IKT implantátumok

IKT implantátum alatt olyan információs és kommunikációs eszközöket értünk, amelyek az emberi testbe ültetve működnek.³ Az IKT implantátum elnevezés egy 2005-ös, *Az emberi testbe ültetett IKT implantátumok etikai kérdései* című tanulmányból származik, amelyet az European Group on Ethics in Science and New Technologies (EGE) készített. *A jelen elemzés kizárólag azon ún. aktív IKT implantátumok⁴ használatának fejlődésére koncentrál, amelyek közvetlenül az emberi idegrendszerrel kommunikálnak vagy az emberi test működéséről, állapotáról gyűjtenek és közvetítenek információt a külvilág felé. Ennek a megszorításnak az az oka, hogy az ember-számítógép kommunikáció jövője szempontjából csak ezen IKT implantátumok bírnak jelentőséggel.*

Az IKT implantátumok megjelenése új távlatokat nyit az ember és a számítógép közötti kommunikáció lehetőségei terén. A téma nem kizárólagosan informatikai jellegű, hanem valódi interdiszciplináris terület, amelyben számos tudományág és -terület érintett, a kognitív tudománytól kezdve, a neurológián át az elektronikáig. (A legfontosabb érintett tudományterületek részletes felsorolása megtalálható az 5. fejezetben.)

Ezen implantátumok használata az IKT alkalmazások szemszögéből nézve elsősorban az ember-gép kommunikáció új lehetőségei szempontjából bír kiemelkedő jelentőséggel, így az IKT implantátumok használatára vonatkozó jelenlegi helyzet bemutatása során az ún. invázív és nem invázív technológiák csoportosítást választottuk, mert a két terület a jövő ember-számítógép kommunikációjának két alapvetően eltérő modelljét vetíti elénk.⁵

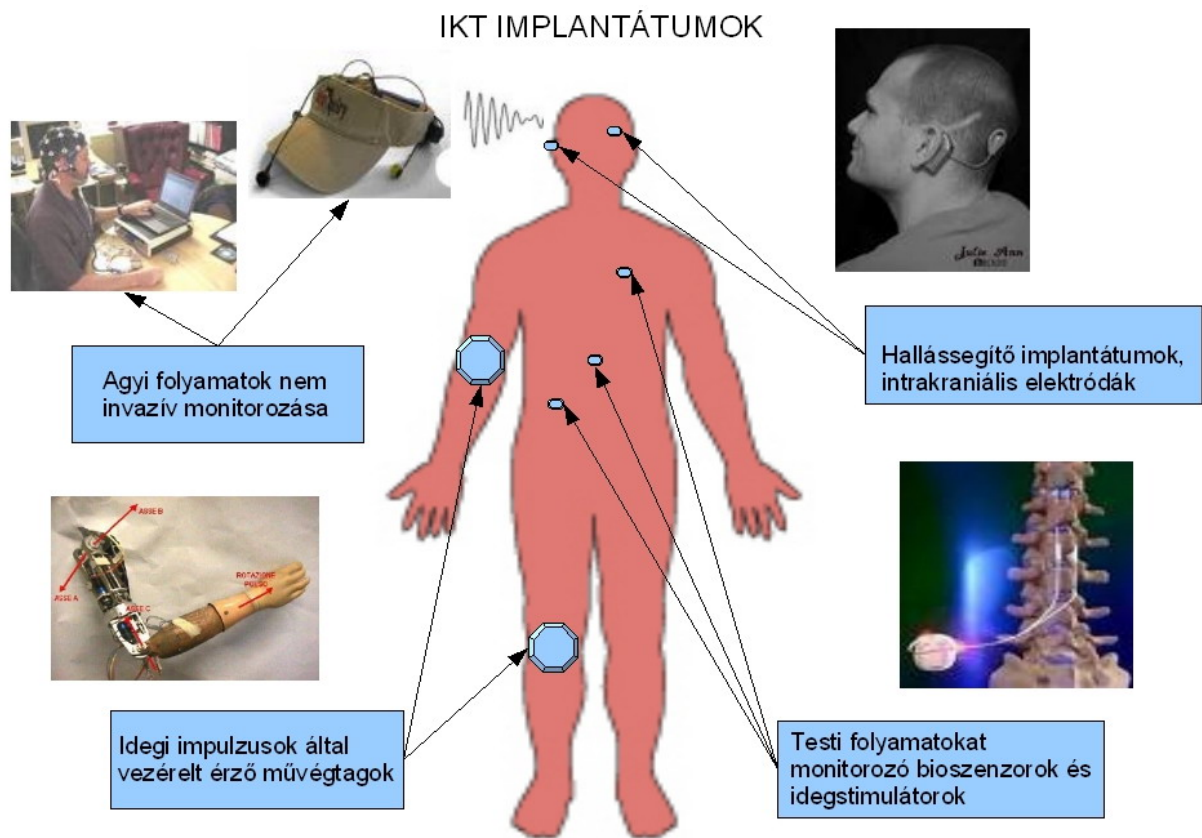
¹ A tanulmány megírásához jelentős szakmai segítséget kaptam Gál Viktortól, a Semmelweis Egyetem Szentágothai János Tudásközpont – MR Kutató Központ kutatójától, valamint Hauzman Eriktől, a Semmelweis Egyetem I. Sz. Szülészeti és Nőgyógyászati Klinikájának munkatársától.

² A tanulmánynak az IKT implantátumok társadalmi hatásait bemutató része Sándor Judit a CEU Bioetikai és Jogi Központjának (CELAB) igazgatója, valamint más CELAB kutatók által, az NHIT felkérésére készített összefoglaló felhasználásával készültek. Az eredeti összefoglaló letölthető a CELAB honlapjáról: <http://www.ceu.hu/celab/Biotechnology>

³ Az IKT implantátumok használatával a közeljövőben elsősorban az egészségügy területén foguk találkozni, azonban az IT3 projekt jellegéből adódóan a tanulmány nem a gyógyászati alkalmazások jövőbeli fejlődését mutatja be, hanem a használatukat lehetővé tevő (elsősorban műszaki területre sorolható) technológiáikat, valamint az IKT implantátumok jövőbeli használatából eredő, valószínű etikai-jogi kérdések áttekintését helyezi vizsgálat a középpontjába.

⁴ Az aktív implantátumok jellemzője, hogy saját vagy állandó jellegű külső energiaellátással rendelkeznek.

