

EMRI ZSUZSANNA

---

## A BIOLÓGIAI VIZSGÁLÓMÓDSZEREK GYÓGYPEDAGÓGIAI ALKALMAZHATÓSÁGA

### Absztrakt

Az idegrendszeri fejlődési rendellenességgel diagnosztizált gyermekpopuláció az elmúlt öt évben folyamatosan növekedett. A hatékony kezeléshez fontos a korai diagnózis, amit megnehezít a tünetek nagy változatossága és a különböző társbetegségek jelenléte. A genetika és neurobiológia új eredményeinek felhasználása segíthet ebben, mert ezek a vizsgálatok általában korábbi életszakaszban elvégezhetőek, gyorsabbak és objektívebbek, mint a viselkedési vagy kognitív tesztek. A biológiai adatokat felhasználó technológiák alkalmasak lehetnek a fejlesztés hatékonyságának ellenőrzésére is, és csökkenthetik a családok és gyógypedagógusok terheit azáltal, hogy otthoni feladatvégzés közben gyűjtenek a gyermekek aktivitásáról adatokat, és ezzel a terápia sikerét jelző mérési eredményeket biztosítanak. A genetikai vizsgálatok és az elektrofiziológiai mérések használata tűnik a legígéretesebbnek a gyógypedagógiában. Ahogy egyre több adat áll rendelkezésre a kognitív funkcióra ható genetikai variánsokról, úgy válik lehetővé a magas rizikófaktorú populáció kiszűrése és védelme akár már a terhesség alatt. A hordozható könnyű EEG-rendszerek pedig lehetővé teszik az idegrendszer fejlődési rendellenességeinek vizsgálatát, még a viselkedési tünetek megjelenése előtt. Bár a biológiai adatok felhasználása ígéretes, elősegíthetik a korai diagnózist és a kezelést, de önmagukban ezek a módszerek nem elegendők a diagnózishoz, alkalmazásuk a hagyományos módszerekkel együtt kell hogy történjen.

**Kulcsszavak:** elektroencefalográfia, genetika, kognitív képességek, neurobiológia

### Abstract

Neurodevelopmental disorders are frequently diagnosed in the pediatric population. For effective treatment early diagnosis is important, but this can be challenging because of the great variability of symptoms and the presence of various comorbidities. The use of recent genetic and neurobiological results is promising as they can provide information for

accurate diagnosis and targeted therapy, moreover these methods are quicker and more objective than behavioral assessments or cognitive tests. Technologies using biological data can support treatment as well, and might lessen the burden of families and experts by providing time-effective and easy to access therapies. Genetic tests and electrophysiological measurements are the most promising methods to use in special need education. As more data are available about the genetic architecture of human cognition, genetic variants contributing to cognitive disabilities are outlined, the population with high risk factors can be screened out and protected even during pregnancy. Portable light weight EEG systems allow testing as well as monitoring the brain function of young children, and discover problems before behavioral symptoms are present. Although using biological data can aid early diagnosis and treatment considerably, they are not sufficient for diagnosis themselves, they should be applied together with the traditional methods.

**Keywords:** electroencephalography, genetics, cognition, neurobiology

## 1. Bevezetés

A központi statisztikai hivatal (KSH) adatai alapján 2020 és 2024 között, a csökkenő gyerekszám ellenére, a sajátos nevelési igényű (SNI) gyermekek száma emelkedett (W1), míg a fejlesztő nevelő munkakörben alkalmazott pedagógusok és oktatók száma ugyanabban az időszakban nagyjából stagnált (W2), vagyis ezeknek a gyerekeknek a fejlesztő nevelése egyre nagyobb terheket ró az intézményekre. Ez nem csak Magyarországon van így, világszerte szakemberhiánnyal és finanszírozási problémákkal küzdenek az intézmények (Mason-Williams et al., 2019; Soma, Kissiedu & Nyame, 2023). Megoldásként további pénzügyi források bevonása mellett olyan új innovatív módszerek bevezetését javasolják, amelyek a tanulási problémák, intellektuális képességzavarok és sajátos idegrendszeri fejlődési utak korai felismerését teszik lehetővé, alkalmazásuk könnyen elsajátítható, és olyan sajátosságokat vesznek figyelembe, amelyek a gyakori komorbiditások és változatos környezeti tényezők mellett is objektíven detektálhatók. Emiatt irányult a figyelem a biológiai jellemzőkre, a diagnózis kialakításához felhasználható genetikai, anatómiai és idegrendszeri aktivitási különbségekre (Ribas et al., 2023). Annak ellenére, hogy a biológiai módszerek alkalmazása számos területen eredményes, önmagukban ezek az eljárások ritkán elégségesek egy kognitív képességzavar diagnózisához, és ezen a téren az elmúlt időben tapasztalt nagyarányú fejlődés ellenére sem várható áttörés a közeljövőben.

## **2. Kognitív képességek biológiai jellemzői**

A kognitív képességek jellemzően sokgénés öröklődést követnek, egy-egy génvariáns jelenléte csekély hatású (Sullivan et al., 2018). Ráadásul nemcsak a gének, hanem a gének közötti kölcsönhatások, a génkifejeződés mértéke, sőt a génkifejeződés termékei közti kölcsönhatások is erőteljesen befolyásolják a kialakuló viselkedést (Sathyanarayanan et al., 2023), vagyis egy kognitív jellemző kialakításában több génvariáns, a köztük levő kölcsönhatások és változó mértékű környezeti hatások vesznek részt. Mára az öröklődés kontra nevelés (nature versus nurture) vita elvesztette létjogosultságát, tudjuk, hogy egyformán jelentős faktorok a viselkedés kialakításában. Ennek a kölcsönhatásrendszernek a sokrétűségével magyarázhatjuk például azt, hogy a Down-szindróma, a 21-es kromoszóma triszómiája az egységes genetikai háttér ellenére egy rendkívül változatos tünetegyüttes, számos eltérést tapasztalunk a Down-szindrómások intellektuális képességében, egyéb szerveiket érintő problémákban vagy a 30-as éveikben kialakuló Alzheimer-kór lefolyásában (Gupta et al., 2022).

