

Kvaszingerne Prantner Csilla

Eszterházy Károly Egyetem, Médiainformatika Intézet, Humáninformatika Tanszék
kvaszingerne.prantner.csilla@uni-eszterhazy.hu

Emri Zsuzsanna

Eszterházy Károly Egyetem, Biológiai Intézet, Állattani Tanszék
emri.zsuzsanna@uni-eszterhazy.hu

HOGYAN TÁMOGATHATÓ A TANULÁS VIZSGÁLATA EMOTIV EPOC EEG ESZKÖZZEL?

A tanulási folyamat az egyik legkomplexebb kognitív funkció, amelynek vizsgálatánál egyre inkább alapoznak biológiai mérésekre a pedagógiai kutatások. Egy nemrég megjelent terület, a neuropedagógia, amely neurobiológiai eredményeken alapuló tanulási koncepciót alkalmaz, a tanulást az agyi kapcsolatok folyamatos átalakulásaként értelmezi. A mintegy 18 milliárd idegsejt kölcsönhatásaiból több alapvető mechanizmus segítségével alakul ki kognitív funkció (Basar et al., 1999). Egyik ilyen mechanizmus a különböző oszcillációk kialakulása, amelyen keresztül egymástól térben távol eső neuronok együttműködése valósulhat meg. A különböző oszcillációkat frekvenciájuk alapján osztályozzuk: alfa (8-13 Hz), téta (3,5-7 Hz), delta (0,5-3,5 Hz), béta (18-25 Hz) és gamma (30-70 Hz) aktivitásként. Leginkább a gamma frekvenciájú oszcillációt tartják az agyi aktivitás fő szervező tényezőjének, de az újabb eredmények alapján a többi aktivitás is szerepet játszik a kognitív funkciók kialakításában, különösen az alfa aktivitás értelmezése változott meg az elmúlt időszakban, alfa aktivitás nemcsak a nyugalmi aktivitáshoz kapcsolódik, hanem figyelemhez és a tárolt információk előhívásához is (Klimesh, 2012).

Célunk az Emotiv EPOC EEG eszköz pedagógiai alkalmazási lehetőségeiben rejlő potenciál felmérése. Ehhez a műszer érzékenységének és megbízhatóságának a feltérképezése szükséges, amit számítógépen történő tanulói tevékenységvégzés közben rögzített regisztrátumok elemzésével teszünk meg.

Kérdésünk, hogy olyan feladatok, amelyekről tudjuk, hogy más mértékű és jellegű figyelmet igényelnek, milyen nagyságú és mennyire konzisztens különbségeket alakítanak ki egy-egy kísérleti személy esetében. Továbbá kíváncsiak vagyunk, hogy az egyes mentális állapotok az egyes feladatoknál, mennyire konzisztensen jelennek meg egy vizsgált populációban. Sikeresen olyan feladatsort kialakítanunk, ahol az egyes tesztszemélyek közötti különbségek nem jelentősebbek, mint a feladatok elvégzése közben mért EEG regisztrátumok közötti különbségek. Ha igen, mennyire tükrözi Egy ilyen feladatsor a tanári munka során használt különböző feladattípusokat.

A kísérleti feladatsorban egy relaxációs feladatot 3 eltérő mértékű és jellegű, figyelmet igényelő feladat követ. Olyan feladatokat választottunk, amelyek aktív állapotot eredményeznek, s közben különböző ideig fennálló izgalmat, érdeklődést és stresszt váltanak ki.

Az előzőek értékelésnél összevetjük a relaxációs állapotot a koncentrációs állapotokkal illetve az aktív állapotokat is egymással. Megnézzük, milyen különbségek jelentkeznek illetve, hogy a különbségek konzekvensen megjelenjenek-e a regisztrátumokban.

Eredményeink képet adnak az Emotiv EPOC EEG eszköz megbízhatóságáról és objektivitásáról, amely alapján a pedagógia területén történő alkalmazása tervezhetővé válik.

Bevezetés

Bár az EEG nem tükrözi az egyes neuronok elektromos aktivitását, neuroncsoportok aktivitását tudjuk csak rajta követni, viszont időbeli felbontása sokkal jobb, mint az agyi képalkotó technikáké (például az MRI vizsgálaté vagy a PET szkennereké). Az EEG regisztrátumon, annak kiváló időbeli felbontásának köszönhetően, valós időben követhetjük a kognitív folyamatokat, ezenfelül az EEG mérés nem invazív technika, tehát fájdalommentesen és biztonságosan alkalmazható a kísérleti személyeken. Széles körű alkalmazását viszonylagos olcsósága is előmozdítja.

