

**A PREDIKCIÓS FOLYAMATOK ELEKTROFIZIOLÓGIAI
KORRELÁTUMAI A VIZUÁLIS MODALITÁSBAN**

A PREDIKCIÓS FOLYAMATOK ELEKTROFIZIOLÓGIAI KORRELÁTUMAI A VIZUÁLIS MODALITÁSBAN

Balla Viktória Roxána

Dalos Vera Daniella

Kilencz Tünde

Szalóki Szilvia

Témavezető:

Dr. Csifcsák Gábor

gaborcsifcsak@yahoo.co.uk

SZTE BTK Pszichológiai Intézet

OTDK dolgozat

Lezárás dátuma: 2015. 01. 06.

Összefoglaló

Az ágencia érzésének képessége leginkább az emberre jellemző, amelynek idegi alapjául a predikciós folyamatok szolgálnak. Erről a jelenségről a vizuális modalitásban kevés eredmény született. Az eddigi vizsgálatok többnyire absztrakt ingereket alkalmaztak a látótér közepén bemutatva. Kutatásunk során célunk a predikciós folyamatok vizuális modalitásban történő vizsgálata volt, a társas érintkezés szempontjából releváns ingerek bemutatásával. Arra a kérdésre is kerestük a választ, hogy a kezesség összefüggésben áll-e az említett folyamatokkal. A vizsgálatban 23 fő vett részt, akik egy 12 alfeladatból álló, összesen 1200 vizuális ingert (lateralizáltan bemutatott jobb/bal kézfejeket) tartalmazó feladatot végeztek. A 12 alfeladat 3 különböző kondíciót tartalmazott. Az AKTÍV kondícióban a résztvevők által jobb vagy bal kézzel indított gombnyomás hatására jelent meg az inger. A PASSZÍV kondícióban csak megfigyelték a megjelenő ingereket, míg a MOTOROS kondícióban csak gombnyomást hajtottak végre vizuális következmény nélkül. A feladatok végzése során az ingerek hatására megjelenő agyi elektromos aktivitásváltozásokat elektroencefalográfia segítségével mértük. A korábbi irodalmi adatokhoz hasonlóan, a passzívan megfigyelt ingerekhez viszonyítva a korai, 80-120 ms-os időablakban amplitúdócsökkenést tapasztaltunk az okcipitális kéreg felett a gombnyomás hatására megjelenő kézfejeknél. Ez a hatás csak a jobb kézzel indított gombnyomások esetében volt szignifikáns. A bemutatási oldaltól függetlenül nagyobb amplitúdóval járt a jobb kéz ingerek feldolgozása, illetve nagyobb amplitúdót figyeltünk meg a jobb látótérben megjelenő ingerek esetében a baloldalon megjelenőkhöz képest. Több elektródán szignifikáns korrelációt találtunk a kezesség és a bal kézfej ingerek által kiváltott eseményhez kötött potenciál amplitúdója között. Eredményeink alapján a vizuális modalitásban is kimutatható a mozgással kapcsolatos predikciós hatás, amely egy döntően jobbkezesekből álló mintán markánsabb a domináns kézzel indított mozgások esetében. Emellett kimutattuk, hogy a domináns kezet ábrázoló ingerek illetve a domináns oldali látótérben bemutatott ingerek erőteljesebb idegi aktivitást váltanak ki. Tekintve, hogy a tapasztalt hatások az okcipitális területek felett igen korán jelentkeznek, feltételezhető, hogy a kézmozgásokkal összefüggő ágencia élményéhez már a striatális/extrastriatális vizuális kérgi aktivitás modulációja is hozzájárul.

Kulcsszavak: predikciós folyamatok, előreható modell, EEG, vizuális modalitás, N1, önindított/külső inger

Plágium nyilatkozat: A plágium szabályokat ismerjük, és dolgozatunkban azokat betartottuk.

Balla Viktória Roxána, Dalos Vera Daniella, Kilencz Tünde, Szalóki Szilvia, 2014.11.24.

A predikciós folyamatok elektrofiziológiai korrelátumai a vizuális modalitásban

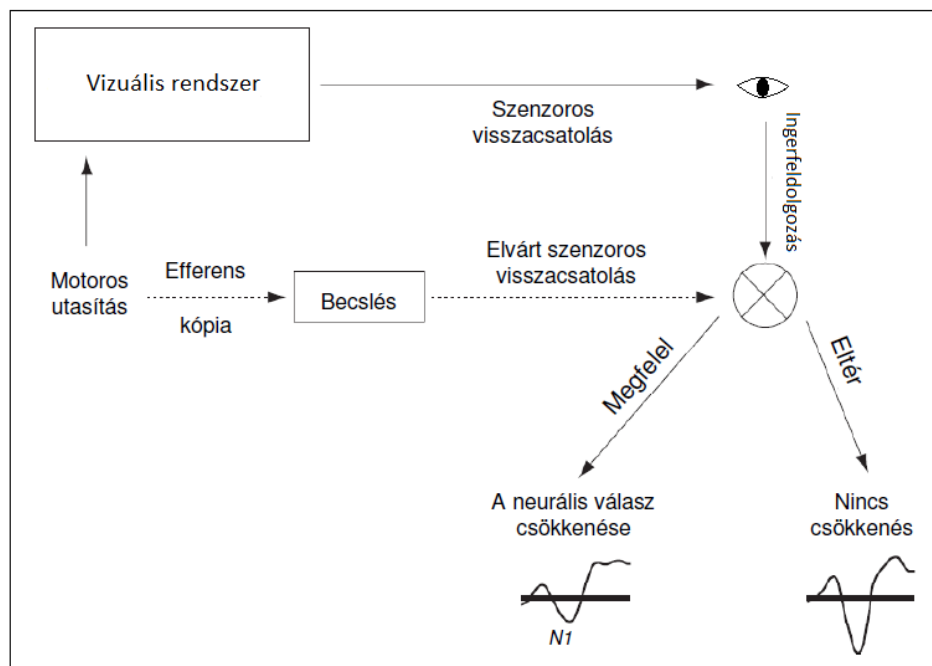
Az önészlelés képességével csak néhány faj rendelkezik, ezek közül is az emberre a legjellemzőbb. Úgy érzékeljük magunkat, mint cselekvő ágenst, aki az élményt okozza, átéli, akinek szabad akarata van (*Christoff, Cosmelli, Legrand és Thompson, 2011*). Azt gondoljuk, hogy ha például egy szobában felkapcsoljuk a villanyt, az kizárólag a saját akaratunkból történik – akkor is, ha valaki más kért meg rá. Úgy döntünk, hogy megnyomjuk a villanykapcsolót, és eközben nem lepődünk meg azon, hogy szilárd tapintású, sem azon, hogy valamely irányba megmozdul, ahogy nyomást gyakorolunk rá, sem azon, hogy a mozdulat végrehajtása közben karunk izmai is némileg megfeszülnek – jóllehet az esetek túlnyomó többségében ezen dolgok egyikét sem figyeljük meg tudatosan. Az sem okoz számunkra különösebb meglepetést, hogy a mozdulatot követően világosság borítja el a szobát – hiszen ez volt a célunk, ezt *akartuk* elérni. De valóban azért tettük ezt, mert saját szabad akaratunkból így döntöttünk, vagy csupán agyi működésünk passzív áldozatává váltunk? Vajon miért ennyire egyértelmű számunkra, hogy mindaz, ami történt, saját mozgási cselekvésünk következménye, és nem valami külső erő vagy esemény hatására következett be? Hogyan vagyunk képesek megélni magunkat, mint aktív cselekvő ágenst?

Libet, Gleason, Wright és Pearl (1983) vizsgálata megragadja az ágencia lényegét, és kísérletileg próbál választ adni arra a kérdésre, hogy az agyi tevékenység *hogyan* viszonyul egy mozdulat akaratlagos kivitelezéséhez kapcsolódó döntéshez. A vizsgálat során a résztvevők egy órát néztek a falon, és egy tetszőleges időpontban a jobb kezüket meg kellett mozdítaniuk. Ezután a résztvevőket megkérdezték, hogy hol állt az óramutató, amikor elhatározták, hogy megmozdítják a kezüket. Az eredmények szerint a résztvevők az izomtevékenység előtt átlagosan 206 ms-mal számoltak be tudatos szándékról. Ezzel szemben az agyi aktivitásban már a mozdulat megjelenése előtt hozzávetőlegesen 0,5-1 másodperccel változás mutatkozott az elektroencefalográfiával (EEG-vel) mért agyi aktivitásban. Ez a kutatás tehát az akaratlagosság élményének kialakulását helyezi középpontba, melynek kapcsán felvetődhet az a kérdés is - mely még a mai napig vitatott -, hogy milyen mechanizmusok által tudatosulnak a saját magunk által indított folyamatok (*Libet, Gleason, Wright és Pearl, 1983*). Mindazonáltal, számos szerző egyetért abban, hogy az akaratlagosság élménye szorosan összefügg az ágencia jelenségével, amely által a cselekvéseinket követő események/ingerek okozójának saját magunkat tekintjük (pl. *Haggard, 2008*). Természetesen az ágencia élménye csökkenhet, ha a mozgásunkkal összefüggő esemény előzetes tudásunk, tapasztalatunk szerint más oki tényezőhöz kapcsolható (pl. „Ha megnyomom a

villanykapcsolót, és világos lesz a szobában, azt *én* okoztam, de ha ezzel egyidejűleg villámlik, az a légköri elektromos gázkisülés eredménye.”).

Az érzékelésben saját viselkedésünk is gyakran okoz drámai változásokat (pl. ha elfordítja valaki a fejét, az akár a vizuális input teljes megváltozásához vezethet). Éppen ezért fontos, hogy különbséget tudjunk tenni saját cselekedeteink, illetve a külső környezet által okozott szenzoros változások között (Bäff, Jacobsen és Schröger, 2008). Felmerül tehát a kérdés, hogy vajon milyen mechanizmusok állnak ennek hátterében.

Erre a kérdésre elsőként egy elméleti tanulmány szolgált magyarázattal, amely azt vetette fel, hogy az akaratlagos mozgás kivitelezése során a motoros kéreg a tervezett mozgásról „másolatot” (*efferens kópiát*) küld a szenzoros kéregi területek felé, ott „járulékos kisülést” („corollary discharge”) okozva, amely lehetővé teszi, hogy cselekvéseink szenzoros következményeit be tudjuk jósolni (Wolpert, 1995). Ezt a predikciós folyamatot nevezzük *előreható modellnek* („forward model”; lásd: 1. ábra).



1. ábra: Az előreható modell a vizuális modalitásban

Az elvart visszacsatolás mellett jelen van a tényleges szenzoros visszacsatolás („reafference”) - amely a cselekvés végrehajtásának eredményeképp jön létre (Christoff és mtsai, 2011). Az *előreható modell* segítségével kétféle jóslatot tehetünk a kivitelezendő mozgás kapcsán. Egyrészt agyunk képes bejósolni, hogy milyen változások fognak történni térben (pl. milyen pályán fog mozogni a végtag) és időben (mennyi időt vesz igénybe az adott cselekvés végrehajtása) a tervezett mozgás végrehajtása közben. Ez az *előreható dinamikus modellezés* („forward dynamic model”). Másrészt képes bejósolni azt is, hogy az adott

cselekvés milyen taktilis (tapintási) észlelettel, illetve kinesztetikus (mozgási) érzettel fog jární. Ez az *előreható kimeneti modell* (“forward output model”) (Frith, 2005).

A *előreható dinamikus modell* lehetővé teszi a mozgás optimális kontrollálását is, azáltal, hogy a bejósolt elvárásokkal összhangban álló elvárt eredményt folyamatában vetjük össze a tényleges szenzoros visszacsatolás által közvetített, létrejött eredménnyel, amelynek segítségével szükség esetén korrigálni tudjuk a motoros parancsot. Az *előreható kimeneti modell* pedig többek között abban játszik szerepet, hogy képesek legyünk elkülöníteni az önmagunk által előidézett ingereket a külső forrásból érkező ingerektől. Ezt az teszi lehetővé, hogy az efferens kópia/járolékos kisülés által bejósolt szenzoros mozgási következményt (*elvárt szenzoros visszacsatolás*) (vagyis azt, hogy a mozgás következtében milyen szenzoros érzetekre számítunk) összevetjük a tényleges szenzoros visszacsatolással (Gentsch, Schütz-Bosbach, Endrass és Kathmann, 2012). Amennyiben az *elvárt szenzoros visszacsatolás* és a ténylegesen megtapasztalt szenzoros visszacsatolás megegyezik, a feldolgozásért felelős agyi terület csökkent neurális aktivitással válaszol (lásd: 1. ábra). Ezzel a csökkent mértékű neurális válasszal összefüggésben agyunk (és mi, a tudatos észlelők) az adott ingert saját maga által előidézettként (önindítottként) értelmezi (Heinks-Maldonado és mtsai, 2007).