A gének viselkedésünket az agyra gyakorolt hatásukon keresztül befolyásolják (Lomov & Ravich-Shcherbo, 1978), az idegrendszer fejlődésének ütemére, az idegsejtek működésére, összeköttetéseire hatnak. Idegrendszerünk a legbonyolultabb és sok tekintetben legnagyobb egyéni különbségeket mutató szervünk, akár az idegi aktivitási mintázatokat, akár finomszerkezetét vagy az egyes területek fejlődési ütemét nézzük. Nehéz meghúzni a határt a kóros és nem kóros eltérések között, a folyamatos átmenet különösen a spektrumbetegségek esetében nyilvánvaló (Cheroni, Caporale & Testa, 2020). Jelenleg számos olyan fórum alakult, amely a különböző csoportok munkáját koordinálva elősegíti olyan adatbázisok kialakítását, amelyek segítenek az egyes genetikai és neurogén eltérések feltérképezésében, valamint ezeknek az eltéréseknek kognitív jellemzőkhöz társításában (Di Martino et al., 2014; Faraone és et al., 2021), bár jelenlegi ismereteink alapján a gének és a kognitív funkciók között nem valószínű, hogy egyértelmű megfeleltetéseket lehet kialakítani. Ráadásul az atipikus kognitív fejlődés hátterében nincs mindig genetikai probléma, számos esetben az exogén, környezeti hatások következményeként jön létre (Györi, 2012).

## **3. Biológiai és neurológiai vizsgálatok jelentősége a fejlődési rendellenességek diagnózisában**

A beilleszkedési, tanulási, magatartási nehézség (BTMN) vagy SNI megállapításához a pedagógia szakszolgálatok járási (csak BTMN esetén elégséges), megyei és országos illetékességű körben végzett vizsgálatára van szükség. SNI- és BTMN-diagnózissal rendelkező

gyerekek fejlesztő célú oktatása képzett szakemberek közreműködését és speciális taneszközöket igényel. A fejlesztő célú oktatás alapját az átfogó gyógypedagógiai diagnózis képezi (Csépe, 2008). A korszerű diagnosztika az egész személyiségre kiterjed, vagyis a biológiai és pszichológiai képességek összességét méri fel. Ehhez gyógypedagógiai, pszichológiai és orvosi vizsgálatok alkalmazása egyaránt szükséges lehet. Ehhez a komplex állapotfelméréshez hozzátartoznak a sztenderdizált tesztek, feladatsorozatok, a gyermek megfigyelése és kikérdezése, munkáinak és a róla készült feljegyzéseknek az értékelése, a szülői és pedagógusi interjú, illetve a környezeti tényezők feltárása és hatásainak figyelembevétele (Nagyné Réz & Mészáros, 2012). A személyiség megismerésének főbb területei a biológiai, fiziológiai működés sajátosságai, a kognitív képességek, valamint a motiváció és affektivitás, az attitűd és az érdeklődés feltárása. Meghatározó a társas viselkedés, ebben kitüntetett szerepe lehet a családnak, rokonságnak és más informális közösségeknek, emiatt szükséges a környezet átfogó tanulmányozása is (Dávid, Estefán, Farkas, Hidvégi & Lukács, 2006). Ebbe a komplex folyamatba illeszthetőek a biológiai vizsgálatok. Bevonásuk különösen akkor szerencsés, ha ismert olyan objektíven vizsgálható jellemző (genetikai marker, agyi struktúra, EEG-jellemző), amely feltárása a korai diagnózist segíti. A biológiai tesztek ma még nehezen hozzáférhetőek, és költségesnek számítanak, de figyelembe véve objektivitásukat, időhatékonyságukat, illetve azt, hogy segítségükkel az eltérések jelenléte társbetegségek, változatos környezeti hatások mellett is kimutatható (Bereczkei & Hoffman, 2012), alkalmazásuk hosszú távon akár költséghatékony is lehet.

### 3.1 Genetikai vizsgálatok

A genetikai kariotípus feltérképezése nem számít új módszernek, a több szervre kiterjedő, súlyos elváltozások esetén rutin eljárás. A legegyszerűbb esetben a kromoszómák számbeli eltérését, illetve kromoszómakarok hiányát, duplikációját mutatják ki. Ezt a vizsgálatot sokszor még magzati korban elvégzik, és segítségével szűrik ki a Down-, Turner-, fragilis X- vagy Williams-szindrómát (Haltrich & Fekete, 2019). Szerencsére ezek a súlyos, több szervrendszert érintő fejlődési rendellenességek ritkák. Sokkal gyakoribbak az egyes génekre korlátozódó mikrodélációk, mikroduplikációk vagy mutációk, illetve a gének kifejeződésére ható szabályozó régiókban bekövetkezett változások. Ilyen eltérésből sokkal többféle van, ezek különböző betegségekhez társítása jelenleg is kutatások tárgya (Bagdy & Juhász, 2013). Ezeknek a problémáknak a feltérképezését az újgenerációs szekvenáláson alapuló módszerekkel végzik (Menyhárt, Györffy & Szabó 2022). Az eddigi eredmények alapján az idegrendszer kialakulásában az X-kromoszóma különösen fontos szerepet játszik, erre utaló régóta ismert tény, hogy az enyhe értelmi fogyatékoság (IQ 50–70) előfordulási aránya férfiaknál jóval magasabb, mint nőknél. Az értelmi akadályozottság kialakulásához

bizonyítottan hozzájáruló 40 gén 80%-a az X-kromoszómán helyezkedik el (Kaufman, Ayub & Vincent, 2010).

### **3.2. Elektroencefalográfia (EEG)**

Hans Berger 1924-ben végezte az első EEG-vizsgálatokat azzal a céllal, hogy a pszichikai állapot és a fiziológiai folyamatok között kapcsolatot találjon. Az EEG nagy előnye, hogy olcsó, nem invazív beavatkozás, a vizsgálatok nem járnak egészségügyi kockázattal, ezért egészségeseken is elvégezhetőek (McLoughlin, Makeig & Tsuang, 2013). Az EEG az idegi kommunikációt kísérő, lassúbb töltésátrendeződéseket követi (Fonyó, 2011), a képzőművészeti eljárásokhoz képest időbeli felbontása jónak számít, téri felbontása viszont gyenge. A neuronális aktivitást követő ionáramok a kis ellenállású extracelluláris folyadékban gyorsan szétterjednek, emiatt 256 elektródánál többet ritkán érdemes alkalmazni. Az EEG-t régóta használják az epilepszia, agyvelőgyulladás vagy alvási problémák diagnosztikájához, és az EEG-aktivitásban a normálistól eltérő tüskéket, kóros mértékű szinkronizációt vagy éppen a szinkronizáció hiányát azonosítják (Clemens & Puskás, 2020).

