

BOZÓKI BARBARA¹, ANTAL KÁROLY², EMRI ZSUZSA²

A PEDAGÓGIAI ÉRTÉKELÉS KIEGÉSZÍTÉSE ELEKTROFIZIOLÓGIAI JELEK KÖVETÉSÉVEL

¹*Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Gyógypedagógia BA szak,
Eger, Klapka György út 12.*

²*Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Állattani Tanszék,
Eger, Leányka utca 6.*

Összefoglaló

Az EEG-eredmények olyan többletinformációval szolgálhatnak a tanulókról, amely kiegészíti a feladatlapok eredményét, felhasználhatók arra, hogy ne csak azt tudjuk meg egy tanulási folyamat végén, hogy a feltett kérdésekre mennyire jól sikerültek a tanuló válaszai, hanem azt is, hogy a tanulási folyamat alatt a tanuló motivált volt-e, vagy inkább zavart, mennyire unta a feladatot, és mikor fáradt el egy teszt alatt. Az EEG-mérések kiértékelésénél nehézséget okoznak a mérés alatti műtermékek, emiatt olyan feladatoknál alkalmazható jól az eljárás, amelyek kevés mozgással járnak. Az EEG-aktivitás egyéni jellemzői miatt a hasonló feladatok alatti regisztrátumok spektrális jellemzői nagyon eltérőek lehetnek, ennek figyelembevételéhez további mérések szükségesek.

Kulcsszavak: *alfa-aktivitás, elektroencefalogram, Fourier-spektrum, kognitív terhelés, theta-aktivitás*

BARBARA BOZÓKI¹, KÁROLY ANTAL², ZSUZSA EMRI²

THE USE OF ELECTROPHYSIOLOGICAL MEASUREMENTS TO COMPLEMENT PEDAGOGICAL EVALUATION

¹*Eszterházy Károly Catholic University, Special Needs Education BA,
Eger, Klapka György út 12.*

²*Eszterházy Károly Catholic University, Department of Zoology,
Eger, Leányka utca 6*

Abstract

EEG results can provide additional information about students that complements the results of the tests, and can be used not only to find out at the end of a learning process how well the student has answered the questions, but also to know how well they have responded during the learning process, whether they were motivated or rather confused throughout the learning process and how bored or tired they got during the process. The evaluation of EEG measurements is difficult due to artifacts during the measurement, so the procedure can only be used for tasks involving little movement. Due to the individual characteristics of brain activity the spectral characteristics of EEG records can be very different, even when the tasks were similar so further measurements are needed to account for this.

Keywords: *alpha activity, cognitive load, electroencephalogram, Fourier spectrum, theta activity*

Bevezető

Leendő pedagógusként már a gyakorlatom során is szembeűnő volt számomra, hogy az iskolai értékelés összetett feladat, és a megfelelő értékeléshez legtöbbször nem áll rendelkezésre számunkra kellő információ. Sokszor a tanítási-tanulási folyamat tervezésére csak osztályszinten kerül sor, ez a keretrendszer nem hagy teret kellő differenciálásnak az osztály egyes tanulói között. A magas létszámú osztályok és a feszített ütemű tanmenet se kedvez az egyéni igényekhez igazított feladatsoroknak, amelyek segítségével mindenki saját tempójában dolgozhatná fel a tananyagot, ráadásul a tudásszint felmérésére fordítható idő is korlátozott.

Ebben a tanulmányban a fiziológiai jelekből kinyerhető, pedagógiai értékelést kiegészítő információval foglalkozunk. Különösen az EEG-aktivitás elemzése tűnik ígéretesnek. Úgy tűnik, hogy az EEG-eredmények olyan többletinformációval szolgálhatnak a tanulókról, amelyek kiegészíthetik a feladatlapok, önértékelésen alapuló kérdőívek eredményét, felhasználhatók arra, hogy ne csak azt tudjuk meg egy tanulási folyamat végén, hogy a feltett kérdésekre mennyire jól sikerültek a tanuló válaszai, hanem azt is, hogy a tanulási folyamat mennyire volt megterhelő, a tanuló motivált volt-e, vagy inkább unatkozott, illetve mennyire volt stresszes számára a feladatsor. Ezek az információk segíthetnek motiváló hatású feladatokat összeállítani, lehetőséget adnak arra is, hogy a személyre szabottan választott feladatsorok hatását valós időben kövessük. A COVID-19 pandémia alatt előtérbe került az EEG-mérések alkalmazásának egy másik irányvonala, amikor nem az osztálytermi oktatáshoz hívják segítségül, hanem az otthoni önálló tanuláshoz. Az EEG általi valós idejű értékelés segítséget nyújthatna a tanulást támogató programoknak a feladatok személyre szabásában.

A pedagógiai értékelés

Az értékelés feladata, hogy tájékoztassa a tanulókat, a pedagógusokat, valamint a közoktatási rendszer vezetőit arról, hogy a pedagógiai folyamat bizonyos tevékenységei milyen mértékben valósították meg a kitűzött célokat. A tervszerű pedagógiai munkához elengedhetetlen az információ gyűjtése, ezek nélkül nem lehetséges a folyamatokat céljaiknak megfelelően irányítani (CSAPÓ, 2005). A pedagógiai értékelés legnyilvánvalóbb feladata a tanulók tudásának vizsgálata, de emellett ugyanilyen jelentős a szerepe a tanítási folyamat sikerességének jellemzésében is. A választott oktatási módszer hatékonyságának minősítéséhez, a metodikai innovációkhoz, valamint az új módszerek értékeléséhez a tanárnak folyamatos visszajelzést kell kapnia arról, hogy a tanítási-tanulási folyamat miként hat a tanulókra, az milyen változást indukál bennük. Az így kapott információk segítik a tanárt abban, hogy a tanítás módját folyamatosan alakítsa, azt a szükségletekhez igazítsa (BRASSÓI ÉS MTSAI., 2005). A tanulói teljesítmény értékelése információt nyújt arról, hogy hogyan halad a tanuló a tananyag elsajátításában, valamint készségei, képességei milyen fejlettségi szintet mutatnak. Az értékelés akkor tölti be igazán funkcióját, ha nemcsak tájékoztatást ad a teljesítményről, hanem motiválja is a tanulót (VIRÁG, 2021).

A teljesítményről gyűjtött információk, a tanulmányi osztályzatok felhasználhatók a tanulók tanulmányi eredményességének jellemzésére is (SZEMERSZKI, 2015).

Az ellenőrzés-értékelés folyamatának minden pedagógus gyakorlatában meghatározott szokásrendje van. Az értékelés folyamata a következő szakaszokra bontható: 1. az értékelés megtervezése; 2. információfelvétel; 3. viszonyítás; 4. az „értéklet” megfogalmazása. Az értékelés tervezésénél a pedagógus a tanítás céljait és követelményeit figyelembe véve tudja eldönteni, hogy mely információk szükségesek a tanulás eredményeinek értékeléséhez, illetve az eredmények viszonyításához. Az információfelvétel során a tanár meggyőződik a tanulók teljesítményéről. A produktumok szempontjából szóbeli, írásbeli, tárgyi és mozgásos feladatokhoz kötődő ellenőrzések történhetnek. A szóbeli módszerekhez tartoznak a tanári kérdésekre adott válaszok, a feleletek, beszámolók. Az írásbeli módszerek közül elterjedtek a röpdolgozatok, az ellenőrző dolgozatok, a feladatlapok, a tantárgytesztek és az esszé-dolgozatok. Az értékelés utolsó szakaszában a tanulói teljesítmények és a követelmények összehasonlításának eredményeként megszülető minősítés az értéklet (GOLNHOFER, 2003).