Ez az illesztési folyamat (szenzomotoros integráció) teszi lehetővé, hogy a percepciót saját perspektívából éljük meg. „Én vagyok az, aki éppen tapasztal valamit” - tehát a szelfet aktív cselekvő, megtapasztaló ágensként éljük meg (angol “I”), nem pedig mint a percepció vagy attribúció passzív tárgyát (külső esemény passzív átélője, angol “Me”) (Christoff és mtsai, 2011). Ugyanakkor, ha az észlelési folyamatban csak afferens folyamat van jelen (efferens kópia hiányában, vagy ha az inger valóban a külvilágból ered), a neurális rendszerben nem tapasztalható csökkent aktivitás (Gentsch és mtsai, 2012). Ebben az esetben az egyén nem éli meg önmagát cselekvő ágensként, vagyis ez nem minősíthető szelf-meghatározó folyamatnak (Christoff és mtsai, 2011). Amennyiben az előreható modell nem működik megfelelően, előfordulhat, hogy az elvárt szenzoros visszacsatolás és a tényleges szenzoros visszacsatolás nem illeszkedik egymáshoz. Ekkor a neurális rendszerben szintén nem tapasztalható – az illeszkedés esetén megjelenő – csökkent aktivitás (lásd: 1. ábra). Ez arra utal, hogy a ténylegesen bekövetkező inger nem volt összhangban az efferens kópia/járolékos kisülés rendszer által létrehozott predikciókkal. Ez történik minden olyan esetben, amikor cselekvésünk során meglepődünk (pl. nem lesz világosság a szobában), amelynek következtében módosul az adott környezetről alkotott modellünk („kiégett az égő” vagy „nincs áram”), és a lehetséges okok következtében módosulnak a további predikcióink is („nem fog világítani a lámpa, amíg nem cserélek égőt vagy nem ellenőrzöm a biztosítékot”).

Ez forrásmiszattribúcióhoz vezet, azaz a magunk által keltett ingereket más, külső tényezőknek tulajdonítjuk (Gentsch és mtsai, 2012). Egyes elméletek szerint ez állhat olyan pszichopatológiák, mint a szkizofrénia vagy kényszerbetegség hátterében is (lásd később).

Predikációs folyamatok egészséges személyeknél – agyi képkeltő és elektrofiziológiai eljárások

A fenti modell vizsgálatára Blakemore, Wolpert és Frith (1998) egészséges személyeknél tanulmányozták az önindított és külsőleg generált érintési ingerre adott idegi válaszokat funkcionális mágneses rezonancia (fMRI) segítségével. Kísérletük során arra keresték a választ, hogy hogyan tér el egymástól idegi működés szintjén (1) az önindított érintési inger, (2) az önindított mozdulat érintési inger nélkül, (3) a külső forrásból (robot által generált) származó érintési inger, valamint az, ha (4) sem mozgásindítás, sem pedig érintési inger nincs jelen. Azt találták, hogy a kísérleti személyek kevésbé érezték csiklandósnak az ingert akkor, ha saját magukat kellett megérinteniük, szemben azzal, amikor egy azonos érintési inger külső forrásból származott. Nem meglepő módon minden inger aktivitásváltozást okoz a szomatoszenzoros kéregben, önindított inger esetén (szemben a külső forrásból származóval) azonban csökkent agyi aktivitásváltozást tapasztaltak a szomatoszenzoros kéregben, a kisagyban, és az anterior cinguláris kéregben. Megfigyelték, hogy a kisagyban akkor a legnagyobb az aktivitáscsökkenés, ha a személy olyan motoros cselekvést indít, amely később szenzoros (taktilis) élményt vált ki – szemben azzal, ha olyan motoros cselekvést indít, amely várhatóan nem jár taktilis érzettel. A kisagyban a legnagyobb aktiváció pedig a külsőleg generált taktilis inger esetén volt jelen. Mindez arra utalhat, hogy a kisagynak szerepe van az előre jelzett, illetve a tényleges szenzoros visszacsatolás közti különbségtételben. Amennyiben a tényleges visszacsatolás megegyezett az elvárt szenzoros visszacsatolással - tehát önindított volt az érintési inger - a kisagyi aktivitás csökkent, a szomatoszenzoros kéregben pedig nem volt kimutatható jelentősebb aktivitásváltozás (Blakemore, Wolpert és Frith, 1998). Tekintettel arra, hogy régóta ismert a kisagy központi szerepe a klasszikus kondicionálás során kialakuló inger-inger asszociációk kialakulásában (McCormick és Thompson, 1984), talán nem meglepő, hogy a fenti, mozgás-inger asszociációkhoz kötött vizsgálati elrendezésben is jelentős kisagyi aktivitásváltozásokat észleltek.

Bäb és munkatársai (2008) az előző vizsgálatától eltérően EEG segítségével vizsgálták a szenzomotoros predikációs folyamatokat. Tanulmányukban összehasonlították az önindított hangok idegi feldolgozását a külsőleg generált, de azonos hangok idegi feldolgozásával. Arra

a kérdésre keresték a választ, hogy az önindított hangokra való neurális aktivitáscsökkenés csak akkor történik-e meg, hogyha pontos ismeretünk van az inger minőségéről (frekvenciájáról), vagy a kezdetének időpontjáról. A vizsgálatban három kondíció volt: egy motoros-auditoros, egy auditoros, és egy motoros feladat. Az első szakaszban megkérték a kísérleti személyeket, hogy szabadon választott kezükkel nyomjanak meg egy gombot minden 3,5. másodpercen, és lehetőleg ne számolják, hogy a két gombnyomás között mennyi idő telik el. Ebben az alfeladatban így minden résztvevő mozgás-inger asszociációkat alakított ki, amely segítségével elvárások (szenzoros predikciók) jöttek létre a mozgásokat követő ingerekről. Az auditoros feladatban a motoros-auditoros feladat során rögzített hangokat hallgatták végig, ezúttal azonban gombnyomás nélkül. A motoros feladatban a személyeket ismét arra kérték, hogy nyomják meg a gombot 3,5 másodpercenként, ezúttal azonban nem érkezett rá auditív válasz. A hallott ingerek esetén manipulálták a hang frekvenciáját, valamint azt, hogy a gombnyomás után mennyi idővel jelentkezik. Így a következő kondíciók alakultak ki: bejósolható frekvencia bejósolható vagy kiszámíthatatlan kezdettel, illetve kiszámíthatatlan frekvencia bejósolható vagy kiszámíthatatlan kezdettel. Eredményeik szerint az N1 eseményhez kötött potenciál (EKP) amplitúdója - amely a hangingerek korai, az ingert követő 100 milliszekundum körüli kérgi feldolgozási folyamatait tükrözi –, szignifikánsan kisebb volt az önindított hangokra, mint a külsőleg generáltakra. Ez a csökkenés kisebb mértékű volt a motoros-auditoros kondícióban akkor, amikor a hangingernek kiszámíthatatlan volt a frekvenciája, tehát ha a predikciók nem voltak teljesen kongruensek a bemutatott ingerekkel (meglepetést okoztak). A csak auditoros feladatnál nem számított, hogy mennyire volt kiszámítható a frekvencia. Mivel itt nem volt jelen a hangot megelőzően motoros cselekvés, a hang által kiváltott pontenciálváltozás akkor sem csökkent, amikor a hangmagasság kiszámítható volt. A hang prezentációjának ideje (vagyis hogy a hang milyen időközönként jelentkezett) egyik esetben sem hozott szignifikáns amplitúdó változást. Ezek az eredmények alátámasztják az előreható modell mechanizmust, mely segítségével előre tudjuk jelezni motoros cselekedeteinknek szenzoros következményeit.

Baess, Horváth, Jacobsen és Schröger egy későbbi tanulmányukban (2011) azt vizsgálták, milyen neurális választ tapasztalnak, ha egy kondíción belül fordul elő az önindított és külső forrásból származó inger is. Erre azért volt szükség, mert korábbi kutatásokban (*Bäβ és mtsai, 2008; Blakemore és mtsai, 1998*) az ingerek mindig elkülönítve jelentek meg, így a kísérleti személyek figyelme is másképp oszlott el. Ez olyan hatással lehet az N1 amplitúdó elnyomásra (*szuppresszióra*), mely nem feltétlenül a valóságot tükrözi. A feltételezett figyelem-megosztási hatás kiküszöbölésére létrehoztak egy olyan kombinált

feltételt, ahol az önindított ingerek között véletlenszerűen elhelyezett külső forrásból származó hangok szerepeltek. Kontrollfeltételes felépítésben két kondíciót alkalmaztak (aktív és passzív) két feltétellel (hagyományos és kombinált) párosítva. Az aktív kondícióban a kísérleti személyeknek egy gombnyomással kellett a hangingert indítani, a passzív kondícióban pedig az előzőleg rögzített hanganyagot játszották le a résztvevőknek, de itt nem kellett gombot nyomniuk. Egy ötödik, motoros kondíciót is bevezettek, hogy kiszűrjék az aktív és passzív kondíciók közötti motoros aktivitásból adódó különbséget. Itt a kísérleti személyek feladata egyedül a gomb lenyomása volt a vizsgálat elején meghatározott (5 másodperc) időintervallumon belül, de semmilyen auditív választ nem kaptak. Eredményeik szerint az önindított hangokra az aktív kondícióban egyértelmű N1 szuppresszió volt megfigyelhető a passzívban lejátszott saját hangokhoz képest. Tehát ez azt jelenti, hogy az N1 hullám lényegesen kisebb amplitúdóval jött létre abban az esetben, ha a személyek aktív előidézői voltak a hangoknak, mint ha ugyanezeket a hangokat passzívan hallgatták. Ez igaz volt mind a hagyományos, mind a kombinált feltételben is. Az N1 szuppresszió mértéke azonban még nagyobb volt a kombinált feltétel alkalmazásával, mint a hagyományos elrendezésekben (Baess, Horváth, Jacobsen és Schröger, 2011). Az e fejezetben ismertetett vizsgálatok tehát egyértelműen rámutatnak arra, hogy a cselekvéseinkhez kapcsolt predikciós folyamatok több modalitásban is kimutathatók, az ingerek feldolgozása során időben korán jelentkeznek, és feltehetően már az unimodálisnak tekintett szenzoros kérgi területeken megnyilvánulnak.

Predikciós folyamatok pszichopatológiákban

Frith (2005) elmélete szerint a szkizofréniában jelentkező hallucinációk és delúziók (téveszmék) hátterében a szenzoros predikciós folyamatok (vagyis az *előreható modellezés*) diszfunkciója állhat. Elméletében abból indul ki, hogy szkizofréniára jellemző hallucinációk és delúziók többségének közös jellemzője, hogy a hátterükben önészlelési zavar áll, vagyis a beteg abnormálisan észleli a saját cselekedeteit (pl. ennek köszönhetően úgy érzi, hogy azt valami külső erő hatására cselekszi), csökken tehát az ágencia élménye. A hallucinációk és delúziók hátterében az előreható modell mindkét komponensének diszfunkciója szerepet játszhat.

Az *előreható kimeneti modell* sérülését támasztják alá azok a kutatások, melyek középpontjában annak a vizsgálata áll, hogy egészségesek és szkizofrén betegek hogyan dolgozzák fel agyi és viselkedéses szinten az önmaguk által keltett ingereket szemben a külvilági ingerekkel. Blakemore és munkatársai (1998) tanulmányukban taktilis (érintési) ingerek szubjektív észlelését vizsgálták egészséges személyeknél, bipoláris vagy depressziós,

illetve szkizofrén betegeknel. A patológiás csoportokat két részre osztották aszerint, hogy az utóbbi hat hétben éltek-e át a betegek auditoros hallucinációt vagy passzivitás jelenség („passivity phenomenon”) élményt. A kísérlet során a vizsgálati személy bal tenyerének taktilis ingerlése történt egy eszköz segítségével, amit vagy ő maga hajtott végre saját jobb kezével, vagy pedig a vizsgálatvezető. A személyeknek 0-10-es skálákon kellett értékelniük, hogy az adott ingert mennyire érezték intenzívnek, kellemesnek, irritálónak, fájdalmasnak, illetve csiklandósnak. Eredményeik alapján az egészséges, valamint az említett tünetekkel nem rendelkező beteg csoportok egyaránt kevésbé érezték intenzívnek és kellemesnek a saját maguk által keltett stimulust, mint külső forrásból érkezőt. Ezzel szemben azok a betegek, akiknél jelentkezett auditoros hallucináció és/vagy passzivitásérzet, nem tapasztaltak eltérést a taktilis kondíciók között intenzitás és kellemesség tekintetében: vagyis ugyanannyira érezték intenzívnek és kellemesnek a tenyerükre gyakorolt ingerlést abban az esetben, ha azt ők saját maguknak idézték elő, mint ha a kísérletvezető keltette volna. Ez azon túl, hogy az előreható kimeneti modell deficitjét jelzi, arra is utal, hogy ez sokkal inkább köthető az auditoros hallucinációk és/vagy passzivitásérzet meglétéhez, mint magához a szkizofréniához.