Az EEG-vel elvezetett agyhullámokat frekvenciájuk alapján csoportosítják: delta-, theta-, alfa-, béta-, gamma-hullámokat különböztetnek meg és rendelnek különböző kognitív folyamatokhoz. A béta-hullámok például az éberséggel, az érzékszervi információk feldolgozásával függnek össze, az alfa-aktivitás a relaxációnál és az irányított figyelem kialakításánál jelenik meg, a theta-aktivitás pedig a memória használatával kapcsolatos folyamatokat kíséri (Wang, 2010). A digitális EEG-készülékek megjelenése és az EEG-jel kiértékelésére használt számítógépes programok fejlődése lehetővé teszi az EEG szélesebb körű alkalmazását. Elterjedését nehezíti az EEG-aktivitás nagyfokú variabilitása, amit már az EEG első alkalmazói, Berger (1929), illetve Adrian és Matthews (1934) is észrevettek, első közleményeik már kitérnek a nyugalmi aktivitásban detektálható különbségekre. Sokszor a normál populációban jelen levő aktivitásbeli különbségek összevethető mértékűek a normál és patológiás esetek közt feltárt eltérésekkel (Smith, 2005).

Ennek ellenére az EEG alkalmazási köre egyre nő. Ez főleg az adatfeldolgozási eljárások fejlődésének és a mobileszközök terjedésének köszönhető. Az adatelemzési módszereket neurometria, kvantitatív EEG/MEG összefoglaló néven emlegetik leggyakrabban, és lehetőséget adnak arra, hogy egy jól definiált mérési környezetben egymással összevethető eredményeket kapjunk az agyi aktivitásáról. Ezek az eredmények kevesebb szubjektív tényezőt tartalmaznak, mint a szakértői kvalitatív elemzések, és alkalmasak neurotipikus egyének és kognitív problémákkal rendelkezők megkülönböztetésére. További előny, hogy az alkalmazott számítógépes programok használatát rövidebb idő alatt el lehet sajátítani, mint amennyi a kvalitatív elemzéshez szükséges szakértői jártasság megszerzéséhez kell (John, Pritchep, Ahn, Easton, Fridman & Kaye, 1983). A kvantitatív EEG-t kiegészítő

eljárásként alkalmazzák ADHD, ASD gyanúja esetén a diagnózis kialakításához, már diagnosztizált ASD vagy Alzheimer-kór esetén pedig segíthet a fejlesztési módszer kiválasztásában (Desaunay, Guillery, Moussaoui, Eustache, Bowler & Guérolé, 2023). A mobil EEG-eszközök az oktatásban (Emri & Antal, 2022) vagy az otthoni fejlesztésben (Ribas et al., 2023) is jól használhatóak. Ezek az eszközök a jövőben a szakemberek tehermentesítésére is alkalmasak lehetnek, mivel az otthoni feladatvégzés alatt rögzített EEG-jel alapján a fejlesztő feladatok optimális szintje kiválasztható, és az EEG-aktivitás jellemzői sikeres fejlesztésnél sokszor közelítik a neurotipikus egyéneknél mért aktivitások sajátosságait (McLoughlin et al., 2013).

### 3.3. Magatartás-genetikai megközelítés

A magatartás-genetika (pszichogenetika) a humán genom projektet követő génpolimorfizmus-kutatásokkal egy időben jelent meg. Mivel a gének és a viselkedés közötti kapcsolatrendszer feltérképezése a változó környezeti hatások szövevényében nem könnyen kivitelezhető, ezért első lépésként a figyelem olyan objektíven mérhető idegrendszeri jellemzők felé fordult, amelyek genetikai háttere feltehetően nem túl bonyolult, és könnyen feltérképezhető. Ilyen jellemző például az EEG-aktivitás, a reakcióidő vagy a választási preferencia egyes tesztekben. Ezeket nevezik neurokognitív endofenotípusoknak (Anokhin, 2014). Egy köztes kategóriát képviselnek a gének és a viselkedés között (Gottesman & Gould, 2003, Iacono, Malone & Vrieze 2017), és meghatározott kognitív funkciókhoz kapcsolhatók. Egy problémás viselkedéssel kapcsolatban definiált endofenotípus akkor jó, ha a hozzá tartozó génvariáns az adott problémával terhelt családban gyakrabban fordul elő, mint az átlagpopulációban, a családban a probléma és az endofenotípus együtt adódik át, és az endofenotípus kimutatható az érintett egyéneknél tünetmentes időszakokban is (Kotyuk, 2014). Jellemzően egy-egy endofenotípus nem egyetlen kognitív funkció, hanem több különböző funkció háttérben is megtalálható (Gottesman & Gould, 2003). Az erőteljes genetikai befolyásoltsággal rendelkező kognitív funkciók esetén használhatóak jól akkor, ha a környezeti tényezők hatása vagy nem jelentős, vagy kontrollálható (Bagdy & Juhász, 2013). Mára számtalan endofenotípust ismerünk, például a dopaminrendszeren belül a különböző dopaminreceptor-variánsokkal leírható endofenotípusok eltérnek egymástól kitarásban, az újdonságkeresés mértékében vagy pedig a függőséget okozó szerekre adott reakcióikban (Kotyuk et al., 2019). Több jól definiált endofenotípus tartozik a nyugalmi EEG-aktivitáshoz is, például a frontális EEG-aszimmetria, az alfa-aktivitás mértékének eltérése a bal és a jobb oldal között a depresszióval és alkoholizmussal mutat kapcsolatot (Anokhin, 2014).

Autizmussal, skizofréniával kapcsolatban is számos endofenotípust alakítottak ki, ennek ellenére ezeknek a kutatásoknak a gyakorlati jelentősége jelenleg még elhanyagolható,

nem épültek be a diagnosztikai eljárásokba (Iacono et al., 2017). Ennek egyik oka, hogy a diagnózisok klinikai tüneteket és viselkedési leírásokat tartalmaznak, kevés közülük van a probléma biológiai alapjaihoz, így nehezen feleltethetőek meg a biológiai alapon kialakított endofenotípusoknak. A másik ok, hogy használatuk az erőteljes genetikai háttérrel rendelkező problémákra korlátozódik, és még a pszichiátriai gyakorlatban se ezek teszik ki az ellátásra szorulókat nagy részét. A legtöbb problémában a környezeti hatások nagyon fontos alakító tényezők, és az adatgyűjtéseknél a környezeti hatások nagy részéről nem kapunk információt, pedig ezek nélkül nehéz a probléma szempontjából releváns, biológiai alapokon nyugvó endofenotípusok kialakítása (Iacono et al., 2017).

