

Czigler István—Winkler István*

Kognitív pszichofiziológia:

agyi elektromos változások és humán megismerési folyamatok

Cikkünk megírására valószínűleg nem került volna sor, ha Risto Näätänen, a Helsinki Egyetem professzora nem kapja meg elsőként a mintegy 11 millió forintnak megfelelő díjazású, de még ennél is nagyobb erkölcsi elismerést jelentő „Finnország Tudományos Díja” (Suomen Tiedpalkino) kitüntetését. Az írás motivációjában kétségtelenül része volt annak is, hogy az MTA Pszichológiai Intézetéből többen dolgoztak együtt Näätänen professzorral, és van, aki mesterének tekinti. Azonban ennél talán fontosabb, hogy ez az elismerés ráirányítja a figyelmet a pszichológia egy olyan területére, mely közvetlenül kapcsolódik a pszichikus működéseket megalapozó élettani mechanizmusok vizsgálatához, ám fontossága talán kevésbé észrevehető az idegtudomány, az agy kutatás és a kognitív tudomány számos, jobban népszerűsített területe között. Mivel írásunk aktualitását Risto Näätänen kitüntetése adta, az eseményhez kötött agyi aktivitás pszichológiai felhasználása, a kognitív pszichofiziológia bemutatásakor valamivel részletesebben azokra a témakörökre térünk ki, melyekben munkánk kapcsolódik az övéhez.

Századunk húszas évei óta, Hans Berger alapvető felfedezésének köszönhetően ismert, hogy fejbőrre helyezett elektródák között feszültségkülönbség mérhető, ami az idő függvényében változik. A feszültségkülönbség nagyságrendje a volt milliomod része (μV), a változásokat leíró görbét elektroencefalogramnak nevezik. Jellemzői többek között kapcsolatban állnak az éberség szintjével, mint ez az alfa-hullám kapcsán az utóbbi években közismertté vált. Egy külső hatás (inger) az információfeldolgozó (érzékelő-észlelő) rendszer aktivitását befolyásolva időlegesen megváltoztatja az elektromos aktivitást. Az ilyen elektromos potenciálváltozást *kiváltott potenciálnak* nevezzük. Megváltozik az elektromos működés akkor is, ha előkészülünk egy akaratlagos mozgásra.

* A szerzők megköszönik az OTKA (T 017938) támogatását.

Az időleges elektromos aktivitásváltozásokat összességükben *eseményhez kötött potenciálnak* (EKP) nevezzük. Ezek az elektromos jelenségek több hullámból (komponensből) állnak, melyek az információfeldolgozó rendszer különféle rész-működéseivel állnak kapcsolatban. A pszichológus számára fontosságukat éppen ez adja meg.

Felhasználásukkal kapcsolat teremthető a *pszichológiai fogalomrendszerben* jellemzett működések (várakozás, figyelmi szelekció, eltérés detekció stb.) és az agyi tevékenység élettani leírása között. Nagy előnye e módszernek, hogy az észlelési, figyelmi és egyes emlékezettel kapcsolatos folyamatokat a másodperc ezredrészének (milliszekundum, ms) nagyságrendjében képes követni. E kiváló időbeli felbontás mellett a módszer előnye az is, hogy segítségével olyan ingerek feldolgozásából is kaphatunk adatokat, melyek nem vezetnek viselkedéses válaszhoz, így a kísérletes pszichológia hagyományos módszereivel (például reakcióidő, hibás válaszok aránya) hozzáférhetetlenek.

Nem csekély nehézséget okoz azonban, hogy az agyban egyszerre számos folyamat zajlik, s ezek többsége nem kapcsolódik az adott esemény feldolgozásához. Ráadásul azok a közegek, melyekben az elektromos változások terjednek (agyburkok, csont stb.), a jeleket torzítják. Így a jel/zaj arány alacsony, amin általában úgy javítunk, hogy több, egymással egyenértékű esemény elektromos hatását *átlagoljuk*. Ekkor az ingerhez közvetlenül kapcsolódó elektromos válasz változatlan marad, a „zaj” viszont — az átlagolásba bevont esetek számának függvényében — csökken.

