

A LÁTÁS REJTETT INTELLIGENCIÁJA

THE HIDDEN INTELLIGENCE OF VISION

Czigler István

DSc, Természettudományi Kutatóközpont Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Budapest
czigler.istvan@ttk.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Mint mindennapos tapasztalataink és laboratóriumi kísérletek sokasága mutatja, annak ellenére, hogy élményeinkben a világ részletesen, színesen, három dimenzióban jelenik meg, még jelentős változásokat sem veszünk észre, ha azokra nem irányul a figyelem fókuszja (változási vakság). Ugyanakkor az agyi aktivitás mérése megmutatja egy olyan, nem tudatos rendszer működését, amely élményeinknél érzékenyebben reagál a változásokra. Az érzékenység akkor alakul ki, ha sorozatos információfelvételek alapján mód van olyan modellek kialakulására, melyek előre jelezhetik a beérkező ingerek várható együttesét. Amennyiben a beérkező ingerek (események) e modelleknek nem felelnek meg, viszonylag egyszerű humán elektrofiziológiai kísérletekben is regisztrálhatjuk a modellektől való eltérés elektromos jeleit. E módszerrel lehetőség van arra, hogy kimutassuk, milyen változásokra érzékeny az automatikusan működő emlékezeti rendszer. Az eredmények szerint ilyenkor egy „primitív intelligencia” működik, amely nem csupán elemi vizuális tulajdonságokra (szín, mozgásirány stb.) reagál, hanem ezek együtteseire, észlelési kategóriákra (például szimmetria), sőt, olyan összetettebb jelenségekre is, mint az arcokon megjelenő érzelmek vagy a sorozatosan megjelenő képeken bemutatott személyek életkora, neme. Az emlékezeten e nem tudatos rendszere az események egymás utáni megjelenésének szabályszerűségeit is tárolja, így amikor két rendszeresen egymást követő esemény helyett az első eseményt egy eltérő követi. A látás e működése hasonló a hallás esetében jól ismert, nem tudatos emlékezet rendszeréhez.

ABSTRACT

As our everyday experiences and a considerable body of laboratory study show, in contrast to our detailed, colorful, and three-dimensional views, in the absence of focal attention we are unaware to notice even large environmental changes (change blindness). At the same time, as results of brain electric activity measures indicate a non-conscious system is capable of reacting to such environmental changes. However, to be sensitive to the changes it is necessary before the changes to process a sequence of repetitive (equivalent) events. On the basis of repetition, the models are capable of predicting the likely subsequent events. In case of mismatch between the expected and incoming events, even in simple human electropysiological experiments we can register brain electric activity specific to change-detection. The results of the studies show the activity of a 'primitive intelligence'. The sensitivity of this system is beyond the registration of

elementary visual features (color, movement direction, etc.), but it is sensitive to the conjunction of features, perceptual categories (e.g. symmetry), and even higher-order characteristics, like facial emotions, age and gender of portraits. The non-conscious system also registers sequential regularities. As an example, violating the rule that to two identical events follows each other (i.e. the second member of the pair is different), a mismatch signal emerges. The non-conscious visual system is similar to an analogous auditory one.

Kulcsszavak: automatikus változásdetekció, eseményhez kötött potenciál, vizuális eltérési negativitás

Keywords: automatic change detection, event-related potential, visual mismatch negativity

Ha kinyitjuk a szemünket, előttünk áll a világ színesen, három dimenzióban. Olyan egyszerű ez, mint amikor felkel a Nap, átvonul az égen, lenyugszik, és másnap újra felkel – azaz *egyáltalán nem magától értetődő*. A mesterséges intelligencia kutatói a tudói, hogy milyen számítástechnikai apparátusra van szükség ahhoz, hogy a látás egy-egy vonatkozásában teljesítményünket megközelítsék. Mi viszont ezeket a számításokat a másodperc törtrésze alatt végezzük el. Ha hozzátesszük, hogy percenként átlagosan 15–20 alkalommal elzárjuk a szemünkbe kerülő fény útját (pislogunk) lehet, hogy a számításokat ennyi alkalommal újra meg újra el kell végezni. Ráadásul e számításokat olyan alapanyagon (a retinára vetülő képen) kell elvégezni, melynek minőségéről, tekintve a szem optikai rendszerének tökéletességét, már Hermann von Helmholtz is joggal rossz véleménnyel volt. A szem felépítése a nehézségekhez még avval is hozzájárul, hogy a retina fényérzékeny sejtjei nem a fény felé eső rétegben vannak, így a fénynek át kell hatolnia több, bonyolult hálózatot alkotó sejtjes rétegen.

Több tudomány vizsgálja, hogy mégis miként érzük el az átélhető látványt, kezdve a retina képfeldolgozási szerepével, az agykéreg alatti struktúrák és az agykéreg sejtjei és sejtegyütteseinek működésének elemzéséig. De ide tartoznak a modellezési módszerek, a pszichológia fogalomrendszerét és módszereit alkalmazó vizsgálatok és végül a megismerési folyamatokat idegtudományi módszerekkel végző kutatások. Az írás az utóbbi területen belül egy szűkebb témakörrel foglalkozik.