Heinks-Maldonado és munkatársai (2007) kutatásukban az önindított és külső forrásból származó hangingeretek idegi feldolgozását vizsgálták EEG segítségével szkizofrén és egészséges személyeknél. A szkizofrén csoportot utólag „hallucináló” és „nem hallucináló” csoportokra bontották annak mentén, hogy a személyek az utóbbi négy hétben éltek-e át hallucinációkat. A résztvevők a beszédprodukciós szakaszban nagyjából 5 másodpercenként egy rövid „ah” hangot vokalizáltak, amihez a szenzoros visszacsatolás egy fülhallgatón keresztül érkezett. Ez a visszacsatolás lehetett (1) a személy eredeti hangja, (2) a személy eredeti hangja módosított hangmagassággal, (3) egy idegen hangja, vagy (4) egy idegen hangja módosított hangmagassággal. A személynek minden hang után gombnyomással döntést kellett hoznia, hogy a hang, amit visszahallott, a sajátja-e vagy másé. A passzív hallgatás kondícióban a korábbi feedbackokról készített felvételt kellett a személyeknek hallgatni (vokalizálás nélkül), és ezekről szintén döntést hozni. Míg egészséges személyeknél a vártak megfelelően legnagyobb N1 szuppresszió az aktív vokalizációs kondícióban saját hangra történt, addig a hallucináló szkizofréneknél a beszéd közbeni auditoros kérgi válasz nem tért el a saját és idegen hangok esetén. Ennél a csoportnál is jelen volt ugyan az N1 szuppresszió az aktív vokalizációs kondícióban a passzív hallgatáshoz képest, azonban ez az eltérés sem normál szintű. A nem hallucináló szkizofrén csoportnál az eredmények sokkal diffúzabbak voltak, ám ha a két szkizofrén csoportot egyesítve vizsgálták, azt találták, hogy az N1 elnyomás erőssége korrelál a hallucinációk súlyosságával és a miszattribúciós

(rendellenes forrásmonitorozással összefüggő) hibákkal. Az az eredmény (amely egyaránt jelentkezett neurális és viselkedési szinten), miszerint a hallucináló betegek egyformán követnek el miszattribúciós hibát beszédprodukció és passzív hallgatás közben, azt feltételezi, hogy nem csak az efferens kópia, hanem sokkal inkább a járulékos kisülés deficite áll a jelenség hátterében. Jones és munkatársai (2007) szintén hasonló elrendezésben vizsgált kutatásukban azt találták, hogy a szkizofrén betegek többet hibáznak akkor, ha aktív vokalizáció közben a saját hangjukat hallják vissza, míg egészségesek akkor ejtettek több miszattribúciós hibát, mikor ugyanebben a helyzetben idegen hangot hallottak vissza (Jones és Fernyhough, 2007).

Tekintettel arra, hogy a nyelvi deficit igen jelentős szkizofréniában, nem meglepő, hogy szkizofrén betegek esetében gyakran megfigyelhető az anatómiai szempontból normális agyi aszimmetria elvesztése, ami valószínűleg a lateralizált funkcionális specializáció csökkenéséhez vezet. A féltekei dominancia egyik manifesztációja a kezesség, valamint a nyelvi lateralizáció. Jellemzően a jobbkezes személyek 96%-ánál bal féltekei nyelvi dominancia figyelhető meg, azaz a nyelvi folyamatokért felelős agyi területek nagy része is ezen a hemiszfériumon található. Szkizofréniás betegeknél az aszimmetria (ezzel együtt a féltekei dominancia) hiányából adódóan ezért viszonylag gyakran előfordul kétezesesség, illetve jobb-bal tévesztés, ez pedig szignifikánsan kötődik a formális gondolkodás és a nyelv diszfunkciójához (Crow, 1997). Crow (1997) szerint mivel a nyelv specifikus emberi készség, ami a féltekei lateralizáció során alakul ki, a szkizofréniára jellemző tünetek (főként a pozitív tünettan) a beszédmegértés és a beszédszervezés eltéréseiként is értelmezhetőek, míg maga a szkizofréniát pedig a nyelvi funkciók rendellenességének tekinthetjük. Amennyiben a fenti érvelést elfogadjuk, joggal merülhet fel a kérdés, hogy a hallucinációk és téveszmék szempontjából oly fontos, az előreható kimeneti modellel összefüggő szenzoros predikciós folyamatokat illetően tapasztalható-e esetleg agyféltekei lateralizációs hatás a betegpopulációban.

Obszesszív-kompulzív zavarban szenvedő betegek (kényszerbetegek) esetében jellemző, hogy egy adott cselekvés elvégzése után nem tapasztalják meg a befejezettség érzetét, ezért újra meg újra kényszeresen végrehajtják azt (például ellenőrzik, hogy bezárták-e az ajtót), hogy megbizonyosodjanak arról, hogy a tevékenységet valóban véghezvitték. A kényszeres tünetek hátterében állhat a megváltozott ágens érzet, amelynek következtében a betegek az önindított cselekvéseket ugyanúgy érzékelik, mintha a külső környezetből származnának, ez pedig befejezetlenség, tökéletlenség érzését kelti bennük (Gentsch és mtsai, 2012).

Gentsch és munkatársai (2012) ezt a jelenséget kísérletesen igazolták: vizsgálatuk során a résztvevőknek egy feladatot három különböző kondícióban kellett végrehajtaniuk. Az egyik esetben (Motor-Effect Task) az volt a feladatuk, hogy a jobb vagy a baloldali billentyűt nyomják le a '#' vagy a '+' ingerek megjelenésekor, melynek hatására egy piros vagy egy kék négyzet jelent meg a képernyőn. A gombnyomás és a megjelenő négyzet színe közötti kongruencia magas vagy alacsony volt: 'magas' kondícióban 75 %-ban követte az adott gombnyomást ugyanolyan színű négyzet, 25 %-ban pedig a másik szín követte; 'alacsony' kondícióban 50-50 % volt a valószínűsége annak, hogy piros vagy kék négyzet követi az adott gombnyomást. A második kondícióban (Effect-only Task) a vizsgálati személyek passzívan figyelték az ingereket követően megjelenő négyzeteket, közben nem nyomhatták meg a gombokat. A harmadik esetben (Motor-only Task) csak az ingereknek megfelelő gombnyomást kellett végrehajtaniuk úgy, hogy a cselekvést nem követte egyik négyzet megjelenése sem. Eredményeik alapján, míg az egészséges személyek esetén az ingert követő 120ms környékén nagyobb potenciálváltozás jelentkezett a vizuális kéreg felett a környezetből érkező ingerekre valamint a nem bejósolható, váratlan ingerekre (az önindított illetve bejósolható ingerekkel szemben), addig ez a potenciálváltozásbeli eltérés kényszerbetegeknél egyik esetben sem jelentkezett.

Vizsgálatok a vizuális modalitásban

Ahogy korábban már említettük, az auditoros és taktilis modalitásban már több kutatás született a predikciós folyamatok kapcsán (egészséges és patológiás személyeknél egyaránt). A vizuális modalitás tekintetében azonban még nem sok ilyen vizsgálattal találkozhatunk. Ez alól az egyik kivétel *Gentsch* és munkatársainak (2012) korábban említett vizsgálata. Eredményeik alapján megállapítható, hogy az intakt ágencia érzet vizuális modalitás esetén is megmutatkozik a külső/nem kiszámítható ingerek következtében létrejövő nagyobb agyi aktivitásváltozásban az önindított/kiszámítható ingerek által kiváltott kisebb mértékű aktivitásváltozáshoz képest. *Stefanics* és *Czigler* (2012) ezzel a jelenséggel kapcsolatban úgy fogalmaz, hogy az emberi agy képes detektálni egészen kis mértékű vizuális változásokat is, különösen akkor, ha azok ellent mondanak a korábbi tapasztalatainkon alapuló elvárásainknak. Az automatikus változás-detekció agyi indikátora a *vizuális eltérési negativitás* (VMMN – visual mismatch negativity), ami a vizuális mezőben történő változás hatására megjelenő negatív irányú potenciálváltozás. Az *eltérési negativitás* és a bejósolható ingerek által kiváltott potenciálváltozás közti különbség *predikciós hibajelként* értelmezhető.

Stefanics és Czigler (2012) kísérlete során a vizsgálati személyeknek egy fixációs keresztet kellett nézniük, és a kereszt megváltozására minél gyorsabb gombnyomással válaszolniuk. Eközben a periférián négy darab kéz képe jelent meg. Ezek a kezek eleinte egyformák voltak (pl. csak bal kéz), és síkban elforgatva egymáshoz képest 45°-kal jelentek meg. Megfigyelték, hogy abban az esetben, ha a korábbi, ismételt tapasztalataiktól eltérő vizuális inger jelent meg (valamelyik kéz megváltozott), az a gombnyomás reakcióidejének növekedésével járt, amit a *predikciós hibajel* egyidejű növekedése kísért. Ez alapján arra következtettek, hogy egyforma kézfejek képének ismételt megjelenésekor a személyek tudattalan elvárást alakítottak ki arra vonatkozóan, hogy újra az adott kézfej fog megjelenni, akkor is, ha az eltérő mértékben van elforgatva, és ez az elvárás sérül az inger váratlan megváltozásakor. A szerzők megfigyelték továbbá, hogy meglepően nagy eltérés mutatkozik a domináns és nem-domináns kezek neurális feldolgozásában. Abban az esetben, ha kézfej megváltozása nem volt bejósolható, a domináns (jobb) kéz feldolgozása időben tovább tartott, és a feldolgozáshoz kötődő *predikciós hibajelek* megjelentek a kontralaterális hemiszférium felső parietális, alsó frontális, középső temporális és középső frontális kérgi területein. Ezzel szemben a nem bejósolható bal kéz által kiváltott aktivitás leginkább a kontralaterális felső parietális kéregben jelentkezett. Ezen túl a domináns kéz feldolgozása kapcsán aktivitást figyeltek meg a Broca területen, ami az akaratlagos kézmozdulatok szabályozásában is involvált (*Uozumi*, 2004). Vizsgálataik során kizárólag a nem bejósolható domináns kéz váltott ki potenciálváltozást a bal hemiszfériumban a premotoros kéregben, a Broca területen, melyből arra következtettek, hogy az észlelt kéz milyenségének premotoros területhez köthető automatikus feltérképezése csak a megfigyelő domináns kezének észlelése esetében történik meg. Mivel kezeinket általában az azonos oldalon észleljük, és csak ritkább esetben kerülnek az ellenkező oldali látótérbe, ezért a domináns kéz képe által létrehozott vizuális ingert valószínűleg akkor is a kontralaterális félteke dolgozza fel, ha a kéz ipszilaterálisan jelenik meg. Ez alapján feltételezhetjük, hogy létezik egy a jobb kéz automatikus feltérképezésre szolgáló lateralizált mechanizmus a premotoros kéregben, amely arra szolgál, hogy feldolgozzuk a domináns kézzel saját magunk által végrehajtott és megfigyelt cselekvéseket (*Stefanics és Czigler*, 2012).

A kutatás célja és hipotéziseink

Kutatásunk célja az előreható modell vizsgálata vizuális modalitásban. Arra a kérdésre kerestük a választ, hogy vizuális modalitásban megjelenő ingerek esetén milyen különbségek mutatkoznak az agyi aktivitásban aközött, ha egy motoros cselekvés következményeként

jelennek meg az ingerek (önindított inger), és ha csak passzív nézői vagyunk az ingereknek (külső forrásból származó inger). Vizsgálatunk során ingerként kézfejeket alkalmaztunk, mivel látórendszerünk kifejezetten érzékeny a társas érintkezés szempontjából releváns ingerekre. Ahogy a korábbi kutatásokból kiderül, hogy a kézfejek feldolgozása nagyban eltér domináns és nem domináns kézfejek esetén. Ezt figyelembe véve, valamint, hogy szkizofrén betegek esetén az előreható modell sérülése és az agyi lateralizált feldolgozás (dominancia) hiánya egyaránt megfigyelhető, jelenlegi kutatásunk során lateralizált ingerekkel dolgozunk, amit önindított inger esetén egyaránt generálhat a domináns vagy a nem domináns kéz. Ez lehetővé teszi számunkra, hogy külön vizsgáljuk a domináns és szubdomináns kézzel indított mozgások következtében létrejövő kongruens vagy nem kongruens vizuális ingerek feldolgozásához köthető agyi potenciálváltozásokat. Valamint az inger lateralizált bemutatásának köszönhetően lehetőségünk van a domináns és szubdomináns féltekéhez kapcsolt szenzoros folyamatok közötti eltérések vizsgálatára is.

Feltételezéseink szerint az előreható modellből adódóan az önmagunk által generált ingerek feldolgozása kisebb agyi aktivitásváltozást idéz elő a látókérgi területek felett, mint a külső forrásból érkező ingerek feldolgozása. Vagyis nagyobb agyi aktivitással jár, ha a személyek csak nézik a képernyőn megjelenő ingereket, mint amikor az inger saját mozgásuk következtében (gombnyomásra) jelenik meg.

Továbbá a domináns kéz nagyobb fokú monitorozása miatt ezek a predikciós hatások várhatóan erőteljesebbek lesznek a domináns kézzel kivitelezett mozgások esetén. Vagyis az önindított mozgás következtében megjelenő szenzoros feldolgozást kísérő aktivitáscsökkenés jelentősebb lesz abban az esetben, amikor a személy a domináns kezével indítja a mozgást, mint amikor a szubdomináns kézzel.

Ezzel együtt azt várjuk, hogy a predikciós hatások mértéke korrelál a résztvevők kezességi lateralizációjának mértékével. Feltehetően minél inkább szélsőségesen jobb- vagy balkezes valaki, annál nagyobb predikciós hatást fog mutatni a domináns kézzel indított mozgás esetén.