### **3.4. Képpalkotó eljárások**

A pedagógiában csak azok a módszerek alkalmazhatóak, ahol magának a vizsgálatnak nincs egészségügyi kockázata, nem tesszük ki a beteget például felesleges sugárterhelésnek. Emiatt leginkább a funkcionális mágneses rezonancia vizsgálat (fMRI) és a magnetoencefalográfia (MEG) használata merült fel. Az fMRI-mérések az agyi véráramlás hemodinamikai sajátosságain keresztül detektálják azt, hogy mely területek aktivitása fokozódott egy adott kognitív tevékenység alatt. Ennek az aktivációnak a térbeli mintázata és az, hogy diffúz vagy lokális aktivitás növekedése alakult-e ki, utal az idegrendszer fejlettségi állapotára vagy egy sérülést követően az egyes területek állapotára, illetve az idegrendszer összeköttetéseinek topológiájára. Ezek az adatok segíthetik például az ASD, diszlexia, diszkalkulia diagnózisát, és lehetővé teszik az alkalmazott fejlesztő terápia hatékonyságának követését is (Bigler, Lajiness-O'Neill & Howes, 1998). Az fMRI térbeli felbontása jobb az EEG-nél, viszont időbeli felbontása rosszabb, és jóval költségesebb vizsgálat, mint az EEG. További hátránya, hogy kevésbé hordozható eszköz, ráadásul a vizsgálatban használható feladatok körét jelentősen leszűkíti az a tény, hogy a feladatmegoldás egy csőben fekvő történik majd (Seghier, Fahim & Habak, 2019). Hasonlóan az EEG-hez a regisztrált jel nagyfokú variabilitást mutat, elemzése nehéz, összetett feladat (Kotsoni, Byrd & Casey, 2006). Kisebb jelentőségű, de néhány területen igen ígéretes a MEG alkalmazása, különösen MRI-vel kombinálva. A két módszer együtt az agyi aktivitásról jó tér- és időbeli felbontású regisztrátumot ad. A MEG az EEG-hez hasonlóan az idegi aktivitást kísérő töltésáramlásokat méri, csak a MEG az intracelluláris ionáramok hatására megváltozó mágneses mezőt érzékeli. Ez az EEG-hez képest nagyobb érzékenységet és jobb térbeli felbontást biztosít, ugyanolyan jó időbeli felbontással (Singh, 2014). Hátránya a mérések magas költsége. Ennek ellenére használata terjed, Alzheimer-kórban már az enyhe kognitív problémák is érzékelhető működésbeli eltéréseket mutatnak, skizofréniában és ASD-ben pedig a kortikális funkciók átszerveződésének mértékét vizsgálják segítségével (Reite, Teale & Rojas 2019).

#### **4. Új utak a biológia eredményeinek és módszereinek bevonásával a gyógypedagógiában**

Az SNI-, illetve BTMN-diagnózisú gyermekpopuláció növekedése (W1) miatt gyors, költséghatékony gyógypedagógiai diagnózisra és hatékony, hozzáférhető terápiákra egyre nagyobb az igény. A korai diagnózis nem mindig egyszerű, pedig a fejlesztést előnyös lenne elkezdeni kisgyermekkorban (0-4 éves kor), amikor az idegrendszer még rendkívül plasztikus (Ismail et al., 2017). A korai diagnózis kialakítását korlátozza a szakemberek hiánya és különösen kisebb településeken és a hátrányos helyzetű régiókban az elégtelen klinikai kapacitás. Még megfelelő feltételek mellett sem mindig egyszerű a korai diagnózis a társbetegségek jelenléte és a nem túl specifikus, egymással átfedő tünetek miatt (Ribas et al., 2023). A diagnózis után további nehézséget jelent az, hogy a hatékony terápia nem mindig érhető el helyben. Ezeknek a problémáknak a csökkentését várják a gyors, egyértelmű eredményt adó biológiai eljárások szélesebb körű gyógypedagógiai alkalmazásától, illetve a gyógypedagógiai fejlesztést segítő, biológiai markereken alapuló applikációktól, amelyek önállóan/szülői felügyelettel használhatóak, illetve a távoli szakértői felügyelet elég az alkalmazásukhoz (Valentine, Brown, Groom, Young, Hollis & Hall, 2020). Nem meglepő módon ezeknek az applikációknak a száma az utóbbi években ugrásszerűen nőtt, több 10 000 olyan alkalmazás létezik, amelyik potenciálisan alkalmas lehet gyógypedagógiai fejlesztésre (Torous & Roberts, 2017). A cél az, hogy ezek az applikációk részlegesen átvegyék a szakértők munkáját, és ráadásul olyan kiegészítő adatokkal szolgáljanak használójukról, amelyek hozzájárulnak a diagnózis pontosításához, illetve lehetővé teszik a fejlődés pontos követését (Valentine et al., 2020).

##### **4.1. Az EEG bevonása az ADHD diagnózisába és a fejlesztés követésébe**

Az ADHD az iskoláskorúak 2-4%-át érinti, tünetei az életkorra nem jellemző mértékű figyelemhiány, impulzivitás és hiperaktivitás. Diagnózisát és kezelését nehezíti, hogy rendszeresen fordul elő diszlexiával, tanulási és alvási problémákkal, szorongással együtt (Miranda, Cox, Alexander, Danev & Lakey, 2019).

A genetikai adatgyűjtés folyamán ADHD-s gyerekekben talált allélvariánsok jelentős része az ADHD-vel előforduló egyéb pszichiátriai problémáknál is előfordul, vagyis az ADHD-val gyakran együtt járó problémáknak az ADHD-val részben közös genetikai háttere van. A szerotonin- és dopaminrendszerben talált allélvariánsok pedig a kezelésnél használt gyógyszerek mellékhatásait jelzik előre. Nemcsak genetikai, hanem agyi működésbeli eltérések is ismertek az ADHD-val kapcsolatban. Az fMRI-vizsgálatok strukturális eltéréseket a figyelemmel és a fókuszálással kapcsolatos idegrendszeri területeken (dorzolaterális prefrontális kéreg, dorzális striátum, talamusz), az agyi jutalmazó körben (ventrális tegmentális area, nucleus accumbens, mezokortikolimbikus kör) és a nyugalmi

hálózatban (default mode network: mediális prefrontális kéreg, poszterior cinguláris kéreg) mutattak ki. Működésbeli eltéréseket pedig a figyelmi folyamatokhoz kapcsolódóan a prefronto-striatális hálózatban, hiperaktivitással kapcsolódóan pedig a fronto-limbikus hálózatban találtak (Miranda et al., 2019).

