

Agyi bioelektromos jelfeldolgozáson alapuló figyelem vizsgálat

1. *Katona József okleveles mérnök-tanár - mérnökinformatikus
Dunaújvárosi Főiskola, Informatikai Intézet, katonaj@mail.duf.hu*

2. *Dr. Kővári Attila főiskolai docens
Dunaújvárosi Főiskola, Informatikai Intézet, kovari@mail.duf.hu*

Kulcsszavak: *memorizálási folyamat, figyelem, agyhullám, agy-számítógép interfész*

Összefoglaló

A tanulás, mint memorizálási folyamat során a figyelem kiemelt jelentőséggel bír, így a figyelem vizsgálata alapján a tanulás hatékonyságára is következtetni lehet. A cikkben egy új, a figyelem mérésén alapuló, a tanulás hatékonyságának vizsgálatára is alkalmas új módszer kerül bemutatásra. A figyelem vizsgálati eljárás az agyi bioelektromos jelek feldolgozásán alapul, és egy úgynevezett agy-számítógép interfész segítségével kerül megvalósításra. A cikkben röviden bemutatásra kerül a mérési eljárás alapjául szolgáló agy-számítógép interfész működése, kialakítása valamint az eszköz által szolgáltatott mérési eredmények összehasonlításra kerülnek a pszichológiai kutatásokban alkalmazott figyelem vizsgálati eljárások eredményeivel.

Abstract

The attention is a relevant role during the learning and memorization process so the effectiveness of learning can be inferred from the examination of attention. In this article, a new methodology will be presented, which is based on the measurement of attention and can be capable to examine the effectiveness of learning. The investigation procedure of attention, based on the bioelectrical signal processing of the brain, is implemented using a brain computer interface. In this article, the operation and implementation of the brain computer interface is shortly presented, furthermore the measurement results of the brain computer interface are compared to attention test methods applied in psychological researches.

1. Bevezetés

A tanulás folyamatainak szempontjából az emberi agyat vizsgálhatjuk úgy, mint egy rendszert, amelyben olyan változások következnek be, amelyek hosszabb időn keresztül, legalábbis valamilyen funkciók ellátása szempontjából elég hosszú időn keresztül megmaradnak. A tanulás során az agyban létrejövő változás, az agysejtek közötti kapcsolatok alkotta hálózat átalakulását jelenti, amelyek segítségével az emberi funkciók jobban elláthatóak (Gaskó, és mtsai., 2006). A tanulás módszereinek hatékony fejlesztéséhez meg kell teremteni a megfelelő intellektuális működés feltételeit. A tanulási folyamatban négy nagy képesség együttes játszik közvetlen szerepet (Balogh, 2006):

- figyelem;
- emlékezet;
- megértés;
- problémamegoldó gondolkodás.

„A gyakorlatban gyakran lebecsüljük a figyelem szerepét, pedig ez az a képességegyüttes, amely optimális feltételeket biztosíthat az információk felfogásához és feldolgozásához. Ez azért kiemelkedő jelentőségű, mert funkcionálása nélkül nem működhet hatékonyan egyetlen intellektuális képesség sem, így e nélkül elképzelhetetlen a hatékony tanulási technika” (Balogh, 2006, 54. o.).

A hatékony és sikeres tanulást tehát a megértő, értelmező, problémamegoldó képességeken felül, elsősorban az érzelmi és motivációs feltételektől is függő figyelem és az emlékezet, mint kognitív képességek határozzák meg. A figyelem az alábbiak szerint definiálható, melyből látszik, hogy a figyelem lényegében fontosabb információkra történő összpontosítás: *„Figyelem: a környezeti ingerek érzékelésekor működésbe lépő részben tudatos folyamat, melynek során az összes inger közül csak néhányra összpontosítunk. A figyelem határozza meg, hogy mi az, amire a későbbiekben egyáltalán emlékezni tudunk”* (Gaskó, és mtsai., 2006, 130. o.).

Napjainkban a tanulás folyamatáról a tudomány a fontosabb kérdésekre próbál választ találni, mint például miként változik meg a fiatal agy és milyen – az agyban végbemenő – folyamatok mentén képes tanulni az érett agy. Ezzel a tématerülettel foglalkozik a kognitív neurotudomány.

A kognitív neurotudomány fejlődését nagyban megkönnyítette az újabbnál újabb, innovatív vizsgálati eljárások. Az olyan eszközök, mint a funkcionális neuro-leképezés (fMRI)¹, a pozitron emissziós tomográfia (PET)², a transcranialis mágneses stimuláció (TMS)³, a közeli infravörös spektroszkópia (NIRS)⁴ vagy az elektorenkefalográfia (EEG)⁵ támogatásával a kutatók egyre letisztultabb képet kapnak azzal kapcsolatban, hogy mi is történik az emberi agyban a tanulás folyamata során.

Az elmúlt években már elérhetővé váltak olyan viszonylag olcsó és mobil, az agyi bioelektromos tevékenység megfigyelésére alkalmas EEG alapú jelfeldolgozó eszközök, melyek segítségével az agyban lezajló folyamatok által generált villamos jelek mérhetőek és feldolgozhatóak. Ezen EEG bioszenzorok képesek az agyi neuronok elektromos aktivitásának valós idejű digitális regisztrálására és feldolgozására. Az információk FFT⁶ alapú kiértékelése lehetőséget biztosít az agyhullámok erősségeinek meghatározására, melyekből a figyelem/koncentráció értékére lehet következtetni.

Amennyiben egy agyi bioelektromos tevékenység megfigyelésén alapuló eszköz segítségével vizsgálni lehet a tanuló figyelmét, úgy a tanulás hatékonyságát alapvetően meghatározó jellemzőkre lehet következtetni. A figyelem megfigyelésén keresztül folyamatosan mérhetővé válik a tanulást befolyásoló legfontosabb jellemző, melyből a tanulás hatékonysága a teljes ismeretátadás folyamán permanensen megfigyelhető. Ezen információ

¹Egy MRI szkennert alkalmazása a neurálisaktivitásnak a vérkémia (pl. oxigénszint) változásain keresztül történő, közvetett vizsgálatához.

²Azon technológia, amely pozitront kibocsátó radionukleidek segítségével képezik le az agyi aktivitást.

³Olyan eljárás, amelyben az agyban folyó elektromos aktivitást lüktető mágneses térrel befolyásolják.

⁴Közeli infravörös abszorpcióval teszi lehetővé az agyban levő deoxigenált hemoglobin koncentrációjának a megmérését.

⁵Egy elektrofiziológiai mérőeszköz, mely a neuronok elektromos aktivitásának regisztrálására szolgál, valós időben.