A neuronok elektromos aktivitása számos tényezőtől függ: az éberségi állapottól, attól hogy a szem nyitva vagy zárva van-e, a vizsgálatban használt feladatok típusától, a figyelem mértékétől és az érzelmi állapottól. Az EEG aktivitása tehát az izgalmat, a figyelmet, az elköteleződést és bizonyos értelemben az érzelmeket is tükrözi, ráadásul a rögzített EEG jel attól függően, hogy az elektróda a koponya mely részén helyezkedik el, más-más aktivitási mintázatot mutat. Míg az EEG elvezetésben megjelenő, a személy különböző állapotai közötti eltérések jól használhatók neuropedagógiai mérésekben, addig a genetikai különbségekből és a neuronális hálózat egyéni topográfiájából adódó eltérések megnehezíthetik az eredmények kiértékelését.

A tanulmányban leírt pilot kísérlet folyamán hét egyetemi hallgató agyi aktivitását mértük különböző jellegű feladatvégzés során Emotiv EPOC EEG készülékkel. A feladatok között szerepelt relaxáció (nyugalmi állapotban, behunyt szemmel zenehallgatás), akciódús mozijelenet megtekintése, olvasási és számolási feladat. A rögzített EEG spektrumaikat az egyéni és a feladatfüggő különbségek feltárása céljából összehasonlítottuk.

Távlati célok

A pedagógiai hasznosítás lehetőségei kapcsán nagy kérdés, hogy a későbbiekben megállapítható lehet-e egy tanulóról az Emotiv EPOC EEG használatával, hogy adott feladatvégzés közben a vizsgált személy motivált-e, van-e sikerélménye, unatkozik-e, vagy zavart érez-e. Amennyiben a fentiek detektálása bizonyos mértékben megvalósulna:

- olyan feladatok összeállítására volna lehetőségünk a későbbiekben, amelyek kellőképpen motiváló hatásúak volnának a tanulók többsége számára;
- vagy olyan feladatsorok létrehozása valósulhatna meg, amelyekben a tanulók többsége számára kellőképpen motiváló és pihentető feladatokat optimális mértékben és sorrendben való váltakozása lenne tervezhető;
- vagy ezek kiválasztása és sorrendje az éppen vizsgált személy egyéni sajátosságaira érzékenyen történhetnének meg, valamint a tanuló aktuális hangulata és motiváltsága is meghatározó szerepet kaphatna a feladatok kiválasztásában.

Mindez egyfajta adaptív tanulási megvalósítást szolgálna, „real time” értékeléssel, azaz a tanuló fején elhelyezve a műszert, segíthetné tanulását azzal, hogy az adott tanulóra igazított feladatokat ajánl. Továbbá az önszabályozó tanulás képességének fejlesztésére is jó eszköz lehetne.

Elektroencefalográf (EEG)

Az EEG felvétel különböző típusú agyhullámokat mutat. Ezeket a hullámokat vagy oszcillációkat azok frekvenciái szerint osztályozzák (alfa: 8-13 Hz, téta: 3,5-7 Hz, delta: 0,5-3,5 Hz, béta 13-25 Hz és gamma: 30-70 Hz). Az alfa hullámokat ún. „nyugalmi hullámként” (angol kifejezéssel élve: „idling rhythm”) értelmezzük, akkor mutatkozik meg erősen, amikor

a szemek le vannak hunyva és a személy nyugodt. Emiatt jó referencia a relaxáció folyamán megjelenő alfa a többi feladat során mért alfa hullámok értékeléséhez. Az alfa hullámok az occipitális (tarkótáji) lebenyeken mutatkoznak meg a legszembetűnőbben, ez a terület felelős a látásért. Az alfa oszcillációnak van azonban egy másik funkciója is: szenzoros és kognitív folyamatok során megfigyelték az ún. funkcionális alfát (Basar et al., 1997). Kimutatták, hogy a funkcionális alfa-aktivitás korrelál a munkamemóriával és valószínűleg a hosszú távú memóriában történő emléknymok képződésével (Basar et al., 1997; Klimesch et al., 1994). Az alfa-aktivitás kulcsfontosságú szerepet játszik az optimális emberi funkciók működésében: kimutatták, hogy az optimális kognitív és pszichomotoros teljesítmény növeli, míg a rossz teljesítmény és a fáradtság csökkenti az alfa-hullámok amplitúdóját (Bazanova, 2012). A téta-oszcillációk is összefüggenek a kognitív feldolgozással és a kortiko-hippokampális kölcsönhatással (Basar et al., 1997; Klimesch et al., 1994; Miller 1991). A frontális feldolgozást igénylő komplex események nagy frontális téta válaszreakciót, valamint tájékozódást és szelektív figyelmet indukálnak (Basar–Eroglu et al., 1992). A delta hullámok nem csak az alvás, hanem az ébrenlét során is előfordulnak. Ez kapcsolódik a jelek felismeréséhez és a döntéshozatalhoz (Basar–Eroglu et al., 1992). Béta hullámok gyakran kimutathatók az ébren lévő embereknél, amelyek a frontális lebenyeken kiemelkedőek, ezek felelősek a tudatos döntésekért és a mozgásért. A gamma-rezgések fontos építőelemei az agyi elektromos aktivitásnak, amelyek többféle kognitív funkcióhoz kapcsolódnak, beleértve a figyelmet (Müller–Keil, 2004), a memóriát (Herrmann et al., 2004; Tallon–Baudry et al., 2005) és az észlelést is. (Jensen et al., 2007). A gamma oszcillációk szerepe különösen az egymástól távol elhelyezkedő kérgi területek szinkron aktivitásának kialakításában jelentősek, a többféle információ egyidejű előhívását egyidejű és azonos fázisú gamma frekvenciájú oszcilláció kíséri (Kim et al., 2016). A gamma-rezgések valószínűleg a központi idegrendszer kommunikációjának „egyetemes kódját” jelentik (Basar et al., 1999; Yordanova et al., 1997). Az emberekben a két agyféltek aszimmetrikus kortikális (agykéreghez tartozó) aktivitást mutat. Különösképp a frontális aszimmetriát tanulmányozták részletesen, mivel az az érzelmekhez kapcsolódik (Harmon–Jones et al., 2010). A bal (domináns) agyféltek aktivitása pozitív érzelmekhez kapcsolódik, mint például a motiváció vagy a lelkesedés, míg a közöny és más negatív érzéseket a jobb agyféltek aktivitásának növekedése kíséri (Davidson, 1998).