Gyerekkorunk óta ismert a feladvány, melyben két majdnem azonos képen kell észrevenni a különbségeket. Gyakran elég sokáig tart míg ezeket megtaláljuk. E feladvány kísérleti megfelelői a *változási vakság* vizsgálati eljárásai. Sorozatosan mutatnak be képeket, köztük rövid szünetekkel. Az egymást követő képek váltakozva valamilyen részletben eltérnek, és ezt az eltérést kell észrevenni. Számos bemutatási ciklusra van szükség, hogy ez sikerüljön (összefoglalásként lásd Jensen

et al., 2011).¹ A vizsgálatokból többféle következtetést lehet levonni. A legerősebb feltételezés szerint nem alakul ki olyan emlékezeti reprezentáció, mely a látvány egészét részletesen tartalmazná, részletes reprezentáció csak a figyelem fókuszában álló kisebb területről áll rendelkezésre. Hozzá lehet tenni, hogy a nagyobb és részletes reprezentációra a látásban talán nincs is szükség, hiszen mint „külső memória” a látvány folyamatosan rendelkezésre áll (O’Regan–Noë, 2001). Egy „enyhébb” teória szerint (Simons et al., 2002) kialakulnak ugyan részletes reprezentációk, azonban nincs olyan művelet, amely lehetővé tenné ezek összehasonlítását. Végül, a harmadik lehetőség szerint megtörténik az ilyen összehasonlítás, de ha a figyelem nem az adott területre irányul, a változás tudattalan marad. A hagyományos pszichológiai eljárások szempontjából ez a lehetőség azért problematikus, mert kísérletileg egykönnyen nem vizsgálható, hiszen nincs róla tudatosuló vagy a viselkedést szabályozó élményünk. Éppen ezen a ponton léphetnek be az idegtudományos módszerek, jelesül az agyi elektromos folyamatok elemzése.

A hangokra, képekre és más külső eseményekre létrejövő idegrendszeri reakciók a fejbőrre helyezett elektródákon mérhető feszültségváltozásokat eredményeznek. A változások mikrovolt nagyságrendűek, azaz nem nagyok, regisztrálásuk nehézségét azonban nem a változások nagysága jelenti, hanem az, hogy ezek az idegrendszer számos egyidejűleg aktív folyamatába és egyéb, nem idegrendszeri eredetű elektromos változásokba ágyazódnak. A kedvezőtlen jel-zaj arányt különböző módszerekkel, leggyakrabban az egymással (többé-kevésbé) azonos eseményekre adott reakciók átlagolásával lehet javítani. Az így létrejövő, egymást követő hullámokból álló együttest átlagolt eseményhez kötött potenciálnak nevezzük.² Ha megvizsgáljuk, hogy az észrevétlenül maradó változások okoznak-e, vagy nem okoznak agyi elektromos változásokat, elvileg választ kapunk arra a kérdésre, regisztrálja-e az agy az ilyen változásokat. A hangok világában a kísérletek az 1970-es évek végétől folynak nagy sikerrel (Näätänen–Gaillard, 1978). Háttéringerként szóló azonos vagy azonos kategóriába tartozó hangok között időnként megjelenő eltérő hangok megbízhatóan váltanak ki egy agyi elektromos hullámot, melyet a semleges területekhez képest negatív polaritása miatt eltérési negativitásnak (mismatch negativity) neveznek³ (összefoglalásként lásd Fitzgerald–Todd, 2020). Az ilyen vizsgálatokban a résztvevők valamilyen látással kapcsolatos feladatot oldanak meg, érdekes könyvet olvasnak, vagy filmet (hang nélkül) néznek. A háttérben szóló hangokat egy idő múlva már észre sem vesszük (ahogy a mechanikus órák korában nem vettük észre a ketyegést). Az automatikus változásdetekció mechanizmusát sokáig specifikusan hallási jelenségnek tar-

¹ A világhálón számos demonstráció látható, egy példa: URL1. A jelenség életszerűbb demonstrációját lásd URL2.

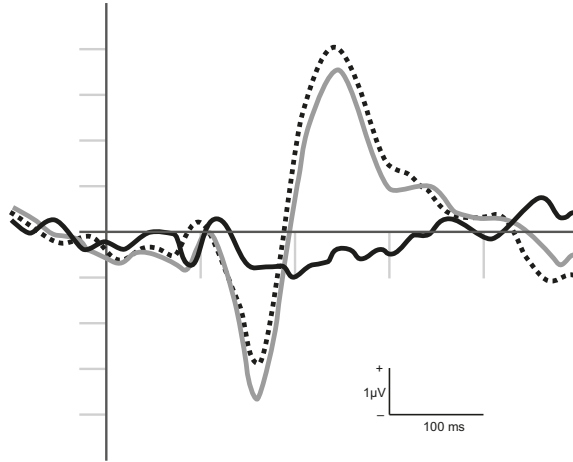
² A módszerről részletesebben Csépe, 2007, 52–54.