⁶A Fourier-transzformáció hatékony számítási algoritmus a jelek vizsgálatában és a mérési eredmények kiértékelésében.

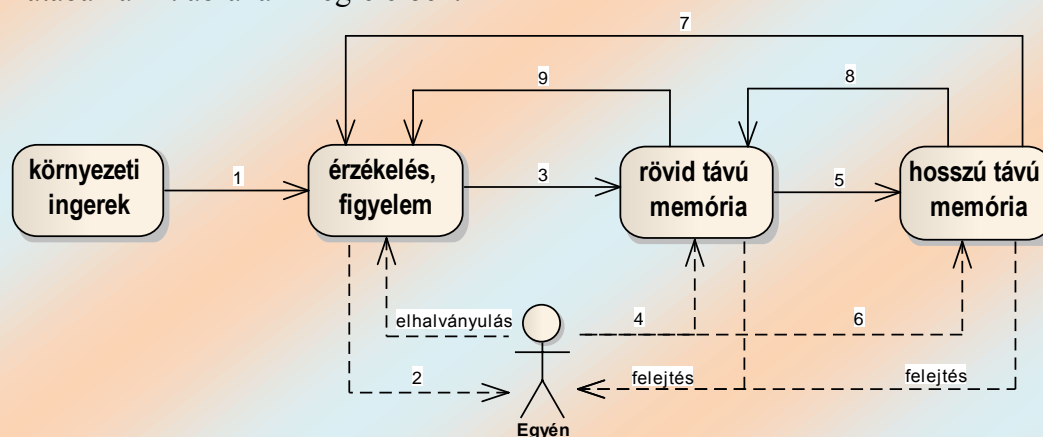
nagy segítséget nyújthat az oktató számára is, hiszen az ismeretátadási folyamat közben folyamatosan visszajelzést kaphat az ismeret elsajátítás hatékonyságáról. Amennyiben hatékonyság csökkenne, úgy ezt észelve változtathat az ismeretátadás jellegén, figyelemfelkeltőbb oktatási módszereket alkalmazva, vagy akár pihentető szünetet is tarthat.

2. Memorizálás folyamata, figyelem jelentősége és vizsgálati módszerei

A következőkben bemutatásra kerül a tanulás során kulcsszerepet játszó memorizálási folyamat, és ennek folyamatában a figyelem jelentősége. Továbbá ismertetésre kerülnek a pszichológiai kutatásokban alkalmazott figyelem vizsgálati módszerek és egy új, az agyi bioelektromos jelek feldolgozásán alapuló figyelem vizsgálati eljárás.

2.1 A memória szerepe a tanulási folyamatban, a figyelem jelentősége

Ma még kevés információ áll rendelkezésre arról, hogy milyen kapcsolat van a tudás és az azt tartalmazó agy struktúrája, felépítése között. Ezt a kérdést pedig a kognitív pszichológia vizsgálja, ami a tanulást információfeldolgozásként értelmezi, és az idegrendszert pedig információ-feldolgozó rendszernek tekinti. A tanulás információfeldolgozási modelljében Atkinson és Shiffrin különböző memóriatárakat és visszacsatolási funkciókat különböztet meg és rendszerbe foglalja az információval való műveleteket (Atkinson & Shiffrin, 1968). A figyelem és az emlékezet szerepét a tanulást, mint információ feldolgozó leírásként lehet elemezni. Atkinson és Shiffrin többszöröstár-elmélete a tanulás információfeldolgozási modellje különböző memóriatárakat és visszacsatolási funkciókat különböztet meg a tanulás folyamatában az 1. ábrának megfelelően.



1. ábra: Atkinson és Shiffrin többszöröstár modellje

Először érzékelnünk kell az információkat az úgynevezett szenzoros regiszterek (SZR) ⁷ segítségével, majd ezek feldolgozásával a tanulás szempontjából jelentőseket automatikusan ki kell emelni és a memóriában eltárolni. A szenzoros regiszter egy olyan pillanati tároló, ahol az észlelt ingerek 1-3 másodpercig maradnak meg, majd törlődnek. Az olyan ingerek, mint például a vizuális, akusztikus, taktilis, szag- és ízingerek folyamatos feldolgozásra készítetik az érzékszerveinket. Ezek az ingerek az információfeldolgozás kezdetén rögzítésre kerülnek az úgynevezett szenzoros regiszterben, ahol az érzékszervi benyomások változatlan formában kódolódnak. Azok a pillanatsfelvételek, amelyeket figyelmünkkel kiemelt prioritással kezelünk, nem halványulnak el, hanem áthelyezésre kerülnek a rövidtávú

⁷Jelentéssel nem bíró, érzékszervi tár, amely, nagy terjedelmű, illékony pillanatnyi tároló.

memóriába (RTM)⁸ (Baddeley, 1968). Ez a folyamat maga a figyelem, amikor is eldől, hogy az adott körülmények esetén mely információk a fontosabbak és melyek nem. Amelyek kevésbé jelentősek, azok csak az információ-feldolgozás egy alacsonyabb szintjén kerülnek kiértékelésre, és ezen információk az idővel gyorsabban elhalványulnak, elfelejtődnek.

A hosszú távú memóriában (HTM) bonyolultabb folyamatok mennek végbe, itt történik a tulajdonképpeni információraktározás. A hosszú távú memóriában az információk legnagyobb mértékben szemantikusan, azaz jelentés alapján, értelem szerint kódolódnak. A hosszú távú memória csak a rövid távú memórián keresztül juthat a kódolt információhoz.

Tanulási képességeink fejlesztése során legtöbbször a hosszú távú memória javítására törekszünk, de ennek hatékonyságát a hosszú távú memória előtt végzett információ kiemelés, vagyis a figyelem (pl. megfigyelési képesség, megkülönböztetési képesség, felismerési képesség) is nagymértékben meghatározza (Gaskó, és mtsai., 2006).

Az emberi információ befogadó képessége korlátozott. Egy adott időpillanatban a hozzánk eljutó látványoknak, hangoknak, szagoknak és egyéb ingereknek csupán egy töredékét találjuk és rögzítjük a szenzoros regiszterben. Azonban az inger észlelése és tárolása mellett más folyamat is csökkenti az információt. A már kiválogatott és a szenzoros regiszterben tárolt információknak csak az egyharmadát dolgozzuk fel ténylegesen, amelyek ráirányulnak valamire, kiemelésre kerülnek a többi rovására, tehát az agyunkhoz eljutó információk és ismeretek szűrését a kulcsfontosságú szerepet betöltő figyelem, egyfajta szelektivitást végrehajtva határozza meg. Ezt a szelektív ráirányulást nevezzük figyelemnek. Az ingerek közötti szelektálást – számunkra a jelentőségteljes dolgokat kiemelve – a figyelem biztosítja, ráadásul a funkcionálása hiányában az intellektuális képesség sem működhetne eredményesen (Nolen, June 15, 2009) (Tóth, 2000).