ADHD-s gyerekeknél megfigyelték, hogy az idegrendszer érése a tipikus fejlődésmenet-hez képest lassabb ütemet mutat, az alacsony frekvenciájú hullámok (delta és főleg théta) jelenléte tovább megfigyelhető EEG-jükben, mint neurotipikus kortársaikéban. Emiatt a nyugalmi EEG-ben a figyelmet jellemző frontális théta-béta arány magasabb lesz ADHD-s gyerekekben, mint neurotipikus társaikban. Az eltérés különösen akkor jelentős, amikor a magas théta-aktivitás alacsony béta-aktivitással társul.

Ezek a biológiai jellemzők ugyan segítik a diagnózist, de egyik sem specifikus annyira, hogy alkalmas legyen az ADHD-s és neurotipikus gyerekek elkülönítésére, nem minden ADHD-s gyerekben fordul elő, és ADHD-től függetlenül is megtalálható. Például magas théta-béta arány nem minden ADHD-s gyermekre jellemző, ha jelen van, akkor az eltérés mértéke nem korrelál egyetlen tünet súlyosságával sem. Viszont a stimuláns kezelés hatékonyságát mutatja ennek az aránynak a csökkenése (Ogrim & Kropotov, 2019). Az ADHD-s gyerekeknél sikeresen alkalmazott neurofeedback-kezelés és a théta-béta arány javításán alapul, csökkenése jól jelzi az ADHD tüneteinek javulását (Bazanova, Auer és Sapina, 2018). Az EEG-n alapuló diagnosztikus érzékenységet többféleképpen is próbálták növelni. Bazanova és munkatársai (2018) a théta-béta arány mellett az alfa-tartományon belüli frekvenciaeloszlást nézték. A kisgyermekkori EEG-ben domináns théta-aktivitást az alfa-aktivitás váltja a fejlődéssel, amelynek elkülöníthető egy théta-hoz közeli frekvenciatartományú alfa1- és egy gyorsabb alfa2-sávja. ADHD-s gyerekekre főleg az alfa1-sáv jellemző, és az alfa1 és alfa2 aránya, ha a sávokat az egyéni jellegzetességeket figyelembe véve alakítják ki, érzékenyebb jelzője lesz a neurofeedback-kezelés sikerességének, mint a théta-béta arány. Az EEG frekvenciaspektruma mellett a figyelem mérésére használt pszichológia tesztek alatt mért kiváltott agyi válaszok egyes hullámainak amplitúdóit is mérték. Az EEG spektrális jellemzői és a kiváltott válaszokban kapott amplitúdóváltozások együtt sokkal pontosabban jelezték előre a stimuláns kezelés hatását, mint bármelyik módszer egyedül (Ogrim & Kropotov, 2019).

A további kutatások tehát az ADHD-val együtt járó komorbiditások feltárásához, a gyógyszeres kezelés mellékhatásainak előre jelzéséhez és a fejlesztések hatékonyságának követéséhez nyújthatnak segítséget. A számítógépes programok és webapplikációk alkalmazásával megvalósuló otthoni fejlesztési feladatok pedig a szakértőket, iskolai gyógypedagógusokat és szülőket egyaránt tehermentesíthetnék, és ráadásul a fejlesztés sikerességéről is visszajelzést adnának.

#### 4.2. Genetikai és elektrofiziológiai módszerek használata az ASD diagnózisához

Az ASD-vel diagnosztizált egyének egy rendkívül heterogén csoportot képviselnek, néhány közös jellemzővel. Ilyenek a tünetek korai megjelenése, a kommunikáció, a társas kapcsolatok, szociális készségek problémái, a beszűkült érdeklődés vagy repetitív viselkedés (Desaunay et al., 2023). Az ASD gyakran társul epilepsziával, értelmi akadályozottsággal, sajátos szenzoros információfeldolgozással, szorongással, depresszióval, alvási és emésztőrendszeri problémákkal. Az ASD jelentős mértékben genetikailag meghatározott idegrendszeri fejlődési rendellenesség, ennek ellenére a genetikai vizsgálatok nem feltétlenül segítik a korai diagnózist, és a megfelelő fejlesztés kialakításához sem járulnak hozzá. Annak ellenére, hogy az örökletes tényezőket meghatározónak tartják kialakulásában, genetikai háttere még nem tisztázott, és az eddigi eredmények alapján rendkívül heterogén. Sok esetben találunk hátterében nagy mennyiségű, egyenként a kognícióra kevésbé ható, egy nukleotidot érintő mutációt (SNP), illetve kópiaszám-variációt (CNV). Ezek az SNP-k vagy CNV-k az ASD hátterében álló atipikus memóriafejlődést idézik elő (Cheroni és munkatársai, 2020). A CNV-k másik csoportja de novo variáció, vagyis az embriogenezis folyamán alakult ki, és jellemzően erőteljes kognitív problémákat okoz. Az ASD hátterében álló mutációk a génállomány szerveződését irányító fehérjéket, az idegrendszer fejlődését irányító transzkripciós faktorokat és a szinaptikus funkciókat érintik (Cheroni és munkatársai, 2020). Az ASD tünetei a környezeti hatásokra is érzékenyek, egyes gének közreműködése az ASD kialakításában azzal függ össze, hogy valamilyen környezeti tényezőre érzékenyebb teszi hordozóját, erre példa az ASD-ek xenobiotikum-, illetve nehézfém-intoleranciája. A genetikai információ keveset segít a diagnózisban vagy a tünetek súlyosságának előre jelzésében, mivel abban a környezeti hatások is nagy szerepet játszanak, ráadásul a fejlődés során egyes faktorokra érzékenyebb és kevésbé érzékeny periódusok váltják egymást (Esposito, Azhari & Borelli, 2018).