³ Az eltérési negativitásról régebben írtunk e folyóiratban: Czigler–Winkler, 1999.

tották, amihez jelentős módon járult hozzá a fentebb bemutatott változási vakság jelensége és annak interpretációja. E nézet annyira hatékony volt, hogy például hiába regisztráltak a kilencvenes évek elején hasonló eredményeket a látásban (Alho et al., 1992; Czigler–Csibra, 1992), ezek magyarázatára más lehetőségeket kerestek. Az elméleti fenntartások mellett adódott egy módszertani nehézség. Szemben a hangokkal, a képekre nehezebb „nem figyelni”. Az első közlemény, amely címében vállalta a „visual mismatch negativity” kifejezést, 1999-ben jelent meg (Tales et al., 1999), azóta a *Web of Science* e területről mintegy 260 közleményt sorol fel. A vizsgálatok többsége a vizuális rendszer téri érzékenységét használja ki: a résztvevőknek a képernyő közepére kell nézniük, mivel ott van az a feladat, melyre figyelni kell (például egy véletlen mozgásirányú kört két gomb segítségével egy adott területen belül tartani). Ami viszont a kísérletezőt érdekli, azok az agyi elektromos potenciálváltozások, amelyek ingerei a képernyő más részein jelennek meg. A továbbiakban ezekről lesz szó.

Az elemi látási információ feldolgozása során specializált „készülékek” (modulok) működnek, amelyek a látvány különböző vonatkozásaira, mint szín, mozgásirány, kontraszt stb. érzékenyek. Az első vizsgálatok nem meglepő módon arra irányultak, hogy egy-egy ilyen sajátságon belül működik-e a változás automatikus detekciója. A válasz szinte valamennyi sajátság esetében pozitív volt. A látókéreghez közeli, a fej hátsó területei felett elhelyezett elektródákkal az ingersorozat gyakori ingereihez (a terminológia szerint a sztenderd ingerek) képest a ritka (a terminológia szerint a deviáns ingerek) kiváltanak egy olyan hullámot (komponenst), mely az ingerlést követően a 100–300 milliszekundum időablakban regisztrálható. A sajátságok közül ilyen komponenst mértek eltérő színekre, kontrasztra, az egyes elemek orientációjára a mozgásirányokra és így tovább. A pszichológus számára – azon túl, hogy az eredmények szerint a látás rendszerének a változás regisztrációjához nincs szüksége arra, hogy a figyelem mechanizmusait igénybe vegye – az ilyen kísérletek érdekesek ugyan, de nem meglepőek. A látás természetes működése során viszont tárgyakat azonosítunk, melyek sajátságok együtteseként állnak össze. Az alaklátás elméletei között dominálnak azok, melyek szerint az egyes sajátságok valóságghű összekapcsolása figyelmi folyamatokat igényel (lásd erről Czigler, 2005, 65–70.). Ha ez nem figyelt objektumok esetében is megtörténik, az ellentmond ezeknek az elméleteknek.

Az első olyan vizsgálat (Winkler et al., 2005), amely bemutatta, hogy a nem tudatos szabályosságot/szabálytalanságot regisztráló rendszer képes az egyedi sajátságokon túlmutató, tárgyakon alapuló működésre, egyben azt is megmutatta, hogy ez a rendszer nem csak egyetlen gyakori objektum emlékezeti regisztrációjára képes. A vizsgálatban két színből és csíkos minták két irányából (függőleges és vízszintes) négy képtípust állítottak össze, ebből kettőt gyakran, a másik kettőt ritkán látták a résztvevők. Mindkét ritka együttes kiváltotta az eltérésre jellemző hullámot.



1. ábra. Eseményhez kötött potenciálok (EKP) a vizuális eltérési negativitást vizsgáló kísérleti helyzetben. Szürke vonal: EKP a gyakori (sztenderd) ingerre; szaggatott vonal: EKP a ritka (deviáns) ingerre; fekete vonal: a deviáns mínusz sztenderd különbségpotenciál, a vizuális eltérési negativitás (Czigler et al., 2019 nyomán)

Az eddigiekben bemutatott kísérletek olyan tulajdonságokat vizsgáltak, melyek a laboratóriumon kívül nem nagyon fordulnak elő. További lépést jelent olyan események elemzése, melyekre az észlelő rendszerben az evolúció során különleges érzékenység alakult ki. Ilyen tulajdonság a kétoldalú szimmetria (szemben az élőlényekkel, a természetes élettelen, makroszkopikus alakzatok ritkán szimmetrikusak). Amikor különböző szimmetrikus alakzatot között szabálytanok jelentek meg, ezek kiváltották az eltérési választ. A fordítottja (véletlenszerűek között a szimmetrikus) viszont nem (Kecskés-Kovács et al., 2013a). Miért lehetett ez így? Az automatikus változást regisztráló rendszer képes megjegyezni egy észlelési kategóriát (szimmetria), az olyan esemény, mely ennek nem felel meg, kiváltja a választ. A rendezetlenség viszont nem kategória, így nem is lehet megsérteni a szabályosságot, tehát nem is jelentkezett az eltérési válasz. Meglepő módon az automatikus változásdetekció mechanizmus érzékenységet mutatott a nonfiguratív képek esetén. Claudia Menzel és munkatársai (2018) eredeti festmények között időnként bemutatták ezek olyan változatait, melyekben egyes részleteket összekeverték, vagy a keverték sorozatában jelentek meg az eredeti képek. A ritka ingerek mindkét esetben eltérési választ váltottak ki.

