

A MÁGNESSÉG ÉLETTANI HATÁSAI

Hraskó Gábor

informatikus, biológus, tudományos újságíró
gabor@hrasko.com

Mágnesesmező-hiány szindróma, mágneses egészségjavító eszközök, galambok mágneses iránytűje, levesteknősök mágnes térképe, legelő tehenek irányultsága a mágneses erővonalak mentén, rejtélyes hatodik mágneses érzék. Megannyi izgalmas hír a médiából az elmúlt évtized során. Ezeket olvasva az ember érzése, hogy a földi mágneses mezőnek meghatározó szerepe van az élővilágra, a biológiai folyamatokra.

Úgy tűnik azonban, hogy a kép közel sem ennyire tiszta. A fizikai elvek ismeretében nem igazán várjuk, hogy a Föld igen gyenge, és élettani időskálán mérve állandó mágneses tere a biológiai folyamatokra hatást gyakoroljon. Igencsak speciálisak azok az esetek, ahol elvileg elképzelhetőnek tartjuk, hogy a mágneses mező befolyásolja a biofizikai, biokémiai reakciókat. És még ezekben az esetekben is kérdéses, hogy e kölcsönhatás valójában releváns-e, hogy evolúciós szempontból szelekciós hatásként jelentkezhettek, és ezáltal speciális megoldások kialakulásához vezetett volna.

Itt van hát egy gyakorlatilag ismeretlen és nem igazán plauzibilis elméleti háttér, és számos, de gyakran nem egy irányba mutató, közel sem egységes benyomást keltő viselkedési és biofizikai kísérleti eredmény. Ez az a szituáció, amikor nagyon fontos mind a szellemi nyitottság, mind a kellő szkepticizmus!

Történelmi háttér

A mágneses jelenségek már a középkor előtt is elbűvölték az embereket, és gyakran amulettként használták a természetes mágneses anyagokat. A 16. században a híres orvos, asztrológus, alkimista *Paracelsus* epilepszia, hasmenés és vérzések kezelésére alkalmazott mágneseket. A 18. században *Franz Mesmer* drámai gyógyító szeánszok keretében mágnessel kezelt vizet itatott pácienseivel. A mágnesség jelenségét ő az életerővel hozta kapcsolatba. 1785-ben *XVI. Lajos* bizottságot állított fel, hogy kivizsgálta Mesmer állításait. A *Benjamin Franklin*, *Antoine Lavoisier-t* és *Joseph-Ignace Guillotint* is tagjai közt tudható bizottság az egyik első ismert vak, placebo-kontrollált kísérletet hajtotta végre. A páciensek egy részével mágnessel kezelt vizet itattak, míg a másik csoport tiszta vizet kapott úgy, hogy az alanyok nem tudtak a csoportbesorolásról. Az eredmény cáfolta Mesmer elméletét, és egyben a placebo (ebben az esetben elvárás, befolyásolás) szerepére is rámutatott.

Az 1800-as évek végén az amerikai *C. J. Thacher*, aki kiérdemelte a „mágneses átverések királya” címet, postán küldött katalógusaiban mágneses betétekkel ellátott ruhákat ajánlott mindenfajta betegség megelőzése céljából. A 20. században a technológia fejlődésével a Thacher korában használtaknál nagyságren-

dekkel erősebb mágnesek kialakítására nyílt lehetőség. Nem meglepő, hogy a 90-es években – immár gyakran a *multilevel marketing* formát kihasználva – újra fellendült a „gyógyító” mágnesek, karperecek, nyakláncok, matracok piaca. Ma az interneten a párezer forintos mágneses ékszertől a több százezer forintos matracig mindenféle termék kapható.