⁵ Az IKT implantátumok elsősorban olyan eszközök, amelyek az emberi testbe ültetve működnek, jelen vizsgálat azonban kiterjed a bőrfelületre helyezett vagy az emberi test közelében található olyan eszközök várható fejlődésének áttekintésére is, amelyek nem tekinthetők a szó szoros értelmében implantátumoknak, mert nem kerül sor az eszközöknek az emberi testbe ültetésére. Ezekre az ún. nem invázív eszközökre azért terjesztjük ki az elemzést mert éppen úgy agyi, idegi vagy testi folyamatok megfigyelésre vagy



1. ábra: IKT implantátumok

A jelen elemzés konkrétan az *alábbi területekre* terjed ki:

- az agyi működés monitorozása,
- az idegrendszer jeleinek érzékelése,
- idegpályák stimulálása,
- az emberi test biokémiai folyamatainak monitorozása.

Mindezek alapján a vizsgálat elsősorban az IKT implantátumoknak a *következő körét* érinti:

- hallás- és látássegítő implantátumok (visual and audio implants),
- agy-számítógép interface-ek (brain-computer interface),
- művégtagok és idegrendszer közötti interface-ek (neural interface),
- idegpályák stimulálására alkalmas implantátumok,
- egyéb (nem idegi) testi funkciókat monitorozó technológiák (implantált bioszenzorok).

befolyásolására alkalmasak mint a testbe ültethetők, ezért lényegében azonos funkcionalitással rendelkező eszközökről van szó.

Nem vizsgáljuk az elemzésben a passzív implantátumok (például implantált RFID chipet), valamint azon offline eszközök fejlődését sem, amelyek nem kommunikálnak az aggyal vagy az idegrendszerrel és nem az emberi testben zajló, illetve nem idegi-biokémiai folyamatokról szolgáltatnak információt (mint például lenyelhető bélkamera). Az áttekintésnek nem célja továbbá, hogy állást foglaljon abban a kérdésben, hogy jó-e, vagy rossz-e az IKT implantátumok használata, valamint nem tárgya az agyi IKT implantátumokkal szorosan összefüggő kérdésnek, az emberi gondolkodási folyamatok leírását célzó tudományos ismeretek jövőbeli fejlődésének bemutatása.

2. Jelenlegi helyzet

2.1 Az IKT implantátumok jelentősége

Az IKT implantátumok használatára ma még elsődlegesen a rehabilitáció körében találunk példákat: intelligens művégtagok, hallássegítő és fájdalomcsökkentő implantátumok. *A rehabilitáció mellett azonban alkalmasak lesznek az eddigi normalitás tartományán túlmutató, a jelenlegi emberi képességeknél „tökéletesebb” emberi képességek, például „túlhallás”, „túllátás” képességének a létrehozására.*⁶

Ha az IKT implantátumok nyújtotta lehetőségeket nem az ember oldaláról, hanem technológia világa felől szemléljük, azt látjuk, hogy megjelenésük a rehabilitáción és a képességnövelésen túl lehetővé teszi az embernek a gépi világgal való közvetlen összekapcsolódását. Ennek egy elképzelhető – akár már ma is megvalósítható – példája az olyan cochlearis hallássegítő implantátum, amelybe integrálnak egy GSM mobiltelefont, a GSM-hálózatok szolgáltatásainak igénybevételéhez szükséges SIM kártyával együtt.⁷ Egy másik lehetséges alkalmazási példa az olyan szagló implantátum, amely lehetővé teszi, hogy az interneten megrendelhető parfüm illatát megtapasztaljuk anélkül, hogy egyetlen csepp parfümöt felhasználnánk erre a célra, mivel a parfüm illatát reprezentáló kódot kell csak letöltenünk a testünkbe épített szagló implantátumra. Természetesen a jelen IKT implantátumai még nem teszik lehetővé, hogy segítségükkel megszorítások nélküli, közvetlen kommunikációt folytassunk gépekkel, azonban az elkövetkező évtized IKT implantátumai reális közelségbe hozzák a közvetlen ember-gép kommunikációt.

2.2 A ma elérhető technológiák

Az IKT implantátumok körében *a legfontosabb választóvonal az egyes technológiák között, hogy alkalmazásuk igényel-e komolyabb beavatkozást az emberi testbe.* Ezen elhatároló ismérv alapján két fő csoportba sorolhatók az egyes implantátum technológiák:

⁶ Az emberséget régóta foglalkoztatja a technológia által biztosított tökéletesedés és örök élet gondolata. Ezen gondolatok modern társadalomelméleti-filozófiai irányzatai közül a transzhumanizmus és cyborgizáció gondolatkörét érdemes megemlíteni. A transzhumanisták szerint az evolúció következő állomása, a humán létből a transzhumán állapoton keresztül a poszthumán létbe történő átlépés, amely azért szükséges, hogy ne maradjunk le majdnani intelligens gépeinktől. A *kibernetikus organizmus*ból (cybernetic organism) rövidített *cyborg* szót 1960-ban, az ember világűrbeli alkalmazkodását kutatva, a NASA két tudósa, Manfred Clynes és Nathan Kline használták először. Az implantátumok alkalmazása cyborg-evolúcióként is megközelíthető: a természetes szerkezetek mechanikusokkal, gépekkel történő helyettesítése a külsőtől, a kevésbé meghatározótól a központ, az irányító felé ível.

⁷ Kiegészítve esetlegesen azzal az opcionális lehetőséggel, ha azt a páciens vállalja, hogy óránként egy rövid reklámot meghallgat öt éven keresztül, akkor a szolgáltató fizeti a beavatkozás költségét.

a) **invázió** és b) **nem invázió**. Az alábbi áttekintés során e törésvonal szerinti bontásban mutatjuk be a ma létező legfontosabb implantátum-technológiákat.

Az IKT implantátumok körében, az ún. cochlearis, hallássegítő implantátumok kivételével, jelenleg nem találunk széles körben alkalmazott eszközöket. Számos más területen azonban ma már eljutott odáig a kutatásuk és fejlesztésük, hogy előreláthatóan öt-tíz éven belül számos területen megindul az IKT implantátumok széleskörű használata.

Fontos látni, hogy alapvetően olyan eszközökről van szó, amelyek gyógyítási célt szolgálnak, ezért az IKT implantátum kutatásokra, fejlesztésekre és alkalmazásokra ma elsődlegesen az orvosi célú felhasználások körében találunk példákat. Ennek ellenére, a gyógyítású célúak alkalmasak arra, hogy az egészséges emberek képességeiket (tovább)fejlesszék segítségükkel. Ennek megfelelően már ma is folynak olyan – jellemzően katonai célú – fejlesztések, amelyeknek nem az elvesztett vagy hiányzó testi funkciók helyreállítása, hanem a meglévő testi funkcióknak a tökéletesítése vagy kiváltása a célja. A tökéletesítésre jó példa a jobb (például éjszakai) látást biztosító látássegítő implantátumok fejlesztésére vonatkozó elképzelés. Egyes testi funkciók kiváltására pedig a harci repülőgépek nagy repülési sebesség mellett történő irányításához lassú idegrendszeri reakciók okozta „problémák” kiküszöbölését szolgáló közvetlen agyi vezérlés megvalósítását célzó kutatások.⁸



2.2.1 Invázió technológiák

2.2.1.1 Cochlearis hallássegítő implantátumok

A cochlearis implantátum abban különbözik az egyszerű hallókészülékektől, hogy nem a külvilág hangjait erősíti fel, hanem azokat elektromos jellé alakítva közvetlenül a hallóidegpályákat stimulálja. A világon jelenleg kb. százezer ember használ hallókészülék helyett cochlearis implantátumot.

