



AGYI KÉPALKOTÁS MINT VIZUÁLIS ALAPÚ KOGNITÍV MODELL

SZÓKE Henrik¹, HEGYI Gabriella², CSÁSZÁR Noémi³, VAS József Pál⁴, KAPÓCS Gábor⁵, BÓKKON István^{3, 6}

¹Pécsi Tudományegyetem, Egészségtudományi Kar, Egészségtudományi Doktori Iskola, Pécs

²Pécsi Tudományegyetem, Egészségtudományi Kar, Komplementer Medicina Tanszék, Pécs

³Pszichoszomatikus Ambulancia, Budapest

⁴Szent Ferenc Kórház, Pszichoterápiás Rehabilitációs Osztály, Miskolc

⁵Pszichiátriai Betegek Otthona Szentgotthárd, Szentgotthárd

⁶Vision Research Institute, Neuroscience Department, Lowell, MA 01854 USA



Hungarian

<http://dx.doi.org/10.18071/isz.69.E005>

www.elitmed.hu

A VISUAL BASED PROTO-CONSCIOUSNESS MODEL OF HUMAN THINKING

Szóke H, MD; Hegyi G, MD, PHD; Császár N, PHD;

Vas JP, MD; Kapócs G, MD; Bókkon I

Ideggogy Sz 2016;69(1–2):E005–E013.

Háttér és célkitűzés – Magyar nyelven először mutatjuk be a képi reprezentációs modellről folytatott sokéves kutatási sorozatunk eredményeit, egyszerűsített formában és több új gondolattal. Célunk, hogy minél szélesebb tudományos kör számára elérhetővé tegyük ezt az új modellt, és ennek vélhető jövőbeli fontosságát.

Módszer – Saját tudományos publikációk, szelektív irodalomlemezés és előzetes kísérletek.

Eredmények – Számos jelentős tudományos publikációkat és előzetes kísérleteket ismertetve mutattuk be az új molekuláris képi reprezentációs modellünket arról, hogy a látás és a vizuális képzelet során az agyunk képes lehet úgynevezett belső képeket létrehozni a korai V1 retinotopikus vizuális idegsejtekben keletkező szabályozott bio-fotonokkal. Az autizmus és a savantizmus kapcsán ismertetett kutatások is támogatják azt az elképzelést, hogy a vizuális gondolkodás egészséges emberek esetén is egy lehetséges kognitív modell. Az új képi modell számos látással kapcsolatos jelenséget képes egységes molekuláris alapon modellezni.

Következtetések – Lehetséges, hogy az evolúció során kialakult egy úgynevezett vizuális proto-tudat, amely közvetlen kapcsolatban van a retinotopikus vizuális területekkel, és ami egy, a verbálislól eltérő kognitív képességgel rendelkezik. Ha beigazolódná az új modell, akkor számos látással kapcsolatos jelenséget lehet egységes molekuláris alapon modellezni, mint például a vizuális észlelés és képzelet, foszfének, és ez új utakat nyithat meg a tudomány több területén, mint például a vakok részére fejlesztett vizuális protézis, mesterséges intelligencia, agykutatás, kognitív kutatás, autizmuskutatás.

Kulcsszavak: vizuális képzelet, autizmus, biofotonok, biofizikai reprezentációs képek, vizuális gondolkodás, proto-tudat

Background and objectives – Here we present our results of many years of research on the visual (pictorial) representation model expanded with some new ideas in a simplified form. Our goal is to make available our new pictorial model for a broader scientific community and to point to its possible importance in the future.

Method – Own scientific publications, selective literature analysis and preliminary experiments.

Results – Our several scientific publications and preliminary experiments were presented outlining our new molecular visual representation model as brain might be able to generate internal images by regulated biophotons in early V1 retinotopic visual regions. We also proposed that some of symptoms and characteristics of autism and savantism may suggest that visual (pictorial) thinking might be a possible cognitive model in the case of healthy people as well. Our model can present a uniform molecular basis for many visual related phenomena.

Conclusions – It is possible that a so-called visual proto-consciousness might be developed in evolution, which is directly related to the retinotopic visual areas, and which has a different cognitive ability from verbal abilities. If our model can be exactly proved it presents a common molecular basis for various visual phenomena such as visual perception and imagination, phosphenes ect. and might open new ways in several fields of science such as visual prosthesis for the blind, artificial intelligence, visual neuroscience, cognitive and autism research.

Keywords: visual imagination, autism, biophotons, biophysical representational images, visual thinking, proto-consciousness

Levelező szerző (correspondent): BÓKKON István, Pszichoszomatikus Ambulancia;
1238 Budapest, Láng E. u. 68. Telefon: (06-30) 239-5204, fax: (06-1) 887-7917. E-mail: bokkoni@yahoo.com

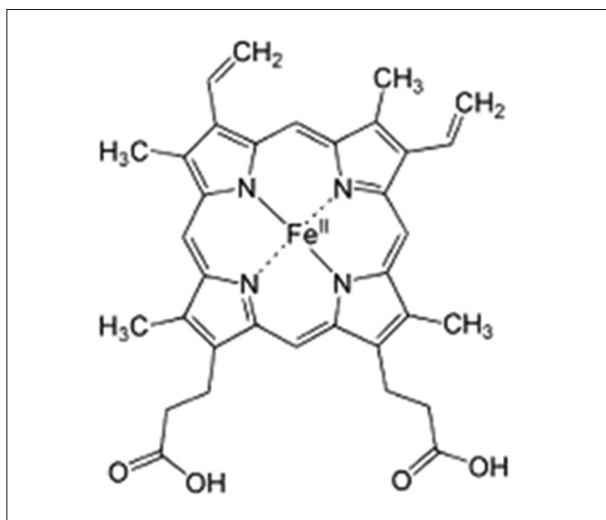
Érkezett: 2015. március 20. Elfogadva: 2015. április 29.

A 20. század 70-es évei óta folyik a vita arról, hogy a vizuális mentális képzelet propozicionális (fogalmi, Pylyshyn)¹, vagy képi (analóg, Kosslyn)² reprezentáció alapul-e.