Vámos Ágnes kutatása (1999) pedagógusok véleményét elemezte az értékelésre vonatkozóan. A kutatás alapján a pedagógusok legfontosabbnak az általános funkciókat találták, mint például az önértékelésre nevelést, tehetségfelismerést és fejlesztést, ezeket a funkciókat követték az informálódás és informálás az elért eredményekről, és a legkevésbé fontos funkciók azok voltak, amelyek közvetlenül a tanulásszervezéshez köthetők, mint például az osztályzás vagy a munkafegyelem megerősítése. Az osztályzás a mai oktatási rendszerben elengedhetetlen, ám ennek csak akkor van értelme, ha az osztályzatokat magyarázatokkal látjuk el, ez segítheti elő a tanulók előrehaladását.

Az értékelés típusai

Minden mérés része az összehasonlítás, viszonyítás. A viszonyítás történhet a tanuló megelőző időszakban elért teljesítményéhez, egy előzetesen deklarált követelményrendszerhez vagy pedig a referenciacsoport teljesítményéhez. Régi hagyománya van a normaorientált értékelésnek, amikor a tanárok a tanuló valamilyen személyiségjegyét vagy tudását a csoporthoz viszonyítják. A normaorientált értékelés esetén a tanárok a tanulókat egységes teljesítményelvárással szembesítik, amely a jól teljesítő tanulóknak könnyedén elérhető, míg másokat frusztrál. Kritériumorientált értékelés esetén azt vizsgálják, hogy a tanulók milyen mértékben érték el a korábban deklarált célokat. Ebben a viszonyításban a tanulók értékelésébe nem számít bele a csoport többi tagja által elért eredmény. A kritériumorientált értékelésnél a tanárok elsősorban a tantervi követelményekhez viszonyítanak, ami sok esetben szükséges és előnyös, viszont a követelményekhez történő merev ragaszkodás akadályozza a tanulói személyiséget figyelembe vevő, pozitív hatású értékelés kialakítását. A tanuló fejlődését nagymértékben támogatja az individuálisan orientált értékelés, melynek során a viszonyítás alapja a korábban elért teljesítmény. Ennek

az értékelésnek a legfontosabb célja, hogy a tanulók visszajelzést kapjanak a tudásukról, fejlődésükről, ezáltal fejlesszék önismeretüket (N. TÓTH, 2015).

A tanulásban jelentősen támogató hatású lehet a fejlesztő értékelés. Ez az értékelés a tanítás és a tanulás speciális megközelítése, mely által nyújtott visszajelzések felhasználhatók a tanulók teljesítményének javítására. Segítségével a tanulók egyre inkább bevonódnak a tanulási folyamatba, és az önbizalmuk erősödésével átlátják azt, hogy mit és milyen színvonalon várnak el tőlük (VIRÁG, 2018). A fejlesztő értékelés egyik fontos eleme a tanuló önértékelése. Az önértékelés támogatja a tanulót abban, hogy átlássa a tanulás célját, a tanulás során szerzett ismereteit összekapcsolja a meglévőkkel, képes legyen az elsajátított tudást más kontextusokban is alkalmazni, egy-egy tanulási szakasz lezárásakor tisztában legyen saját teljesítményével. Mivel az önértékelés tanult képesség, ezért a tanulókat segíteni kell abban, hogy képesek és készek legyenek saját teljesítményük reális értékelésére (MOGYORÓSI, 2018). Segíti a tanulókat, ha az önértékeléshez szempontokat, kérdéseket kapnak. Az önértékelés jelentősége abban rejlik, hogy a tanuló átgondolja, mit és hogyan tanult, melyek az erősségei, és melyek a gyengeségei (LÉNÁRD ÉS RAPOS, 2009; OECD, 2005).

Az értékelésnek három típusa különíthető el annak célja szerint: diagnosztikus, formatív és szummatív. A diagnosztikus pedagógiai értékelésre a tanulási ciklus elején kerül sor. Fő funkciója, hogy felfedje egy tanuló vagy tanulócsoport konkrét erősségeit, esetleges lemaradásait, valamint az igényeit a közelgő tanulóssal kapcsolatban. A diagnosztikus értékelés jól használható a besorolási döntések megalapozására annak érdekében, hogy egyénre, illetve csoportra szabott nevelési-oktatási stratégiákat, szervezeti kereteket és szervezési módokat alakítsanak ki. A tanulók eltérő teljesítményéből fakadó fejlesztő tevékenység hatékony lehetőséget teremt a személyiségfejlesztésre. A képességfejlesztés alapja a képességek többoldalú megismerése részletes elemzés útján, melynek eredménye az egyéni tanulói diagnózis. A diagnosztikus értékelésnek nem célja a minősítés, ezért ebben az esetben a tanulói teljesítményeket nem minősítik, nem osztályozzák.

A formatív (formáló-segítő) értékelés részletes információt nyújt a tanulónak a tanulásáról, megerősíti a tanulási folyamatban elért eredményeit, biztosítja számára a tanulási motivációt. Ennek keretében a pozitív sajátosságok kiemelésével tartható fenn a tanulás iránti kedvező beállítódás. A formatív értékelés lehetőséget kínál a jelenlegi és az elérni kívánt teljesítmény közötti szintkülönbség megszüntetésére. Az értékelésnek ez a típusa miközben a tanár számára tudatosítást jelent, biztosítja a tanulók ösztönzését is, mivel információkat nyújt az önkorrekcióhoz. A formatív értékelés során szintén nem osztályozzák a tanulót, hanem szóbeli vagy írásbeli visszajelzést nyújtanak számára.

A szummatív (összegző-lezáró) értékelés célja a tanulási folyamat vagy annak egy adott szakaszának a lezárása és az értékelés pillanatáig elért eredmények minősítése. A szummatív értékelés viszonyítási alapja leggyakrabban a tanterv követelményrendszere. Az összegző értékelés jellemzően érdemjeggyel zárul (FARKAS, 2017; GOLNHOFER, 2003).

A tudásszint mérése

A tanulói teljesítmény értékeléséhez használt eljárások alapvetően két csoportra oszthatók: minőségi (kvalitatív) és mennyiségi (kvantitatív) értékelésre. A kvalitatív értékelés formája kevésbé kötött, lehetővé teszi az eredmények akár hosszabb terjedelmű szóbeli vagy írásbeli analízisét. Alkalmazásának hátránya, hogy sok szubjektív elemet tartalmazhat, nehéz a különböző személyek által készített értékeléseket összehasonlítani. A kvalitatív értékelésekben a teljesítmény színvonalát becslik vagy mérik, ahhoz valamilyen számszerű értéket rendelnek hozzá. A mérés során a megvizsgálandó tulajdonságokat hozzámérik egy rögzített skálához. Bár ez a legobjektívebb módszer, de számos esetben nem használható. Míg a tanulók kognitív és mozgásos tanulása jól értékelhető méréssel, addig érzelmi viszonyulások értékeléséhez bonyolult feladat megfelelő mérőeszközt készíteni (CSAPÓ, 2005). Az iskolai gyakorlatban, eltekintve néhány standardizált mérőeszköztől, a tanárok a becslést alkalmazzák. A tanári készítésű feladatsorok általában nem felelnek meg a mérőeszközökkel szemben állított követelményeknek (N. TÓTH, 2015).

Tesztek készítése és használata

A pedagógiai mérésekben leggyakrabban tesztek használják mérőeszközként. A tesztek használata először a pszichológiában terjedt el. Segítségükkel vizsgálhatják és értékelhetik az intelligenciát, a kreativitást és egyes erkölcsi és szellemi tulajdonságokat. A tesztek másik nagy csoportját képezik az oktatásban használt, az emberi tudás mérésére szolgáló speciális mérőeszközök. Segítségükkel értékelhető a tananyag elsajátításának színvonala, a képességek és készségek fejlődése. Mérésről kizárólag hitelesített mérőeszközök segítségével történő adatgyűjtés esetén lehet beszélni. A tanulók tudásának mérésére standardizált tantárgyi tesztek használják, melyeket pedagógiai mérésekkel foglalkozó szakemberek készítenek, és hitelesítést követően, nagy populációkban végzett mérések esetén alkalmaznak. A tesztek készítésekor figyelembe kell venni a vizsgálandó tanulók életkori és pszichés tulajdonságait, a feladatok megoldásának időigényét, valamint a tesztek három „jóságmutatóját”, az objektivitást, a validitást és a reliabilitást. A tesztek az oktatásban az oktatási folyamat különböző szakaszaiban, szintjeiben jelennek meg. A tesztekkel egyszerre nagyszámú tanuló tudása mérhető, ezért felhasználhatók vizsgáztatásra is. Jelentős a szerepük az iskolafokokozatok közötti váltásokat megelőzően a tanulók sokaságának tudásmérésében is. A tesztek ebben az esetben a tanulók szelektálását, kategorizálását segítik. A tesztek lehetővé teszik, hogy térben és időben egymástól távoli tanulói teljesítményeket mérjenek össze, ezáltal összehasonlíthatóvá válnak különböző oktatási eljárások hatékonyságai, de akár összemérhetőkké válnak különböző tantervek időben egymástól távoli eredményei is (CSAPÓ, 2005).