2.2.1.2 Retinalis és corticalis látássegítő implantátumok (retinal and cortical implants)

Látássegítő implantátumok fejlesztésével a 1920-as évek óta foglalkoznak. Két kutatási irány figyelhető meg. Az egyik a retina pótlását célozza meg (retinális implantátumok), a másik pedig a látóidegpályák kikerülésével közvetlenül az agyba juttatott jelek segítségével próbál meg látásélményt létrehozni (corticalis látássegítő implantátumok). A két versengő technológia közül jelenleg a retinális implantátumok fejlesztése az előre haladottabb, ugyanakkor a vakság azon eseteiben, amikor a látóidegpályák sérültek, ezek elvileg sem jelentenek segítséget.

2.2.1.3 Agy-számítógép interface-ek (brain computer interface)

Összefoglaló kategóriája azon technológiáknak, amelyek az agyi tevékenységet közvetítik a számítógépek felé. Az agy-számítógép interface-ek egy része agyi

⁸ Ezekről a kutatásokról kevés a publikusan elérhető információ; alapvetően az látható, hogy a katonai fejlesztések területén komoly az érdeklődés ezen megoldások iránt. Ld. például: M. Goldblatt: *DARPA's Programs in Enhancing Human Performance*. In: *Converging Technologies for Improving Human Performance*.

implantátumok alkalmazásából áll. A legszélesebb körben használt ilyen agyi implantátum a Utah Egyetem által fejlesztett Utah Electrode Array (UEA). Az UEA száz elektródja lehetővé teszi több agyi idegpálya tevékenységének megfigyelését és stimulálását. Jelenleg használt agy-számítógép interface-ek segítségével a páciensek képesek egy kurzort mozgatni a képernyőn.⁹ Érdemes felhívni a figyelmet arra, hogy ezek az eszközök csak az agyi elektromos aktivitás érzékelésére képesek, segítségével a gondolkodási folyamatok közvetlen megismerése nem lehetséges. Az agy elektromágneses aktivitásából azonban következtetni lehet a gondolkodási folyamatokra.

2.2.1.4 DBS, VNS (deep brain stimulation, vagus nerve stimulation)

A DBS célja egyes agyi funkciók befolyásolása. Az agyba ültetett, önálló elektromos ellátással rendelkező implantátum segítségével lehetséges például a Parkinson-kór vagy epilepszia tüneteinek enyhítése, a normálistól eltérő agyi idegi jelenségek befolyásolása által. Az ilyen implantátumokat szokás agyi pacemakernek is nevezni. Az agyi pacemakereket aszerint sorolják a DBS-ek vagy VNS-ek közé, hogy az agy mely területét stimulálják.

2.2.1.5 Funkcionális elektromos stimuláció (functional electrical stimulation, FES)

A FES egy rehabilitációs technika, amely alacsony feszültségű árammal működő eszközök segítségével kívánja visszaállítani a fogyatékos emberek képességeit. Általában olyan alkalmazásokra utal, amelyek célja a sérült vagy hiányzó testi funkciók visszaállítása. A FES alkalmazások azáltal kapcsolódnak az implantátumok témaköréhez, hogy egyes FES megoldások esetében agyi vagy idegi implantátumot használnak a FES rendszerek vezérléséhez szükséges információ összegyűjtésére. Egyes FES megoldások azonban nem inváziós technológiák (például EEG) segítségével gyűjtik az agyi működésre vonatkozó információkat.

2.2.1.6 Fájdalomcsillapítás

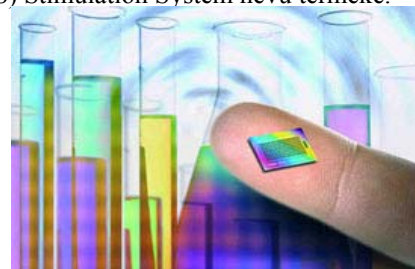
A gerincvelő közvetlen stimulálásával elérhető a fájdalomérzet továbbításának blokkolása. Néhány cég már jelenleg is gyárt és forgalmaz olyan implantálható eszközöket, amelyek alkalmasak a krónikus fájdalom elektromos stimulációval történő megszüntetésére vagy csökkentésre.¹⁰

2.2.1.7 Egyéb (nem idegi) testi folyamatokat monitorozó technológiák (beültetett bioszenzorok)

Az elmúlt években számos olyan emberi testbe ültethető eszközt vettek alkalmazásba, amelyek az ember testi funkcióit képesek figyelni, megfigyeléseik eredményét tárolni és egy, a testen kívül található eszköz felé kommunikálni. Ezen eszközöknek számos fajtája áll klinikai kipróbálás alatt. (pacemakerek újabb generációja, inzulinszintmérők, rákos sejtek megfigyelését szolgáló eszközök stb.). Mivel ezen eszközök egy része a kommunikációt vezeték nélküli megoldásokkal valósítja meg, az USA távközlési hatósága és az orvosi eszközök engedélyezésével foglalkozó

⁹ Ld. bővebben a Donoghue Lab-nál folyó kutatások bemutatását.

¹⁰ Ilyen eszköz például az Advanced Bionics Precision Spinal Cord (SCS) Stimulation System nevű terméke. (www.advancedbionics.com)



FDA 2006-ban közös munkabizottságot hozott létre annak érdekében, hogy az ilyen eszközök frekvenciahasználatával kapcsolatos kérdéseket rendezzék. Az ideiglenesnek tekinthető megoldás az lett, hogy a 401-406 MHz-es frekvenciatartományban, egy ún. Gyógyászati Implantátum Kommunikációs Szolgálat (Medical Implant Communication Service, MICS) kialakítását engedélyezték.