Kosslyn felfogása szerint a *perceptuális tudás* nem kijelentések formájában, hanem *analóg reprezentációkban*, általánosan értelmezett „képekben” jelenik meg. Számos kísérlet igazolta, hogy a vizuális képzelet jelentős részben ugyanazon *retinotopikus* [V1 (striate), V2, V3, V4 (extrastriate) stb. területek] vizuális agyterületeket használja, mint a vizuális észleléskor, vagyis a látás során. Kosslyn modelljében³ a rövid idejű vizuális emlékezet analóg módon egy átmeneti *retinotopikus vizuális pufferben* (surface representation, vagy depictive representation) tárolódik – ezt nagyjából úgy képzelhetjük el, mint a munkamemória egy része, ami specifikus a vizuális reprezentációra – és itt történik az *analóg képi reprezentáció* létrehozása is.

Ebben a vizuális pufferben a vizuális észleléskor „bottom-up” (az *alacsonyabb szintű rendszerek felől a magasabb szintű agyi rendszerek felé*), és a belsőleg generált képzelet során „top-down” (*magasabb szintű agyi rendszerektől az alacsonyabb szintű rendszerek felé*) folyamatok működnek³. A hosszú távú vizuális memória nem képeket tárol, hanem a képek „összenyomott” kódokká konvertálódtak. Kosslyn hangsúlyozza, hogy nincs *homunculus* a fejünkben, hanem a képi reprezentáció értelmezését magasabb rendű agyi folyamatok végzik. Kosslyn realitásszimulációs elve³ szerint (reality simulation principle, RSP) a vizuális mentális képzelet utánozza a megfelelő külvilági eseményeket, mintha az aktuális, a valódi tárgyat látnánk.

Pylyshyn és Kosslyn modelljét *Allan Paivio* *kettsős kódolási elmélete* próbálta összeegyeztetni.



1. ábra. Hem-struktúra

Paivio szerint⁴ az információkat két elkülönült rendszer segítségével *szimultán, vizuálisan és verbálisan* is kódoljuk a tanulási folyamat során.

Mindezekhez képest merésznek hathat az az elképzelésünk, hogy a vizuális mentális képzelet nem csupán analóg természetű, hanem *tényleges belső képek keletkezhetnek* a retinotopikus vizuális neuronok által.

Tanulmányunk egy olyan *új molekuláris képi modellt* ismertet, amelyben a látás és a vizuális képzelet belső képeket alkot a *retinotopikus idegsejtekben keletkező szabályozott biofotonok* által⁵⁻⁷. E cikkünkben a tudat kérdésével nem foglalkozunk, kizárólag az elsődleges, alacsonyabb szintű V1 és V2 vizuális területek (biofizikai) képi reprezentációját tárgyaljuk. A modell interdiszciplináris jellege miatt jelen írásunk az alapmodellre koncentrál.

A képi reprezentáció filogenetikusan ősi szerepe

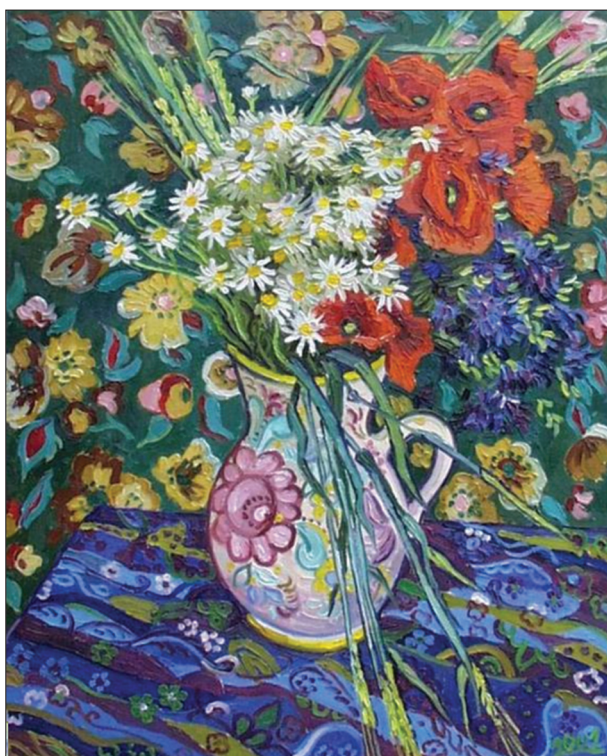
Összetett geometriai formák aligha reprezentálhatók nyelvi folyamatokkal. Például, amikor a vörös véresejtekben lévő hemmolekula (**1. ábra**) komplex kémiai képletét emlékezetből lerajzoljuk, aligha lehetséges, hogy a „hem” szó önmagában reprezentálta volna az összetett mintát. Valószínűbb, hogy a „hem” szó, mint egy nyelvi kód hozzárendelése a komplex vizuális stimulushoz iniciálja a minta előhívását a hosszú távú vizuális memóriából⁸.

Figyeljük meg *Vincent van Gogh* gyönyörű festményét, extrém részleteivel és pazar színeivel együtt (**2. ábra**). Hány szóra lenne szükségünk, hogy lefesthessük ezt a virágcsokrot újra? Ez szavakkal történő kódolás által lehetetlen.

Stephen Wiltshire ismert autista, aki kiemelkedő vizuális memóriával rendelkezik. Képes egy teljes város részletes panorámájának lerajzolására csupán egyetlen helikopteres városnézés után. Ezt a feladatot pusztán propozicionális (fogalmi, nyelvi) reprezentációval lehetetlen elvégezni¹. *Kunda* és *Goel* az autisták gondolkozását elemezve amellyel érvelnek⁹, hogy komolyabban kellene venni a vizuális gondolkodást mint lehetséges kognitív modellt.

Az állatok nyelv nélkül is képesek megvalósítani összetett vizuális reprezentációkat, például a rovarok vizuális gondolkodást használnak a navigáláshoz¹⁰.

Az emberek képesek érzékelni olyan tárgyakat és eseményeket is, amelyekre nincs megfelelő szavuk a mentális szótárunkban. Így, bár az új-guineai bennszülöttek meg tudják különböztetni a zöld színt a kék színtől, nyelvükben mégis csak egy szó van a két szín számára¹¹.