A vizsgálat kérdései és hipotézisei

Vizsgálatunk módszere az EEG-jelek egyedi különbségeinek feltárása, különösen az alfa-sávban. Az agyhullámokat különböző feladatvégzések során mérjük az Emotiv EPOC EEG eszközzel.

Hipotéziseink szerint az alábbi hullámok lesznek dominánsan mérhetőek a különféle feladatok esetében:

- relaxációs feladatnál: occipitális (tarkótáji) alfa aktivitás és az alfa frekvencia dominanciája (H1);
- izgalmas feladatnál (filmrészletnél): alfa blokk és valamilyen szinten a gamma megjelenése (H2);
- matematikai feladat esetében: az olvasási feladathoz képest több béta aktivitás várható főleg a frontális kérgi részről (H3).

Fontos megjegyezni, hogy a kísérleti szituáció maga, hogy a kísérleti személyek fejére helyezett műszerrel az agyi aktivitást mérjük különféle feladatok végzése közben, eleve izgalommal tölti el az önként jelentkező tanulókat, így a monotonitás mérése gyakorlatilag lehetetlen ilyen kísérleti szituációban. Továbbá frusztráció több okból is előfordulhat, például

a kísérleti helyzetből adódóan, az oktatók (kísérletvezetők) jelenléte kapcsán vagy az agyi aktivitás mérése okán; valamint előfordulhat, hogy az egyszerű feladatok elvégzése során a résztvevők önmagukkal szemben magas elvárásokat teremtenek a teljesítményük kapcsán (pl.: a kétjegyű számok összeadása esetén frusztrálhatja őket az, hogy a könnyű feladat ellenére mégsem teljesítenek jól).

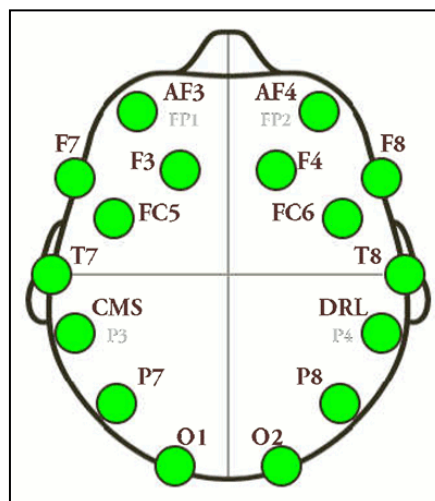
Néhány kérdés is megfogalmazódott bennünk, nevezetesen:

- Mennyire tudunk olyan feladatot adni a résztvevőknek, hogy mindegyikőjükben hasonló, erőteljes érzelmi és aktivitásbeli különbségeket idézzünk elő?
- Mennyire sok és zavaró artefact kerül a mérésekbe (pl. mobiltelefon, fénycső, résztvevő mozgása, külső zajok, stb.)?
- Milyen mértékben automatizálható a kiértékelés?