Mindentől függetlenül a 20. század második felében elkezdtek gyűlni a megfigyelési adatok, amelyek azt látszottak igazolni, hogy az élővilág legkülönfélébb csoportjaiban megjelenik a földi mágneses mező érzékelésének képessége. A téma természeténél fogva a gyógyászati alkalmazásoktól eltérően ez a kérdéskör a tudomány berkein belül marad, bár gyakran annak határait feszegeti. A mágnességgel kapcsolatos ezoterikus elképzelések („hatodik érzék”), valamint az elméleti háttér bizonytalansága a kutatásokat időnként az áltudományok területe felé sodorja. A szenzációra éhes média gyakran csábítja a kutatókat arra, hogy kezdeti eredményeiket, hipotéziseiket bizonyítékként mutassák be. Még a tudományos publikációkat olvasva is kényelmetlen bizonytalanság fogja el a témakört feldolgozó elemzőt. Akár ugyanaz a szakértő egyik cikkében kész tényként hivatkozik egyes elképzelésekre, miközben a másikon készséggel ismeri el, hogy a megfigyelések, hipotézisek még korántsem álltak össze egységes elméletté. A terület kétségkívül megérdemli a figyelmet, a nyitottságot, de számítani lehet arra, hogy már viszonylag megalapozottnak tekintett tények is könnyen visszaeshetnek a hipotézis kategóriába egy-egy újabb megfigyelés fényében.

A mágneses mező érzékelése

Az emberiség már háromezer éve használja a földi mágneses mezőt navigáció céljára az

iránytű segítségével. Természetesként merül fel a kérdés, hogy az állatok vajon szintén képesek-e a mágneses mező irányát, erősségét érzékelni, és ezt az információt a tájékozódásukban használni. A kérdéskör több oldalról vizsgálható:

- Laboratóriumi körülmények közt igazolható-e, hogy az állatok viselkedésére hatással van a kísérletileg kontrollálható mágneses mező? Ha igen, kapcsolatba hozható-e ez a tájékozódással?
- Természetes körülmények közt igazolható-e, hogy a mágneses tér megzavarása (például statikus mágnessel) tájékozódási problémát okoz?
- Ismerünk-e olyan fizikai-kémiai mechanizmusokat, amelyek az érzékelés alapjául szolgálhatnak?
- Ismerünk-e olyan szerveket, amelyek a feltételezett mechanizmusok segítségével legalább elvileg képesek lehetnek a mágneses mező tulajdonságainak érzékelésére?
- Kimutatható-e, hogy a kísérletben részt vevő állatok agytevékenységére hatással van a mágneses tér változtatása? Kapcsolatba hozhatók-e ezek az agyterületek a navigációs képességekkel?
- Kimutathatók-e olyan idegrendszeri útvonalak, amelyek a feltételezett érzékszerveket a valószínűsíthető agyi területekkel összekapcsolják?

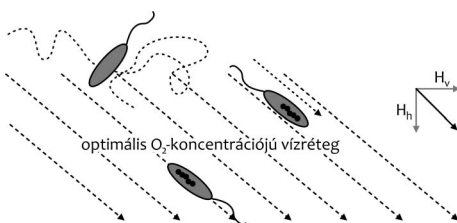
Mára eljutottunk oda, hogy mindegyik felsorolt kérdéskörre vannak legalább valószínűsíthető pozitív válaszok, ám a teljes kép még egyáltalán nem tiszta, és meglepetésekre bármilyen irányban számítani lehet.

Laboratóriumi körülmények között több állatfaj esetében kimutattak a mágneses mező irányától függő viselkedési mintázatokat. Az ún. magnetotaktikus baktériumok – a kifejezés nem egységes taxonómiai csoportot

jelöl – olyan egysejtűek, amelyekre elég egyértelműen hat a Föld mágneses tere, és amelyek esetében a mágneses mező iránya által befolyásolt mozgást, azaz *magnetotaxist* is kimutattak (Blakemore, 1975). Úgy vélik, hogy a baktérium számára optimális oxigén-koncentrációjú vékony vízréteg megtalálásában a véletlen bolyongásnál (random walk) jobb stratégia lehet az egyenes vonalú haladás, és ehhez nyújthat segítséget a mágneses erővonalak követése (Frankel et al., 1997) (1. ábra).

Vagy húsz madárfaj, kilenc rovarfaj, öt rák, négy csontoshal, néhány emlős, hüllő, kételtű, egy-egy cápa- és csigafaj esetén demonstráltak hasonló viselkedést (Wiltschko – Wiltschko, 2005), és ezek a számok évről évre növekednek. A kísérletek során általában az állatok preferált mozgási irányát vizsgálták természetes, illetve mesterségesen módosított mágneses mezőben. Több esetben igazolták, hogy a mágneses mező csak adott frekvenciatartományba eső fény jelenlétében befolyásolta a viselkedést.