A tudásszint mérésére szolgáló feladatok két nagy csoportra oszthatók: feleletválasztó és feleletalkotó feladatok. A feleletválasztó feladatok esetén a tanuló az előre megadott válaszlehetőségek közül választja ki és jelöli meg a megfelelőt. A feleletválasztó feladatok kidolgozása általában időigényes, viszont a javítása

egyszerű. A feleletválasztó feladatok elsősorban az ismeretjellegű tudás mérésére alkalmasak. E feladatok néhány típusának hátránya, hogy hamis, de elhihető válaszalternatívák elolvasására kényszeríti a tanulót, amely gyenge, bizonytalan tudás esetén a hibás válaszok rögzülését eredményezheti. A feleletválasztó feladatokat elterjedten alkalmazza a számítógépes oktatás is.

A feleletalkotó kérdésekkel a tudás bonyolultabb összetevői is mérhetőek, viszont a feladatok értékelőrendszerének megalkotása, az egyértelmű javítókulcs kidolgozása általában időigényes feladat. A rövid válasz feladattípusnál egy kiegészítendő kérdésre rövid, lehetőleg egy szóból, egy névből vagy egy számból álló választ kell adni. Ezzel szemben a hosszú válasz feladattípusban leggyakrabban olyan kérdéseket tesznek fel, melyek kifejtést, egész mondatos válaszadást, esetleg felsorolást tesznek szükségessé. Esszé feladattípust szokás alkalmazni, ha ki kell egy tananyagrészt lényegét emelni, ha a saját véleményt be kell mutatni, vagy dolgok közötti kapcsolatot, összefüggéseket kell leírni (CSAPÓ, 2005).

A pedagógiai értékelés mind a tanulók, mind pedig a pedagógusok szempontjából nagyon fontos. Visszajelzést ad arról, hogy a diákok milyen ütemben haladnak tanulmányaikkal, az elvárásoknak milyen mértékben tudtak megfelelni, sikerült-e elsajátítani a kiadott tananyagot. Az értékelések során kapott információk elengedhetetlenek a tanulási-tanítási folyamat sikeres tervezéséhez, illetve az értékelést kapott személy szempontjából is, mivel visszajelzést ad az elvégzett munka sikerességéről, és motivációt nyújt a további erőfeszítésekhez. Az objektivitás biztosítása a pedagógiai értékelés során nagyon nehéz, a tudásszint mérésére rendelkezésre állnak tesztek, de a tanulók terhelését, érzelmi viszonyulását ezek nem mérik.

A tanulási folyamat vizsgálata neurofiziológiai mérésekkel

A neurofiziológiai mérések lehetőséget biztosítanak a tanulási folyamat valós idejű és/vagy online nyomon követésére, sőt felhasználhatók a tanulás és a tanítás fejlesztésére azáltal, hogy a tanár vagy a tanuló felé információt szolgáltatnak a tanulási folyamatról. A hordozható bioszenzorok megjelenésével nagyobb lehetőség nyílik a tanulás és a fiziológiai változások pontosabb megismerésére is. Ezekkel a műszerekkel vizsgálhatjuk a szomatikus és a vegetatív idegrendszer aktivitását is, mindkettő alkalmas a kognitív állapotok jellemzésére. A szimpatikus idegrendszer aktiválódása az elektrodermális ellenállás csökkenését, a pulzus és légzésszám növekedését okozza, és stressz, összpontosítás, fokozott figyelmi aktivitás hatására alakul ki. Az egyik ilyen mérési lehetőség az elektrodermális aktivitás vizsgálata, amely során a bőr elektromos vezetőképességét és annak változásait detektálják (ZHANG ÉS MTSAI., 2018). Az egyik kutatás során a bőr vezetőképességének változását az érzelmi tanulásban vizsgálták, többek között a félelem kiváltása, majd kioltása során. A félelmet keltő ingerre adott válaszként növekedett a bőr vezetőképessége, majd miután az inger megszűnt, a vezetőképesség csökkent. Egy másik lehetőség a tanulási folyamat ellenőrzésére a légzés tanulmányozása. A kutatások alapján az erőfeszítések növelésével és a figyelem összpontosításával a légzési

sebesség általában növekszik (GRASSMAN ÉS MTSAL., 2016). A tanulás kihatással van a pulzusszámra és annak variabilitására (az egymást követő szívverések közötti intervallumok változása) is. A szív működés változására utaló pulzusszám is jó mutatója lehet a kognitív állapotnak. ZHANG és munkatársai 2018-as kutatásuk során a bőr vezetőképességét és a szívritmust követték nyomon tanórákon 12-13 éves gyermekeknél, majd a kapott eredményeket összehasonlították vizsgáik eredményeivel. A bioszenzorok jelei a vizsgaeredményeket előre jelezték, sőt néhány olyan következtetést is le tudtak vonni a mérésekből, amelyek a vizsga eredményein túlmutattak. Azon diákok, akiknél a szimpatikus aktivitás magasabb fokú volt, éberebbek voltak, jobban tudtak koncentrálni, jobban teljesítettek a vizsgákon. Az alapaktivitási érték tartós emelkedése azon témáknál következett be, amelyek különösen nagy koncentrációt igényeltek, a pillanatnyi emelkedések pedig rendszerint a diákok érdeklődését felkeltő kérdéseket kísérték (EMRI, 2019). Ebben a témában az eddig végzett vizsgálatok azt mutatják, hogy a tanulási folyamat során a pulzusszám összességében kis mértékben csökken, variabilitása viszont nő. A szemmozgásokkal és pupillaváltozásokkal kapcsolatos mérések szintén alkalmasak a tanulási folyamat nyomon követésére, olyan esetekben is, amikor a vizuális feladat nem igényel nagy erőfeszítést. A tanulási folyamatba betekintést nyújthat a pupilla tágulása, a tekintet, a pislogás gyakorisága, valamint a pislogás sebessége, melyek egyrészt a fáradást, az erőfeszítés csökkenését és az esetleges tanácstalanságot, elakadást is mutatják (TINGA ÉS MTSAL., 2019).

Jelen tanulmányban az EEG-készülékkel megállapítható aktivitásokra fektettünk hangsúlyt, ám ezek a mérések jól kiegészíthetők egyéb bioszenzorok alkalmazásával, mint például a bőr ellenállásának mérésével, a légzési frekvencia mérésével vagy akár a bőr hőmérsékletének folyamatos nyomon követésével. A tanulási folyamatokról újabb ismereteket az EEG-adatok elemzésével kétféle módon szerezhetünk: a tanulás alatti EEG-aktivitás spektrális elemzésével vagy a tanulás elemi lépésekre bontásával és az egyes lépések alatt kiváltott potenciálok kiértékelésével (TINGA ÉS MTSAL., 2019).