A vizsgálat eszköze és módszere

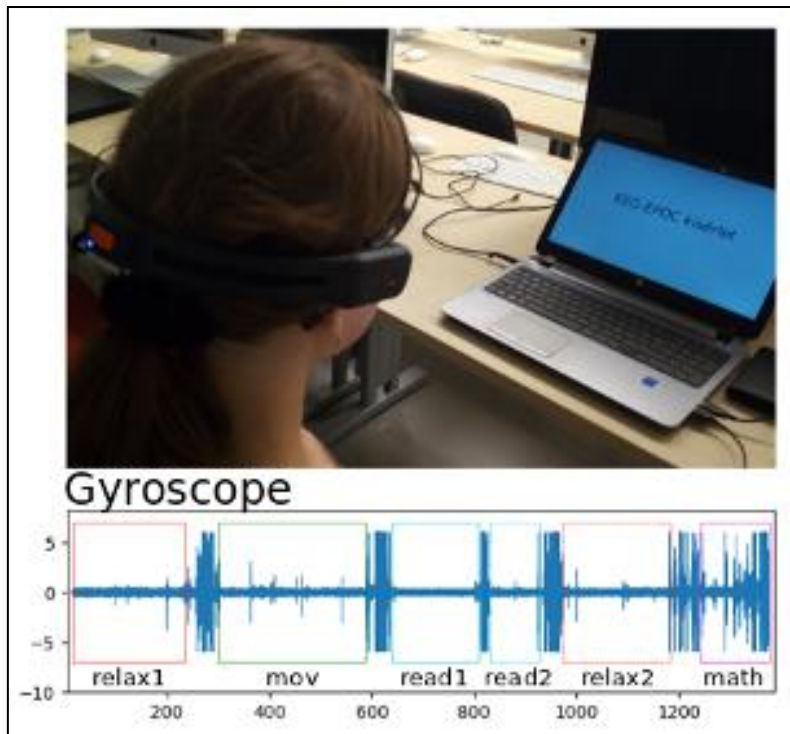
Az Emotiv EPOC vezeték nélküli EEG készüléket és kísérő szoftverét használtuk az adatgyűjtéshez. Az eszközön 14 érzékelő található, amelyeknek a viselő fejbőrével kell érintkezniük a nemzetközi 10-20 rendszer elrendezése szerint (1. ábra). Az elektródák az agyhullámokat (az amplitúdót (10-100 μ V) és a frekvenciát (1-64 Hz)) mérik, a regisztrátumokat szoftveresen rögzítjük, amelyek későbbi elemzésre alkalmasak.

Az 1. ábrán az F, T, P és O betűk rendre a frontális (frontal, elülső homlokzati), a temporális (temporal), a parietális (parietal, a fali lebenyhez kapcsolódó) és az occipitális (occipital, tarkótáji) elektródákat jelentik. Négy pár elülső elektróda van, amelyek a legérzékenyebbek és a legközelebb vannak a sulcus centralishoz (központi árok), ezek az AF és az FC pozíciókban helyezkednek el. A páros számok (2, 4, 6, 8) a jobb féltekén lévő elektródák helyzetére, míg a páratlan számok (1, 3, 5, 7) a bal féltekén lévők helyzetére utalnak. A CMS és DRL elektródok a referenciapontok.



1. ábra. Az Emotiv EPOC EEG eszköz elektródáinak elrendezése a 10-20-as rendszer szerint

Az Eszterházy Károly Egyetemről hét jobbkezes diák (4 nő) vett részt a pilot vizsgálatban, életkoruk 21-29 év volt. Az EEG mérés során végzett feladatokat egy laptopon mutattuk be számukra. Egy másik laptopon pedig figyeltük és rögzítettük a regisztrált EEG hullámokat, a vezeték nélküli EEG eszköz bluetoothon keresztül tartotta a kapcsolatot a számítógéppel (2. ábra).



2. ábra. Egy vizsgálati személy a fejére helyezett 14 elektródás Emotiv EPOC EEG-vel

Az első kísérlet során a résztvevők 3 percen keresztül pihentető zenét hallgattak, miközben a szemüket zárva tartották, majd egy 3 perces izgalmas filmrészletet néztek meg. A film után két különböző szöveget olvastak, az egyik a tanulás biológiai alapjairól szólt (biológia szakosok lévén érdekes téma volt ez számukra), a másik egy száraz jogi szöveg volt. Az olvasás után további 3 perces relaxációt végeztek, majd egyszerű számtani gyakorlatot oldottak meg, amely kétjegyű számok összeadásából állt. A résztvevőket arra kértük, hogy lehetőleg ne mozogjanak a feladatvégzések során, ekkor mi manuálisan feljegyeztük, hogy mettől meddig tartottak az egyes feladatok. (2. ábra)