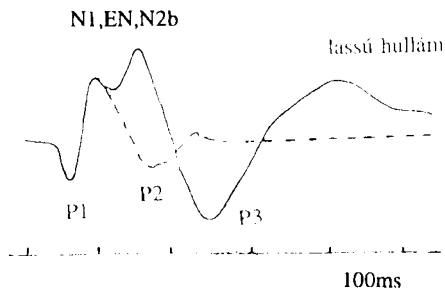
Az eseményhez kötött potenciálok egyes összetevőinek agyi eredetét elég jól ismerjük, annak ellenére, hogy az elektromos jelek téri eloszlásából (abból, hogy a fej mely területe felett elhelyezett elektródák esetében a legnagyobb a hullám, illetve miképpen csökken ennek nagysága a szomszédos területek felett) sokszor nem könnyű visszakövetkeztetni a pontos agyi eredetre. Az elektromos jelek elemzését más eljárásokkal (a mágneses mezők változásának regisztrálása, az agyi véráramlás mértékét elemző eljárások, valamint gyakran az állatkísérletes modellek) kombinálva azonban egyre pontosabb és megbízhatóbb képet kapunk az elektromos tevékenység egyes összetevőinek agyi forrásáról.

Az eseményhez kötött agykérgi elektromos potenciálok összetevői között vannak olyanok, melyeket az ingerek attól függetlenül kiváltak, hogy az esemény valamilyen feladat szempontjából fontos-e vagy sem, figyel-e rá a vizsgált személy vagy sem, illetve milyen a viszonya a megelőző eseményekhez, például ritka vagy gyakori-e, hasonló-e vagy sem a megelőző ingerekhez. Bár számos területen, így az érzékelés elemi működéseinek vizsgálatában is jelentős sikerrel alkalmazzák ezeknek az összetevőknek az elemzését¹, a kognitív pszichofiziológia inkább az összetevők másik csoportjával foglalkozik. Egyetlen, a pszichológiai kérdések szempontjából feltétlenül érdekes jelenséget azért megemlítünk ezeknek az *exogén* összetevőknek a területéről. Arcok bemutatása esetén egy olyan hullám, mely valószínűsíthetően az agynak azokról a területeiről ered, mely a látott ingerek észlelési kategorizációjával kapcsolatos működést végez, lényegesen nagyobb, mint más képi ingerek (pl. közlekedési eszközök, állatok) esetében. Újabban ugyanezt a hullámot szavak, betűsorok bemutatása esetében is kiemelkedően nagynak találták, így esetleg egy olyan hullámot sikerült regisztrálni, amely a mintalátás elemi működéseit követően azokkal a folyamatokkal áll kapcsolatban, melyek egy gyakori és fontos *általános*

kategória kialakítását követően (arc, betűsor) olyan folyamatokat indítanak el, melyek a kategória speciális, egyedi eseteinek feldolgozását végzik². Mind az arcok, mind pedig a betűsorok esetében a kategória szerinti feldolgozás a mindennapi életben általában elégtelen, hiszen arra is szükség van, hogy azonosítsuk a személyt, illetve a betűsor lexikai sajátosságait. Egyéb képek esetében viszont jobbra megelegszünk a kategoriális észleléssel (*egy repülőgép, egy macska, egy tea-főző stb.*)

Az eseményhez kötött potenciálösszetevők másik csoportjába azok a hullámok tartoznak, melyeket befolyásolnak feladatok, hatással van rájuk az ingerek valószínűsége, illetve a megelőző események jellege. Az 1. ábra szematikusan mutatja be hangingerek esetében az EKP agykérgi összetevőit, különös tekintettel e második *endogén* csoportra.