2. ábra. Vincent van Gogh Poppy Flowers című festménye

A különféle nyelvek azonos fogalmakra eltérő szavakat használnak (3. ábra). A képek tartalmát bárki képes megérteni, függetlenül a beszélt nyelvtől. Például az autó képe univerzális, míg beszélt nyelvi leírása tetszés szerint cserélgethető.

Az eidetikus képzelettel rendelkező személyek egy nézett kép eltávolítása után is sokáig képesek rendkívül részletesen és élénken feleleveníteni az előzőleg látott képet az „elme szemével”. A kognitív neurológiai és fiziológia kísérletek alapján úgy tűnik, hogy a gyermekek is eidetikus képekben gondolkodnak. Ezt a képességüket azonban elveszítik, miközben megtanulnak beszélni, olvasni és írni, így egy kép nézése közben történő verbalizációja gátolja az eidetikus memóriát¹².

Az autizmus mint egy lehetséges „ablak” az egészséges agy normálműködésének megértéséhez

Az autizmus egyes jellegzetességei, vagy a savant-szindrómás esetekben sokszor kialakuló különleges képességek alapvető összefü-

gésbe hozhatók a képi reprezentáció jelentőségével⁸.


Általánosságban az autistákra jellemző egy magasabb fokú, bár atípusos vizuális feldolgozás, amit gyakran a beszélt és az írott nyelv csökkent képessége kísér^{9, 13, 14}.

A savant-szindróma egy olyan ritka fejlődési rendellenesség, ahol az általános képességek ugyan korlátozottak, ugyanakkor egy vagy több területen kiváló képességek, vagy éleselméjűség jelentkeznek. Az autisztikus savantok IQ-ja az átlag alatt van, azaz az adott területen való kiemelkedő tehetségük IQ-független, valamint inkább a részletekre fókuszálnak¹⁵.

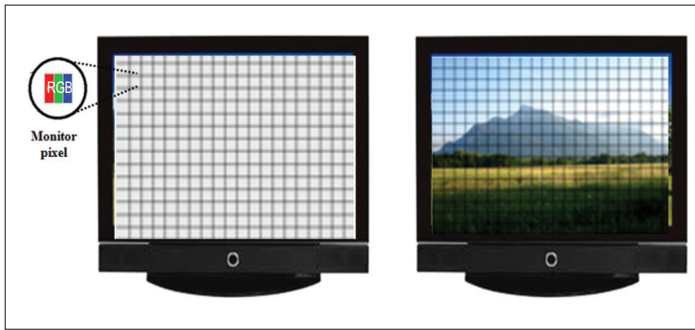
A VIZUÁLIS RENDSZER FELTÉTELEZHETŐ SPECIÁLIS SZEREPE A MULTISZENZOROS INTEGRÁCIÓBAN

Az utóbbi évtized kutatásai egyértelműen igazolták az úgynevezett *multiszenzoros integrációs információfeldolgozást*, ami azt jelenti, hogy minden érzékszervünkéből (látás, hallás, tapintás, szaglás, ízérzékelés) felvett információ folyamatosan és egyidejűleg az összes többi specifikus szenzoros agyi területekre is befut és az agy folyamatosan integrálja az összes felvett szenzoros információt¹⁶⁻¹⁹. Azaz, bármely szenzoros információ valamilyen mértékben modulálja az összes többi szenzoros információt.

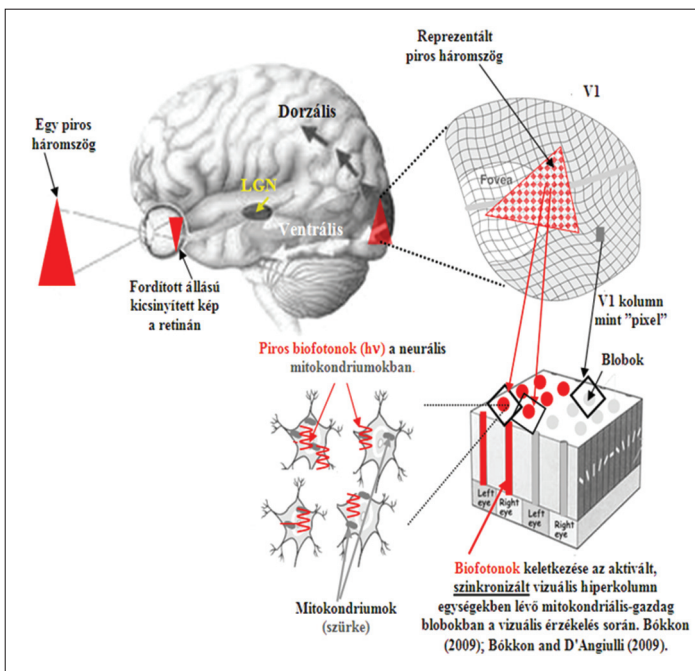
Vasconcelos és munkatársai²⁰ felvetették, hogy az elsődleges szenzoros agyi területek információ-elosztóként működnek. A kreativitás során új módon kombináljuk a külvilág belső reprezentációját, amely valószínűleg és alapvetően nem absztrakt nyelven történik, hanem főként a részletgazdag elsődleges vizuális területeken végrehajtott reprezentációk által. Baron-Cohen és munkatársai²¹ szerint az elsődleges szenzoros szint játssza a kulcsszerepet a különleges tehetségek és az autisták képességeinek kialakulásában, magába foglalva a részletekre irányuló kitűnő figyelmet és a hiperrendszerező képességet is. Pasqualotto és Proulx²² úgy véli, hogy a vizuális rendszernek speciális sze-

 <p>Képi reprezentáció</p>	<p>autó (magyar) coche (spanyol) 汽车 (kinai)</p>	<p>car (angol) АВТОМОБИЛЬ (orosz) voiture (francia)</p>
	<p>Nyelvi prezentációk</p>	

3. ábra. Az autó általános absztrakt leírása különféle nyelvek szavaival leírható, bár a képi reprezentáció univerzális



4. ábra. Tévémontor-pixelek



5. ábra. Molekuláris képi reprezentációs modell

rep jut ebben a multiszenzoros integrációban. *Petro* és munkatársai²³ fMRI-kutatásai igazolják, hogy még az alacsonyabb szintű vizuális V1 területek is részt vesznek a magasabb kognitív funkciók végzésében.