Ezen túl feltételezzük, hogy a predikció következtében megjelenő aktivációscsökkenés nagyobb lesz abban az esetben, amikor a vizuális ingerként megjelenő kézfej kongruens a mozgást indító kézfejjel, míg ehhez képest inkongruensen megjelenő kézfej esetén kevésbé markáns aktivációscsökkenés jelentkezik (vagyis ezt a személyek váratlanabb ingerként dolgozzák fel).

További feltételezésünk, hogy a predikciós hatások nagyobbak lesznek abban az esetben, amikor a képernyőn megjelenő inger a mozgást indító agyféltekével erősebben összefüggő (vagyis a mozgással azonos oldali) látótérben jelenik meg.

Módszerek

Résztvevők

A vizsgálatban önkéntes alapon összesen 23, 19-36 év közötti személy vett részt (átlag életkor: 24 év, szórás: 4,17 év, 16 nő és 7 férfi). Kényelmi mintavételt alkalmaztunk, a résztvevők elsősorban a Szegedi Tudományegyetem hallgatói közül kerültek ki. A vizsgálati személyek közül 20 fő jobbkezes, 2 fő balkezes, 1 fő pedig kétkezes. Minden résztvevővel informált beleegyezési nyilatkozatot íratunk alá (lásd: 1. melléklet), a kísérletben való részvétel előtt megfelelő tájékoztatást kaptak a vizsgálat menetéről. Minden vizsgálati személy betöltötte a 18. életévét, nem szenvedtek neurológiai vagy pszichiátriai zavarban, szervezetükben nem volt jelen semmilyen idegrendszerre ható gyógyszer, ép vagy korrigált látással rendelkeztek, illetve kipihten érkeztek a vizsgálatra. A vizsgálat végén 1500 Ft anyagi ellenszolgáltatásban részesültek. Az etikai előírásokat a vizsgálat során betartottuk.

Eszközök

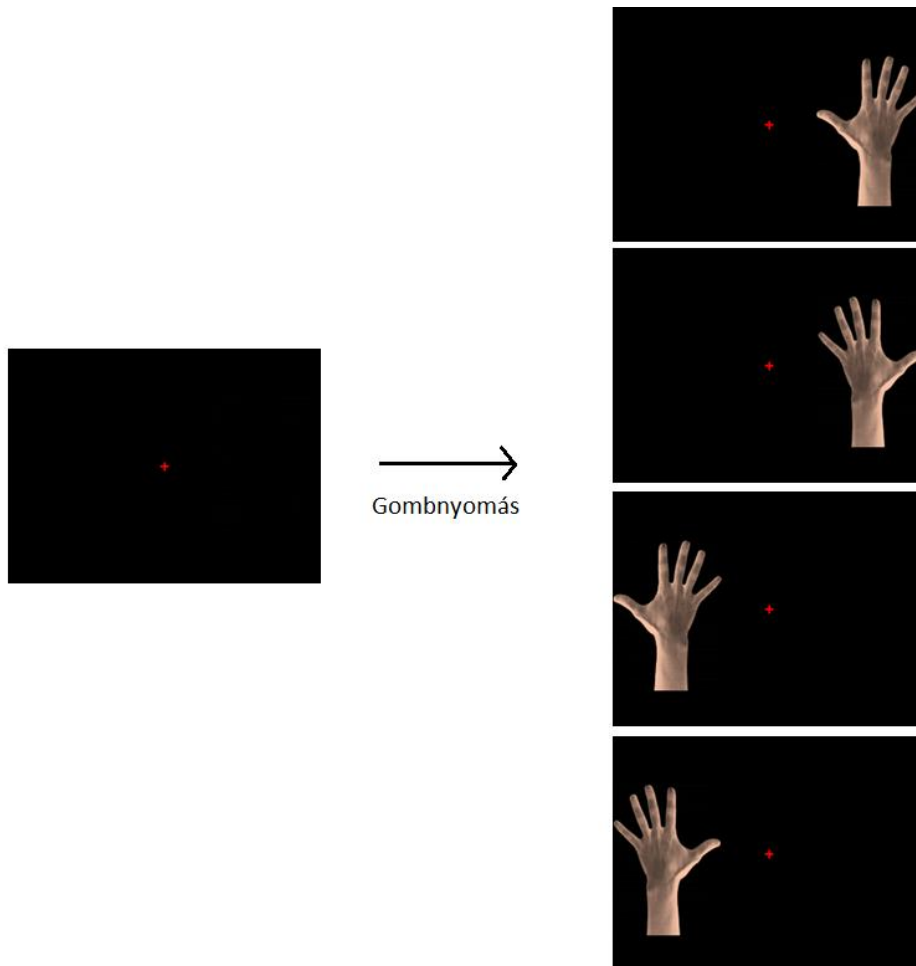
A 32 elektródából (Fp1, AF3, F7, F3, FC1, FC5, T7, C3, CP1, CP5, P7, P3, Pz, PO3, O1, Oz, O2, PO4, P4, P8, CP6, CP2, C4, T8, FC6, FC2, F4, F8, AF4, Fp2, Fz, Cz) érkező EEG adat folyamatos rögzítésre került, BioSemi (BioSemi B. V., Amszterdam, Hollandia) EEG készülék és a hozzátartozó szoftver segítségével. Az adatrögzítés 1024 Hz-en történt, az EEG adatot frekvenciaszűrők nélkül rögzítettük. Az elektródák elhelyezése a skalpra a nemzetközi 10-20-as rendszernek megfelelően történt egy megfelelő méretű BioSemi EEG sapka segítségével. A mérés során CMS és DRL referenciaelektródákat helyeztünk el a koponyatetőn, a centrális elektródák környékén.

A szemmozgások monitorozása és a pislogások kiszűrése érdekében két további elektróda (EXG1 és EXG2) került a külső szemzugok közelébe (horizontális electrooculogram; HEOG).

Az ingerek bemutatása E-prime 1.1 program (Psychology Software Tools, Inc., Sharpsburg, Pennsylvania, USA) segítségével, egy 19"-os LCD monitoron történt, ingerként

pedig jobb és bal kézfejeket alkalmaztunk. A kísérlet során három különböző kondíció volt: AKTÍV, MOTOROS és PASSZÍV, minden kondíció több alfeladatot tartalmazott.

Az AKTÍV kondíciónál a vizsgálati személyeknek mindvégig a képernyő közepén levő, $0,8^\circ$ méretű fixációs keresztet kellett nézniük, miközben körülbelül két másodpercenként meg kellett nyomniuk a SPACE billentyűt, melynek hatására jobb vagy bal kézfejek jelentek meg a periférián (jobb vagy bal oldalon) 300 milliszekundumig (lásd: 2. ábra).



2. ábra: Az AKTÍV kondícióban bemutatott ingerek

A kézfejek mediális széle a képernyő közepétől $4,5^\circ$ -ra helyezkedett el, az ingerek mérete $10,5^\circ \times 12^\circ$ volt. A résztvevők a feladatokat gyakorló blokkal kezdték, amelyben visszajelzést kaptak a gombnyomásaik gyorsaságáról. A feladat közben már nem kaptak ilyen visszajelzést. Továbbá megkértük őket, hogy kerüljék a gombnyomások között eltelt idő számlálását. Az aktív kondíció 6 alfeladatot tartalmazott, amelyek abban tértek el egymástól, hogy a résztvevők jobb vagy bal kézzel nyomták le a SPACE billentyűt, hogy melyik térfélen jelent meg az inger, illetve hogy jobb vagy bal kézfej jelent-e meg a képernyőn.

A MOTOROS kondíciónál a résztvevőknek szintén a képernyő közepén levő fixációs keresztet kellett nézniük, és a SPACE gombot lenyomniuk körülbelül két másodpercenként,

viszont a gombnyomást nem követte ingermegjelenés. Az AKTÍV kondícióhoz hasonlóan a feladat elkezdése előtt itt is volt egy gyakorló blokk. Ez a kondíció két alfeladatot tartalmazott, amelyek abban tértek el egymástól, hogy melyik kezükkel nyomták le a billentyűt.

A PASSZÍV kondícióban a vizsgálati személyek feladata abból állt, hogy a képernyő közepén levő fixációs keresztet kellett nézniük, miközben a periférián kézfejek jelentek meg 1700-3500 ms között random időközönként. Ebben a kondícióban nem kellett gombot nyomniuk. Ez esetben 4 alfeladatot hoztunk létre, melyek az inger típusában (jobb vagy bal kéz) és megjelenésének helyében (jobb vagy bal látótér) tértek el egymástól.

Ebből kifolyólag a vizsgálat összesen 12 alfeladatból állt: (1) aktív jobb kézzel, jobb kézfej jobb oldali látótérben, (2) aktív jobb kézzel, jobb kézfej bal oldali látótérben, (3) aktív jobb kézzel, bal kézfej bal oldali látótérben, (4) aktív bal kézzel, bal kézfej bal oldali látótérben, (5) aktív bal kézzel, bal kézfej jobb oldali látótérben, (6) aktív bal kézzel, jobb kézfej jobb oldali látótérben, (7) motoros jobb kézzel, (8) motoros bal kézzel, (9) passzív jobb kézfej jobb oldali látótérben, (10) passzív jobb kézfej bal oldali látótérben, (11) passzív bal kézfej bal oldali látótérben és (12) passzív bal kézfej jobb oldali látótérben. Minden alfeladatban 100 inger, azaz a vizsgálat alatt összesen 1200 inger került bemutatásra. Egy alfeladat hozzávetőlegesen 6 percre tartott, a résztvevők az alfeladatok között pihenhettek. A fáradási és tanulási hatás kiküszöböléséhez az alfeladatok sorrendje ki volt egyenlítve a résztvevők között. A kezesség, illetve a féltekei dominancia felmérésére Edinburgh Handedness Inventory-t vettünk fel (Oldfield, 1971).

Eljárás

A vizsgálatok a Szegedi Tudományegyetem Pszichológiai Intézetének Grastyán Endre EEG laborjában zajlottak. A vizsgálati személyek először megfelelő tájékoztatást kaptak a kísérlet menetéről, majd beleegyező nyilatkozatot írtak alá. Az EEG és az EOG felhelyezése után minden résztvevőnél random sorrendben indítottuk el a feladatokat. A vizsgálati személyek egy kényelmes székben ültek, a képernyőtől 57 cm távolságra ültek, sötét, hangszigetelt szobában, melyet csak a monitor világított meg. A személyeket infrakamerán keresztül figyeltük, és mikrofonon keresztül kommunikáltunk velük, így tudták jelezni egy-egy feladat végét.

Az AKTÍV és a MOTOROS kondícióban a túl nagy motoros cselekvés, és az ezáltal keletkező műtermékek kiküszöbölésére megkértük a vizsgálati személyeket, hogy a SPACE lenyomásánál négy ujjukat tartsák a billentyűn, és minél kisebb mozdulatokat tegyenek.

A kísérlet felénél rövid (5-10 perc) szünetet tartottunk, mialatt a kezességi tesztet is felvettük és szellőztettünk a szobában. A vizsgálat összesen körülbelül két órát vett igénybe.

Adatelemzés

Az EEG adatok elemzését a MatLab R2013a szoftveren futó EEGlab program segítségével végeztük (*Delorme és Makeig, 2004*). Az adatokon először 1 Hz-es felül áteresztő frekvenciaszűrést hajtottunk végre, és közös átlag referenciát állítottunk be. Minden adat esetében az inger megjelenése előtti 100 ms-tól az inger utáni 600 ms-ig tartó intervallumokat elemeztük, ilyen módon az adatokat szakaszokra (epochokra) bontottuk. A mozgással és alapvonal eltolódással kapcsolatos műtermékeket személyenként és alfeladatonként manuálisan távolítottuk el. A pislogások, és az oldalirányú szemmozgások kiszűrését az Fp1, Fp2-es és az EXG1, EXG2-es elektródák segítségével végeztük. A pislogással kapcsolatos műtermékeket független komponens elemzéssel (independent component analysis, ICA) távolítottuk el, a műtermék skalpeloszlásának és időbeli lefutásának figyelembevételével, míg azokat az epochokat, amelyek esetében a horizontális csatornákon oldalirányú szemmozgást észleltünk, kivettük az elemzésből. Ezáltal biztosítottuk, hogy az elemzett EEG szakaszok a látótér perifériáján megjelenő kézfej-ingerek feldolgozásával kapcsolatosak. Végül, az EEG epochokat személyenként és alfeladatonként átlagoltuk, ez által létrehozván az eseményhez kötött potenciálokat.

Annak érdekében, hogy az aktív kondícióban megjelenő mozgás hatását kontrollálni tudjuk, az aktívból kivontuk a motoros kondíciót, hogy az összehasonlíthatóvá váljon a passzív kondícióval. Ennek megfelelően két hullámot jelenítettünk meg (aktív-motor és passzív). Tekintettel arra, hogy a korai vizuális kéreg aktivitásváltozására voltunk kíváncsiak, az inger bemutatását követően mintegy 70-120 milliszekundummal megjelenő okcipitális negativitás (N1 komponens) amplitúdóját és csúcslatenciáját mértük le az O1, O2, Oz, PO3 és PO4 elektródákon, és használtuk fel a későbbi statisztikai elemzéshez (SPSS 15.0).

