

**TOPÁL József**

## **A társas tanulási képességek neurofiziológiai alapjai**

Nehéz lenne kétségbe vonni azt az állítást, hogy az emberi agy a biológiai evolúció „csúcsterméke” hiszen hihetetlenül komplex teljesítményekre képes miközben egyedülálló hatékonysággal oldja meg a szervezet irányítását, a beérkező ingerek feldolgozását és a külső környezet belső reprezentációk formájába való leképezését. Agyunk tehát nemcsak az életben maradás, a test életfunkcióinak fő vezérlő szerve, hanem a minket körülvevő világ megértésének eszköze. Nem csoda, hogy mind a bölcsészet- mind pedig a természettudományok egyik évszázadok óta fennálló központi törekvése hogy minél jobban megértsük működésének természetét. Az utóbbi évtizedek olyan tudományos-technikai újításainak köszönhetően, mint például az idegrendszeri folyamatokba „in vivo” betekintést engedő agyi képalkotó eljárások (PET, fMRI, NIRS – bővebben ld. Morrison és Knowlton 2012), joggal érezzük úgy, hogy szinte napról-napra bővülnek az ezzel kapcsolatos ismereteink. Ugyanakkor az egyes kérdések sikeres megválaszolása nyomán mindig újabb kérdésekbe ütközünk, és bár ma már hosszú utat tettünk meg azóta, hogy az agyra csak mint a koponyát kipárnázó, egyébként teljesen felesleges kocsonyás anyagra tekintünk, az a kérdés hogy az emberi elme valaha is képes lesz-e önmaga működésének titkait teljes körűen megismerni, továbbra is a tudomány egyik legnagyobb kihívása.

Lássunk néhány közismert, de azért elgondolkodtató adatot az emberi aggyal kapcsolatban. Agyunk tömege átlagosan 1,4 kg, összetételét tekintve semmi különleges nincs benne: 78% víz, 10% zsír 8% fehérje. Ami azonban az építőelemek számát és a közöttük létrejövő kapcsolatok bonyolultságát illeti, a hétköznapi ember számára elképzelhetetlenül nagy számokkal kell dobáloznunk: hozzávetőlegesen 85 milliárd idegsejt és a közöttük létrejövő ezermilliárd ( $10^{12}$ ) szinaptikus kapcsolat alkotja azt a komplex hálózatot, amelyet agynak nevezünk. Azt hogy ez a hálózat rendkívül intenzíven működik az is mutatja, hogy bár a test teljes tömegének mindössze 2,5%-át teszi ki, de a szervezet teljes energiafogyasztásából 20-25%-os arányban részesedik. Azonban a pusztán számoknál sokkal fontosabb sajátossága az emberi agynak az, hogy a korábbi elképzelésekkel ellentétben egyáltalán nem egyfajta statikus információ-tároló és vezérlő egységként működik, hanem elképesztő strukturális és funkcionális plaszticitás jellemezi. Egyre több kísérletes vizsgálat támasztja alá azt az elképzelést, hogy agyunk a születésünktől a halálunkig folyamatosan építi és átépíti önmagát (pl. Maguire et al. 2006 – bővebben lásd *szövegdoboz #1*). Nemcsak az idegsejtek eloszlása és száma, valamint a neuronok közötti kapcsolati háló mintázata az, ami időről-időre átépül, hanem az idegsejtek felszínén lévő receptorok – amelyek az oda bekötő kémiai anyagok hatására aktiválják vagy inaktiválják (serkentik vagy gátolják) az adott sejtet – sűrűsége, minősége, területi eloszlása is dinamikusan változik.

**Szövegdoboz #1**

*Az agyi plaszticitás hétköznapi életben való megnyilvánulását demonstrálja az a nagy médiavisszhangot kiváltó tanulmány, amelyben agyi képalkotó eljárás segítségével vizsgálták londoni buszvezetők és taxisofozók tájékozódásért felelős agyterületének (hippocampus) strukturális változásait (Maguire et al. 2006). Az összehasonlítás kiinduló gondolata az volt, hogy mind a busz- mind pedig a taxi vezetése intenzív figyelmet követelő és alapvetően hasonló mértékű stressz terheléssel járó munka. Egy lényeges különbség van azonban közöttük: a taxisofozóknek sokkal flexibilisebb kognitív térképet kell tárolniuk és alkalmazniuk a munkájuk során mint az állandó vonalon közlekedő buszsofozóknek. A vizsgálat során kiderült, hogy a tájékozódási feladatok jelentette kognitív igénybevétel (t.i. a tájékozódási problémák folyamatos megoldása a taxisok esetében) hasonlóan hat, mint ahogyan a fizikai igénybevétel fejleszti az izmokat, és ez tükröződik abban, hogy a taxisok hippocampusának szürkeállomány térfogata megnő, míg a buszsofozók esetében hasonló változás nem tapasztalható.*