Tovább lépést jelenthet a mindennapokban látott objektumok vizsgálata. Itt a kezdeti lépést kínai kutatók tették meg (Zhao–Li, 2006), és bár az első vizsgálatok módszertani szempontból nem voltak kifogástalanok, az utóbbi években mintegy huszonöt közlemény pozitív eredményt hozott. E kutatások arcokon mutatkozó érzelmek automatikus azonosítását mutatták ki: ha egy, a feladathoz tartozó ese-

ményektől függetlenül, szándékos figyelmet nem igénylő módon valamilyen érzelmet (például ijedelem) mutató arcok sorozatában időnként megjelenik egy másik érzelem (például vidámság), az eltérést az automatikus rendszer detektálja, amint ez az eseményhez kötött agyi válaszokban láthatóvá válik. Később kiderült, hogy a szabályosságokat regisztráló és a változásokat jelző rendszer az arc egyéb tulajdonságaira, mint nő–férfi, idős–fiatal is érzékeny (Kecskés-Kovács et al., 2013b; Csizmadia et al., 2021). Az érzelmek területén pedig nemcsak az arckifejezés, hanem a testtartás (például fenyegető) is kiváltja a változásra érzékeny választ.

Az arckifejezések és testtartások a társas viselkedés alapvető információforrásai. A jobb vagy bal kéz látványa viszont nem. Mégis, amikor sorban jobb (vagy bal) kezek követik egymást, a ritkán megjelenő bal (vagy jobb) kezek kiváltják az eltérési választ (Stefanics–Czigler, 2012). Érdekes, hogy ekkor az agyi aktivitás nem korlátozódott az agykéreg látási területeire, az aktivitás megjelent a mozgató kéreg közelében, tehát olyan területeken is, melyek belátható kapcsolatban állnak a kezekkel.

Az eddigiekben bemutatott eredmények a megismerési folyamatok szemléletes formáihoz kapcsolódtak. Kérdés, hogy a látás e rejtett intelligenciája kiterjed-e szimbolikus formákra, nevezetesen a szavak jelentésére. A kísérleti pszichológia sokat vizsgált és robusztus jelensége, hogy a gyakorlott felnőtt emberek nem képesek „nem elolvasni” egy figyelt betűsört, annak ellenére, hogy a betűkből összeálló szavakkal semmi dolguk sincs (például a feladat az, hogy gyorsan döntsék el, milyen színekkel nyomtatják a betűket) (a jelenség a Stroop-effektus⁴). Vizuális ingerek automatikus verbális átkódolásáról és a szójelentés hatásától a színészlelésre bemutatunk egy-egy vizsgálatot. A kínai írásban több jelhez azonos hangzók tartoznak. Xiao-Dong Wang és munkatársai (2013) kísérletében ilyen azonos hangzású (homofon) karakterek között az eltérő hangzásúak kiváltották az eltérési választ. „Örökzöld” téma, hogy a nyelv milyen mélységben avatkozik bele észlelési és más megismerési folyamatokba (nyelvi relativizmus). Panos Athanasopoulos és munkatársai (2010) a kék szín két árnyalatát mutatták be görög és angol anyanyelvű résztvevőknek. A két árnyalatra a görögben két szót használnak, az angol nyelvben viszont ugyanazt a szót. Az eltérő árnyalatra a görög anyanyelvűek lényegesen nagyobb eltérési választ mutattak.

Összefoglalva az eddigieket, nem figyelt vizuális eseményeket vizsgálva a sorozatokban megjelenő szabályosságokat (elemi vizuális sajátságok és ezek kapcsolata [objektumok], észlelési kategóriák, az arc és más testrészek sajátságai, fonológiai és egyéb nyelvi kategóriák) egy emlékezeti rendszer automatikusan regisztrálja és jelzi e szabályosságok megsértését. A kérdés: mire jó ez a rendszer?