Statisztikai elemzés

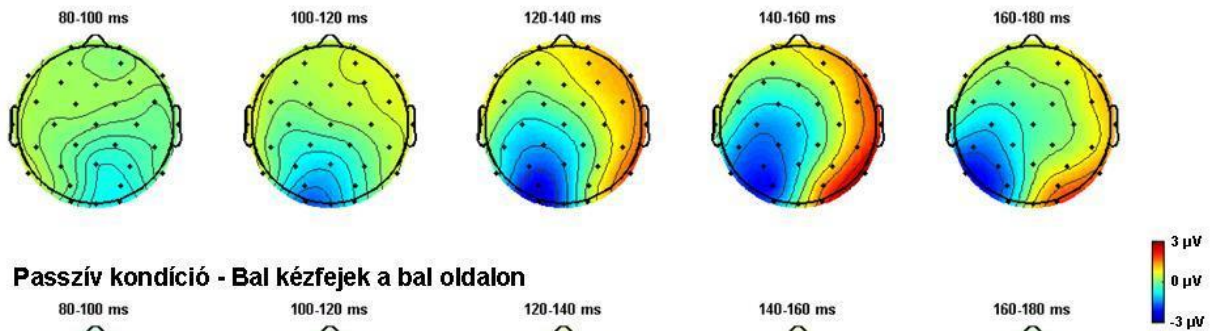
Mind az amplitúdó, mind a latencia elemzéséhez ismételt-mérési varianciaanalízist alkalmaztunk, ahol a KONDÍCIÓ (passzív, aktív jobb/bal kézzel), az INGER (jobb/bal kézfej jobb/bal látótérben) és az ELEKTRÓDA (Oz/O1/O2/PO3/PO4) összefüggő mintás változók voltak. Mivel a jobb és bal kezes aktív kondíciókban nem teljesen ugyanazon ingerek kerültek bemutatásra, és csak a passzív kondícióban használtuk mind a négy ingertípust, külön statisztikában került összevetésre a passzív vs. (aktív jobb kézzel - motoros jobb kézzel) és a

passzív vs. (aktív bal kézzel - motoros bal kézzel) kondíciók. Mivel az INGER változó esetében szisztematikusan csökkent a mozgást végző kézzel és a szenzoros feldolgozásért felelős agyféltekével kapcsolatos kongruencia (pl. aktív jobb kézzel kondícióban: jobb kézfej jobb oldali látótérben (*kongruens kézfej, kongruens látótér*), jobb kézfej bal oldali látótérben (*kongruens kézfej, inkongruens látótér*) és bal kézfej bal oldali látótérben (*inkongruens kézfej, kongruens látótér*), a főhatás mellett tervezett hipotézisvezérelt kontrasztot is beállítottunk abból a megfontolásból, hogy a kongruens kézfejekre lesz a legnagyobb a predikciós hatás, míg a bemutatás oldala kisebb jelentőséggel fog bírni. Az ELEKTRÓDA faktor esetében pedig az O1/O2 és PO3/PO4 elektródapárok esetében állítottunk be hipotézisvezérelt kontrasztot, ugyanis nagyobb amplitúdókat és nagyobb predikciós hatásokat feltételeztünk a bemutatás oldalával ellenoldali elektródák esetén. A szignifikanciaszintet 0,05-nek tekintettük, a szfericitás megsértése esetén Greenhouse-Geisser módszer által korrigált értékeket vettük figyelembe. A mért amplitúdók kezességi teszt eredményével való korrelációjához Pearson-féle korrelációs együtthatót számoltunk.

Eredmények

A várakozásoknak megfelelően, a jobb látótérben bemutatott ingerek a bal okcipitális, míg a bal látótéri ingerek a jobb okcipitális elektródáknál okoztak korai, 80-120 milliszekundum között megjelenő negativitást (3. ábra).

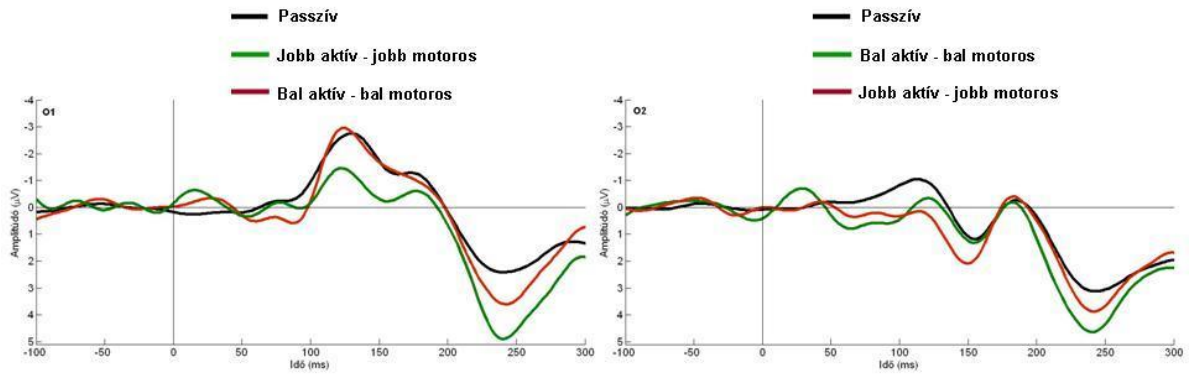
Passzív kondíció - Jobb kézfejek a jobb oldalon



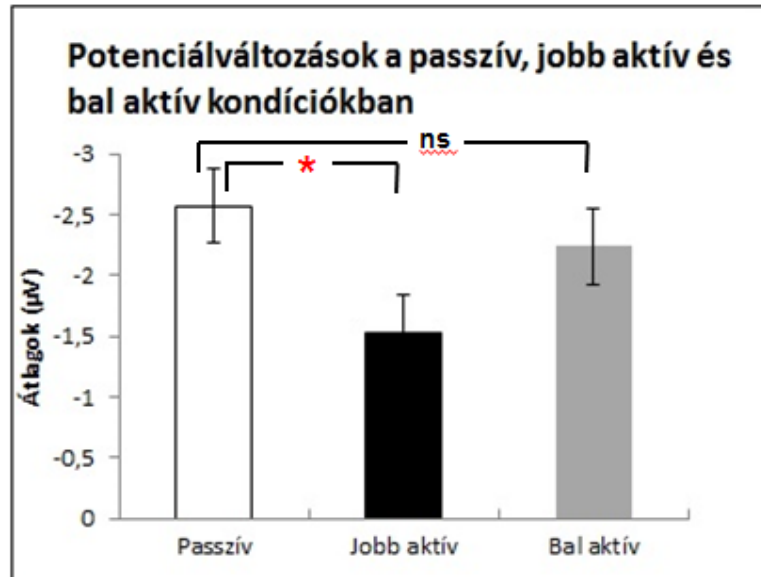
3. ábra: A korai N1 skalposzlása a PASSÍV feltételben a jobb oldali látótérben megjelenő jobb kézfejekre (felső sor) és a bal oldali látótérben megjelenő bal kézfejekre (alsó sor). Jól kivehető az N1 látótértől függő lateralizációja, valamint az, hogy kisebb amplitúdó jelentkezik a bal kézfej ingerekre, ami a jobb (domináns) kézfejek kiemelt feldolgozásával függhet össze.

N1 amplitúdó - passzív és jobb aktív kondíciók összevetése

A passzív és a jobb kézzel való gombnyomásos kondíciók összevetése esetében szignifikáns KONDÍCIÓ főhatást találtunk: az aktív kondícióban amplitúdócsökkenés figyelhető meg a passzívhoz képest ($F(1, 19) = 14,085$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,426$). Ez arra utal, hogy jelen van predikciós hatás, tehát a résztvevők a saját maguk által kiváltott ingereket bejósolhatóbbnak élték meg - N1 szuppresszió volt megfigyelhető -, mint amikor csak passzívan nézték az ingereket (lásd: 4. és 5. ábra).



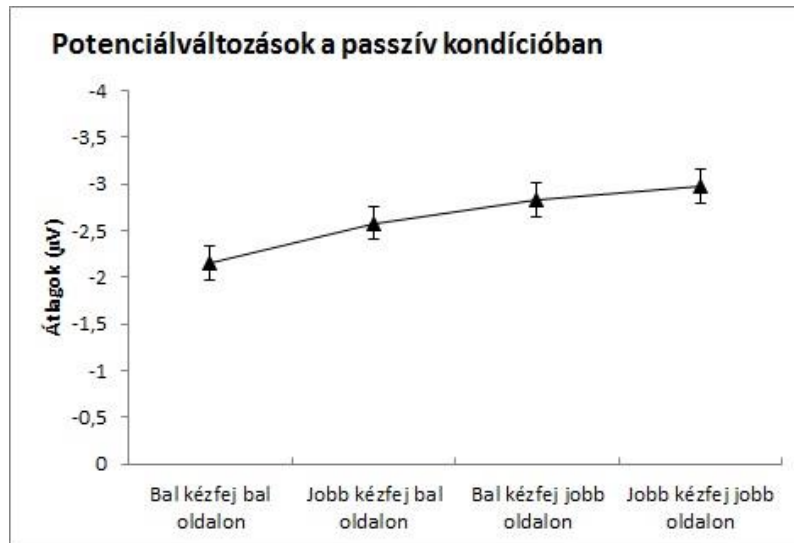
4. ábra: Predikációs hatások a jobb látótérben megjelenő jobb kéz (bal oldali ábra) és a bal látótérben megjelenő bal kéz (jobb oldali ábra) esetén. Mindkét inger az ellenoldali elektródáknál (O1 és O2) okozott maximális amplitúdókat. A fekete görbék a passzív alfeladat eredményeit jelölik, míg a zöldek a kongruens kézzel indított mozgások hatását, pirossal pedig az inkongruens kezes hatásokat. Míg jobb kéz ingereknél csak a jobb kezes mozgások okoztak amplitúdócsökkenést, bal kezes ingerek esetében mindkét kezes mozgásnál megfigyelhető ez, sőt, itt is nagyobb hatások vannak jobb kezes mozgások esetén.



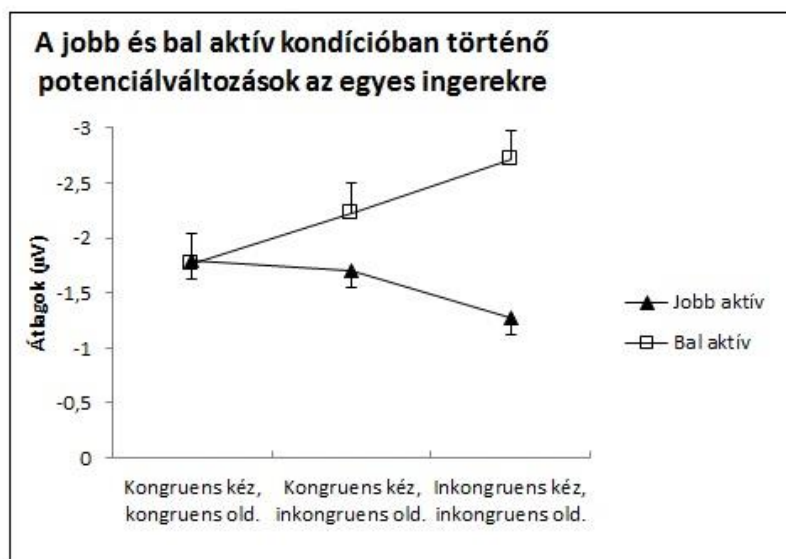
5. ábra: Potenciálváltozások az egyes kondíciókban. Ezen az ábrán jól látható az amplitúdócsökkenés a két aktív kondícióban a passzív kondícióhoz képest. A legjelentősebb különbség aközött jelent meg, amikor a résztvevők csak passzívan nézték a kézfejeket, illetve amikor jobb kézzel történő gombnyomásra jelent meg az inger.

Az INGER főhatás tendenciaszintű volt ($F(1,409, 26,780) = 3,03, p = 0,081, \eta_p^2 = 0,138$). A tervezett hipotézisvezérelt kontrasztnál azt találtuk, hogy a jobb és bal oldalon bemutatott jobb kézfejek által kiváltott amplitúdócsökkenés mértékében nincs szignifikáns különbség ($F(1, 19) = 0,608, p = 0,445, \eta_p^2 = 0,031$). Ezzel szemben a bal oldalon bemutatott jobb és bal kézfejek által kiváltott amplitúdócsökkenésben jelentős különbség mutatkozott ($F(1, 19) = 6,758, p = 0,018, \eta_p^2 = 0,262$). Tehát a bemutatási oldaltól függetlenül nagyobb

N1 negativitás jelent meg a jobb kézfejekre, viszont szignifikáns csökkenést találtunk a bal kézfejek esetében (lásd: 6. ábra és a 7. ábra).



6. ábra: Potenciálváltozások az egyes ingerekre a passzív kondícióban. Látható, hogy a baloldalon bemutatott bal kézfejekre mutatkozott a legkisebb amplitúdó, míg a jobb oldalon bemutatott jobb kézfejekre a legnagyobb.



