

ELŐSZÓ

A tematikus szám, amit kezében tart az olvasó, az öregedést és az ezt kísérő változásokat járja körül, és az MTA Pszichológiai Kutatóintézetében zajló kutatásokból nyújt válogatást. Az öregedés vizsgálatának egyik izgalmas eleme, hogy a fiziológiásan lezajló változásokon válik követhetővé, hogy az agy struktúrája hogyan határozza meg annak funkcióit, s mindez hogyan jelenik meg például – a kötet szerzői által tárgyalt területeken – a figyelmi, emlékezeti folyamatokban, az érzelmi feldolgozásban.

Az általánosan elterjedt nézettel szemben, miszerint az életkor előrehaladtával minden területen hanyatlás következik be, a kognitív folyamatokkal összefüggő idegrendszeri aktivitás csökkenést és növekedést egyaránt mutat. Azokban a régiókban, amelyek aktívak a fiataloknál egy feladat végrehajtása során, az idősseknél általában csökkenés található, ám egyidejűleg egyéb területek bevonása is megfigyelhető, ami valószínűleg kompenzációként értelmezhető. Az érzelmek területén is megfigyelhető egy „pozitív hatás”. Ez a kérdéskör példát szolgáltat rá, hogy többféle megközelítés, értelmezés adható egy-egy jelenség esetén. Mint az itt közölt cikkekből is kiderül, az idősök a fiataloktól eltérően dolgozzák fel az érzelmeket. Ezeket egyes szerzők az általános kognitív hanyatlás egy megnyilvánulásának tartják, mások úgy gondolják, hogy specifikus neuropszichológiai változások zajlanak az agyban, míg az egyik jelenleg legnépszerűbb elmélet szerint „pozitív torzítás” történik az idősseknél az információfeldolgozás során.

A kognitív folyamatokban az idősök és fiatalok közötti különbséget általában azzal magyarázzák, hogy csökken az agy szerkezeti és működésbeli integritása. Újabban kiegészítik ezt azzal a megállapítással, hogy a strukturális és funkcionális plaszticitás is csökken, tehát kevésbé rugalmasan tud reagálni az agy a környezeti igényekre. Ám a két szint folyamatos egymásra hatásban áll, s a morfológiai átalakulás funkcionális újraszerveződéshez vezethet, stratégiai változásokat eredményezhet, melyek visszahatnak a szerkezetre. Ha megismerjük, az egyes kognitív vagy affektív funkciók milyen strukturális hátteret igényelnek és ezek az

agyi területek hogyan változnak az öregedés során, olyan tréningek tervezése válik lehetővé, amelyek a megmaradó plaszticitás kihasználásával hatékonyabb működést eredményeznek.

A kötet a fenti kérdéseket érinti egy-egy kísérlet leírásával, melyek megvalósulását a TÁMOP 4.2.1./B-09/KMR-2010-0003 pályázat tette lehetővé.

Gaál Zsófia Anna

CZIGLER ISTVÁN*

KELLEMES ÖREGSÉG

Beérkezett: 2011. szeptember

Elfogadva: 2011. november

A tanulmány az öregedéssel jelentkező „pozitivitási hatást” elemzi. Számos viselkedéses és idegtudományos eredmény szerint idős személyek kevésbé negatívnak, illetve pozitívabbnak ítélnék meg eseményeket, mint fiatalok. Az összefoglalás bemutatja a jelenséget magyarázni kívánó „szocioemocinális szelektivitás” elméletet, de rámutat az empirikus adatok korlátaira is. Hangsúlyozza, hogy az életkori eltérést megalpozó idegrendszeri változásokat nem lehet egy korlátozottabb idegrendszeri hálózat működésére visszavezetni, és nem lehet egyedül idegtudományos keretek között értelmezni.

Kulcsszavak: életkori változások, szocioemocinális szelektivitáselmélet, negatív torzítás, eseményhez kötött potenciálok

Egy ismerőse így szólt Kellér Dezsőhöz:
„Az öregségnek is vannak előnyei.”
Kellér: „Mondjon egyet!”

Az időskori kognitív változások irodalma szinte áttekinthetetlen. A Web of Science adatbázisban az „(age OR aging OR ageing) AND (cognition OR cognitive)” keresésre az utóbbi tíz évre szűkítve is több mint 40 000 egység kerül elő. Ahol a vizsgálatok eredményei teljesítménymutatókat takarnak, az „időskori változás” kifejezés meglehetősen eufemisztikus, amennyiben arra utal, hogy az idős csoportok teljesítményei általában rosszabbak mint a fiataloké. A laboratóriumi vizsgálatokban mutatkozó teljesítménycsökkenésekről, azok okairól, továbbá azokról az észlelési és emlékezeti működésekről, ahol ilyen változások nem jelentkeznek, számos összefoglalás szól (pl. Czigler, 2000). A jelen – meglehetősen szelektív – összefoglalás témája az öregség egy előnyös tulajdonságát mutatja be. Az összefoglalás röviden ismerteti a „pozitivitási hatást”, a terület viselkedéses eredményeit, és néhány pszichofiziológiai vizsgálat alapján bemutatja, milyen elképzelések születtek a jelenség mögött álló mechanizmusokról.

* MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, e-mail: czigler.istvan@ttk.mta.hu

A szocioemocionális szelektivitási elméletet Carstensen és munkatársai 1999-ben publikálták (Carstensen, Isaacowitz és Charles, 1999). Az elmélet középponti fogalma az idői perspektíva, mely a szerzők szerint állandóan jelen van a pszichikus működések háttérében. Az idő perspektíva szempontjából a fiatalokra jellemző, hogy nem számolnak az élet végességével. A másik véglet az idősekre jellemző: az élet véges. Ha a perspektíva végtelen, a viselkedést a jövőre irányuló információ-szerzés (pl. oktatás) irányítja, a végesség viszont olyan célok elérésére motivál, melyek a jelenben hasznosak. Ekkor előnybe kerülnek érzelmekkel áthatott célok, kiemelten a negatív érzések kerülése és a kellemesek keresése. Így az idős személyek esetében az emocionális célok fontossága megnő, különösen a társas élet területén. A fentiek azt eredményezik, hogy az idősebbek kevesebb negatív és több pozitív érzelmi állapotot élnek meg, arról számolnak be, hogy életük során ritkábban érezték magukat boldogtalannak, azaz szubjektív jól-létük akár magasabb szintű is lehet, mint a fiataloké (összefoglalásként lásd Kryla-Ligthall és Maten, 2009).¹

Idős és fiatal csoportok összehasonlítása általában keresztmetszeti vizsgálatokban történik, így az eredmények értelmezésében valamennyi olyan probléma megmutatkozik, mely jellemző e módszerre. Nyilvánvaló probléma a „kohort” hatás: egy mai húszéves körülményei nem vethetők össze az 1970-es évek elejének húszéves generációjának körülményeivel. Így a keresztmetszeti vizsgálatokban e hatások összemosódnak az öregedéssel járó biológiai jellegű változásokkal (a keresztmetszeti vizsgálatok problémáiról általában lásd Czigler, 2000; speciálisan a jól-lét összefüggésében adódó problémákról lásd Realo és Dobewall, 2011).²

A pozitív és negatív emocionális ingerre jelentkező életkor $\times$ emocionalitás interakció vizsgálatának olyan haszna is van, hogy rámutathat elemi, és az öregedés biológiaiával kapcsolatos mechanizmusokra, melyek az alapját képezik több pszichikus jelenség változásának is. Így az idegrendszeri mutatók (agyi elektromos és anyagcsere-változások) vizsgálata e területen különösen gyümölcsöző lehet.

ÉSZLELÉS, KATEGORIZÁCIÓ, FIGYELEM

Idős és fiatal személyek hasonlóan ítélik meg saját aktivitási (arousal) változásaikat emóciókat kiváltó ingerekre, és az átélt érzelmek változatosságában sem térnek el (Levenson és mtsai, 1991; de lásd Bernston és mtsai, 2007). Az érzelmek megkülönböztetésének életkori változásaival kapcsolatos adatok azonban nem

¹ Hazai eredmények szerint is nő a pozitív érzelmek aránya az életkorral (Szondy, 2007).

² A jól-lét kutatása maga hatalmas terület, csak 2000 és 2005 között több mint 35 000 publikáció jelent meg ezen a területen (Diener, 2009). A szocioemocionális szelektivitás elméletének képviselői inkább azokat az eredményeket emelik ki, melyek a jól-lét életkori növekedését mutatják, míg az eltérő adatok referenciáikban ritkábban szerepelnek. Mindenesetre más összefoglalásokból is látszik (pl. Realo és Dobewall, 2011), hogy egyre több adat mutatja, idős személyek, különösen a legfejlettebb országokban nem vélekednek negatívabban jól-létükről mint a fiatalok, továbbá a jól-léthez vezető tényezők megítélésében jelentős hasonlóság mutatkozik egymástól jelentősen eltérő gazdasági helyzetű és kulturális hagyományú országokban (Sotigu és mtsai, 2011).

egyértelműek, az arckifejezések, hangok, testmozgások érzelem kifejezésének megítélésében vannak adatok az életkori csökkenésre és növekedésre is. A terület eredményeiről meta-analitikus összefoglalást készítettek Ruffman és munkatársai (2008). A meta-analízisbe 15 publikációból származó 25 adategyüttes került be, többségük (17 adategyüttes) arckifejezések azonosítását vizsgálta. Az eredmények alapján az idős személyek a düh, szomorúság, félelem, meglepetés és vidámság felismerésében gyengébb teljesítményt mutattak, de a különbség az utóbbi kettőben lényegesen kisebb volt. Fordított irányú (de nem szignifikáns) eltérés adódott az undort kifejező képeknél. A legnagyobb életkori eltérés a düh, szomorúság és félelem azonosításában volt. Az egyéb (hangok, testtartás) területeket vizsgáló kisebb számú kutatás alapján is úgy tűnik, időseknél az emóciók azonosítása sehol sem volt jobb, mint fiataloknál. Így e területen, tehát akkor, ha a hat alapérzelem azonosítását vizsgálták, melyek közül négy negatív, egy pozitív és egy (a meglepetés) lehet ilyen is és olyan is, nem mutatkozott meg az idős személyeknél a pozitivitási hatás. Ugyanakkor az életkori eltérés nem magyarázható a kognitív folyamatok általános életkori romlásával sem (lásd Czigler, 2000), mivel ahol nem mutatkozott életkori eltérés, sőt enyhe időskori előny mutatkozott (az undor esetében), éppenséggel a legnehezebb az érzelem azonosítása.

Az arcokon mutató érzelmek alkalmazása, tekintve, hogy hat kategória – félelem, düh, undor, szomorúság, meglepetés, vidámság – megkülönböztetésére teremt lehetőséget, finomabb elemzésekre alkalmas. Ehhez képest az érzelmeket kiváltó képek a meglehetősen durva pozitív–negatív és arousal/intenzitás diszkrimináción alapulnak.³ Míg például arcok esetében a szomorúságot és undort kifejező fényképek megkülönböztetése a feladat, az érzelmeket kiváltó képeknél azt kell eldönteni, hogy egy utcai erőszakot mutató jelenet mennyire negatív, és egy tengerparton andalgó pár látványa mennyire pozitív. A képanyag a vizsgálatokban kizárólag az *International affective picture system* (IAPS) együttes (Lang és mtsai, 2005). A kétféle ingeranyag esetén jelentősen eltér a perceptuális nehézség, és eltér a leggyakoribb függő változó is. Arcok megítélésénél az adat általában teljesítmény jellegű: sikerül-e a normatív adatoknak megfelelő válaszokat

³ Meglepő, hogy a témakör viszonylag modern irodalma lényegében ignorálja az érzelmek alapjainak elméleti tárgyalását, különös tekintettel ezek relevanciájára. Az IAPS képek mögött egy végső-kig egyszerűsített dimenzionális elmélet áll, két dimenzióval, azaz egyszerűbb, mint például Wundt klasszikus elmélete. Készültek skálák a dominancia dimenzióra is, azonban ezt nem használják. Az aktivitás (arousal) és érzelmi minőség dimenzió (valence) viszonya a kutatások diszkusszióiban nem egyértelmű. Vannak olyan szerzők, akik az érzelmi minőség dimenziót (implicit módon) az aktivitás értelmezéseként, azaz az érzelmek kognitív elméleteire hasonló módon kezelik. Mások a viselkedés-irányítás két automatikus típusának (közeledés–távolodás) megnyilvánulásaként foglalkoznak e dimenzióval. Azonban a kétdimenziós kezelés a kísérletek képanyagában nem egyértelmű. Számos vizsgálatból kihagyták például a szexuális típusú képeket, arra hivatkozva, hogy ezek hatása, különösen az életkor tekintetében eltér a többitől. Az arcokkal végzett vizsgálatok természetesen az alapérzelem felfogáson (például Izard, 1990) alapulnak, melyet azután van, aki a negatív–pozitív ellentétre redukál, figyelmen kívül hagyva, hogy ez az elmélet az alapérzelmek mögött független motivációs rendszereket tételez fel.

adni. Az emóciót kiváltó képeknél viszont általában nincs helyes– helytelen válasz, az eredmények attitűd jellegűek.

Érzelmeket kiváltó képek gyors egymás utáni megjelenítésekor Junghoefer és munkatársai (2001), illetve Schupp és munkatársai (2003) úgy találták, hogy a hátsó (azaz a vizuális feldolgozás specifikus) területek feletti elvezetésekben az ingerek megjelenítését követően már 180 ms latenciával az emóciókat kiváltó képek nagyobb negatív hullámot (EPN; korai hátsó negativitás) váltanak ki mint a semleges képek. Hasonló kísérleti technikát alkalmaztak Wieser és munkatársai (2006) idős és fiatal csoportok összehasonlítására. Az eredmények szerint fiatal csoportban ez a hullám korábban jelenik meg (az eltérés ~40 ms). Mindazonáltal az emocionális hatás időskorban is regisztrálható volt a hátsó területek felett. Mivel Schupp és munkatársai (2003) akkor is regisztrálták a korai hátsó negativitást, amikor a képek irreleváns (háttér) ingerek voltak, azt a következtetést vonták le, hogy e hullám az emóciók automatikus hatását tükrözi. E hatás tehát idős személyeknél is adott, csak késik. A bemutatott kísérletben a negatív és a pozitív képekre sajnos külön nem elemezték a korai hátulsó negativitást.

Fiatal csoportokban az emóciót kiváltó ingerek az eseményhez kötött potenciálok későbbi latencia sávjában nagyobb pozitív hullámot váltanak ki mint a semleges ingerek (pl. Ito és mtsai, 1998; Schupp és mtsai, 2000). A negatív emóciókat kiváltó ingerekre ez a hullám nagyobb mint a pozitívakra. E jelenség a *negatív torzítási hatás*. Ha idősök előnyben részesítik a pozitív eseményeket, várható, hogy náluk megváltozhatnak az arányok: megnőnek a válaszok a pozitívakra a negatívakhoz képest. Wood és Kisley (2006) pozitív, semleges és negatív érzelmeket kiváltó IAPS képekre kért kategória-válaszokat (pozitív, semleges, negatív), miközben mérték a képekre adott eseményhez kötött potenciálokat. A semleges képek mindkét csoportnál kisebb késői pozitív válaszokat váltottak ki, mint az emocionális képek, azonban míg a fiataloknál jelentős negatív torzítás mutatkozott, az idős csoportban a pozitív válaszokra mutatkozott nagyobb késői elektromos potenciálváltozás. A szerzők következő kísérletében (Kisley és mtsai, 2007) széles életkori sávban vizsgálták a késői pozitív hullám változását a három érzelmi kategóriában. Az eredmények szerint az életkorral a negatív képekre adott válasz nagysága fokozatosan csökkent, a pozitív és semleges kategóriában viszont nem mutatkozott hasonló változás.

Az érzelmet kiváltó ingerek vegetatív hatásaival kapcsolatos eredmények többsége szerint időskorban a vegetatív reaktivitás kevésbé intenzív (Smith és mtsai, 2005), hasonlóan egyéb arousal-fokozó hatásokhoz, mint például az újdonság (Weisz és Czigler, 2006). Egy újabb vizsgálatban Gavazenni és munkatársai (2008) elemezték a bőr elektromos vezetékes reakcióit emocionális ingerekre. A megítélt arousal időseknél meredekebb függvényt mutatott, a bőrvezetés különböző mutatói tekintetében viszont a fiatal csoport változásaiban mutatkozott nagyobb dinamika. Az eltérés a két csoport között különösen a magas arousalt kiváltó képeknél fokozódott. Mint számos területen, az eredmények itt sem mindig egyértelműek, vannak olyan eredmények is, melyek nem mutatnak

eltérő vegetatív reaktivitást idős és fiatal személyeknél (pl. Denburg és mtsai, 2003).

Preferencia vizsgálatban Isaacowitz és munkatársai (2006) emóciókat kifejező szintetizált arcokat mutattak be párosával fiatal és idősebb csoportnak. A pár egyik tagjának semleges volt az arca, a pár másik tagja dühöt, félelmet, bánatot vagy örömet fejezett ki. A résztvevőknek nem volt speciális feladatuk; arra kérték őket, hogy nézzék a képernyőt, „mintha csak otthon TV-t néznének”. Regisztrálva a szemmozgásokat, a kísérletben elemezték, milyen arányban nézik az egyes érzelmeket a két korosztály tagjai, összehasonlítva a semleges arckifejezésekkel. Az eredmények szerint csoportokon belüli összehasonlításban az idős csoport preferenciát mutatott az örömet mutató képekre és elutasította a dühöket. Nem mutatkozott eltérés a semlegeshez képest a szomorúság és a félelem esetén. A fiatal csoportban viszont a félelmet mutató arcokra szaporodtak meg a fixációk. A csoportokat összehasonlítva az idősek kevesebbet nézték a félelmet és dühöt mutató képeket. E kísérletben kifejezetten magas kognitív szintet mutató idős személyek vettek részt, ami azt jelentheti, hogy esetükben a központi végrehajtó működések hatékonysága az életkori átlagnál kevésbé csökkent. Kevésbé válogatott idős csoportot vizsgálva úgy találták, hogy az idős személyek hosszabb ideig nézték a negatív érzelmeket kiváltó IAPS képeket, mint a pozitívakat (Charles és mtsai, 2003). A végrehajtó funkciók hatékony működése – mint láttuk – lényeges eleme a *szocio-emocionális szelektivitás* elméletének. A másik tényező, melyre arcok alkalmazása esetén felhívták a figyelmet (Isaacowitz és mtsai, 2006), az a túlzott egyszerűsítés, mely az érzelmeket csak a negatív–pozitív dimenzió mentén osztja ketté, hiszen az általában a negatív érzelmek közé sorolt bánat és félelem esetében nem mutatkozott meg a dühre jellemző elutasítás.

Amennyiben idős és fiatal személyek érzékenysége eltér a pozitív, illetve negatív érzelmeket kiváltó ingerekre, úgy az várható, hogy ilyen ingerek eltérően befolyásolják a látótérben megjelenő egyéb (semleges) ingerek feldolgozását. Mientalowski és munkatársai (2011) e kérdést az eseményhez kötött potenciálok módszerével vizsgálták. A résztvevőknek semleges, vidám, dühös vagy szomorú arcokat mutattak be, és az arc megjelenését követően 400 vagy 800 ms elteltével az arccon rövid időre felvillant egy sakktáblaminta. Az eseményhez kötött potenciálokat e mintára regisztrálták, azaz megnézték, hogy az arckifejezés modulálja-e, és ha igen, miként a vizuális kéregből (prestriális területek) eredő viszonylag korai (~100 ms latenciájú) P1 összetevőt. Ismeretes, hogy ez a hullám figyelt ingerek esetében (legalábbis téri figyelem esetén) nagyobb (összefoglalóként lásd Czigler, 2005). Fiataloknál a dühös és vidám arcok felett megjelenő sakktábla minták nagyobb P1 választ váltottak ki mint a semlegesek. Időseknél viszont a dühös arcok felett megjelenő mintákra a P1 *kisebb* volt, mint semleges arcokon megjelenő mintákra. Az eredmények úgy (is) értelmezhetők, hogy idős személyeknél a dühös arcok csökkentették, fiataloknál pedig erősítették az észlelő rendszer érzékenységét, és ez a felülről lefelé irányuló (figyelmi) moduláció befolyásolta a P1 nagyságát.

Egy hasonló elrendezésű vizsgálatban Feng és munkatársai (2011) IAPS képeket használtak, és a bemutatás közben erős hangokra regisztrálták a pislogási

(megrezenési/startle) reakciót. Míg a fiatalabb csoportnál a pislogási válaszok nagyobbak voltak akkor, ha negatív képek bemutatása alatt érkeztek a hangok, idősebbeknél a hatás megfordult, a válaszok nagysága pozitív képek esetében volt nagyobb. A negatív kontextus tehát fiataloknál serkentette a védekező jellegű válasz nagyságát, időseknél viszont gátolta, amit úgy lehet magyarázni, hogy az idős csoportjában a negatív képek bemutatása csökkentette a feldolgozó rendszer érzékenységet (vagy válaszkészségét) az erős hangokra.

IAPS képek hatását a várakozási állapotra Gaál és munkatársai (2008) vizsgálták időseknél és fiataloknál. A képek emocionális tartalma nem befolyásolta az akusztikus feladatban regisztrált várakozási hullám életkori különbségeit.

A kísérletes pszichológia és a kognitív idegtudomány területén kicsit is összetett kérdések vizsgálatában a legritkábban találkozunk egyöntetű eredményekkel. Összegezve a bemutatott irodalmat úgy tűnik azonban, hogy a különböző vizsgálati módszerekkel kapott eredmények többségében az érzelmeket kiváltó ingerek feldolgozásának esetében megmutatkozott a pozitivitási hatás.

EMLÉKEZET

Az emlékezet laboratóriumi kísérleti paradigmáit alkalmazva tipikus Charles és munkatársai (2003) vizsgálata. Nyolc pozitív, nyolc negatív és 16 semleges képet használtak az IAPS képek együtteséből. A képeket fiatal, középkorú és idősebb csoportoknak mutatták be, majd arra kérték őket, írják le annyi képről, ahányról csak tudják, hogy mi volt rajtuk (felidézési teszt). Ezután felismeréses teszt következett, ahol „igen-nem” döntést kellett hozni arról, hogy látták-e a képeket. Az idős csoport általánosan rosszabb felidézési teljesítménye, és a semleges képekre adott általánosan kisebb felidézési teljesítmény mellett a fiatal csoport azonos számban idézett fel negatív és pozitív képeket, míg a középkorú és az idős csoportban a felidézett pozitív képek száma felülmúlta a negatívakét. A felismeréses tesztben erős életkori kontraszt mutatkozott, a fiatal csoportban a negatív képek felismerése felülmúlta a pozitívakét, míg a másik két korcsoportban nem mutatkozott meg a negatív képek felismerésének előnye. A kutatócsoport egy következő kísérletsorozatban megvizsgálta, hogy a fenti életkori eltérések kapcsolatban állnak-e a végrehajtó funkciók hatékonyságával. Tekintve, hogy a *szocioemocionális szelektivitási elmélet* feltételezi, hogy az idős személyeknél a negatív hatások elutasításának tendenciája (és a pozitívak keresése) állandó jelleggel jelen van, Mather és Knight (2005) feltételezte, hogy azoknál az idős személyeknél, ahol a végrehajtó működések hatékonyabbak, a fentebb bemutatott teljesítmény mintázat erőteljesebben jelentkezik. Ha viszont egy másodlagos feladattal terhelik a végrehajtó működésekért felelős struktúrákat, azt várták, hogy a hatás időseknél eltűnik. Az eredmények megfeleltek ezeknek a várakozásoknak. Azok az idős személyek, akik egy több tesztből számított aggregált mutató alapján magasabb központi végrehajtó hatékonyságot mutattak, nagyobb számban idéztek fel pozitív képeket, szemben a fiatalokkal és a gyengébb végrehajtó funkciót mutató idősökkel. Ami-

kor a képek bemutatásával együtt a személyeknek ritmikus hangsorozatokat kellett reprodukálni (azaz a helyzet megosztott figyelmi működést igényelt), és így a központi végrehajtó működés terhelése fokozódott, az idős csoportban eltűnt a pozitív képek előnye, sőt, a negatív képek felidézési aránya még a fiatalokhoz képest is megnőtt (fiataloknál a megosztott figyelem nem változtatott a felismerési arányokon). A pozitivitási hatás – legalábbis érzelmeket mozgósító IAPS képek esetén – markáns jelenségnek mutatkozott, mely kapcsolatban állhat a központi végrehajtó rendszer magasabb szintről szervezett (top down) hatásaival. Meg kell jegyezni azonban, hogy több, hasonló jellegű vizsgálatban nem mutatkozott meg a pozitivitási hatás (pl. Denburg és mtsai, 2003; Grünh és mtsai, 2005).

Az eseményekhez kötött potenciálok módszere elvileg alkalmas lehet arra, hogy megvizsgálja a pozitivitási hatás finomabb szerkezetét. Sokszorosan igazolt, hogy felismerési kísérleti helyzetben az előzetesen már bemutatott egységek („régiek”) három latencia sávban is eltérő elektromos válaszokat váltanak ki, mint az „új” egységek (összefoglalásként lásd Yonelinas, 2002). A korai „régi/új” hatás a frontális területek felett mutatkozik, és avval kapcsolatos, hogy a már előzőleg bemutatott inger ismerősebbnek tűnik. Ezt követi a régi ingerekre mutató nagyobb parietális pozitívítás, mely az aktív előhívási folyamatokkal áll kapcsolatban. A késői hatás ismét frontális, és lehívást követő (pontosan nem definiált) folyamatok váltják ki. Fiatal személyek esetében számos vizsgálat mutatta, hogy az összetevők érzékenyek az ingerek emocionális jellegére, akár érzelmet kifejező szavak vagy arckifejezések, akár pedig IAPS képek esetében. Langeslag és van Stiren (2008) IAPS képek esetében azt várta, hogy az időskori pozitivitási hatás megjelenését elemezheti abból a szempontból, hogy a jelenség az automatikusabbnak tekintett ismerősségi, vagy a kontrollált lehívási szakaszt érinti-e. A vizsgálatban folyamatos felismerési módszert alkalmaztak, azaz a résztvevők jelezték, hogy a sorozatban a bemutatott képet először látják-e, vagy korábban már találkoztak vele. E sorozatot felidézéssel követte, melyben valamelyes pozitivitási hatás mutatkozott az idős csoportban. Nem volt viszont ilyen hatás a folyamatos felismerési tesztben (talán az általánosan magas teljesítmény mellett). Érdekes, bár jelen témánk szempontjából nem releváns eredmény, hogy a magas teljesítmény ellenére az idősebb csoportban szinte alig mutatkozott régi/új hatás az eseményhez kötött potenciálokban (kivéve a korai sávban nem túl nagy régi/új eltérést az emóciókat kiváltó ingerekre), fiataloknál viszont a régi/új hatás a középső és késői sávban volt nagyobb emocionális ingerek esetében. A szerzők következő kísérletében (Langeslag és van Stiren, 2009) nagyobb számú IAPS képet (30 pozitív, 30 semleges és 30 negatív) alkalmaztak. A személyeket arra kérték, jegyezzék meg a képeket. A bemutatás után szabad és jelzett felidézési tesztelést végeztek. Az idős személyek a szabad felidézéssel tesztben több pozitív képet idéztek fel mint negatív, a fiatalok viszont több negatív. A képekre regisztrált eseményhez kötött potenciálokban a késői pozitívítás második, azaz igen késői (700–1000 ms) latencia sávjában mutatkozott lényeges eltérés a fiatal és az idős csoport között. Fiataloknál a negatív képek váltottak ki nagyobb pozitívítást mint a semleges és pozitív képek, az időseknél viszont a legnagyobb pozitívítás a pozitív képekre mutató

zott. Idős csoportban tendencia mutatkozott arra, hogy a nagyobb eseményhez kötött potenciáletérés a negatív és pozitív képek között együtt járjon a nagyobb eltéréssel a pozitív és negatív képek szabad felidézésében.

Az eseményhez kötött potenciálvizsgálatok fenti eredménye arra mutat, hogy a pozitivitási hatás az információfeldolgozás késői szakaszában mutatkozik, ami megfeleltethető a *szocioemocionális szelektivitási elméletben* feltételezett kognitív kontrollműködésnek.