1. ábra



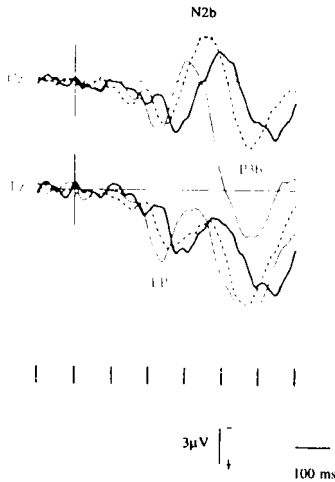
Eseményhez kötött potenciálok agykérgi összetevőinek vázlata hangingerek esetén, az egyes összetevők megnevezésével. A szaggatott vonal nem figyelt ingerekkel kiváltott válasz, a folyamatos vonal pedig egy feladat szempontjából fontos. A N1, az eltérési (össze-nem-illési) negativitás (EN) és az N2b elválasztása többnyire speciális eljárásokat igényel. A P3 komplex jelenség, több rész-összetevőből (P3a, P3b) állhat. A P3 összetevő után lassú hullámok jelentkezhetnek, melyek az elülső területek felett pozitív, a hátsó területek felett negatívak lehetnek. E hullámokat egyelőre nem sikerült egyértelműen pszichológiai fogalmakkal meghatározott jelenségekhez kötni.

Az eseményhez kötött potenciálok elemzésének segítségével jelentős eredményeket értek el a *figyelem* vizsgálatában. E terület egyik alapkérdése, hogy a figyelmi szelekció módosítja-e az érzékelés elemi folyamatait, vagy csak a már feldolgozott, észlelt, azaz valamilyen kategóriába sorolt események szintjét érintik-e a figyelmi folyamatok. Az előző lehetőséget a *korai szelekciós*, az utóbbit a *késői szelekciós* figyelem-elméletek hangsúlyozzák.³

Az eseményhez kötött potenciál módszer döntő érveket szolgáltatott arról, hogy a látótérnek azokról a területeiről, melyekre figyelünk, mintegy *felerősítve* vesszük fel az ingereket, még akkor is, ha tekintetünk egy másik pontra irányul. A figyelt területekre eső ingerek ugyanis lényegesen nagyobb agyi aktivitást váltanak ki a vizuális észlelés elemi folyamataiban közreműködő területeken, azaz megnő olyan EKP összetevők mérete, melyek a látás kérgi rendszerének alacsonyabb szintjeinek működését tükrözik. A képernyő két oldalán előre megjósolhatatlan sorrendben jelennek meg fényfelvillanások, a vizsgálat résztvevőjének viszont csak az egyik oldalra kell figyelnie, mivel ott jelennek meg azok az ingerek, melyekre választ kell adnia.

Figyelni nem csak téri helyekre lehet, hanem színekre, formákra és más tulajdonságokra is. Érdekes jelenség viszont, hogy abban az esetben, ha egy adott színű, formájú, irányú tárgyra, azaz nem valamilyen helyre irányul a figyelem, a fent bemutatott agyi elektromos változásokhoz hasonló jelenségek

nem tapasztalhatók. Ekkora figyelmi feldolgozásra jellemző újabb hullámok mutatják a nem-téri szelekció jellegzetességeit. Ezek a figyelmi összetevők érzékeny mutatói például az időskorral járó lassulási folyamatoknak. A 2. ábra ebből a szempontból hasonlítja össze egy idős, egy középkorú és egy fiatal csoport eredményeit⁴.



2. ábra.

Vizuális figyelmi hatások fiatal, középkorú és idős személyek csoportjában²². Felhívjuk a figyelmet az elülső pozitivitás (EP) és az N2b összetevő életkori változására; vékony folyamatos vonal: fiatal csoport, szaggatott vonal: középkorú csoport, vastag folyamatos vonal: idős csoport. E komponensek olyan ingerekre regisztrálhatók, melyek egy feladat szempontjából fontosak. Minél ritkább az ilyen inger, az N2b összetevő annál nagyobb. Mint látható, a figyelmi folyamatok sebessége az életkor előrehaladtával csökken, azaz e hullám az inger kezdetéhez képest egyre később jelentkezik. Jelentős életkori eltérést mutat a P3b komponens is.