Az elsajátított ismeretek könnyebb felidézéséért leginkább az akaratlagos, szándékos (az egyén által tudatosan irányított) és az akaratlan, önkéntelen (az alany tudatos elhatározásától független) figyelem mértéke a felelős. A kontrollált (szándékos) figyelem hatását növelő tényezők a feladattudat, az önkontroll és a cselekvési terv. Az automatikus (önkéntelen) figyelmi állapotot kiváltó külső tényezők közé sorolhatók a különböző ingerek intenzitásai, a tárgyak izoláltsága és a hirtelen bekövetkezett változások. A figyelem a tanulás eredményességében nagy szerepet tölt be, továbbá a hatékony tanulás eléréséhez a szétszórt, önkéntelen figyelemből a koncentrált, szándékos figyelmet kell kialakítani. Egy adott dologra történő figyelem vagy koncentráció attól függ, hogy az adott időpillanatban milyen mentális állapotban, milyen ingerek hatnak ránk (Beebe, Rose, & Amin, 2010). Például ebédidő tájékán, amikor éhesek és fáradtak vagyunk, sokkal nehezebben tudunk koncentrálni egy előadásra, mint a kora délelőtti órákban.

A bemutatott modell alapján a figyelem a tanítási folyamat sikerességének egyik legfontosabb jellemzője, mivel ennek szintje az ismeret elsajátítás, memorizálás eredményességét közvetlenül befolyásolja, ezért ennek behatóbb vizsgálata feltétlenül szükséges.

2.2 Figyelem vizsgálatára alkalmazható eljárások

⁸A memória rendszerek azon része, ahol a tudatos információ először megjelenik.

Az előzőekben ismertetettek szerint megállapítható, hogy a tanulás eredményességében a figyelem kulcs szerepet játszik. Az alábbiakban összefoglalásra kerül néhány, a figyelem mérésre és vizsgálatára alkalmas számítógépes algoritmus segítségével megvalósított eljárás. A pszichológiai kutatásokban elterjedten alkalmazzák az úgynevezett PEBL⁹ környezetet az egyes vizsgálati eljárások algoritmusainak implementálásra (Muller & Piper, 2014). A PEBL egy olyan kereszt platformú (több operációs rendszerre is implementált) rendszer, amely lehetővé teszi számítógép alapú tesztek és kísérletek futtatását. A program telepítését követően – megközelítőleg 50db –teszt található az úgynevezett PEBL Test Battery mappában. A kísérletek többsége a program a számítógép kijelzőjén megjelenített alakzatok, szövegek és betűk segítségével történik, miközben a számítógép perifériáit felhasználva (billentyűzet, egér) kerülnek rögzítésre a tesztalany kísérleti célingerekre adott reakciói.

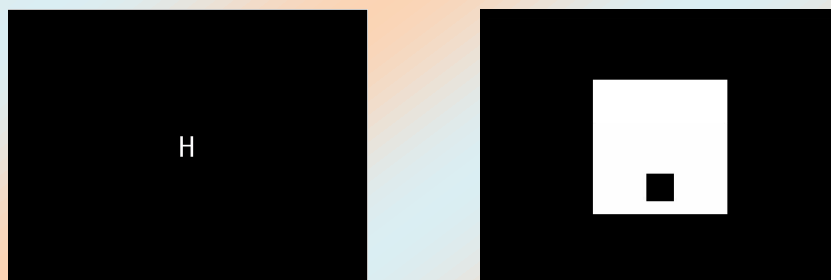
2.2.1 Conner-féle CPT teszt: Conner's Continuous Performance Task

A módszer részletesen Rosvold és Mirsky cikkében kerül ismertetésre (Enger, és mtsai., 1956). A Conner-féle folyamatos teljesítmény teszt (CPT) – az 1956-os publikációban megjelent eredményeket veszi alapul – ahol olyan egyszerű vizsgálati módot alkalmaznak, amely során egy ritkán előforduló jel esetén kell egy adott választ adnia a tesztalany. A teszt a koncentrációt/összpontosítást vizsgálja egy relatív igen hosszú ideig tartó teszt során, mely megközelítőleg 14 percig tart. A CPT teszt során megkülönböztetünk célingereket, amelyek az angol ABC betűiből következnek A-tól U-ig, és a célingerral ellentétes karaktert. Abban az esetben, ha a betű nem X (2. ábra), ez a célinger, akkor a tesztalany meg kell nyomnia a szóköz billentyűt. A körülbelül 14 percig tartó vizsgálat során a tévesztések és a helyes válaszok száma mellett a reakció idő alapján készített riportot megvizsgálva lehet következtetni a tesztalany figyelmi szintjére (Conners, Epstein, Angold, & Klaric, 2003) (Greenberg & Waldmant, 2006).

2.2.2 T.O.V.A. teszt: Test Of Variables of Attention

A T.O.V.A. tesztet orvosi felhasználás esetén elsősorban pszichológusok és neurológusok alkalmazzák a figyelemzavar diagnosztizálásra, de nem orvosi felhasználási területeken is használják, mint például iskolákban vagy rehabilitációs programokban. A T.O.V.A. teszt egy egyszerű megvalósítása a TOAV koncentráció/éberség teszt, mely csak vizuális ingerekre adott reakciót vizsgálja. Ahogyan a Conner-féle folyamatos teljesítmény teszt során, ennél a teszt típusnál is megkülönböztetünk célingereket, illetve a céllal ellentétes ingereket. A tesztben egy számítógép monitorán egy fehér négyzetben egy fekete négyzet helyezkedik el, véletlenszerűen vagy az alsó, vagy a felsőrészen (2. ábra). A tesztalany csak akkor kell a szóköz billentyűt megnyomni, abban az esetben, ha a fekete négyzet felül helyezkedik el (Greenberg & Waldmant, 2006).

⁹Pszichológiai kísérletre épülő nyelv.