A testi funkciókat monitorozó implantátumok vonatkozásában mindenképpen érdemes megemlíteni az ún. *lab-on-a-chip* megoldásokat. E megoldások célja vegyületek és molekulák jelenlétének kimutatása egyetlen chip segítségével, amelyen egy vagy több laboratóriumi folyamatot integrálnak. Az ilyen chipek mérete jelenleg néhány milliméter és néhány négyzetcentiméter közötti. A technológia fő előnye, hogy pikóliternyi folyadékból is képes vegyületek jelenlétének a kimutatására. Az emberi testben zajló biokémiai folyamatokat vizsgáló és regisztráló implantátumok hatékonyságát és jövőjét jelentősen befolyásolja a lab-on-a-chip technológia fejlődése.

2.2.2 Nem invázió technológiák

2.2.2.1 Agyi és idegi folyamatokat monitorozó technológiák

Az emberi testbe ültetett eszközök mellett léteznek olyan megoldások is, amelyek a test felszínére vagy közelébe helyezett eszközök révén képesek agyi és idegi tevékenység megfigyelésére. Ilyen technológiák az EEG (elektroencefalográf), PET (pozitronemissziós tomográf), SPECT (single photon emission computed tomography), MRI (mágneses rezonancia vizsgálat), MEG (magnetoencefalográf) és NIR (near infrared detection). Ezen technológiák általában nagyobb méretű berendezések alkalmazását kívánják meg, ezért használatuk jelenleg csak laboratóriumi körülmények között lehetséges.



2.2.2.2 Agyi és idegi működést befolyásoló technológiák¹¹

A kutatási eredmények azt mutatják, hogy elektromágneses stimulációval jelentős mértékben befolyásolható az agy működése. Az ilyen technológiáknak két területe van. Az egyik a transcranialis – koponyán keresztül végzett – mágneses ingerlés (transcranial magnetic stimulation; TMS), a másik pedig a transcranialis egyenáramú stimuláció (transcranial direct current stimulation, tDCS). A TMS kutatásoktól elsősorban új gyógymódok kifejlesztését várják, ugyanakkor a kísérletek azt mutatják, hogy TMS segítségével az egészséges emberek képességei is könnyen megváltoztathatók vagy fokozhatók.¹² Gyógyászati alkalmazása jelenleg gyerekcipőben jár, csak néhány kísérleti klinikai alkalmazásra találhatunk példát.¹³

A tDCS kísérletek igazolták, hogy gyenge elektromos árammal történő stimulálással az agy emlékező képessége növelhető¹⁴, elérhető, hogy megváltozzon az ember érzelmi viszonyulása¹⁵, vagy javítható a perifériális látás.¹⁶

¹¹ A TMS alkalmazási lehetőségeiről l. még Bostrom – Sandberg: *Cognitive Enhancement: Methods, Ethics, Regulatory Challenges*. p. 9.

¹² A TMS e tekintetben a gyógyszerek és drogok vetélytársa is lehet, különös tekintettel arra, hogy elvileg nem kizárt az emberi test biokémiai folyamatainak idegi alapú stimulálása vagy gátlása.

¹³ http://en.wikipedia.org/wiki/Transcranial_magnetic_stimulation

3. Folyamatban lévő kutatások, fejlesztések

Az IKT implantátumok fejlődését számos tudományterület kutatásai érintik. Egy az eredeti végtagot teljes értékűen pótolni képes művégtag (kéz vagy láb) kifejlesztése esetében például egyidejűleg kell megoldani az idegrendszer által közvetített mozgató idegimpulzusoknak a dekódolását és kivezetését az emberi testből, a művégtagon elhelyezett szenzorok által végzett mérési eredményeknek az emberi agy és idegrendszer számára feldolgozható módon való kódolását, az így előállt „érzeteknek” a visszacsatolását az érző idegpályákra. Biztosítani kell a művégtag megfelelő tápellátását, az emberi végtagok összetett mozgásával összevethető mozgékonyt és flexibilitást. A példa alapján jól látható, hogy az IKT implantátumok fejlődésében az alábbi tudományterületeken folyó kutatások játszanak fontos szerepet:

Élettani tudományterületek

- kognitív tudomány
- biofizika
- neurológia
- neurobiológia
- neuropszichológia
- idegélettan
- idegsebészet
- radiológia

Információtechnológia

- információátvitel (vezetékes és vezeték nélküli adatátvitel)
- információtárolás
- információfeldolgozás (kódolás, dekódolás)

Egyéb műszaki területek

- finommechanika
- elektronika
- szenzortechnológia

Mindezért nem véletlen, hogy az IKT implantátumok területén sikeresnek tekinthető kísérleti alkalmazásokat kifejlesztő kutatócsoportokban mindig megtalálhatók orvosok és informatikusok, továbbá egyéb kapcsolódó műszaki tudományokban jártas munkatársak is. Ebből adódóan kizárólag IKT implantátumok kutatásával és fejlesztésével foglalkozó kutatóhely kevés van, ezek közül az alábbiak a kiemelkedők:

3.1 USC¹⁷ Department of Biomedical Engineering

¹⁴ Javítja a memóriát az alvó agy elektromos ingerlése.

(http://egeszseg.origo.hu/cikk/0645/304299/javitja_a_1.htm)

¹⁵ Gátolható az agyban a méltányosságra való törekvés.

(http://egeszseg.origo.hu/cikk/0642/508004/gatolhato_1.htm)

¹⁶ Az agy stimulálásával javítható a perifériális látás.

(http://egeszseg.origo.hu/cikk/0651/367508/az_agy_stimulalasa_1.htm)

¹⁷ University of Southern California

Az intézet (<http://bme.usc.edu/research>) az IKT implantátumokhoz kapcsolódó számos területen végez kutatásokat, amelyek közül a biomimetic microelectronic systems (BMES) elnevezésű 2003-ban indult öt éves kutatási projekt érdemel külön említést – célja testbarát, az idegrendszerrel kétirányú kommunikációt lehetővé tevő eszközök kifejlesztése, amelyek vakság, bénulás, emlékezetzavar gyógyítására használhatók.¹⁸

3.2 Doheny Retina Institute

Az intézet (<http://www.doheny.org>) szintén az USC egyik tanszékével közösen folytat kiterjedt kutatásokat a látássegítő implantátumok területén. A világon egyedülálló fejlesztése a szembe ültethető retinaprotézis (intraocular retinal prosthesis) amelyet 2006. végéig hat alkalommal ültettek be sikeresen.¹⁹

3.3 Rehabilitation Institute of Chicago

Az intézet (<http://www.ric.org>) a világ vezető kutatóhelye az ún. bionikus végtagok területén. Az intézet keretében folyó Sensory Motor Performance Programban (SMPP) számos olyan kutatási alprojekt található, amelyek megalapozzák a mainál sokkal fejlettebb mesterséges végtagok széleskörű használatát. Az intézet nevéhez fűződik az első bionikus karok beültetése.²⁰

3.4 Center for Neural Interfaces, University of Utah

A Utah Egyetem kutatóközpontja (<http://www.bioen.utah.edu/cni>) fejlesztette ki az ún. Utah Electrode és Utah Slant Array-t, amely ma a legelterjedtebb agy-számítógép interface. A kutatóintézet emellett kiterjedt kutatásokat folytat a látás-, hallássegítő és szagló implantátumok fejlesztése területén.