Úgy is végeztünk vizsgálatokat, hogy a résztvevők automatikusan, sorban kapták a feladatokat a laptopon és önállóan haladtak végig a feladatokon anélkül, hogy a vizsgálatvezető a laborban lett volna velük. Ez úgy történt, hogy minden feladat után egy billentyűnyomással maguk indíthatták a következő feladatot, amikor a továbbhaladásra készen álltak (3. és 4. ábra). Minden feladat elindításakor makrók segítségével egy logfile-ba kiírtuk a laptop rendszeridejét, amely adatokból később tized másodperces pontossággal megtudhattuk a feladatok kezdetét, s az időzített feladatok esetében – a két relaxációnál (nyitott és zárt szemmel végzett) és a filmnél – azok pontos befejezését (az új kísérleteknél a relaxáció és a filmrészletek idejét 4 percre növeltük). Az olvasási és matematikai feladat esetében a vizsgálati személyek billentyűleütéssel jelezték a feladatok befejezését, hogy az időpontot logolni lehessen. Az önállóan vezérelt tesztfolyamatot amiatt láttuk jónak, mert ezzel – úgy gondoltuk – kiszűrhetjük a kísérletvezető jelenlétéből adódó frusztrációt¹. A giroszkóp felvételéről is jól kivehető, hogy mettől meddig tartottak az egyes feladatok. A mozgások többsége a feladatok között történt. A résztvevők viszonylag lassan mozogtak a relaxációs zenehallgatás (relax1-2), a filmnézés (mov) és az olvasás (read1-2) folyamán, de a matematikai (math) gyakorlat során sokat és intenzíven mozogtak.

¹ Másfelől lehetséges, hogy egyes résztvevőket éppen az frusztrált, hogy nincsen jelen a kísérletvezető, s így nem tud számára segíteni senki, ha valamilyen probléma adódik a kísérletvégzés során a feladattovábbítással vagy a mérőműszerrel kapcsolatban.

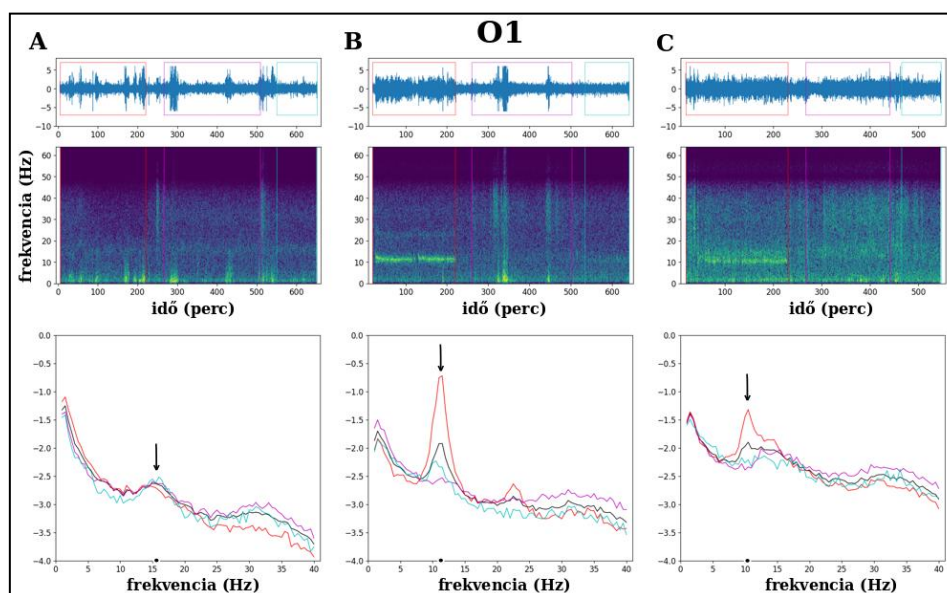
A hullámok elemzésének módja

A felvételek elemzését az erre a célra fejlesztett Python szkripttel végeztük (Python 2.7.12, scipy.signal 0.17.0 és spectrum 0.7.1 csomagok), (Cokelaer, 2012–2017; Jones et al., 2012–2017). A mért adatrendszerre 1 Hz-es határfrekvenciájú alulvágó szűrőt alkalmaztunk, majd az átlagérték eltávolítása után egységnyi szórásnégyzetre normáltuk. A kiugró értékek hatásának csökkentése érdekében az adatrendszert a $[-6, +6]$ intervallumra korlátoztuk. A spektrumanalízis során 2 másodperces Tukey ablakot használtunk, 0,25-ös alaktényező mellett, 1 másodperces átfedéssel, a lineárisan trendtelenített szegmenseken.

Az eredmények kiértékelése

Alfa frekvenciák

Gasser et al. tanulmánya (1985) szerint az alfa a legmegbízhatóbb, azaz legbiztosabban megjelenő és mérhető EEG hullám (Lüthi–McCormick, 1998; Steriade–Timofeev, 2003). A szakirodalom arra is rámutat, hogy az alfa hullám nem egy egységesen megmutatkozó jelenség, hanem az életkortól, a mentális állapottól, az érzékelő elektróda elhelyezkedésétől és a kognitív feladattól függően jelentős változásokat mutat (Basar et al., 2012). A legjelentősebb alfa aktivitás akkor mutatkozik, amikor a szemek zárva vannak pihenés közben, különösen erős jelzés mérhető ekkor az occipitális (tarkótáji) elektródákkal (O1-2).