Amikor hangokra figyelünk, az eredmények látszólag a téri vizuális figyelem területén jelentkező adatokra hasonlítanak. A figyelt hangok nagyobb összetevőt (N1) váltanak ki, márpedig ez a hullám elemi akusztikus működésekkel áll kapcsolatban. Näättänen mutatta ki⁵, hogy egyes határesetektől eltekintve nem erről van szó. A figyelt ingerek esetében egy további hullám jelenik meg, amit *feldolgozási negativitásnak* nevezett el. Modellje szerint — melyet azóta számos egyéb módszerrel is megerősítettek — a rövid tartamú emlékezeti tárolás aktívan fenntartja annak az ingernek a nyomát, melyre 1) figyelünk, és 2) elég gyakran jön ahhoz, hogy az emlékezeti nyom felfrissüljön a rövid tartamú emlékezeti tárolóban. Az olyan ingerek, melyek *megfelelnek* ennek az emlékezeti nyomnak, aktiválják a figyelmi rendszert, és ennek megnyilvánulása a feldolgozási negativitási hullám. Mármost ha csak ritkán jön olyan inger, amire reagálni kell, a figyelmi szelekciós rendszer számára annak a sajátságának a tárolása marad mint lehetőség, hogy melyik fülbe érkezik az inger (vagyis hogy *honnán* érkeznek a hangok). A kiválasztott irányt őrzi tehát a *figyelmi nyom*. A figyelmi szelekció olyan többlet-folyamat, mely akkor jön létre, ha a beérkező inger megfelel a figyelmi nyomnak. A modell sikere az emlékezeti folyamatok és a figyelmi szabályozás összekapcsolásában rejlik.

A hangok feldolgozásában az EKP módszer lehetőséget teremtett egy még a fentieknél is elemibb, de minden bizonnyal alapvető fontosságú mechanizmus, az *automatikus változás detekció* megismerésére⁵. A jelenség legegyszerűbben a kiinduló kísérleti helyzet leírása alapján érthető meg. A résztvevő olvas vagy videójátékot játszik, azaz figyelmét lekötik valamilyen érdekes feladattal. Eközben hangsorozatokat hall, melyekben a hangok egyik típusa (például a magasabb hang) gyakran, egy másik (például a mélyebb hang) pedig ritkábban (például 80% — 20%) szólal meg. Ilyen helyzetben a résztvevők néhány perc

Az utóbbi időkben tisztázódott, hogy az össze-nem-illési (eltérési) negativitás rész-összetevőiből jelentős aktivitás az agykérgi hallórendszer elemi feldolgozást végző területeiről (az elsődleges hallókéregből, illetve az azzal szomszédos területekről) származik.⁸

Näätänen felfedezésének érdekességét az adja, hogy kiderült, mint nagyon érzékeny mutatót, ezt az egyszerű jelenséget igen sok kutatási területen lehet alkalmazni. Elméleti szempontból talán azok a kutatások a legérdekesebbek, melyeknek célja az akusztikus (szenzoros) emlékezeti rendszer sajátosságainak megismerése. Az emlékezeti rendszerekkel kapcsolatosan a következő kérdéseket szokták feltenni: mennyi ideig tárol, mi tárolódik benne, mekkora a tárolási kapacitása, milyen kapcsolatban van más tárolási rendszerekkel, mire használható az, amit tárol. Az akusztikus szenzoros emlékezet esetében e kérdések közül többre olyan kutatások adtak választ, melyek Magyarországon, illetve magyar kutatók közreműködésével Finnországban folytak. A tárolás időtartamát úgy jellemzik, hogy az ingerek közötti időközt változtatva megállapítják, mi az a legkisebb időtartam, amikor már nem jön létre eltérési negativitás. Ez az időtartam ugyanis azt jelzi, hogy a végére a gyakori inger által kialakított emléknym már elhalványult. Az eredmények szerint a tárolási idő ebben a rendszerben 10 s körül van.⁹ Az utóbbi időben elvégzett vizsgálatok szerint az akusztikus szenzoros emlékezeti rendszer „többet tud” annál, hogy csupán a legegyszerűbb fizikai sajátosságokat tárolja, mint valamiféle lenyomatot. Ha erre lehetőség van, az egyes hangok különböző tulajdonságait együttesen kezeli, azaz akusztikus eseményeket tárol, ha viszont erre nincs lehetősége, külön-külön raktározza el az egyes akusztikus sajátosságokat (hangmagasságot, időtartamot, irányt, erősséget).¹⁰ A rendszer érzékenysége a szubjektív akusztikus élmények érzékenységéhez hasonlít. Ha például egy hanginger lehetetlenné teszi a megelőző inger észlelését (visszaható maszkolás), elvész az eltérési negativitás is.¹¹ Az akusztikus emlékezeti rendszer több hang sajátosságait képes egyszerre tárolni, a ritka ingerek több gyakori ingerrel szemben kiváltanak eltérési negativitást.¹² Kiderült az is, hogy a szenzoros emlékezeti rendszer rövid tárolási ideje nem jelenti azt, hogy független lenne a tartósabb emlékezeti rendszerektől. A szenzoros emlékezeti rendszer gyorsabban alakítja ki azt az eltérés detekciójára alkalmas nyomot, ha a „gyakori” inger sajátosságai korábban már tartósan tárolódtak. Ráadásul e rendszer a tapasztalatok formálják. Egy nyelv sajátos fonémarendszere olyan vonatkozási keretet jelöl ki, melyhez igazodik az adott anyanyelvű személyek akusztikus detekciós képessége. Összehasonlító vizsgálatokban (pl. finn—magyar összehasonlításban) olyan hangok szerepeltek, melyeket az egyik nyelv megkülönböztet mint két eltérő fonetikai egységet, a másik viszont nem. Bár ilyenkor a hangok fizikai eltérése azonos, az eltérési negativitás azoknál a résztvevőknél nagyobb, akiknél az eltérés túllépi valamely fonetikus kategória határát.¹³