A földi mágneses mező tulajdonságai (horizontális irány, inklináció, erősség) helyről helyre változnak, az adott területre jellemzők. Megfelelő magnetikus érzékszerv segítségével lehetővé válhat a GPS-hez hasonló helymeghatározás, természetesen a GPS-nél sokkal



1. ábra • Mágneses erővonalak alapján történő iránytartás a magnetotaktikus baktériumok kedvező oxigénkoncentrációjú vízréteget kereső mozgása során

kevésbé pontosan (Lohmann et al., 2007). Az Atlanti-óceánban is honos közönséges levesteknős (*Chelonia mydas*) és az amerikai langusza (*Panulirus argus*) laborbeli példányainak mozgását vizsgálták élőhelyük távoli pontjaira jellemző, mesterségesen módosított mágneses mezőben. Az egyedek tipikusan olyan irányban mozogtak, amely az adott vonulási útvonalpontra volt jellemző (2. ábra). Ez azt sugallja, hogy ezekben a fajokban kialakult a vándorlási területükön mérhető mágneses mező jellemzőinek valamiféle agyi reprezentációja (Cain et al., 2005).

Természetes körülmények közt jóval kevesebb hasonló kísérletet végeztek. Egyes kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a levesteknősök vándorlását vagy a postagalambok hazatalálását a testükre helyezett állandó mágnesek megzavarhatják, míg más kutatók ugyanezt nem igazolják.

Néha az ember nem tudja, hogyan is értékeljen bizonyos munkákat. Német és cseh kutatók a *Google Earth* térképen több mint 11 ezer legelésző szarvasmarha és szarvas pozícióját megvizsgálva azt a konklúziót vonták le, hogy az állatok előszeretettel fordulnak a mágneses erővonalak irányába (Begall et al., 2008). Más kutatóknak nem sikerült ezeket az eredményeket reprodukálniuk, de az eredeti kutatás szerzői kritikával és újabb pozitív adatokkal vágtak vissza. Később ugyanez a kutatócsoport úgy találta, hogy a rókák egérvadászatkor északkeleti irányban ugranak rá a zsákmányra. Egy évvel ezután a cseh hagyományos karácsonyi vásáron 14 537 ponty testhelyzetét mérték fel a vásári halastartályokban, és azt tapasztalták, hogy a halak előszeretettel észak-déli irányultságot vettek fel. A kutatások formailag korrektek, az eredmények statisztikailag szignifikánsak, mégis mintha valami nem lenne velük rendben.



2. ábra • *Chelonia mydas* mozgásiránya a laboratóriumban a vonulási terület három különböző pontjára jellemzően beállított mesterséges mágneses mező hatására (Cain et al., 2005 alapján)

Érdekeség: egyes országokban gyakran nyeletnek a szarvasmarhákkal körülbelül egy cm széles és nyolc cm hosszúságú mágnesrudakat (ún. *cow magnet*) abból a célból, hogy a legelészés közben lenyelt szöveget, drótdarabokat „megkössék”, így megakadályozzák, hogy azok a gyomor falát megsértve betegségeket okozzanak. Nem gondoljuk azonban, hogy ezeknek a mágneseknek közük lenne a fentebb említett kutatási eredményekhez.

Háttérmechanizmus

Az elmúlt évtizedekben háromféle elvi alpmechanizmust is sikerült felvázolni, amelyek segítségével élőlények képesek lehetnek a földi mágneses mező tulajdonságainak érzékelésére. Egyik esetben sem sikerült azonban még kétséget kizárólag bizonyítani, hogy ilyen alapon működő érzékszervek ténylegesen léteznek, és hogy az állatok számára tájékozódási információt nyújtanak.

Az állatok szervezetében fellelhetők olyan sejtek, sejtalkotók, amelyek ferrimágneses tartalmú kristályos anyagokat, általában

magnetitet (Fe_3O_4), ritkábban greigitet (Fe_2S_3) tartalmaznak. A magnetotaktikus baktériumok sejtjében kimutattak ilyen párányi ferrimágneses kristályokat, amelyek gyakran fonalas struktúrába szerveződnek. Egy ilyen sejtre a statikus mágneses mező forgatónyomatékot fejt ki, amely akkor válik nullává, amikor a sejt a mágneses erővonalakkal párhuzamosan áll be. Ez egy passzív folyamat, amely természetesen elpusztult baktériumokkal is működik. Megfigyelték azonban, hogy némelyik baktériumfaj a mágneses erővonalak mentén mozog, azaz aktív magnetotaxist mutat. Magasabb rendű állatfajok sejtjeiben is előfordul magnetit olyan komplexek formájában, mint például a hemosziderit. Ez sokszor a hemoglobinnal kapcsolatos, és különösen gyakori egyes makrofág sejtekben. Több modell létezik arra, hogy ilyen ferrimágneses szemcsék receptorsejtjeiben hogyan tudnának ioncsatornák szabályozása révén hatni a sejt biokémiai folyamataira, vagy idegi impulzusok kiváltására, de ezek egyelőre csak hipotézisek.