Az agyi aktivitás tanórai keretek közötti mérése is lehetséges mobil EEG-készülékekkel. Ezzel kapcsolatban egy 12 fős New York-i gimnáziumi osztályban végeztek vizsgálatokat egy szemeszteren keresztül. Az EEG-jeleket a kutatók az óra különböző mozzanatai, így az előadások, videóvetítések, csoportmunkák alatt rögzítették. A megfigyelések alapján, ha a tanulók és a tanár agyhullámai szinkronban voltak, akkor a tanulók tanulási teljesítménye javult, motivációjuk fokozódott. Összehasonlították egymással az osztály tanulóinak is az agyi aktivitását. Az agyhullámokban nagyobb fokú egyezést mutató tanulók hasonlóan pozitívan értékelték a tanórát, és ismerték el a pedagógus munkáját is. Az egymással baráti viszonyban lévő tanulók közül azok, akik a tanórát megelőző szünetben interakcióba léptek egymással, az osztálytársakhoz képest nagyobb fokú egyezést mutattak az agyhullámaikban (FARNADY-LANDERL, 2018). Szintén EEG-készülékekkel sikerült felismerni azt, hogy a tudatos és a tudattalan tanulásra eltérő agyhullám-mintázat jellemző, amiből megállapították, hogy a tanulás kétféle típusában

eltérő mechanizmusok játszanak szerepet (LOONIS ÉS MTSAI., 2017). A rutinná vált problémamegoldások esetén jóval kevesebb neuront aktivizálunk, ezért nyílik lehetőség más problémák párhuzamos kezelése (KISSNÉ ÉS FARNADY-LANDERL, 2018; DIKF, 2015).

Az EEG-vel végzett vizsgálatok egyik fontos területe a figyelem mértékének mérhetősége. A tanulás eredményessége szempontjából a figyelem nagy jelentőséggel bír, nagyon fontos eleme az összpontosítás, a környezetből érkező számtalan információból azoknak a feldolgozása, amelyek az adott helyzetben relevánsak, segítségünkre vannak feladataink megoldásában. A figyelem tulajdonképpen az a folyamat, amely a környezeti ingerek érzékelésekor lép működésbe, és segít kiválasztani, hogy mely információkra koncentrálnunk. Ez a szelektálás egy tudatos folyamat, amit előzetes tapasztalataink, és maguk a környezeti ingerek is alakítanak. A figyelmi folyamatok segítségével dől el az is, mely információkra fogunk a későbbiekben emlékezni (GASKÓ ÉS MTSAI., 2006). A figyelem a frontális lebenyhez kötődik, ehhez a területhez köthetők az elvont gondolkodás, időbeliség és a tervezés is (FONYÓ, 2011). A figyelmi folyamatok az EEG-aktivitásban rendszerint a théta aktivitás növekedésével jellemezhetőek, például ha valamilyen írott szövegre fókuszálunk, akkor a látott információ kis „csomagokban” érkezik a kéregbe, a külvilágból mintegy mintát veszünk a folyamat során, és ezt a mintavételt théta-frekvenciájú neuronális aktivitásfokozódás kíséri (FIEBELKORN ÉS KASTNER, 2019). Ha viszont 8-13 Hz frekvenciatartományban, az úgynevezett alfa-tartományban történik aktivitásnövekedés, az gátló folyamatokra, a kéregrészt aktivitáscsökkenésére, vagyis alacsony figyelmi állapotra utal (KATONA ÉS MTSAI., 2014). A figyelmet EEG-vizsgálatoknál vagy a frontális théta-aktivitással vagy pedig a théta- és béta-aktivitások hányadosával jellemzik (ANGELIDIS ÉS MTSAI., 2018). Ha a gátolt területeket is figyelembe vesszük, akkor a terhelést kapjuk meg, ezt a frontális théta- és poszterior alfa-aktivitás hányadosaként kaphatjuk meg (BOOTH ÉS MTSAI., 2018).

Az olvasás során, annak összetettsége folytán, számos agyi mechanizmus aktiválódik. Olvasás alatt a szöveg követése a látókéreg feladata, míg a szavak memóriánkból való előkeresése a frontális kéreg aktivitáshoz kötődik. Matematikai feladatok megoldásakor az agy különböző területei aktivizálódnak, így a számokkal végzett alaptevékenységek végzésekor három agyterület is fokozott aktivitást mutat, melyek a látásért, hallásért és megértésért felelősek (OECD, 2002).

Az elektrofiziológiai módszerek két területen tűnnek különösen alkalmasnak arra, hogy a pedagógiai értékelő módszereket kiegészítsék. Mivel folyamatos követést tesz lehetővé, sokkal alkalmasabb az oktatási folyamatot kísérő érzelmi állapotok, stressz követésére, mint a kérdőíves, önbevallásos módszerek, másrészt a figyelem, mentális terhelés rögzítésével képet adhat arról, hogy az egyes diákok számára egy adott feladatsor teljesítése mekkora kihívást jelentett. A következő példán bemutatjuk egy feladatsor alatt mért EEG-adatokat és azok kapcsolatát a tanulók eredményeivel és önreflexióival. Ehhez az első méréshez egy egyszerű feladatsort választottunk egy relaxációs, egy olvasási és egy fejszámolási feladattal.

Anyag és módszer

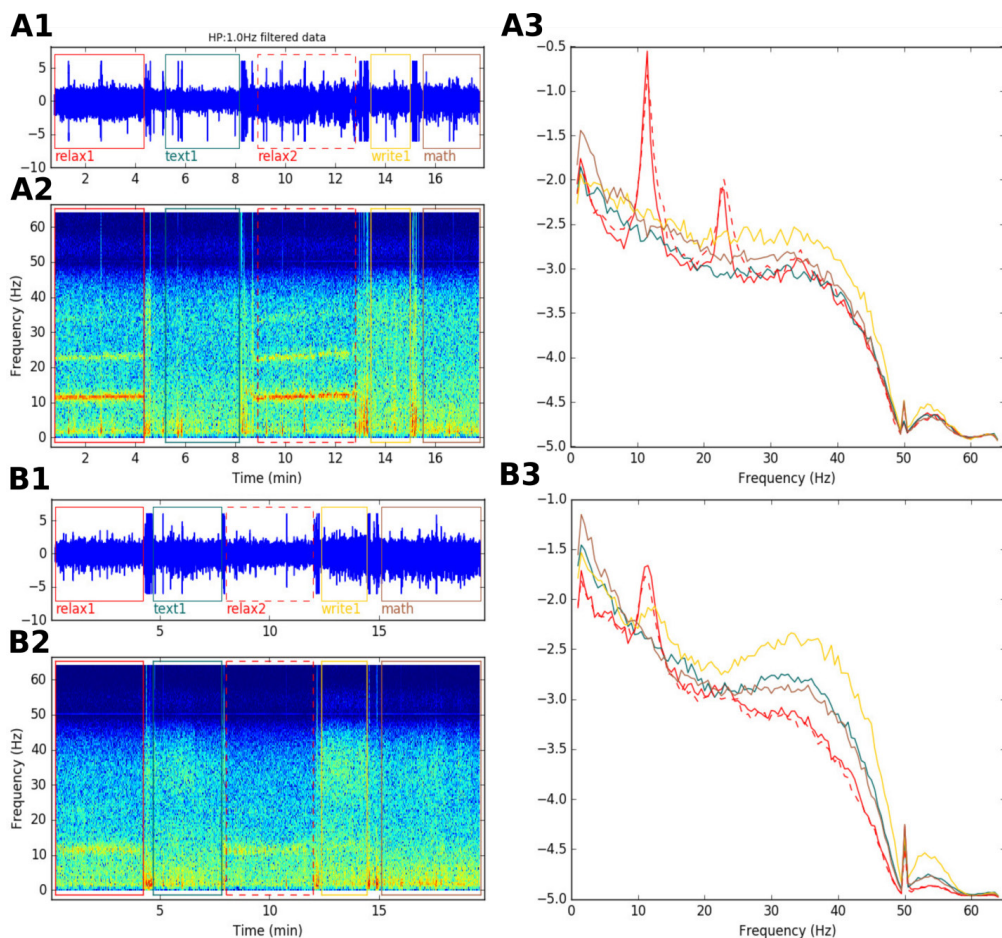
Az Eszterházy Károly Egyetem Digitális Technológia Intézet Humáninformatika Tanszékével együttműködve végeztünk EEG-méréseket, 14 csatornás Emotiv Epos EEG-készülékkel (www.emotiv.com).