A gyakorlati felhasználás érdekében is megindultak a kutatások, főként az időskori kognitív zavarok, a Parkinson-betegség, skizofrénia, az afáziák, valamint az olvasási zavarok területén.¹⁴ E kutatások célja egyrészt az automatikus információfeldolgozás és a szenzoros emlékezet esetleges károsodásának vizsgálata ezekben a kóros állapotokban, másrészt az eltérési negativitás hiányának vagy szokatlan megjelenésének diagnosztikus, illetve prognosztikus felhasználása. Három terület emelkedik ki e felhasználási lehetőségek közül: 1) Cochleáris implantátumok működésének ellenőrzése¹⁵, 2) friss kutatási adatok arra mu-

tatnak, hogy az eltérési negativitás megjelenése kórnás betegeknel a felépülés megbizható előrejelzője^{16, 3)} jelenleg európai összefogásban (magyar részvétellel) folynak kísérletek az eltérési negativitásnak a gyermekkori dyslexia korai előrejelzésére történő felhasználására (az eltérési negativitás fejlődési aspektusainak összefoglalóját lásd¹⁷⁾). Az eltérési negativitás elemzését más területen is igyekeznek felhasználni. Annak ellenére, hogy az eltérésdetekció automatikus működés, az eltérési negativításra hatással van a szellemi terhelés szintje: megeröltető kognitív feladatok esetében az eltérési negativitás mérete csökken¹⁸⁾. Így ez az EKP összetevő alkalmazhatónak tünik szellemi terhelés közvetett mérésére. Más módszerekkel szemben nagy előnye az eljárásnak, hogy a hagyományos pszichológiai eljárásokkal szemben nem zavarja azt a feladatot, melyeknek terhelési szintjét mérni kívánjuk.

Röviden bemutatjuk, miként lehet néhány további EKP komponens elemzését felhasználni pszichológiai kérdések vizsgálatában. E terület egyik első lényeges felfedezése volt, hogy egy figyelmeztető és egy választ igénylő inger között időben (a helyzet hasonlít a futóversenyen az indító „elkészülni” vezényszava és a startpisztoly hangja közötti időközre), egy negatív polaritású potenciál változás regisztrálható¹⁹⁾. E hullám a felkészülés, várakozás objektív mutatója. Nagysága jelzi a várakozás mértékét, csökkenése pedig jellegzetes egyes pszichiátriai betegségek esetében.