Elsősorban a cápák és rájak rendszertani alsztályában (*Elasmobranchii*) fordulnak elő olyan fajok, amelyek képesek az elektromos mező irányát és erősségét érzékelni. Ha egy cápa a mágneses erővonalakkal nem párhuzamosan úszik, akkor testfelületén az elektromos indukció elvének megfelelően a mágneses erővonalakra merőlegesen töltésvándorlás, töltésszétválás indul meg. Az újabb kutatások szerint az így generált elektromos mező elegendő nagyságú lehet ahhoz, hogy az állat azt érzékelhesse.

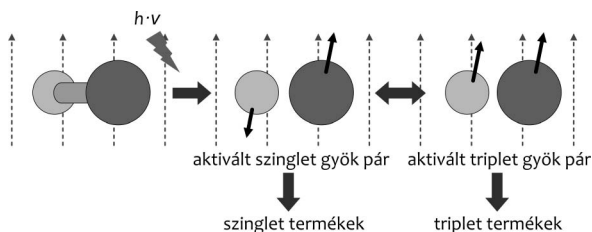
A harmadik feltételezett hatásmechanizmus azon alapul, hogy szabadgyök-pár képződésével járó kémiai folyamat után a kialakuló rekombinációs egyensúlyt és ezen keresztül a keletkezett végtermékek arányát befolyásolhatja a környező statikus mágneses mező jelenléte (3. ábra). Ez a hatás igazolt, amikor a mágneses mező erős. A földi mágneses mező azonban olyan gyenge, hogy a hatást teljesen elfedhetik a hat nagyságrenddel nagyobb energiájú termikus folyamatok. Biológiai rendszerekben a kriptokróm fehérjék jöhetnek szóba ebből a szempontból. Ezekben általában fény hatására alakulnak ki szabadgyök-párok. Ilyen fehérjék megfelelően rendezett, irányult struktúrákban gerinctelen és gerinces állatok szemében is előfordulnak. A vizsgált hipotézis magyarázhatja

azt a gyakori megfigyelést, hogy a mágneses mező csak adott frekvenciatartományba eső fény jelenlétében befolyásolja a kísérleti egyedek viselkedését. Egy ilyen receptor a mágneses mező erősségét és irányát lenne képes mérni, de a mező polarizációját (azaz az észak–dél megkülönböztetést) nem. Érdekes belegondolni, hogy egy ilyen állat valamilyen formában „látja” a mágneses mező tulajdonságait. Azok mintegy szuperponálva jelenhetnek meg a látott képbe keverve.

Érzékszervek, idegrendszer

Mind a mai napig nem sikerült egyértelműen azonosítani olyan szervet a vizsgált állatokban, amely a mágneses mezőt érzékeli. Ellentétben a legtöbb ingerrel, a mágneses mező számára nem akadály a testfelszín, tehát egy ilyen szerv akár a test mélyén is kialakulhat. Ugyanígy az sem lehetetlen, hogy a mágneses mezőt detektáló sejtek nem hoznak létre kompakt szervet, hanem diffúz módon oszlanak el a szervezetben. Elképzelhető, hogy az érzékeléshez szükséges komponensek csupán nehezen felismerhető sejszervecskék, sejtalkotók.