Mérés menete

A méréshez az Emotiv Xavier programot használtuk. A mérést megelőzően alanyainkkal ismertettük a kísérlet menetét, tájékoztatást kaptak a készülékkel nyerhető EEG-regisztrátumok jellemzőiről, az adatelemzés módjáról és a mérési adatok anonimitásának biztosításáról. Az ismertetőt írásban is megkapták, és a tájékoztató után járultak hozzá a kísérlet elvégzéséhez. A méréshez csendes, nyugodt környezetet biztosítottunk. Egy mérés átlagos időtartama 20 perc volt, csukott szemű relaxáció, szövegolvasás és fejszámolós feladatok szerepeltek a PowerPoint-prezentációnkban, amelyet a kísérletben részt vevők egy laptopon kaptak meg. A relaxációs zenehallgatás 4 percig tartott, amely alatt nyugtató zenét hallgattak a résztvevők. Az olvasott szöveg orosz klasszikusokból vett részlet volt, ami ~400 szót (~3000 karaktert) tartalmazott. A számolási feladatban a résztvevőknek 20 kétjegyű szám összeadásából, illetve kivonásából álló műveletet kellett megoldaniuk. A szöveges és számolási feladatoknál az egyes feladatok között a kísérleti személyek maguk váltottak. A kísérlet végén a kísérleti alanyoknak a szöveghez kapcsolódó kérdésekre kellett válaszolniuk, illetve kitöltöttek egy kérdőívet, amelyben értékelték teljesítményüket, nyilatkoztak a szöveg érdekességéről, nehézségéről és arról, hogy fáradtan vagy kipihenten érkeztek-e a mérésre.

Kiértékelés

Méréseinket követően a válaszlapokat értékeltük, a szöveg tartalmi részeire adott válaszok helyességéből százalékos teljesítményt számoltunk, a számolós feladatnál a végeredmény helyességét néztük. Az eredmények kiértékelésénél figyelembe vettük a feladatokra fordított időt is, a fáradságot és azt is, hogy a vizsgált alanyok hogyan értékelték saját teljesítményüket. Az EEG-elvezetések közül a két frontális (AF3, AF4) és a két occipitális (O1, O2) elvezetés fast Fourier-spektrumát (FFT) képeztük (1. ábra), és minden feladathoz számszerűsítettük az alfa-tartomány (8-13 Hz frekvenciájú EEG-hullámok), a theta-tartomány (4-8 Hz frekvenciájú EEG-hullámok) teljesítményét az 1-25 Hz közötti tartomány százalékában kifejezve. Azért ezekre az elektródákra esett a választásunk, mert ezek azok az elektródák, amelyek a legegyszerűbb EEG-aktivitást rögzítő pántokon is megtalálhatók. Az elemzésekhez Python (Python software foundation, 2.7.12) program 'scipy.signal' (0.17.0) és 'spectrum' (0.7.1) csomagokat (Cokelaer, 2012-2017; Jones és mtsai., 2001, 2017) használtuk. Az alfa-aktivitás a Fourier-transzformátumokon különösen behunyott szemmel nagy mértékű, a hozzá tartozó teljesítmény egy csúcsként jelenik meg, így az alfa-aktivitással kapcsolatban értelmezhető ennek a csúcsnak az amplitúdója is, amit szintén kiszámoltunk. Az egyes teljesítményeket összehasonlításához Mann-Whitney-tesztet használtunk.



1. ábra. Két alany (A) és (B) elvezetése

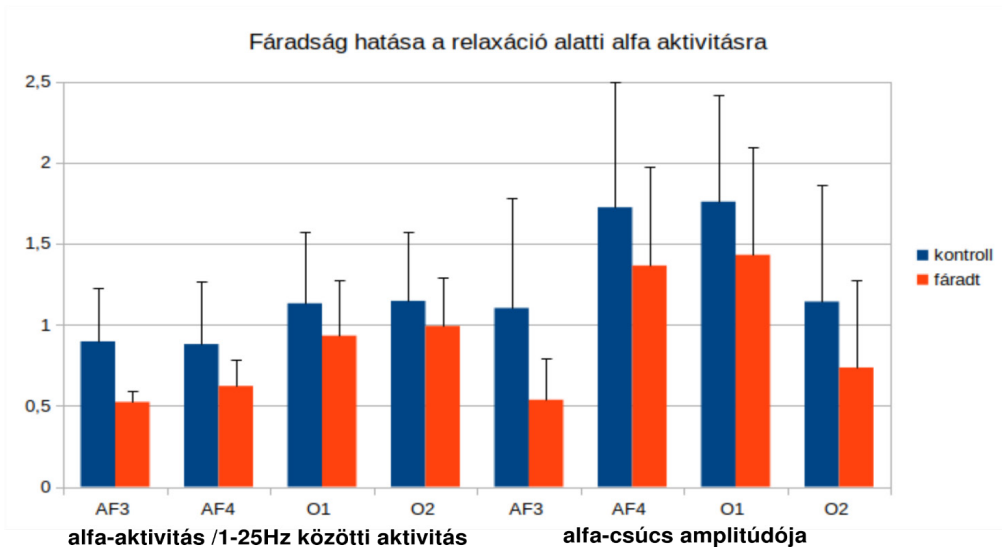
A1 és B1) a szűrt EEG jel, színkódolva az egyes feladatok, x tengely idő sec-ban, y tengely az EEG-jel amplitúdója mikroV-ban. **A2 és B2)** a Fourier-transzformáltum időbeli változását szemlélteti, x tengely az idő azonos az 1-es ábrával, y tengely frekvencia, színkód a frekvenciához tartozó teljesítmény. **A3 és B3)** Az egyes feladatok alatti EEG-jel Fourier-transzformáltja, x tengely a frekvencia, az y tengely pedig a EEG-jel teljesítménye.

Eredmények

Relaxáció

A méréshez tartozott 2 olyan periódus, amely alatt a kísérleti személy feladata az volt, hogy csukja be a szemét, és próbálja meg relaxálni, addig míg a zene szól. Az egyik ilyen relaxációra rögtön a mérés elején, a másikra pedig a feladatok