Az emlékezet területén mutatkozó időskori pozitivitási hatás jelenségét akkor lehetne általánosítani, ha az emlékezet egészen eltérő jelenségeiben is megmutatkozna. Ilyen lehetne az önéletrajzi emlékezet. Ha pedig a „csak a szépre emlékezem” hatás kapcsolatban áll a végrehajtó működésekkel, esetleg indukálni is lehetne e hatást, ha a résztvevők motivációja emocionális állapotuk szabályozására irányul. Mindezeket a feltételezéseket Kennedy és munkatársai (2004) vizsgálták. A kísérlet érdekessége, hogy 1987-ben felvett adatokat tudtak összehasonlítani ugyanazoknak a személyeknek 14 évvel később felvett eredményeivel. A résztvevők iskolánővérek voltak. Az összehasonlítás során igazi fiatal csoport a második felmérésben már nem szerepelt, mivel a 2001-es felvételnél a legkevésbé idős csoport is 47–65 év közötti apácákból állt. Az 1987-es felmérés kérdései az egészségi állapotra, az egészséggel kapcsolatos aktivitásra, különböző pszichopatológiai jelenségek meglétére, pozitív és negatív érzelmek megjelenésére és ezek kontrollálására, valamint a társas aktivitásra irányultak. A 2001-es felmérésnél ugyanezeket az adatokat kérték a jelenre és a 14 évvel ezelőtti helyzetre, így három adat-együttest hasonlíthattak össze (a jelen állapotra vonatkozó eredményeket korrekciós adatként használták a feldolgozásban). A résztvevőket három feltételben vizsgálták: a kontroll feltételben a résztvevőknek nem adtak különleges instrukciót a válaszokhoz, a pontossági feltételnél hangsúlyozták, hogy minél precízebben próbáljanak visszaemlékezni 1987-es válaszaikra, az érzelemfókuszú feltételnél pedig azt hangsúlyozták, hogy „nagyon fontos figyelnie arra, hogy miként érez, miközben megválaszolja a kérdéseket”. Az eredeti és a visszaemlékezéses eredményekből globális „emlékezeti torzítás” mutatókat számoltak. A kontroll feltételben a kevésbé idős személyek (47–65 év között) negatív torzítási, míg a legidősebbek (79–102 év) pozitív torzítási hatást mutattak, azaz jelentkezett a pozitivitási hatás. Azok a személyek, akik érzelemfókuszú csoportban vettek részt, nagyobb arányban mutattak pozitív irányú torzítást, mint a pontosság hangsúlyos csoport résztvevői, és ez megmutatkozott a legkevésbé idős csoportban is. Az eredmények így megfeleltek a *szocioemocionális szelektivitási elmélet* várakozásainak.

MECHANIZMUSOK

Az amygdala szerepe az érzelmi működések számos területein közismert. Példaképpen, Bernston és munkatársai (2007) eredményei szerint amygdala lézió esetén a negatív érzelmek intenzitása jobban csökken mint a pozitívaké. A vizsgá-

latban hat amygdala léziós és hat egyéb, az érzelmi működésekkel kapcsolatos területeken sérült beteget (ventromediális prefrontális kéreg, insula, orbitofrontális kéreg) IAPS képek arousal és érzelmi minőségének megítélésére kértek. Amygdala lézió esetében az arousal skálaértékek kisebbek voltak a negatív képekre, az érzelmi minőség megítélésénél viszont nem különböztek az értékek. Egyszerűen fogalmazva, a képek számukra éppen annyira negatívak voltak, de ezek a képek kevésbé érintették meg őket. Az ilyen eredmények alapján Cacioppo és munkatársai (2011) a pozitívítási hatásra egyszerű magyarázatot adtak. Azért rosszabb időséknél a negatív érzelmi töltésű eseményekre az emlékezet, mert az amygdala csökkent működése kapcsán ezek az események kisebb aktivitásváltozást (arousalt) váltanak ki, így az időséknél kisebb hatása van annak, hogy emocionális töltetű eseményekre általában jobban emlékszünk.

Ha az amygdala az életkorral jelentős morfológiai és/vagy funkcionális változáson menne keresztül (ami egyébként nem jellemző erre a struktúrára; pl. Grieve és mtsai, 2005; Allen és mtsai, 2005, Brabec és mtsai, 2010), a pozitívítási hatás beilleszkedne abba a „sztemerid hipotézisbe” (Pessoa és Adolphs, 2010), mely szerint biológiailag fontos (érzelmekeket kiváltó, szociális) ingerek esetén egy „alacsony” pályarendszer működik. A hipotézis szerint e pályarendszer a colliculus superiorból az amygdalába és a thalamus pulvinar magjába vezet, kikerülve a vizuális kérget. E rendszer automatikus/moduláris működésű lenne, és gyors reakciókat alapozhatna meg emocionális ingerek esetében. Egy ilyen rendszer alkalmazkodási előnyét könnyű belátni. Pessoa és Adolphs (2010) azonban rámutat, hogy e pályarendszer létezése az akusztikus rendszerben leírt pályák analógiáján alapul, vizuális ingerléssel az amygdalában regisztrálható elektromos aktivitás kezdete későbbi, mint a vizuális kéregben, sőt, még az orbitofrontális kéregben sem hosszabb a latencia. Ugyanakkor az amygdala a vizuális kéregből „feldolgozott” információkat tartalmazó inputot kap. Ezt az inputot modulálhatják akár a pulvináron keresztül érkező figyelmi hatások (az amygdala kimutathatóan a pulvináron keresztül kap inputot a colliculus superiorból, és a pulvinarnak kapcsolatai vannak a figyelmi rendszer egyéb összetevőivel), akár pedig prefrontális hatások. Az amygdala szerepe így – mint egy szélesebb hálózat része – lehet jelentős az emocionális feldolgozásban, nem pedig mint valamiféle specifikus központ.

Míg az amygdala strukturális épsége normális öregedés során kevésbé változik, több fMRI adat mutat arra, hogy aktivitása negatív ingerekre idős korban csökken (pl. Gunning-Dixon és mtsai, 2003; Mather és mtsai, 2004). Ebből adódóan az életkori változások az amygdalára más struktúrákból irányuló hatásokban kereshetők, amint ezt a *szocioemocionális szelektivitási elmélet* hangsúlyozza (összefoglalásként lásd Nashiro, Sakaki és Mather, 2011). Mint láttuk, az amygdalára szabályozó (felülről lefelé irányuló) hatások érkeznek prefrontális kéregből (beleértve az első cinguláris kérget is). Idős korban a csökkent amygdala aktivitás együtt járhat fokozottabb prefrontális aktivitással (Gunning-Dixon és mtsai, 2003). Williams és munkatársai (2006) emóciókat kifejező arcokat vizsgáló kísérlete eredményei szerint az emocionális jól-lét (emocionális stabilitás) fokozott mediális prefrontális aktivitással korrelált, amikor negatív ingereket adtak.

Pozitív ingerek esetén viszont e személyeknél kisebb volt az fMRI-vel mért és eseményhez kötött potenciál eredményekkel is valószínűsített ventromediális prefrontális aktivitás. Urry és munkatársai (2006) negatív és semleges IAPS képeket alkalmazva szintén reciprok amygdala és ventromediális prefrontális aktivitásváltozást találtak a negatív ingerek esetében. A vizsgálatban az emocionális hatás akaratlagos szabályozására is kísérletet tettek, a képeken bemutatott események következményeinek képzeletbeli fokozásával vagy csökkentésével (pl. egy vicsorgó kutya képének esetében képzelje el, hogy elszakítja a pórázt, és harap, illetve a képen bemutatott fenyegető esemény nem is valódi). Az amygdala aktivációját az ilyen instrukciók az elvárt módon csökkentették, illetve növelték. A ventromediális prefrontális aktivitás evvel ellentétesen változott, rámutatva a prefrontális területek szabályozó hatására.

Az életkorral több területen is megváltoznak az idegrendszeri szabályozó működéseket végző hálózatok, ami általánosan úgy fogalmazható meg, hogy az elülső területek szerepe nő a hátsó területekéhez képest. Cabezza és munkatársai (pl. Dennis és Cabezza, 2008) ezt a változást mint a PASA (Posterior-Anterior Shift of Aging; hátulsó-elülső változás az öregedéssel) teóriát fogalmazták meg. A teória alapján St. Jacques, Dolcos és Cabeza (2010) fMRI aktivitást elemezve megvizsgálták, hogy a hátulsó területeken az aktivitás csökkenése együtt jár-e az elülső területek aktivitásnövekedésével időskorban, ahogy ezt a PASA teória feltételezi, és az elülső területek (különösképpen az elülső cinguláris kéreg) aktivitásfokozódása negatív ingerek esetében együtt jár-e az amygdala aktivitásának csökkenésével. Negatív, semleges és pozitív IAPS képeket mutattak idős és fiatal személyeknek. A személyektől „pozitív–semleges–negatív” ítéletet kértek. Az idős csoport a fiatalokra sztenderdizált több negatív képet semlegesnek ítélt, a fiataloknál viszont jelentős egyezés mutatkozott a sztenderd értékekkel. A PASA feltételezésének megfelelően időseknél növekedett a frontális aktivitás a fiatalokhoz képest, viszont a vizuális területek aktivitása csökkent abban az esetben, ha a jobb oldali amygdala aktivitása a két csoportban azonos volt. Ez rámutat arra is, hogy idős csoportban az amygdala reaktivitása potenciálisan megmarad, de aktivitása eltérhet a fiatalokétól, ha egyéb területek aktivitása az amygdalát eltérően befolyásolják. A negatív korreláció a vizuális kéreg aktivitása és (főleg) a mediális frontális területek között szignifikáns volt. Az életkorral az amygdala és a hátulsó (vizuális) területek aktivitásának együttjárása csökkent, az elülső területek közül viszont egyes frontális területek és az amygdala aktivitása között a kapcsolat nőtt. Külön elemzéseket végeztek azoknál az idős személyeknél azokra a képekre, melyeket ők semlegesnek ítélték, a fiatal sztenderd szerint viszont negatívak voltak. E képeknél a jobb oldali amygdala és a ventrális elülső cinguláris kéreg aktivitásának kapcsolata negatív korrelációt mutatott (azaz a csökkent amygdala aktivitás a cinguláris hatás növekedésével járt). Az elülső cinguláris kéreg anatómiai összeköttetésben áll az amygdalával és más érzelmi feldolgozásban szereplő területekkel (Devinsky és mtsai, 1995), így szerepe az emocionális szabályozásban anatómiailag is megalapozott.

St. Jacques, Dolcos és Cabeza (2009) az amygdala aktivitás és a hippocampus aktivitásának kapcsolatát vizsgálták idős és fiatal személyeknél, tekintve az utóbbi struktúra szerepét az emlékezetben. Ilyen kapcsolat várható, mivel feltételezhetően az amygdalából eredő input az érzelmi töltésnek megfelelően modulálja az emlékezeti működéseket. Kérdés, hogy a kapcsolat életkori változása megfelel-e a pozitívítási hatásnak. A kísérletben váratlan jelzett felismeréses teszt segítségével vizsgálták az emocionális hatásokat az emlékezetre (egy-két kulcsszó, pl. „kígyó” megadása után a személyektől részleteket kértek a képekről), majd felismeréses tesztelést végeztek. A felidézéssel eredményekben a negatív képek fölénye az idős csoportban (a pozitívítási hatásnak megfelelően) kisebb volt. Az utólagos felismerésben az időseknél mutatkozó negatív kép fölény együtt járt az ezekre a képekre adott fokozottabb amygdala válasszal. A felismert negatív képek esetén időseknél a vizuális kérgi válaszok aránylag kisebbek voltak, mint a fiataloknál, a dorzolateális prefrontális kéreg válaszai viszont aránylag nagyobbak voltak az idős csoportban (az „aránylag” kifejezés a felismert szemben nem felismert képek közötti aktivitás eltérését jelenti). A fiatal csoportban együttjárás mutatkozott felismeréses hatás és a hippocampális/alsó frontális aktivitás között, az idős csoportban viszont a kapcsolat a dorzolateális prefrontális kéreggel mutatkozott, amit a szerzők FADE hatásnak (Fronto-amygdalar Age-related Differences in Emotion, frontális-amygdala eltérés az emócióknál) neveztek.

A felsorolt eredmények szerint a pozitívítási hatás szabályozás eredménye. Időskorban a szabályozásban megnő a prefrontális működések súlya, így náluk a hatások szélesebb köre befolyásolhatja azt a hálózatot, melynek működése megnyilvánul az emóciók észlelésében, korábbi élmények felidézhetőségében és a saját emocionális állapot megítélésében. Az elülső struktúrák szerepének fokozódása (PASA) magában rejt egy nehezen értelmezhető, de alapvető problémát. Szinte már közhelynek számít, hogy időskorban a legnagyobb morfológiai (pl. a szürke állomány tömege) és funkcionális (pl. glukóz felhasználás) változást az elülső területek (kiemelten a frontális kéreg) mutatják (pl. Allen és mtsai, 2005; Fjell és Walhovd, 2010; Petit-Talboue és mtsai, 1998; Raz és mtsai, 1998). Meg kell azonban jegyezni, hogy van olyan adat is, mely szerint a cinguláris kéreg nem tartozik a nagyobb redukciót mutató területek közé (Abe és mtsai, 2008). Tény ugyanakkor az is, hogy akár a funkcionális aktivitás területén, akár az eseményhez kötött potenciálok esetében számos eredmény szerint időskorban fokozódik a frontális területek aktivitása, vagy ha maga az aktivitás nem is nő, az aktivitás súlypontja eltolódik az elülső területek felé. Az aktivitásfokozódás nagyobb kiterjedésű területek működését jelentheti, ami egészen addig terjedhet, hogy idős korban csökken a funkcionális lateralizáció, azaz míg egyes funkciók fiataloknál az egyik vagy másik félteke működését érintik, időskorban a működés bilaterálissá válik (Cabeza, 2002). A kiterjedtebb aktivitás felfogható kompenzációs működésként, ami azonban nem mindig sikeres, tekintve, hogy számos, a központi végrehajtó működést igénylő funkció hatékonysága időskorban csökken (lásd Czigler, 2000). Bonyolítja a kérdést, hogy a frontális lebeny különböző területei eltérő szabályozó funkciót látnak el, továbbá a képalkotási eljárásokat

alkalmazó vizsgálatok eredményei más és más frontális területen mutattak ki életkori hatásokat emocionális ingerek bemutatásakor. A fentiek következtében e témakör a spekulációk széles skálájára ad lehetőséget. Akár az is felvethető, hogy a frontális területek hatása az amygdalára a hátulsó (temporális és parietális) működéseken keresztül hat, akár közvetlenül, akár azáltal, hogy ezek működésének hatékonysága annak ellenére csökken, hogy ezeken a területeken a kimutatható morfológiai változások kisebbek.

KÖVETKEZTETÉSEK

Idős korban csökken a negatív emóciók átélése, és csökken az érzékenység az ilyen ingerekre, csökken a negatív tartalmak felidézése, ami hozzájárul ahhoz, hogy az időskor számos nyilvánvaló hátránya ellenére az idős emberek jól-léte (legalábbis megfelelő életszínvonal esetében) nem csökken. Az érzelmek területén e jelenséget nem lehet egyetlen vagy korlátozott számú idegrendszeri struktúra változására visszavezetni, a jelenség (pozitivitási hatás) mögött az emocionális és kognitív szabályozás széles körű rendszere áll. Fontos, hogy e hatást ne egyedül az idegrendszer változásainak terminológiájában értelmezzük, hiszen e változások kölcsönhatásban állnak az információszerzés legegyszerűbb eseteivel csakis úgy, mint szociális interakciós folyamatokkal. Ezért a tartalmi vonatkozások ismerete nélkülözhetetlen ahhoz, hogy megértsük, az objektív körülményeken túl milyen okokra vezethető vissza a szubjektív jól-lét az élet folyamán.

IRODALOM

- Abe, O., Yamasue, H., Aoki, S., Suga, M., Yamada, H., Kasai, K., Masutani, Y., Kato, N., Kato, N., Ohtomo, K. (2008): Aging in the CNS: Comparison of grey / white matter volume and diffusion tensor data. *Neurobiology of Aging*, 29, 102–116.
- Allen, J. S., Bruss, J., Brown, C. K., Damasio, H. (2005): Normal neuroanatomical variations due to age: The major lobes and a parcellation of the temporal region. *Neurobiology of Aging*, 26, 1245–1260.
- Bernston, G. G., Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., Cacioppo, J. T. (2007): Amygdala contribution to selective dimensions of emotion. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2, 123–129.
- Brabec, J., Rulseh, A., Hoyt, B., Vizek, M., Horinek, D., Hort, J., Petrovicky, P. (2010): Volumetry of the human amygdala – an anatomical study. *Psychiatry Research*, 182, 67–72.
- Cabeza, R. (2002): Hemispheric asymmetry reduction in older adults: The HAROLD model. *Psychology and Aging*, 17, 85–100.
- Cacioppo, J. P., Bernston, G. G., Bechara, A., Tranel, D., Hawkey, L. C. (2011): Could an aging brain contribute to subjective well-being? The value added by a social neuroscience perspective. In: A. Todorov, S. Fiske, D. Prentice (eds.), *Social Neuroscience: Toward Understanding the Underpinnings of Social Mind*. New York, Oxford University Press, 249–262.
- Carstensen, L. L., Isaacowitz, D. M., Charles, S. (1999): Taking time seriously: A theory of socioemotional selectivity. *American Psychologist*, 54, 155–181.
- Charles, S. T., Mather, M., Carstensen, L. L. (2003): Aging and emotional memory: The forgettable nature of negative images for older adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 310–324.
- Czigler István (2000): Megismerési folyamatok változása felnőttkorban. In: Czigler I. (szerk.), *Túl a fiataloságon*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 11–130.

- Czigler István (2005): *A figyelem pszichológiája*. Budapest, Akadémiai Kiadó.
- Denburg, N. L., Buchanan, T. W., Tranel, D., Adolphs, R. (2003): Evidence for preserved emotional memory in normal older persons. *Emotion*, 3, 239–253.
- Dennis, N. A., Cabezza, R. (2008): Neuroimaging of healthy cognitive aging. In: F. I. M. Craik, T. A. Salt-house (eds), *The Handbook Aging and Cognition*, (3rd ed.). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1–54.
- Devinsky, O., Morrell, M. J., Vogt, B. A. (1995): Contributions of anterior cingulate cortex to behavior. *Brain*, 118, (pt. 1), 279–306.
- Diener, E. (2009): Introduction to the science of well-being: Reviews and theoretical articles by Ed Diener. In: E. Diener (ed.), *The Science of Well-being: The Collected Works of Ed Diener*. New York, Springer, Dordrecht, 1–10.
- Feng, M. C., Courtney, C. G., Mather, M., Dawson, M. E., Davison, G. C. (2011): Age-related affective modulation of the startle Eyeblink response: Older adults startle most when viewing positive pictures. *Psychology and Aging*, in press, DOI: 10.1037/a0023110.
- Fjell, A. M., Walhovd, K. B. (2010): Structural brain changes in aging: Courses, causes and cognitive consequences. *Reviews in the Neurosciences*, 21, 187–220.
- Gaál, Zs. A., Boha, R., Molnár, M. (2008): Does age influence the effect of emotional pictures in an auditory CNV task? *International Journal of Psychophysiology*, 69, 238.
- Gavazzini, J., Wiens, S., Fischer, J. (2008): Age effects to negative arousal differ for self-report and electrodermal activity. *Psychophysiology*, 45, 148–151.
- Grieve, S. M., Clark, C. R., Williams, L. M., Peduto, A. J., Gordon, E. (2005): Preservation of limbic and paralimbic structures in aging. *Human Brain Mapping*, 25, 391–401.
- Grühn, D., Smith, J., Baltes, P. B. (2005): No aging bias favoring memory for positive material: Evidence for homogeneity-heterogeneity list paradigm using emotionally toned words. *Psychology and Aging*, 20, 579–588.
- Gunning-Dixon, F. M., Gur, R. C., Perkins, A. C., Schroeder, L., Turner, T., Turetsky, B. I., Gnahn, R. M., Loughead, J. W., Alsop, D. C., Maldjian, J., Gur, R. E. (2003): Age-related differences in brain activation during emotional face processing. *Neurobiology of Aging*, 24, 285–295.
- Isaacowitz, D. M., Wadlinger, H. A., Goren, D., Wilson, H. R. (2006): Selective preference in visual fixation away from negative images in old age? An eye-tracking study. *Psychology and Aging*, 21, 40–48.
- Ito, T. A., Larsen, J. T., Smith, N. K., Cacioppo, J. T. (1998): Negative information weighs more heavily on the brain: The negativity bias in evaluative categorization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75, 887–900.
- Izard, C. C. (1990): Facial expressions and the regulation of emotions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58, 487–498.
- Junghoefer, M., Bradley, M. M., Elbert, T. R., Lang, P. J. (2001): Fleeting images: A new look at early discrimination. *Psychophysiology*, 38, 175–178.
- Kennedy, Q., Mather, M., Carstensen, L. L. (2004): The role of motivation in the age-related positivity effect in autobiographic memory. *Psychological Science*, 15, 208–204.
- Kisley, M. A., Wood, S., Burrows, C. L. (2007): Looking at the sunny side of life: Age-related changes in an event-related potential measure of negativity bias. *Psychological Science*, 18, 838–843.
- Kryla-Lighthall, N., Mather, M. (2009): The role cognitive control in older adults' emotional well-being. In: V. Berngston, D. Gans, N. Putney, M. Silverstein (eds), *Handbook of Theories of Aging*, 2nd edition, New York, Heidelberg, Springer Publishing, 323–344.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., Culbert, B. N. (2005): International affective picture system (IAPS): Digitalized photographs, instruction manual and affective ratings. Technical Report A-6. Gainesville, FL, University of Florida.
- Langeslag, S. J. E., Van Strien, J. W. (2008): Aging and emotional memory: The co-occurrence of neurophysiological and behavioral positivity effects. *Emotion*, 9, 369–377.
- Levenson, R. W., Carstensen, L. L., Friesen, W. V., Ekman, P. (1991): Emotion, physiology and expression in old age. *Psychology and Aging*, 6, 28–35.

- Mather, M., Canli, T., English, T., Whitfield, S., Wais, P., Ochsner, K., Gabrieli, J. D., Carstensen, L. L. (2004): Amygdala responses to emotionally valenced stimuli in older and younger adults. *Psychological Science*, 15, 259–263.
- Mientalowski, A., Corballis, P. M., Blanchard-Fields, F., Parks, N. A., Hilimire, M. R. (2011): Anger management: Age differences in emotional modulation of visual processing. *Psychology and Aging*, 26, 224–231.
- Nashiro, K., Sakaki, M., Mather, M. (2011): Age differences in brain activity during emotion processing: Reflections of age-related decline or increased emotional regulation? *Gerontology*, in press, DOI: 10.1159/000328465.
- Pessola, L., Adolphs, R. (2010): Emotional processing and the amygdala: From ‘low road’ to ‘many roads’ of evaluating biological significance. *Nature Reviews of Neuroscience*, 11, 773–783.
- Petit-Talboue, M. C., Landeau, B., Desson, J. F., Desgranges, B., Baron, J. C. (1998): Effects of healthy aging on the regional cerebral metabolic rate of glucose assessed with statistical parametric mapping. *NeuroImage*, 7, 176–184.
- Raz, N., Gunning, F. M., Head, D., Dupius, J. H., McQuain, J., Biggs, S. D., Loken, W. J., Thornton, A. E., Acker, J. D. (1997): Selective aging of the human cerebral cortex observed in vivo: Differential vulnerability of the prefrontal grey matter. *Cerebral Cortex*, 7, 268–282.
- Realo, A., Dobeval, H. (2011): Does life satisfaction change with age? A comparison of Estonia, Finland, Latvia, and Sweden. *Journal of Research in Personality*, 45, 297–308.
- Ruffman, T., Henry, J. D., Livingstone, V., Phillips, L. H. (2008): A meta-analytic review of emotion recognition and aging: Implications for neuropsychological model of aging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32, 863–881.
- Schupp, H. T., Culbert, B. N., Bradley, M. M., Cacioppo, J. T., Ito, T., Lang, P. J. (2000): Affective picture processing: The late positive potential is modulated by motivational relevance. *Psychophysiology*, 37, 257–261.
- Schupp, H. T., Junghofer, M., Weike, A. I., Hamm, A. O. (2003): Attention and emotion: An ERP analysis of facilitated emotional stimulus processing. *NeuroReport*, 14, 7–13.
- Smith, M. L., Hillman, C. H., Duley, A. R. (2005): Influences of age on emotional reactivity during picture processing. *Journal of Gerontology*, Ser. B., *Psychological Sciences and Social Sciences*, 60B, 49–56.
- Sotigu, I., Galati, D., Manzuno, M., Rogioni, E. (2011): Happiness components and their attainment in old age: A cross-cultural comparison between Italy and Cuba. *Journal of Happiness studies*, 12, 353–371.
- St. Jacques, P., Dolcos, F., Cabezza, R. (2009): Effects of aging on functional connectivity of the amygdala for subsequent memory of negative pictures: A network analysis of fMRI data. *Psychological Science*, 20, 74–84.
- St. Jacques, P., Dolcos, F., Cabezza, R. (2010): Effects of aging on functional connectivity of the amygdala during negative evaluation: A network analysis of fMRI data. *Neurobiology of Aging*, 31, 315–327.
- St. Jacques, P. L., Besette-Symons, B., Cabeza, R. (in press): Functional neuroimaging studies of aging and emotion: Front-amygdalar differences during emotional perception and episodic memory. *Journal of International Neuropsychological Society*.
- Szondy Máté (2007): A megbocsátásra való hajlam kapcsolata a szociodemográfiai jellemzőkkel, az optimizmussal és a boldogsággal. *Pszichológia*, 27, 221–238.
- Urry, H. L., Van Reekum, C. M., Johnstone, T., Kalin, N. H., Thuro, M. E., Schaefer, H. S., Jackson, C. A., Frye, C. J., Greischar, L. L., Alexander, A. L., Davidson, R. J. (2006): Amygdala and ventromedial prefrontal cortex are inversely coupled during regulation of negative affect and predict the diurnal pattern of cortisol secretion among older adults. *The Journal of Neuroscience*, 26, 4415–4425.
- Weisz, J., Czigler, I. (2006): Age and novelty: Event-related brain potentials and autonomic activity. *Psychophysiology*, 43, 261–271.
- Wieser, M. J., Mühlberger, A., Kenner-Mabiala, R., Pauli, P. (2006): Is emotional processing affected by advancing age? An event-related potential study. *Brain Research*, 1096, 138–147.

- Williams, L. M., Brown, L. K. J., Palmer, D., Liddell, B., Kemp, A. H., Oliveri, G., Peduto, A., Gordon, E. (2006): The mellow Years?: Neural basis of improving emotional stability over age. *The Journal of Neuroscience*, 26, 6422–6430.
- Yonelinas, A. P. (2002): The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language*, 46, 441–517.

István Czigler

PLEASANT AGING

Unlike in many fields of aging, no age-related decline is reported in subjective well-being. Instead, elderly report more pleasant experiences and they recall more positive experiences. In this review results on this „positivity effect” is summarized in the fields of perception, categorization, attention and memory. Special emphasis is given to studies using the methods the event-related brain potentials in investigating age-related differences to facial stimuli and emotional pictures. The results are discussed in terms of the socioemotional selectivity theory. Brain mechanisms suggesting the role of anterior brain structures in the positivity effect, i.e., neurophysiologic data supporting the socioemotional selectivity theory are critically reviewed.

Keywords: aging, emotions, socioemotional selectivity, negativity bias, event-related potentials

MOLNÁR MÁRK^{1*,**}, TÓTH BRIGITTA^{2**}, BOHA ROLAND^{3*},
GAÁL ZSÓFIA ANNA^{4*}

ÉRZELMEK HATÁSA A VÁLASZGÁTLÁSRA – ÉLETKORI SAJÁTOSSÁGOK ELEKTROFIZIOLÓGIAI ADATOK TÜKRÉBEN⁵

Beérkezett: 2011. szeptember

Elfogadva: 2011. november

A gátlási mechanizmusok alapvetően fontosak a pszichofiziológiai folyamatok minden szintjén, így a kognitív funkciókat tekintve is. Általánosan elfogadott, hogy ennek hatékonysága csökken az életkorral, nem ismert azonban, hogy érzelmi folyamatok miként befolyásolják ezt az összefüggést. Vizsgálatunkban arra kerestünk választ, hogy található-e kapcsolat a gátlási funkciók, az életkor és az érzelmi folyamatok szabályozása között. Fiatal és idős személyeknek negatív, pozitív vagy semleges valenciájú szavakat mutattunk be, melyekre az instrukció szerint motoros válasszal kellett (GO helyzet), vagy éppen nem volt szabad (NOGO helyzet) reagálniuk. A viselkedéses mutatókon túl a szóingerekkel kiváltott potenciálokat, illetve az azoknak megfelelő EEG-szakaszt elemeztük hagyományos módszerekkel, valamint a nemlineáris-lineáris szinkronizáció kvantifikálására alkalmas szinkronizációs valószínűség számításával a delta és theta frekvenciasávokban. Meghatároztuk e szakasz ún. hálózati jellemzőit is. Megállapítottuk, hogy a GO válaszhelyzet idősekben is hatékonyan provokál szinkronizációs folyamatokat ezekben a frekvenciasávokban, melyek nem elsősorban az ingerek valenciájával hozhatók összefüggésbe. A legnagyobb amplitúdójú N2 komponenst a fiatalokban a negatív érzelmi töltésű inger váltotta ki a NOGO helyzetben. Ez arra utal, hogy a válaszgátlásban fontos folyamatok az averzív ingerekre aktiválódnak legnagyobb mértékben, mely hatás fiatalokban kifejezettebb. A kiváltó ingertől függetlenül magasabb szinkronizációt tapasztaltunk a fiatal korcsoportban, mely magyarázható a fiatalokban hatékonyabb interneuronális kapcsolatokkal.