A változásokra érzékeny, automatikus rendszer funkciójával kapcsolatos elgondolások a lényegesen többet kutatott hallási kutatásokból származnak, ahol

⁴ A Stroop-effektusról lásd Czigler, 2005, 84–87.

kezdetben az automatikus változásdetekciót az *orientációs reakcióval* hozták kapcsolatba: a környezet jelentős változásai mozgósítják a figyelmi rendszert, és ez megnyilvánul az agyi aktivitás változásaiban, a mozgásos reakciókban (például a váratlanul megszólaló hang irányába nézünk) és a vegetatív idegrendszer változásaiban. Az automatikus változásdetekció az orientációs reakció egy kezdeti, szükséges, de nem elégséges feltétele lehet. Érvényét e megközelítés nem vesztette el, de az elméletképzés megváltozott, és a súlypont eltolódott az észlelés alapfolyamatai felé. A hallás területén az egyidejű ingeregyüttesek (hangfolyamok) elkülönítése az idegrendszer számára nehéz feladat, amelyhez fel kell használni az egymást követő hangokban rejlő idői szabályosságokat. A szabályosságok mértéke azonos hangforrások esetében nagyobb, mint különböző hangforrások esetében. Egy ilyen rendszerben a szabályos folytatás elvárása (predikciója) alapvető fontosságú lehet, mint ahogy ezt az észlelés elmélete Helmholtz óta sugallja. A kvantitatív teória (prediktív kódolás) kidolgozása Karl Friston nevéhez fűződik. A teória mind az automatikus hallási (összefoglalásként lásd Garrido et al., 2008), mind a látási (összefoglalásként lásd Stefanics et al., 2014) eltérési agyi válaszok magyarázatában uralkodó nézetté vált. A látás területén az elméletet, amely szerint a szabályosság regisztrációja egyben a szabályosság fennmaradásának elvárásával jár, néhány eredmény megerősíti. Ha az a szabály, hogy két azonos színű kép után két más színű következik, akkor egy harmadik azonos színű kiváltja az eltérési választ (Czigler–Pató, 2009). Ha egymás után szabályosan változó ferdeségű vonalakkból áll a sorozat, akkor egy olyan irány, amely nem folytatja a szabályosságot, kiváltja az elérési választ (Kimura, 2018). Olyan ingerpárok esetén, amelyeknél a szín a pár tagjainál általában megegyezik, a pár második tagjának eltérő színe szintén eltérési választ vált ki (Stefanics et al., 2011).

Felvethető akár az is, hogy az észlelésen belüli nagy kapacitású emlékezeti rendszer működése szinte nélkülözhetetlen. Az a számítási rendszer, amely biztosítja a környezet folyamatosan rendelkezésre álló (színes, háromdimenziós) élményét, mint a bevezetőben jeleztük, hatékonyságában egyelőre páratlan. Egy ilyen rendszer hiányában a számításokat minden pislogás után újra kell kezdeni. Sokat segíthet, ha legalább a számítások egy része a pislogást követően rendelkezésre áll (Czigler, 2010).

A prediktív kódolás elméletének van azonban egy specifikusabb, észlelésen belüli feltételezése az akusztikus és vizuális objektumok azonosításában. Ha a kezdeti bejövő ingeregyüttes nem egyezik az elvárttal, akkor az elvárás és a bejövő aktivitás egyeztetése több feldolgozási szakaszt indít el, és a feldolgozás addig tart, míg a belső modell módosulása meg nem egyezik a beérkező aktivitással (inputtal). Amikor megtörténik az egyezés, az észlelésben az egyezésnek megfelelő élmény jelenik meg (ahogy ezt az aktív észlelési elméletek évtizedek óta vallják). Nem zárható ki viszont az sem, hogy a várakozással nem egyező aktivitási mintázat (input) a percepción belül is és azon túl is kivált olyan neuronális aktivitást,

mely a fejbőrrel levelezhető elektromos potenciálváltozásokhoz vezet. A pusztán percepción belüli illesztéses folyamatokkal ugyanis nehezen egyeztethető össze egy olyan kísérleti eredmény, melyben markáns eltérési válasz jelent meg akkor, amikor egyszerű minták (ferde vonalak) sorozatában komplex vonalas rajzok bukkantak fel mint ritka ingerek (Kojouharova et al., 2019). Nehezen képzelhető el, hogy az eredeti össze nem illést követően a predikciós modell addig változna, míg a reprezentáció meg nem egyezne a bemutatott tárggyal. Így lényegében egy kétfaktoros modellhez közelítünk, megtörténik a változások automatikus regisztrációja az észlelésen belül és azon túl is. Ez utóbbira akkor kerül sor, ha a predikciós folyamat nem vezet eredményre.

Összefoglalásunkban a vizuális eltérési válasz kutatásának arra a vonatkozására koncentráltunk, amely azt mutatta, hogy nem figyelt események olyan emlékezeti működést alakítanak ki, mely az emberi arcon megjelenő emóciókat és más bonyolultabb objektumokat is tárol, és ennek alapján érzékeny arra, ha a beérkező inger ezektől eltér. Kérdés, hogy ezek az eredmények nem állnak-e ellentétben a bevezetőben bemutatott változási vakság jelenségével, amely éppen azt mutatja, hogy változásokat csak akkor veszünk észre, ha ezekre téri figyelmi működés irányul. Az egyszerűbb válasz az lehet, hogy a nem tudatos szinten működő folyamatok csak akkor tudatosulnak, ha egy olyan folyamatsor is lezajlik, amelyet figyelemnek szoktunk nevezni. Ha ez így van, markáns eltérési válaszokat várhatnánk a változási vakság szokványos kísérleti elrendezésében akkor is, amikor a változásokat még nem vettük észre. Elvértve ugyan beszámol a szakirodalom ilyen eredményekről az agyi elektromos aktivitás és a képpalkotási eljárások vizsgálatok, de az eredmények zömmel negatívak (összefoglalásként lásd File et al., 2022, lektorálás alatt).