2. ábra: PCPT teszt és a TOAV teszt

Forrás: <http://pebl.sourceforge.net/wiki/index.php> és <http://www.tovatest.com>

2.3 Korszerű figyelem vizsgálati módszerek

Az előzőekben ismertetett tesztek figyelem vizsgálati módszerek a teszt végrehajtása közbeni figyelem mérésére alkalmasak. Amennyiben a tesztalanyok nem egy teszt végrehajtása során szeretnék a figyelmének mértékét vizsgálni, hanem egyéb külső ingerekre történő összpontosítását szeretnék mérni, úgy az előzőekben felsorolt tesztek ilyen vizsgálatra nem alkalmasak. A tanulás folyamata során a diákra ható külső audiovizuális ingerek által kifejtett figyelem mértékét szintén nem lehet az előzőekben felsorolt tesztek segítségével vizsgálni. Ezért egy olyan figyelem vizsgálatára alkalmas módszert kell választani, amely nem tesztek segítségével mérhető, hanem tetszőleges ingerek által kiváltott figyelem vizsgálatára alkalmas.

A figyelem, amely a környezeti ingerek érzékelésekor működésbe lépő részben tudatos folyamat, ahol az ingerek közül csak néhányra összpontosítunk. Maga az agyban lejátszódó folyamat a kognitív neurotudományban alkalmazott innovatív mérési eljárásokkal megfigyelhető, mint például az fMRI, PET, TMS, NIRS vagy az EEG. Az előbbieken felsorolt első négy mérési módszer meglehetősen drága, bonyolult és nem mobil mérőberendezések, amíg napjainkban az EEG alapú vizsgálati eszközök között már léteznek bárki számára elérhetőek, relatíve olcsó és hordozható mérőeszközök. Az EEG eszközök segítségével az agy elektromos tevékenysége a fejbőrön elhelyezett érzékelők segítségével megfigyelhető, az így kapott információk felhasználásával az agy eltérő mentális állapotaira következtetni lehet (Li, és mtsai., 2012) (Yaomane, Pan-ngum, & Ayuthaya, 2012).

Megállapításra került, hogy a frontális lebeny bizonyos területei felelősek, a figyelmi működésért, az éberségért, a szelektív figyelemért, a fenntartott figyelemért és a figyelmi orientációért is (Geisler & Cormack, 2011) (Kamin, 1968). Már az 1970-es években megfigyelték a koncentráció/figyelem és az agyhullámok közötti összefüggést, melyre vonatkozólag EEG alapú figyelem analízist is szabadalmaztattak (United States Szabadalom száma: 3877466, 1975). A figyelem mérésének a módszere az agyi tevékenység elektromos jeleinek 8-13 Hz tartományba eső agyhullám spektrum erősségének vizsgálatán alapul, mely az agyjelek sáváteresztő szűrő segítségével történő szűrése és FFT algoritmussal történő meghatározás útján értékelnek ki. A 8-13 Hz frekvenciatartomány az alfa hullámok frekvenciatartománya, mely a nyugodt és így lényegében alacsony figyelmi szintű állapotnak megfelelő (Hussin & Sudirman, 2013). A megfigyelések alapján megállapították, hogy nagyobb figyelem esetén az $\frac{1}{2}$ és 50Hz frekvenciatartományba eső agyhullámok komponensei közül a 8 és 13 Hz tartományba esők amplitúdója meglehetősen alacsony. Másrészt figyelmetlen állapotban a 8-13 Hz frekvenciatartományba eső agyhullámok

amplitúdója igen nagy. Az agyhullámokban megfigyelhető különbség – az úgynevezett alfa blokk – az alapja a figyelem analizátornak (United States Szabadalom száma: 3877466, 1975) (Pivik & Harman, 1992) (Kraft, 2006). Amennyiben egy ilyen eszköz segítségével lehetőség van a figyelem folyamatos mérésére, úgy képet kaphatunk a tanulás feltételezhető eredményességéről.

3. Agyi bioelektromos jelfeldolgozáson alapuló figyelem vizsgálat

Az előzőekben leírtak szerint az agyhullám erősségeik alapján következtetni lehet a figyelem nagyságára. A következőkben röviden áttekintésre kerülnek az emberi mentális állapotokat jellemző agyhullám típusok, amelyeket az agy működése során keletkezett bioelektromos jelek regisztrálása és a rögzített regisztrátumok spektrumanalízise során határozhatunk meg. Az agy idegi működés elektrofiziológiai megfigyelésének legelterjedtebb eszköze az úgynevezett elektroencefalográfia (EEG), amely az agyi aktivitás által gerjesztett agyi elektromos jelek megfigyelésére, regisztrálására alkalmas. Az így kapott EEG jelek feldolgozását legtöbbször kvantitatív EEG (QEEG) módszerrel végzik, ahol az EEG jelek frekvencia-spektrumát vizsgálják (Katona, Ujbanyi, & Kovari, Agyhullám alapú irányítás alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata, 2013) (Katona, Farkas, Dukan, Ujbanyi, & Kovari, 2014).

Bizonyos agyhullám frekvencia-komponenseknek specifikus funkcionális jelentőségük van, melyet az 1. táblázat tartalmaz (Katona, Ujbanyi, & Kovari, Agyhullám alapú irányítás alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata, 2013) (Katona, Farkas, Dukan, Ujbanyi, & Kovari, 2014).

AGYHULLÁM TÍPUSOK	FREKVENCIA TARTOMÁNYOK (HZ)	AMPLITÚDÓ (μ V)	JELENTŐSÉG
Delta (δ)	0.1 – 3.0	50 – 100	<ul style="list-style-type: none"> • mély, álmatlan alvás • eszméletlen állapot • frontális lebenyhez köthető kognitív feladatok
Théta (θ)	4.0 – 7.5	30 – 50	<ul style="list-style-type: none"> • REM alvás, álom • 1-6 éves korban fiziológias • frontális lebenyhez köthető kognitív feladatok (Fourier-analízissel) • Intuitívítás, kreativitás
Alfa (α)	8.0 – 12.0	<30	<ul style="list-style-type: none"> • az agy „alapritmusa” • stimuláció hatására nagyfrekvenciájú ritmus váltja fel (alfa-blokk) • relaxált, de nem álmos, nyugodt állapot
Béta (β)	13.0 – 30.0	<20	<ul style="list-style-type: none"> • szenzoros és emocionális behatások • harmonikus, éber, nyugtalan, izgatott, gondolkodó állapotok • magas koncentráció • logikus, analitikus gondolkodás
Gamma (γ)	30.0 – 50.0	<10	<ul style="list-style-type: none"> • Magas mentális aktivitás