Kulcsszavak: öregeedés, érzelmek, kiváltott potenciálok, szinkronizáció

* MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet

** ELTE PPK Pszichológiai Intézet

¹ molnar.mark@ttk.mta.hu

² toth@cogpsyphy.hu

³ boha.roland@ttk.mta.hu

⁴ gaal.zsofia.anna@ttk.mta.hu

⁵ Pályázati támogatás: OTKA 77750, TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KMR-2010-0003. A szerzők köszönetet mondanak Várkonyi Emesének asszisztensi munkájáért.

BEVEZETÉS

Régóta ismert, hogy a környezet ingereinek megfelelő szűrése szükséges az optimális, adaptív viselkedéshez. Ez a jelenségkör a szelektív figyelmi folyamatok vizsgálata révén került a kísérleti pszichológia és pszichofiziológia egyik intenzíven kutatott területei közé. Az ingerekre adott motoros válaszok szintjén hasonlóképpen egy szűrési folyamat eredménye tapasztalható; egyes ingerekre (ingerhelyzetre, ingeregységre) a válasz megtörténte előmozdítja a viselkedés fent említett optimális szintjét, más esetben viszont éppen az az előnyös, ha nem történik válaszadás. Utóbbi esetben a folyamatban gátlási folyamatok aktivizálódásának eredményét tételezhetjük fel. A gátlási működések funkcionális anatómiai hátterét tekintve ismert ebben a prefrontalis régiók szerepe (Szirmai, 2007; Dillon and Pizzagalli, 2007).

A gátlási funkciókat vizsgáló helyzetek egyikében egy már elindított akció leállítására vonatkozó inger hatásai tanulmányozhatók: ez az ún. „STOP-helyzet” (Bekker és mtsai, 2004). A másik esetben az (előzetes) instrukció az, ami eldönti, melyik ingerre elvárt a válasz („GO-inger”), és melyik inger („NOGO-inger”) az, melyre viszont nem szabad reagálni (Jodo és Kayama, 1992). Jelen tanulmány kizárólag csak az utóbbi, az ún. GO-NOGO helyzetben nyert adatokkal, illetve ezek hátterével foglalkozik.

A fenti jelenségek vizsgálatában az eseményhez kapcsolódó potenciálok (EKP-ok) módszerével nyert adatok számos összefüggésre hívták fel a figyelmet. A GO-ingerrel összehasonlítva a NOGO-inger által kiváltott válaszban egy frontális N2 EKP összetevő amplitúdójának növekedését tapasztalták (Jodo és Kayama, 1992; Eimer, 1993; Falkenstein és mtsai, 1999; Kaiser és mtsai, 2006). A NOGO P3 összetevő megítélése jóval kevésbé egységes, azaz vitatják, hogy változásában (a GO-válasszal összehasonlítva: növekedésében) gátlási folyamatok eredménye nyilvánul meg. A P3 komponenssel e tanulmány keretein belül csak érintőlegesen foglalkozunk, esetleges változásait nem mérlegeljük.

A fenti összefüggéseket bonyolítja, hogy e döntések legtöbbször nem érzelmi, hanem bizonyos érzelmi töltéssel bíró ingerek kapcsán kell, hogy megtörténjenek. Az adaptív viselkedés szempontjából nemcsak az a fontos, hogy egy válasz megtörténjen vagy ne történjen meg, hanem az is fontos tényező lehet, hogy milyen a döntés alapjául szolgáló inger érzelmi minősége. Pontosabban: a kérdéses helyzettől függően származhat előny abból, hogy a mérlegelést befolyásolja a kérdéses ingerek érzelmi tartalma, vagy éppen ellenkezőleg, előnyösebb, ha a döntést ez a tényező nem érinti.

Számos elemzésben tárták fel az EKP-komponensek változásait a kiváltó ingerek valenciájától függően. Módszertani nehézséget jelent a vonatkozó vizsgálatok tekintélyes részében, hogy az ingerek által kiváltott aktiváció (arousal) és a valencia egyaránt fontos tényező, melyek mindegyike befolyásolja az inger által kiváltott válasz jellegzetességeit. Ezért azon tanulmányok (pl. Carretié és mtsai, 1996) eredményei, ahol erre nem voltak külön tekintettel, nehezen értelmezhetők, ha csak az egyik tényező hatását kívánjuk tisztázni. Briggs és Martin (2009) azt ta-

lálták, hogy a negatív érzelmi töltésű, erősen aktiváló ingerek nagyobb P3b EKP-komponenst váltottak ki, mint azok, melyek „aktivációs és motiváló” hatása kevésbé volt intenzív. A magatartási adatok alapján (is) megfogalmazott negatív torzítás („negativity bias”) elméletből (mely szerint a szervezet az averzív jellegű ingerekre gyorsabban és erőteljesebben reagál) kiindulva ezt a hatást Carretié és munkatársai (2001) az EKP-ok P200-as komponensének változásai alapján vélték igazolhatónak.

Jó áttekintést ad e kérdéskörrel Oloffson és munkatársai (2008) összefoglaló dolgozata, melyben az affektív vizuális ingerek hatásaival kapcsolatos adatokat tekintik át. Oloffson és munkatársai megállapítják, hogy az aktivációs hatás (arousal) elsősorban a késői EKP komponenseket érinti. Az érzelmi minőségre vonatkozólag kevésbé egyöntetűek az eredmények, még a legkorábbi (100–200 ms latencia sáv) komponenseket tekintve is beszámoltak hatásokról. A közép-latenciájú tartományban (200–300 ms) mindkét tényező hatása megnyilvánulhat.

A jelen tanulmányban elemzett N2 komponenst tekintve az irodalmi adatok nem egységesek. Olofsson és Polich (2007) szerint nagyobb N2 hullámot váltanak ki a semleges ingerek, mint azok, melyeknek negatív vagy pozitív a valenciájuk. Az N2 hullámra az arousal-szint változásának, nem pedig az inger érzelmi töltésének van elsősorban hatása Rozenkrants és Polich (2008) adatai alapján. Szavakat használva ingerként Kissler és munkatársai (2009) azt találták, hogy a „korai hátsó negativitás” (250 ms körüli latencia-tartományban) változása aktiváció-hatást tükröz.

Az érzelmi folyamatok életkorfüggése általánosan jól ismert. Függetlenül az ugyancsak ismert, életkorral együttjáró idegrendszeri szerkezeti változásoktól az affektív folyamatok egyensúlya időskorban mindkét irányban (indokolatlan felhangoltság, más esetekben különböző mértékű depresszió) felborulhat (Szirmai, 2002). Az „egészséges” öregedésnek viszont számos pozitív irányú jellemzője (fegyelmesség, higgadtság, kiegyensúlyozottság) is megfogalmazható (Pethő, 2002). E kérdéskörrel részletesen lásd Czigler tanulmányát a jelen kötetben.

Fenti összefüggéseket újabb dimenzióba helyezi az a kérdés, hogy miként függ a válaszgátlás eredményessége a feldolgozandó inger valenciájától és a személy életkorától. Ami a kérdés első részét illeti, Chiu és munkatársai (2008) LORETA-elemzése szerint – függetlenül a valenciától – a válaszgátlás a jobb oldali ventralis lateralis prefrontalis terület aktivációjával függ össze, a valenciával kapcsolatos változás viszont a rostralis elülső cingularis areába volt lokalizálható. Schultz és munkatársai (2007) azt találták, hogy örömteli arc-ingerekre a gátlás rosszabb hatékonyságú volt, mint neutrális vagy negatív arcokra. fMRI technikát használva Schafritz és munkatársai (2006) emocionális tartalmú ingerekre irányuló gátláskor a frontalis-insularis kéreg aktivációját tapasztalták, mely semleges ingerek esetén nem volt megfigyelhető. Életkori vonatkozásokat tekintve rendkívül kevés adat található. Schmiedt-Fehr és munkatársai (2010) szerint a gátlási funkciókkal összefüggésbe hozható alpha-oszcilláció csökkenés mértékét tekintve életkori hatás nem tapasztalható.

Vizsgálatunkban arra kerestünk választ, hogy igazolható-e összefüggés a gátlási funkciók, az életkor és az érzelmi folyamatok szabályozása között. Feltételeztük, hogy idős személyekben a gátlás hatékonysága csökkenni fog, ami elsősorban az N2 összetevő változásaiban jelenik meg, melyet modulál az alkalmazott ingerek érzelmi minősége. Pozitív ingerekre időskorban feltételeztünk csökkent gátlást.

Az alkalmazott módszereket tekintve a hagyományos kiváltott potenciál-technika mellett felhasználtuk azt a lehetőséget, melyet a legújabb hálózatelemzési eljárások alkalmazása tesz lehetővé. Ezek különösképpen alkalmasak nagyszámú elemből álló rendszerek vizsgálatára, ahol az elemek összekapcsolódásának topografikus, funkciófüggő jellemzői kvantitatíve meghatározhatók (Stam és Reijneveld, 2007; Molnár és mtsai, 2011). Ezen számítások alapján az ún. „kis világ”-karakterisztikumok (a hálózaton belül a helyi összeköttetések és hosszútávú kapcsolatok szerveződésére vonatkozó kvantitatív adatok) elemezhetők, mely jellegzetesség az optimális információfeldolgozás szempontjából kulcsfontosságú tényezőnek bizonyult. (E kérdésről részletesebben lásd Tóth és mtsai, ebben a kötetben.) A „kis világ” szerveződés azt jelenti, hogy magas szintű a hálózatban a szomszédos csomópontok összekötöttsége, az „úthossz” (a legrövidebb átlagos távolság a csomópont-párok között) pedig rövid. Annak ellenére, hogy ez a megközelítés gyümölcsözőnek bizonyult a klinikai jellegű kérdések vizsgálatában, igen kevés adat áll rendelkezésre a kognitív, valamint az érzelmi működésekre vonatkozólag, ép idegrendszeri működés mellett (Micheloyannis és mtsai, 2006).

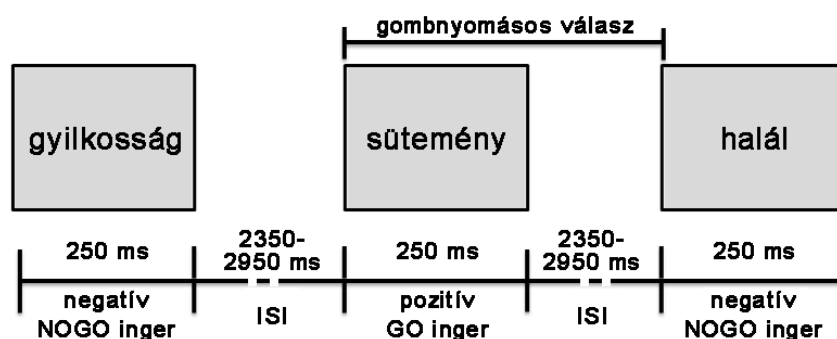
MÓDSZEREK

A vizsgálatban 15 fiatal (átlag életkor 21,26 év, 7 nő, IQ: 118,7; SD: 6,68), 14 idős (átlag életkor 65,73 év, 11 nő, IQ: 115,5; SD: 8,61) személy vett részt. Idegrendszeri betegségük sem korábban, sem a vizsgálat idején nem volt. Nem szedtek olyan gyógyszert, mely az EEG-t befolyásolta volna. Vizusuk normális, illetve szemüveggel megfelelően korrigált volt. A vizsgálat előtt ismertettük velük annak körülményeit. Részvételi szándékukat írásban erősítették meg. A részvételt pénzbeli juttatással honoráltuk.

A vizsgálat során a személyek kényelmes helyzetben ültek egy számítógép képernyőtől 2 m távolságban, gyengén megvilágított, elektronikusan és akusztikusan szigetelt helyiségben. Az EEG-t a következő 33 helyről, Ag-AgCl elektródokkal vezettük el: FP1, FP2, F7, F3, Fz, F4, F8, FT9, FC5, FC1, FC2, FC6, FT10, T7, C3, Cz, C4, T8, TP9, CP5, CP1, CP2, CP6, TP10, P7, P3, Pz, P4, P8, PO9, O1, O2, PO10 (szűrés: DC-70 Hz, digitalizálási sebesség: 1000 Hz). Földpontként az FCz elektródot használtuk. A szemmozgásokat a laterális szemzugokban, valamint a jobb szem felett és alatt elhelyezett elektródokkal regisztráltuk. Referencia elvezetésként az orrhegyre helyezett elektród szolgált.

Feladathelyzet

A személyek előtt a monitoron szavak jelentek meg, egyenként 250 ms időtartamig. A bemutatott szavak közötti idő 2350–2950 ms volt. A pozitív (P), negatív (N) és semleges (S) szavak 6 véletlenszerűen összekevert sorozatban jelentek meg. Egy-egy ingersorozatban csak két típus (például S és N) szerepelt. Az előzetes instrukció szerint a személyeknek az érzelmi tartalom alapján csak az egyikféle szóra kell jelezniük (GO), a másikat viszont figyelmen kívül kell hagyniuk (NOGO). Az azonos valenciájú ingerekből legfeljebb 3 követte egymást. Az ingerek alapjául szolgáló szólista kialakításakor három szempontot vettünk figyelembe: a szavak érzelmi értékét, a szavak gyakoriságát (a magyar web alapú szógyakorisági szótár és a lemma-gyakoriság alapján, Kornai és mtsai, 2006) és hosszúságát (2–3 szótagos szavakat fogadtunk el). A valencia felmérésére előzetes vizsgálat során 5 fokú skálán kellett személyeknek szavakat megítélniük az arousal-dimenzió (nyugodt-izgató) és a valencia-dimenzió (negatív-semleges-pozitív) mentén. A válogatás eredményeként olyan szólista (lásd *Appendix*) keletkezett, melyben a szavak csak valencia-értékük mentén különböztek egymástól, az arousal-dimenzió szempontjából homogének voltak.



1. ábra. A bemutatott szóingerek időzítése. Bővebb magyarázat a szövegben

Adatfeldolgozás

Elemeztük a helyes válaszok százalékos arányát, valamint a reakcióidőt. A szakaszokra bontott EEG-adatokon vizuális és automatikus (± 70 mV) műtermék szűrést, valamint alapvonal (az inger előtti 100 ms hosszú szakasz) korrekciót végeztünk. A kiváltott potenciálok elemzésekor ingerként a szavak megjelenése szolgált. A feldolgozáshoz a Neuroscan 4.4 és Matlab R2009a számítógépes programokat használtuk.

A kiváltott potenciáloknak megfelelő EEG-szakaszokból relatív frekvencia spektrumot, szinkronizációs valószínűséget, valamint hálózat-jellegzetességeket számítottunk egyenként a következő sávokban (szűrés meredeksége: 24 dB/oct):

delta (0,5–4 Hz), theta (4–8 Hz), alpha1 (8–10 Hz), alpha2 (10–13 Hz), beta (13–30 Hz), gamma (30–45 Hz). A szinkronizációs valószínűség- és hálózat-elemzésekhez (lásd később) a C. J. Stam által kifejlesztett DIGEEGXP programot használtuk a szerző engedélyével.

A számítások 2048 adatpontból álló szakaszokon történtek, melyet lineáris interpoláció eredményeként nyertünk az eredetileg 1024 pont (azaz 1024 ms) terjedelmű szakaszokból. Ez magában foglalta a szavakkal mint ingerekkel kiváltott potenciál teljes időtartamát, valamint az azt megelőző 100 ms hosszú periódust. A műtermék szűrés után fennmaradt EEG-szakaszok összevont időtartama a fiatal személyekre vonatkozólag a GO és NOGO helyzetekben 96,8, illetve 88,7 s volt; ugyanezen értékek az idős személyeket tekintve 75,7, illetve 71,1 s.

A szinkronizációs valószínűség (synchronization likelihood, SL) annak valószínűségét adja meg, hogy két (X és Y) neuronhálózatot (illetve az ezeknek megfelelő elektrodok által elvezetett EEG-t) tekintve X rendszer állapota mennyiben definiálható Y rendszer függvényeként (Stam, 2005). Az elektrod páronként történő számítások átlaga adja az SL értékét, mely az idősoroknak mind a lineáris, mind a nemlineáris jellemzőire érzékeny. Teljes függetlenség esetén az SL értéke 0, míg az EEG csatornák maximális szinkronizáltsága esetén ez az érték 1,0. Az SL-számítás eredményeként keletkező mátrix képezi a hálózatelemzés alapját (Stam és Reijneveld, 2007). A számítás során a C (mely hálózatban szomszédos csomópontok összekötöttségét jellemzi) és L (a legrövidebb átlagos távolság a csomópont-párok között) meghatározása történik. „Kis világ” jellegzetességre utal, amennyiben a C/L arány lényegesen nagyobb 1-nél. Egyaránt magas C és L értékek rendezett („túlságosan szabályos”), alacsony C és L értékek random hálózatra jellemzők. A gyakorlatban e számítások során szurrogátum adatokkal (jelen tanulmányban $n = 50$) történik összevetés, melyekre utalva C és L jelölése C/C_s , illetve L/L_s .

Jelen tanulmányban terjedelmi okok miatt a kiváltott potenciálok N2 komponensének Cz ponton mért adataival, a szinkronizációs valószínűség- és hálózat-elemzés eredményeivel foglalkozunk. Ismertetett elemzésünk a delta és theta sávra vonatkozik; ezen frekvenciatartományok döntően fontos szerepet játszanak a kiváltott potenciálok késői komponenseinek keletkezésében (Basar, 1999), mely összefüggés feltételezhetően értelmezhető a bemutatott kiváltott potenciálok mintegy 400 ms latenciájú N2 összetevőjére vonatkozólag is.

Statistikai elemzés

Az eredmények statisztikai elemzése Statistica 9.1 program felhasználásával készült. A reakcióidőre vonatkozó viselkedési adatok csak a GO ingerekre vonatkozólag értelmezhetők, ennek megfelelően az eredmények statisztikai elemzését független mintás többszempontos varianciaanalízissel (ANOVA) végeztük, melyben az életkor mint csoportok közötti szempont, a valencia (semleges, pozitív, negatív) mint csoporton belüli szempont szerepelt.

A helyes válaszokra vonatkozó viselkedéses adatok, a kiváltott potenciálok, a szinkronizációs valószínűség és a hálózat-paraméterek statisztikai elemzésekor független mintás ismételt méréses többszemponos varianciaanalízist (ANOVA) végeztünk. Az eltérő valenciájú ingerek (3 szint: semleges, pozitív, negatív) és a válaszhelyzet (2 szint: GO, NOGO) mint csoporton belüli szempont, az életkor (2 szint: idős, fiatal) mint csoportok közötti szempont szerepelt a statisztikai elemzésben. A kiváltott potenciálokra vonatkozó elemzésekben a Cz elektródról elvezetett EKP-ok N2 komponensének amplitúdó-adatai szerepelnek, melynek legnagyobb értékét 250–500 ms latenciatartományban automatikus csúskereséssel határoztuk meg. Ahol szükséges volt, a Greenhouse-Geisser korrekciót alkalmaztuk: ezekben az esetekben a feltüntetett p a korrigált értéknek felel meg. A post hoc elemzést a Tukey-tesztel végeztük.

EREDMÉNYEK

Viselkedéses mutatók

Helyes válaszok

Valencia főhatást [$F(2, 54) = 17,471$, $p = 0,000$] találtunk. A post hoc elemzés szerint a negatív szavakra a teljesítmény jobb volt, mint a pozitív ($p = 0,039$) és mint a semleges ($p < 0,001$) szavakra. A pozitív szavakra a találati arány nagyobb volt, mint a semleges szavakra ($p = 0,004$). Válaszhelyzet $\times$ valencia interakciót [$F(2, 4) = 4,633$, $p = 0,014$] mértünk: a negatív szavakra jobb teljesítmény mutatható ki a NOGO, mint a GO szavakra ($p = 0,015$); a GO helyzetben a semleges szavakra rosszabb volt a teljesítmény, mint a negatív ($p = 0,008$) és pozitív szavakra ($p = 0,003$); a NOGO válasz helyzetben a negatív szavakra jobb volt a teljesítmény, mint a semleges ($p < 0,001$) és pozitív ($p < 0,001$) szavakra. Hármass válasz helyzet $\times$ valencia $\times$ kor interakciót [$F(2, 54) = 6,265$, $p = 0,004$] találtunk. A post hoc elemzések szerint a negatív szavak esetében csak a fiatal korcsoportban mutatható ki jobb teljesítmény a NOGO helyzetben, összehasonlítva a GO válasz helyzettel ($p < 0,001$).

Reakcióidő

Valencia főhatást [$F(2, 54) = 7,042$, $p = 0,002$] mértünk. A post hoc elemzés szerint a semleges szavakra hosszabb volt a reakcióidő, mint az, amit negatív ($p = 0,007$) és pozitív szavakra találtunk ($p = 0,005$).

1. táblázat. A helyes válaszok százalékos megoszlása a két korcsoportban, valamint a GO válaszhelyzetben mért reakcióidők

GO			
átlagos teljesítmény (%)			
fiatal	negatív	pozitív	semleges
átlag	71,52	77,67	67,38
szórás	16,26	13,55	13,86
idős	negatív	pozitív	semleges
átlag	78,3	73,69	61,18
szórás	9,64	14,12	17,69
átlagos reakcióidő (ms)			
fiatal	negatív	pozitív	semleges
átlag	849,17	880,71	924,18
szórás	167,42	139,72	173,82
idős	negatív	pozitív	semleges
átlag	853,19	813,97	939,23
szórás	186,98	144,21	187,55
NOGO			
átlagos teljesítmény (%)			
fiatal	negatív	pozitív	semleges
átlag	91,76	73,59	71,22
szórás	6,37	17,2	9,15
idős	negatív	pozitív	semleges
átlag	76,94	72,44	68,95
szórás	19,09	12,31	16,67

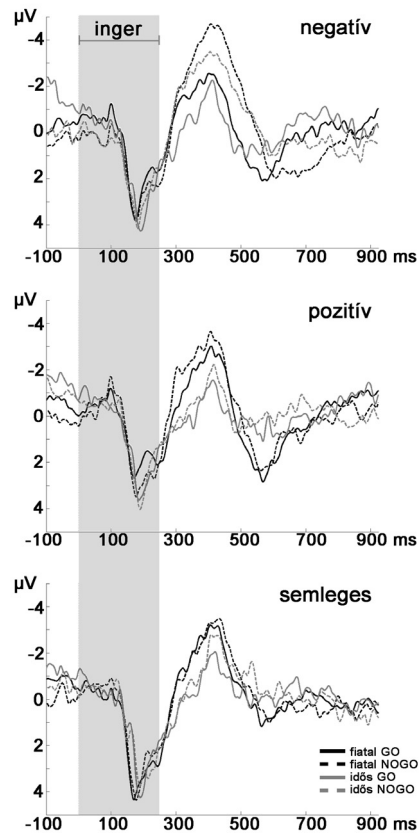
Kiváltott potenciálok

A negatív, pozitív, illetve semleges ingerekre kapott, fiatal és idős személyeken regisztrált átlagolt kiváltott potenciálok Cz pontról elvezetett nagyatlagai láthatók a 2. ábrán. A potenciálokon a P1-N2-P3 összetevők azonosíthatók. Elemzésünk az N2 komponensre szorítkozik, de látható, hogy a P1 és P3 hullámokat tekintve is vannak különbségek az ingerekre és az életkorcsoportokra vonatkozólag. A pozitív ingerek például csak fiatalokban váltottak ki értékelhető P3 hullámot, idősökben ez az összetevő úgyszólván nem azonosítható.

Az N2 latenciáját tekintve egyik valenciájú szóinger vonatkozásában sem találtunk életkori vagy helyzet hatásokat.

A 3 típusú szóingerrel kiváltott EKP-ok N2 összetevőjének amplitúdó értékei a különböző helyzetekben és életkorokban a 3. ábrán láthatók.

Az N2 amplitúdóját tekintve marginálisan szignifikáns kor főhatást [$F(1, 27) = 3,666$, $p = 0,066$] találtunk: a fiatalokban az N2 amplitúdója nagyobb volt, mint az idősökben. Főhatást mértünk a válaszhelyzetnek megfelelően [$F(1, 27) = 11,388$, $p = 0,002$]: az N2 amplitúdója nagyobb volt a NOGO, mint a GO feltételben. Ugyancsak szignifikáns főhatása volt a valenciának [$F(2, 54) = 4,392$, $p = 0,017$]: a



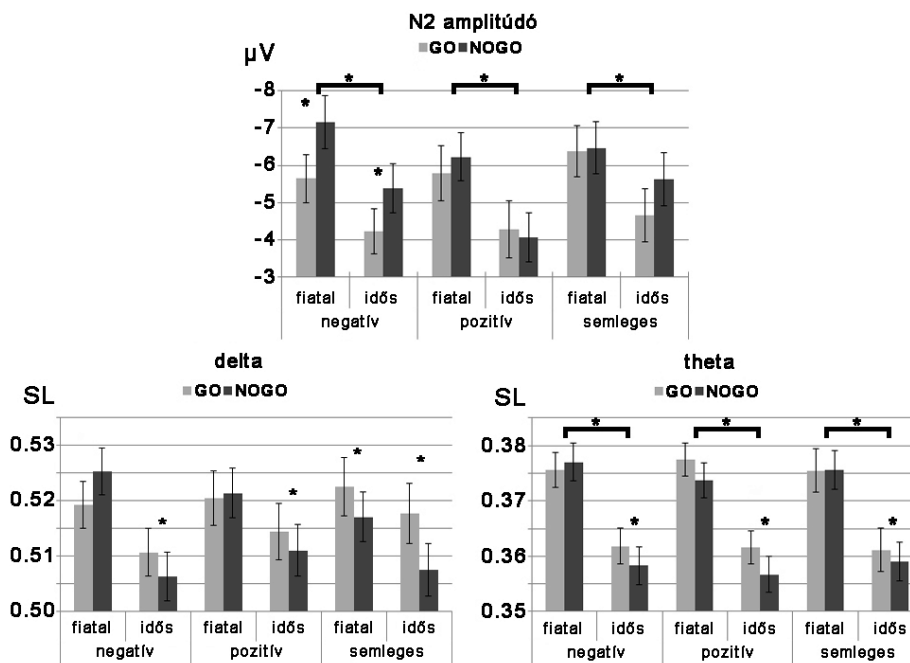
2. ábra. A negatív, pozitív és semleges szavakkal kiváltott potenciálok a GO és NOGO helyzetekben a két korcsoportban

negatív ingerekkel kiváltott válaszokban nagyobb N2 amplitúdót találtunk, mint a semleges ingerekkel kiváltott potenciálokban. Valencia $\times$ válasz helyzet interakciót [$F(2, 54) = 3,396$, $p = 0,040$] találtunk. Életkortól függetlenül csak a negatív ingerek esetében volt különbség a GO és NOGO ingerek által kiváltott N2 amplitúdója között ($p = 0,004$). A NOGO válasz helyzetben kiváltott válaszok N2 amplitúdója a negatív valenciájú szavak esetében nagyobb volt, mint az, amit GO válasz helyzetben mértünk.

Szinkronizációs valószínűség

Theta frekvenciatartomány

Kor főhatást [$F(1, 27) = 12,840$, $p = 0,001$] tapasztaltunk: fiatalokban találtuk a magasabb szinkronizációt. Főhatása volt a válasz helyzetnek is [$F(1, 27) = 13,510$,



3. ábra. A negatív, pozitív és semleges szavakkal kiváltott potenciálok N2 hullámának amplitúdója, valamint a kiváltott potenciálokhoz megfelelő EEG-szakaszokból számított szinkronizációs valószínűségértékek a GO és NOGO helyzetekben két korcsoportban. Az áttekinthetőség kedvéért a valencia-típusok szignifikanciáit külön nem jelöltük. Bővebb magyarázat a szövegben

$p = 0,001$]: GO helyzetben magasabb szinkronizációt mértünk, mint NOGO helyzetben. Életkor $\times$ válasz helyzet interakciót tapasztaltunk [$F(1, 27) = 5,828$, $p = 0,023$], mely szerint csak az idős csoportban volt szignifikáns különbség a GO és NOGO válasz helyzet között, ahol GO helyzetben szignifikánsan ($p = 0,001$) nagyobb theta szinkronizációt találtunk.