Sokkal ígéretesebbek az idegi kommunikáció jellegzetességeit feltérképező elektrofiziológiai módszerek. Az ASD-ben sérül a különböző idegrendszeri területek közötti kommunikáció. Ennek másodlagos hatásai is vannak, az egyedfejlődés egy korai szakaszában torzuló készség érinti az arra ráépülő további kognitív képességeket, emiatt a sikeres fejlesztéshez korai diagnózisra van szükség. Az elektrofiziológiai módszerek korai diagnosztizálást tesznek lehetővé. Az EEG-mérésekben az ASD egyes jellemzői már 18 hónapos korban látszanak, akkor, amikor még a kommunikációs és szociális viselkedések csak alakulóban vannak (Bajestani, Behrooz, Khani, Nouri-Baygi & Mollaei, 2019). Kvantitatív EEG-technikával eltérést találtak a nyugalmi EEG spektrumában, a théta- és gamma-frekvenciasávok túlsúlya és az alfa-tartományba eső aktivitás alacsony mértéke jellemezte az ASD-s gyerekeket. A kérgi összeköttetések vizsgálatával pedig a domináns féltekében túlzott mértékű kapcsolódást találtak az egyes területek között, míg a két félteke között az interakció

kisebb mértékű, mint a neurotipikus egyéneknél (Milovanovic & Grujicic, 2021). Mind a beszűkülést, repetitív viselkedést, mind a rigiditást és a gyenge szociális képességeket ezekkel az idegrendszeren belüli kommunikációt jellemző sajátosságokkal magyarázzák. Ráadásul az elektrofiziológiai vizsgálatok segítenek feltárni azt, hogy pontosan mely területek között találjuk a normálistól leginkább eltérő jellegeket, így a fejlesztés irányát is meg tudjuk határozni. A fejlesztések a hiányzó készségek kialakítására irányulnak, és főleg a COVID-19-pandémia óta széles körben alkalmaznak hozzájuk számítógépes, telefonos applikációkat (Rehmen et al., 2021). A legegyszerűbb applikációk egyszerűen a hasznos készségek begyakorlását teszik lehetővé, de léteznek olyan mesterségesintelligencia-alapú rendszerek is, ahol például a szemmozgás követésével adekvát visszajelzést kapnak az ASD-sek viselkedésükről (Ribas et al., 2023).

Összességében a betegség genetikai hátterének részletes ismerete abban segíthet, hogy körvonalazzuk a veszélyeztetett populációt, és náluk kivédjük azokat a környezeti hatásokat, amelyek egy esetleges ASD esetén súlyosbítják a problémákat. Az elektrofiziológiai módszerek a kognitív fejlődés követését teszik lehetővé, így a fejlesztést az adott kognitív készségek kialakulásával párhuzamosan már megkezdhetjük. A fejlesztéshez különböző szinteken vehetők be a számítógépes applikációk és a mesterséges intelligencia, megkönnyítve a szakemberek és a szülők dolgát.

## **5. Összegzés**

A biológiai vizsgálómódszerek gyógypedagógiai alkalmazása nem új keletű. Néhány probléma diagnosztikához már régóta genetikai vagy neurológiai vizsgálatot végeznek. Ezeknek a módszereknek a fejlődésével a gyógypedagógiai diagnosztikába bevonható vizsgálatok köre egyre szélesebb lesz. Főleg a korai diagnosztikához járulhatnak majd hozzá ezek a technológiák. Egyelőre ezek a vizsgálatok drágák, és korlátozottan elérhetőek, de költséghatékonyságuk folyamatosan javul, a genetikai tesztek és az EEG-vizsgálatok a közeljövőben már széles körben hozzáférhetővé válhatnak.

Manapság a fejlesztésben egyre több számítógépes programot és webes applikációt használnak. Ezek kisebb településeken is elérhetőek, tehermentesítik a szülőket és a szakembereket is. Biológiai mérőmódszerekkel összekapcsolva felgyorsíthatják a diagnosztika kialakítását, elősegítve a korai fejlesztést. Másik nagy előnyük lehet, hogy folyamatos visszajelzést adhatnak a szakembereknek a kezelés sikerességéről.

Sokan a biológiai módszerek szélesebb körű gyógypedagógiai alkalmazásában látják a megoldást a jelenlegi szakemberhiányra, illetve a szakemberek terhelésének csökkentésére,

mivel a biológiai vizsgálatok objektív értékelőrendszere gyorsabban elsajátítható, kevesebb gyakorlatot igényel, mint a kognitív tesztek kiértékelése.

A biológiai vizsgálmódszerek elterjedése valószínűleg hatással lesz a mai gyógypedagógiai diagnosztikai kritériumrendszerre is. Várhatóan átalakítja azt, a jelenlegi viselkedés alapú meghatározásokat válthatják a betegség eredetére utalóak, amelyek a pszichofiziológiai, biológiai tényezők azonosításával segítenék a megfelelő fejlesztési irányok kiválasztását, és utalnának arra is, hogy milyen tényezők rendszeres monitorozásával győződhetnénk meg a fejlesztés hatékonyságáról.

## Irodalom

- Adrian, E. D. & Matthews, B. H. C. (1934). The Berger rhythm: potential changes from the occipital lobes in man. *Brain: A Journal of Neurology*, 57, 355-385.  
<https://doi.org/10.1093/brain/57.4.355>
- Anokhin, A. P. (2014). Genetic psychophysiology: advances, problems, and future directions. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 93(2), 173-197.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.04.003>
- Bagdy G. & Juhasz G. (2013). Biomarkers for personalised treatment in psychiatric diseases. *Expert Opinion on Medical Diagnostics*, 7(5), 417-422.  
<https://doi.org/10.1517/17530059.2013.821979>
- Bajestani, G. S., Behrooz, M., Khani, A. G., Nouri-Baygi, M. & Mollaei, A. (2019). Diagnosis of autism spectrum disorder based on complex network features. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 177, 277-283.  
<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.06.006>
- Bazanova, O. M., Auer, T. & Sapina, E. A. (2018). On the Efficiency of Individualized Theta/Beta Ratio Neurofeedback Combined with Forehead EMG Training in ADHD Children. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 3.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00003>
- Berger, H. (1929) Über das elektroenkephalogramm des menschen. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 87(1), 527-570.  
<https://doi.org/10.1007/BF01797193>
- Berczkey T. & Hoffman Gy. (szerk) (2012). *Gének, gondolkodás, személyiség*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