3.5 Donoghue Lab – Neuroscience Department, Brown University

A John Donoghue által vezetett laboratórium (<http://donoghue.neuro.brown.edu>) egyike az IKT implantátumok kutatásával és fejlesztésével foglalkozó legismertebb kutatóhelyeknek. A laboratórium szorosan együttműködik John Donoghue cégével a Cyberkinetics Neurotechnology Systems-mel (<http://www.cyberkineticsinc.com>), amely az elmúlt években kiemelkedő sajtóvisszhangot kapott a BrainGate Neural Interface System sikeres klinikai kísérletei kapcsán. A BrainGate kísérletek lényegében igazolták, hogy lehetséges agyi implantátum segítségével az agyi működésről annyi információt nyerni és az így nyert információt úgy feldolgozni, hogy ennek eredményeképpen pusztán gondolatokkal vezérelhetjük egy számítógép képernyőjén a kurzort. A laboratórium a Cyberkinetics-el együttműködésben jelenleg a korábbi kísérletek eredményeinek felhasználásával igyekszik széles körben alkalmazható megoldással továbbfejleszteni a rendszert.

3.6 Neural Prosthetic Systems Laboratory, Stanford University

¹⁸ Ld. még: <http://bmes-erc.usc.edu>

¹⁹ Hasonló jellegű előrehaladott kutatások folynak a tübingeni szemklinikán. (<http://www.uak.medizin.uni-tuebingen.de>)

²⁰ Ld. <http://www.nhit-it3.hu> Kőrkep 2006. szeptember-október, 107/2006 hír.

A Neural Prosthetic Systems Laboratory (<http://www.stanford.edu>) az agy-számítógép interface kutatás területén biztató irányt alakított ki az elmúlt évek során. Annak ellenére, hogy sok helyen folynak ilyen jellegű kutatások, érdemes külön megemlíteni a Stanfordon működő laboratóriumot, mivel az elmúlt évek során sikerült egy ígéretes technológiával előállniuk [nagyteljesítményű agy-számítógép interface (high-performance brain-computer interface)]. Reményeik szerint az interface lehetővé teszi olyan nagyteljesítményű idegi művégtag-rendszerek létrehozását, amelyek az agyi aktivitást művégtagok irányítására közvetlenül felhasználható vezérlő jelekké tudják majd átalakítani.

3.7 Cleveland FES Center

A Cleveland FES Center (<http://fescenter.case.edu>) a FES technológiák kutatásának vezető intézménye. A központot háromtagú konzorcium hozta létre 1991-ben: a Cleveland VA Medical Center (CVMAC), a Case Western Reserve University (CWRU) és a MetroHealth Medical Center (MHMC). A központ kutatásai kiterjednek a FES alkalmazások valamennyi területére. A közvetlen kutatások mellett nyilvántartja és figyelemmel kíséri a világon folyó FES kutatásokat és alkalmazásokat.²¹

3.8 North Carolina State University Bionics Laboratory

Az NC Bionics Laboratory (<http://www4.ncsu.edu>) egyike a kis energiaigényű, vezeték nélküli kommunikációt használó neuroimplantátum-technológia kutatásával és fejlesztésével foglalkozó kutatóhelyeknek. A vezeték nélküli megoldások előnye, hogy jelentősen csökkentik az implantátum beültetésével kapcsolatos kockázatokat. A laboratóriumban folyó kutatások közül érdemes kiemelni a pacemakerhez hasonló elven működő gyomorműködés-szabályozót, a fejre szerelhető DBS megoldást, valamint a nyelvvel irányítható, vezeték nélküli mágneses vezérlő rendszert.

3.9 ENHANCE FP6-os kutatási projekt

A Európai Unió hatodik keretprogramja által támogatott ENHANCE (<http://www.enhanceproject.org>) projekt célja annak vizsgálata, hogy az új tudományágak, mint a nanotechnológia vagy a biotechnológia fejlődése következtében megjelenő, az emberi képességek tökéletesítését lehetővé tevő új technológiák etikai és szabályozási kérdéseket vetnek fel. A kétéves kutatási projekt további célja egy egységes európai politikára vonatkozó javaslat kidolgozása is. A kutatás koordinátora a Bristol-i Egyetem Orvosi Etikai Kutatóközpontja.²²

4. A várható fejlődés

Az IKT implantátumok alkalmazásának következő tíz-tizenöt évben várható fejlődése elsősorban a technológiai nehézségek megoldását célzó kutatások eredményességétől függ.

²¹ Id. *FES Resource Guide*. (fescenter.case.edu/site2/fes_guide.php)

²² Centre for Ethics in Medicine, University of Bristol - www.bristol.ac.uk/ethicsinmedicine



2. ábra: Várható fejlődés (2008-2018)