Delta frekvenciatartomány

Válasz helyzet főhatást tapasztaltunk [$F(1, 27) = 4,645$, $p = 0,040$]: A GO helyzetben nagyobb értéket mértünk, mint NOGO helyzetben. A válasz helyzet $\times$ kor interakció [$F(1, 27) = 6,420$, $p = 0,017$] eredménye szerint az idős csoportjában szignifikánsan nagyobb volt a delta szinkronizáció GO, mint NOGO válasz helyzetben. A válasz helyzet $\times$ valencia interakció [$F(2, 54) = 5,862$, $p = 0,005$] alapján a semleges szóingerek esetén a GO válasz helyzetben a delta szinkronizáció nagyobb volt, mint a NOGO helyzetben.

Hálózat-elemzés

Theta frekvenciasáv

A C vonatkozásában kor főhatást [$F(1, 27) = 15,916$, $p = 0,000$] mértünk, értéke fiatalokban magasabb volt, mint idősekben. A C/L-re vonatkozólag is életkor főhatást [$F(1, 27) = 4,385$, $p = 0,046$] tapasztaltunk: eszerint az érték fiatalokban volt magasabb.

Delta frekvenciasáv

A C értékét tekintve valencia főhatást [$F(2, 54) = 5,141$, $p = 0,009$] mértünk. A post hoc elemzés szerint a C értéke szignifikánsan nagyobb a pozitív, mint a semleges valenciájú szóingerekre ($p = 0,006$).

MEGBESZÉLÉS

Az alábbiakban külön-külön értelmezzük a viselkedési mutatókkal, a kiváltott potenciálokkal, a szinkronizációs valószínűséggel és a hálózat-paraméterekkel kapcsolatos megfigyeléseket, ezt követően mérlegeljük ezek összefüggéseit. Kiemelt figyelmet szentelünk a negatív ingerekkel NOGO helyzetben kiváltott válaszokkal kapcsolatos jelenségeknek. Ennek oka, hogy ebben a gátlással összefüggő helyzetben a negatív érzelmi komponens szerepe kidomboríthatja a valencia feldolgozásának életkorfüggő aspektusait, mellyel kapcsolatban már korábban megfogalmazódott, hogy 1) a negatív érzelmi töltésű ingerek-ingerhelyzetek megfelelő kezelése kiemelten fontos az optimális viselkedésszabályozás szempontjából (Carretié és mtsai, 2001; 2009), és 2) időskorban megváltozik az érzelmi ingerek feldolgozása.

A jó-rossz válaszokat tekintve megállapítható, hogy a legnagyobb arányban a negatív valenciájú szavakra adtak jó választ a résztvevők. E valencia-kategórián belül is a NOGO válasz helyzetben szerepeltek legeredményesebben, mely csak a fiatal korcsoportra volt jellemző. A fiatal személyek negatív szavakra adott jó teljesítménye értelmezhető úgy, mint a negatív torzítás megnyilvánulása (Carretié és mtsai, 2001). Ez a valenciára vonatkozó különbség az idősekben csökkent. Ezt okozhatja a kérdés szempontjából érdektelen, közömbös magatartás is, mely viszont felfogható úgy, mint az adaptívnek tartott „negative brain” (Carretié és mtsai, 2009) ez irányú teljesítményének csökkenése. A semleges szavakkal kapcsolatban tapasztalt leghosszabb reakcióidő valószínű oka az lehet, hogy e szavak szemantikai értékelése nehezebb feladatnak bizonyult mindkét korcsoport számára.

A tanulmányban N2-komponensként értékeltük a mintegy 400 ms latenciájú negatív hullámot. Ezt indokolja a komponens kapcsolata a (jelenleg nem elemzett)

P3 hullámmal, de megjegyzésre érdemes, hogy ezen összetevő amplitúdója mindkét korcsoportban és minden helyzetben a Cz ponton volt legnagyobb. Elképzelhető, hogy kiváltásában és változásaiban szerepet játszottak szemantikai folyamatok is (Holcomb, 1993), mely alapján e komponens akár N400 hullámnak is megfeleltethető lehet. Feltehető, hogy a NOGO inger által kiváltott magasabb N2 amplitúdó kifejezettebb gátlás eredménye (Kaiser és mtsai, 2006, és mások). Az N2 változásaival kapcsolatban tapasztalt statisztikai főhatások alapján valószínűsíthető, hogy a fiatal személyekben NOGO helyzetben és negatív valenciájú ingerek esetében működik leghatékonyabb mértékben a gátlási folyamat.

Az N2 latenciájára vonatkozólag sem életkor-, sem valencia-hatást nem mérünk, ami arra utal, hogy a szavak feldolgozásának gyorsaságát e tényezők nem befolyásolták. Adataink nem támasztják alá Wieser és munkatársai (2006) megfigyeléseit, akik képingerekkel kiváltott potenciálok elemzésekor egy korai pozitívitas latencia-növekedését tapasztalták idős személyekben. Eredményeink azonban csak fenntartásokkal vethetők össze az idézett tanulmánnyal, mert utóbbiban az arousal-tényező nem volt a megfelelően kontrollálva, és az ingerek képek voltak.

A theta tartományban számított SL-re vonatkozóan kor főhatást tapasztaltunk; fiatalokban magasabb szinkronizációt észleltünk. Ez utalhat a szinkronizáció alapját képező, fiatalokban hatékonyabb interneuronális kapcsolatokra. A GO-helyzetben tapasztalt magasabb szinkronizáció, mely idősokban volt szignifikánsan magasabb, mint a NOGO helyzetben, azt jelzi, hogy függetlenül az inger valenciájától, a GO-válaszhelyzet – melyben tehát nem szerepel gátlási folyamat – ebben a frekvenciasávban intenzív szinkronizációs aktivitást indít el. Más szavakkal, az SL érzékeny jelzője volt az életkori különbségeknek a válaszhelyzetet (GO-NOGO) tekintve, de a valencia vonatkozásában ez nem volt megállapítható.

A delta tartományra vonatkozó SL-t tekintve a változások a theta sávban tapasztaltakhoz hasonlóak voltak: mind a válaszhelyzet főhatás, mind pedig a válaszhelyzet $\times$ kor interakció arra utalt, hogy GO helyzetben és idősokban nagyobb mértékű a szinkronizáció. Csak a semleges ingerek vonatkozásában adódott válaszhelyzet $\times$ valencia interakció azt jelezve, hogy a semleges ingerekkel kiváltott szinkronizáció GO helyzetben magasabb volt.

Úgy tűnik tehát, hogy a GO válaszhelyzet idősokban is hatékonyan provokál szinkronizációs folyamatokat a lassú frekvenciasávokban, melyek nem elsősorban az ingerek valenciájával hozhatók összefüggésbe, sőt azoktól legtöbb esetben függetlennek tarthatók. Ez arra utalhat, hogy megfelelő ingerhelyzetben az általunk vizsgált idős korcsoportban is rendelkezésre állnak azok a hálózatok, melyek megfelelő ingerhelyzetben aktivizálhatók.

A hálózat-paramétereket tekintve a theta tartományban fiatalokban magasabb C és C/L érték erre a korcsoportra jellemző kifejezettebb „kis világ” jellegzetességet jelez, mely azonban nem módosult az alkalmazott ingerhelyzeteknek megfelelően, tehát stabil állapotjelzőként értékelhető. Annak ellenére, hogy a kifejezettebb „kis világ” karakterisztikum hatékonyabb információ-feldolgozási lehetőségre utal, adataink szerint a jelen tanulmányban alkalmazott vizsgálati helyzet

ezt nem változtatta meg. A delta sávban ugyancsak a C értékére vonatkozólag tapasztaltunk hatást, mely életkortól függetlenül magasabbnak mutatkozott a pozitív, mint a semleges ingerekre, tehát ebben a frekvenciasávban kimutatható volt a valencia-hatás. Mind a theta, mind a delta sávban a hálózat-paraméterek közül csak arra vonatkozólag tudtunk változásokat megfigyelni, mely a szomszédos csomópontok közötti összeköttetéseket jellemzi (C), vagyis nem változott az a mutató, mely a távolabbi összeköttetések jellegére (hosszára) utal. További vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy eldönthető legyen: ez a meglehetősen stabil topológia mennyiben függ a kísérleti helyzet jellegétől. Az mindenesetre nyilvánvaló, hogy a fiatal korcsoportra vonatkozólag (a theta tartományban) megállapítható a „kis világ” jellegzetesség.

A fiatal korcsoportban az N2 negatív szavakra a NOGO válasz helyzetben volt a legnagyobb. Ez a jellegzetesség delta tartományban az SL vonatkozásában is megfigyelhető volt. Kapcsolatot a két jelenség között azonban csak úgy lehetne közvetlenül feltárni, ha az SL-számítás az N2-hullám időtartamára leszűkítve történne. Előzetes adataink szerint erre van lehetőség; jelen tanulmányban azonban erre még korai lenne kitérni. A legnagyobb arányú helyes választ ugyancsak negatív szavakra NOGO válasz helyzetben a fiatalok adták. Ezek szerint az N2 hullámnak megfeleltethető kifejezettebb mértékű gátlás jó teljesítménnyel társult. Valószínű, hogy más, a későbbiekben még feltárandó elemzési szempontok is szükségesek e folyamatok részletes tisztázásához. Ezek között kiemelkedő fontosságúak lehetnek olyan adatok, melyek a feladatvégzéseket kísérő vegetatív idegrendszeri változásokra (szívritmus, légzés stb.) és a különböző agyi régiók vérátáramlására (fMRI) vonatkoznak. Többek között ilyen megfigyelések ismeretében vált megkérdőjelezhetővé az idősök állítólagos csökkent emocionális reaktivitása (Gunning-Dixon és mtsai, 2003; Smith és mtsai, 2005).

A fenti adatok mellett, a vizsgálati helyzetek további finomításával, valamint az új elemzési lehetőségeket kínáló módszerek használatával várható, hogy a Mather és Carstensen (2005) által megfogalmazott, idősök sajátjaként értelmezett „pozitív torzítás” elmélete még számos új elemmel árnyalható.

IRODALOM

- Albert, J., Martin, S. L., Tapia, M., Carretie, L. (2008): Affective Go/Nogo: Comparing the effect of emotional targets and emotional contexts. *International Journal of Psychophysiology*, 69, 242–275.
- Basar, E. (1999): *Brain Function and Oscillations*. Berlin–Heidelberg–New York, Springer Verlag, 293–303.
- Bekker, E. M., Kenemans, J. L., Hoeksma, M. R., Talsma, D., Verbaten, M. N. (2004): The pure electrophysiology of stopping. *International Journal of Psychophysiology*, 55, 191–198.
- Briggs, K. E., Martin, F. H. (2009): Affective picture processing and motivational relevance: Arousal and valence effects on ERPs in an oddball task. *International Journal of Psychophysiology*, 72, 299–306.
- Carretié, L., Albert, J. López-Martín, S., Tapia, M. (2009): Negative brain: An integrative review on the neural processes activated by unpleasant stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 71, 57–63.

- Carretié, L., Iglesias, J., Garcia, T., Ballesteros, M. (1996): N300, P300 and the emotional processing of visual stimuli. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 103, 298–303.
- Carretié, L., Mercadola, F., Tapias, M., Hinojosa, J. A. (2001): Emotion, attention, and the 'negativity bias', studied through event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 75–85.
- Chiu, P. H., Holmes, A. J., Diego, A., Pizzagalli, D. A. (2008): Dissociable recruitment of rostral anterior cingulate and inferior frontal cortex in emotional response inhibition. *NeuroImage*, 42, 988–997.
- Dillon, D. G., Pizzagalli, D. A. (2007): Inhibition of action, thought, and emotion: A selective neurobiological review. *Applied & Preventive Psychology*, 12, 99–114.
- Eimer, M. (1993): Effects of attention and stimulus probability on ERPs in a Go/Nogo task. *Biological Psychology*, 35(2), 123–138.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Hohnsbein, J. (1999): ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychologica*, 101, 267–291.
- Gunning-Dixon, F. M., Gur, R. C., Perkins, A. C., Schroeder, L., Turner, T., Turetsky, B. I., Chan, R. M., Loughhead, J. W., Alsop, D. C., Maldjian, J., Gur, R. E. (2003): Age-related differences in brain activation during emotional face processing. *Neurobiology of Aging*, 24, 285–295.
- Holcomb, P. J. (1993): Semantic priming and stimulus degradation: Implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology*, 30(1), 3–130.
- Jodo, E., Kayama, Y. (1992): Relation of a negative ERP component to response inhibition in a Go/No-go task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 82(6), 477–482.
- Kaiser, S., Weiss, O., Hill, H., Markela-Lerenc, J., Kiefer, M., Weisbrod, M. (2006): N2 event-related potential correlates of response inhibition in an auditory Go/Nogo task. *International Journal of Psychophysiology*, 61, 279–282.
- Kissler, J., Herbert, C., Winkler, I., Junghofer, M. (2009): Emotion and attention in visual word processing – An ERP study. *Biological Psychology*, 80, 75–83.
- Kopp, B., Maqtlar, U., Goertz, R., Rist, F. (1996): N2, P3 and the lateralized readiness potential in a nogo task involving selective response priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 19–27.
- Kornai, A., Halácsy, P., Nagy, V., Oravecz, C., Trón, V., Varga, D. (2006): Web-based frequency dictionaries for medium density languages. *Proceedings of the Web as Corpus workshop at EACL*. (MOK adatbázis szósablya <http://szotar.mokk.bme.hu/szoszablya/searchq.php>)
- Mather, M., Carstensen, L. L. (2005): Aging and motivated cognition: The positivity effect in attention and memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 496–502.
- Micheloyannis, S., Pachou, E., Stam, C.J., Vourkas, M., Erimaki, S., Tsirka, V. (2006): Using graph theoretical analysis of multi channel EEG to evaluate the neural efficiency hypothesis. *Neuroscience Letters*, 402, 273–277.
- Molnár M., Boha R., Benyovszky M., Gaál Zs. A., Tóth B. (2011): Öregedés és számolási teljesítmény: az EEG spektrális-, komplexitás- és hálózat-jellemzői. *Ideggyógyászati Szemle/Clinical Neuroscience*, 64(1–2), 41–49.
- Olofsson, J. K., Polich, J. (2007): Affective visual event-related potentials: Arousal, repetition, and time-on-task. *Biological Psychology*, 75, 101–108.
- Olofsson, J. K., Nordin, S., Sequeira, H., Polich, J. (2008): Affective picture processing: An integrative review of ERP findings. *Biological Psychology*, 77, 247–265.
- Pethő B. (2002): Az öregedés lélektana. In: Tariska P. (szerk.), *Kortünet vagy kórtünet? Mentális zavarok az időskorban*. Budapest, Medicina, 32–45.
- Rozenkrants, B., Polich, J. (2008): Affective ERP processing in a visual oddball task: Arousal, valence, and gender. *Clinical Neurophysiology*, 119, 2260–2265.
- Schmiedt-Fehr, C., Mathes, B., Basar-Eroglu, C. (2010): Alpha brain oscillations and inhibitory control: A partially preserved mechanism in healthy aging? *Journal of Psychophysiology*, 23(4) 208–215.
- Shafritz, K. M., Collins, S. H., Hilary, P., Blumberg, H. P. (2006): The interaction of emotional and cognitive neural systems in emotionally guided response inhibition. *NeuroImage*, 31, 468–475.
- Smith, D. P., Hillman, C. H., Duley, A. R. (2005): Influences of age on emotional reactivity during picture processing. *The Journals of Gerontology, Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 60(1), 49–56.

- Stam, C. J., (2005): Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: Review of an emerging field. *Clinical Neurophysiology*, 116, 2266–2301.
- Stam, C. J., Reijneveld, J. C. (2007): Graph theoretical analysis of complex networks in the brain. *Nonlinear Biomedical Physics*, 1(3), 1–19.
- Szirmai I. (2002): A kognitív zavarok neurológiai alapjai. In: Tariska P. (szerk), *Kortünet vagy kórtünet? Mentális zavarok az időskorban*. Budapest, Medicina, 87–113.
- Szirmai I. (2007): Az agyféltekék lebenyei és működésük. In: Szirmai I. (szerk.), *Neurológia*. Budapest, Medicina, 153–187.
- Wieser, M. J., Mühlberger, A., Kenntner-Mabiala, R., Pauli, P. (2006): Is emotion processing affected by advancing age? An event-related brain potential study. *Brain Research*, 1096, 138–147.

Márk Molnár, Brigitta Tóth, Roland Boha, Zsófia Anna Gaál

THE EFFECT OF EMOTION ON RESPONSE INHIBITION – AGING CHARACTERISTICS AS REFLECTED BY ELECTROPHYSIOLOGICAL DATA

Inhibitory mechanisms are of fundamental importance in all levels of psychophysiological processes including cognitive functions. According to the widely accepted view its efficiency declines with aging. It is not known, however, how emotional processes interfere with this relationship. The aim of the present study was to investigate whether there was an interrelationship between the regulation of inhibitory functions, age and that of emotional processes. Words of negative, positive and neutral valence were presented to young and elderly participants who were instructed to respond (button press, GO condition) or to withhold a response (NOGO condition) to them. In addition to behavioral indices the evoked potentials elicited by the words, and the EEG epochs corresponding to the evoked potentials were analyzed by conventional methods and by the calculation of the synchronization likelihood that quantifies nonlinear-linear synchronization, which was performed in the delta and theta frequency bands. Graph theoretical parameters of these epochs were also determined. It was found that the GO condition effectively activates neural networks in the elderly as well in the delta and theta frequency bands, which was independent of the valence of the evoking stimuli. The highest amplitude N2 component of evoked potentials was elicited by negative words in young subjects in the NOGO condition showing that processes related to response inhibition were activated most conspicuously by aversive stimuli which process was most effective in the young. Irrespective of the evoking stimuli higher synchronization was observed in the young probably related to more efficient interneuronal connectivity.

Keywords: aging, emotions, evoked potentials, synchronization

Appendix: A használt negatív, pozitív és semleges szavak listája a valenciaértékekkel
(1–5 skálán mérve)

Sor-szám	Negatív szavak	Átlag	Szórás	Semleges szavak	Átlag	Szórás	Pozitív szavak	Átlag	Szórás
1.	abortusz	1,283	0,533	áfonya	3,623	0,860	ajándék	4,245	0,939
2.	adós	1,868	0,735	alföld	3,208	0,600	áldott	4,226	0,824
3.	agresszió	1,208	0,454	alma	3,453	0,774	álom	4,453	0,637
4.	akasztás	1,170	0,379	bagoly	3,340	0,783	alvás	4,604	0,660
5.	áldozat	1,755	0,897	banán	3,660	0,732	angyal	4,434	0,665
6.	allergia	1,792	0,743	bankár	2,830	0,672	anyaság	4,679	0,701
7.	áruló	1,245	0,434	barack	3,717	0,841	aranyos	4,189	0,735
8.	árvíz	1,528	0,696	barna	3,038	0,733	bajnok	4,057	0,864
9.	baleset	1,340	0,517	béka	2,811	1,001	barát	4,830	0,379
10.	bánat	1,528	0,668	bicikli	3,774	0,869	baráti	4,528	0,668
11.	bénulás	1,346	0,905	bíróság	2,547	0,867	becsület	4,491	0,639
12.	beteg	1,283	0,495	bogár	3,019	0,888	béke	4,585	0,602
13.	betegség	1,396	0,566	bordó	3,528	0,846	bizalom	4,509	0,639
14.	bomba	1,585	0,692	borsó	3,604	0,906	biztonság	4,642	0,558
15.	borzasztó	1,528	0,608	brácsa	3,509	0,823	boldog	4,774	0,577
16.	börtön	1,415	0,497	csákány	2,868	0,856	boldogság	4,774	0,577
17.	brutális	1,151	0,411	dominó	3,434	0,636	család	4,774	0,542
18.	bukás	1,472	0,575	ecset	3,208	0,409	csecsemő	4,509	0,669
19.	butaság	1,906	0,766	egres	3,377	0,945	csillag	4,000	0,877
20.	bűdös	1,566	0,636	ékszer	3,849	0,907	csinos	4,321	0,644
21.	bűnös	1,660	0,649	ezüst	3,679	0,779	csoda	4,528	0,668
22.	bűnöző	1,415	0,570	fehér	3,623	0,765	csodált	4,509	0,576
23.	büntetés	1,679	0,701	fekete	2,566	1,047	csoki	4,528	0,775
24.	büntett	1,528	0,639	fennsík	3,226	0,609	csókol	4,698	0,540
25.	csalás	1,491	0,505	folyó	3,453	0,774	dallam	4,245	0,731
26.	csalódás	1,377	0,527	földrajz	3,057	0,718	diadal	4,075	0,851
27.	csótány	1,396	0,599	főzelék	3,208	0,743	dicséret	4,528	0,608
28.	csúnya	1,792	0,661	furulya	3,547	0,889	dicsőség	4,264	0,788
29.	depresszió	1,34	0,586	futball	3,038	0,898	diplomás	4,019	0,747
30.	durva	1,679	0,701	fűnyíró	2,943	0,412	édesség	4,453	0,722
31.	dühös	1,679	0,613	fürdőkád	3,585	0,770	egészség	4,736	0,486
32.	egyedül	1,774	0,847	fűrés	2,491	0,800	ékszer	3,849	0,907
33.	éhség	1,547	0,667	gesztenye	3,623	0,713	elbűvöl	4,509	0,697
34.	elveszett	1,717	0,662	gömb	3,245	0,585	élenk	4,000	0,899
35.	erőszak	1,208	0,454	gúla	3,038	0,275	élet	4,396	0,968
36.	fájdalom	1,264	0,445	gyémánt	3,830	0,935	élvezet	4,491	0,750
37.	fáradtság	1,849	0,662	hajnalka	3,717	0,744	emlék	4,094	0,838
38.	fegyver	1,415	0,692	hajó	3,283	0,601	ének	4,000	0,877
39.	férges	1,434	0,844	halánték	2,925	0,615	érdekes	4,245	0,648
40.	fertőzés	1,453	0,607	harcsa	3,151	0,601	érdem	4,245	0,648
41.	fogház	1,906	0,861	haszon	3,792	0,840	erős	4,094	0,658
42.	fulladás	1,189	0,441	hegedű	3,491	0,724	esküvő	4,491	0,800
43.	gennyes	1,491	0,933	henger	2,981	0,239	extázis	3,830	0,995
44.	gonoszság	1,377	0,527	hirdetés	2,906	0,564	fagylalt	4,283	0,744
45.	gyenge	1,925	0,805	homlok	3,151	0,496	fejlődik	4,151	0,744
46.	gyilkos	1,340	0,678	húsvét	3,925	0,829	feleség	4,094	0,714
47.	gyilkosság	1,113	0,320	kabát	3,151	0,533	finom	4,509	0,608
48.	gyötört	1,377	0,562	kakukkfű	3,377	0,765	független	3,943	0,842

Sor- szám	Negatív szavak	Átlag	Szórás	Semleges szavak	Átlag	Szórás	Pozitív szavak	Átlag	Szórás
49.	háború	1,189	0,441	kanapé	3,491	0,869	gyengéd	4,604	0,599
50.	hájás	1,698	0,774	kancsó	3,151	0,456	gyermek	4,491	0,775
51.	halál	1,189	0,441	kapor	2,906	0,791	gyógyulás	4,547	0,539
52.	hanyagság	1,698	0,668	káposzta	2,981	0,747	gyönyör	4,566	0,694
53.	hányás	1,321	0,510	karton	3,019	0,500	gyönyörű	4,604	0,599
54.	hányinger	1,396	0,689	kártya	3,151	0,456	győzelem	4,283	0,885
55.	harag	1,491	0,576	katona	2,868	0,785	győzelmes	4,340	0,732
56.	hazudós	1,132	0,342	kémia	2,660	0,960	hálás	4,057	0,842
57.	hazugság	1,340	0,517	kerékpár	3,528	0,799	haszon	3,792	0,840
58.	heroin	1,151	0,361	kézpénz	3,698	1,011	házaspár	4,075	0,895
59.	hideg	2,132	0,921	kesztyű	3,208	0,532	házastárs	4,245	0,875
60.	himlő	1,623	0,740	kocka	3,113	0,506	humor	4,396	0,689
61.	hulla	1,208	0,409	koktél	3,925	1,089	ifjúság	4,34	0,807
62.	hurrikán	1,679	0,936	kolbász	3,226	0,974	ihletett	4,113	0,751
63.	indulat	1,774	0,800	komód	3,189	0,590	illatos	4,434	0,572
64.	influenza	1,906	0,861	kőműves	3,000	0,392	imádott	4,340	0,876
65.	kanyaró	1,906	1,043	könyök	3,019	0,366	Isten	4,094	0,946
66.	kegyetlen	1,358	0,736	könyvelő	2,868	0,520	játék	4,321	0,754
67.	kiabálás	1,774	0,954	krumpli	3,321	0,613	jegy	4,113	0,800
68.	kígyó	2,057	0,770	kulcs	3,170	0,580	jóképu	4,264	0,858
69.	kimerült	1,717	0,632	kutya	3,774	0,974	jóság	4,566	0,537
70.	kíno	1,245	0,477	lábtörő	2,830	0,580	jutalom	4,434	0,636
71.	kínzás	1,151	0,456	lámpa	3,075	0,331	kakaó	4,151	0,794
72.	kivégzés	1,151	0,456	lazac	3,340	0,732	karácsony	4,623	0,657
73.	koldus	1,755	0,648	levél	3,472	0,749	katica	4,057	0,886
74.	koporsó	1,340	0,553	likőr	3,755	0,998	kedves	4,566	0,605
75.	koszos	1,755	0,617	mágikus	3,660	0,854	kedvesség	4,679	0,613
76.	kövér	1,943	0,633	málna	3,943	0,842	kellemes	4,302	0,822
77.	kudar	1,509	0,697	matek	2,623	1,180	kényelem	4,189	0,735
78.	lavina	1,717	0,744	menta	3,660	0,919	kényelmes	4,113	0,847
79.	lehangolt	1,679	0,754	mentők	2,547	1,309	képzelet	4,340	0,732
80.	lepra	1,302	0,638	mókus	3,830	0,849	kincs	4,226	0,776
81.	magány	1,472	0,639	muskátl	3,415	0,842	kiskutya	4,340	0,758
82.	megaláz	1,208	0,495	műanyag	2,811	0,622	kitartó	4,547	0,607
83.	megfázás	1,906	0,714	novella	3,472	0,696	kiváló	4,434	0,665
84.	megfullad	1,189	0,441	orgona	3,811	0,652	kívánság	4,151	0,907
85.	megtört	1,415	0,535	orvos	3,094	1,229	könyv	4,019	0,772
86.	mérge	1,679	0,613	pala	3,170	0,470	lakoma	4,094	0,861
87.	mészárlás	1,132	0,342	palota	3,509	0,800	magyar	4,057	0,929
88.	mocsok	1,623	0,740	papagáj	3,057	0,795	meggondolt	4,415	0,770
89.	műtét	1,547	0,695	paprika	3,151	0,601	meghitt	4,509	0,823
90.	nehézség	1,698	0,723	paraván	3,075	0,331	megnyugtat	4,340	0,758
91.	nyálkás	1,679	0,850	pincér	3,132	0,394	melegség	4,491	0,639
92.	nyomor	1,264	0,486	pingpong	3,849	0,886	menny	4,34	0,732
93.	nyomorék	1,377	0,527	pisztráng	3,170	0,727	mikulás	4,057	0,718
94.	öldöklés	1,075	0,267	pohár	3,094	0,564	móka	4,755	0,477
95.	öngyilkosság	1,038	0,192	pokróc	3,245	0,757	mosoly	4,736	0,593
96.	ördög	1,547	0,667	pulóver	3,321	0,701	mozifilm	4,019	0,951
97.	penészes	1,623	0,713	rendőr	2,528	0,668	mulatság	4,245	0,853
98.	piszok	1,868	0,735	repülő	3,453	0,774	művészi	3,962	0,960
99.	pletykás	1,943	0,633	roller	3,623	0,814	napfény	4,604	0,599