A pszichológiai kutatásokban talán legtöbbet vizsgált EKP összetevő akkor jelenik meg, amikor egy inger valamilyen feladat szempontjából fontos, vagy az inger váratlan, újszerű. Ez az összetevő a sorban harmadik pozitív hullám, ezért P3-nak nevezik, illetve, tekintettel arra, hogy az inger megjelenését követően legalább 300 ms telik el megjelenéséig, nevezik P300-nak is. Minél kisebb egy inger szubjektív valószínűsége, e hullám annál nagyobb²⁰⁾. Megjelenik akkor is, ha egy inger váratlanul elmarad. Minél bonyolultabb feldolgozást igényel egy külső hatás, annál később jelenik meg a P3 (annál hosszabb lesz a látenciája). Ha például egy szó-sorozatban mindössze két szó szerepel (pl. Jancsi és Juliska), és az egyik megjelenésekor (pl. ha a Jancsi szó jelenik meg a képernyőn) meg kell nyomni egy gombot, az ilyen szó rövidebb látenciával váltja ki a P3 összetevőt, mint ugyanez a szó akkor, ha a sorozatban sok férfit és nőt jelentő szó van, és a feladat a gomb megnyomása valamennyi férfit jelentő szó esetében. A P3 így megmutatja, mikor tart hosszabb és mikor rövidebb ideig egy inger kiértékelése, és ez az adat független azoktól a mozgás-szervezési tényezőktől, melyek a hagyományos reakcióidő-mérések eredményeit torzítják. Éppen ezért a P3 komponens mérését egyre gyakrabban használják a megismerési teljesítmények vizsgálatában akár időskori változásokat, akár kognitív terhelést, egyes farmakológiai hatásokat mérnek.

Ha egy feladatban gyors válaszokat kell adni, időnként hibázunk, és néha ezt utólag észre is vesszük. Különösen gyakoriak az ilyen esetek, ha a feladat kissé nehezebb: például egy balra mutató nyílra jobb kézzel kell válaszolni, és fordítva. Kimutatható, hogy ilyen és ehhez hasonló feladatokban a hibás választ követően igen rövid idővel egy olyan agyi hullám jelentkezik, amely helyes válaszok esetében nem azonosítható, az agy tehát regisztrálta a hibát. Ennek a hibához kötött negativitásnak²¹⁾ a használhatósága nyilvánvalónak tünik számos olyan területen, ahol a tevékenység egyaránt igényli a pontosságot és a gyorsaságot.

Míg a fentiekben bemutatott eseményhez kötött potenciál-összetevők gyakorlati felhasználása is könnyen belátható, más komponensek egyelőre elméleti fontosságukkal tűnnek ki. Ha szavanként bemutatunk egy mondatot, mire az utolsó szóhoz érünk, általában nem, ér nagyobb meglepetés. „A postás bedobta a ládába a” szó sor az esetek többségében a levél szóval, vagy ennek valamilyen rokonával fejeződik be. Ha viszont a befejezés lehetséges ugyan, de furcsa (A postás bedobta a ládába a szalámit.), a furcsa befejezést követően mintegy 400 ms-mal megjelenik egy EKP összetevő, az N400²². Az N400 nem egyszerűen a váratlanság, az össze-nem-illés jele. Amikor például egy ismert dallam fejeződik be váratlan hanggal, nem ilyen hullám mutatkozik, hanem a már említett P3. Az N400 a szemantikai feldolgozással kapcsolatos, amit az is mutat, hogy szavak listáját bemutatva egy szó ismételt megjelenése kisebb N400 kiváltásával jár, mint amikor először mutatták be a szót. De ugyanez a helyzet, ha a kritikus szót valami hasonló jelentésű szó előzte meg. E jelenséget előfeszítésnek (az első példában ismétléses előfeszítés, a másodikban szemantikus előfeszítés) nevezik, és segítségével (többek között) a jelentések rendszerének szerveződését vizsgálják a pszichológusok. Az N400 elemzése így a kísérletes pszicholingvisztikai kutatások egyik bevett eszközévé vált.

* * *

E rövid összeállításban nem lehetett célunk a kognitív pszichofiziológia területének átfogó ismertetése. Célunk inkább a figyelem felkeltése volt: egy olyan módszert igyekeztünk bemutatni, mely ma már a kísérleti pszichológiai laboratóriumokban szinte rutineljárás, ugyanakkor alkalmas arra, hogy a kognitív pszichológia és az idegtudományok között kapcsolatot teremtsen. Ebben a szerepében kiegészíti az idegrendszeri sérülések kapcsán a funkciók kiesésének és átépülésének tanulmányozásával foglalkozó neuropszichológiai vizsgálatokat csakúgy, mint azokat az eljárásokat, melyek egyes működések idegrendszeri lokalizációjáról adnak képet, ugyanakkor viszont nem képesek az egyes részfolyamatok, és ezek időbeli kapcsolatának elemzésére.