Térjünk vissza kiinduló kérdéseink közül ahhoz, hogy miként értelmezhető a figyelmi vakság kísérletekben mutatkozó alacsony érzékenység a változásokra, úgy a viselkedéses (észrevesszük-e az eltéréseket), mind az idegrendszeri mutatók terén, szemben az eltérési változásokban mutatkozó markáns idegrendszeri mutatókkal! File Domonkos és munkatársai (2022) a változási vakságot klaszszikusan demonstráló ingeranyaggal (Rensink et al., 1997) végeztek kísérletet az automatikus változásdetekció területén tipikusnak mondható eljárásban: a képek egyik változata gyakran, a másik ritkán jelent meg. A hat képsorozatból háromnál jellegzetes eltérési válasz mutatkozott. Így nem abszurd az a magyarázat, mely szerint az automatikus változásdetekció feltétele az a lehetőség, hogy az egyik ingerváltozat – ismétlődéseinek révén – kialakítsa azt az emlékezeti rendszert, amelynek alapján várákozás alakulhat ki a soron következő eseményről. Más szóval, lehetőség legyen akár a percepción belüli, akár a percepciót követő predikcióra. E várákozás egyszerűbb mintázatok esetén könnyebben, bonyolultak esetén nehezebben alakulhat ki, bár erről a feltételezésről egyelőre nincsenek kísérleti adatok.

E rövid írásban csak az automatikus változásdetekciót vizsgáló kísérletek egyik vonulatát mutattuk be, az automatikusan működő „primitív intelligencia” kapacitását. A bevezetőben említett mintegy 250 vizsgálat többsége más kérdésekkel foglalkozik. Az egyik látszólag technikai. Az eseményhez kötött potenciálokkal illusztrálható automatikus eltérési válasz a ritka és gyakori eseményekkel kiváltott válaszok különbségként mutatható be. A különbséget okozhatja az aktivitási többlet, melyet a ritka (deviáns) inger vált ki, de okozhatja az aktivitás folyamatos csökkenése gyakori (sztenderd) inger ismétlődésével, esetleg mindkettő. A halásban regisztrált eltérési válasz vizsgálatainak kezdetén a sztenderd ingerre mutató (vagy vélt) aktivitási csökkenést zavaró tényezőnek tekintették, és olyan módszereket alakítottak ki, melyek ezt kiiktatták. A gondolatmenetet és módszert átvették a vizuális kutatások is. Az idegtudományok más területein viszont az ismétlődéssel mutató aktivitáscsökkenést az emlékezeti reprezentáció kialakulásaként tekintették. Így nem véletlen, hogy a prediktív modellekben, amelyek aktív szerepet tulajdonítanak az emlékezeti működéseknek, szerepet kapott a ritka ingerre kialakult többletaktivitás (a „genuin” eltérési válasz) csakúgy, mint a gyakori ingerre bekövetkező aktivációcsökkenés (ingerspecifikus adaptáció).

Egy következő kérdés az automatikus eltérést jelző aktivitás agyi eredete. Az eseményhez kötött potenciálok módszere e vonatkozásban bizonytalan. A változások általában a fej hátsó részén elhelyezett elektródáknál a legnagyobbak, ami feltétlenül a látókéreg aktivitását jelzi. A módszerek megbízhatóságának határain belül a legtöbb adat a hierarchikus felépítésű látórendszer második emeletének szerepére utal, bár egyedi sajátságok esetében az elsődleges látókéreg szerepe sem kizárt. Mozgásirányok vizsgálata esetén pedig éppen azoknak a kérgi területeknek a működése valószínűsíthető, melyek erre a sajátságra érzékenyek. Korábban bemutattuk, hogy a jobb és bal kéz vizsgálata esetén a mozgató kéreg közelében lévő területek is aktívak. A fentiek fényében nem abszurd a feltételezés, hogy az agyi aktivitás azokban a látási „modulokban” jön létre, amelyek specifikusan az adott eltérésre érzékenyek. Számos kísérlet mutatja viszont azt is, hogy (a hasonló funkciójú hallási jelenségekhez hasonlóan) az elülső (homloklebenyi) területeken is megjelenik eltérési válasz, ami a viselkedést kontrolláló rendszerek bevonódását jelentheti.