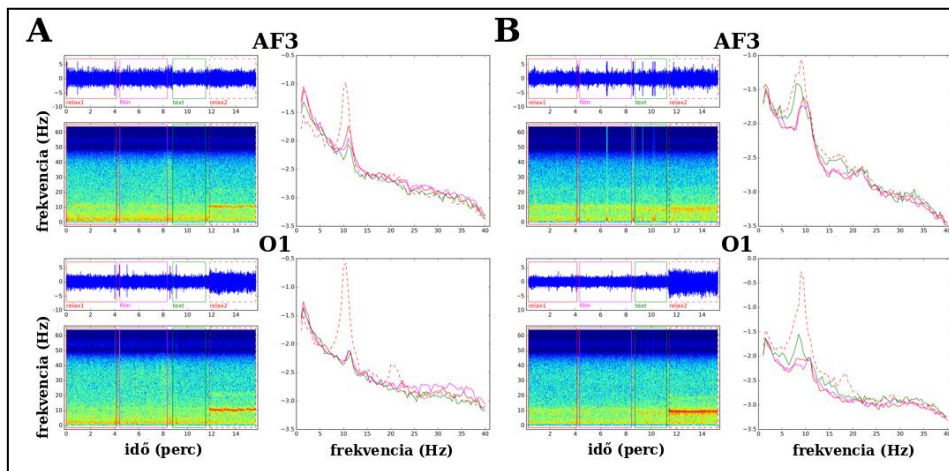


3. ábra. Variációk az alfa aktivitás megjelenésére

Elemeztük a lehunytt szemmel végzett relaxáció során megjelenő alfa aktivitást több résztvevő esetében is (3. ábra), a felvételek különböző amplitúdójú alfa hullámokat mutattak: egyes felvételek nem mutattak egyértelmű alfa csúcsot a teljesítményspektrumban (3A. ábra), míg más grafikonokon az alfa csúcs kiemelkedő volt (3B. ábra). A 3. ábrán a bal oldali occipitális (tarkótáji, O1) elektródával mért EEG jelek láthatók három különböző résztvevőnél behunytt szemmel történő relaxáció során. Bal oldalt felül az O1 elektródák regisztrátumai láthatók, bal oldalt alul az időfrekvenciás spektrogramok (a melegebb színek nagyobb aktivitást jelentenek) és jobb oldalt az alfa-aktivitás teljesítményspektrum diagramjai, amelyeken spektrális csúcsok megjelenését vártuk.

- Az **A** résztvevő felvételén nagyon gyenge alfa aktivitás mutatkozik. Az alfa sáv csak a relaxációs periódus végén látható, és a teljesítményspektrum diagramon nem jelenik meg egyértelmű spektrális csúcs (nyíl 10 Hz-nél).
- A **B** résztvevő felvétele erős alfa-aktivitást és kiemelkedő spektrális csúcsot mutat az alfa-sávban (nyíl, 10 Hz-nél).
- A **C** résztvevő felvételei szintén mutatnak alfa aktivitást a teljesítményspektrum grafikonján, azonban az alfa csúcs (nyíl) körülbelül 15 Hz frekvenciánál (fekete pont) jelenik meg.

A csúcsfrekvencia eltérő volt a felvételeken. Az alfa rendszerint 10 Hz-en jelenik meg (3A-B. ábrán), viszont egyik résztvevőnél az alfa csúcsfrekvencia megközelítette a 15 Hz-et (3C. ábra).



4. ábra. Az alfa aktivitás változása az érzékelő elektróda és a végrehajtott feladattól függően.

Összehasonlítottuk az alfa aktivitást különféle feladatok esetében is. A legmagasabb alfa aktivitás behunyt szemmel az occipitális érzékelőkön látszik (Basanova, 2012). Ez jól látható a felvételeken is, a behunyt szemmel (4. ábrák szaggatott vörös) regisztrált EEG-ben az alfa aktivitás jelentősebb, mint a nyitott szemmel (4. ábra folyamatos vörös) regisztráltban. A kognitív feladatok során eltérő mértékben csökkent az alfa aktivitás a különböző kísérleti alanyok EEG-jében. Néhányuk felvételén az alfa csúcs kevésbé mutatkozik meg az olvasás (zöld) és a film (lila) során, az occipitális kéregben nem is detektálható (4A. ábra); míg másoké az olvasás (zöld) és a filmnézés (lila) alkalmával is jelentős mértékű alfa csúcsot mutatott. (4B. ábra).