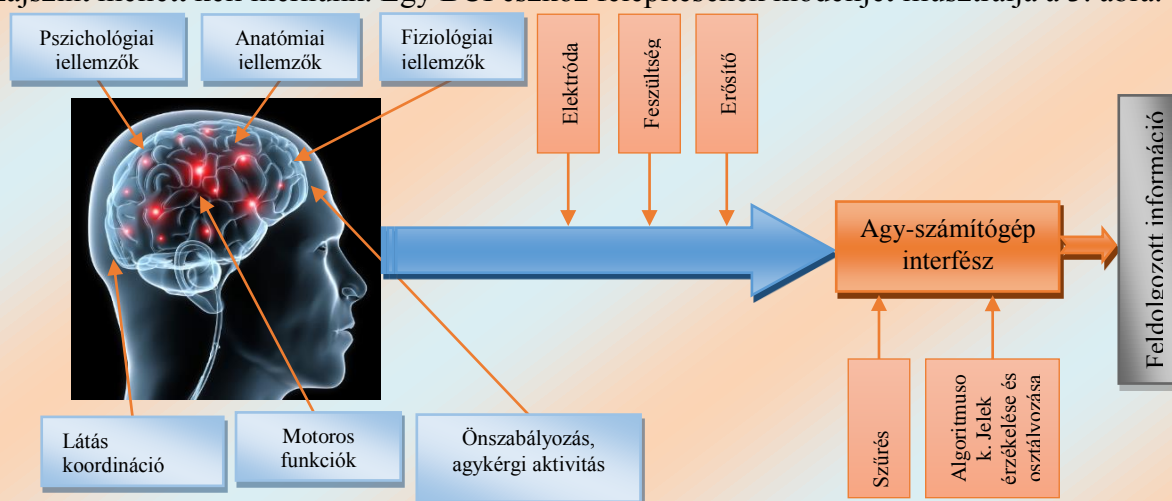
1. táblázat: Agyhullámok frekvencia és amplitúdó tartományai

3.1 Agy-számítógép interfész

Az agy-számítógép interfész (BCI)¹⁰ egy direkt kommunikációs csatorna az agy és egy külső eszköz között (Mikhail & Miguel, 2006). A BCI technológiát használó egyén és egy számítógépes alkalmazás között az agy-számítógép interfész tulajdonképpen egy alternatív kommunikációs csatornát biztosít. A felhasználók részére remény nyílik, hogy gondolataik által kiváltott agyi tevékenység útján ezen a közeg közvetítésével adatokat továbbítsanak (Coyle, Ward, Markham, & McDarby, Brain-computer interfaces: A review., 2003) (Curran & Stokes, 2003) (Picard RW, Klein J, 2002). Az agyi tevékenység által gerjesztett agyjelek mérhető információi a BCI-ok felhasználásával értelmezhető utasítások sorozatává vagy parancsok összességére alakítható át (Zickler, Riccio, & Leotta, 2011) (Wolpaw, 2002).

Az elektroencefalogram (EEG) típusú berendezések működésén alapuló BCI rendszerek, relatívan egyszerű kialakításúak, hordozhatóak, biztonságosak és kezelésük is aránylag egyszerű. A BCI technológia alkalmat kínál az agyi elektromos aktivitás figyelemmel kísérésére, ahol az EEG eszköz a feldolgozott jeleket szolgáltatja, eltérő EEG jeltípusok jellegzetességeinek megfigyelése alapján. (Li, és mtsai., 2011) Az EEG jelek mérését és feldolgozását végző eszközök az elmúlt években robbanásszerűen fejlődtek, melynek köszönhetően mára az alkalmazási lehetőségeik egyre bővülnek.

A digitális technológia fejlődése a BCI eszközök fejlesztésében is nagy áttörést jelentett, hiszen segítségükkel egyre pontosabb feldolgozást és kiértékelést lehetővé tevő jelfeldolgozó algoritmusok valósíthatók meg. A technológiai fejlődés addig vezetett, hogy manapság már a mérhető agyi jeleken komplex, időben valós jelfeldolgozást lehet végrehajtani, amely nem kíván költséges és méreteiben terjedelmes eszközöket. Ha megfelelő információt szeretnénk kapni a jelfeldolgozás eredménye alapján, akkor a μV nagyságrendű agyjeleket alacsony zajszint mellett kell mérnünk. Egy BCI eszköz felépítésének modelljét illusztrálja a 3. ábra.



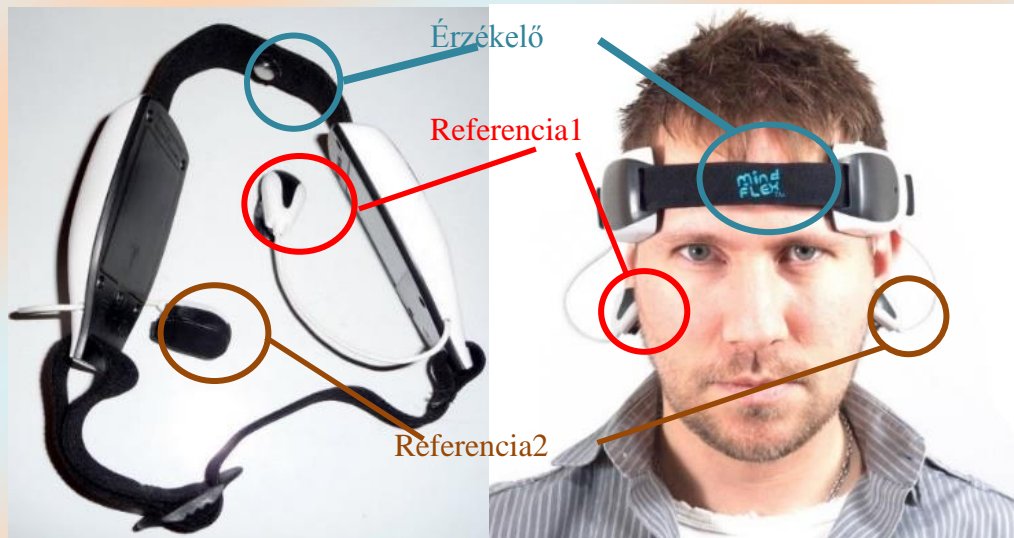
1. ábra: BCI eszköz felépítésének modellje

3.2 Agy-számítógép interfész hardverének megvalósítása

A következőekben bemutatásra kerül egy agy-számítógép alapú mérőeszköz hardver szintű kialakítása, amely alkalmas az agyi elektromos tevékenység megfigyelésére és a mért jelek

¹⁰BCI (Brain-Computer Interface): Az agy-számítógép interfész egy olyan komplex rendszer, amely különféle utasításokat és parancsokat képes közvetíteni egy vezérelt eszköz számára az emberi agytól jövő jelek feldolgozása útján.

digitalizálására, valós idejű feldolgozására, amely a további kiértékelési eljárások alapadatait szolgáltatja. Az általunk választott NeuroSky gyártmányú MindFlex EEG alapú mérőeszközök az agyi elektromos jelek érzékeléséhez rozsdamentes ötvözetből készült, száraz EEG szenzort tartalmaznak (NeuroSky, 2009). Az érzékelőket és az agyjelek mérő- és előfeldolgozó egységét egy gumírozott kialakítású fejpánton helyezték el (4. ábra).