Az utóbbi időben egyre több kutatás témája, hogy miként alakul az eltérési aktivitás speciális populációkban, legyenek ezek betegcsoportok (összefoglalásként lásd Kremláček et al., 2016), az aktivitás változása különleges helyzetekben vagy az automatikus változásdetekcióra vélhetően speciálisan érzékeny személyeknél (összefoglalásként lásd Czigler és Kajouharova, 2022).

Befejezőként: mára közhely, hogy az észlelés mechanizmusai az alkalmazható viselkedés szolgálatában alakultak ki, azaz nem azért jöttek létre, hogy csak úgy önmagáért legyen valamiféle élményünk a környezetről. Viselkedésünket nem jelentéktelen módon automatizmusok irányítják, azonban az automatikus irányítást

legalább (vagy majdnem) olyan gyakorisággal veszi át az a mechanizmus, melyet a pszichológia a 'figyelem' szóval jelöl. A rövid írás fő tanulsága, hogy az emlékezeti rendszerre, melynek meglétét olyan esetek kapcsán azonosíthatjuk, amikor a beérkező aktivitási minta tartalma nem felel meg a várható ingeregyüttesnek (eltérési agyi válaszok), mindenképpen szükségünk van.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Megköszönöm kollégáim sokéves munkáját. A 119587 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, az OTKA-K pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Alho, K. – Woods, D. L. – Algazi, A. et al. (1992): Intermodal Selective Attention. II. Effects of Attentional Load on Processing Auditory and Visual Stimuli in Central Space. *Electrophysiology and Clinical Neurophysiology*, 82, 356–368. DOI: 10.1016/0013-4694(92)90005-3
- Athanasopoulos, P. – Dering, B. – Wiggett, A. et al. (2010): Perceptual Shift in Bilingualism: Brain Potentials Reveal Plasticity in Pre-attentive Colour Perception. *Cognition*, 116, 437–443. DOI: 10.1016/j.cognition.2010.05.016, <https://bit.ly/3vIm5ho>
- Czigler I. (2005): *A figyelem pszichológiája*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Czigler I. (2010): Representation of Regularities in Visual Stimuli: Event-related Potentials Reveal the Automatic Acquisition. In: Czigler I. – Winkler I. (eds.): *Unconscious Memory Representations in Perception: Processes and Mechanisms in the Brain*. Philadelphia PA: John Benjamins Publishing Company, 107–132.
- Czigler I. – Csibra G. (1992): Event-related Potentials and the Identification of Deviant Visual Stimuli. *Psychophysiology*, 29, 471–484. DOI: 10.1111/j.1469-8986.1992.tb01722.x
- Czigler I. – Kajouharova, P. (2022): Visual Mismatch Negativity (vMMN): A Mini Review of Non-pathological Studies with Special Populations and Stimuli. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16 February DOI: 10.3389/fnhum.2021.781234, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2021.781234/full>
- Czigler I. – Pató L. (2009): Unnoticed Regularity Violation Elicits Change-related Brain Activity. *Biological Psychology*, 80, 339–347. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2008.12.001, https://www.researchgate.net/publication/23708565_Unnoticed_regularity_violation_elicits_change-related_brain_activity
- Czigler I. – Sulykos I. – File D. et al. (2019): Visual Mismatch Negativity to Disappearing Parts of Objects and Textures. *PLOS ONE*, 14, e0209130. DOI: 10.1371/journal.pone.0209130, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0209130>
- Czigler I. – Winkler I. (1999): Kognitív pszichofiziológia: Agyi elektromos változások és humán megismerési folyamatok. *Magyar Tudomány*, 44, 788–796. http://real-j.mtak.hu/156/1/MA-TUD_1999.pdf
- Csépe V. (2007): Érzékelés, észlelés, környezet. In: Csépe V. – Ragó A. – Győri M. (eds.): *Általános pszichológia I. Észlelés és figyelem*. Budapest: Osiris Kiadó, 27–60.