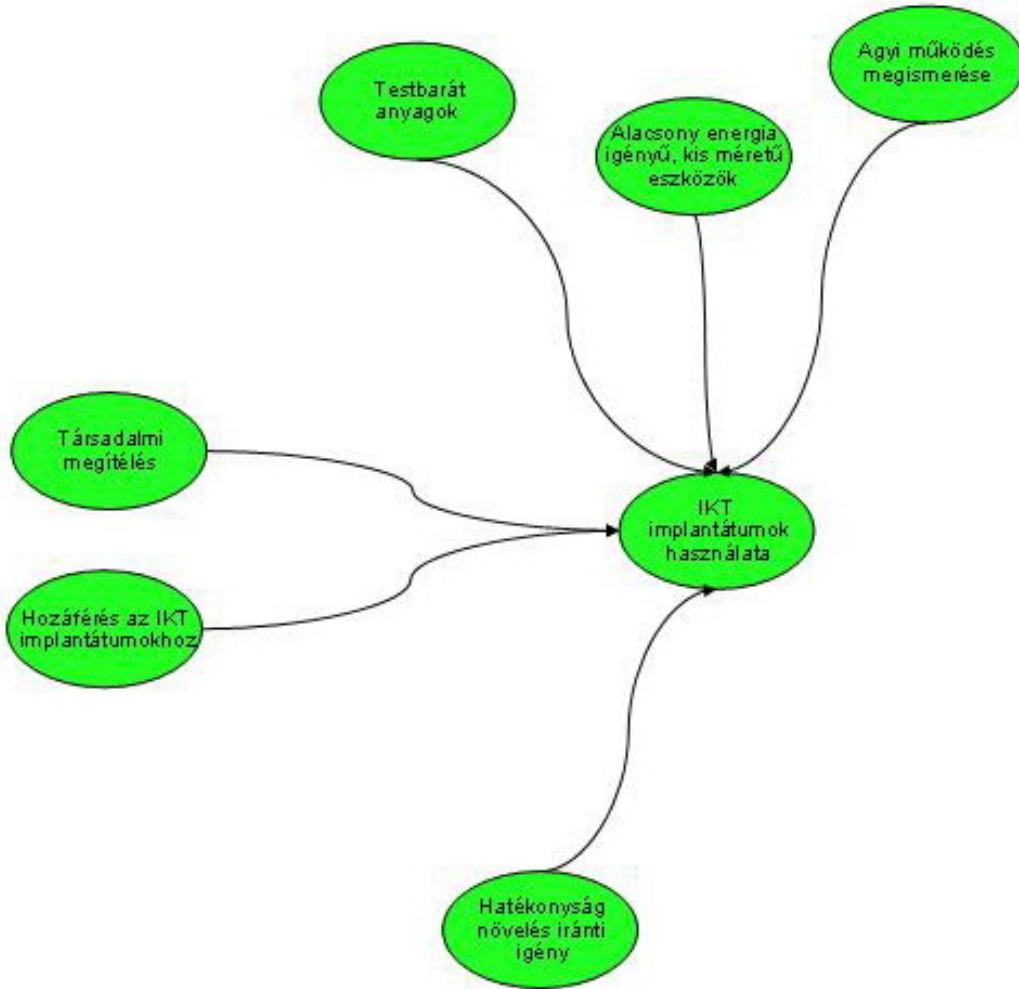
Tekintettel arra, hogy az IKT implantátumokat ma még csak szűk körben és elsősorban gyógyítási-rehabilitációs célra használják nehéz megítélni, hogy pontosan milyen jövőbeli alkalmazási területek fognak kialakulni. Azonban viszonylag pontosan meg lehet ítélni az egyes technológiák éretté válásának és elterjedésének várható időpontját.

Az elkövetkező tíz év fontosabb mérföldkövei a következők lesznek:

- *vezeték nélküli beültetett bioszenzorok* használatának gyors elterjedése (kettő-öt év),
- *hosszútávon működőképes, testbarát neurochipek* használatának elterjedése (négy-hét év),
- *emberi végtagokat közel teljes értékűen pótolni képes érzeteket is továbbító művégtagok* megjelenése (öt-tíz év),
- *agyi működést monitorozó és befolyásoló, hordható (wearable) eszközök* megjelenése (nyolc-tíz év),
- *retinális látássegítő implantátumok* megjelenése (tíz év),
- *magas szintű információátviteli kapacitással rendelkező agy-számítógép interface-technológia* elterjedése (10+ év).

5. Befolyásoló tényezők

Az IKT implantátumok fejlődését rövidtávon elsődlegesen az alkalmazott technológia fejlődése és annak társadalmi fogadtatása határozza majd meg. A döntő technológiai tényezőnek jelenleg a testbarát, az emberi testben hosszútávon is működőképes IKT implantátum technológiák megjelenése tűnik.



3. ábra: Befolyásoló tényezők

5.1 Technológiai tényezők

Az IKT implantátumok széleskörű alkalmazása előtt *számos megoldandó nehézség* áll. Ezek a nehézségek azonban elsősorban nem informatikai jellegűek, hanem tipikusan az emberi agy és idegrendszer működésről, különösen az emberi gondolkodás folyamatáról meglévő ismeretek hiányosságaiból, valamint az élő szövetek és az élettelen anyagok közötti különbségek áthidalásának nehézségéből adódnak.²³ A két problémakör közül az emberi agy működésével kapcsolatos kérdések tisztázása tűnik a nehezebb, hosszabb távon megoldható feladatnak.

A nem invázió technológiák esetében a problémát elsősorban az agyi működés monitorozására alkalmas eszközök mérete jelenti. Ez alól kivétel a NIR technológia, amely kisebb, sisakba szerelhető változatban is kellő mennyiségű információt képes szolgáltatni az agyműködésről. Hasonlóképpen az EEG-ből is léteznek kisebb, hordható

²³ Természetesen a jelenlegi informatikai megoldások még nem biztosítanak az agy és az idegrendszer információfeldolgozásával megegyező teljesítményt, azonban ahogy arra korábbi elemzések (például: *Korlátlan sávszélesség és számítási teljesítmény*) rámutattak, a szükséges számítási, feldolgozási és tárolási kapacitás rendelkezésre fog állni, vagyis ez a tényező nem lehet az előrelépés akadálya ezen a területen.

eszközök, de ezekenél esetenként a fejbőrön elhelyezendő szenzorok nagy száma vagy a szenzorok tartós és megbízható érzékelő-képességének a fenntartása okoz nehézséget. Az invázív technológiák esetében is számos nehézség adódik. Ezek közül a legnagyobb problémát a következők jelentik:

- a beültetésből adódó károsodások elkerülése,
- a beültetett implantátum energiaellátásának biztosítása,
- az implantátum által okozható fertőzések elkerülése,
- az idegpályák és implantátum interface-e közötti kommunikációs képesség fenntartása,
- a beültetett implantátum kilökődésének megakadályozása.

Ezen nehézségek jelentősen csökkenni fognak a testbarát anyagok fejlesztése, az alacsony energiaigényű chiptechnológia, valamint a vezeték nélküli energiaellátás fejlődése következtében.

5.2 Társadalmi tényezők

Az IKT implantátumok elterjedését befolyásoló legfontosabb társadalmi tényező az általuk nyújtott lehetőségek *társadalmi megítélése* lehet. *A rehabilitációs lehetőségeket valószínűleg a többség pozitívan fogadja majd, ugyanakkor a képességnövelés lehetőségével szemben sokan komoly ellenérzéseket fognak táplálni.* Az IKT implantátumok elterjedését ezért jelentősen befolyásolni fogja, használatuk szabályozása. A döntő jelentőségű kérdés az lesz, hogy a szabályozás milyen mértékben engedi majd meg képességnövelés céljából történő alkalmazásukat.