Általánosan elfogadott hipotézis, hogy egyes madarak csőrében a háromsztrátú ideg Gasser-dúcában (*ganglion semilunare*) található magnetittrészecskéket tartalmazó idegsejtek, amelyek érzékelni képesek a mágneses



3. ábra • A statikus mágneses mező (függőleges nyilakkal jelölve) befolyásolja a fény hatására kialakuló aktivált gyökpárok szinglet–triplet változatának arányát, így az ezekből kialakuló további termékek mennyiségét is.

mezőt. Az elmúlt években vörösbegyekkel (*Erethacus rubecula*) végzett kísérletekben a háromosztatú ideg agytörzsi érzékelő régióiban emelkedett idegi aktivitást mutattak ki, amikor a madarat félpercenként változó mágneses mezőbe helyezték. A kontrollként megfigyelt agyi régiókban nem találtak ilyen aktivitásnövekedést, és akkor sem, ha a háromosztatú ideget átvágták (Heyers et al., 2007). Az elméletek bizonytalanságát mutatja azonban egy újabb kutatás, amely szerint a galambok csőrében található magnetit szemcsékben gazdag sejtek nem is neuronok, hanem makrofágok, így nem lehet közülük a mágneses mező érzékeléséhez (Treiber et al., 2012).

A szabadgyök-pár hipotézist támasztják alá az ecetmuslicával végzett következő kísérletek. Az ecetmuslica cirkadián ritmusának (napi élettani ritmus) meghatározásában jelentős szerepet játszanak a szem sejtjeiben kifejeződő kék-UV-érzékeny kriptokróm fehérjék. Kutatók kimutatták, hogy labirintusos útvonalválasztó kísérletekben az ecetmuslicák kondicionálhatók a mágneses mező segítségével. Kék fény hiányában vagy genetikai okok miatt kriptokróm-hiányos változatokban a kondicionálás nem működött (Gegear et al., 2008). A gerincesekben a kriptokróm fehérjék a retinában találhatóak. Úgy tűnik, hogy a kriptokrómot tartalmazó retinasejtek aktívak, amikor laboratóriumi kísérletek során a madarak mágneses navigációs feladatokat hajtanak végre. Ezekben a kísérletekben, amikor a vörösbegynek semmi más lehetősége nem volt tájékozódásra, mint a természetes mágneses mező, azt tapasztalták, hogy a madár jobb szemének lefedése megzavarja a tájékozódást, a bal szem lefedése azonban nem. Ugyancsak megzavarta a madarat a rádiófrekvenciás zaj, ami arra utal, hogy az érzékelés a szabadgyök-pár mechanizmuson

alapul, a magnetit aligha játszik benne szerepet (Stapput et al., 2010).

Laikus körökben is szenzációt keltett az a kísérlet, amelyben kriptokróm-hiányos ecetmuslicába az egyik emberi kriptokrómfehérje-változat génjét illesztették be génmérnöki módszerrel, és kimutatták, hogy ezzel helyreállt a muslica mágneses mezőt érzékelő képessége. Ebből arra lehet következtetni, hogy az emberi kriptokróm fényérzékeny reakcióját is befolyásolhatja a mágneses mező. Humán kísérletek utalnak arra, hogy a földmágneses mező gyenge, de talán még kimutatható irányfüggő hatással bír az emberi szem fényérzékenységre (Thoss et al., 2002). Azonban azokat a szórványos humán viselkedésbiológiai kísérleti eredményeket, amelyek azt sugallják, hogy létezik egy nem vizuális, mágneses érzékelésen alapuló navigációs képesség, általában nem fogadják el.

Mágneses tér és egészség

Elég összepárosítani azt a tényt, hogy a földmágneses mező erőssége az elmúlt 150 év alatt néhány százalékkal csökkent (néhány évezred alatt talán 40%-kal is) azzal a nem igazolt, de több ezer éves elképzeléssel, hogy a mesterséges mágneses mező valamiféleképpen gyógyító, egészségmegőrző hatású, és máris kész a konklúzió: a természetes mágneses mező hiánya egészségi problémákat okoz (Nakagawa, 1976). A feltételezett „mágnesesmező-hiány szindróma” (*magnetic field deficiency syndrome*) tünetek széles csoportjára adna magyarázatot. Mindehhez hozzátartozik az a városi legenda, amely szerint az első hosszabb útutazások után a NASA űrhajósai fáradékonyságra és egyéb tünetekre panaszkodtak, amelyeket az okozott, hogy a Föld körül keringő űrhajón nem hatott rájuk a természetes földmágneses mező. Azonban a körülbelül 400 km maga-

san keringő Nemzetközi Űrállomáson a földi mágneses mező erőssége csak 6–8%-kal kisebb, mint a földfelszínen. A NASA ugyan ténylegesen vizsgálja, hogy hogyan lehetne erős mágneseket alkalmazni a jövő űrhajóin, de nem azért, mert az űrhajósok szervezetének a mágneses mező energiájára szükségük lenne. Az elképzelés szerint a földi mágneses mezőből majdan eltávolodó űrhajóban az űrhajósokat és a műszereket mesterséges mágneses védőernyő létrehozásával óvnák a nagy energiájú kozmikus sugárzástól.