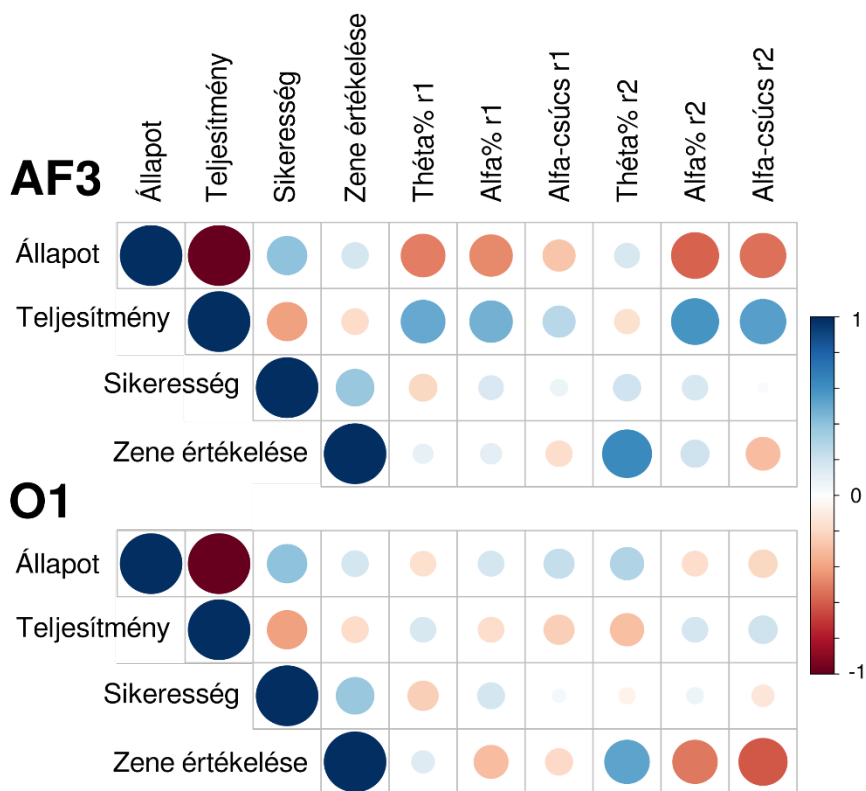
között került sor. Berger már a XX. század elején leírta, hogy behunyt szemmel, nyugalomban főleg a látókéreg feletti (occipitális) területen megnövekszik az alfa-aktivitás (BERGER, 1933). Ennek a leírójáról elnevezett Berger-ritmusnak a jelentkezése az egyik legjobban dokumentált EEG-aktivitásváltozás, emiatt tartottuk fontosnak, hogy jelenlétét regisztráljuk a mi kísérleti körülményeink között. A kísérleti személyeknél behunyt szemmel látjuk a legnagyobb arányú alfa-aktivitást a Fourier-spektrumon (1. ábra), ez az egyik legtöbb örökletes tényezőt mutató aktivitás, amely az életkorral is változik, aktuálisan pedig az éberségi szinttel függ össze nagysága (KETZ ÉS MTSAL., 2015). Ennek az alfa-csúcsnak az amplitúdóját hasonlítottuk össze frontálisan és occipitálisan fáradt és kipihent kísérleti alanyoknál. Kísérletünkben a neurológiai eredményekben feltártakhoz hasonlóan az alfa-aktivitás occipitálisan magasabb volt, mint frontálisan, és az AF3-elektrodon szignifikánsan kisebb értéket mutatott fáradt alanyoknál, mint kontrolloknál (2. ábra).



A második behunyt szemű relaxáció alatti alfa-csúcs nagysága (bal oldali 4 oszloppár) és az alfa-aktivitás teljesítménye (jobb oldali oszloppár) kontroll- és fáradt résztvevőkben az anterofrontális és occipitális elektródokon. Különösen a bal oldali anterofrontális kérgen a fáradt alanyoknál jóval alacsonyabb alfa-aktivitást regisztráltunk, mint kontrollalanyok esetében.

A feladatok közötti relaxáció alatti alfa-aktivitás frontálisan (AF3) korrelációt mutatott a kipihentséggel (Állapot), azzal, hogy az alany aznapi teljesítményét jónak értékelte-e (Teljesítmény). Erőteljes alfa-aktivitást a feladatok előtti és a feladatok közötti csukott szemű relaxációban azoknál a résztvevőknél regisztráltunk, akik úgy érezték, hogy a feladatokat jól tudták teljesíteni. Az alfa-csúcs

amplitúdója ezeken felül negatív korrelációt mutatott a zene értékelésével, nyugtató zene alatt volt a legalacsonyabb, és zavaró alatt a legmagasabb. Occipitálisan (O1) a zene értékelésével még erősebb volt a negatív korreláció, viszont a fáradtság vagy a teljesítmény kevésbé korrelált az alfa-aktivitással. Az alfa-csúcs vagy az alfa-aktivitás egyik elektródon sem korrelált azzal, hogy a kísérleti alany sikeresnek érezte-e a zene alatti relaxációt. Viszont azok a kísérleti alanyok, akik megnyugtatónak érezték a zenét, sikeresnek értékelték relaxációjukat is (3. ábra). A theta-aktivitás frontálisan (AF3) a teljesítménnyel az első relaxáció alatt korrelált, míg a második relaxáció alatt frontálisan és occipitálisan is a zene értékelésével, minél nyugtatóbb volt a zene, annál magasabb volt a theta-aktivitás (3. ábra).



3. ábra. Az EEG-aktivitások egyes komponenseinek korrelációja az önbevallásos kérdőívben rögzített értékelésekkel

Állapot: fáradt kontroll; **Teljesítmény:** rossz, jó; **Sikereség (relaxáció sikerült-e):** nem, igen; **Zene:** zavaró, semleges, nyugtató volt-e. Kékkel a pozitív, pirossal a negatív korrelációt tüntettük fel. A körök mérete és színük mélysége jelzi a korrelációs együttható nagyságát.

Relaxáció alatti EEG-aktivitás egyéni jellemzői

A relaxáció alatti aktivitás eltérő jellemzőket mutatott a kísérleti alanyoknál. A második relaxációban mért aktivitás spektrális felbontásakor kapott alfa-csúcs amplitúdóját hasonlítottuk össze kontroll- és fáradt állapotban a kísérleti személyek között (1. táblázat).

Személy	Állapot	Alfa-csúcs			
		AF3	AF4	O1	O2
Alany 1.1	kontroll	1,48	2,08	1,99	1,54
Alany 1.2	fáradt	0,55	1,16	1,42	0,67
Alany 2.1	kontroll	0,4	0,45	0,47	0,48
Alany 2.2	fáradt	0,37	1,69	1,76	0,43
Alany 3.1	kontroll	0,28	0,35	0,53	0,33
Alany 3.2	fáradt	0,39	0,51	0,62	0,45
Alany 4.1	kontroll	1,26	1,85	1,41	1,38
Alany 4.2	fáradt	0,31	1,14	1,04	0,41
Alany 5.1	kontroll	0,86	1,63	1,22	0,79
Alany 5.2	fáradt	1,42	1,59	2,14	1,43

1. táblázat. A második relaxáció alatt mért EEG-alfa-aktivitás

A második relaxációs zenehallgatás alatt mért EEG-aktivitások Fourier-spektrumán az alfa-csúcs amplitúdója a kísérleti személyek és a mérések között erősen variált. Jól látszik, hogy az egyes mérésekben kapott értékek erősen szórnak.

Mindegyik résztvevőre igaz volt, hogy fáradtan alacsonyabb alfa-csúcsot és alfa-aktivitást mutatott, mint kontrollkörülmények között (2. ábra). Az 1., 2. és 4. számú alanyok rendkívül nagy féltekei aszimmetriát mutatnak fáradtan, általában ez az erőteljes érzelmi viszonyulás jele a feladatokhoz (1. táblázat). Az eredmények nagy szórásához hozzájárul az értékek szórása is, amely részben a fejforma és hajzat következménye. Nem minden fejformára illeszkedik megfelelően az EEG-készülék, és a hosszú, erős szálú haj megnehezíti az elektródák megfelelő érintkezését a fejbőrrel.