Sor-szám	Negatív szavak	Átlag	Szórás	Semleges szavak	Átlag	Szórás	Pozitív szavak	Átlag	Szórás
100.	pokol	1,509	0,669	sapka	3,151	0,632	napsütés	4,566	0,572
101.	pusztít	1,509	0,750	sárga	3,302	0,799	nevetés	4,717	0,495
102.	rabló	1,453	0,503	selyem	3,811	0,856	nyaralás	4,660	0,586
103.	rabszolga	1,472	0,608	síkság	3,170	0,612	nyeremény	4,377	0,686
104.	rákos	1,075	0,267	sirály	3,283	0,690	nyugalom	4,415	0,795
105.	rémült	1,585	0,570	sonka	3,585	0,819	nyugodt	4,377	0,740
106.	rohadt	1,679	0,673	stadion	3,170	0,612	olvas	4,019	0,820
107.	savas	2,113	0,698	szalvéta	3,094	0,354	orgazmus	4,774	0,577
108.	sérelem	1,547	0,637	szánkó	3,943	0,969	otthon	4,830	0,427
109.	sértés	1,472	0,575	szarvas	3,491	0,750	ölelés	4,849	0,361
110.	sértett	1,943	0,663	szeder	3,623	0,904	öröm	4,755	0,434
111.	sírás	1,925	0,781	szekrény	3,057	0,305	őszinte	4,585	0,770
112.	sírkő	1,623	0,686	szemetes	2,830	0,580	parti	4,208	0,988
113.	sötétség	2,057	0,886	szikla	3,113	0,577	pillangó	4,038	0,898
114.	stressz	1,302	0,540	szilva	3,283	0,662	pizza	4,000	0,855
115.	szajha	1,642	1,094	szkenner	3,019	0,500	ragyogó	4,321	0,673
116.	szánalom	2,075	0,756	szörf	3,698	0,845	regényes	3,962	0,898
117.	szenvedés	1,264	0,445	tanár	3,453	0,932	remény	4,396	0,743
118.	szennyes	2,038	0,808	tányér	3,057	0,362	rózsa	4,245	0,757
119.	szennyez	1,472	0,575	téglalap	3,000	0,340	selyem	3,811	0,856
120.	szifilisz	1,679	1,052	tehén	3,189	0,590	siker	4,377	0,686
121.	szörnyű	1,528	0,639	telefon	3,094	0,564	strand	4,094	1,097
122.	támadás	1,415	0,633	templom	3,660	0,999	sütemény	4,358	0,811
123.	temetés	1,340	0,586	tigris	3,358	0,942	szabadság	4,528	0,608
124.	temető	1,660	0,758	tolttartó	3,170	0,509	szenvedély	4,226	1,068
125.	terhelt	1,981	0,665	tolmács	3,377	0,627	szépség	4,396	0,716
126.	trágár	1,660	0,649	tombola	3,377	0,904	szerelem	4,736	0,684
127.	tragédia	1,358	0,558	torna	3,679	0,956	szerencse	4,245	0,830
128.	trauma	1,340	0,517	tőzsde	2,585	0,770	szeretet	4,868	0,342
129.	tumor	1,151	0,361	trapéz	2,962	0,517	szülő	4,604	0,599
130.	tűzvész	1,283	0,533	trombita	3,396	0,716	tavas	4,566	0,572
131.	undok	1,679	0,850	turmix	3,604	0,743	tehetség	4,528	0,575
132.	utálat	1,358	0,623	tücsök	3,472	0,723	tisztelet	4,151	0,718
133.	vak	1,453	0,607	tükör	3,396	0,768	torta	4,189	0,681
134.	válás	1,472	0,723	tűzhely	3,415	0,602	utazás	4,415	0,663
135.	válság	1,415	0,570	vakond	3,585	0,865	ünnepi	4,321	0,701
136.	véres	1,434	0,572	vászon	3,132	0,520	védett	4,000	0,707
137.	veszélyes	1,623	0,740	veréb	3,358	0,922	vicces	4,377	0,790
138.	veszett	1,547	0,574	vidra	3,642	0,834	vidám	4,811	0,441
139.	vesztes	1,717	0,662	villamos	3,019	0,604	vígjáték	4,415	0,795
140.	veszteség	1,434	0,500	vonat	3,113	0,824	virág	4,226	0,697
141.	vétek	2,019	0,720	zebra	3,245	0,551	vízesés	4,113	0,751
142.	zaklatott	1,509	0,576	zongora	3,585	0,745	vonzalom	4,415	0,819
143.	zavart	1,887	0,640	zöld	3,679	0,779	zamat	4,151	0,818
144.	zuhanás	1,906	0,966	zsiráf	3,453	0,748	zene	4,566	0,694

TÓTH BRIGITTA^{*,**,*}, BOHA ROLAND^{*,**,*}, KORMANN ESZTER^{**},
GAÁL ZSÓFIA ANNA^{*}, KÓNYA ANIKÓ^{**}, MOLNÁR MÁRK^{*,**}

AZ EMLÉKEZETI NEUROKOGNITÍV HÁLÓZAT ÉLETKORFÜGGŐ VÁLTOZÁSA¹

Beérkezett: 2011. szeptember

Elfogadva: 2011. november

A vizsgálat célja az emlékezeti agyi funkcionális kapcsolathálózat életkortól függő emlékezeti teljesítményhez és terheléshez köthető elemzése volt. A kísérlet során idős és fiatal kísérleti személyek számítógép képernyőn bemutatott három vagy öt négyzet helyét és színét memorizálták. Az emlékezeti teljesítményt felismerési helyzetben teszteltük. Az EEG adatokat az emlékezeti fenntartás periódusában agyi területek közötti gamma fázisszinkronizáció (phase lag index) elemzése mellett a gráf-elméleten alapuló komplex hálózat elemzéssel is vizsgáltuk. Az idős kísérleti személyek teljesítménye a fiatal felnőttekhez képest csökkent mind a három, illetve öt elem felismerése során. Nehéz feltétel esetében az időskori teljesítménycsökkenés nagyobb mértékű volt. A parietális és temporális területeken a gamma oszcilláció szinkronizációja a vizuális információ rövid távú emlékezetben történő fenntartásának folyamatával van összefüggésben. Az idős személyek a fiatal kísérleti csoporthoz képest csökkent parietális szinkronizációval és az emlékezeti terhelés hatására specifikus temporális szinkronizáció-növekedés hiányával jellemezhetők. A komplex funkcionális hálózati elemzés alapján igazolható, hogy az emlékezeti terhelés hatására növekedik a lokálisan szegregált információfeldolgozás mértéke. A megtanulandó elemek számának növelésével ugyanakkor a hálózat optimálisabbá szerveződése is kimutatható. Az idős életkorra jellemző emlékezeti deficit hátterében feltételezhetően az információ frissítéséhez köthető területspecifikus gamma szinkronizációs válasz csökkenése áll. Eredményeink alapján a gamma oszcilláció területspecifikus szinkronizációjának kiemelkedő funkcionális jelentősége van az információ-specifikus reprezentáció fenntartásában.

Kulcsszavak: EEG, funkcionális kapcsolatelemzés, fázisszinkronizáció, phase lag Index, gráf-elmélet, rövid távú vizuális emlékezet

BEVEZETÉS

Bármely hierarchikusan szerveződő kognitív funkció, amely a funkcionálisan eltérő agyi területeken feldolgozott információ koherens reprezentációba való in-

♦ Tóth Brigitta; toth@cogpsyphy.hu

* MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet

** ELTE PPK Pszichológiai Intézet

*** ELTE PPK Pszichológiai Intézet, doktori program

¹ Pályázati támogatás: OTKA 77750, TÁMOP 4.2.1./B-09/KMR-2010-0003.

tegrálását igényli, feltételezhetően az adott részfunkciókért felelős agyi területek aktivitásának dinamikus/időbeli összehangolásától függ (Eichele és mtsai, 2008; Bullmore és Sporns, 2009). Ilyen komplex kognitív funkció az emlékezeti kódolás és fenntartás, amely azon folyamatok összességét jelenti, melyek az időbeli és térbeli információkat együttesen reprezentáló emléknym létrehozásáért és fenntartásáért felelősek. Egyre több elektrofiziológiai és agyi képalkotó eljárásokból származó bizonyíték utal arra, hogy ezek a folyamatok elsősorban a frontális, parietális és mediotemporális kéreg elosztott neuronális hálózatán megvalósuló funkcionális kapcsolatoktól függenek (Varela és mtsai, 2001; Paller és Wagner, 2002). Jelenlegi elképzelések szerint a neuronális rendszereken belül, illetve között a neuronális szinkronizáció spontán és eseményhez kötött mechanizmusa hozza létre és szabályozza e funkcionális kapcsolatokat (Brecht, 1998; Rodriguez, 1999; Buzsáki, 2006).

Az emlékezeti rendszerek vizsgálatainak területén is kiemelkedő figyelem fordult az olyan gyors frekvenciájú oszcilláció területek közötti szinkronizáció szerepére a funkcionális kapcsolatok szabályozásában, mint a gamma oszcilláció (30–70 Hz). Tallon-Baudry és munkatársai (1998) bizonyították be elsőként, hogy absztrakt vizuális alakzatok aktív fenntartása a bilaterális temporális és okcipitális területek közötti megnövekedett gamma oszcilláció teljesítményének növekedésével jellemezhető. Ugyanakkor a fenntartás periódusára jellemző gamma aktivitás legnagyobb mértékben az okcipitotemporális és frontális területeken jelent meg. A gamma aktivitás topográfiája alapján a fenntartási folyamatokért felelős szinkronizált emlékezeti hálózat feltételezhető, amelynek központjai az előbb említett agyi régiókhoz köthetők. A szerzők ezt a specifikus gamma választ a rövid távú vizuális reprezentáció frissítésének funkciójával hozták összefüggésbe. Howard és munkatársai (2003) az emlékezeti terhelés hatását vizsgálták intrakraniálisan elvezetett EEG spektrális tulajdonságaira, Sternberg típusú klasszikus munkaemlékezeti feladat során. Általában a megjegyezendő verbális elemek számának növelésével együtt emelkedő frontális gamma teljesítményaktivitás mutatható ki (D'Esposito, 1999), amelyet figyelmi kontroll folyamatok korrelátumaként értelmeztek. Az emlékezeti fenntartás időszakában (az előbbi tanulmány eredményeit is megerősítve) megnövekedett frontális és temporális gamma teljesítményaktivitás volt kimutatható. Továbbá lineáris kapcsolatot találtak a fenntartott verbális elemek száma és a gamma teljesítmény mértéke között. Az eredmények alapján a gamma oszcillációnak kiemelkedő jelentősége van az emlékezeti reprezentáció fenntartásában.

Az öregedési folyamatok tanulmányozása kiemelkedő jelentőséggel bír az emlékezeti mechanizmusok vizsgálatában. Az emlékezet öregedéssel összefüggő károsodása érinti a prefrontális területeket, amelyek a végrehajtott működések deficitjével társulnak, és magában foglalja az új emlékek tárolásának csökkent képességét is. A normál öregedés folyamatát nem elsősorban a neuronok elhalása, hanem inkább a szinaptikus kapcsolatok csökkenése és az előbb említett területek aktivitásának szabályozásában résztvevő neurotranszmitterek és neuromodulátorok (pl. acetilkolin) csökkent koncentrációja okozhatja (részletesebben lásd

Wilson és mtsai, 2006). Éppen ezért az időskori deficit valószínűsíthetően a teljes emlékezeti hálózatra kiterjed.

A komplex hálózatok elemzésére alkalmas gráf-elmélet a korábban használt módszerekkel ellentétben lehetővé teszi az agyi funkcionális kapcsolatok hálózatainak vizsgálatát is (Bullmore és Sporns, 2009). A szegregáció és integráció az agykéreg két fő szervező elve. A kéregre jellemző a szegregáció, mert térben elkülönülő területek rendszeréből épül fel, melyek az információ eltérő formáinak feldolgozására specializálódtak. Másrészt a specializált kérgi területek által feldolgozott információ integrációja elengedhetetlen bármely hierarchikusan szerveződő kognitív funkció létrejöttében. A neurális folyamatok integrációját a specializált kérgi területek közötti funkcionális kapcsolatok teszik lehetővé. Funkcionális kapcsolat az eltérő agyi területek neuronális aktivitásának időbeli összehangolása, szinkronizációjaként definiálható. Például koherens perceptuális kép észlelése során különböző kérgi területek a vizuális mező speciális tulajdonságainak (szín, forma stb.) feldolgozásért felelősek, ugyanakkor a vizuális tárgy észleléséhez szükséges tulajdonságok összekapcsolása-integrációja e területek funkcionális kapcsolatának szabályozásával valósulhat meg. Az egészséges felnőtt emberi agyi hálózatra az agykéregben az ún. „kis világ” jellegű szerveződés jellemző, ami a funkcionális kapcsolatok csoportokba szerveződésének magas szintjében és megnövekedett számú területek közötti hatékony, hosszú távú kapcsolatokban nyilvánul meg. Az előbbi a kiemelkedő hatásfokú lokális-szegregált információfeldolgozást szolgálja, míg az utóbbi lehetővé teszi az eltérő agyi régiók közötti információ integrálását, így a globális kommunikáció hatékonyságát a teljes hálózaton belül (Watts és Strogatz, 1998; Latora és Marchiori, 2001). Tehát a komplex hálózatok szerveződésében a „kis világ” jellegű hálózati struktúra optimális egyensúlyt biztosít az integrált és szegregált információfeldolgozás között. A vonatkozó vizsgálatok következetesen kimutatták, hogy az egészségeshez képest károsodott „kis világ” szerveződés jellemző számos klinikai állapotban, mint például az Alzheimer kór, epilepszia vagy agydaganat esetén (részletesebben lásd Stam és Reijneveld, 2007). Rendkívül kevés tanulmány áll rendelkezésre azonban az egyes kognitív funkciók és a hálózati tulajdonságok összefüggéseire vonatkozóan (összefoglalóan lásd Fell, 2011). Huevel és munkatársai (2009) a „nyugalmi” agyi hálózat tulajdonságait hasonlították össze alacsony és magas intelligenciával rendelkező csoportok között. Az intellektuális teljesítmény és az egyénre jellemző agyi hálózat integráltságának mértéke szoros összefüggést mutatott, amelyet a szerzők úgy értelmeztek, mint a funkcionális kapcsolatok hatékonysága és a kognitív rendszer hatékonysága közötti összefüggést. Micheloyannis és munkatársai (2006) rövid távú emlékezeti feladat során hasonlították össze szintén a magas és alacsony IQ-val jellemezhető személyeket. Eredményeik szerint az alacsony IQ-val jellemezhető személyek funkcionális neurális hálózat-jellemzői a feladat során „kis világ” jellegű szerveződés irányába változtak, amit a kompenzáló mechanizmusok aktivációja magyarázhat.

Jelen vizsgálatban a rövid távú vizuális emlékezet fenntartási periódusában az agyi területek közötti és a területeken belüli gamma szinkronizáció változását

és annak funkcionális hálózati jellegzetességeit elemeztük. Az öregedés emlékezeti hálózatra gyakorolt hatásának vizsgálatára idős és fiatal felnőttek csoportjának összehasonlítását végeztük. Az emlék fenntartásában szerepet játszó figyelmi kontroll és a reprezentáció tárolásáért felelős folyamatok hatásainak megkülönböztetésére a szisztematikusan manipulált emlékezeti terhelés és a későbbi emlékezeti teljesítmény hatását elemeztük. Ezen folyamatok hatását gamma szinkronizációra egymástól elkülönítve analizáltuk. A feltételezhetően frontális, temporális és parietális régiókban, valamint e területek között kimutatható gamma szinkronizációs válasz az emlékezeti terheléstől, emlékezeti teljesítménytől függően eltérő mértékben változik. A funkcionális kapcsolatok és az emlékezeti rendszer teljesítményének vizsgálatával lehetőség nyílik az optimális információ-feldolgozó „kis világ” jellegű hálózati szerveződés hipotézisének tesztelésére. A hipotézis értelmében a fenntartás során jellemző optimálisabb funkcionális hálózat-struktúra hatékonyabb emlékezeti működéssel jár együtt.

MÓDSZEREK

Kísérleti személyek

A vizsgálatban 14 fiatal (átlag életkor: 20,8; SD: 1,6; 17 nő, 7 férfi; IQ: 117,04, SD: 7,8) és 18 idős felnőtt kísérleti személy (átlag életkor: 65,6; SD: 2,9; 21 nő, 4 férfi; IQ: 117,24, SD: 8,4) vett részt. A fiatal kísérleti személyek egyetemi kurzus teljesítéséhez szükséges kredit ellenében, míg az idős felnőtt vizsgálati személyek honorárium ellenében vettek részt a kísérletben. Minden vizsgálati személy – szóbeli és írásos tájékoztatást követően – beleegyező nyilatkozatot írt alá. A vizsgálatban nem vett részt olyan személy, akinek megelőzőleg neurológiai vagy pszichiátriai betegsége volt, vagy olyan gyógyszereket szedett (altatók, nyugtatók stb.), melyek befolyásolhatják az EEG-t. A vizsgálati személyek látása normál, illetve korrigált volt.

KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS, AZ EEG RÖGZÍTÉSE

A vizsgálat során a kísérleti személyek egy hangszigetelt szobában a számítógép képernyőjétől 125 cm távolságra ültek. Az EEG a nemzetközi 10–20 rendszernek megfelelően elhelyezett 33 Ag/AgCl elektródával Neuroscan software és hardware (Scan 4.3, Nuamps erősítő) segítségével került rögzítésre. A személy orrán elhelyezett elektród referenciaként, míg a Cz és Fz közé helyezett elektród földpontként szolgált. A felvétel során az elektródok ellenállása kevesebb volt, mint 10 k Ω . Az adatok 1000 Hz-es mintavételezési frekvenciával, DC-70 Hz-ig (FIR) történő szűréssel kerültek rögzítésre.

A vizsgálati személyek feladata a képernyőn bemutatott színes négyzetek helyének és színének memorizálása volt. Egy kísérleti próba során 1500 ms-ig,

három vagy öt véletlenszerűen elhelyezett, eltérő színű négyzet (egy négyzet oldalhosszúsága 3,5 cm) került bemutatásra (a képernyő középpontja $3,5^\circ$ szögben volt látható). A három elemet tartalmazó elrendezés alacsony, rövid távú emlékezeti terhelési helyzetnek, azaz könnyű feltételnek, míg az ötelemű mintázat magas emlékezeti terhelési feltételnek, azaz nehéz feltételnek felelt meg. A memorizálандó elemek bemutatását fixációs kereszt követte további 4100 ms-ig, amely az emlék fenntartási periódusának felel meg. Ez az eljárás így megkülönböztethetővé teszi az emlék kódolásának perceptuális és fenntartási szakaszait. A négyzetek bemutatásának időszaka az emlékezeti kódolás időszakának felel meg, míg a fixációs kereszt bemutatása során a vizsgálati személyeknek fejben kell tartaniuk a korábban látott négyzetek emlékét annak jövőbeli felhasználásig, tehát ez a periódus az aktív fenntartási folyamatok vizsgálatára alkalmas. Az emlékezeti felismerési teszt során az összes korábban látott három- vagy ötelemű négyzet mintázat és ugyanannyi még nem látott három- vagy ötelemű négyzet mintázata került egyenként bemutatásra. A vizsgálati személyeknek 4000 ms-on belül gombnyomással kellett jelezniük, ha a négyzetek kombinációja megegyezik a korábban látottal, vagy ha új, korábban nem látott mintázatként ítélték meg a bemutatott ingerek együttesét. Az új, még nem látott négyzetek mintázata mindössze csak egy négyzet helyében vagy színében tért el a korábban tanult elrendezéstől. Az „új” és „rég” elrendezések egyenlő arányban és véletlenszerű sorrendben kerültek bemutatásra. A feladat összesen hat blokkot tartalmazott, minden blokkban, kvázi véletlen sorrendben 16 db háromelemű mintázat és 16 db ötelemű mintázat került bemutatásra.

Adatelemzés

Viselkedéses: felismerési teljesítmény és a felismerési reakcióidő

Az emlékezeti teljesítményt feltételenként a 4000 ms-on belüli helyes válaszok százaléka definiálta. Feltételenként elemzésre került a válaszhoz szükséges átlagos reakcióidő.

EEG: Phase lag index, komplex-hálózat elméleti elemzés

Az automatikus műtermékszűrést követően szükség szerint további szakaszok vizuális értékelés alapján kerültek kizárásra. A három, illetve öt elem emlékezeti fenntartásának periódusában rögzített EEG szakaszok (2048 adatpont) a későbbi emlékezeti teljesítménytől függően (emlékezeti teszt során felismert, illetve elfelejtett) kerültek elemzésre. Így egymástól függetlenül összehasonlíthatóvá váltak az emlékezeti kódolási folyamatok későbbi sikerességétől, illetve az emlékezeti terheléstől (három elem vagy öt elem) függő elektrofiziológiai korrelátumai. A helyesen felismert háromelemű mintázatok esetében az átlagos elemzett EEG sza-

szakaszok száma egyénenként 39,42 (SD: 8,09) volt. A helyesen felismert ötelemű mintázatok esetében az átlagos elemzett EEG szakaszok száma egyénenként 69,4 (SD: 27,48) volt. Az elfelejtett ötelemű mintázatok esetében az átlagos elemzett EEG szakaszok száma egyénenként 23,48 (SD: 11,05) volt.

Minden vizsgált EEG szakaszra vonatkozólag a C. J. Stam (Department of Clinical Neurophysiology, VU University Medical Center, Amsterdam) által kifejlesztett Brainwave 0.9.01 software felhasználásával a gamma frekvenciatartományban az ún. phase lag index (PLI) és hálózati paraméterek kerültek kiszámításra. A jelen tanulmányban terjedelmi korlátokra való tekintettel más frekvenciatartományra vonatkozó eredményeket nem közlünk. Az alábbiakban röviden az eljárás legfontosabb vonatkozásait foglaljuk össze. A PLI számításának részletes leírása bővebben megtalálható Stam és munkatársai (2007) tanulmányában. Két jel közötti fázisszinkronizáció mértéke a jelek közötti, időben állandó fáziskülönbségként definiálható, például az egyik jel fázisa szisztematikusan követi vagy megelőzi a másik jel fázisát. Ebben az esetben a két eltérő agyi területre jellemző funkcionális kapcsolat a vizsgált időszakaszban állandónak tekinthető. A phase lag index két EEG csatornából származó jelek közötti fáziskülönbség időbeli eloszlásának aszimmetriáját méri, amely lehetővé teszi a közös forrásból származó fáziskülönbség (térfogatvezetésből adódó műtermék) eliminálását és a valós fázis kapcsoltság változásainak megbízható azonosítását. Minden lehetséges EEG csatornapár közötti fázisszinkronizáció mérhető a phase lag index segítségével, amely átlagolást követően egy időperiódusra jellemző fázisszinkronizáció mértékéként alkalmazhatóvá válik fenti szempontok alapján történő összehasonlításra. Nagyobb PLI érték a fázisszinkronizáció nagyobb mértékét jelöli.

Bármely hálózat reprezentálható gráf formájában, mely csomópontokból és a közöttük lévő „élekből” áll. Két csomópont vagy összeköttetésben áll egymással, vagy nem, azaz vagy létezik közöttük kapcsolat (út), vagy nem. A gráfok leggyakrabban két tulajdonsággal jellemezhetők, a klaszter együtthatóval (C) és az átlagos úthosszal (L). A klaszter együttható azt méri, hogy egy csomópont szomszédjai mekkora valószínűséggel állnak egymással kapcsolatban. Az átlagos úthossz két csomópont közötti átlagos (ebben az esetben a számítás alapja a harmonikus átlag, lásd bővebben Stam és Reijneveld, 2007) legkevesebb utak számát adja meg. Súlyozatlan gráf elemzése esetén csak a két csomópont közötti kapcsolatot létrehozó utak számának összegzése alapján számítják az úthossz mértékét. A létező út súlyozható a közöttük lévő kapcsolat erősségével, amely ebben az esetben a két csatorna közötti PLI értékét jelenti. Súlyozott hálózat esetén a két csomópont közötti kapcsolatot létrehozó utak súlyainak összegzésével állapítják meg az L értékét.

Magas szinten rendezett, „szabályos” hálózat nagy számú, egymástól elkülönített (szegregált) csomópontok csoportjaival (magas klaszter együttható) és nagy átlagos úthosszal jellemezhető, míg a random szerveződő hálózat kevésbé csoportosult csomópontokból és közülük rövidebb úthosszból épül fel. Az információfeldolgozás szempontjából bizonyítottan optimális hálózati szerveződés (ún. „kis vi-

lág” hálózat) rendezett hálózathoz hasonlóan magas klaszter együttthatóval, csökkent úthosszal jellemezhető, amely a kevés távoli csomópontok közötti kapcsolatok létrejöttével magyarázható.

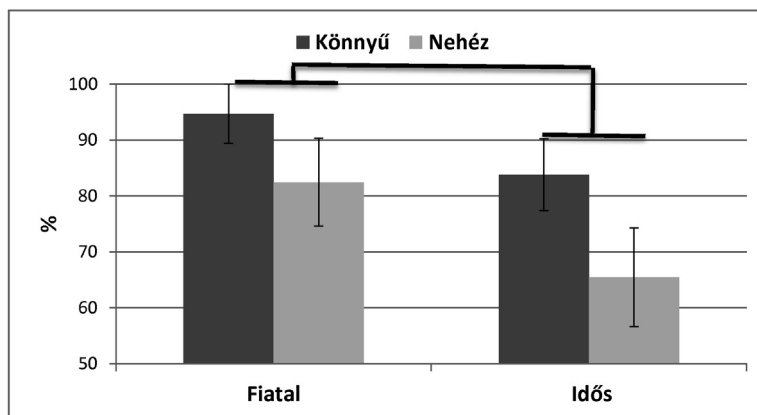
Az adott frekvenciatartományra vonatkozó komplex hálózati paraméterek (C, L) kiszámítása minden lehetséges EEG csatornapár közötti fázisszinkronizációs mátrix alapján történik. A jelen tanulmányban a csomópontonként átlagosan 5 kapcsolattal rendelkező ($K = 5$) súlyozott gráf létrehozásához a csatornapárok közötti, a szignifikáns küszöbérték feletti PLI értékkel rendelkező kapcsolatokat vetünk figyelembe. A számítás során ugyanannyi csomópontból és átlagos kapcsolatszámmal rendelkező, de random hálózat L és C értékei (szurrogátum adathalmaz) kerültek összehasonlításra (jelen elemzés során 50 referencia hálózat átlaga szolgált a számítás ellenőrzési folyamatát) a korrigált C/C-s és L/L-s végső összehasonlítás alapját képező mutatók létrehozásához (Sporns és Zwi, 2004). Az optimális hálózati elrendeződés vizsgálatához Humphries és munkatársai (2006) nyomán a klaszter együtttható és úthossz aránya (C/L) alkalmazható, amelynek egyenél nagyobb értéke optimális gráf struktúrára utal.

EREDMÉNYEK

Viselkedéses eredmények

A viselkedéses eredmények statisztikai teszteléséhez független mintás egy-szemponthos varianciaanalízist végeztünk, amelyben a feladat nehézségét (könnyű, illetve nehéz feltétel) mint személyen belüli szempontot, az életkort mint személyek közötti szempontot alkalmaztuk. Az adatok elemzése Statistica 9.0 software segítségével készült. Az utóelemzéseket Tukey-féle teszt alkalmazásával végeztük. Minden statisztikai elemzés esetében szükség esetén Greenhouse-Geisser korrekció került alkalmazásra, ezekben az esetekben a p érték a korrigált értéket jelöli.

Az 1. ábrán látható a viselkedéses eredményeket összefoglaló ábra. A feladat nehézsége szignifikánsan befolyásolta az emlékezeti teljesítményt ($F_{1,30} = 195,82$, $p < 0,001$), azaz három elem felismerési teljesítményéhez viszonyítva 5 elem memorizálása csökkent teljesítménnyel jellemezhető. Az életkor előrehaladtával szignifikánsan csökkent felismerési teljesítmény mutatható ki ($F_{1,30} = 22,066$, $p < 0,001$). Az előbb említett életkor és feladat nehézségének főhatásai mellett az életkor és feladatnehézség interakciós hatása is igazolható volt ($F_{1,30} = 7,721$, $p = 0,009$). A kódolandó elemek számának növelése az idős csoport teljesítményét nagyobb mértékben csökkentette, mint a fiatal felnőttek teljesítményét. A feladat nehézsége szignifikánsan befolyásolta a felismerés reakcióidejét ($F_{1,30} = 31,371$, $p < 0,001$). Az 5 elem felismeréséhez szükséges válaszidő nőtt a három elem felismeréséhez szükséges válaszidőhöz képest.



1. ábra. A fiatal és idős csoportra jellemző felismerési teljesítmény a rövid távú emlékezeti terhelés függvényében

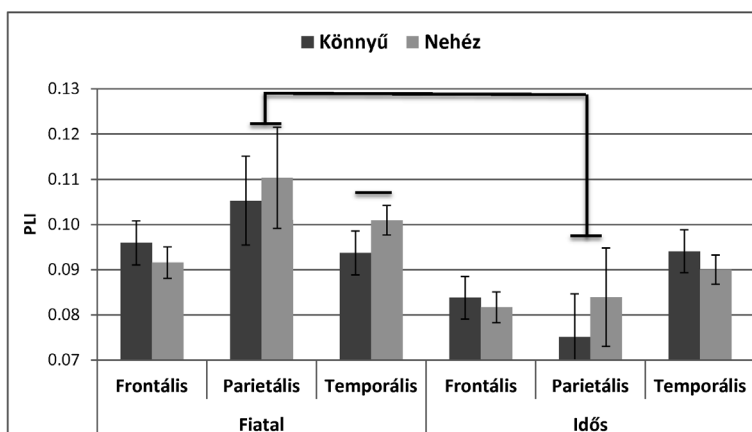
EEG eredmények

A fázisszinkronizáció kódolás sikerességétől és emlékezeti terheléstől függő változása

Az emlék frissítésében szerepet játszó figyelmi kontroll folyamatok vizsgálatát (emlékezeti terhelés) a későbbi teszt során helyesen felismert három, illetve öt elem fenntartása során rögzített EEG szakaszok összehasonlításával végeztük. A reprezentáció tárolásáért felelős folyamatok hatásai (későbbi felismerés sikeressége) a később helyesen felismert, illetve elfelejtett öt elem fenntartása során rögzített EEG-szakaszok összehasonlításával vizsgálhatók.