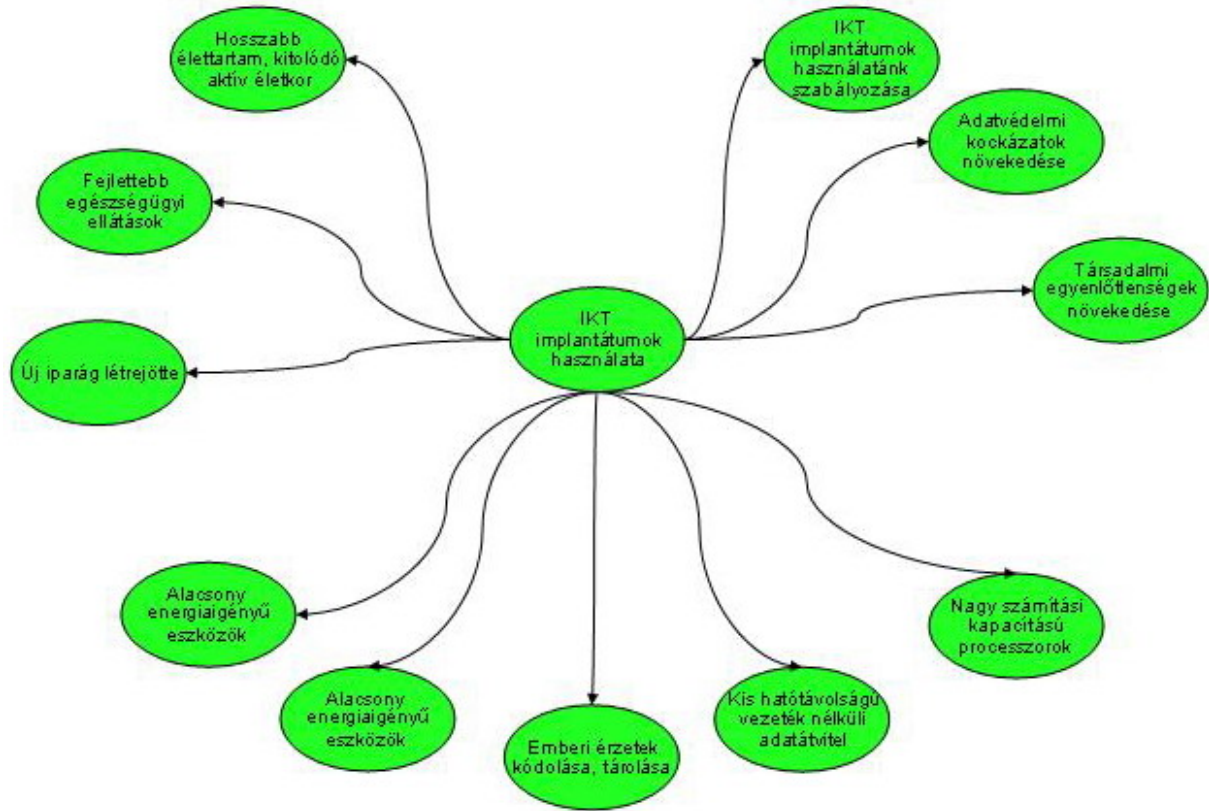
Elterjedésük sebességét az első időszakban alapvetően anyagi erőforrások szűkössége vagy bősége határozza majd meg. Európai viszonyok között a rehabilitációs célú IKT implantátumok elterjedése valószínűleg gyorsabb lesz, mivel orvosilag indokolt esetben a társadalombiztosítás a legtöbb ember számára finanszírozni fogja a használatot, ugyanakkor a képességnövelést szolgálók használata rövidtávon valószínűleg a tehetősebbek privilégiuma lesz.

5.3 Gazdasági tényezők

Az IKT implantátumok fejlődését rövidtávon elsősorban nem gazdasági tényezők, hanem orvosi-rehabilitációs igények vezérlik majd, tekintettel arra, hogy a közeljövő IKT implantátumai még nem lesznek képesek az agyi működést monitorozni vagy befolyásolni. Az agyi működést monitorozó és befolyásoló használatának fejlődésében viszont jelenetős tényező lesz az emberi tevékenységek gazdasági hatékonyságának növelésére való törekvés.

6. Várható hatások

A leginkább érzékelhető rövidtávú hatás a használatra vonatkozó szabályozás megjelenése lesz. Hosszabb távon az IKT implantátumok alkalmazásának gazdasági hatásai a jelentősebbek. A technológiai hatások egyike sem tekinthető kizárólagosan az IKT implantátumok specifikus következményének.



4. ábra: Az IKT implantátumok várható hatásai

6.1 Technológiai hatások

Az IKT implantátumok használata iránti igények megjelenése húzó hatást gyakorolhat a nagy számítású és tároló kapacitással rendelkező, de alacsony energiaigényű IKT eszközök fejlesztésére.

Az implantátumok és a külvilág közötti kommunikáció területén kézenfekvő megoldás a vezeték nélküli eszközök alkalmazása. Ezért az IKT implantátumok megjelenése elősegítheti a kis hatótávolságú vezeték nélküli hírközlési technológiák fejlődését.

Az érző IKT implantátumok megjelenése a tartalomkezelés területén az emberi érzetek kódolási, tárolási és továbbítási technológiájának kifejlesztése iránt keletkeztet igényt.

Az IKT implantátumok a legnagyobb hatást az ember-számítógép közötti kommunikáció lehetőségeire gyakorolják. Ennek megfelelően számos újfajta végberendezés és kommunikációs interface-technológia kialakulását és elterjedését segítheti elő.

6.2 Társadalmi hatások

Az információs és kommunikációs technológiákat (például számítógép, mobiltelefon, laptop stb.) eddig elsősorban otthon, szabadidőnkben vagy a munkahelyünkön használtuk. Az új fejlesztéseknek köszönhetően azonban ezen technológiák egyre inkább testünk részévé is válnak, egyrészt azért, hogy (testünkön) hordjuk őket, másrészt azért, hogy testünkbe beépítik (implantálják) ezeket.

A testi implantátumok gyógyászaton túli alkalmazása, azaz a képességeknek az eddigi normalitás tartományán túlmutató kibővítése egy *emberfeletti képességekkel rendelkező*

ember létrehozásának lehetőségét teremti meg. A közlekedésben például, nyilván jóval nagyobb sebességgel tud közlekedni az, akinek éles látása, gyors reakcióideje ezt lehetővé teszi, ez azonban másokat veszélybe sodorhat. A különleges és a megszokottnál jobb hallással rendelkezők mások beszélgetéseit lehallgathatják, átírva ezzel a társadalmi érintkezés során kialakított magánéleti mezőket: például, ha titkot suttogunk, arra számítva, hogy ezzel a távolabb állók számára titok marad, amit mondunk. Tanulásban, versenyben, sportban, biztosításban, vagy akár munkavállalásban előnyhöz juthat az, aki titkon implantátummal javítja természetes képességeit.