7. ábra: A két aktív kondícióban történő potenciálváltozások az egyes ingerekre. Látható, hogy a bal és a jobb kézzel indított gombnyomás esetén is hasonló potenciálváltozás értékeket kaptunk abban az esetben, amikor kongruens kézfej kongruens oldalon jelent meg (tehát amikor bal kézzel indított gombnyomásnál bal kézfej jelent meg a bal oldalon, illetve amikor jobb kézzel indított gombnyomásnál jobb kézfej jelent meg a jobb oldalon). Míg a jobb aktív kondícióban egy erőteljesebb jobb kézfej előnyt láthatunk, addig a bal aktív feltételben egy erőteljesebb jobb látótér előnyt.

ELEKTRÓDA főhatást nem mutattunk ki ($F(2,237, 42,494) = 0,981, p = 0,391, \eta_p^2 = 0,049$), tehát a különböző elektródák által mért amplitúdócsökkenés mértékében nem találtunk eltérést. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA kereszthatás nem volt jelentős ($F(2,23, 42,368) = 0,701, p = 0,517, \eta_p^2 = 0,036$), vagyis az aktív és passzív kondícióban mért amplitúdócsökkenésekre sem volt hatással, hogy melyik elektródán mértük az adott potenciálváltozást. A KONDÍCIÓ x INGER interakció nem volt szignifikáns ($F(2, 38) = 0,605, p = 0,551, \eta_p^2 = 0,031$), azaz a két kondícióban mért amplitúdócsökkenésre nem volt hatással, hogy melyik oldalon, melyik kézfej jelent meg. Az ELEKTRÓDA x INGER kereszthatás szignifikáns ($F(1,429, 27,148) = 7,989, p = 0,004, \eta_p^2 = 0,296$). A tervezett hipotézisvezérelt kontraszt alapján megállapítottuk, hogy ez az eltérés a jobb és a bal oldalon megjelenő jobb kézfejek esetében volt jelentős, ami azt jelenti, hogy a jobb látótérbe kerülő ingerek inkább a bal agyféltekében, míg a bal látótérbe kerülőek inkább a jobb oldalon kerülnek feldolgozásra. Ez megmutatkozik az O1, O2 ($F(1, 19) = 10,909, p = 0,004, \eta_p^2 = 0,365$), illetve a PO3, PO4 ($F(1, 19) = 9,328, p = 0,007, \eta_p^2 = 0,329$) elektródákon mért potenciálváltozások különbségében. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA x INGER kereszthatás nem volt jelentős ($F(4,174, 79,315) = 0,552, p = 0,705, \eta_p^2 = 0,028$).

N1 amplitúdó - passzív és bal aktív kondíciók összevetése

A passzív és a bal kézzel való gombnyomásos kondíciók összevetésekor nagyon fontos eredmény született, amely szerint a KONDÍCIÓ főhatás nem volt szignifikáns ($F(1, 19) = 1,375, p = 0,255, \eta_p^2 = 0,068$), ami arra utal, hogy a bal kézzel történő gombnyomások esetében nem jelenik meg predikciós hatás (lásd: 3. ábra). Az INGER főhatása jelentős ($F(1,524, 28,949) = 5,582, p = 0,014, \eta_p^2 = 0,227$). A tervezett hipotézisvezérelt kontraszt is azt mutatja, hogy az amplitúdócsökkenés a bal oldalon bal kézfejekre jelentősen nagyobb mértékű volt, mint jobb oldalon bal kézfejekre ($F(1, 19) = 4,688, p = 0,043, \eta_p^2 = 0,198$) (lásd: 4. ábra). Az ELEKTRÓDA főhatás is szignifikáns volt ($F(1,995, 37,913) = 8,421, p = 0,001, \eta_p^2 = 0,307$), a tervezett hipotézisvezérelt kontraszt alapján szignifikáns eltérést találtunk az O1, O2 ($F(1, 19) = 13,581, p = 0,002, \eta_p^2 = 0,417$) és a PO3, PO4 ($F(1, 19) = 8,202, p = 0,01, \eta_p^2 = 0,302$) elektródákon mért amplitúdócsökkenés között is. A bal félteke esetén kisebb mértékű N1 szuppressziót találtunk. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA kereszthatás nem volt szignifikáns ($F(2,589, 49,189) = 2,538, p = 0,075, \eta_p^2 = 0,118$), vagyis a két kondícióban mért amplitúdócsökkenésekre nem volt hatással, hogy melyik elektródán mértük az adott potenciálváltozást. A KONDÍCIÓ x INGER interakció sem volt jelentős ($F(2,$

38) = 0,412, $p = 0,665$, $\eta_p^2 = 0,021$), vagyis az aktív és passzív kondícióban mért amplitúdócsökkenésre nem volt hatással, hogy melyik oldalon, milyen kézfej jelent meg. Az ELEKTRÓDA x INGER kereszthatás szignifikáns ($F(1,298, 24,66) = 8,064$, $p = 0,005$, $\eta_p^2 = 0,298$). A tervezett hipotézisvezérelt kontraszt azt mutatja, hogy ez az eltérés a jobb és a bal oldalon megjelenő bal kézfejek esetében volt jelentős, ez megmutatkozik az O1, O2 ($F(1, 19) = 9,261$, $p = 0,007$, $\eta_p^2 = 0,328$), illetve a PO3, PO4 ($F(1, 19) = 8,891$, $p = 0,008$, $\eta_p^2 = 0,319$) elektródákon mért potenciálváltozások különbségében. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA x INGER interakció nem volt jelentős ($F(3,584, 68,089) = 0,936$, $p = 0,441$, $\eta_p^2 = 0,047$).

N1 amplitúdó a passzív kondícióban

A passzív kondíció vizsgálatánál az ELEKTRÓDA főhatása tendenciaszintű volt ($F(2,406, 45,721) = 2,899$, $p = 0,056$, $\eta_p^2 = 0,132$), tehát a potenciálváltozások mértékét befolyásolhatta, hogy melyik elektródán rögzítettük. Az INGER főhatása jelentős ($F(1,731, 32,887) = 3,627$, $p = 0,044$, $\eta_p^2 = 0,16$), vagyis az amplitúdóváltozásokra jelentős hatással volt, hogy melyik inger melyik oldalon jelent meg (lásd: 6. ábra). Az INGER x ELEKTRÓDA interakció is szignifikáns volt ($F(1,727, 32,821) = 8,297$, $p = 0,002$, $\eta_p^2 = 0,304$), azaz az egyes agyféltekék esetében regisztrált potenciálváltozásoknál is számított, hogy melyik inger melyik oldalon jelent meg.

N1 amplitúdó az aktív kondíciókban

Az aktív kondíciókban a KONDÍCIÓ főhatása nem volt szignifikáns ($F(1, 19) = 1,668$, $p = 0,212$, $\eta_p^2 = 0,081$), azaz a jobb és a bal kézzel indított ingerekre adott amplitúdókban nem volt jelentős különbség. Az INGER főhatását tekintve nem volt jelentős eltérés a kiváltott amplitúdók mértékében ($F(2, 38) = 1,088$, $p = 0,347$, $\eta_p^2 = 0,054$). A teljesen kongruens (a megjelenő kézfej azonos az ingert indító kézzel, és annak megjelenési oldalával), részben kongruens (a megjelenő kézfej azonos az ingert indító kézzel, de eltérő annak oldalától), és a teljesen inkongruens (a megjelenő kézfej nem azonos sem az ingert indító kézzel, sem annak oldalával) ingerek azonos agyi aktivitást váltanak ki. Az ELEKTRÓDA főhatása szignifikáns ($F(2,373, 45,09) = 3,406$, $p = 0,035$, $\eta_p^2 = 0,152$), tehát az egyes elektródákon mért amplitúdók között különbség mutatkozott. A KONDÍCIÓ x INGER kereszthatás tendenciaszintű ($F(2, 38) = 2,723$, $p = 0,078$, $\eta_p^2 = 0,125$), a jobb és a bal aktív kondícióban mért amplitúdókra hatással lehetett, hogy melyik oldalon milyen kézfej

jelent meg. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA interakció szignifikáns ($F(2,104, 39,984) = 7,063, p = 0,002, \eta_p^2 = 0,271$), a jobb és a bal aktív kondícióban mért amplitúdókra hatással volt, hogy melyik elektródán mértük. Az INGER x ELEKTRÓDA kereszthatás nem volt jelentős ($F(3,713, 70,545) = 0,733, p = 0,563, \eta_p^2 = 0,037$), azaz az egyes ingerekre adott amplitúdók mértékére nem volt hatással, hogy melyik elektródán regisztráltuk. A KONDÍCIÓ x INGER x ELEKTRÓDA interakció szignifikáns ($F(1,382, 26,252) = 8,26, p = 0,004, \eta_p^2 = 0,303$). Tehát, az egyes elektródákon mért amplitúdóváltozást befolyásolta az ingert indító kéz, és a megjelenő inger fajtája is.

N1 latencia - passzív és jobb aktív kondíciók összevetése

A latencia kérdésének vizsgálatára szintén ismételt méréses varianciaanalízist alkalmaztunk. A jobb kézzel indított inger esetén a KONDÍCIÓ főhatás nem volt szignifikáns ($F(1, 19) = 0,835, p = 0,372, \eta_p^2 = 0,042$), tehát a kondíciókban az inger feldolgozásának időpontjában nem volt eltérés. Az ELEKTRÓDA főhatás nem volt szignifikáns ($F(3,029, 57,554) = 0,325, p = 0,809, \eta_p^2 = 0,017$), vagyis az egyes elektródákon mért potenciálváltozások esetében nem mutatkozott eltérés az inger feldolgozásának időpontjában. Az INGER főhatás nem szignifikáns ($F(2, 38) = 0,377, p = 0,689, \eta_p^2 = 0,019$), azaz a feldolgozás időpontjára nem volt hatással az, hogy melyik oldalon milyen kézfej jelent meg. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA interakció nem volt jelentős ($F(1,998, 37,966) = 1,004, p = 0,376, \eta_p^2 = 0,05$), tehát a két kondícióban megjelenő feldolgozás időpontjára nem volt hatással, hogy melyik elektródán mértük a potenciálváltozást. A KONDÍCIÓ x INGER kereszthatás nem volt jelentős ($F(2, 38) = 0,724, p = 0,491, \eta_p^2 = 0,037$), vagyis a két kondícióban mért latenciákra nem volt hatással, hogy melyik kézfej melyik oldalon jelent meg. Az ELEKTRÓDA x INGER interakció nem volt jelentős ($F(2,827, 53,706) = 1,628, p = 0,196, \eta_p^2 = 0,079$), azaz az elektródákon megjelenő latenciákat nem befolyásolta az inger milyensége. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA x INGER kereszthatás sem volt szignifikáns ($F(3,462, 65,784) = 1,415, p = 0,243, \eta_p^2 = 0,069$).

N1 latencia - passzív és bal aktív kondíciók összevetése

A bal kézzel indított inger esetén a KONDÍCIÓ főhatás nem volt jelentős ($F(1, 19) = 2,983, p = 0,1, \eta_p^2 = 0,136$), vagyis az aktív és a passzív kondíciók esetében a potenciálváltozások megjelenésének időpontjában nem volt eltérés. Az ELEKTRÓDA főhatás

sem volt szignifikáns ($F(2,651, 50,369) = 1,803, p = 0,164, \eta_p^2 = 0,087$), tehát az egyes elektródákon mért potenciálváltozások esetében nem volt eltérés a latenciában. Az INGER főhatás nem volt jelentős ($F(2, 38) = 2,410, p = 0,103, \eta_p^2 = 0,113$), azaz a latenciára nem volt hatással az inger milyensége. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA kereszthatás nem volt szignifikáns ($F(4, 76) = 0,254, p = 0,907, \eta_p^2 = 0,013$), ami azt jelenti, hogy az aktív és a passzív kondícióban az ingerek feldolgozási időpontjára nem volt hatással, hogy melyik elektródán mértük a potenciálváltozást. A KONDÍCIÓ x INGER interakció nem volt jelentős ($F(2, 38) = 0,005, p = 0,995, \eta_p^2 < 0,001$), a kondíciókban mért potenciálváltozás időpontjára nem volt hatással, hogy melyik oldalon milyen kézfej jelent meg. Az ELEKTRÓDA x INGER kereszthatás tendenciát mutatott ($F(3,532, 67,112) = 2,366, p = 0,069, \eta_p^2 = 0,111$), az elektródákon mért potenciálváltozás megjelenési időpontját befolyásolhatta az inger milyensége. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA x INGER interakció nem volt jelentős ($F(3,884, 73,801) = 0,404, p = 0,8, \eta_p^2 = 0,021$).

N1 latencia a passzív kondícióban

Külön a passzív kondíciót vizsgálva azt találtuk, hogy az INGER főhatása nem volt szignifikáns ($F(3, 57) = 0,740, p = 0,532, \eta_p^2 = 0,037$), tehát a potenciálváltozások időbeli megjelenésére nem volt hatással, hogy jobb, vagy bal oldalon, jobb, vagy bal kézfejek jelentek-e meg. Az ELEKTRÓDA főhatása sem volt jelentős ($F(2,702, 51,343) = 0,448, p = 0,7, \eta_p^2 = 0,023$), tehát az egyes elektródákon mért potenciálváltozások latenciájában nem mutatkozott eltérés. Az INGER x ELEKTRÓDA kereszthatás nem volt szignifikáns ($F(4,321, 82,095) = 1,167, p = 0,332, \eta_p^2 = 0,058$), az egyes elektródákon mért potenciálváltozások időbeli megjelenését nem befolyásolta, hogy melyik oldalon milyen kézfej jelent meg.