A fázisszinkronizáció területspecifikus változásainak elemzéséhez csak az emlékezeti folyamatok szempontjából releváns területeken belüli (frontális, temporális, parietális) és területek közötti (fronto-temporális, temporo-parietális, fronto-parietális) fázisszinkronizáció került meghatározásra. A frontális területen belüli szinkronizáció mérhető a centrális frontális elektród (Fz) és a többi frontális elektród (F7, F3, F4, F8) közötti szinkronizáció mértékével. Az intra-regionális temporális szinkronizáció a bal oldali temporális csatorna (T7) és azonos oldali temporális elektródok (TP9, FT9) közötti PLI, illetve a jobb oldali temporális elektród (T8) és az azonos oldali temporális elektród (TP10, FT10) közötti PLI meghatározását követően a kétoldali szinkronizáció értékek átlagolásával jellemezhető. A frontális szinkronizációhoz hasonlóan határozható meg a parietális szinkronizáció értéke is a Pz elektród mint referencia elektród alkalmazásával (egyéb parietális elektródok: P3, P4, P5, P6). A frontális és temporális, illetve a frontális és parieto-okcipitális (a továbbiakban fronto-parietális) területek közötti inter-regionális szinkronizáció meghatározásának esetében az Fz és az adott temporális (FT9, FT10, T7, T8, TP9, TP10), illetve parieto-okcipitális (Pz, P3, P4, P5, P6, O1, O2, PO9, PO10) elektródok közötti szinkronizáció került meghatározásra.

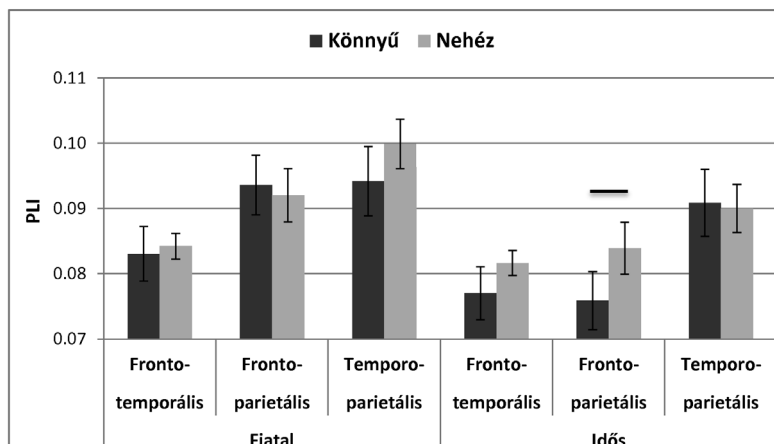
Az emlékezeti kapacitástól függő intra- és inter-regionális funkcionális kapcsolati változásra vonatkozó eredmények külön statisztikai teszteléséhez ANOVA-t végeztük, amelyben a megtanulandó elemek száma (könnyű, illetve nehéz feltétel) és agyi régió (inter-regionális esetében fronto-temporális, temporo-parietális, fronto-parietális vagy intra-regionális esetében frontális, temporális, parietális) mint személyen belüli szempontot, az életkort mint személyek közötti szempontot alkalmaztuk (2–3. ábra).



2. ábra. A fiatal és idős csoportra jellemző eltérő agyi területeken belüli fázisszinkronizáció (PLI) a rövid távú emlékezeti terhelés függvényében

Az életkor főhatása volt kimutatható az intra-regionális szinkronizáció esetében ($F_{1,30} = 4,60$, $p = 0,040$). A fázisszinkronizáció mértéke az életkorral csökkent a vizsgált temporális, frontális, parietális területeken (2. ábra). A feladathelyzet és életkor tendenciózus interakciós hatása is megjelent ($F_{2,60} = 2,78$, $p = 0,069$). A fázisszinkronizáció az emlékezeti terhelés hatására eltérően változott a fiatal és idős csoportban. A temporális területeken belül az emlékezeti terhelés hatására csak fiatal személyek esetében tendenciaszerűen nőtt a fázisszinkronizáció értéke ($p = 0,056$). A feladathelyzet és agyi régió szignifikáns interakciója volt kimutatható ($F_{2,60} = 4,17$, $p = 0,020$). Az utóelemzés alapján a memorizálandó elemek számával csak a parietális területeken nőtt szignifikáns mértékben a fázisszinkronizáció mértéke ($p = 0,005$).

Az agyi terület szignifikáns főhatása fázisszinkronizáció értékeire volt megfigyelhető ($F_{2,60} = 5,38$, $p = 0,007$). Eltérő mértékű fázisszinkronizáció volt kimutatható az egyes agyi területek között (3. ábra). Az utóelemzés alapján az interakciós hatás oka: a megnövekedett temporo-parietális szinkronizáció a fronto-temporális területekhez képest ($p = 0,005$). A feladathelyzet és életkor interakciós hatása szintén kimutatható volt ($F_{2,62} = 4,172$, $p = 0,020$). Az egyes vizsgált régiók közötti fázisszinkronizáció mértéke a feladat nehézségétől függően változott, és e változás mértéke eltérő volt a vizsgált életkori csoportokban. Az utóelemzés alapján az idős csoportban öt elem memorizálása során szignifikánsan növekedett a fronto-



3. ábra. A fiatal és idős csoportra jellemző eltérő agyi területek közötti fázisszinkronizáció (PLI) a rövid távú emlékezeti terhelés függvényében

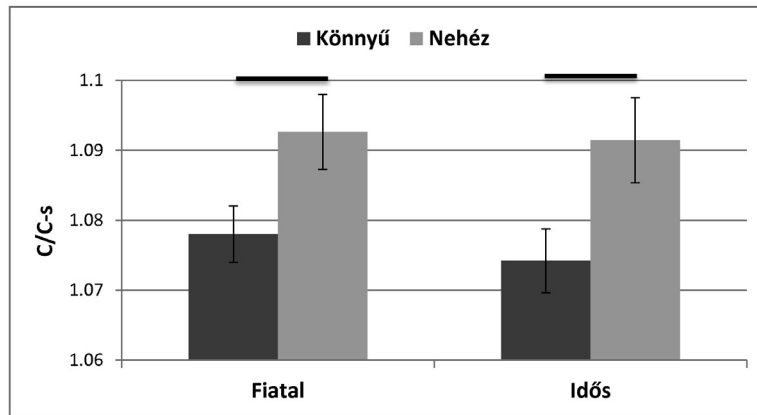
parietális szinkronizáció mértéke a három elem során megfigyelt szinkronizációs válaszhoz képest ($p = 0,002$).

A későbbi emlékezeti kódolás sikerességétől függően nem volt kimutatható az agyi területeken belüli és területek közötti szinkronizáció változása.

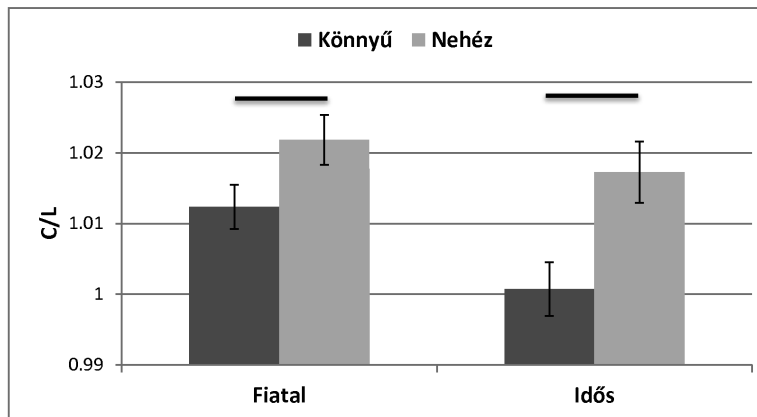
A funkcionális hálózati tulajdonságok kódolás sikerességétől és az emlékezeti terheléstől függő változása

Az emlékezeti terhelés és kódolás sikerességének hatásait a funkcionális hálózati tulajdonságokra külön statisztikai próbával vizsgáltuk. A hálózati tulajdonságok (C, L, C/L) emlékezeti kapacitástól függő változásainak statisztikai teszteléséhez ANOVA-t végeztük, amelyben a megtanulandó elemek számát (könnyű, illetve nehéz feltétel) mint személyen belüli szempontot, az életkort mint személyek közötti szempontot alkalmaztuk. Az emlékezeti terhelés főhatása alapján mindkét korcsoportban szignifikáns mértékben nőtt a klaszter együttható értéke ($F_{1,30} = 15,22$, $p < 0,001$) (4. ábra). A megtanulandó elemek számának szignifikáns főhatása volt az optimális hálózati szerveződés C/L értékére ($F_{1,30} = 17,06$, $p < 0,001$). Több megtanulandó elem hatására szignifikáns mértékben nőtt az C/L mutatója. Az életkor tendenciózus főhatása alapján a fiatal csoportot jellemző C/L értéke nagyobb volt, mint az idős csoportjában ($F_{1,30} = 3,71$, $p = 0,064$) (5. ábra).

A későbbi emlékezeti teljesítménynek a gamma frekvenciatartományban nem volt hatása funkcionális hálózati tulajdonságokra.



4. ábra. A fiatal és idős csoportra jellemző klaszter együtttható (C/C-s) a rövid távú emlékezeti terhelés függvényében



5. ábra. A fiatal és idős csoportra jellemző optimális hálózati elrendeződés mutatója (C/L) a rövid távú emlékezeti terhelés függvényében

MEGBESZÉLÉS

A korlátozott kapacitású rövid távú emlékezet funkciója a feladat-releváns információ fenntartása annak jövőbeli felhasználásáig (Cowan, 2000). A munka-emlékezet klasszikus modellje (Baddeley, 1986) szerint az információ fenntartása a figyelmi kontroll rendszer (más néven központi végrehajtó) és az információ-specifikus emlékezeti tár interakciójától függ. Az újabb megközelítések viszont megkérdőjelezzik a külön rövid távú tár szükségességét, és inkább a rövid távú fenntartás során aktív perceptuális és hosszú távú emlékezeti reprezentációk jelentőségét hangsúlyozzák (Fuster, 1995; D'Esposito, 2007).

A tanulmányban idős és fiatal személyek rövid távú emlékezetét vizsgáltuk viselkedéses és elektrofiziológiai módszerekkel. Az emlékezeti feladat jelentés nélküli vizuális információ aktív tartását követelte meg annak későbbi felismeréséig. Viselkedéses eredmények alapján az életkor előrehaladtával általános rövid távú emlékezeti teljesítménycsökkenés mutatható ki. Az emlékezetben fenn tartandó elemek számának növelése nagyobb mértékben csökkentette az idős kísérleti személyek emlékezeti teljesítményét, mint a fiatal felnőttekét. Az idős kori rövid távú emlékezeti kapacitáscsökkenést az általánosan elfogadott hipotézisek szerint az információfeldolgozás lassulása (Salthouse és mtsai, 1996) és/vagy a figyelemi kontroll rendszer deficitje (Hasler és mtsai, 1999) is magyarázhatja. A viselkedéses szinten megfigyelhető életkori változások háttérében álló eltérő folyamatok az egyes agyi területek aktivitásának és funkcionális együttműködésének vizsgálatával különíthetők el.

Bármely elméleti modellt figyelembe véve az emlékezetműködésre jellemző neurális tevékenység feltételezhetően az emlék fenntartásának periódusában folyamatosan aktív még akkor is, ha a szenzoros inger már nincs jelen a környezetben. A neurális aktivitás változása elvárható az emlékezet terhelésétől, illetve a későbbi előhívás sikerességétől függően is. A gamma oszcilláció változása számos pszichológiai feladat végzése során kimutatható, mint például motoros emlékezeti és észlelési feladatokban (Herrmann és mtsai, 2000; Debener és mtsai, 2003; Fell, 2011). Ezen kísérleti elrendezések hasonlósága, hogy tárgyrepresentációért felelős és figyelemi folyamatokat is igényelnek a vizsgálati személyek részéről.

Az idősök csoportjában a fiatal korcsoportéhoz képest általánosan csökkent gamma szinkronizáció tapasztalható, amely az idős kognitív funkcionális hálózat általános deficitjével és kapacitáscsökkenésével magyarázható. A kódolás sikerességéért felelős folyamatok nem befolyásolták a gamma fázisszinkronizációs és hálózati tulajdonságokat, ellenben az egyes elemek frissítéséért felelős folyamatok jelentős hatása volt megfigyelhető. A terhelés hatására életkortól függetlenül parietális szinkronizáció-növekedés mutatható ki. Kizárólag a fiatal felnőttek esetében az emlékezeti kapacitás terhelésének hatására temporális szinkronizáció-növekedés is megjelent. A gamma szinkronizáció feladathelyzet-függő változása és a területspecifikus topográfia alapján valószínűtlen, hogy az eredményeket a gamma frekvenciatartományát átfedő izomeredetű aktivitás befolyásolta.

Tallon-Baudry és munkatársai (1998), valamint Howard és munkatársai (2003) korábbi eredményeihez hasonlóan azt találtuk, hogy temporális, parietális gamma szinkronizáció-növekedés jellemzi az emlékezeti fenntartás periódusát. A parietális és okcipitális szinkronizáció vizuális információ fenntartásában betöltött szerepe a vizuális asszociációs és más szenzoros információt feldolgozó specifikus kérgi területek fokozott aktivitásával magyarázható. Az általunk használt-hoz nagymértékben hasonló vizuális rövid távú emlékezeti feladat során Vogel és munkatársai (2004) eseményhez kötött potenciálok módszerével demonstrálták a parietális és okcipitális agyi területeken megjelenő lassú negatív kiváltott potenciál szerepét, mely alapján előre jelezhető az egyéni memóriakapacitás mértéke. Feltételezhetően a topográfiájában átfedő gyors frekvenciájú szinkronizációs válasz-

nak szintén az emlékezetben aktív reprezentációk létrehozásában van funkcionális jelentősége.

A fiatal felnőttekre jellemző temporális fázisszinkronizációs növekedést a munkaemlékezeti és hosszú távú epizodikus emlékezet azonos kódolási folyamat feltételező elmélet támasztja alá (lásd Fell, 2011). A hippokampális és környező temporális területek rövid és hosszú távú emlékek kódolásában betöltött szerepét az idős csoportban kimutatható temporális szinkronizációs válasz hiánya is alátámasztja, hiszen a kognitív öregedés folyamatai elősorban a hippokampális CA1 és CA3 régiók funkcionális kapcsolatait érintik más temporális területekkel (Wilson és mtsai, 2006). Az idős korcsoportban megfigyelt temporális területek csökkent aktivitása alapján feltételezhető az idősödésre jellemző konszolidációs, kódolási folyamatok sérülése.

Ellentétben Tallon-Baudry és munkatársai (1998), valamint Howard és munkatársai (2003) tanulmányával, a rövid távú emlék fenntartása során nem találunk frontális eredetű fázisszinkronizációs változást. A frontális válasz hiánya nem feltétlenül jelenti a frontális kéreg szerepének hiányát a rövid távú emlékezetben. A jelen tanulmánytól eltérően Tallon-Baudry és munkatársai (1998) vizsgálata kódolás és fenntartás időben korai szakaszára alkalmazott időfrekvencia elemzést. A Howard és munkatársai (2003) tanulmányában használt, jelentéssel bíró verbális ingerekkel ellentétben a jelen vizsgálatban alkalmazott, jelentés nélküli vizuális ingerek kifejezett perceptuális komponense valószínűleg a vizuális kéreghez köthető hatásokat tette kiemelkedővé. Nagymértékben hasonló, vizuális rövid távú emlékezeti feladat során Sauseng és munkatársai (2009) szintén a gamma fázisszinkronizáció hiányát figyelték meg a prefrontális kéregben. A prefrontális területeknek feltételezhetően kiemelkedő szerepe van a parieto-okcipitális területek aktivitásának monitorozásában és szabályozásában (lásd később).

Az idős vizsgálati személyek csoportjában emlékezeti terhelés hatására meg-növekedett fronto-parietális szinkronizáció volt megfigyelhető. Ez a fronto-parietális rendszerhez köthető specifikus öregedési hatás a csökkent emlékezeti kapacitás kompenzálását szolgálhatja. Gamma frekvenciájú szinkronizáció-növekedés a frontális és parietális régiók között számos figyelmi erőfeszítést igénylő kísérleti elrendezésben kimutatható volt (Herrmann és mtsai, 2000; Debener és mtsai, 2003). Az idős személyek az emlékezeti kapacitás terhelésének hatásait valószínűleg figyelmi allokáció segítségével képesek kompenzálni.

Az általánosan elfogadott elképzelések szerint a feladat követelményeitől függően a neurális funkcionális kapcsolatok hálózata rendkívül gyorsan átalakul a feladat szempontjából nélkülözhetetlen agyi területek aktivitásának szabályozása érdekében. Így az információfeldolgozás számára optimális hálózati szerveződés alakulhat ki, amely a területi aktivitás időbeli összehangolásával lehetővé teszi a hatékony lokális és globális feldolgozó folyamatok időbeli összehangolását (Varela, 2001; Fell, 2011). Jelen tanulmány a rövid távú emlékezet hálózatának a lokális (klaszter együtttható) és a globális (úthossz) információ feldolgozó mértékét is vizsgálta. A hálózati elemzés alapján az életkorral az optimálistól eltérő random hálózati tulajdonságok (csökkent C/L) felé tolódás mutatható ki. A lokális

információfeldolgozás mértéke (C/C-s) az életkortól függetlenül növekedett az aktívan tartott elemek számának növekedésével. Az eredményt magyarázhatja a szenzoros ingerek neurális reprezentációjáért felelős neuron csoportok aktivitásának időbeli összehangolódása. Eredményeink alapján a funkcionális hálózat szerveződése (C/L) összefüggésben áll az emlékezeti folyamatokkal. Az emlékezeti terhelés hatására a neurokognitív hálózat optimálisabbá szerveződése igazolható. A minél több elem egyidejű rövid távú emlékezeti rendszerben tartása a neurális hálózati kapcsolatok hatékonyabb működését követeli meg, amely feltételezhetően a funkcionálisan specializált területek összekötöttségének növekedésével valószínűleg. Ezen elképzelés alapján azon neurális területek, melyek az egyes elemek emlékezeti frissítésért felelősek, több elem esetén több funkcionális kapcsolat létrehozásával képesek ellátni a vizuális emlék egységes fenntartását. Korábbi tanulmányok (Huevel és mtsai, 2009) eredményeivel összhangban következtetéseink szerint a „kis világ” jellegű optimális komplex hálózati szerveződés nemcsak az általános kognitív képességekkel, hanem specifikusan az emlékezeti fenntartásért felelős pszichológiai teljesítménnyel is szoros kapcsolatban áll.

A vizuális rövid távú emlékezeti kísérlet eredményei alapján igazolható a gamma oszcilláció funkcionális jelentősége az emlék fenntartásában. A gamma szinkronizáció mértéke az emlékezeti kapacitástól függő emlék frissítésért felelős folyamatokkal hozható összefüggésbe. A fenntartott információ mennyiségétől függően a parietális és temporális szinkronizáció nőtt, mely változások csökkent mértékűek voltak az idős kísérleti személyek csoportjában. A vizuális információfeldolgozásért felelős területek (parietális, okcipitális) aktivitásának dinamikus együttműködése az aktív perceptuális és hosszú távú emlékezeti reprezentációk jelentőségét hangsúlyozó elméleti modelleket támogatja (Fuster, 1995; D’Esposito, 2007). A gamma oszcillációhoz köthető vizuális emlék aktív fenntartásáért felelős neurokognitív hálózat a szenzoros rendszer és az emlékezeti kódolásért felelős temporális rendszer szinkronizált aktivitásával jellemezhető. Az idős korcsoportban a feladat során megfigyelt terület általános szinkronizáció és optimális hálózati szerveződés (PLI és C/L) csökkenése az információfeldolgozási kapacitás csökkenésére utal, amely az öregedésre jellemző általános emlékezeti deficitjét támasztja alá. Ugyanakkor az öregedéssel összefüggő temporális régióhoz köthető terület specifikus deficit és fronto parietális rendszerhez köthető kompenzáló mechanizmus az emlékezeti fenntartásért felelős hálózat életkorfüggő specifikus átalakulását jelzi.

IRODALOM

- Brecht, M., Singer, W., Engel, A. K. (1998): Correlation analysis of corticotectal interactions in the cat visual system. *Journal Neurophysiology*, 79, 2394–2407.
- Bullmore, E., Sporns, O., (2009): Complex brain networks: Graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 186–198
- Buzsáki, G. (2006): *Rhythms of the Brain*. Oxford University Press, 136–175.

- Cowan, N. et al. (2000): The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity (with Open Peer Commentary). *Behav. Brain Sci.* 24, 87–114.
- Debener, S., Herrmann, C. S., Kranczoch, C., Gembris, D., Engel, A. K. (2003): Top-down attentional processing enhances auditory evoked gamma band activity. *Neuroreport*, 14(5), 683–686.
- D'Esposito, M. (2007): From cognitive to neural models of working memory. *Phil. Trans. R. Soc. B* 362, 761–772.
- Fell, J., Axmacher, N. (2011): The role of phase synchronization in memory processes. *Nature Reviews Neuroscience*, 12, 105–118.
- Fuster, J. M. (1995): *Memory in the Cerebral Cortex – An Empirical. Approach to Neural Networks in the Human and Nonhuman Primate*. Cambridge, MA, MIT Press, 83–113.
- Hasher, L., Zacks, R. T., May, C. P. (1999): Inhibitory control, circadian arousal, and age. In: D. Gopher, A. Koriati (eds), *Attention and Performance*. Cambridge, MA, MIT Press, 653–675.
- Herrmann, C. S., Mecklinger, A. (2001): Gamma activity in human EEG reflects attentional top-down processing. *Visual Cognition*, 8, 273–285.
- Howard, M., Rizzuto, D., Caplan, J., Madsen, J., Lisman, J., Aschenbrenner-Scheibe, R., Schultze-Bonhage, A., Kahana, M. J. (2003): Gamma oscillations increase with working memory load in humans. *Cereb Cortex*, 13, 1369–1374.
- Humphries, M. D., Gurney, K., Prescott, T. J. (2006): The brainstem reticular formation is a small-world, not scale-free network. *Proc Biol Sci*, 273, 503–511.
- Latora, V., Marchiori, M. (2001): Efficient behavior of small-world networks. *Physical Reviews Letters*, 87, 198701.
- Micheloyannis, S., Pachou, E., Stam, C. J., Vourkas, M., Erimaki, S., Tsirka, V. (2006): Using graph theoretical analysis of multi-channel EEG to evaluate the neural efficiency hypothesis. *Neuroscience Letters*, 402, 273–277.
- Pijnenburg, Y. A. L., vd Made, Y., van Cappellen van Walsum, A. M., Knol, D. L., Scheltens, Ph., Stam, C. J. (2004): EEG synchronization likelihood in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease during a working memory task. *Clinical Neurophysiology*, 115, 1332–1339.
- Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J. P., Martinerie, J., Renault, B., Varela, F. J. (1999): Perception's shadow: Long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*, 397, 430–433.
- Salthouse, T. A. (1996): The processing speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403–428.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Heise, K. F., Gruber, W. R., Holz, E., Karim, A. A., Glennon, M., Gerloff, C., Birbaumer, N., Hummel, F. C. (2009): Brain oscillatory substrates of visual short-term memory capacity. *Current Biology*, 19, 1846–1852.
- Stam, C. J., Reijneveld, J. C. (2007): Graph theoretical analysis of complex networks in the brain. *Nonlinear Biomed. Phys.* 1(3), 1–19.
- Stam, C. J., van Cappellen van Walsum, A. M., Micheloyannis, S., (2002): Variability of EEG synchronization during a working memory task in healthy subjects. *International Journal of Psychophysiology*, 46, 53–66.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Fischer, C. (2001): Oscillatory synchrony between human extrastriate areas during visual short-term memory maintenance. *J. Neurosci.* 21, 177.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Peronnet, F., Pernier, J. (1998): Induced γ -band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans. *J. Neurosci.* 18(11), 4244–4254.
- Varela, F., Lachaux, J. P., Rodriguez, E., Martinerie, J. (2001): The brain web: Phase synchronization and large-scale integration. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(4), 229–239.
- Vogel, E. K., Machizawa, M. G. (2004): Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428, 748–751.
- Watts, D. J., Strogatz, S. H. (1998): Collective dynamics of small-world networks. *Nature*, 393, 440–442.
- Wilson, I. A., Gallagher, M., Eichenbaum, H., Tanila, H. (2006): Neurocognitive aging: Prior memories hinder new hippocampal encoding. *Trends Neurosci.* 29(12), 662–670.

Brigitta Tóth, Roland Boha, Eszter Kormann, Zsófia Anna Gaál,
Anikó Kónya, Márk Molnár

AGING AND THE MEMORY RELATED NEUROCOGNITIVE NETWORK

The aim of the study was to investigate the age related changes of brain networks related to memory functions. In a visual short term memory task young and elderly subjects had to memorize the color and location of 3 or 5 squares presented on the computer screen. The memory performance was tested by recognition task. Gamma phase synchronization (phase lag index) within and between different brain areas and complex network properties of the memory maintenance was analyzed during the retention period. The performance of the elderly group was lower compared to that of young adults. The age related memory deficit was more pronounced in the case of 5 items. Short term retention of the visual information was associated with increased parietal and temporal gamma synchronization. Compared to the young adults in the elderly group decreased synchronization in the parietal areas and lack of the memory load specific synchronization increase of the temporal areas were found. Complex network analysis revealed increased levels of the optimal information processing and that of locally segregated information processing due to increased memory load. The age related memory deficit can be explained by decreased memory updating mechanisms as reflected by changes of task-specific regional gamma phase synchronization. In conclusion it is suggested that the region specific increase of gamma synchronization has a crucial functional role in the maintenance of visual representations.

Keywords: EEG, functional connectivity analysis, phase synchronization, phase lag index, graph theory, visual short term memory

GAÁL ZSÓFIA ANNA^{1*}, BOHA ROLAND^{2*}, TÓTH BRIGITTA^{3**},
MOLNÁR MÁRK^{4**, **}

A FIGYELMI HÁLÓZAT TESZT VISELKEDÉSES ÉS ELEKTROFIZIOLÓGIAI JELLEMZŐI IDŐSEKNÉL⁵

Beérkezett: 2011. szeptember

Elfogadva: 2011. november

A figyelmi hálózat teszt (Attention Network Test, ANT) a figyelem három, egymástól anatómiailag és funkcionálisan is elkülönülő rendszerét, az éberségi, orientációs és végrehajtó hálózatokat hivatott vizsgálni. Kísérletünk során arra kerestünk választ, hogy egy másik feladattal végzett kognitív tréning (dual n-back feladat, amely során vizuális és akusztikus modalításban egyszerre kell egy-egy emlékezeti feladatot végrehajtani) javíthatja-e ezeknek a hálózatoknak a működését, és ezáltal a résztvevők teljesítményét. Vizsgálatunk célja volt továbbá, hogy leírjuk az eseményhez kötött potenciálok (EKP) jellemzőit időseknél a teszt során, mivel ilyen adat eddig nem volt elérhető a szakirodalomban.

A vizsgálatban 2 idős csoport ($65,9 \pm 3,0$ év) vett részt, az egyik a dual n-back feladatot gyakorolta két mérés között (18 fő), a másik nem (21 fő). Az eredmények szerint transzferhatás csak a rövidtávú emlékezet tesztjében jelentkezett, az ANT-re a tréningnek nem volt hatása. A figyelmi hálózatok elemzésekor azt találtuk, hogy az orientációs hatás a reakcióidőkben és az N1, N2 komponensek amplitúdójának növekedésében is jelentkezett. Hasonlóképpen az éberségi hatás is megmutatkozott az amplitúdó változásokban, azonban a reakcióidő és latencia adatok azt jelezték, hogy a jelzőingerek először inkább zavaró hatásúak, csak később nyerik el jelző funkciójukat. A gátlási folyamatok ugyan viselkedéses szinten tetten érhetők voltak, ám az EKP-k szintjén a helyzetek közötti különbség nem volt kimutatható.

Összességében adatainkból arra következtethetünk, hogy az agy idős korban is megtartja plaszticitását, ám a transzferhatás az egyes feladatok között korlátozott. Az ANT eredményei összhangban állnak azokkal az elképzelésekkel, melyek szerint időseknél romlik a kontextus reprezentációja, s ennek megfelelően a fiataloktól eltérően dolgozzák fel az ingereket.