- Csizmadia P. – Petró B. – Kojouharova, P. et al. (2021): Older Adults Automatically Detect Age of Older Adults' Photographs: A Visual Mismatch Negativity Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, Aug. DOI: 10.3389/fnhum.2021.707702, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2021.707702/full>
- File D. – Petró B. – Czigler I. (2022): *Automatic Change Detection: Mismatch Negativity and the Now-classic Rensink, O'Reagan and Clark (1997) stimuli*. lektorálás alatt
- Fitzgerald, K. – Todd, J. (2020): Making Sense of Mismatch Negativity. *Frontiers in Psychiatry*, 11, 468. DOI: 10.3389/fpsy.2020.00468, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsy.2020.00468/full>
- Garrido, M. I. – Kilner, J. M. – Klaas, E. S. et al. (2008): The Visual Mismatch Negativity: A Review of Underlying Mechanisms. *Clinical Neurophysiology*, 120, 453–463. DOI: 10.1016/j.clinph.2008.11.029, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2671031/>
- Jensen, M. S. – Yao, R. – Street, W. N. et al. (2011): Change Blindness and Inattentional Blindness. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 2, 529–546. DOI: 10.1002/wcs.130, <https://bit.ly/3JPQZnj>
- Kecskés-Kovács K. – Sulykos I. – Czigler I. (2013a): Visual Mismatch Negativity is Sensitive to Symmetry as a Perceptual Category. *European Journal of Neuroscience*, 37, 662–667. DOI: 10.1111/ejn.12061, <https://bit.ly/37Md8pa>
- Kecskés-Kovács K. – Sulykos I. – Czigler I. (2013b): Is It a Face of a Woman or a Man? Visual Mismatch Negativity Is Sensitive to Gender Category. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 532. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00532, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2013.00532/full>
- Kimura, M. (2018): Visual Mismatch Negativity and Representational Momentum: Their Possible Involvement in the Same Automatic Prediction. *Biological Psychology*, 139, 178–185. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2018.10.015
- Kojouharova, P. – File D. – Sulykos I. et al. (2019): Visual Mismatch Negativity and Stimulus-specific Adaptation: The Role of Stimulus Complexity. *Experimental Brain Research*, 237, 1179–1194. DOI: 10.1007/s00221-019-05494-2, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6557884/>
- Kremláček, J. – Kreegipuu, K. – Tales, A. et al. (2016): Visual Mismatch Negativity (vMMN): A Review and Meta-analysis of Studies in Psychiatric and Neurological Disorders. *Cortex*, 80, 76–112. DOI: 10.1016/j.cortex.2016.03.017, <https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/123872/1/Visual%20mismatch%20negativity%20%28vMMN%29.pdf>
- Menzel C. – Kovács G. – Amado K. et al. (2018): Visual Mismatch Negativity Indicates Automatic, Task-independent Detection of Artistic Image Composition in Abstract Artworks. *Biological Psychology*, 136, 76–86. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2018.05.005, <https://zh.booksc.eu/book/70228250/21727d>
- Näätänen, R. – Gaillard, A. W. et al. (1978): Early Selective-attention Effects on Evoked Potentials Reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 319–329. DOI: 10.1016/0001-6918(78)90006-9, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.455.4015&rep=rep1&type=pdf>
- O'Regan, J. K. – Noë, A. (2001): A Sensorimotor Account of Vision and Visual Consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 5, 939–1031. DOI: 10.1017/S0140525X01000115, <http://nivea.psych.univ-paris5.fr/Manuscripts/ORegan;Noe.BBS.pdf>
- Rensink, R. A. – O'Regan, J. K. – Clark, J. J. (1997): To See or Not to See: The Need for Attention to Perceive Changes in Scenes. *Psychological Science*, 8, 368–373. DOI: 10.1111/j.1467-9280.1997.tb00427.x, <https://www2.psych.ubc.ca/~rensink/publications/download/PsychSci97-RR.pdf>
- Simons, D. J. – Chabris, C. F. – Schnur, T. (2002): Evidence for Preserved Representation in Change Blindness. *Consciousness and Cognition*, 11, 78–97. DOI: 10.1006/ccog.2001.0533, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.7.9990&rep=rep1&type=pdf>

- Stefanics G. – Czigler I. (2012): Automatic Prediction Error Response to Hands with Unexpected Laterality: An Electrophysiological Study. *Neuroimage*, 63, 253–261. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.068, <https://bit.ly/3xjldUK>
- Stefanics G. – Kimura, M. – Czigler I. (2011): Visual Mismatch Negativity Reveals Automatic Detection of Sequential Regularity Violation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 46. DOI: 10.3389/fnhum.2011.00046, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3099311/>
- Stefanics G. – Kremláček, J. – Czigler I. (2014): Visual Mismatch Negativity: A Predictive Coding View. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 666. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00666, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2014.00666/full>
- Tales, A. – Newton, P. – Troscianko, T. et al. (1999): Mismatch Negativity in the Visual Modality. *NeuroReport*, 10, 3363–3367. DOI: 10.1097/00001756-199911080-00020
- Wang, X-D. – Liu, A-P. – Wu, Y-Y. et al. (2013): Rapid Extraction of Lexical Tone Phonology in Chinese Characters: A Visual Mismatch Negativity Study. *PLOS ONE*, 8, e-56778. DOI: 10.1371/journal.pone.0056778, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0056778>
- Winkler I. – Czigler I. – Sussman, E. et al. (2005): Preattentive Binding of Auditory and Visual Stimulus Features. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 320–339. DOI: 10.1162/0898929053124866, https://www.researchgate.net/publication/7925640_Preattentive_Binding_of_Auditory_and_Visual_Stimulus_Features
- Zhao, L. – Li, J. (2006): Visual Mismatch Negativity Elicited by Facial Expressions Under Non-attentional Condition. *Neuroscience Letters*, 410, 126–131. DOI: 10.1016/j.neulet.2006.09.081, <https://bit.ly/3KGOVpt>

URL1: https://www.youtube.com/watch?v=bh_9XFzbWV8

URL2: A jelenség életszerűbb demonstrációját lásd <https://vimeo.com/81039224>