N1 latencia az aktív kondíciókban

Külön az aktív kondíciókat vizsgálva eredményeink szerint a KONDÍCIÓ főhatása szignifikáns volt ($F(1, 19) = 5,457, p = 0,031, \eta_p^2 = 0,223$), tehát a jobb kézzel indított ingerek esetében hamarabb jelent meg potenciálváltozás a bal kézzel indított ingerekhez viszonyítva. Az INGER főhatása nem volt jelentős ($F(2, 38) = 0,492, p = 0,615, \eta_p^2 = 0,025$), a feldolgozási időpontra nem volt hatással, hogy teljesen kongruens, részben inkongruens, vagy teljesen inkongruens volt-e az inger. Az ELEKTRÓDA főhatása nem volt szignifikáns ($F(4, 76) = 1,13, p = 0,349, \eta_p^2 = 0,056$), azaz az egyes elektródákon regisztrált amplitúdók

időbeli megjelenésében nem mutatkozott jelentős eltérés. A KONDÍCIÓ x INGER kereszthatás nem volt jelentős ($F(1,549, 29,426) = 1,502, p = 0,238, \eta_p^2 = 0,073$), azaz a jobb , illetve a bal aktív kondíciókban mért amplitúdók latenciájára nem volt hatással, hogy melyik oldalon milyen kézfej jelent meg. A KONDÍCIÓ x ELEKTRÓDA interakció nem volt szignifikáns ($F(4, 76) = 1,788, p = 0,14, \eta_p^2 = 0,086$), a jobb, illetve a bal aktív kondícióban az ingerek feldolgozási időpontjára nem volt hatással, hogy melyik elektródán mértük a potenciálváltozást. Az INGER x ELEKTRÓDA interakció nem volt jelentős ($F(4,215, 80,091) = 0,727, p = 0,583, \eta_p^2 = 0,037$), az egyes ingerekre adott potenciálváltozások időbeli megjelenésére nem volt hatással, hogy melyik elektródán regisztráltuk. A KONDÍCIÓ x INGER x ELEKTRÓDA interakció tendenciaszintű volt ($F(3,124, 59,348) = 2,569, p = 0,061, \eta_p^2 = 0,119$), tehát a feldolgozás sebességére együttesen hatással volt, hogy jobb vagy bal kézzel indították az ingereket, illetve, hogy milyen ingerek (kongruens, részben kongruens. inkongruens) jelentek meg a látótérben, és hogy ezeket melyik elektróda rögzítette.

Korrelációk

Vizsgáltuk, hogy a kezességi teszten elért pontszám milyen mértékben befolyásolja az egyes kondíciókban keletkező amplitúdóváltozásokat. Azt találtuk, hogy a passzív kondícióban, amikor bal oldalon jelentek meg bal kézfejek, akkor a PO3-as elektródán mért potenciálváltozás mértéke összefüggött a kezességgel ($r(20) = -0,586, p = 0,006$), minél inkább jobbkezes valaki, annál nagyobb amplitúdóval dolgozza fel a bal kézfej ingereket. Ugyanezen az elektródán ugyanilyen összefüggés figyelhető meg aktív kondícióban is bal kézzel indított, bal kézfejek esetén a bal térfélen ($r(20) = -0,589, p = 0,006$). A passzív és aktív kondíció közötti Oz elektródánál jelentkező aktivitáskülönbség összefügg a kezességgel, amennyiben a vizsgálati személyek bal kézzel indítva az ingert, bal térfélen bal kézfejeket látnak. Minél jobbkezeesebbnek bizonyult egy résztvevő, annál kisebb volt a passzív és aktív feltételek közötti amplitúdó különbsége, azaz annál kisebb volt a predikciós hatás bal kézfejek esetén ($r(20) = -0,484, p = 0,03$). Passzív kondícióban a jobb oldalon megjelenő bal kézfejek esetén az O2-es elektródán mérhető N1 csúcs latenciája jelentősen megnőtt, minél inkább jobbkezesek voltak ($r(20) = -0,57, p = 0,008$).

Megvitatás

Kutatásunk során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy vizuális modalitású inger esetén jelentkezik-e eltérés az agyi aktivitásban - mind a potenciálváltozás amplitúdójában, mind pedig a latenciájában - a vizsgálati személyek által előidézett és a passzívan megfigyelt ingerek feldolgozásakor, ami az ágencia élmény megtapasztalásának alapjául szolgálhat. Feltételezésünk, miszerint az önindított mozgás következtében megjelenő ingerek feldolgozását kisebb agyi potenciálváltozás kíséri, mint a külső forrásból ingerek feldolgozását, beigazolódott. Ez megfelel a korábban Blakemore és munkatársai (1998) által taktilis, valamint Bäß és munkatársai (2008) illetve Baess és munkatársai (2011) által auditoros modalitásokban korábban kimutatott predikciós hatásoknak. Bäß és munkatársai (2008) a mi eredményeinkkel analóg módon azt találták, hogy önmagunk által generált ingerek esetén kisebb az N1 komponens amplitúdója, mint akkor, ha az inger külső forrásból származik.

Második hipotézisünk, mi szerint az önindított mozgás következtében megjelenő szenzoros feldolgozást kísérő aktivitáscsökkenés jelentősebb lesz domináns kézzel indított mozgás esetén, mint szubdomináns kézzel indított mozgás esetén, szintén beigazolódott. Elemzésünk során nagyobb predikciós hatást találtunk a jobb kézzel indított mozgások esetén, mint bal kézzel indítottaknál. Figyelembe véve, hogy a mintánk 87%-ban jobbkezes személyekből áll, így valószínűleg ez a hatás valóban a domináns kézzel indított mozgás predikciós előnyét jelzi az adott mintán. Bár a hatás kevésbé jelentős, a bemutatott ábrán (3. ábra) látható, hogy szubdomináns (bal) kézzel indított mozgás esetén is történik predikció: gombnyomáskor a passzív kondícióhoz képest kisebb aktivitásváltozás figyelhető meg (jelen van a korai N1 szuppresszió). Az egyetlen, predikciós folyamatokat vizuális modalitásban vizsgáló kutatás során *Gentsch* és munkatársai (2012) szintén amplitúdócsökkenést figyeltek meg önindított/bejósolható ingerek esetén, ez a hatás náluk azonban valamivel később, az inger megjelenését követő 140-200 ms környékén jelentkezett. Mivel ők kutatásuk során absztrakt ingerekkel dolgoztak, elképzelhető, hogy egy olyan, ökológiailag sokkal validabb inger, mint a kézfejek esetén a predikcióval összhangban álló folyamatok már feldolgozás korábbi szakaszában végbemennek. *Gentsch* és munkatársai (2012) kutatásuk során ezen túl bal kézzel indított mozgások esetén is jelentős predikciós hatást találtak. Ez összefügghet a két kutatás közötti másik jelentős eltéréssel, ami pedig a nálunk bemutatott ingerek lateralizációja, a *Gentsch* és munkatársai (2012) által centrálisan bemutatott ingerekkel szemben. Előzetes pilot vizsgálataink során, ahol centrálisan bemutatott ingereket

használtunk, nálunk is markánsabban kimutatható volt a bal kézzel indított mozgással összefüggő predikció (amplitúdócsökkenés).

Ezzel összefüggésben azon feltételezésünk is igazolódni látszik, mely szerint a predikciós hatások mértéke korrelál a résztvevők kezességi lateralizációjának mértékével: az összes fent ismertetett korrelációs eredményünk abba az irányba mutat, hogy minél inkább jobbkezes valaki, annál nagyobb amplitúdóval (annál kisebb amplitúdócsökkenéssel) dolgozza fel a bal látótérben megjelenő bal kézfejeket (akkor is, ha csak nézi őket, és akkor is, ha aktívan váltja ki bal kézzel történő gombnyomással). Az ingerfeldolgozás idejére (latencia) egyik változónk sem volt hatással, azonban megfigyelhető a latencia és a kezesség összefüggése. A passzívan megfigyelt ingerek esetén minél inkább jobbkezes valaki, annál hosszabb latenciával dolgozza fel a jobb oldalon megjelenő bal kézfejeket.

Az önindított mozgás esetén nem jelentkezett statisztikailag jelentős eltérés a kongruens és inkongruens ingerek feldolgozását kísérő amplitúdóváltozás tekintetében. Ennek magyarázata lehet, hogy a személyekben nem alakult ki kellő asszociáció saját kezük és a képernyőn megjelenő kézfej látványa között, így a predikciót (vagyis azt, hogy a mozgás következtében egy kézfejet fognak látni a képernyőn) nem befolyásolta az inger természete (vagyis hogy a mozgást indító kézzel kongruens inkongruens kézfej jelenik-e meg).

Utolsó hipotézisünk kapcsán, miszerint a predikciós hatások nagyobbak lesznek abban az esetben, amikor a képernyőn megjelenő inger a mozgást indító kézzel azonos oldali látótérben jelenik meg, érdekes jelenséget figyeltünk meg: a jobb oldali látótérben megjelenő ingereket (kézfejeket) minden esetben nagyobb aktivitásváltozás kíséri, függetlenül a mozgásindítástól, ami egy jobb látótér preferenciára utal. Valamint elmondható, hogy a mozgás indításától függetlenül a kézfejek feldolgozásában is megfigyelhető egy jobbkezes preferencia, ami azt jelenti, hogy a jobb kézfej feldolgozása átlagosan nagyobb aktivitással jár (nagyobb amplitúdójú korai N1 hullám jelenik meg), mint a bal kézfejé, függetlenül attól, hogy azt melyik oldalon látjuk. Ez az eredmény megfelel *Stefanics* és *Czigler* (2012) által leírtaknak, vagyis, hogy a domináns kezek feldolgozása eltér a szubdomináns kéz feldolgozásától. Kutatásuk során ők is azt találták, hogy a domináns kéz feldolgozása időben kiterjedtebb, agyi aktiváció tekintetében sokkal erőteljesebb, mint a szubdomináns kéz feldolgozása. A jobb oldali látótér preferencia megjelenése ezzel szemben újszerűnek számít, a korábbi szakirodalom nem számol be hasonló megfigyelt jelenségről. Véleményünk szerint ez összefügghet a résztvevők kezességével, hiszen amennyiben erőteljes a jobb kéz motoros dominanciája, az adott kézzel kapcsolatos mozgások leggyakrabban a jobb látótérben történnek, így erre vonatkozóan látótér-preferencia is kialakulhat.

A jelenlegi kutatás kritikája lehet, hogy bár korábban auditoros modalitásban Baess és munkatársai (2011) kimutatták, hogy a predikciós hatás sokkal jelentősebb, amikor az önindított és külső forrásból érkező ingerek egy blokkon belül kerülnek bemutatásra, mi ennek ellenére külön-külön blokkokban mértük ezek hatását. A további kutatásaink során ezért tervezzük ezen kondíciók egy blokkon belül történő bemutatását, amely kísérleti elrendezés kevésbé lesz érzékeny a tömbösítésből adódó esetleges hatásokra. Bár a most alkalmazott elrendezésben a passzív feltétel ingerei időben kiszámíthatatlanul jelentek meg, jellegüknél fogva azonosak voltak a blokk alatt (mindig ugyanazon inger jelent meg), amely csökkentheti a kiszámíthatatlanság mértékét. Ezen túl a kongruens és inkongruens ingerekkel kapcsolatban jelentkező predikciós hatás növelésére egy módosított gumikéz-illúzió segítségével tervezzük a kísérleti személy saját keze és a képen látható kéz közötti nagyobb fokú asszociáció kialakítását (Perez-Marcos, Slater és Sanchez-Vives, 2009). Továbbá annak ellenőrzésére, hogy a jobb kéz előnnyel kapcsolatos eredményeink valóban a motoros féltekei dominanciából erednek-e, érdemes lehet a kísérlet előtt a bal premotoros kérgi területek ingerlékenységét alacsony frekvenciájú repetitív transzkraniális mágneses ingerléssel (rTMS-el) csökkenteni (Pollok, Rothkegel, Schnitzler, Paulus és Lang, 2008). Emellett természetesen a mintát szükséges nagyobb számú bal kezes résztvevőre kibővíteni.

Összességében elmondható, hogy a jelen kutatás újszerű abból a szempontból, hogy eddig igen kevés tanulmány irányult a predikciós folyamatok vizuális modalitásban történő vizsgálatára, ami pedig különösen fontos lehet az olyan pszichopatológiák, mint a szkizofrénia (és elsősorban a delúzió és hallucináció) vagy a kényszerbetegség természetének mélyebb megértéséhez. Az eredményeink megerősítik, hogy egészséges személyek esetében a vizuális modalitásban a predikciós folyamatok épp úgy megnyilvánulnak, mint a korábban leírt auditoros és taktilis modalitásokban. Ezen túlmenően a vizsgálat új eredményeket mutat fel abból a szempontból is, hogy a lateralizáció hatását korábban még egyáltalán nem vizsgálták a predikciós folyamatokkal összefüggésben. A lateralizáció, dominancia és predikciós folyamatok mélyebb feltárásához további kutatás szükséges, amihez jó irányt mutatnak a fentebb leírt jövőbeli kutatási szempontjaink.