Kulcsszavak: öregedés, figyelmi hálózat teszt, eseményhez kötött potenciálok, tréning hatás

* MTA TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet

** ELTE PPK Pszichológiai Intézet

¹ gaal.zsofia.anna@ttk.mta.hu

² boha.roland@ttk.mta.hu

³ toth@cogpsyphy.hu

⁴ molnar.mark@ttk.mta.hu

⁵ A projekt az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg, a támogatási szerződés száma TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KMR-2010-0003. Kutatásainkat támogatta továbbá az OTKA 77750. A szerzők köszönetüket fejezik ki Várkonyi Emesének asszisztensi munkájáért.

BEVEZETÉS

Egy olyan társadalomban, ahol a fiatalság nagy mértékben felértékelődik, az idősebb korosztályok egyre több területen kerülnek kihívás elé, hogyan tartsák a lépést az utánuk következő generációkkal. A kognitív működések terén számos anatómiai, funkcionális változás dolgozik ellenük ebben. Az öregedés során csökken az idegsejtek mérete, a dendritok és a szinapszisok száma, a myelin hüvely degenerációja figyelhető meg. Ezek a változások nagyobb mértékben érintik az elülső, mint a hátsó régiókat (Salat és mtsai, 2005), illetve az asszociációs területeket, mint az elsődleges kérgi areákat (Raz, 2000). Mindezek hatással vannak a kérgi ideghálózatokra, így az információ feldolgozási kapacitásra is. A kognitív funkciók közül leginkább azok érintettek, melyek a frontális lebeny működéséhez kapcsolódnak (West, 1996). Így a fiatalokhoz képest az időseknél gyengébb teljesítményt találtak azokban a feladatokban, melyek a munkamemória (Salthouse, 1990), figyelem (Plude és Doussard-Roosevelt, 1989), tervezés (Sorel és Pennequin, 2008), fluid intelligencia (Bugg és mtsai, 2006) vagy a gátlási folyamatok (Hasher és Zacks, 1988) valamelyikét érintették. Az öregedés folyamataival foglalkozó szakirodalom ezért egyre nagyobb figyelmet fordít arra, miként javíthatók ezek a funkciók. A kutatások azt bizonyítják, hogy az agy idős korban is megtartja bizonyos mértékig plaszticitását (Greenwood, 2007), azaz tréningekkel az egyes feladatokban résztvevő idegrendszeri hálózatok funkcionális újraszerveződése érhető el. Javulást találtak gyakorlás hatására például a munkamemória (Buschkuhl és mtsai, 2008) és az epizodikus emlékezet (Verhaeghen és mtsai, 1992) feladataiban is. Egyes vizsgálatok szerint a tréning a féltekék közötti aszimmetria növelésével csökkenti a korcsoportok között fennálló különbségeket (Erickson és mtsai, 2007). A kísérletek során azonban általában azt találták, hogy a tréning csak a gyakorolt feladatban okozott jobb teljesítményt, más helyzetekre nem terjedt ki ez a pozitív hatás (Li és mtsai, 2008). Célunk tehát olyan feladat találása, melynek gyakorlása a lehető legtöbb kognitív területen okoz teljesítménycsökkenést, hatása nem korlátozódik egyetlen helyzetre. Jaeggi és mtsai (2008) nyomán erre a célra egy dual n-back feladatot terveztünk, melyben a résztvevők teljesítményétől függően változik a feladat nehézsége (részletesen ld. Módszerek). A helyzet előnye, hogy nehézsége folytán folyamatos kihívást jelent a résztvevőknek, igénybe veszi a munkamemóriát, a figyelmet és végrehajtó funkciókat, miközben nem alakulnak ki feladat-specifikus stratégiák, automatizmusok.

Jelen tanulmány a kognitív funkciók közül a figyelemre koncentrál, ezen belül is elsősorban a Posner nevéhez fűződő figyelmeti hálózat tesztre (Attention Network Test, ANT). Posner és mtsai (Fan, McCandliss, Sommer, Raz és Posner, 2002; Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum és Posner, 2005) úgy gondolják, hogy a figyelmeti hálózatok három, egymástól anatómiailag és funkcionálisan is elkülönülő rendszerre különíthetők el, amik az ANT-vel vizsgálhatók. Bár egyes adatok szerint ezek a hálózatok nem teljesen függetlenek (Macleod és mtsai, 2010), a teszt használata általánosan elterjedt.

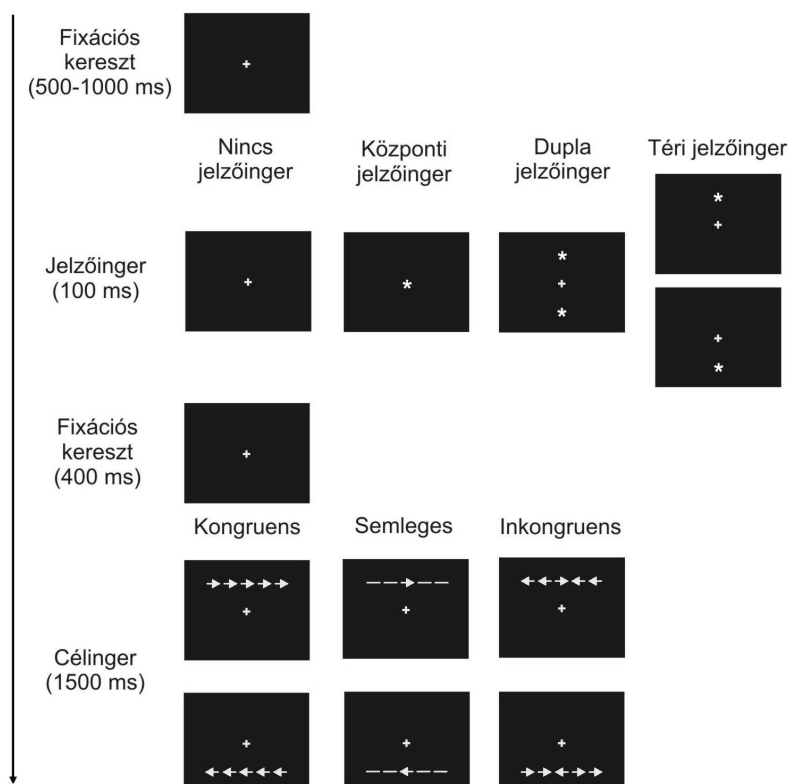
Az éberségi vagy vigilancia rendszer feladata az éber állapot elérése és fenntartása, a szervezet felkészítése a beérkező ingerek fogadására. Háttérében a frontális és parietális területek működése áll, elsősorban a jobb félteke aktivitásához köthető, a noradrenalin rendszer kérgi projekciójával áll kapcsolatban. Az orientációs rendszer a figyelmet a szenzoros esemény felé irányítja, szelektív fókuszot biztosít a sok lehetőség közül kiválasztott ingerekre. Kérgi központjai a frontális szemmező, a superior és inferior parietális lebeny, kéregalatti központjai a thalamusban a pulvinar és a nucleus reticularis, valamint a középagyi colliculus superior. A parietális lebenybe érkező kolinerg input gátolja a figyelem ingerre irányítását. A harmadik – az öregedés szempontjából valószínűleg legnagyobb mértékben érintett hálózat – a gátló/végrehajtó rendszer. Feladata a folyamatos monitorozás, a konfliktusok feloldása a versengő információk között, de szükség van rá a tervezésben, döntéshozatalban, a hibadetekcióban vagy új válaszok kialakításában is. Ez a hálózat az elülső cinguláris kérget és a laterális prefrontális kérget érinti, működése a dopamin rendszerhez köthető.

A figyelmi hálózat teszt, mely könnyen kivitelezhető módon vizsgálja a fenti rendszereket, két feladat kombinációja, amiket a magyar szakirodalomban Eriksen- és Posner-eljárásnak nevezünk. Előbbi egy zaj/kompatibilitási paradigma, utóbbi egy téri jelzőingeres feladat. Az ANT próbáiban (1. ábra) a vizsgálati személy a képernyő közepén lévő fixációs pontra néz és várja az inger megjelenését. Az inger öt nyílból áll, és a személynek a középső nyíl irányát kell jeleznie. A két-két oldalsó nyíl az elterelő inger. Ezek mutathatnak a célingerral azonos irányba (kongruens próba), azzal ellentétes irányba (inkongruens próba), vagy lehetnek egyszerű vonalak (semleges próba). A próbák összehasonlításával jellemezhetjük az elterelő ingerek által okozott interferenciát. Az ingerek a fixációs pont alatt vagy felett jelennek meg, tehát a személynek a figyelmét felfelé vagy lefelé kell irányítania azok megjelenésekor. A helyzet további eleme, hogy a célingerek előtt megjelenhet egy jelzőinger a fixációs pontban (központi jelzőinger), a fixációs pont alatt vagy felett (téri jelzőinger), illetve mindkét téri pozícióban (dupla jelzőinger). Más esetekben viszont nem jelenik meg jelzőinger a célinger előtt. A téri jelzőinger tehát egyértelműen jelzi a célingerek várható helyét, míg a központi és dupla jelzőingerek esetében ez az információ nem áll rendelkezésre, viszont ezek is jelzik a célinger várható megjelenését, míg a jelzőinger nélküli próbákban ez az előrejelzés nem történik meg. A dupla és a központi jelzőinger is felkelti az éberséget, ám előbbi diffúz figyelmet igényel, ami jobban hasonlít a jelzőinger nélküli feltételre. A központi és téri jelzőingerek koncentrált figyelmet eredményeznek, ezért hasonlítjuk össze őket ebben a párosításban az orientáció vizsgálatakor. Mindezek alapján a figyelmi hálózatok vizsgálata a következő próbák összehasonlítása alapján történik:

Éberség: nincs jelzőinger vs. dupla jelzőinger

Orientáció: központi jelzőinger vs. téri jelzőinger

Gátlás/végrehajtó funkciók: inkongruens próba vs. kongruens próba.



1. ábra. A figyelmi hálózat teszt lépései

Bár maga a teszt gyakran használt a kutatók között, egészséges idős csoportokra vonatkozó eredmény viszonylag kevés áll rendelkezésre, és azok is ellentmondóak. Jennings és mtsai (2007) a fiatalokhoz képest kisebb vigilancia hatást találtak az időseknél, míg az orientációban és végrehajtó funkciókban nem különböztek a csoportok. Utóbbi két hálózatban Fernandez-Duque és Black (2006) sem talált életkori hatást, míg az éberségi hatás az időseknél volt nagyobb. Ezekről eltérően, Zhou és mtsai (2011) a végrehajtó rendszer vizsgálatakor kapták a legnagyobb különbséget a korcsoportok között, kisebbet az éberségi hálózat működésében. Életkori hatás az orientációban az ő vizsgálatukban sem jelentkezett.

A feladat által feltételezett hálózatok feltérképezésére az EEG-t, illetve eseményhez kötött potenciálok módszerét nagyon kevés esetben használták (Neuhaus és mtsai, 2010; Kratz és mtsai, 2011), a célinger által kiváltott potenciálok leírása és változásai gyakorlatilag felderítetlen terület. Elemzéseink során három komponens vizsgálatunk: az N1, N2 és P3 hullámot.

Az N1 komponens 90–200 ms között jelenik meg az inger után, maximális amplitúdóval a vertexen jelentkezik. Befolyásolja a szelektív figyelem (Hillyard és

mtsai, 1973, idézi Czigler, 2003), de az orientációs válasz egyik korrelátumának is tartják.

Az N2 negatív hullám 200 ms körüli latenciával, frontocentrális eloszlással. Amplitúdója nő azokban a feladatokban, ahol gátolni kell a választ (Kopp és mtsai, 1996), illetve nagyobb a jól teljesítő személyeknél a sokat hibázókhoz képest, így a gátló folyamatok egyik indikátorának tartják (Falkenstein és mtsai, 2002).

A gátló folyamatokat jellemzi a P3 komponens is (Pfefferbaum és mtsai, 1985), amely amplitúdója csökken megosztott figyelmi feladatban, így felhasználható a mentális kapacitás indexeként is (Donchin és mtsai, 1986). A P300 komplex 300–700 ms-mal az inger után figyelhető meg pozitív maximummal. Több alkomponensét szokták elkülöníteni. A célingerekre jelentkező P3b potenciál parietális, az újdonság ingerekre megjelenő P3a komponens frontális maximumú a skalpon. A nogo P3 (Pfefferbaum és mtsai, 1985) akkor látható, amikor gátolni kell egy választ, eloszlása szintén frontális maximumot mutat.

Vizsgálatunk célja elsősorban az volt, hogy kimutassuk, van-e hatása a dual n-back feladat gyakorlásának az ANT-ben mutatott teljesítményre. Feltételeztük, hogy amennyiben a két feladat mögöttes hálózatai átfedésben állnak (mindkét feladat igénybe veszi a munkamemóriát, a figyelmi és végrehajtó funkciókat), a tréning hatása a nem gyakorolt figyelmi feladatban is jelentkezik. Ezért azt vártuk, hogy a kísérleti csoportban a kontrollhoz képest a reakcióidők nagyobb mértékben csökkennek le, javul náluk az éberség, az orientáció, jobbak a gátló funkciók a teszt második felvételekor. Az EKP-k elemzésekor a gyakorlási hatásnál (ami a teszt ismételt felvételéből következhet – ezt jelzi a kontroll csoport esetleges teljesítményjavulása) nagyobb mértékű amplitúdó növekedést vártunk mindhárom vizsgált komponensnél.

Mivel idős csoportban, ismereteink szerint, az ANT felvételekor nem rögzítettek EKP-t, célunk volt ezen adatok leírása is, jellemezve ezzel az időskori figyelmi hálózatok működését.

MÓDSZEREK

Résztvevők

A vizsgálatban 60–75 év közötti egészséges nők vettek részt (átlagéletkor: 65,9 év, SD: 3,0). A kísérleti csoportban 18 (3 személyt kizártunk az elemzésekből az EEG-ben található nagy mennyiségű műtermék miatt), a kontroll csoportban 21 személy adatai kerültek elemzésre. A személyek a vizsgálat elkezdése előtt részletes tájékoztatást kaptak. Mindannyian önként, anyagi ellenszolgáltatás fejében vállalták a részvételt. A vizsgálat előtt úgy nyilatkoztak, hogy egészségesek, az EEG-t befolyásoló gyógyszereket nem szednek.

Kísérleti elrendezés, vizsgálati helyzet

Mindkét csoport két alkalommal vett részt egy két és fél órás vizsgálatban, melynek során felvettük velük a MAWI 3. (számterjedelem) és 6. (rejtjelezés) részfeladatát, illetve a Raven tesztet (első alkalommal a páratlan, a második alkalommal a páros tételeket). A résztvevők intelligenciáját a Wechsler intelligenciateszt magyar változatával mértük (MAWI) az első alkalom elején, vagy egy külön ülésben. A tesztek felvételét az elektródok felszerelése követte. A személyek egy akusztikusan és elektromosan árnyékolt szobában ültek. Harminchárom Ag/AgCl elektród került a fejükre a nemzetközi 10–20-as rendszernek megfelelően. Az EEG-t NuAmps erősítőrendszerrel, a NeuroScan 4.3 szoftverrel rögzítettük (szűrés: DC–70 Hz, mintavételezés: 1000 Hz). Referenciaként az orrot, földként az FCz pontot használtuk. Az ingeradást a Presentation programmal végeztük, a képek a személyektől 125 cm-re lévő monitoron jelentek meg. Az EEG regisztrálás során a résztvevők több feladatot is végrehajtottak, jelen tanulmányban ezek közül csak az ANT feladat kerül elemzésre. A kísérleti csoport abban különbözött a kontrolltól, hogy a két EEG méréses alkalom között (melyek között 1 hónap telt el mindkét csoport esetén) 10 alkalommal egy dual n-back feladatot gyakoroltak 30 × 1 percre.

Figyelmi hálózat teszt (ANT)

A feladat (1. ábra) egy fixációs kereszttel kezdődött (500–1000 ms), melyet a 4 jelzőingeres helyzetek egyike követett (ISI = 100 ms): központi, dupla, téri jelzőinger, vagy nincs jelzőinger. A célinger 400 ms-mal a jelzőinger után jelent meg 50–50%-ban a fixációs kereszt alatt vagy felett. A célinger öt egymás melletti vonalból állt, melyek egyik oldala az esetek többségében nyílban végződött. A személyeknek a középső nyíl irányát kellett figyelniük, s a joystickon meg kellett nyomniuk azt a gombot, amelyik irányba a nyíl mutatott. A kongruens próbákban a középső nyíl és az elterelő ingerek ugyanabba az irányba mutattak, az inkongruens próbákban ellenkező irányba. A semleges próbákban az elterelő ingerek nem nyilak, hanem vonalak voltak. A célingerek 1500 ms-ig voltak láthatók a monitoron, a 384 próba során minden kombináció azonos valószínűséggel jelent meg.

Dual n-back feladat

Ebben a helyzetben a résztvevőknek két különböző modalításban adott emlékezeti feladatot kellett egyszerre végrehajtaniuk. A vizuális feladat egy kocka helyzetének megjegyzése volt, ami egy négyzetháló 8 különböző pozíciójában jelenhetett meg, az akusztikus pedig mássalhangzókra való emlékezés volt. Egy sorozat 20 + n próbából állt, egy próbában egy kockát látott a személy a négyzet-

háló valamely pontján, és egyidőben a nyolc lehetséges mássalhangzó egyikét hallotta. Az ingerek kezdete közötti intervallum (SOA) 2500 ms volt. Az első sorozatban a személyeknek akkor kellett gombot nyomniuk, ha az aktuális inger megegyezett az $n = 2$ -vel korábban látott/hallott ingerrel (mássalhangzó – bal gomb, kocka – jobb gomb, mindkét inger – mindkét gomb). Ha a személy háromnál kevesebb hibát vétett, a következő blokkban eggyel nőtt, hány lépéssel korábbi ingereket kellett megjegyeznie, ötnél több hiba esetén eggyel csökkent. Egy ülés 30, egyenként egy percig tartó sorozatból állt.

Feldolgozás

Az EEG-feldolgozást a NeuroScan 4.5 szoftverrel végeztük. Az EEG-t 0,1 és 30 Hz között 48dB/oct meredekséggel szűrtük, majd a célingerhez képest -100 ms-tól $+900$ ms-ig tartó szakaszokra daraboltuk. Az alapvonal igazítás az inger előtti intervallum alapján történt, amit kézi műtermékszűrés követett. Az egyes feltételeknek megfelelően átlagoltuk azokat a szakaszokat, amelyeknél a személyek jól válaszoltak. Azon személyek adatai maradhattak az elemzésben, akiknek a rossz válaszok és a műtermékek kiszűrése után legalább a szakaszok fele megmaradt.

A nagytalagok alapján az N1 komponenst a 150–200 ms, az N2-t a 270–370 ms periódus legnegatívabb, a P3 potenciált pedig a 380–580 ms közötti tartomány legpozitívabb csúcsaként definiáltuk. Jelen tanulmány az Fz, Cz és Pz elektródokon mért adatok elemzését tartalmazza.

Statistikai elemzés

Az adatokat a Statistica 9.1 szoftverrel dolgoztuk fel. A csoportok IQ pontszámát független mintás t-próbával hasonlítottuk össze, a MAWI 3. és 6. próbáján mutatott teljesítmény változását a két alkalom között összetartozó mintás t-próbával elemeztük. A reakcióidő és EKP adatokat többszemponos, ismételt mérésekre varianciaanalízissel vizsgáltuk. A szempontok a gátló folyamatok elemzésekor a csoport (kísérleti és kontroll), az alkalom (1. és 2.) és a helyzet (kongruens és inkongruens) voltak. A másik két esetben a harmadik szempont a jelzőinger volt (éberség: nincs vs. dupla jelzőinger, orientáció: központi vs. téri jelzőinger), illetve az eseményhez kötött potenciálok esetében minden esetben egy további szint az elektród volt (Fz, Cz és Pz). Amikor szükséges volt, Greenhouse-Geisser korrekciót végeztünk, ezekben az esetekben a p a korrigált érték. A páronkénti összehasonlításokat a szignifikáns hatásoknál Tukey post hoc teszttel végeztük. Az egyes feltételeket összehasonlítottuk a tréninghatástól függetlenül is. Ebben az esetben a két csoportot összevontuk, és csak az első alkalommal mért adatokat vizsgáltuk. A helyzetek összehasonlítása független mintás t-próbával történt.

EREDMÉNYEK

Pszichológiai tesztek, viselkedéss adatok

A két csoport nem különbözött az intelligenciateszten elért pontszámában ($t_{(37)} = -0,380$; $p = 0,706$). A kísérleti csoport a tréning hatására javulást mutatott a számterjedelem teszten ($t_{(17)} = -2,051$; $p = 0,056$), aminek oka, hogy a 2. alkalommal több elemet tudtak visszafelé elmondani, mint először (számok visszafele: $t_{(17)} = -2,062$; $p = 0,055$; előre: $t_{(17)} = -0,889$; $p = 0,386$). A kontroll csoportban semmiféle változás nem volt megfigyelhető a két alkalom között ($t_{(20)} = 0,000$; $p = 1,000$). A pszichomotoros gyorsaság javult az alkalmak között (MAWI 6.), mindkét csoport több jelet tudott lemásolni a 2. alkalommal (kísérleti: $t_{(17)} = -2,556$; $p = 0,020$; kontroll: $t_{(20)} = -2,858$; $p = 0,010$).

A feladat végrehajtása során a találatok száma nem különbözött a két csoportban ($F_{(1,37)} = 1,099$; $p = 0,301$), illetve az alkalmak között sem találtunk változást ($F_{(1,37)} = 0,071$; $p = 0,792$). A téves riasztásokban azonban csoport $\times$ alkalom interakció volt kimutatható ($F_{(1,37)} = 5,911$; $p = 0,020$), aminek hátterében az állt, hogy az első alkalommal a kontroll csoportban magasabb volt a téves riasztások száma a kísérleti csoporthoz képest ($p = 0,027$), azonban ez lecsökkent a második alkalomra ($p = 0,003$), a csoportok közötti különbségek megszűntek.

Reakcióidő

A csoportok reakcióidő adatai részletesen az 1. táblázatban találhatók. A gátló funkciókat a kongruens és inkongruens helyzetek összehasonlításával vizsgáltuk. A csoportok között nem találtunk különbséget, azonban a reakcióidő csökkent mindkét csoportban a gyakorlás hatására ($F_{(1,37)} = 10,172$; $p = 0,003$), illetve gyorsabban reagáltak a résztvevők a kongruens feltételben az inkongruenshez képest ($F_{(1,37)} = 227,65$; $p < 0,001$).

Csoportok közötti különbséget az éberségi rendszer vizsgálatokor sem találtunk, azonban a reakcióidő ebben az esetben is csökkent a 2. alkalommal ($F_{(1,37)} = 9,186$; $p = 0,004$). Az alkalom $\times$ jelzőinger interakció ($F_{(1,37)} = 18,020$; $p < 0,001$) azt jelezte, hogy az első alkalommal a jelzőinger nélküli ($p = 0,009$), a 2. alkalommal viszont a dupla jelzőingeres helyzetben volt rövidebb a reakcióidő ($p = 0,060$), utóbbinál nagyobb mértékű volt a csökkenés a két alkalom között.

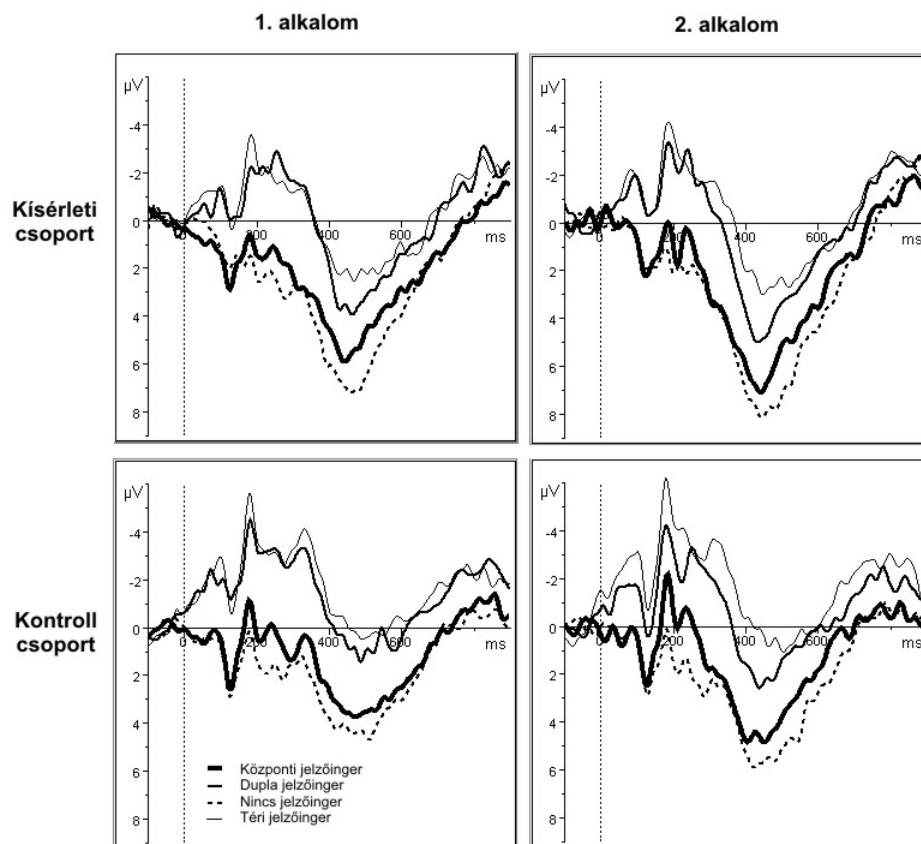
Az orientációs rendszer esetén is gyorsabb reakcióidőt találtunk a 2. alkalommal ($F_{(1,37)} = 15,481$; $p < 0,001$), a csoportok nem különböztek egymástól. A téri jelzőinger hatékonyabbnak bizonyult a központi jelzőingernél, előbbi esetén rövidebb volt a reakcióidő ($F_{(1,37)} = 49,350$; $p < 0,001$).

1. táblázat. A reakcióidő adatok átlaga és szórása (SD) az egyes helyzetekben ms-ban

Kísérleti csoport – 1. alkalom								
	nincs		központi		dupla		téri jelzőinger	
	átlag	SD	átlag	SD	átlag	SD	átlag	SD
inkongruens	791,61	74,57	792,24	83,30	824,14	84,76	749,81	70,64
kongruens	735,40	93,52	726,28	86,57	745,88	90,30	679,83	74,15
semleges	739,92	79,25	734,22	85,53	732,83	91,29	723,16	79,16
Kísérleti csoport – 2. alkalom								
	nincs		központi		dupla		téri jelzőinger	
	átlag	SD	átlag	SD	átlag	SD	átlag	SD
inkongruens	772,06	77,90	771,60	78,46	783,50	76,38	720,72	68,80
kongruens	714,19	78,88	691,19	86,48	710,14	90,05	654,39	78,39
semleges	718,75	82,68	701,89	66,28	692,96	73,34	669,10	68,45
Kontroll csoport – 1. alkalom								
	nincs		központi		dupla		téri jelzőinger	
	átlag	SD	átlag	SD	átlag	SD	átlag	SD
inkongruens	789,54	108,91	806,33	95,95	810,17	104,66	760,23	82,24
kongruens	733,11	103,27	740,37	104,61	739,35	92,70	713,00	99,16
semleges	732,91	100,01	751,19	102,24	728,09	94,77	725,55	94,64
Kontroll csoport – 2. alkalom								
	nincs		központi		dupla		téri jelzőinger	
	átlag	SD	átlag	SD	átlag	SD	átlag	SD
inkongruens	786,33	91,88	782,19	94,90	777,74	90,36	730,65	95,32
kongruens	723,96	89,96	718,52	89,04	714,17	89,41	683,02	86,02
semleges	715,57	93,79	723,85	77,71	707,43	82,24	690,80	79,43

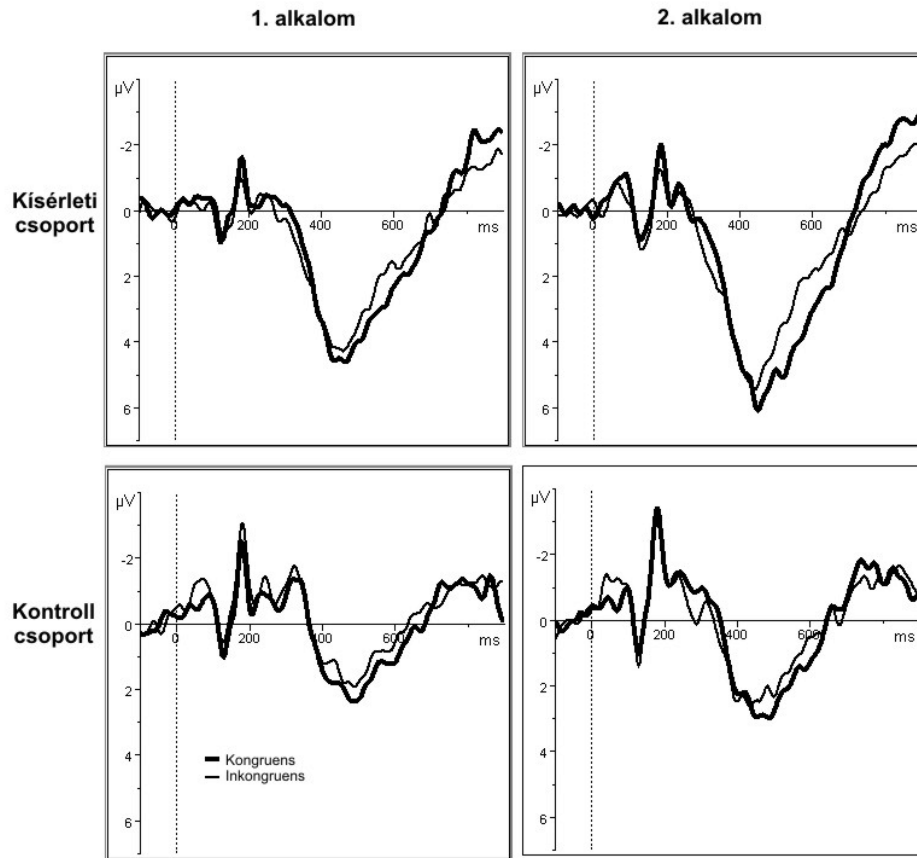
Eseményhez kötött potenciálok

Az egyes feltételeknek megfelelő EKP-k a 2. és 3. ábrán láthatók. Az EKP-ok amplitúdóját először többszempontos varianciaanalízissel elemeztük, és ennek eredményeként azt kaptuk, hogy a tréningnek nem volt hatása egyik komponensre sem, alkalom $\times$ csoport interakciót a három figyelmi rendszer vizsgálata során nem kaptunk. A feladat ismételt végrehajtásának azonban volt hatása, a P3 amplitúdója nagyobb volt a második alkalommal a gátló ($F_{(1,37)} = 12,798$; $p < 0,001$), az éberségi ($F_{(1,37)} = 7,099$; $p = 0,012$) és az orientációs rendszer ($F_{(1,37)} = 13,375$; $p < 0,001$) esetén is. A végrehajtó hálózatnál megfigyeltük továbbá az N2 amplitúdójának csökkenését is ($F_{(1,37)} = 4,859$; $p = 0,034$). Az N1 amplitúdója egyik feltételben sem változott az alkalmak között.