JEGYZETEK:

- 1 Például a látásélesség vagy a hallórendszer épségének vizsgálatában olyan esetekben, amikor a vizsgált személy nem képes beszámolni élményeiről. Így e módszerek csecsemők vizsgálatában is elterjedtek.
- 2 Arcok esetén a megnövekedett centrális pozitívítást (P150) Aled Jeffreys (összefoglalásként l. *Jeffreys, D.A.* (1996). Evoked potential studies of face and object processing. *Visual Cognition*, 3, 1–38.) írta le, szavak esetében pedig l. *Schendan, H.E. Ganis, G., and Kutas, M.* (1998). Neurophysiological evidence for visual perceptual categorization of words and faces within 150 ms. *Psychophysiology*, 35, 240–251.
- 3 Összefoglalásként l. *Czigler, I.*: Figyelem. *Scientia Humana*, Budapest, 1995.
- 4 *Czigler, I., Csibra, G. and Ambró, Á.* (1994). Event-related potentials and aging: identification of deviant visual stimuli. *Journal of Psychophysiology*, 8, 193–210 adatai alapján.
- 5 Részletesebben l. *Näätänen, R.* (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 6 Magyar nyelven részletesebben d. *Czigler, I. im., Csépe, V., & Molnár, M.* (1988). A korai, automatikus információfeldolgozás kiváltott potenciál korrelátuma — állatkísérletes modell. *Pszichológia*, 8, 193–206.
- 7 *Winkler, I., Karmos, G., & Näätänen, R.* (1996). Adaptive modeling of the unattended acoustic environment reflected in the mismatch negativity event-related potential. *Brain Research*, 742, 239–252., valamint *Winkler, I.* (1996). Necessary and sufficient conditions for the elicitation of the mismatch negativity. In: *C. Ogura, Y. Koga, & M. Shimokochi* (eds.). *Recent Advances in Event-related Brain Potential Research*. Amsterdam: Elsevier, pp. 36–44.