Halelamien és munkatársai²⁴ transcranialis mágneses stimulációs (TMS) kísérletei során az önkéntesekben egy adott kép bemutatása után 100 msec késéssel alkalmazott TMS-ingerlés a látott kép re-percepcióját idézte elő: az alany újra „látta” a képet. Az alanyok néha csak a képen látható tárgyak formáját „látták” újra, de több esetben az előzőleg felvillantott kép fotográfiaszerű belső újra-érzékelését „látták” a vizuális cortex ingerlése során. A vizuális percepció után részletgazdag vizuális információ őrződött meg, ami ugyan nem érte el a tudatosság szintjét, de TMS-indukcióval előhívható volt²⁵.

A VIZUÁLIS CORTEX SZEREPE A MATEMATIKAI GONDOLKODÁSBAN

A legtöbb autisztikus savant és az autisták esetén is a jobb agyfélteke felé eltolódó információfeldolgozás látható²⁶, valamint az autistáknál jellegzetes a kitűnő vizuális diszkriminációs képesség is. Mivel sok savant nem rendelkezik alapvető számtani intelligencia képességekkel²⁷, valószínűleg az említett képességek annak köszönhetőek, hogy az absztrakt koncepciók konkrét tulajdonságokra konvertálódnak (reification, tárgyiasítás)²⁷.

Feltételezhető, hogy egészséges gyermekek matematikai (numerikus reprezentáció) és vizualizációs képessége között is erős a kapcsolat^{28, 29}. *Frank* és *Barner* szerint³⁰ a mentális számológép a vizuális munkamemóriában reprezentált úgy, hogy az *abacus* oszlopokra tagolódik és mindegyik független egységként tárolódik.

Molekuláris képi reprezentációs modell

SZABADGYÖKÖK ÉS BIOFOTONOK

Az utóbbi évtizedek kutatásai egyértelműen igazolták, hogy nélkülözhetetlenek a memóriaképzéshez, a szinaptikus plaszticitáshoz és a neurotranszmitter-szabályozáshoz is^{31–35}.

Az összes ismert élő sejt típus és az idegsejtek is folyamatosan produkálnak *ultragyenge intenzitású látható tartományú biofotonokat*^{36–40}. Kísérleti adatok szerint az idegsejtekben keletkező biofotonok kibocsátása korrelál a neurális aktivitással, a neuronok depolarizációjával, az EEG-vel, a glutamát neurotranszmitter-indukciójával és az oxidatív metabolizmussal is³⁷. *Sun* és munkatársai szerint a biofotonok képesek a neuronok mentén terjedni és a neurális biofoton és neurális bioelektromos aktivitás egymástól nem független jelenségek⁴¹.

Modell: Belső képek keletkezése a szabadgyökös folyamatokból származó biofotonokkal a retinotopikus V1 területen a vizuális észlelés és képzelet során.

A következőkben ismertetett modellünk az első molekuláris mechanizmus az analóg képi reprezentációra (4. ábra).

A látás során az elnyelt fotonokat a retina *retinotopikus elektromos jelek* alakítja át, amelyek a látópályán keresztül az elsődleges vizuális (V1, striate) cortexbe érkeznek és itt szinaptikus tüzelési mintázatot indukálnak. A modellünk szerint a V1 területén a látás nem csak egy szinkronizált neuronaktivációs mintázatot hoz létre, hanem ezzel egyidejűleg ugyanezen aktivált neuronokban (5. ábra) szinkronizált biofoton-termelés is létrejön,

mivel amikor a glutamát aktiválja receptorait (NMDA), akkor ezen szignálok szabadgyökök termelését is beindítják az idegsejtekben⁴². Kísérletileg igazolták, hogy az idegsejtek biofoton-emissziója korrelál a neurális aktivitással és a glutamát neurotranszmitter-indukációjával^{37, 40}.

A biofotonok nagy része nem mérhető, mert a sejteken belül közvetlenül a keletkezésük után elnyelődnek a természetes fotonelnyelő kromofórmolekulák (porfirinek, piringyűrűk, flavinok, pirimidinyűrűk, lipidkromofórok, aromás aminosavak stb.) által⁴³. Ezért ami mérhető, az a külső sejtmembránokból származik⁴⁴. A vizuális neuronokon belül keletkezett biofotonok révén a vizuális percepció során a legalább 10^8 - 10^9 biofoton/sec intenzitás elegendő lehet a belső biofizikai kép előállításához⁴⁵.

Hubel és Wiesel⁴⁶ kutatásai alapján a vizuális cortex jellegzetes funkcionális oszlopok (*columns*) egységeiből áll, és az ugyanazon retinalis helyekhez tartozó – bár különféle stimulációs tulajdonságokra hangolt – neuronok úgynevezett *hiperoszlop* (*hypercolumn*)-egységekbe szerveződnek, középen mitochondrialis citokróm-oxidáz blobokkal (*a blobok színekre érzékeny hengeres alakú neuroncsoportok*) (5. ábra). A V1 irányokra (tájéolás) és színekre reagáló lokális kis neuroncsoportjai a mitochondrialis citokróm-oxidáz-csoportoknak felelnek meg⁴⁷.

Ha a V1 neuronok kis csoportjait – durva hasonlaltal – mint a tévémonitor „pixeljeit” (színegységei) képzeljük el (4. ábra), akkor a vizuális percepció során aktiválódott sok millió retinotopikus neuron összehangolt elektromos tüzelése során ezen neuronokban *szinkronizált biofotonok* keletkezhetnek, amelyek a külső, retinalis fotonokkal érzékelt vizuális világot a jóval gyengébb intenzitású belső biofotonokkal újraalkothatják (rereprezentálják), így egy *belső képi reprezentáció*, más néven *belső biofizikai virtuális vizuális realitás keletkezik*.