Szövegolvasás és számolási feladat

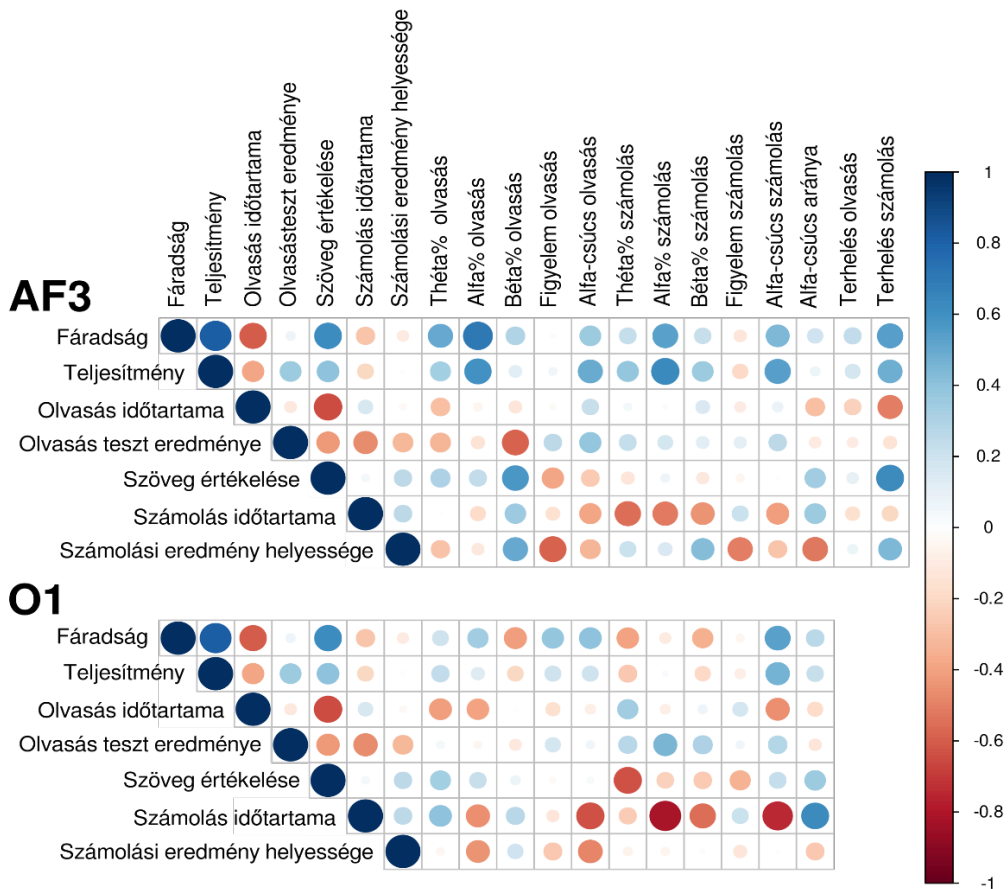
A 2. táblázatból megállapítható, hogy a szöveges feladat inkább könnyűnek bizonyult, nagyon sok 100%-os eredmény született, míg a fejszámolás meglehetősen nehéz volt, többnyire nem sikerült megkapni a helyes végeredményt.

Kísérleti alany	Kód	Magyar szöveg		Számolás	
		Időtartam	Helyes válaszok %	Időtartam	Eredmény helyes-e
Alany 1.1	kontroll	148	80	277	nem
Alany 1.2	kontroll	201	100	151	nem
Alany 1.3	fáradt	250	40	302	igen
Alany 2.1	kontroll	171	80	354	nem
Alany 2.2	fáradt	219	60	192	nem
Alany 3.1	kontroll	150	100	204	igen
Alany 3.2	fáradt	208	100	311	nem
Alany 4.1	kontroll	164	50	227	nem
Alany 4.2	fáradt	160	20	199	nem
Alany 5.1	kontroll	134	100	174	igen
Alany 5.2	fáradt	201	100	151	nem

2. táblázat. A magyar nyelvű szöveg, valamint a számolási feladatra fordított idő és a válaszok helyessége.

Fáradt kísérleti alanyoknál a helyes válaszok mennyisége általában csökkent, a feladatokra szánt idő pedig nőtt.

A feladatokra fordított idő, valamint a válaszok helyessége nem volt összefüggésben. Illetve az is látható, hogy fáradt mérés esetében a feladatra fordított idő, különösen az olvasási feladatoknál, megnőtt. Akiknek tetszett a szöveg, azok mutattak a legaktívabb béta-aktivitást olvasás alatt, viszont a helyes válaszok aránya negatívan korrelált a béta-aktivitással, valószínűleg a jól válaszolók nagy részének nem okozott a feladat nehézséget. A számolás időtartalma és helyessége is negatívan korrelált az occipitális alfával, akiknek jól ment a számolás, gyorsan végeztek vele, és blokkolták a feladat alatt az occipitális kéregben az alfa-aktivitást. Két olyan jellemzőt is meghatároztunk, amelyeket a kognitív aktivitások EEG-vel történő jellemzésére használnak, a figyelmet (théta- és béta-aktivitások hányadosa) és a terhelést (frontális théta és occipitális alfa hányadosa) (ANGELIDIS ÉS MTSAI., 2018; BOOTH ÉS MTSAI., 2018). A figyelem nem jelezte előre se a feladatmegoldás eredményességét, se a kísérleti személy állapotát, önreflexióját. A terhelés jobb mutatónak bizonyult, a számolás alatt magasabb volt, mint szövegolvasásnál, és a fáradtsággal, teljesítménnyel is jobban korrelált (4. ábra).



4. ábra. Olvasási és számolási feladatok alatti EEG-aktivitás és a hallgatók teljesítményére, illetve a feladatok értékelésére vonatkozó mutatók közötti korreláció.

Fáradtság: fáradt, kontroll; Teljesítmény: rossz, jó; szöveg értékelése: nem tetszett, semleges, tetszett. Kékkel a pozitív, pirossal a negatív korrelációt tüntettük fel. A körök mérete és színük mélysége jelzi a korrelációs együtttható nagyságát.

Konklúzió

Az értékeléseknél fontos szempont, hogy a módszer alkalmas legyen a tanulási folyamat minél teljesebb jellemzésére és a tanuló korábbi munkáival való összehasonlításra, illetve több tanuló munkái közötti összehasonlításra. Az értékelés visszajelzésül szolgál a tanár számára, segíti az oktatási folyamat tervezését. Alapvető probléma a jelenleg használatos értékelési módokkal, hogy a tanulók tudásának mérésére alkalmasak, a feladatlapok kérdései csak néhány szempont

alapján mutatják be a tanuló által elsajátított ismereteket. A tudás mellett egyéb fontos tényezőket, mint például a motiváltság, érzelmi viszonyulás a feladathoz, figyelem irányultsága, nem tudunk megállapítani vele. A különböző fiziológiai változók rögzítésével ezekről a folyamatokról tudhatunk meg többet. A fiziológiai változók közül az EEG-aktivitások tanulás alatti rögzítése tűnik a legígéretesebben. Mivel az EEG az idegrendszeri aktivitás változását mutatja, direktebb kapcsolatban van a tanulóval, mint a vegetatív idegrendszeri aktivitásokat tükröző változók (EKG, bőrellenállás) (TINGA ÉS MTSAL., 2019). A képző eljárásokhoz képest jobb az időbeli felbontása, és nem invazív, bármennyiszer ismételhető, olcsó mérés. Nagy előnye az EEG-készülékkel végzett méréseknek továbbá, hogy a tanuló tudásán túl információt ad arról is, hogy milyen mértékben terhelte meg őket a feladat (ANGELIDIS ÉS MTSAL., 2018; BOOTH ÉS MTSAL., 2018). Ahogy láttuk, az egyszerűbb feladatok sikeres teljesítéséhez sokszor alacsonyabb koncentráció is elég volt. A mérés másik tanulsága, hogy az EEG-aktivitás nagyon egyéni jellemző. Csak EEG-amplitúdó és spektrálisösszetevő-értékek alapján nem lehet következtetéseket levonni az egyéni teljesítményre vonatkozóan. Az EEG-aktivitás kiértékelésekor az egyéni jellemzőket figyelembe kell venni. Erre leginkább úgy van lehetőségünk, ha egy új módszer tesztelésénél egy másik módszer alatti aktivitáshoz hasonlítunk, vagy egyéb módon először korreláltatjuk a résztvevők EEG-aktivitását és teljesítményüket. Több tanulót vizsgálva lehetőségünk van az átlagos viselkedéshez igazítani feladatainkat, és közben azt is követhetjük, hogy az egyéni terhelések, teljesítmények hogyan alakulnak. Az egyéni jellegzetességek figyelembevételéhez még további mérések tapasztalataira lesz szükségünk.