- Bigler, E. D., Lajiness-O'Neill, R. & Howes, N. L. (1998). Technology in the assessment of learning disability. *Journal of learning disabilities*, 31(1), 67-82.  
<https://doi.org/10.1177/002221949803100107>
- Cheroni, C., Caporale, N. & Testa, G. (2020). Autism spectrum disorder at the crossroad between genes and environment: contributions, convergences, and interactions in ASD developmental pathophysiology. *Molecular Autism*, 11, 69.  
<https://doi.org/10.1186/s13229-020-00370-1>
- Clemens B. & Puskás Sz. (2020). A hagyományos EEG új feladatai. *Ideggyógyászati Szemle*, 73(3-4), 99-110.  
<https://doi.org/10.18071/isz.73.0099>
- Csépe V. (2008). A különleges oktatást, nevelést és rehabilitációs célú fejlesztést igénylő (SNI) gyermekek ellátásának gyakorlata és a szükséges teendők. In: Fazekas K., Köllő J. & Varga J. (szerk.), *Zöld könyv a magyar közoktatás megújításáért*. (pp. 139-165). Ecostat Gazdaságelemző és Informatikai Intézet, Budapest
- Dávid M., Estefan M., Farkas Zs., Hidvégi M. & Lukács I. (2006). *Hatékony Tanulómegismerési technikák. Pedagógus-továbbképzési kézikönyv*. sulINova Közoktatás-fejlesztési és Pedagógus-továbbképzési Kht., Budapest.
- Desaunay, P., Guillery, B., Moussaoui, E., Eustache, F., Bowler, D. M. & Guénolé, F. (2023). Brain correlates of declarative memory atypicalities in autism: a systematic review of functional neuroimaging findings. *Molecular Autism*, 14(1), 2.  
<https://doi.org/10.1186/s13229-022-00525-2>
- Di Martino, A., Yan, C. G., Li, Q., Denio, E., Castellanos, F. X., Alaerts, K., Anderson, J. S., Assaf, M., Bookheimer, S.Y., Dapretto, M., Deen, B., Delmonte, S., Dinstein, I., Ertl-Wagner, B., Fair, D. A., Gallagher, L., Kennedy, D. P., Keown, C. L., Keyzers, C., Lainhart, J. E., Lord, C., Luna, B., Menon, V., Minshew, N. J., Monk, C. S., Mueller, S., Müller, R. A., Nebel, M. B., Nigg, J. T., O'Hearn, K., Pelphrey, K. A., Peltier, S. J., Rudie, J. D., Sunaert, S., Thioux, M., Tyszka, J. M., Uddin, L. Q., Verhoeven, J. S., Wenderoth, N., Wiggins, J. L., Mostofsky, S. H., & Milham, M. P. (2014). The autism brain imaging data exchange: towards a large-scale evaluation of the intrinsic brain architecture in autism. *Molecular Psychiatry*, 19(6), 659-667.  
<https://doi.org/10.1038/mp.2013.78>
- Emri Zs. & Antal K. (2022). Az elektorenkefalográfia alkalmazása az oktatásban. *Képzés és Gyakorlat*, 20(1-2), 15-27.  
<https://doi.org/10.17165/TP.2022.1-2.2>
- Esposito, G., Azhari, A. & Borelli, J. L. (2018). Gene × environment interaction in developmental disorders: where do we stand and what's next? *Frontiers in Psychology*, 9, 2036.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02036>

- Fonyó A. (2011). *Az orvosi élettan tankönyve*. Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest.
- Gottesman, I. I. & Gould, T. D. (2003). The endophenotype concept in psychiatry: etymology and strategic intentions. *American Journal of Psychiatry*, 160(4), 636-645. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.160.4.636>
- Gupta, C., Chandrashekar, P., Jin, T., He, C., Khullar, S., Chang, Q. & Wang, D. (2022). Bringing machine learning to research on intellectual and developmental disabilities: taking inspiration from neurological diseases. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 14(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s11689-022-09438-w>
- Győri M. (2012). A neurokognitív fejlődési zavarok viselkedésgenetikája. In: Bereczkey T. & Hoffman Gy. (szerk.), *Gének, gondolkodás, személyiség*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Haltrich I. & Fekete Gy. (2019). Új diagnosztikai módszerek a ritka betegségek felismerésében. *Magyar Tudomány* 180(5), 669-678. <https://doi.org/10.1556/2065.180.2019.5.5>
- Iacono, W. G., Malone, S. M., & Vrieze, S. I. (2017). Endophenotype best practices. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 111, 115-144. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.07.516>
- Ismail, F. Y., Fatemi, A., & Johnston, M. V. (2017). Cerebral plasticity: Windows of opportunity in the developing brain. *European journal of paediatric neurology*, 21(1), 23-48. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.07.007>
- John, E. R., Pritchep, L., Ahn, H., Easton P., Fridman, J. & Kaye, H. (1983). Neurometric evaluation of cognitive dysfunctions and neurological disorders in children. *Progress in Neurobiology*, 21(4), 239-290. [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(83\)90014-X](https://doi.org/10.1016/0301-0082(83)90014-X)
- Kaufman, L., Ayub, M. & Vincent, J. B. (2010). The genetic basis of non-syndromic intellectual disability: a review. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 2(4), 182-209. <https://doi.org/10.1007/s11689-010-9055-2>
- Kotsoni E., Byrd D. & Casey B. J. (2006). Special considerations for functional magnetic resonance imaging of pediatric populations. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 23, 877-886. <https://doi.org/10.1002/jmri.20578>
- Kotyuk E., Sasvári-Székely M. & Székely A. (2014). Neurokognitív endofenotípusok a pszichiátriai genetikában. *Neuropsychopharmacologia Hungarica*, 16(2), 85-89.
- Kotyuk E., Farkas J., Magi A., Eisinger A., Király O., Vereczkei A., Barta C., Griffiths M. D., Kökönyi G., Székely A., Sasvári-Székely M. & Demetrovics, Z. (2019). The psychological and genetic factors of the addictive behaviors (PGA) study. *International journal of methods in psychiatric research*, 28(1), e1748. <https://doi.org/10.1002/mpr.1748>