Attól függően, hogy mely elektródákon figyeltük az alfa megjelenését, az alfa amplitúdója különbözött. A legmagasabb csúcsok az occipitális érzékelők (O1, O2) teljesítményspektrum grafikonjain mutatkoztak, míg a frontális elektródák (AF3-4, F3-4, F7-8, FC5-6) gyengébb alfa aktivitást mutattak, esetenként magasabb frekvencián, mint a nyugalmi alfa aktivitás (4B. ábra). Egyénenként változott az is, hogy melyik feladatnál volt az alfa aktivitás leginkább gátolt, lehetett az olvasás alatt (4A. ábra zöld) vagy a filmnézés alatt is (4B. ábra lila). Az agy két oldalán az azonos pozíciók hasonló alfa csúcsokat mutattak (ezeket nem ábráztuk).

Béta és gamma frekvenciák

A béta hullámok az éberséggel, az aktív feladatvégzéssel kapcsolatosan jelennek meg (Neuper–Pfurtscheller, 2001), míg a gamma hullámoknak a kötődés és a memória kapcsán van jelentősége az érzékelési folyamatban (Skinner et al., 2000; Tallon–Baudry, 2003). A feladatok

elvégezése során ezek a frekvenciák a tesztszemélyeknél nem voltak kiemelkedőek, a vizuális és hallási ingerek esetében viszont nagyobb béta- és gamma aktivitás került regisztrálásra, mint a relaxáció alatt (csak a hallás ingerlése) vagy az olvasás során (4. ábra).

Hipotézisek értékelése és konklúzió

Az EEG hullámok spektrumát illetve a frontális és tarkótáji kéregben megjelenő változékonyságát tanulmányoztuk különböző kísérleti személyeknél különböző jellegű feladatok elvégzése közben. Hipotézisünk (H1), miszerint relaxációs feladatnál az occipitális (tarkótáji) alfa aktivitás és az alfa frekvencia dominanciája érvényesül, tendenciaszerűen beigazolódott, viszont míg a vizsgált személyek egy részénél a frontális elektródok teljesítmény-spektruma is erőteljes alfa aktivitást jeleztek, addig másoknál még occipitális elektródokon is csak épphogy kiemelkedett ez a frekvenciatartomány. A nyugalomban mért alfa aktivitás frekvenciája leggyakrabban az irodalomból elvárt 10 Hz körüli aktivitási csúcst mutatta, de a hét személyből volt egy, akinél lényegesen magasabb, 15 Hz-es aktivitás jelentkezett. A felvételek tehát nagy egyéni különbségeket mutattak a különböző feladatok alatti alfa aktivitás mértékében és az alfa csúcs frekvenciájában egyaránt. A személyek regisztrátumait egymáshoz és önmagukhoz hasonlítva is vizsgáltuk. Ha az alfa-frekvencia csúcst a feladatok között néztük, mindenkinél a két relaxációs feladatnál volt a legmagasabb az alfa hullámok aránya a többihez képest, de az alfa aktivitás csökkenésének mértéke a többi feladatnál teljesen eltérő volt, ami valószínűleg a résztvevők genetikai hátterét valamint kognitív teljesítményét egyaránt tükrözi. A legalacsonyabb alfa aktivitáshoz kapcsolódó tevékenység egyénileg változott: ez lehetett a film vagy az olvasás is. A béta és a gamma aktivitás általában a film alatt volt a legmagasabb.

Izgalmas, újdonságot jelentő feladatnál az alfa aktivitás blokkolása (H2 hipotézisünk) is részben igazolódott be, hiszen nem minden vizsgálati személy esetében történt meg az alfa blokkolás, volt olyan személy, akinél filmnézés közben is jelentős volt az alfa csúcs, az beigazolódott, hogy a gamma aktivitás a filmnézések alkalmával megjelent.

A matematikai feladatnál (H3 hipotézis) nem találtunk aktivitás különbséget az olvasáshoz képest, legtöbbször olyan rövid idő alatt megoldották a feladatot, hogy az nem eredményezett kiértékelhető eltérést. Ilyen típusú vizsgálathoz hosszabb, összetettebb feladatot kell majd alkalmazni a továbbiakban.

Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az EEG felvételek segíthetik a hatékonyabb tanulási folyamatok tervezését, de ehhez a résztvevők egyéni sajátosságait is fel kell tárnunk, csak ezek ismeretében értelmezhetők a feladatok során kialakult EEG-hullámok változásai. Tehát az EEG-felvételek egyedi jellemzőit feltétlenül figyelembe kell venni, amikor EEG-adatokat használunk a kognitív folyamatok értelmezésére. Eredményeink képet adnak az Emotiv EPOC EEG eszköz megbízhatóságáról és objektivitásáról, amely alapján a pedagógia területén történő alkalmazása tervezhetővé válik.