Irodalomjegyzék

- ANGELIDIS, A., HAGENARS, M., VAN SON, D., VAN DER DOES, W., & PUTMAN, P. (2018) Do not look away! Spontaneous frontal EEG theta/beta ratio as a marker for cognitive control over attention to mild and high threat, *Biological Psychology*, 135, 8–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.03.002>.
- BOOTH, B. M., SEAMANS, T. J., & NARAYANAN, S. S. (2018). An Evaluation of EEG-based Metrics for Engagement Assessment of Distance Learners. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biologó Society. IEEE Engineering in Medicine and Biologó Society. Annual International Conference, 2018*, 307–310. DOI: <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8512302>
- BERGER, H. (1933). ÜBER DAS ELEKTRENKEPHALOGRAMM DES MENSCHEN. *Arch F Psychiat* 98, 231–54.
- Brassói, S., Hunya, M., & Vass, V. (2005): A fejlesztő értékelés: az iskolai tanulás minőségének javítása. *Új Pedagógiai Szemle*, 55. 7-8. sz. 4–17.
- CSAPÓ, B. (2005): Az előzetesen megszerzett tudás mérése és elismerése. Nemzeti Felnőttképzési Intézet, Budapest.
- COKELAER, T. (2012–2017). Spectrum analysis tools. Available at <http://github.com/cokelaer/spectrum>, accessed last: 2017. 10. 10.

- DIKFK (2015): Módszerek kidolgozása a felsőoktatásban alkalmazott e-tanulási rendszerek hatékonyságának és eredményességének mérésére. Debreceni Informatikai Kutató-fejlesztő Központ Szolgáltató Non-profit Kft., Debrecen.
- EMRI, ZSUZSANNA (2019) EEG aktivitások pedagógiai vonatkozásai. Eszterházy Károly Egyetem, Eger.
- FARKAS, ÉVA (2017): Mérés-értékelés kézikönyv – Tanulási eredmények mérése és értékelése a szakképzési mobilitási gyakorlatokban. Tempus Közalapítvány, Budapest.
- FARNADY-LANDERL VIKTÓRIA (2018): Egy hullámhosszon: neuro-tudományos felismerések az egymásra hangolódás szerepéről a tanulási folyamatok során. *Képzés és gyakorlat, Neuropedagógiai különszám*, 16. 3. sz. 13–20.
- PIEBELKORN, I. C., & KASTNER, S. (2019). A Rhythmic Theory of Attention. *Trends in cognitive sciences*, 23(2), 87–101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.11.009>
- FONYÓ, A. (2011). Az orvosi élettan tankönyve. Budapest: Medicina Könyvkiadó. Elektronikus változat: regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011-001_524_Elettan/adatok.html (Letöltés: 2020. 04. 30.)
- GASKÓ, HAJDÚ, KÁLMÁN, LUKÁCS, NAHALKA ÉS FEYÉR (2006): Hatékony tanulás, Budapest: Bölcsész Konzorcium. Elektronikus változat: <http://mek.niif.hu/05400/05446/05446.pdf> (Letöltés: 2020. 04. 12.)
- GOLNHOFER, E. (2003): A pedagógiai értékelés. In: Falus, I. (szerk.): *Didaktika – Elméleti alapok a tanítás tanuláshoz*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- GRASSMANN, M., VLEMINCX, E., VON LEUPOLDT, A., MITTELSTÄDT, J.M., VAN DEN BERGH, O. (2016). Respiratory changes in response to cognitive load: A systematic review. *Neural Plasticity* 2016. Article 8146809. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/8146809>
- KISSNÉ, ZSÁMBOKI RÉKA, FARNADY-LANDERL, VIKTÓRIA (2018): Neuropedagógiai innovációs lehetőségek a neveléstudományi kutatásokban az EMOTIV EPOC+ mobil EEG készülék alkalmazásával. *Képzés és gyakorlat, Neuropedagógiai különszám*, 16. 3. sz. 21–36.
- KLIMESCH, W. (2012) Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sci.* 16(12), 606–617. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>.
- KVASZINGERNÉ PRANTNER, CSILLA, EMRI ZSUZSANNA (2018) Hogyan támogatható a tanulás vizsgálata Emotiv EPOC EEG eszközzel? In: *Agria Média 2017. Eger, Líceum Kiadó*. pp. 157–165.
- LANGILLE, J., BROWN, R. (2018): The synaptic theory of memory: A historical survey and reconciliation of recent opposition. *Front. Syst. Neurosci.* 12. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnsys.2018.00052>
- LEINHARDT, G., SEEWALD, A. (1981): Overlap: What's tested, what's taught. *Journal of Educational Measurement*, 18(2). 85–96.
- LÉNÁRD SÁNDOR, RAPOS NÓRA (2009): *Fejlesztő értékelés*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- LOONIS, R. F. – BRINCAT, S. L. – ANTZOULATOS, E. G. – MILLER, E. K. (2017): A Meta-Analysis Suggests Different Neural Correlates for Implicit and Explicit Learning. *Neuron*, 96. 2. sz. 521–534.

- MATUSZ, P. J. – DIKKER, S. – HUTH, A. G. – PERRODIN C. (2019): Are We Ready for Real-world Neuroscience? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(3), 327–338.
DOI: https://doi.org/10.1162/jocn_e_01276
- MESTERHÁZI ZSUZSA (1998): A nehezen tanuló gyermekek iskolai nevelése, Budapest, ELTE.
- MOGYORÓSI ZSOLT (2018). A reflektivitás fogalmi megközelítése és gyakorlata a pedagógiában. In: PERJÉS ISTVÁN – HÉJJA-NAGY KATALIN (szerk.) (2018). *Tanulástámogatás a felsőoktatásban*. Eger: Líceum Kiadó. 72–82. Online: <http://www.eltereader.hu/kiadvanyok/perjes-istvan-hejja-nagy-katalin-tanulastamogat-as-a-felsooktatasban-online-mentoralasi-kezikonyv-2>. Letöltve: 2021. 11. 23.
- N. KOLLÁR, KATALIN, SZABÓ ÉVA (2004): *Pszichológia pedagógusoknak*. Osiris Kiadó, Budapest.
- N. TÓTH ÁGNES (2015): *A pedagógia adósságai*. Savaria University Press, Szombathely.
- OECD (2002): *Understanding the Brain: Towards a New Learning Science*. OECD Secretariat.
- OECD (2005): *Fejlesztő értékelés – A tanulást fejlesztő osztálytermi módszerek a középfokú oktatásban*. Országos Közoktatási Intézet, Budapest.
- SZEMERSZKI MARIANNA (2015): A tanulói eredményesség dimenziói és háttértényezői. In: SZEMERSZKI MARIANNA (szerk.): *Eredményesség az oktatásban – Dimenziók és megközelítések*. Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet, Budapest.
- TINGA, A. – DE BACK, T. – LOUWERSE, M. (2019). Non-invasive neurophysiological measures of learning: A meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 99. sz, 59–89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.02.001>
- TÓTH, LÁSZLÓ (2000): *Pszichológia a tanításban*. Pedellus Tankönyvkiadó Kft., Debrecen.
- VARGÁNÉ MOLNÁR MÁRTA, HÖFFLERNÉ PÉNZES ÉVA, SZENCZI-VELKEY BEÁTA, (2012): *A kognitív képességek fejlesztésének módszertana*, Kiadó: ELTE Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Kar, Elektronikus változat: https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2009-0007_a_kognitiv_kepessegek_fejlesztesenek_modszertana/TANANYAG/05_1_2.html (Letöltés: 2020. 04. 14.)
- VIRÁG IRÉN (2018). Értékelés a felsőoktatásban – A fejlesztő értékelés lehetőségei. In: PERJÉS ISTVÁN – HÉJJA-NAGY KATALIN (szerk.) (2018). *Tanulástámogatás a felsőoktatásban*. 82–98. Eger: Líceum Kiadó. Online: <http://www.eltereader.hu/kiadvanyok/perjes-istvan-hejja-nagy-katalin-tanulastamogat-as-a-felsooktatasban-online-mentoralasi-kezikonyv-2>. Letöltve: 2021. 11. 23.
- VIRÁG, IRÉN (2021) Age-specific characteristics in a pedagogical approach. *Journal of Applied Technical and Educational Sciences*, 11(1), 3–27.
DOI: <https://doi.org/10.24368/jates.v11i1.232>
- WANG, T., GUAN, S. U., MAN, K. L. (2014). EEG eye state identification using incremental attribute learning with time-series classification. *Mathematical Problems in Engineering* 1, 9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/365101>.