- 8 Ezen a területen jelentősek a magyar állatkísérletes, macskákon (Csépe, V., Karmos, G., & Molnár, M. (1989). Subcortical evoked potential correlates of early information processing: Mismatch negativity in cats. In E. Basar & T.H. Bullock (Eds.), Springer series in brain dynamics 2 (pp. 279–289). Berlin: Springer Verlag), illetve majmokon (Karmos, G. (1993). Tiermodelle lokalisieren intrakortikale Generatoren der ereigniskorrelierten Potentiale. Zeitschrift für Elektroenzephalographie, Elektromyographie und verwandte Gebiete, 24, 56–62.) végzett vizsgálatok. A homloklebenyi összehangó egyik legfontosabb bizonyítékát a károszméletlen alapuló magyar vizsgálatok szolgáltatták (Molnár, M., Skinner, J.E., Csépe, V., Winkler, I., & Karmos, G. (1995). Correlation dimension changes accompanying the occurrence of the mismatch negativity and the P3 event-related potential component. Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 95, 118–126).
- 9 Czigler, I., Csibra, G., & Csontos, A. (1992). Age and inter-stimulus interval effect on event-related potentials to frequent and infrequent auditory stimuli. Biological Psychology, 33, 195–206., valamint Cowan, N., Winkler, I., Teder, W., & Näätänen, R. (1993). Memory prerequisites of the mismatch negativity in the auditory event-related potential (ERP). Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 19, 909–921.
- 10 Winkler, I., Paavilainen, P., Alho, K., Reinikainen, K., Sams, M., & Näätänen, R. (1990). The effect of small variation of the frequent auditory stimulus on the event-related brain potential to the infrequent stimulus. Psychophysiology, 27, 228–235., és Winkler, I., Teravainen, M., Huotilainen, M., Ilmoniemi, R., Ahonen, A., Salonen, O., Standertskjöld-Nordenstam, C-G., & Näätänen, R. (1995). From objective to subjective: pitch representation in the human auditory cortex. NeuroReport, 6, 2317–2320., valamint Czigler, I. & Winkler, I. (1996). Preattentive auditory change detection relies on unitary sensory memory representations. NeuroReport, 7 (15), 2413–2417.
- 11 Winkler, I., Paavilainen, P., & Näätänen, R. (1992). Can echoic memory store two traces simultaneously? A study of event-related brain potentials. Psychophysiology, 29, 337–349.
- 12 Winkler, I., & Näätänen, R. (1992). Event-related potentials in auditory backward recognition masking: a new way to study the neurophysiological basis of sensory memory in humans. Neuroscience Letters, 140, 239–242., valamint Winkler, I., Reinikainen, K., & Näätänen, R. (1993). Event-related brain potentials reflect traces of the echoic memory in humans. Perception & Psychophysics, 53, 443–449.
- 13 Winkler, I., Cowan, N., Csépe, V., Czigler, I., & Näätänen, R. (1996). Interactions between transient and long-term auditory memory as reflected by the mismatch negativity. Journal of Cognitive Neuroscience, 8, 403–415., illetve Winkler, I., Lehtokoski, A., Alku, P., Vainio, M., Czigler, I., Csépe, V., Aaltonen, O., Raimo, I., Alho, K., Lang, A.H., Iivonen, A., & Näätänen, R. (előkészületben). Pre-attentive vowel discrimination is guided by learned categories.
- 14 Összefoglalásként I. Csépe V. & Molnár M. (1997). Towards the possible clinical application of the mismatch negativity component of event-related potentials. Audiology & Neuro-Otology, 2, 354–369.
- 15 Groenen, P., Suijk, A., & van der Broek, P. (1996). On the clinical relevance of mismatch negativity: results from subjects with normal hearing and cochlear implant users. Audiology & Neuro-Otology, 1, 112–124.
- 16 Kane, N.M., Curry, S.H., Rowlands, C.A., Manara, A.R., Lewis, T., Moss, T., Cummins, B.H., & Butler, S. R. (1996). Event-related potentials - neurophysiological tools for predicting emergence and early outcome from traumatic coma. Intensive Care Medicine, 22, 39–46.
- 17 Csépe, V. (1995). On the origin and development of the mismatch negativity. Ear and Hearing, 16, 91–104.
- 18 A kísérletet szimulációs körülmények között végezték radar megfigyelőkön. Kramer, A.F., Trejo, L.J. and Humphrey, D. (1995). Assessment of mental workload with task-irrelevant auditory problems. Biological Psychology, 40, 83–100.
- 19 A várakozási hullám az egyik legelső olyan felfedezés volt az eseményhez kötött agyi elektromos változások területén, mely felkeltette a pszichológusok érdeklődését. Walter, W.G., Cooper, R., Aldridge, V.J., McCallum, W.C., and Winter, A.L. (1964). Contingent negative variation: an electric sign or sensorimotor association and expectancy in the human brain. Nature, 203, 380–384. Ma már nem tartják egységes hullámnak, rész-összetevői között van olyan, mely a figyelmeztető inger kiváltotta orientációs válaszhoz kapcsolódik, más részösszetevői pedig a választ igénylő ingerrel kapcsolatos mozgásos felkészüléshez.
- 20 A P3 felfedezését Sutton, S., Braren, M., Zubin, J. and John E.R. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. Science, 150, 1187–1188. közleményéhez kötik. Kognitív pszichológiai vizsgálatokban — humán- és állatkísérletekben egyaránt — az elsők között Marton Magda vizsgálta Magyarországon.
- 21 Falkenstein, M., Hohnsbein, and Hoormann, J. (1995). Event-related correlates of errors in reaction tasks. In: Karmos, G., Molnár, M., Csépe, V., Czigler, I., and Desmedt, J.E. (Eds.), Perspectives of event-related potential research (EEG suppl. 44). Elsevier, Amsterdam, pp. 287–296.
- 22 Az N400 jelenleg a pszichológiai kiindulású eseményhez kötött potenciálvizsgálatok egyik legtöbbet vizsgált összetevője. Leírása először Kutas, M. és Hillyard, S.A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. Science, 207, 203–205. közleményében jelent meg. Ha egy mondat szintaktikailag hibás, nem N400 jelentkezik, hanem egy későbbi, pozitív hullám.