4. ábra: MindFlex EEG headset

A berendezés a monopoláris technológiát alapul vevő két referencia pontot és egy érzékelőt használ, amelyek közül a referencia pontok a fül alsó részére csíptetve használjuk, a száraz típusú érzékelő a homloklebenyen helyezkedik el, mely elhelyezés előnyös a figyelemmel kapcsolatos agyi tevékenység megfigyelésében. A headset energia ellátását három darab 1,5V-os ceruzaelem biztosítja.

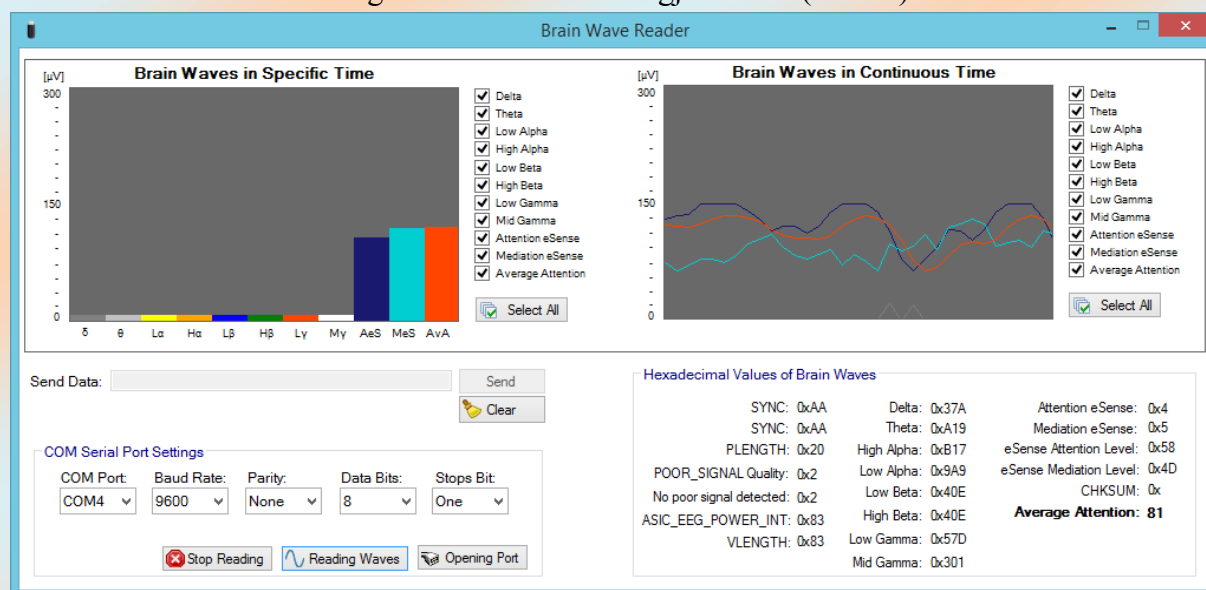
Az általuk fejlesztett eszköz által mért és feldolgozott adatokat a hagyományos, nedves elektródát alkalmazó, az orvosi vizsgálatokban és a kutatások során széles körben használt Biopac rendszerrel is összehasonlították és kiértékeltek. Mindkét regisztráló eszköz segítségével egy időben rögzítették az adatokat, mely vizsgálat során az érzékelőket is azonos helyekre, azokat egymáshoz közel elhelyezve rögzítették. A két eszköz által szolgáltatott mérési adatok alapján meghatározott teljesítmény spektrumot hasonlították össze az 1 Hz – 50 Hz tartományban, amely az egyes jellemző agyhullám típusok frekvencia tartománya. A vizsgálat eredményére azt kapták, hogy a korrelációs tényező a két eszköz által szolgáltatott teljesítmény spektrum között 0,7 értéknél nagyobb, amely megállapítható, hogy a két eszköz által szolgáltatott információk közel megegyeznek. Összefoglalóan, megállapították, hogy a Neurosky által fejlesztett rendszer a Biopac rendszerével kompatibilis. (NeuroSky, 2009)

A headset által szolgáltatott adatok átvitele nem szabványos vezeték nélküli kapcsolattal valósítható meg, ezért a mérési adatokat az eszköz átalakítása után soros kapcsolaton olvastuk ki. A MindFlex EEG headset által szolgáltatott jeleket tovább feldolgozó, megjelenítő és az utólagos kiértékelést segítő regisztráló program egy laptopon került implementálásra.

3.3 Agy-számítógép interfész szoftverének megvalósítása

Az előbbi főfejezetben fejlesztett és bemutatott BCI hardver által küldött adatok feldolgozása nélkülözhetetlen a megfelelő rendszer kialakításához. Ehhez szükséges egy olyan szoftver

implementálása, amely képes az adatok feldolgozásán túlmenően a kapott információk megjelenítésére is. A definiált probléma megoldásához egy magas szintű programozási nyelv került kiválasztásra, amely képes az EEG headset agy-számítógép interfész által küldött információkat tovább feldolgozni és vizuálisan megjeleníteni (5. ábra).



5. ábra: A BCI adatfeldolgozó és megjelenítő szoftver felhasználói felülete

3.4 Figyelem vizsgálatára irányuló kísérlet

A következőkbe a PEBL figyelem vizsgálati eljárások felhasználásával olyan összehasonlító tesztek kerültek elvégzésre, amelyben a teszteredmények az agy-számítógép interfész által szolgáltatott adatokkal kerültek összevetésre. A kísérletek eltérő éberségi állapotban zajlottak le, melyek egy tanítási nap kezdete előtt és végén lettek lefolytatva. A teszt megkezdése előtt a tesztalanyoknak a vizsgálatok előtt fel kellett helyezniük az agyhullámok mérésére szolgáló EEG alapú headset-et. Az eszköz felhelyezését követően az alanyoknak pontosan elmagyarázásra került a tesztelés menete.

A PEBL környezetben implementált figyelem tesztek eredményei a BCI rendszer által szolgáltatott átlagos figyelem szinttel kerültek egybevetésre. A kísérletek lefolytatásának célja annak megállapítása, hogy az EEG alapú BCI eszköz segítségével meghatározott figyelmi szint és a lefolytatott tesztek eredménye között milyen kapcsolat mutatható ki.