- Lomov, B.F. & Ravich-Shcherbo, I. V. (1978). *Problems of Genetic Psychophysiology of Man*. Nauka, Moscow.
- Mason-Williams, L., Bettini, E., Peyton, D., Harvey, A., Rosenberg, M., & Sindelar, P. T. (2020). Rethinking Shortages in Special Education: Making Good on the Promise of an Equal Opportunity for Students With Disabilities. *Teacher Education and Special Education, 43*(1), 45-62.  
<https://doi.org/10.1177/0888406419880352>
- McLoughlin, G., Makeig, S., & Tsuang, M. T. (2014). In search of biomarkers in psychiatry: EEG-based measures of brain function. *American journal of medical genetics. Part B, Neuropsychiatric genetics: the official publication of the International Society of Psychiatric Genetics, 165B*(2), 111-121.  
<https://doi.org/10.1002/ajmg.b.32208>
- Menyhárt O., Györfy B. & Szabó A. (2022). Gyermekkori genetikai rendellenességek diagnosztikája újgenerációs szekvenálással. *Orvosi Hetilap, 163*(51), 2027-2040.  
<https://doi.org/10.1556/650.2022.32688>
- Milovanovic, M. & Grujicic, R. (2021). Electroencephalography in Assessment of Autism Spectrum Disorders: A Review. *Frontiers in Psychiatry, 12*.  
<https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.686021>
- Nagyné Réz I. & Mészáros A. (2012). A diagnosztikus protokollok egységes alkalmazásának koncepciója. In Kapcsáné Némethi Júlia (szakmai vez.), *Diagnosztikai kézikönyv*. Educatio Társadalmi Szolgáltató Nonprofit Kft., Budapest.
- Miranda, P., Cox, C. D., Alexander, M., Danev, S. & Lakey, J. R. T. (2020). In quest of pathognomonic/endophenotypic markers of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD): potential of EEG-based frequency analysis and ERPs to better detect, prevent and manage ADHD. *Medical Devices (Auckland, N.Z.), 13*, 115-137.  
<https://doi.org/10.2147/MDER.S241205>
- Ogrim, G. & Kropotov, J. D. (2019). Predicting clinical gains and side effects of stimulant medication in pediatric attention-deficit/hyperactivity disorder by combining measures from qEEG and ERPs in a Cued GO/NOGO task. *Clinical EEG and Neuroscience, 50*(1), 34-43.  
<https://doi.org/10.1177/1550059418782328>
- Rehman, I. U., Sobnath, D., Nasralla, M. M., Winnett, M., Anwar, A., Asif, W. & Sherazi, H. H. R. (2021). Features of mobile apps for people with autism in a post COVID-19 scenario: current status and recommendations for apps using AI. *Diagnostics (Basel, Switzerland), 11*(10), 1923.  
<https://doi.org/10.3390/diagnostics11101923>

- Reite, M., Teale, P. & Rojas, D. C. (1999). Magnetoencephalography: applications in psychiatry. *Biological Psychiatry*, *45*(12), 1553-1563.  
[https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(99\)00062-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(99)00062-1)
- Ribas, M. O. (previously Szkodo M.), Micai, M., Caruso, A., Fulceri, F., Fazio, M. & Scattoni, M. L. (2023). Technologies to support the diagnosis and/or treatment of neurodevelopmental disorders: A systematic review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *145*.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.105021>
- Sathyanarayanan, A., Mueller, T. T., Ali-Moni, M., Schueler, K., Baune, B. T., Lio, P., Mehta, D.\*, Baune, B. T., Dierssen, M., Ebert, B., Fabbri, C., Fusar-Poli, P., Gennarelli, M., Harmer, C., Howes, O. D., Janzing, J. G. E., Lio, P., Maron, E., Mehta, D., Minelli, A., Nonell, L., Pisanu, C., Potier, M. C., Rybakowski, F., Serretti, A., Squassina, A., Stacey, D., van Westrhenen, R., Xicota, L., European College of Neuropsychopharmacology (ECNP) Pharmacogenomics & Transcriptomics Network. (2023). Multi-omics data integration methods and their applications in psychiatric disorders. *European neuropsychopharmacology : The Journal of the European College of Neuropsychopharmacology*, *69*, 26-46.  
<https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2023.01.001>
- Seghier, M. L., Fahim, M. A. & Habak, C. (2019). Educational fMRI: from the lab to the classroom. *Frontiers in psychology*, *10*.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02769>
- Singh, S. P. (2014). Magnetoencephalography: Basic principles. *Annals of Indian Academy of Neurology*, *17*(Suppl 1), S107-S112.  
<https://doi.org/10.4103/0972-2327.128676>
- Smith, S. J. M (2005). EEG in neurological conditions other than epilepsy: when does it help, what does it add? *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *76*, ii8-ii12.  
<https://doi.org/10.1136/jnnp.2005.068486>
- Soma, A., Kissiedu, K., & Nyame, I. (2023). Barriers to Early Identification and Intervention for Children with Special Education Needs (SEN) in Public Kindergartens (KGs) in the Sagnarigu District of the Northern Region, Ghana. *European Journal of Education and Pedagogy*, *4*(6), 30-40.  
<https://doi.org/10.24018/ejedu.2023.4.6.519>
- Sullivan, P. F., Agrawal, A., Bulik, C. M., Andreassen, O. A., Børglum, A. D., Breen, G., Cichon, S., Edenberg, H. J., Faraone, S. V., Gelernter, J., Mathews, C. A., Nievergelt, C. M., Smoller, J. W., O'Donovan, M. C. & Psychiatric Genomics Consortium (2018). Psychiatric genomics: an update and an agenda. *American Journal of Psychiatry*, *175*(1), 15-27.  
<https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2017.17030283>

Torous, J. & Roberts, L. W. (2017). Needed innovation in digital health and smartphone applications for mental health: transparency and trust. *JAMA Psychiatry*, 74(5), 437-438.

<https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2017.0262>

Valentine, A. Z., Brown, B. J., Groom, M. J., Young, E., Hollis, C. & Hall, C. L. (2020). A systematic review evaluating the implementation of technologies to assess, monitor and treat neurodevelopmental disorders: A map of the current evidence. *Clinical Psychology Review*, 80, 101870.

<https://doi.org/10.1016/j.cpr.2020.101870>

Wang, X. J. (2010). Neurophysiological and computational principles of cortical rhythms in cognition. *Physiological Reviews*. 90, 1195-1268.

<https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2008>

### **Internetes hivatkozások**

W1: KSH, 2022 [https://www.ksh.hu/stadat\\_files/okt/hu/okt0006.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/okt/hu/okt0006.html). Megtekintve: 2023. február 6.

W2: KSH, 2022 [https://www.ksh.hu/stadat\\_files/okt/hu/okt0003.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/okt/hu/okt0003.html). Megtekintve 2024. december 1.