Szintén elterjedt nézet, hogy a statikus mágnes általában serkenti a véráramlást, hogy vonzza a vastartalmú hemoglobin-molekulákat. Azonban a hemoglobinban lévő vas nem ferromágneses tulajdonságú, a mágnes nem fejt ki ilyen módon lényeges hatást a vörösvértestekre. Talán inkább a Hall-effektus (mágneses térbe helyezett áramvezető két oldalán fellépő feszültségkülönbség) jöhetne itt szóba. A mágneses mezőben az áramló vérben oldott ionokra Lorenz-erő hat, eltéríti azokat, így az ér két oldala közt a mágneses mezőre merőlegesen feszültségkülönbség alakulhatna ki. A megfelelő elméleti számításokat elvégezve azonban kitűnik, hogy ez a hatás is elhanyagolható. Nem csoda, hogy az ilyen irányú célzott kísérletek sem voltak képesek egyértelmű hatást kimutatni (Ramey, 1998).

Egészen más a helyzet időben változó mágneses térben. Több esetben itt is vitatottak a kísérleti, klinikai eredmények, de ettől eltekintve ilyenkor várhatóan közvetetten nem is a mágneses mező hatásával, hanem az általa kiváltott elektromos hatásokkal kell számolni. Ez nem témája a jelen tanulmánynak, ezért az ilyen behatásokkal csak érintőlegesen foglalkozunk.

Ma már nem elképzelhetetlen, hogy valaki a 25–60 μT erősségű földmágneses mezőnél

akár százezerszer erősebb statikus mágneses mezővel találkozjon. Az alumínium előállítása vagy a kőso ipari feldolgozása, elektrolízise során 20 mT, MRI-kezelés során akár 1–6 T erősségű mágneses mező hathat a dolgozókra, páciensekre. Az MRI alkalmazása során ráadásul az erős statikus mező mellett 100–5000 Hz frekvenciájú, ún. gradiens mágneses mezőt, valamint gerjesztő rádiófrekvenciás jelet is használnak. Még ilyen körülmények között sem tapasztaltak egyértelműen tartós káros hatásokat, bár egyelőre kevés ilyen felmérés történt, és ezek esetében is nehéz a mágneses mező esetleges hatását elválasztani az egyéb tényezőktől.

Az átmeneti, potenciálisan veszélyes hatások miatt azonban ilyen körülmények között nem hunyhatunk szemet az esetleges hosszú távú károsodások lehetősége felett. Hivatalos szervek által több összefoglaló tanulmány is készült az elmúlt években az állandó mágneses mezőkkel kapcsolatos kutatási eredményekről, egészségügyi vonatkozásokról. A legátfogóbbak talán a brit Közegészségügyi Hivatal és az Egészségügyi Világszervezet dokumentumai (WHO, 2006; HPA, 2008). Ezek az egészség és a mágneses mező kapcsolatának minden aspektusával foglalkoznak, beleértve azt, hogy mit tudunk a hatásmechanizmusról, a természetes és mesterséges mezők előfordulásáról, tulajdonságairól, az *in vitro*, állati és humán vizsgálatokról és a jogi szabályzásról.

In vitro sejteken végzett kutatások alapján 0,2 T – ez a természetes mágneses mező közel tízezerszerese – alatt nem lehetett egyértelmű biológiai hatást kimutatni. Ugyan szép számmal vannak ilyen hatást demonstráló megfigyelések, de ezek általában nem reprodukálhatók, és nem adnak egységes képet. 0,2–16,7 T között megfigyelték egyes makromoleku-

lák, sejtek orientációját a mágneses erővonalak irányába, de az egyéb hatások léte kétséges. Vannak bizonyítékok arra nézve, hogy egyes sejtfunkciók érintettek a géneexpresszió és a sejtek közti kommunikáció változása miatt, de nem egyértelmű, hogy ezt ténylegesen a mágneses mező közvetlen hatása okozta-e. A bizonyítékok összessége szintén nem igazolja a közvetlen genotoxikus hatást, noha utalnak jelek arra, hogy az erős mágneses tér károsan befolyásolhatja a sejt védekezési mechanizmusait, és ez közvetve érzékenyebbé teheti a sejteket egyéb káros hatásokkal szemben.