A vizsgálatban a Rudas Közgazdasági Szakközépiskola, Szakiskola és Kollégium diákjai vettek részt. Kísérletben összesen 32 közel azonos képességű diák vett részt: 32 tizennégy és tizennyolc év közötti diák, 16 fiú és 16 lány, 6 fő kilencedik évfolyamba, 12 fő tízedik évfolyamba, 8 fő tizenegyedik évfolyamba és 6 fő tizenkettedik évfolyamba járt a kísérlet végrehajtásának időpontjában.

A PEBL környezetben implementált figyelem vizsgálati eljárások közül a CPT teszt eredményei közül a teszt sikerességére jellemző helyes próbálkozások száma (**Correct Trials**) és a TOAV teszt eredmények közül szintén a sikerességre jellemző helyes próbálkozások száma (**Correct Trials**) került összevetésre a BCI rendszer által szolgáltatott az átlagos figyelem értéke.

A 2. táblázat tartalmazza a tesztalanyokon a reggeli órákban végzett, a figyelem vizsgáló tesztek eredményeinek, és a vizsgálat közben a BCI rendszer által folyamatosan mért átlagos figyelem értékeinek átlagát és szórását, valamint az eredmények közötti korreláció nagyságát.

Tesztek típusai	A tesztalanyok célingerekre adott helyes válaszainak számtani átlaga	Korrelációs Koefficiens	p-érték
CPT	315,3±5,2	0,70*	<0,0001*
EEG	51,3±7,4		
TOAV	629,2±6,9	0,73	<0,0001
EEG	52,5±4,8		

2. táblázat: Folyamatos teljesítmény teszt, éberségi figyelem teszt eredményeinek és a BCI rendszer által meghatározott, a figyelem szintjére jellemző középértékek statisztikai elemzése a teljes mintára vonatkozóan.

(reggeli órákban) *Spearman korreláció

A 3. táblázat a 2. táblázatban található eredmények délutáni időpontban kapott értékeit tartalmazza.

Tesztek típusai	A tesztalanyok célingerekre adott helyes válaszainak számtani átlaga	Korrelációs Koefficiens	p-érték
CPT	308,8±5,9	0,71	<0,0001
EEG	45±6,6		
TOAV	619,8±7,4	0,72	<0,0001
EEG	47,2±4,8		

3. táblázat: Folyamatos teljesítmény teszt, éberségi figyelem teszt eredményeinek és a BCI rendszer által meghatározott, a figyelem szintjére jellemző középértékek statisztikai elemzése a teljes mintára vonatkozóan. (délutáni órákban)

A kapott korreláció értékekből jól látható, hogy mind a reggeli, mind a délutáni órákban lefolytatott figyelem és memorizálást vizsgáló tesztek eredményei és az EEG alapú agyszámítógép interfész által mért átlagos figyelem értékek között viszonylag magas, 0,7 feletti korreláció mutatható ki, amely a vizsgált jellemzők között markáns kapcsolatot mutat. Ez azt jelenti, hogy mind a figyelem vizsgálatára az általánosan alkalmazott teszt alapú mérési módszerekhez képest a kifejlesztett BCI rendszerben implementált mérési metódus alternatív vizsgálati eljárásaként alkalmazható. A 2. és 3. táblázat összevetéséből látható, hogy a reggeli órákban a tesztek és a BCI rendszer által szolgáltatott mérési eredmények átlaga magasabb, mely jobb figyelemi szintre, éberebb állapotra utal. Természetesen a délutáni órák alacsonyabb átlagai, pedig fáradtabb, átlagosan alacsonyabb figyelemre engednek következtetni. Az eredmények szórása tekintetében markáns különbségek nem voltak kimutathatóak.

Kutatás korlátai

Az előző fejezetekben ismertetett agyi bioelektromos jelfeldolgozáson alapuló, figyelem vizsgálati módszer, a tanuló egy adott, relatíve rövid időtartamra meghatározott átlagos figyelemi szintjét képes meghatározni, melyből a tanulási folyamat várható eredményességére lehet következtetni. Természetesen tudjuk, hogy a tanulás az nem percekben, hanem években, évtizedekben végbemenő folyamat és ennek folyamatos megfigyelése jelenlegi technológiai eszközeinkkel lényegében kivitelezhetetlen. Vagyis ezzel a módszerrel a teljes, több éves tanulási folyamat egy kis részletére lehet következtetéseket levonni a várható sikerességről.

Ettől függetlenül ezek az eredmények is e technológia felhasználásának egy igen ígéretes lehetőségét vetítik előre.

Az EEG headset – bár kialakítását tekintve viselése kevésbé zavaró – ennek ellenére a viselése hosszabb időn keresztül kényelmetlen, ezért a technológia tovább fejlesztése szükségszerű.

Konklúzió

Az előzőkben bemutatott eredmények a kognitív neurotudomány napjainkban is végbemenő fejlődését meghatározó új mérő- és vizsgálóeszközök közül az EEG alapú agyi bioelektromos jelek mérésén és feldolgozásán alapulnak. A cikkben ismertetett kutatás témája a tanulás hatékonyságának egy agy-számítógép interfész rendszer által, QEEG feldolgozáson alapuló figyelem mérési módszer segítségével történő vizsgálata volt. A kutatási téma alapját a memorizálás folyamatát leíró Atkinson és Shiffrin többszörös-tár elméleti modellje adta, melynek középpontjában a figyelem, mint a tanulás és memorizálás egyik legfontosabb tényezője áll. A figyelem nagysága és a tanulás hatékonysága, valamint az agy-számítógép interfész rendszer által szolgáltatott figyelem érték közötti kapcsolat megállapítására, a PEBL környezetben implementált, általánosan elfogadott vizsgálati módszerek kerültek alkalmazásra. A kutatási eredményekből megállapítható volt az agy-számítógép interfész által szolgáltatott figyelem érték és a pszichológiában alkalmazott figyelem tesztek eredményei között markáns kapcsolat mutatható ki.