Modellünkben a belső biofotonikus képek a V1 területen keletkeznek, amelynek bizonyítottan precíz retinotopikus szerkezete van. Megjegyezzük, hogy az agyban nagyszámú kevésbé precíz vizuális retinotopikus terület is található⁴⁸, ami pusztán elektromos komputációs szempontból nem indokolt. Sőt Slotnick⁴⁹ legújabb kísérletei igazolták, hogy retinotopikus területek találhatóak a frontális és parietális cortexben is, azaz nem csak a vizuális régiók tartalmaznak retinotopikus területeket az agyban. A nagyszámú kevésbé precíz vizuális retinotopikus terület jelenléte azt sugallja, hogy a vizuális reprezentációban a retinotopikus struktúrák különleges szerepet játszanak.

Modellünkben a hosszú távú vizuális memória

– a vizuális képzeleti információ forrása – nem képekben, hanem epigenetikusan tárolódhat. Az *epigenetikus folyamatok* szerepe alapvető a neurális plaszticitás és a hosszú távú memória kialakulásában⁵⁰⁻⁵². A szinaptikus plaszticitás és a neurális hálózatok modellje egyáltalán nem mond ellent az epigenetikai modellnek, hanem inkább kiegészítik egymást. A vizuális képzelet során a hosszú távú epigenetikus vizuális memória aktiválódik, és top-down folyamatok révén lehetővé teszi, hogy a vizuális percepció során észlelt képek ismét biofotonikus képekké alakuljanak a V1 retinotopikus területeken. Ezek a képek azonban nem feltétlenül olyan szorosan geometriai alakúak, mint a valóságos vizuális világ formái, ezzel lehetővé téve, hogy tetszés szerint manipulálhassunk képzeletünkkel.

FOSZFÉNEK

Molekuláris képi modellünk indirekt bizonyításában a foszfénjelenség segíthet. Foszfénfénypontokat, fényformákat látunk, ha lágyan megnyomjuk csukott szemünket ujjunkkal (mechanikus ingerlés) vagy elektromosan/mágnesesen ingereljük a retinát, vagy közvetlen a V1 vizuális cortexet⁵³. A foszfénket láthatjuk nyitott, de csukott szemmel is, azaz a foszfénérzékeléshez nincs szükség a külső világ fotonjaira, mint a látás során, mert a foszfénfénypontok az agyban a vizuális rendszer különböző részeiben keletkezhetnek. A foszfének, a látáshoz hasonlóan, szintén *retinotopikusak*, azaz a retina adott pontján elektromosan indukált foszfén az ellenoldali félteke V1 cortex megfelelő részén fog neuronaktivációt kiváltani⁵⁴. A foszfénfényeket a retinalisan vak emberek is látják, például a V1 cortex közvetlen elektromos ingerelésekor⁵⁵. Csak azok a vakok látnak foszfénket, akiknek születésük után volt valamennyi ideig vizuális élményük⁵⁵. Ez azt sugallja, hogy a foszfénfény indukciója közvetlen kapcsolatban van a funkcionális retinotopikus területek kialakulásával, valamint hogy a vizuális áramkörök, amik a vizuális érzékeléshez szükségesek, ugyanúgy kellene a foszfénfények érzékeléséhez, ennek indukálásához. Bressloff és munkatársai⁵⁶ szerint az előzőekben említett V1 oszlopos (columnáris) funkcionális struktúrája felelős a jól reprodukálható foszfénfényekért (reprodukálható foszfénket más néven *formakonstansoknak* is hívják) és a látás során a kontúrok reprezentációjáért. A foszfének tudatos érzékeléséhez és a megfelelő éleslátáshoz a V1 és V2 korai területek szükségesek⁵⁷, valamint a vizuális képzelet befolyásolja a foszfének érzékelését⁵⁸. A legújabb fMRI kísérleteinkben kimutattuk⁵⁹, hogy retinalis betegség okozta spon-

tán foszfének képesek a vizuális cortex nagy részét aktiválni.

A tudomány a foszfénfényeket vizuális érzékelését elektromos jelenségként írja le. *Bókkon*⁵³ vetette fel először, hogy a foszfének valószínűleg a szabadgyökös folyamatokból származó biofotonoknak köszönhetőek. Azaz, a mágneses, elektromos, mechanikus ingerléskor, gyógyszerek mellékhatásaként, egyes betegségeknél stb. a vizuális rendszerben valahol lokálisan és átmenetileg megnövekedett szabadgyökökből eredő biofoton-emisszió okozza a foszfén-fényérzékenységet. A biofotonok okozta foszfénfény akkor tudatosulhat, mikor a biofotonok száma (azaz lokális intenzitása a közeli neuronokban) eléri egy adott küszöbértéket, és ekkor az agy úgy értelmezi a retinalis vagy a retinotopikus neuronok biofotonjait, mint ha azok a külső vizuális világból származnának látás során.

Taylor és munkatársai⁶⁰ szerint a tudatos foszfénérzékelés és ehhez kapcsolódó foszfénindukált neuronpotenciálok hasonlítanak a tudatos vizuális érzékeléshez (látás) és az ahhoz kapcsolódó elektrofiziológiai folyamatokhoz. Ez azt jelzi, hogy a foszfénérzékelés feldolgozása nagyon hasonlít egy fordított látás sorrendhez⁶¹. Továbbá a vizuális képzelet befolyásolja a foszfének TMS általi indukálását⁵⁸, ami azt sugallja, hogy a vizuális képzelet és a belső foszfénérzékelés közvetlen funkcionális kapcsolatban vannak.

RETINALIS FOSZFÉNEK BIOFOTON-EREDETE

2006-ban *Catalá* igazolta⁶², hogy a retinalis fotoreceptorok lipid-peroxidációjából keletkező szabadgyökök biofotonokat produkálnak. Később *Narici* és munkatársai⁶³ több kísérletben bizonyította – *Bókkon* korábbi felvetésének megfelelően⁵³ –, hogy az egyik foszfénfajta (*az úrutazás során tapasztalt ionizációs sugárzás indukálta foszfénfényt az astronauták rendszeresen tapasztalják*) a retinalis szabadgyökökből eredő biofotonoknak köszönhető. 2011-ben kísérletekkel igazoltuk³⁸ a patkányokból frissen izolált egész szem, a szemlencse, az üvegtest és a retina spontán és látható fény (vörös, kék, zöld) által indukált biofoton-emisszióját. Nemrég fMRI-kísérletekben igazolódott⁵⁹, hogy a Leber-féle congenitalis amaurosisban szenvedő alanyok spontán foszfénprodukcója aktiválta a retinotopikus vizuális cortex jelentős részét. Kijelenthetjük, hogy az első kísérletek a retinalis foszfének biofotonos eredetének elméletét támogatják.