A humán vizsgálatok összessége nem igazolja az idegi és kognitív folyamatokra kifejtett pozitív vagy negatív hatást. Az agytevékenység statikus mágneses mező által kiváltott megváltozására vonatkozó EEG-vizsgálatok nem meggyőzőek. A keringési rendszerben – elsősorban az aorta véráramlásában és a szív ingerületkiváltó funkciójában – esetleg számíthatunk valamilyen hatásra. Azonban a tanulmányok metodológiaiilag elég gyengék, főleg a placebókontroll és a vakság tekintetében. Egyértelműen pozitívak azonban az érzékszervekre vonatkozó kísérleti eredmények. Az erős statikus mágneses mező hatásai szédülés, kisebb izomrángások, csiklandós érzés, felvillanó fények, fémés íz érzékelése formájában jelentkeznek, amelyek az erős mágneses mezőtől eltávolodva elmúlnak. Ezeket valószínűleg a statikus mágneses mezőben mozgó emberi test vagy testrészt érzékszerveiben indukált véletlenszerű áram váltja ki. MRI használata közben a test mozgása helyett a készülék változó gradiensmező-komponense is kiválthatja ugyanezt.

Az epidemiológiai tanulmányok, kontrollált klinikai vizsgálatok és esettanulmányok összességükben nem jeleznek hosszú távú káros mellékhatásokat, bár a vizsgálatok sta-

tisztikai ereje általában gyenge, s a vizsgálatok metodológiaiilag is hagynak kívánnivalót maguk után. Az elektrolízist végző üzemekben a vizsgálatok jeleznek gyengén megemelkedett rizikót a leukémia kialakulására, de itt nyilvánvalóan nehéz az egyéb ipari hatások elkülönítése az okok meghatározásakor. Különösen figyelemre méltó a páciensek és az egészségügyi dolgozók halálozási és rákos megbetegedési mutatóinak felderítésére irányuló epidemiológiai tanulmányok hiánya az MRI-vizsgálatokkal kapcsolatban. A jelek csupán arra mutatnak, hogy az ilyen eszközöket használó egészségügyi alkalmazottak és kutatók körében gyakoribbak a szédülésre és fémés íz érzésére vonatkozó panaszok.

Összefoglalás

A mágneses mező élettani hatásaira vonatkozó kutatások különösen abból a szempontból tanulságosak, hogy hogyan is kellene a tudományban a bizonyíték fogalmát értelmezni. Észre kell venni, hogy a bizonyítékoknak (*evidence*) különböző fokozatai léteznek. A pozitív eredményű kísérletek, a statisztikailag szignifikáns kutatási eredmények több-kevesebb mértékben járulnak hozzá egy hipotézis igazolásához. Ilyen esetben, amikor az elméleti háttér bizonytalan, a vizsgálati eredmények nem átütőek, nem igazán mutatnak egy irányba, mindig számíthatunk arra, hogy egy új megfigyelés megcáfolja az egyes régebbi kutatási eredményeket, hipotéziseket, vagy akár azok nagyobb csoportját is. Nem elképzelhetetlen, hogy a nagyhírű szaklapokban az erről a témáról megjelent tanulmányok jó részéről kiderül majd, hogy megállapításaik nem állják meg a helyüket (Ioannidis, 2005). Nem az egyes eredmények, hanem az elméleti és kísérleti kutatások összessége alapján kell kialakítanunk az álláspontunkat.

Mindezek alapján kijelenthetjük, hogy valójában igen keveset tudunk a földi mágneses mező érzékeléséről az élő szervezetek által, illetve a nagyobb energiájú mesterséges mezők egészségügyi hatásairól. Elég biztosnak tekinthető azonban, hogy a természetes mező időbeli és térbeli változásai nem okoznak megbetegedéseket. Ugyanígy az elméleti és

kutatási eredmények alapján nem számíthatunk arra sem, hogy a statikus mágneses mezőt gerjesztő eszközök alkalmasak lehetnének terápiás és betegségmegelőző célokra.