A kutatás témája, a kutatási eredmények és a kutatásból levonható következtetések alapján az agyi bioelektromos jelek vizsgálatán alapuló eljárások a jövőben egy teljesen új alkalmazási területen való felhasználásukat alapozhatják meg. Amennyiben a tanár a mérőeszköz segítségével a figyelem, vagyis közvetve a tanulás hatékonyságának csökkenését tapasztalja, úgy ezt észelve változtathat az ismeretátadás jellegén, figyelemfelkeltőbb oktatási módszereket alkalmazva, vagy akár pihentető szünetet is tarthat. Ezen információk birtokában a tradicionális, pontosan megadott időpontban kezdődő, pontosan megadott ideig tartó órák helyett a tanulók figyelmével összefüggő ismeretbefogadó képességük alapján történhet a tanulás folyamatának időbeli szervezése. Érthető ezalatt például az óra kezdte, az adott órán belül a fontosabb ismeretek, az ismereteket kiegészítő vagy a megértést könnyítő tartalmi elemek órán belüli a hallgatóság figyelmi szintje alapján megválasztott mennyisége és egymásra épülése, valamint a fáradtságot jelző alacsonyabb figyelmi szint esetén az óra időtartamának és a szünet időpontjának optimális megválasztása. Ezzel a módszerrel összességében a tanulás/tanítás hatékonysága növelhető, optimalizálható.

Irodalomjegyzék

- Atkinson, C. R., & Shiffrin, N. R. (1968). Chapter: Human memory: A proposed system and its control processes. *The psychology of learning and motivation*(2), 89-195.
- Baddeley, A. D. (1968). *Working Memory*. Oxford University Press.
- Balogh, L. (2006). *Pedagógiai Pszichológia az iskolai gyakorlatban*. (László Tóth, Szerk.) Budapest, Magyarország: Urbis.
- Beebe, D., Rose, D., & Amin, R. (2010). Attention, learning, and arousal of experimentally sleep-restricted adolescents in a simulated classroom. *J. Adolesc. Health*, 47, 523-525.

- Belle, A., Hargraves, R. H., & Najarian, K. (2012). An automated optimal engagement and attention detection system using electrocardiogram. *Comput. Math. Methods Med.*, 1-12.
- Conners, C. K., Epstein, J. N., Angold, A., & Klaric, J. (2003). *Continuous Performance Test Performance in a Normative Epidemiological Sample* (5. kötet). Journal of Abnormal Child Psychology.
- Coyle, S., Ward, T., Markham, C., & McDarby, G. (2003). Brain-computer interfaces: A review. *Interdiscip Sci Rev*, 28(2), 112-118.
- Coyle, S., Ward, T., Markham, C., & McDarby, G. (2004). On the suitability of near-infrared (NIR) systems for next-generation brain-computer interfaces. *Physiol Meas*, 25, 815-822.
- Curran, E., & Stokes, M. (2003). Learning to control brain activity: A review of the production and control of EEG components for driving brain-computer interface (BCI) systems. *Brain Cogn*, 51, 326-336.
- Enger, H. R., Mirsky, A. F., Sarason, I., Bransome, J. R., Edwin, D., & Lloyd, B. H. (1956). *A continuous performance test of brain damage*. Journal of Consulting Psychology.
- Gaskó, K., Hajdú, E., Kálmán, O., Lukács, I., Nahalka, I., & Petriné, J. F. (2006). *A gyakorlati pedagógia néhány alap kérdése; Hatékony tanulás*. (István Nahalka, Szerk.) Budapest, Magyarország: Bölcsész Konzorcium.
- Geisler, W. S., & Cormack, L. (2011). *Models of overt attention*. Oxford: Oxford handbook of eye movements.
- Greenberg, L. M., & Waldmant, I. D. (2006). Developmental normative data on the test. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34(6), 1019-1030.
- Hussin, S. S., & Sudirman, R. (2013). Sensory Response through EEG Interpretation on Alpha Wave and Power Spectrum. *Procedia Engineering*, 53, 288-293.
- Kamin, L. J. (1968). 'Attention-like' processes in classical conditioning. (M. R. Jones, Szerk.) *Coral Gables*, 9-33.
- Katona, J., Farkas, I., Dukan, P., Ujbanyi, T., & Kovari, A. (2014). Evaluation of The Neurosky MindFlex EEG Headset Brain Waves Data. In A. Szakál (Szerk.), *IEEE Hungary Section*, (old.: 91-94). Budapest.
- Katona, J., Ujbanyi, T., & Kovari, A. (2013). Agyhullám alapú irányítás alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata. (L. Gábor, N. Bálint, S. István, & K. Gábor, szerk.) *Dunakavics*, 1(2), 47-58.
- Kraft, U. (2006). Your Brain-Mental exercises with neurofeedback may ease symptoms of attention-deficit disorder, epilepsy and depression -and even boost cognition in healthy brains. *Scientific American*.
- Li, Y., Li, X., Ratcliffe, M., Liu, L., Qi, Y., & Liu, Q. (2011). A Real-Time EEG-Based Bci System for Attention Recognition in Ubiquitous Environment. *In Proceedings of the*

- 2011 International Workshop on Ubiquitous Affective Awareness and Intelligent Interaction*, (old.: 33-40). Beijing, China.
- Mikhail, L. A., & Miguel, N. (2006). Brain-machine interfaces: past, present and future. *TRENDS in Neurosciences* Vol.29 No.9, (old.: 536-546). doi:10.1016/j.tins.2006.07.004
- Montor, & Karel. (1975. April 15). *United States Szabadalom száma: 3877466*.
- Muller, S. T., & Piper, B. J. (2014). The Psychology Experiment Building Language (PEBL) and PEBL Test Battery. *Journal of neuroscience methods*, 250-259.
- NeuroSky. (2009). Brain Wave Signal (EEG) of NeuroSky. *NeuroSky Inc*.
- Nolen, S. H. (June 15, 2009). *Atkinson & Hilgard's Introduction to Psychology*. United Kingdom: Wadsworth Pub Co.
- Picard RW, Klein J. (2002). Computers that recognize and respond to user emotion: Theoretical and practical implications. *Interact Comput*, 14(2), 141-169.
- Pivik, R. T., & Harman, K. (1992). A Reconceptualization of EEG alpha activity as an index of arousal during sleep: all alpha activity is not equal. *Journal of Sleep Research*., 4(3), 131-137.
- Tóth, L. (2000). *Pszichológia a tanításban*. (L. Vágó, & Z. Molnárné Balázs, szerk.) Debrecen: Pedellus Tankönyvkiadó Kft.
- Wolpaw, J. R. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clin Neurophysiol*, 113, 767-791.
- Yaomanee, K., Pan-ngum, S., & Ayuthaya, P. (2012). Brain Signal Detection Methodology for Attention Training Using Minimal EEG Channels. *In Proceedings of the 10th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT & Knowledge Engineering)*, (old.: 84-89). Bangkok, Thailand.
- Zickler, C., Riccio, A., & Leotta, F. (2011). A brain-computer interface as input channel for a standard assistive technology software. *Clinical EEG and Neuroscience*, (old.: 236-244).