Irodalomjegyzék

- Basar, E.–Basar-Eroğlu, C.–Karakas, S.–Schürmann, M. (1999). *Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG?* Neurosci Lett, 259:165-168.
[https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(98\)00934-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(98)00934-3)
- Başar-Eroğlu, C.–Başar, E.–Demiralp, T.–Schürmann, M. (1992). *P300-response: possible psychophysiological correlates in delta and theta frequency channels: a review.* In: International journal of psychophysiology, 13:161–179.
[https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(98\)00934-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(98)00934-3)
- Başar E.–Güntekin, B. (2012). *A short review of alpha activity in cognitive processes and in cognitive impairment.* International journal of psychophysiology. 86:25-38.

- [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(98\)00934-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(98)00934-3)
- Bazanova, O. (2012). *Comments for Current Interpretation EEG Alpha Activity: a Review and Analysis*. In: *Journal of Behavioral and Brain Science*, 2:239-248.
<https://doi.org/10.4236/jbbs.2012.22027>
- Cokelaer, T. (2012–2017). *Spectrum Analysis Tools*. URL: <http://github.com/cokelaer/spectrum>, (2017.10.10.)
- Davidson, R. J. (1998). *Anterior electrophysiological asymmetries, emotion, and depression: conceptual and methodological conundrums*. In: *Psychophysiology*, 35:607-614.
<https://doi.org/10.1017/S0048577298000134>
- Gasser, T.–Bacher, P.; Steinberg, H. (1985). *Test–retest reliability of spectral parameters of the EEG*. In: *Electroencephalography and Clin Neurophys*, 60:312–319.
[https://doi.org/10.1016/0013-4694\(85\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0013-4694(85)90005-7)
- Harmon-Jones, E.–Gable, P. A.–Peterson, C. K. (2010). *The role of asymmetric frontal cortical activity in emotion-related phenomena: a review and update*. 84(3):451-62.
- Herrmann, C. S.–Lenz, D.–Junge, S.–Busch, N. A.–Maess, B. (2004). *Memory-matches evoke human gamma-responses*. In: *BMC Neurosci*. 5, 13.
- Jensen, O.–Kaiser, J.–Lachaux, J. P. (2007). *Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory*. In: *Trends Neurosci*. 30, 317–324
- Jones, E.–Oliphant, T.–Peterson, P. etc. (2001–2017). *SciPy: Open source scientific tools for Python*. URL: <http://www.scypi.org/> (2017.10.10.)
- Kim, H., - Åhrlund -Richter, S.–Wang, X.–Deisseroth, K.–Carlén, M. (2016). *Prefrontal parvalbumin neurons in control of attention*. In: *Cell*. 164:208-218.
- Klimesch, W.–Schimke, H. - Schwaiger, J. (1994). *Episodic and semantic memory: an analysis in the EEG theta and alpha band*. In: *Electroenceph Clin Neurophysiol*, 91:428–441.
- Klimesch, W. (2012). *Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information*. In: *Trends Cog Sci*. 16:606-617
- Lüthi, A.–McCormick, D. A. (1998). *H-Current: Properties of a Neuronal and Network Pacemaker*. In: *Neuron*, 21:9-12.
- Miller, R. (1991). *Cortico-hippocampal Interplay and the Representation of Contexts in the Brain*. Springer, Berlin.
- Müller, M. M.–Keil, A. (2004). *Neuronal synchronization and selective color processing in the human brain*. *J. Cogn. Neurosci*. 16, 503–522.
- Neuper, C.–Pfurtscheller, G. (2001). *Event-related dynamics of cortical rhythms: frequency-specific features and functional correlates*. In: *International journal of psychophysiology*. 43:41–58.
- Python Software Foundation. *Python Language Reference, version 2.7*. URL: <http://www.python.org> (2017.10.10.)
- Skinner, J. E.–Molnar, M.; Kowalik, Z. J. (2000). *The role of the thalamic reticular neurons in alpha- and gamma-oscillations in neocortex: a mechanism for selective perception and stimulus binding*. In: *Acta Neurobiol exp*. 60:123–142.
- Steriade, M.–Timofeev, I. (2003). *Neuronal Plasticity in Thalamocortical Networks during Sleep and Waking Oscillations*. (*Neuron*), 37:563-576.
- Tallon-Baudry, C. (2003). *Oscillatory synchrony and human visual cognition*. In: *J. Physiol. Paris*. 97: 355–363.
- Tallon-Baudry, C.–Bertrand, O.–Henaff, M. A.–Isnard, J.–Fischer, C. (2005). *Attention modulates gamma-band oscillations differently in the human lateral occipital cortex and fusiform gyrus*. In: *Cereb. Cortex*. 15, 654–662.
- Yordanova, Y.–Kolev, V.–Demiralp, T. (1997). *The phase-locking of auditory gamma band responses in humans is sensitive to task processing*. In: *NeuroReport*, 8:3999–4004.