Kulcsszavak: *mágnesség, tájékozódás, érzékelés, mezmérismus, magnetotaxis, madárvonulás, kriptokrómok*

IRODALOM

- Begall, Sabine – Červený, J. – Neef, J. et al. (2008): Magnetic Alignment in Grazing and Resting Cattle and Deer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA – PNAS*. 105, 44, 13451–13455. • <http://www.pnas.org/content/105/36/13451.full>
- Blakemore Richard (1975): Magnetotactic Bacteria. *Science*. 190, 4212, 377–379. DOI: 10.1126/science.170679 • <http://tinyurl.com/lloa25p>
- Cain, Shaun D. – Boles, L. C. – Wang, J. H. – Lohmann, K. J. (2005): Magnetic Orientation and Navigation in Marine Turtles, Lobsters, and Molluscs: Concepts and Conundrums. *Integrative and Comparative Biology*. 45, 3, 539–546. doi:10.1093/icb/45.3.539 • <http://icb.oxfordjournals.org/content/45/3/539.full>
- Frankel, Richard B. – Bazylinski, D. A. – Johnson, M. S. – Taylor, B. L. (1997): Magneto-aerotaxis in Marine Coccoid Bacteria. *Biophysical Journal*. 73, 2, 994–1000. • <http://tinyurl.com/mc7hvxj>
- Gegear, Robert J. – Casselman, A. – Waddell, S. – Repert S. M. (2008): Cryptochrome Mediates Light-dependent Magnetosensitivity in *Drosophila*. *Nature*. 454, 7207, 1014–1018. doi:10.1038/nature07183
- Heyers, Dominik – Manns, M. – Luksch, H. et al. (2007): A Visual Pathway Links Brain Structures Active during Magnetic Compass Orientation in Migratory Birds. *PLoS ONE*. 9 DOI:10.1371/journal.pone.0000937 • <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0000937>
- HPA (2008): Static Magnetic Fields (RCE-6). HPA Advisory Group on Non-ionising Radiation. Health Protection Agency. ISBN: 978-0-85951-616-7. • http://www.hpa.org.uk/web/HPAweb&HPAwebStandard/HPAweb_C/1211184025666
- Ioannidis, John P. A. (2005): Why Most Published Research Findings Are False. *PLoS Medicine*. 2, 8, e124. DOI: 10.1371/journal.pmed.0020124 • <http://tinyurl.com/c94hl6>
- Lohmann, Kenneth J. – Lohmann, C. M. F. – Putman, N. F. (2007): Magnetic Maps in Animals: Nature's GPS. *The Journal of Experimental Biology*. 210, 3697–3705. doi: 10.1242/jeb.001313 • <http://jeb.biologists.org/content/210/21/3697.full>
- Nakagawa, Kyoichi (1976): Magnetic Field Deficiency Syndrome and Magnetic Treatment. *Japan Medical Journal*. 2745, • angolul <http://4data.ca/ottawa/archive/health/biomagnetic.html>
- Ramey, David W. (1998): Magnetic and Electromagnetic Therapy. *Scientific Review of Alternative Medicine*. 2, 1, 13–19. • <http://www.skeptically.org/quackery/id4.html>
- Stapput, Katrin – Güntürkün, O. – Hoffmann, K. P. (2010): Magnetoreception of Directional Information in Birds Requires Nondegraded Vision. *Current Biology*. 20, 1259–1262. DOI: 10.1016/j.cub.2010.05.070 • <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982210007797>
- Thoss, Franz – Bartsch, B. – Tellschaft, D. – Thoss, D. (2002): The Light Sensitivity of Human Visual System Depends on the Direction of View. *Journal of Comparative Physiology*. A 188, 235–237. • <http://link.springer.com/article/10.1007/s00359-002-0300-3>
- Treiber, Christopher Daniel – Salzer, M. C. – Riegler, J. et al. (2012): Clusters of Iron-rich Cells in the Upper Beak of Pigeons Are Macrophages Not Magnetosensitive Neurons. *Nature*. 484, 367–371. doi: 10.1038/nature11046
- WHO (2006): Static Fields – Environmental Health Criteria Monograph No.232. World Health Organization, Geneva • <http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/ehcstatic/en/>
- Wiltschko, Wolfgang – Wiltschko, Roswitha (2005): Magnetic Orientation and Magnetoreception in Birds and Other Animals. *Journal of Comparative Physiology A*. 191, 675–693. DOI 10.1007/s00359-005-0627-7 • <http://tinyurl.com/lhc2cdv>