Ha igazolni tudnánk, hogy a V1 cortex elektromos vagy mágneses ingerlése foszfén-fényérzéke-

lést produkál és ezzel egy időben megnövekedne a V1 biofoton-emissziója is, egy indirekt bizonyíték lenne arra, hogy az agyban keletkező biofotonok tudatosra válhatnak és valóban belső képek keletkezhetnek a V1 vizuális területen.

A VIZUÁLIS KÉPZELET ÉS A NEURONOK BIOFOTON-EMISSZIÓJA KÖZÖTTI KAPCSOLAT KÍSÉRLETI BIZONYÍTÉKAI

A vizuális képzelet és a neuronok biofoton-emissziója közötti kapcsolatot, valamint a jobb félteke vizuális képzeletben játszott alapvetőbb szerepét támogató első kísérletes eredményeket a *Persinger* vezette kutatócsoport kísérletei⁶⁴ adták. A kísérlet során egy sötét szobában az önkéntesek hosszú sötét adaptációja után konkrét feladat nélkül (nyugalmi állapot, random gondolatok esetén) megmérték az alanyok jobb és bal agyféltekéből származó alap biofoton-emisszióját. Ezután megkérték az önkénteseket, hogy képzeljenek el egy erős fehér fényt és ismét mérték a jobb és bal agyféltekéből származó biofoton-emissziót. Ekkor az erős fény elképzelése hatására a bal agyfélteke fölött mért biofoton-emisszió 10%-kal nőtt, ugyanakkor a jobb félteke fölött egyértelműen 300%-kal nőtt a biofoton-kibocsátás, mely korrelált az EEG-aktivitással.

Van Wijk és munkatársai kísérleteikben igazolták⁶⁵, hogy az önkéntesek homloka felett mért biofoton-emisszió intenzitását a *meditáció* alapvetően befolyásolja. Azaz a meditáció mint speciális kognitív folyamat direkt módon korrelál az agy biofoton-termelésével.

Megbeszélés és összefoglalás

A bemutatott tudományos eredmények azt sugallják, hogy egyrészt a nyelvnél természetesebb közvetítő a kép, másrészt a vizuális reprezentáció filogenetikusan ősbibb. Az autizmus és a savantizmus kapcsán ismertetett kutatások is támogatják azt az elképzelést, hogy a vizuális gondolkodás egészséges emberek esetén is egy lehetséges kognitív modell. Feltételezzük továbbá, hogy a vizuális észlelés és képzelet hasonló retinotopikus területeken zajlik.

Feltételezhető, hogy az evolúció során kialakult egy, a verbálistól eltérő kognitív képességgel rendelkező, úgynevezett vizuális proto-tudat, amely közvetlen kapcsolatban van a retinotopikus vizuális területekkel és a vizuális képzelettel.

Valószínű, hogy agyunk egyaránt használ nem csak egymáshoz, hanem egyéb szenzoros modalitá-

sokhoz is szorosan kapcsolódó képi és nyelvi reprezentációt. A nyelvi folyamatok biztosítják az alapot például az absztrakt gondolkodáshoz, az emberek közötti kommunikációhoz, míg a belső (biofizikai) reprezentációs képek biztosítják, hogy elképzelhetünk eseményeket, tervezhetünk geometriai formákat.

Jelenleg több célzott *in vitro* és *humán kísérlet* is folyik a neuralis biofoton-emisszió és a neuralis

foszfének vonatkozásában a vázolt modell igazolására. Mivel a klinikai farmakológiában a foszfénfénnyek érzékelése a leggyakoribb mellékhatások közé tartozik, ennek tényleges megértése a biofotonmodell révén új perspektívákat nyithat a gyógyszerfejlesztésekben. Modellünk új utat nyithat többek között a kognitív és molekuláris agyutatózásban, a nano- és fotodinamikai gyógyszerkutatózásban, valamint az optogenetikában is.