Nyilvánvaló, hogy az implantátumot használók és nem használók között munkában, tanulásban, sportban komoly egyenlőtlenség keletkezik, amely hasonló módon működik, mint a természetes (veleszületett) képességekben megmutatkozó egyenlőtlenségek esetében azzal a különbséggel, hogy az egyenlőtlen képességeket nem valami „biológiai lottó”, hanem sokkal inkább az anyagi lehetőségek szabják meg. Ezért felvethető az is, hogy az anyagi különbségek további *képességvásárlás* révén növelhetőek a gazdagabbak javára. A sportban ez felvetheti az *IKT-dopping szabályozás* szükségességét.²⁴

Kiskorúak esetében, ha nem a hiányzó képesség, pótlásáról, a fogyatékoság csökkentéséről van szó nyilvánvalóan aggályos lenne a még fejlődőben lévő képességek eleve túlbiztosítása. Ez nemcsak esélyegyenlőtlenségekhez vezetne, de az egyéni erőfeszítést is eleve letörné.

Hasonlóan a már ismert SMS-, internet- és email-függésekhez, ha nemcsak a kommunikációban, munkában, hanem az érzékelésben is kialakul egyfajta technikai függőség, ami sértheti a személyiség integritását is. A személyiség függővé válhat a technikától; ha ez meghibásodik és ezért átmenetileg nem üzemeltethető, az egyén halmozottan éli meg fogyatékoságát, vagy olyankor is fogyatékosnak érzi magát, amikor valójában csak egy túlfejlesztett kiegészítő képessége esik ki időlegesen. Úgy tűnik, hogy a hálófűgés fokozottan jelentkezhet az úgynevezett *online IKT implantátumoknál*.²⁵

A testbe épített implantátumok alkalmasak arra, hogy ne csak azt a funkciót szolgálják, amelyre eredetileg létrehozták, hanem egyéb járulékos funkciókat is: így például nyomon követhetővé válik az a személy, akinek a testébe az implantátum került.

A bioszenzorok vagy MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) diagnosztikai célra képesek adatokat gyűjteni, így lehetővé téve a személy távoli orvosi felügyeletét. Az adatbiztonság azonban ilyen esetben kiemelkedően fontos, téves adat alapján téves beavatkozás történhet, illetve az adat illetéktelen személy kezébe kerülhet.



6.3 Gazdasági hatások

²⁴ Vö. a 2007. február elsején hatályba lépő UNESCO Egyezmény: International Convention against Doping in Sport, UNESCO.

²⁵ Online IKT implantátumok: olyan IKT implantátumok, amelyek működése egy-egy külső számítógéppel való *online* kapcsolaton alapul, vagy működése *online* nyomon követhető egy külső számítógépről (bioszenzorok).

Az IKT implantátumok megjelenésének legfontosabb hatása egy új iparág kialakulása lesz. A gyártásuk, üzemeltetésük és karbantartásuk köré szerveződő új gyártó és szolgáltató iparág kialakulása hatással lesz az oktatás és a szakképzés szerkezetére. Műszaki és orvosi ismereteket ötvöző interdiszciplináris képzések kialakulása valószínűsíthető.

Az IKT implantátumok megjelenése lehetővé teszi a testi fogyatékkal élők nagy részének teljeshez közeli rehabilitációját, valamint hozzájárul az öregedés okozta képességcsökkenés időpontjának kitolódásához. Ez a két tényező a munkaerőpiac jellegének és szerkezetének átrendeződését eredményezheti.

7. Hazai helyzet

Az IKT implantátumokhoz kapcsolódó kutatás-fejlesztési tevékenység interdiszciplináris jellegéből adódóan Magyarországon is találhatunk olyan kutatókat és kutatócsoportokat, akik valamely IKT implantátumokhoz kapcsolódó területen értek el kiemelkedő eredményeket. Emellett természetesen az alkalmazó gyógyászati tevékenység is létezik. Például hazánkban is évek óta rutin-beavatkozásnak tekinthető a cochlearis hallássegítők beültetése.

A magyarországi kutatás-fejlesztés körében kiemelkedőnek kell tekinteni Roska Tamás akadémikus²⁶ és más hazai vezető kutatók tevékenységéhez kapcsolódóan az MTA támogatásával létrejött, **Magyar Info-Bionikai Kutatóközpont**²⁷ kutatási együttműködést, amelyben tizenkét magyar kutatóhely a neurobiológia és az elektronika-számítástechnika interdiszciplináris területen folytat kutató, fejlesztő és oktató tevékenységet.

8. Összegzés

Az IKT implantátumok jövőbeli alkalmazási területeit ma még csak valószínűsíteni lehet. A terület fejlődése várható gyors lesz. A használatuk elterjedését lehetővé tevő technológiai fejlődés négy jelentős következménnyel jár:

- lehetővé válik a testi fogyatékkal élők nagy részének teljeshez közeli rehabilitációja,
- az IKT implantátumok gyártása, üzemeltetése és karbantartása köré szerveződő új gyártó és szolgáltató iparág jön létre,
- megjelenik az emberi képességeket növelő IKT implantátumok használata iránti igény,
- szükségessé válik az IKT implantátumok használatából eredő egyéni és társadalmi kockázatok csökkentését és megosztását biztosító szabályozás.

Ezekre a változásokra érdemes felkészülni, a felkészülés részeként fontos figyelemmel kísérni az IKT implantátumok fejlődését²⁸, elősegíteni a minél szélesebb körű

²⁶ Érdemes megnézni Roska Tamásnak a Mindentudás Egyetemén, 2004-ben tartott, *Info-bionika és érzékelő számítógépek* című előadását: <http://www.mindentudas.hu/roska/20040607roska.html>

²⁷ <http://infobionika.itk.ppke.hu>.

²⁸ Az EU számos keretprogramban foglalkozott már a genetikai vagy épp technikai tökéletesítés hatásaival, ld. például ETHICBOTS (Emerging Technoethics of Human Interaction with Communication, Bionic and Robotic Systems), ENHANCE (Enhancing Human Capacities: Ethics, Regulation and European Policy) és EUROBOT FP6-os kutatási projekteket.

tájékoztatottság kialakulását, felmérni társadalmi, kulturális és gazdasági hatásait, valamint kialakítani a használatukra vonatkozó szabályozási kereteket.

Ajánlott irodalom

- *Ethical Aspects of ICT Implants in the Human Body*. The European Group on Ethics in Science and New Technologies (EGE), 2005.

http://ec.europa.eu/european_group_ethics/docs/avis20_en.pdf

- *ICT Implants – The Invasive Future of Identity?* in: *The Future of Identity in the Information Society*. 287-295. Springer, Boston, 2008.

- Roco, Mihail C. – Bainbridge, William Sims (eds.): *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. Springer, 2003.

- Savulescu, J. – Bostrom, N. (eds.): *Enhancement of Human Beings*. Oxford University Press, Oxford, 2007.