2. ábra. A Pz elektródon mért nagytalagok a jelzőingerek megjelenése szerint

Második lépésben az egyes figyelmi hálózatokra jellemző hatások leírására törekedtünk az időseknél. Ennek elemzéséhez a csoportokat összevontuk a nagyobb elemszám érdekében, és csak az első alkalom adatait vettük be az elemzésbe. Az eredmények összefoglalva a 2. táblázatban találhatók. Amint látható, a kongruens és inkongruens próbák között egy esetben sem találtunk amplitúdókülönbséget. A központi jelzőingerekhez képest a téri jelzőinger nagyobb amplitúdót váltott ki az N1 és N2 komponens esetén, kisebb amplitúdót a P3 potenciálnál. A dupla jelzőinger a jelzőinger nélküli helyzethez képest nagyobb N1 és N2, illetve kisebb P3 amplitúdót okozott.



3. ábra. A Pz elektródon mért nagytalagok a kongruens és inkongruens helyzetekben

Az N1 komponens amplitúdójára – a dupla jelzőingeres helyzetet leszámítva – parietális maximum volt jellemző, az N2 centrális maximummal volt látható míg a P3 komponens eloszlása egyértelműen parietális volt minden feltételben. A t-próbák eredményeit a 3. táblázat tartalmazza.

Szignifikáns latencia különbségeket az orientációs és a gátló rendszerek vizsgálatakor egyik komponens esetén sem találtunk. Az éberségi hálózaton a dupla jelzőinger után a latencia hosszabb volt a jelzőinger nélküli helyzethez képest az N1 (Cz: $t_{(76)} = 2,068$; $p = 0,042$; Pz: $t_{(76)} = 2,707$; $p = 0,008$) és a P3 (Fz: $t_{(76)} = 2,156$; $p = 0,034$) komponenseknél.

2. táblázat. A vizsgált komponensek átlagai μV -ban és a t-próbák eredményei az első alkalommal az összes résztvevő adataira

	Gátló rendszer				Orientációs rendszer				Éberségi rendszer			
	kongruens próba	inkongruens próba	t(76)	p	központi jelzőinger	téri jelzőinger	t(72)	p	dupla jelzőinger	nincs jelzőinger	t(72)	p
N1												
Fz	-1,520	-1,639	0,293	0,771	-0,957	-2,933	3,319	0,001	-3,689	0,275	-7,565	<0,001
Cz	-1,919	-2,116	0,347	0,730	-0,931	-4,234	4,281	<0,001	-4,386	0,068	-6,340	<0,001
Pz	-2,729	-2,847	0,165	0,870	-1,696	-5,359	3,959	<0,001	-4,428	-0,912	-4,496	<0,001
N2												
Fz	-2,173	-1,964	-0,488	0,627	-1,893	-2,337	0,721	0,473	-3,367	-1,126	-3,792	<0,001
Cz	-3,395	-3,303	-0,142	0,887	-2,630	-4,827	2,588	0,012	-5,336	-1,578	-4,301	<0,001
Pz	-2,438	-2,509	0,111	0,912	-1,063	-4,932	4,356	<0,001	-4,688	-0,215	-5,205	<0,001
P3												
Fz	2,957	2,984	-0,054	0,957	3,575	2,627	1,802	0,076	1,899	5,377	-6,995	<0,001
Cz	3,434	3,414	0,029	0,977	4,447	2,403	2,875	0,005	2,406	6,277	-5,551	<0,001
Pz	4,547	4,161	0,506	0,614	5,882	2,867	3,694	<0,001	3,604	7,148	-4,458	<0,001

3. táblázat. A t-próba eredményei a komponensek különböző helyzetekben mért amplitúdójának összehasonlításakor

	<i>t</i> (Fz-Cz)	<i>t</i> (Fz-Pz)	<i>t</i> (Cz-Pz)	<i>p</i> (Fz-Cz)	<i>p</i> (Fz-Pz)	<i>p</i> (Cz-Pz)
N1 amplitúdó						
kongruens próba	1,510	2,713	3,109	0,139	0,010	0,004
inkongruens próba	1,827	2,783	2,728	0,076	0,008	0,010
központi jelzőinger	-0,084	-1,459	-2,573	0,934	0,153	0,014
téri jelzőinger	3,661	4,632	3,708	0,001	0,000	0,001
dupla jelzőinger	1,740	1,444	0,166	0,090	0,157	0,869
nincs jelzőinger	0,759	2,492	3,062	0,453	0,017	0,004
N2 amplitúdó						
kongruens próba	3,429	0,643	-3,749	0,001	0,524	0,001
inkongruens próba	4,096	1,452	-3,235	< 0,001	0,155	0,003
központi jelzőinger	1,747	-1,635	-4,955	0,089	0,111	< 0,001
téri jelzőinger	6,450	5,008	0,331	< 0,001	< 0,001	0,742
dupla jelzőinger	4,324	2,667	-2,599	< 0,001	0,011	0,013
nincs jelzőinger	1,290	-1,828	-4,035	0,205	0,076	< 0,001
P3 amplitúdó						
kongruens próba	-1,542	-3,466	-4,543	0,131	0,001	< 0,001
inkongruens próba	-1,606	-3,263	-3,256	0,116	0,002	0,002
központi jelzőinger	-2,349	-4,652	-5,040	0,024	< 0,001	< 0,001
téri jelzőinger	0,702	-0,514	-1,839	0,487	0,610	0,074
dupla jelzőinger	-1,513	-3,762	-4,476	0,139	0,001	< 0,001
nincs jelzőinger	-2,940	-3,662	-2,904	0,006	0,001	0,006

MEGBESZÉLÉS

Vizsgálatunk újdonsága, hogy leírja, idős csoportokban hogyan jellemezhető az ANT által vizsgált hálózatok az EKP módszerével. Korcsoportok összehasonlítására nem volt módunk, mivel fiatalok nem vettek részt ebben a vizsgálatban, a kísérletek fókuszában az időskori tréninghatások álltak.

Transzferhatás a tréning után egyedül a számismélteléses feladatban mutatkozott, a kísérleti csoport tagjai több elemet tudtak felidézni a második ülésben. Ez jelzi, hogy a gyakorolt feladat a munkaemlékezet hálózatait aktiválja, és alátámasztja azt is, hogy az agy megtartja funkcionális plaszticitását idős korban. Az, hogy a dual n-back feladat gyakorlása nem okozott javulást az ANT végrehajtásában, összhangban áll a szakirodalmi adatokkal (Rebok és mtsai, 2007), általában nem sikerült kimutatni transzferhatást. Ennek oka az lehet, hogy a két feladat háttérében álló idegrendszeri hálózatok nem fednek át olyan mértékben, hogy az egyik feladat pályarendszereinek megerősítése segíthetné a másik végrehajtását is.

Bizonyos mutatókban viszont mindkét csoport egyforma javulást mutatott, ezek jelzik a gyakorlás hatását, ami a teszt ismételt végrehajtásából fakad. Így javult a pszichomotoros sebesség (rejtjelezés próba), az ANT végrehajtása során minden esetben csökkent a reakcióidő, csökkent a téves riasztások száma. Ezek a

változások a labor helyzettel való megismerkedésnek, illetve hasonló felépítésű feladatok ismétléséből fakadó gyakorlási hatásnak tudhatók be.

Az éberségi hálózat adatai a korábbi, fiatalokon végzett vizsgálatokhoz képest (Fan és mtsai, 2005) váratlan eredményeket mutatott. Amikor a személyek első alkalommal találkoztak a feladattal, reakcióidejük rövidebb volt a jelzőinger nélküli helyzetben, mint amikor a dupla jelzőinger hívta fel a figyelmüket a várható feladatra. Ezzel összhangban, az N1 és P3 komponensek latenciája is hosszabb volt a dupla jelzőingeres helyzetben a jelzőinger nélkülihez képest. Mivel a második alkalommal ez a hatás megfordult, feltételezhetjük, hogy amíg új volt a feladat, addig a jelzőinger megjelenése csak megzavarta a résztvevőket, inkább interferált a feladattal, mint segítette volna a végrehajtását. A második alkalomra viszont már megtanulták használni a személyek ezt az információt, és ennek megfelelően gyorsabban is reagáltak. Ez összhangban áll mind azokkal az elméletekkel, melyek szerint az idős emberek kevésbé tudják kiszűrni a zavaró ingerek hatását (Li, 2005), mind azokkal az eredményekkel, melyek szerint a tanulás lelassul idős korban (Richards és mtsai, 2006). Azt, hogy nem aktivációs problémáról, hanem inkább interferencia hatásról van szó, azért feltételezhetjük, mivel az N1 és N2 komponensek amplitúdója a dupla jelzőingerek megjelenésekor nagyobb volt, mint amikor ilyen figyelmeztetés nem érkezett, tehát az orientáció, aktív figyelem kialakult az inger hatására, és ennek mértéke nem is változott a második alkalomra. Változott, mégpedig nőtt viszont a P3 amplitúdója, ami valószínűleg a tanulási folyamattal állhat összefüggésben, a munkamemória kisebb leterheltségével.

Más tanulmányokhoz hasonlóan (Neuhaus és mtsai, 2010) mi is azt találtuk, hogy a téri jelzőinger lerövidíti a reakcióidőt a központi jelzőinger próbáihoz képest. Az orientációs folyamatokat jellemzi továbbá az N1 és N2 komponensek amplitúdójának növekedése is. Az amplitúdó-különbségek értelmezésénél érdemes megjegyezni, hogy az ábra alapján úgy tűnik, hogy a téri jelzőinger elindított egy várakozási folyamatot, ami egy CNV jellegű lassú negativitásban nyilvánul meg (Marton és Bakay, 1994), s erre tevődnek rá a vizsgált komponensek. A várakozási hullám egy olyan aktivált állapotot jelez, melyben az idegsejtek ingerküszöbe lecsökken, s ezáltal a beérkező ingerek feldolgozása fokozottabbá válik (Birbaumer és mtsai, 1990). Ez a folyamat természetesen befolyásolja az erre „ráülő” komponensek amplitúdó értékeit. Ilyen folyamat azonban – szintén az ábra alapján – a központi jelzőinger esetén nem indult el (a folyamat pontos leírásához további elemzések szükségesek, melyekben a szakaszok a jelzőinger körüli periódust is magukba foglalják). Mivel a személyek látása ép volt, vagy épre korrigált, nem feltételezhetjük, hogy nem látták a jelzőingert. Mégis úgy tűnik, hogy hatása annyira csekély volt, hogy mértéke a jelzőinger nélküli helyzethez hasonlítható. Az N1 – minden jelzőinger esetén – parietális, az N2 centrális eloszlású volt. Bár az eloszlást több tényező is befolyásolhatja, ez az eredmény összhangban áll a fiataloknál vizuális téri feladatokban kapott adatokkal (pl. Hopfinger és West, 2006).

Az életkori változások egyik legnagyobb hatású elmélete a 80-as évek óta a gátlási folyamatok hatékonyságának csökkenésével magyarázza az idők esetleges gyengébb eredményeit bizonyos típusú feladatok végrehajtása során (Hasher és mtsai, 1988). A frontális lebeny a legérzékenyebb az öregedési folyamatokra, épp ezért az ehhez köthető kognitív funkciók javítása nagyon izgalmas kihívás. A végrehajtó rendszer vizsgálatok a reakcióidők alapján, a fiatalokhoz hasonlóan (Fan és mtsai, 2005), az idők gyorsabbak a kongruens próbákban, mint az inkongruensekben. Ez a különbség azonban nem jelentkezik sem az egyes EKP komponensek latenciájában, sem amplitúdójában. Az amplitúdó-különbség hiánya egy ilyen robusztus hatás esetén, mint amit a kongruens és inkongruens feladatok összehasonlításával lehet kapni (Ílan és Polich, 1999), váratlan eredmény. Egyértelműen utalhat arra, hogy a gátló/végrehajtó rendszer működése eltér az elvárttól. Az Eriksen feladat módosított verzióiban más szerzők (Wild-Wall és mtsai, 2008; Hsieh és mtsai, 2011), hozzánk hasonlóan, azt találták, hogy az interferencia az időket kevésbé befolyásolta, mint a fiatalokat. A fiatalokhoz képest az időseknél nagyobb amplitúdójú N1 komponens találták. Ebből arra következtettek, hogy az idők jobban fókuszálnak a célingerre, s emiatt a körülöttük lévő ingerek kevésbé befolyásolják őket. A másik lehetséges magyarázat, amire az N1 komponens amplitúdójának csökkenéséből következtettek, amennyiben a céltingert önmagában mutatták be, hogy az életkorral a kontextus reprezentációja romlik. Ebben a feladatban a kontextust az elterelő ingerek jelentik, s amennyiben a reprezentációjuk nem megfelelő, a személyek nem csak a kongruens próbákban profitálnak kevésbé jelenlétükből, de az inkongruens próbákban is kevésbé érzékelik az általuk okozott interferenciát, mint a fiatalok. Az N2 komponensnél is megfigyelhető amplitúdó-különbség hiányát is magyarázhatjuk azzal, hogy az idők kevésbé érzékelik az ingerek inkongruenciáját, így nem is jelentkezik hatásuk az EKP komponenseinek amplitúdójában. Ez az elképzelés magyarázhatja a latencia-különbségek hiányát is. A P3 komponens parietális eloszlása is jelezheti, hogy a feladat ilyen módon „leegyszerűsödött” az idők számára. A feladat jellegétől függően az eloszlás változhat, ám többnyire fiataloknál parietális maximumú, míg az időseknél egy frontális csúcs is megfigyelhető (Friedman és mtsai, 1997). Ennek hiánya jelezheti, hogy a jelfeldolgozás nem okozott akkora leterheltséget, hogy más agyterületeknek kellett volna kompenzálni a parietális areák működését.

Bár a tréning nem okozott kimutatható hatást, a feladat ismételt végrehajtása az N2 amplitúdójának csökkenéséhez és a P3 amplitúdójának növekedéséhez vezetett. Előbbi nehezen értelmezhető változás, mivel a sikeres gátlást általában nagyobb N2 amplitúdó kíséri (Falkenstein, 2006). Bár, ha feltételezzük, hogy javul a gyakorlás során a kontextus reprezentációja, paradox módon ez – a fiataloknál tapasztaltakhoz hasonlóan (Wild-Wall és mtsai, 2008) – az inkompatibilitási hatás növekedéséhez s nagyobb interferenciához vezet. A munkaemlékezet hatékonnyabb működését a P3 amplitúdójának növekedése jelzi.

Összefoglalásul megállapíthatjuk, hogy az agy idős korban is megtartja funkcionális plaszticitását, gyakorlással a teljesítmény javítható egyes feladatokban, a

transzferhatás más feladatokra viszont korlátozott. A figyelmi hálózatok működése eltér az egyes korcsoportokban, a különbség feltérképezése az EKP módszerével a korcsoportok direkt összehasonlítását igényli a továbbiakban.

IRODALOM

- Birbaumer, N., Elbert, T., Canavan, A. G., Rockstroh, B. (1990): Slow potentials of the cerebral cortex and behavior. *Physiol Rev.*, 70, 1–41.
- Bugg, J. M., Zook, N. A., DeLosh, E. L., Davalos, D. B., Davis, H. P. (2006): Age differences in fluid intelligence: contributions of general slowing and frontal decline. *Brain Cogn*, 62, 9–16.
- Buschkuhl, M., Jaeggi, S. M., Hutchison, S., Perrig-Chiello, P., Dapp, C., Muller, M. et al. (2008): Impact of working memory training on memory performance in old-old adults. *Psychology and Aging*, 23, 743–753.
- Czigler, I. (2003): *Figyelem és percepció*. Debrecen, Kossuth Egyetemi Kiadó.
- Donchin, E., Kramer, A. F., Wickens, C. D. (1986): Applications of event-related brain potentials to problems in engineering psychology. In: M. G. H. Coles, E. Donchin, S. W. Porges (eds), *Psychophysiology: Systems, Processes, and Applications*. New York, Guilford, 702–718.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E. et al. (2007): Training-induced plasticity in older adults: Effects of training on hemispheric asymmetry. *Neurobiology of Aging*, 28, 272–283.
- Falkenstein, M. (2006): Inhibition, conflict and the Nogo-N2. *Clinical Neurophysiology*, 117, 1638–1640.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Hohnsbein, J. (2002): Inhibition-related ERP components: Variation with modality, age, and time-on task. *Journal of Psychophysiology*, 16, 167–175.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., Posner, M. I. (2005): The activation of attentional networks. *NeuroImage*, 26, 471–479.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., Posner, M. I. (2002): Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 340–347.
- Fernandez-Duque, D., Black, S. E. (2006): Attentional networks in normal aging and Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 20, 133–143.
- Friedman, D., Kazmerski, V., Fabiani, M. (1997): An overview of age-related changes in the scalp distribution of P3b. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 104, 498–513.
- Greenwood, P. M. (2007): Functional plasticity in cognitive aging: Review and hypothesis. *Neuropsychology*, 21, 657–673.
- Hasher, L., Zacks, R. T. (1988): Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In: G. Bower (ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*. San Diego, Academic Press, 193–225.
- Hopfinger, J. B., West, V. M. (2006): Interactions between endogenous and exogenous attention on cortical visual processing. *NeuroImage*, 31, 774–789.
- Hsieh, S., Liang, Y. C., Tsai, Y. C. (2011): Do age-related changes contribute to the flanker effect? *Clinical Neurophysiology*, in press.
- Ilan, A. B., Polich, J. (1999): P300 and response time from a manual Stroop task. *Clinical Neurophysiology*, 110, 367–373.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., Perrig, W. J. (2008): Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 6829–6833.
- Jennings, J. M., Dagenbach, D., Engle, C. M., Funke, L. J. (2007): Age-related changes and the attention network task: An examination of alerting, orienting, and executive function. *Neuropsychology Development and Cognition Section B Aging Neuropsychology and Cognition*, 14, 353–369.
- Kopp, B., Mattler, U., Goertz, R., Rist, F. (1996): N2, P3 and the lateralized readiness potential in a nogo task involving selective response priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 19–27.

- Kratz, O., Studer, P., Malcherek, S., Erbe, K., Moll, G. H., Heinrich, H. (2011): Attentional processes in children with ADHD: An event-related potential study using the attention network test. *International Journal of Psychophysiology*, 81, 82–90.
- Li, S. C. (2005): Neurocomputational perspectives linking neuromodulation, processing noise, representational distinctiveness, and cognitive aging. In: R. Cabeza, L. Nyberg, D. Park (eds), *Cognitive Neuroscience of Aging: Linking Cognitive and Cerebral Aging*. New York, Oxford University Press, 354–379.
- Li, S. C., Schmiedek, F., Huxhold, O., Rocke, C., Smith, J., Lindenberger, U. (2008): Working memory plasticity in old age: Practice gain, transfer, and maintenance. *Psychology and Aging*, 23, 731–742.
- Macleod, J. W., Lawrence, M. A., McConnell, M. M., Eskes, G. A., Klein, R. M., Shore, D. I. (2010): Appraising the ANT: Psychometric and theoretical considerations of the Attention Network Test. *Neuropsychology*, 24, 637–651.
- Marton, M., Bakay, P. É. (1994): Negatív és pozitív lassú agyi hullámok funkcionális jelentése. *Pszichológia*, 14, 3–21.
- Neuhaus, A. H., Urbanek, C., Opgen-Rhein, C., Hahn, E., Ta, T. M., Koehler, S. et al. (2010): Event-related potentials associated with Attention Network Test. *International Journal of Psychophysiology*, 76, 72–79.
- Pfefferbaum, A., Ford, J. M., Weller, B. J., Kopell, B. S. (1985): ERPs to response production and inhibition. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60, 423–434.
- Plude, D. J., Doussard-Roosevelt, J. A. (1989): Aging, selective attention, and feature integration. *Psychology and Aging*, 4, 98–105.
- Raz, N. (2000): Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In: F. I. M. Craik, T. A. Salthouse (eds), *The Handbook of Aging and Cognition*. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1–91.
- Rebok, G. W., Carlson, M. C., Langbaum, J. B. (2007): Training and maintaining memory abilities in healthy older adults: Traditional and novel approaches. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 62 Spec No 1, 53–61.
- Richards, E., Bennett, P. J., Sekuler, A. B. (2006): Age related differences in learning with the useful field of view. *Vision Research*, 46, 4217–4231.
- Salat, D. H., Tuch, D. S., Greve, D. N., van der Kouwe, A. J., Hevelone, N. D., Zaleta, A. K. et al. (2005): Age-related alterations in white matter microstructure measured by diffusion tensor imaging. *Neurobiology of Aging*, 26, 1215–1227.
- Salthouse, T. A. (1990): Working memory as a processing resource in cognitive aging. *Developmental Review*, 10, 101–124.
- Sorel, O., Pennequin, V. (2008): Aging of the planning process: The role of executive functioning. *Brain and Cognition*, 66, 196–201.
- Verhaeghen, P., Marcoen, A., Goossens, L. (1992): Improving memory performance in the aged through mnemonic training – A meta-analytic study. *Psychology and Aging*, 7, 242–251.
- West, R. L. (1996): An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 120, 272–292.
- Wild-Wall, N., Falkenstein, M., Hohnsbein, J. (2008): Flanker interference in young and older participants as reflected in event-related potentials. *Brain Research*, 1211, 72–84.
- Zhou, S. S., Fan, J., Lee, T. M., Wang, C. Q., Wang, K. (2011): Age-related differences in attentional networks of alerting and executive control in young, middle-aged, and older Chinese adults. *Brain and Cognition*, 75, 205–210.

Zsófia Anna Gaál, Roland Boha, Brigitta Tóth, Márk Molnár

BEHAVIORAL AND ELECTROPHYSIOLOGICAL CORRELATES OF ATTENTIONAL NETWORK TEST IN ELDERLY PARTICIPANTS

Three functionally and anatomically independent networks of attention – alerting, orienting, and executive control can be analyzed by the Attention Network Test (ANT). The effect of cognitive training with dual n-back task (participants have to remember visual and auditory stimuli presented n steps earlier) was studied on these networks. Characterizing the changes of event-related potentials (ERPs) was also aimed, as no relevant data are available in this field.

Two elderly groups (65.9 ± 3.0 years) participated in the experiment. The experimental group practiced the dual n-back task between the two EEG sessions ($n = 18$), the control group ($n = 21$) did not. Transfer effect was seen only in the short term memory test. The training had no effect on the ANT. The effect of orienting was observed in reaction time (RT) data and in the amplitude increase of N1 and N2 components. The alerting effect resulted in amplitude changes also, but the RT and latency data indicated disturbing effect of the cues, which obtain their marking function only in later phase. Inhibition was observed at behavioral level, but ERP differences were not seen between conditions.

To conclude, neural plasticity is maintained in elderly adults, but transfer effect among cognitive tasks is limited. The results of the ANT support the concept, which claims that context representation declines with aging and hence processing of stimuli is different in elderly compared to young adults.

Keywords: aging, Attention Network Test, event-related potentials, training effect

31. ÉVFOLYAM

2011/1–4

TARTALOMMUTATÓ

Berán Eszter, Czobor Pál, Unoka Zsolt

- A szelf affektív bevonódása a pszichoterápiás folyamatba:
érzelmi intenzitás kifejezése narratív perspektíva használatával
a terápia kezdeti szakaszában 3. 237–257

Bodor Péter, Barcza Virág

- Érzelmi fejlődés és a kicsinyítő képzők elsajátítása. 3. 195–236

Czibor Andrea, Bereczkei Tamás

- Sikeresek-e a machiavellisták? Viselkedési stratégiák,
személyiségjellemzők és narratív beszámolók társas
dilemmahelyzetekben 4. 359–380

Ehmann Bea, Balázs László

- Nyelvtechnológia az úrpszichológiában: ICE-csoportok
pszichodinamikájának távoli monitorozása narratív
pszichológiai tartalomelemzéssel 1. 63–79

Ferenczhalmy Réka, Szalai Katalin, László János

- Az ágencia szerepe történelmi szövegekben a nemzeti
identitás szempontjából 1. 35–46

Fülöp Éva, Péley Bernadette, László János

- A történelmi pályához kapcsolódó érzelmek modellje magyar
történelmi regényekben 1. 47–62

Fülöp Márta, Sebestyén Nóra

- Kulturális sokk? Kulturális különbségek Budapesten tanuló
amerikai egyetemisták szemével 2., 81–105

Kovács Judit, Bernáth Ágnes, Pántya József, Papp Gábor

- Az együttműködő személy figyelmessége és eredményessége
által keltett benyomások a megfigyelőben: tesz-e különbséget
a társas értékorientáció kétféle szemüvege? 2. 107–123

Kovács Zsuzsanna

- Megküzdés a börtönbe kerüléssel – a börtönadaptáció
longitudinális vizsgálata 4. 381–395

*Kun Bernadette, Balázs Hedvig, Kapitány Máté, Rózsa Sándor,
Kó Natasa, Demetrovics Zsolt*

- Az érzelmi tudatosság szintjei skála (LEAS-A-HU) hazai
adaptációja 4. 341–358

László János

- A tudományos narratív pszichológiai tartalomelemzés és
a pszichológiai tartalomelemzés hagyományai 1. 3–15

László János, Fülöp Éva

- Nemzeti identitás és kollektív áldozati szerep 3. 295–315

Nucz Eszter

- A szégyen fogalma az individualista és a kollektivisták
kultúrákban. Egy kognitív nyelvészeti megközelítés 3. 259–272

Pólya Tibor, Kovács Ildikó

- Történet szerkezet és érzelmi intenzitás 3. 273–294

Surányi Zsuzsanna, Babocsay Ádám, Takács Szabolcs, Vargha András

- Új klasszifikációs módszerek a személyiségpszichológiában . . 4. 317–340

Tauzin Tibor, Csík Andor, Csendes Ádám

- A kontingencia hatása a viselkedés észlelt hatékonyságára . . . 2. 145–163

Tomcsányi Teodóra, Martos Tamás, Ittész András,

Horváth-Szabó Katalin, Szabó Tünde, Nagy János

- A Spirituális Transzcendencia Skála hazai alkalmazása:
elmélet, pszichometriai jellemzők, kutatási eredmények és
rövidített változat 2. 165–192

Tóth László

- Az irigység mint gazdasági tényező 4. 397–417

Vass Zoltán, Vass Viola

- A közös rajzvizsgálat viselkedéses, kommunikáció-
elemzési és interakciódinamikai kiértékelése 2. 125–143

Vincze Orsolya, Rein Gabriella

- A csoportközi diszkrimináció és tolerancia narratív alapjai.
A kognitív állapotok szerepe a csoportközi attitűdök
változásában történelmi szövegek estében 1. 17–34