IRODALOM

1. Pylyshyn ZW. Seeing and visualizing: It's not what you think. Cambridge: MIT Press; 2003.
2. Kosslyn SM. Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate. Cambridge: MIT Press; 1994.
3. Kosslyn SM. Remembering Images. In: *Gluck MA, Anderson JR, Kosslyn SM* (eds.). *Memory and Mind: A Festschrift for Gordon H. Bower*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates; 2007.
4. Paivio A. Mind and Its Evolution: A Dual Coding Theoretical Approach. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 2007.
5. Bókkon I. Visual, perception and imagery: a new hypothesis. *BioSystems* 2009;96:178-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystems.2009.01.005>
6. Bókkon I, D'Angiulli A. Emergence and transmission of visual awareness through optical coding in the brain: A redox molecular hypothesis on visual mental imagery. *Biosci Hypotheses* 2009;2:226-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bihy.2009.01.009>
7. Bókkon I, Salari V, Tuszyński J. Emergence of intrinsic representations of images by feedforward and feedback processes and bioluminescent photons in early retinotopic areas. *J Integr Neurosci* 2011;10:47-64. <http://dx.doi.org/10.1142/S0219635211002610>
8. Bókkon I, Salari V, Scholkmann F, Dai J, Grass F. Interdisciplinary implications on autism, savantism, Asperger syndrome and the biophysical picture representation: Thinking in pictures. *Cogn Syst Res* 2013;22-23:67-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogsys.2012.05.002>
9. Kunda M, Goel AK. Thinking in pictures as a cognitive account of autism. *J Autism Dev Disord* 2011;41:1157-77. <http://dx.doi.org/10.1007/s10803-010-1137-1>
10. Collett T, Collett M. Memory use in insect visual navigation. *Nat Rev Neurosci* 2002;3:542-52. <http://dx.doi.org/10.1038/nrn872>
11. Kay P, Regier T. Language, thought and color: recent developments. *Trends Cogn Sci* 2006;10:51-4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2005.12.007>
12. Searleman A. Is there such a thing as photographic memory? And if so can it be learned? *Mind Brain* 2007;2(3):27-8.
13. Joseph RM, Keehn B, Connolly C, Wolfe JM, Horowitz TS. Why is visual search superior in autism spectrum disorder? *Dev Sci* 2009;12:1083-96. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00855.x>
14. McGrath J, Johnson K, O'Hanlon E, Garavan H, Leemans A, Gallagher L. Abnormal functional connectivity during visuospatial processing is associated with disrupted organization of white matter in autism. *Front Hum Neurosci* 2013;7:434. <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2013.00434>
15. Drake JE, Winner E. Precocious realists: perceptual and cognitive characteristics associated with drawing talent in non-autistic children. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2009;364:1449-58. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2008.0295>
16. Bolognini N, Rasi F, Coccia M, Ladavas E. Visual search improvement in hemianopic patients after audio-visual stimulation. *Brain* 2005;128:2830-42. <http://dx.doi.org/10.1093/brain/awh656>
17. Ghazanfar AA, Lemus L. Multisensory integration: vision boosts information through suppression in auditory cortex. *Curr Biol* 2010;20:R22-R3. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2009.11.046>
18. Henschke JU, Noesselt T, Scheich H, Budinger E. Possible anatomical pathways for short-latency multisensory integration processes in primary sensory cortices. *Brain Struct Funct* 2015;220:955-77. <http://dx.doi.org/10.1007/s00429-013-0694-4>
19. Takahashi C, Watt SJ. Visual-haptic integration with pliers and tongs: signal "weights" take account of changes in haptic sensitivity caused by different tools. *Front Psychol* 2014;5:109. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00109>
20. Vasconcelos N, Pantoja J, Belchior H, Caixeta FV, Faber J, Freire MA, et al. Cross-modal responses in the primary visual cortex encode complex objects and correlate with tactile discrimination. *PNAS* 2011;108:15408-13. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1102780108>
21. Baron-Cohen S, Ashwin E, Ashwin C, Tavassoli T, Chakrabarti B. Talent in autism: hyper-systemizing, hyper-attention to detail and sensory hypersensitivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences* 2009;364:1377-83. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2008.0337>
22. Pasqualotto A, Proulx MJ. The role of visual experience

- for the neural basis of spatial cognition. *Neurosci Biobehav Rev* 2012;36:1179-87.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.01.008>.
23. *Petro LS, Smith FW, Schyns PG, Muckli L*. Decoding face categories in diagnostic subregions of primary visual cortex. *Eur J Neurosci* 2013;37:1130-9.
<http://dx.doi.org/10.1111/ejn.12129>.
 24. *Halelamien N, Wu D-A, Shimojo S*. TMS induces detail-rich "instant replays" of natural images. *J Vision* 2007;7:276a. <http://dx.doi.org/10.1167/7.9.276>.
 25. *Liao HI, Wu DA, Halelamien N, Shimojo S*. Cortical stimulation consolidates and reactivates visual experience: neural plasticity from magnetic entrainment of visual activity. *Sci Rep* 2013;3:2228. <http://dx.doi.org/10.1038/srep02228>.
 26. *Herbert MR, Ziegler DA, Deutsch CK, O'Brien LM, Kennedy DN, Filipek PA, et al*. Brain asymmetries in autism and developmental language disorder: a nested whole-brain analysis. *Brain* 2005;128(Pt 1):213-26.
 27. *Murray AL*. Can the existence of highly accessible representations concrete representations explain savant skills? Some insights from synaesthesia. *Med Hypotheses* 2010;74:1006-12.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.mehy.2010.01.014>.
 28. *Grobecker B, De Lisi R*. An investigation of spatial-geometrical understanding in students with learning disabilities. *LDQ* 2000;23:7-22. <http://dx.doi.org/10.2307/1511096>.
 29. *Seethaler PM, Fuchs LS*. The cognitive correlates of computational estimation skill among third-grade students. *Learn Disabil Res Pract* 2006;21:233-43.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-5826.2006.00220.x>.
 30. *Frank MC, Barner D*. Representing exact number visually using mental abacus. *J Exp Psychol Gen* 2012;141:134-49.
<http://dx.doi.org/10.1037/a0024427>.
 31. *Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MT, Mazur M, Telser J*. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol* 2007;39:44-84.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>.
 32. *Kishida KT, Klann E*. Sources and targets of reactive oxygen species in synaptic plasticity and memory. *Antioxid Redox Signal* 2007;9:233-44.
<http://dx.doi.org/10.1089/ars.2007.9.233>.
 33. *Massaad CA, Klann E*. Reactive oxygen species in the regulation of synaptic plasticity and memory. *Antioxid Redox Signal* 2011;14:2013-54.
<http://dx.doi.org/10.1089/ars.2010.3208>.
 34. *Bókkon I*. Recognition of functional roles of free radicals. *Curr Neuropharmacol* 2012;10:287-8.
 35. *Matsumoto Y, Hirashima D, Terao K, Mizunami M*. Roles of NO signaling in long-term memory formation in visual learning in an insect. *PLoS One* 2013;8(7): e68538.
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0068538>.
 36. *Isojima Y, Isoshima T, Nagai K, Kikuchi K, Nakagawa H*. Ultraweak biochemiluminescence detected from rat hippocampal slices. *NeuroReport* 1995;6:658-60.
<http://dx.doi.org/10.1097/00001756-199503000-00018>.
 37. *Kobayashi M, Takeda M, Sato T, Yamazaki Y, Kaneko K, Ito K, et al*. In vivo imaging of spontaneous ultraweak photon emission from a rat's brain correlated with cerebral energy metabolism and oxidative stress. *Neurosci Res* 1999;34:103-13.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-0102\(99\)00040-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-0102(99)00040-1).
 38. *Wang C, Bókkon I, Dai J, Antal I*. Spontaneous and visible light-induced ultraweak photon emission from rat eyes. *Brain Res* 2011;1369:1-9.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2010.10.077>.
 39. *Tang R, Dai J*. Biophoton signal transmission and processing in the brain. *J Photochem Photobiol B* 2014;139:71-5.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.12.008>.
 40. *Tang R, Dai J*. Spatiotemporal imaging of glutamate-induced biophotonic activities and transmission in neural circuits. *PLoS One* 2014;9(1):e85643.
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0085643>.
 41. *Sun Y, Wang Ch, Dai J*. Biophotons as neural communication signals demonstrated by in situ biophoton autography. *Photochem Photobiol* 2010;9:315-22.
<http://dx.doi.org/10.1039/b9pp00125e>.
 42. *Girouard H, Wang G, Gallo EF, Anrather J, Zhou P, Pickel VM, Iadecola C*. NMDA receptor activation increases free radical production through nitric oxide and NOX2. *J Neurosci* 2009;29:2545-52.
<http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0133-09.2009>.
 43. *Thar R, Kühl M*. Propagation of electromagnetic radiation in mitochondria? *J Theor Biol* 2004;230:261-70.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtbi.2004.05.021>.
 44. *Blake T, Dotta BT, Buckner CA, Cameron D, Lafrenie RM, Persinger MA*. Biophoton emissions from cell cultures: biochemical evidence for the plasma membrane as the primary source. *Gen Physiol Biophys* 2011;30:301-9.
 45. *Bókkon I, Salari V, Tuszynski J*. Emergence of intrinsic representations of images by feedforward and feedback processes and bioluminescent photons in early retinotopic areas (Toward biophysical homunculus by an iterative model). *J Integr Neurosci* 2011;10:47-64.
<http://dx.doi.org/10.1142/S0219635211002610>.
 46. *Hubel DH, Wiesel TN*. Functional architecture of macaque monkey visual cortex. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 1977;198:1-59. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.1977.0085>.
 47. *Economides JR, Sincich LC, Adams DL, Horton JC*. Orientation tuning of cytochrome oxidase patches in macaque primary visual cortex. *Nat Neurosci* 2011;14:1574-80.
<http://dx.doi.org/10.1038/nn.2958>.
 48. *Gardner JL, Merriam EP, Movshon JA, Heeger DJ*. Maps of visual space in human occipital cortex are retinotopic, not spatiotopic. *J Neurosci* 2008;28:3988-99.
<http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5476-07.2008>.
 49. *Slotnick SD*. Synchronous retinotopic frontal-temporal activity during long-term memory for spatial location. *Brain Res* 2010;1330:89-100.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.051>.
 50. *Feng J, Fouse S, Fan G*. Epigenetic regulation of neural gene expression and neuronal function. *Pediatr Res* 2007;61:58R-63R.
<http://dx.doi.org/10.1203/pdr.0b013e3180457635>.
 51. *Lubin FD*. Epigenetic gene regulation in the adult mammalian brain: multiple roles in memory formation. *Neurobiol Learn Mem* 2011;96:68-78.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nlm.2011.03.001>.
 52. *Jarome TJ, Lubin FD*. Epigenetic mechanisms of memory formation and reconsolidation. *Neurobiol Learn Mem* 2014;115:116-27.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nlm.2014.08.002>.
 53. *Bókkon I*. Phosphene phenomenon: a new concept. *BioSystems* 2008;92:168-74.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystems.2008.02.002>.
 54. *Brindley GS, Lewin WS*. The sensations produced by electrical stimulation of the visual cortex. *J Physiol* 1968;196:479-93. <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008519>.
 55. *Merabet LB, Theoret H, Pascual-Leone A*. Transcranial magnetic stimulation as an investigative tool in the study of visual function. *Optom Vis Sci* 2003;80:356-68.
<http://dx.doi.org/10.1097/00006324-200305000-00010>.
 56. *Bressloff PC, Cowan JD, Golubitsky M, Thomas PJ, Wiener MC*. What geometric visual hallucinations tell us