Irodalomjegyzék

- Baess, P., Horváth, J., Jacobsen, T. és Schröger, E. (2011): Selective suppression of self-initiated sounds in an auditory stream: An ERP study. *Psychophysiology*, **48**. 9. sz. 1276–1283. doi:10.1111/j.1469-8986.2011.01196.x
- Bäß, P., Jacobsen, T. és Schröger, E. (2008): Suppression of the auditory N1 event-related potential component with unpredictable self-initiated tones: Evidence for internal forward models with dynamic stimulation. *International Journal of Psychophysiology*, **70**. 2. sz. 137–143. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.06.005
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. M. és Frith, C. D. (1998): Central cancellation of self-produced tickle sensation. *Nature Neuroscience*, **1**. 7. sz. 635–640. doi:10.1038/2870
- Christoff, K., Cosmelli, D., Legrand, D. és Thompson, E. (2011): Specifying the self for cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, **15**. 3. sz. 104–112. doi:10.1016/j.tics.2011.01.001
- Crow, T. J. (1997): Schizophrenia as failure of hemispheric dominance for language. *Trends in Neurosciences*, **20**. 8. sz. 339–343.
- Danckert, J., Rossetti, Y., d’Amato, T., Dalery, J. és Saoud, M. (2002): Exploring imagined movements in patients with schizophrenia, *Neuroreport* **13**, 605–609. In: Frith, C. (2005): The neural basis of hallucinations and delusions. *Comptes Rendus Biologies*, **328**. 2. sz. 169–175.
- Daprati, E., Franck, N., Georgieff, N., Proust, J., Pacherie, E., Dalery, J. és Jeannerod, M. (1997): Looking for the agent: an investigation into consciousness of action and self-consciousness in schizophrenic patients. *Cognition*, **65**. 1. sz. 71–86.
- Delorme, A. és Makeig, S. (2004): EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, **134**. 1. sz. 9–21. doi:10.1016/j.jneumeth.2003.10.009
- Ford, J. M. és Mathalon, D. H. (2012): Anticipating the future: automatic prediction failures in schizophrenia. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, **83**. 2. sz. 232–239. doi:10.1016/j.ijpsycho.2011.09.004
- Frith, C. (2005): The neural basis of hallucinations and delusions. *Comptes Rendus Biologies*, **328**. 2. sz. 169–175.
- Frith, C. D. és Done, D. J. (1989): Experiences of alien control in schizophrenia reflect a disorder in the central monitoring of action, *Psychological Medicine* **19**, 359–363. In:

- Frith, C. (2005): The neural basis of hallucinations and delusions. *Comptes Rendus Biologies*, **328**. 2. sz. 169–175.
- Gentsch, A., Schütz-Bosbach, S., Endrass, T. és Kathmann, N. (2012): Dysfunctional forward model mechanisms and aberrant sense of agency in obsessive-compulsive disorder. *Biological Psychiatry*, **71**. 7. sz. 652–659. doi:10.1016/j.biopsych.2011.12.022
- Heinks-Maldonado, T. H., Mathalon, D. H., Houde, J. F., Gray, M., Faustman, W. O. és Ford, J. M. (2007): Relationship of imprecise corollary discharge in schizophrenia to auditory hallucinations. *Archives of General Psychiatry*, **64**. 3. sz. 286–296. doi:10.1001/archpsyc.64.3.286
- Jones, S. R. és Fernyhough, C. (2007): Thought as action: Inner speech, self-monitoring, and auditory verbal hallucinations. *Consciousness and Cognition*, **16**. 2. sz. 391–399. doi:10.1016/j.concog.2005.12.003
- Lawrie, S. M. és Abukmeil, S. S. (1998): Brain abnormality in schizophrenia – A systematic and quantitative review of volumetric magnetic resonance imaging studies, *Br. J. Psychiatry* **172**, 110–120. In: Frith, C. (2005): The neural basis of hallucinations and delusions. *Comptes Rendus Biologies*, **328**. 2. sz. 169–175.
- Maruff, P., Wilson, P. és Currie, J. (2003): Abnormalities of motor imagery associated with somatic passivity phenomena in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, **60**. 2-3. sz. 229–238.
- McCormick, D. A. és Thompson, R. F. (1984): Cerebellum: essential involvement in the classically conditioned eyelid response. *Science*, **223** 4633 sz. 296–299.
- Oldfield, R. C. (1971): The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, **9**. 1. sz. 97–113.
- Perez-Marcos, D., Slater, M. és Sanchez-Vives, M. V. (2009): Inducing a virtual hand ownership illusion through a brain-computer interface. *Neuroreport*, **20**. 6. sz. 589–594.
- Pollok, B., Rothkegel, H., Schnitzler, A., Paulus, W. és Lang, N. (2008): The effect of rTMS over left and right dorsolateral premotor cortex on movement timing of either hand. *The European Journal of Neuroscience*, **27**. 3. sz. 757–764.
- Spence, S. A., Brooks, D. J., Hirsch, S. R., Liddle, P. F., Meehan, J. és Grasby, P. M. (1997): A PET study of voluntary movement in schizophrenic patients experiencing passivity phenomena (delusions of alien control). *Brain: A Journal of Neurology*, **120**. 11. sz. 1997–2011.

- Stefanics, G. és Czigler, I. (2012): Automatic prediction error responses to hands with unexpected laterality: an electrophysiological study. *NeuroImage*, **63**. 1. sz. 253–261. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.06.068
- Turken, A. U., Vuilleumier, P., Mathalon, D. H., Swick, D. és Ford, J. M. (2003): Are impairments of action monitoring and executive control true dissociative dysfunctions in patients with schizophrenia?, *American Journal of Psychiatry* **160**, 1881–1883. In: Frith, C. (2005): The neural basis of hallucinations and delusions. *Comptes Rendus Biologies*, **328**. 2. sz., 169–175.
- Uozumi, T., Tamagawa, A., Hashimoto, T. és Tsuji, S. (2004): Motor hand representation in cortical area 44. *Neurology* **62**, 757–761. In: Stefanics, G. és Czigler, I. (2012): Automatic prediction error responses to hands with unexpected laterality: an electrophysiological study. *NeuroImage*, **63**. 1. sz. 253–261. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.06.068
- Wolpert, D. M., Ghahramani, Z. és Jordan, M. I. (1995): An internal model for sensorimotor integration. *Science*, **269**. 5232 sz. 1880–1882. doi:10.1126/science.7569931

Mellékletek

1. melléklet: Informált beleegyezés

Beleegyező nyilatkozat

Tudomásul vettem a Balla Viktória, Dalos Vera, Kilencz Tünde vagy Szalóki Szilvia pszichológia szakos hallgató által végzett, és Dr. Csifcsák Gábor, az SZTE BTK Pszichológiai Intézetének munkatársa által felügyelt vizsgálat tájékoztatójában leírt tudnivalókat, a vizsgálatban részt kívánok venni.

Tudomásul veszem, hogy jogomban áll a vizsgálat megszakítására bármely időpillanatban. Ilyen esetekben a rólam addig gyűjtött adatokat megsemmisítik, azok nem kerülnek felhasználásra. A vizsgálatból való önkéntes kilépés esetén a vizsgálati részvételért járó juttatásra nem tartok igényt.

A vizsgálatvezetők adataimat név nélkül, bizalmasan kezelik, a kísérletvezetőkön kívül más tudomására nem kerülnek. A vizsgálat eredményeit minden esetben név nélkül, a teljes vizsgálati csoport eredményeit összegezve teszik közzé (szakdolgozatban, esetleg tudományos konferencián vagy szaklapban).

Tudomásul veszem, hogy a vizsgálati adatok kutatási és nem diagnosztikai célokat szolgálnak, ilyen jellegű szakvéleményre a vizsgálatok elvégzését követően igényt nem támasztok.

Hely és dátum

Név nyomtatott betűkkel

Kísérletvezető aláírása

Aláírás

2.melléklet: Etikai engedély

Etikai jóváhagyást igénylő űrlap
diák kutatók számára
SZTE BTK PSZICHOLOGIAI INTÉZET

1. A kutatás címe: A predikciós folyamatok elektrofiziológiai korrelátumai a vizuális modalitásban

2. A beadás dátuma: 2013. szeptember

3. A kutatásért felelős oktató neve, beosztása: Dr. Csifcsák Gábor, egyetemi adjunktus

A diák kutatók neve: Balla Viktória Roxána, Dalos Vera, Kilencz Tünde, Szalóki Szilvia

4. A kutatás melyik kategóriába esik: TDK dolgozat

5. A kutatás céljának és menetének rövid ismertetése:

Kutatásunkban a predikciós folyamatokat vizsgáljuk a vizuális modalitásban. A neurális válaszokat EEG segítségével figyeljük meg. A résztvevők három kondícióban vesznek részt, egy aktívban, ahol egy billentyűt kell megnyomniuk, melynek hatására egy kézfej jelenik meg a képernyőn; egy passzívban, ahol csak nézniük kell a képernyőn megjelenő ingereket; illetve egy motoros feltételben, ahol csak a billentyűt kell megnyomniuk. Egy kondíción belül több alfeladat van, aszerint hogy melyik kézzel nyomják meg a billentyűt, és hogy melyik oldalon, milyen kézfej jelenik meg. Összesen 12 alfeladatban vesznek részt a vizsgálati személyek, az alfeladatok között pihenhetnek. A kísérlet felénél kezességi tesztet veszünk fel.

6. A minta leírása, a vizsgálati személyek toborzásának módja?

Kényelmi mintavételt alkalmazva, a kísérletbe 23 személyt vonunk be, önkéntes alapon. Kontrollfeltételes elrendezést alkalmazunk.

7. Hol zajlik a vizsgálat?

A kísérletet a Szegedi Tudományegyetem Pszichológiai Intézetének Grastyán Endre EEG laborjában vesszük fel.

8. Milyen berendezéseket és eszközöket alkalmaz? (Nevezze meg az alkalmazott tesztet, kérdőívet!)

Az önindított és a külsőleg generált ingerekre adott neurális válaszok vizsgálatára EEG-t alkalmazunk. A szemmozgások monitorozására és a pislogások kiszűrésére pedig horizontális EOG-t helyezünk fel a külső szemzugakba. Ezen kívül a kezesség, illetve a féltekei dominancia felmérésére Edinburgh Handedness Inventory-t veszünk fel.

9. Az etikailag érzékeny pontok azonosítása

Jár kellemetlen ingerek bemutatásával vagy kellemetlen helyzetek létrehozásával?
Részletezze a választ, ha igen! IGEN / **NEM**

Jár-e a vizsgálat *érzékeny populáció* részvételével (karikázza be és részletezze a választ megfelelő pontnál)? IGEN / **NEM**

Jár-e a vizsgálat *érzékeny témák* érintésével?

Részletezze a választ, ha igen! IGEN / **NEM**

10. Pontosán ismertesse, hogy milyen eljárásokat tervez az etikai kockázat kiiktatására, illetve minimalizálására, kitérve az informált beleegyezés megszerzésének módjára és az utólagos tájékoztatás menetére!

A vizsgálatot a Szegedi Tudományegyetem Pszichológiai Intézetének etikai jóváhagyását követően, a vizsgálatban résztvevő személyek informált beleegyezésével végezzük.

11. Az informált beleegyezés szövege

Tudomásul vettem a Balla Viktória, Dalos Vera, Kilencz Tünde vagy Szalóki Szilvia pszichológia szakos hallgató által végzett, és Dr. Csifcsák Gábor, az SZTE BTK Pszichológiai Intézetének munkatársa által felügyelt vizsgálat tájékoztatójában leírt tudnivalókat, a vizsgálatban részt kívánok venni.

Tudomásul veszem, hogy jogomban áll a vizsgálat megszakítására bármely időpillanatban. Ilyen esetekben a rólam addig gyűjtött adatokat megsemmisítik, azok nem kerülnek felhasználásra. A vizsgálatból való önkéntes kilépés esetén a vizsgálati részvételért járó juttatásra nem tartok igényt.

A vizsgálatvezetők adataimat név nélkül, bizalmasan kezelik, a kísérletvezetőkön kívül más tudomására nem kerülnek. A vizsgálat eredményeit minden esetben név nélkül, a teljes vizsgálati csoport eredményeit összegezve teszik közzé (szakdolgozatban, esetleg tudományos konferencián vagy szaklapban).

Tudomásul veszem, hogy a vizsgálati adatok kutatási és nem diagnosztikai célokat szolgálnak, ilyen jellegű szakvéleményre a vizsgálatok elvégzését követően igényt nem támasztok.

12. Van-e bármilyen további etikai vonatkozása a vizsgálatnak, amelyre a fenti kérdésekre adott válaszokban nem történt utalás?

Nincs.

Tanúsítom, hogy az etikai jóváhagyás megtörtént.

A végső formában való jóváhagyás dátuma: 2013. szeptember

A vizsgálat lefolytatásának tervezett dátuma: 2014. június

A jóváhagyó tanár (nem kell kézírásos aláírás): Dr. Csifcsák Gábor