- about the visual cortex. *Neural Comput* 2002;14:473-91. <http://dx.doi.org/10.1162/089976602317250861>.
57. *Renzi C, Vecchi T, D' Angelo E, Silvanto J, Cattaneo Z.* Phosphene induction by cerebellar transcranial magnetic stimulation. *Clin Neurophysiol* 2014;125:2132-3. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2014.01.031>.
58. *Sparing R, Mottaghy FM, Ganis G, Thompson WL, Töpper R, Kosslyn SM, et al.* Visual cortex excitability increases during visual mental imagery—a TMS study in healthy human subjects. *Brain Res* 2002;938:92-7. [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-8993\(02\)02478-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-8993(02)02478-2).
59. *Ashtari M, Cyckowski L, Yazdi A, Viands A, Marshall K, Bókkon I, et al.* FMRI of retina-originated phosphenes experienced by patients with leber congenital amaurosis. *PLoS One* 2014;9: e86068. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0086068>.
60. *Taylor PC, Walsh V, Eimer M.* The neural signature of phosphene perception. *Hum Brain Mapp* 2010;31:1408-17. <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.20941>.
61. *Hochstein S, Ahissar M.* View from the top: hierarchies and reverse hierarchies in the visual system. *Neuron* 2002; 36:791-804. [http://dx.doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)01091-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0896-6273(02)01091-7).
62. *Catalá A.* An overview of lipid peroxidation with emphasis in outer segments of photoreceptors and the chemiluminescence assay. *Int J Biochem Cell Biol* 2006;38:1482-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocel.2006.02.010>.
63. *Narici L, Paci M, Brunetti V, Rinaldi A, Sannita WG, Carozzo S, Demartino A.* Bovine rod rhodopsin: 2. Bleaching in vitro upon (12)C ions irradiation as source of effects as light flash for patients and for humans in space. *Int J Radiat Biol* 2013;89:765-9. <http://dx.doi.org/10.3109/09553002.2013.800245>.
64. *Dotta BT, Saroka KS, Persinger M.A.* Increased photon emission from the head while imagining light in the dark is correlated with changes in electroencephalographic power: Support for Bókkon's Biophoton Hypothesis. *Neurosci Lett* 2012;513:151-4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2012.02.021>.
65. *Van Wijk EP, Ackerman J, Van Wijk R.* Effect of meditation on ultraweak photon emission from hands and forehead. *Forsch Komplementarmed Klass Naturheilkd* 2005;12: 107-12. <http://dx.doi.org/10.1159/000084028>.