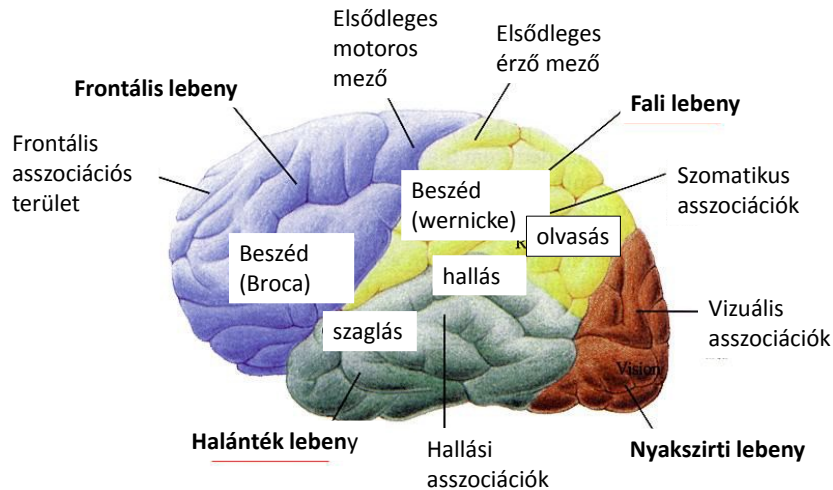
**A tanulás, mint a memória kialakításának alapvető folyamata**

Ahogy fentebb is említettük, az agy alapvetően kétféle feladatot lát el; egyrészt a homeosztázis (belső környezet állandóságának) fenntartását (a vegetatív idegrendszer működésén keresztül) másrészt pedig a külső környezet ingereinek felvételét, feldolgozását, válaszadás kialakítását (a szomatikus idegrendszer révén). Ez utóbbinak, tehát a viselkedési válaszok kialakításának az egyik alapmechanizmusa a tanulás. Fontos megemlíteni, hogy bár az elmúlt 350 évben nagyon különböző, és egymásnak sok szempontból ellentmondó tanuláspszichológiai elképzelések születtek (ezek rövid áttekintését ld. *szövegdoboz #2*), de az asszociáció-képzés mint fontos momentum egy folytonos vezérfonalként jelen volt és van minden ezzel kapcsolatos elképzelésben.

**Szövegdoz #2**

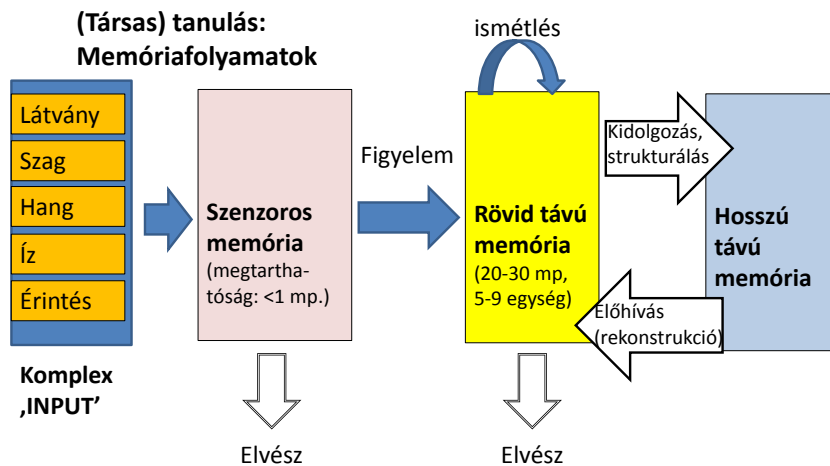
*Már az újkori pszichológia első képviselői, az empirizmust képviselő filozófusok (pl. John Locke, 1632-1704; George Berkeley, 1695-1753) is úgy írták le a tanulás jelenségét az érzékeléssel és észleléssel kapcsolatos vizsgálataik nyomán, mint egyfajta asszociációképzést. Ezt az elképzelést azután a pavlovi asszociatív tanulás törvényszerűségeinek megismerése nyomán (Pavlov, 1842-1936) a XX. század elején az ún. behaviorizmus fejlesztette tovább egy meglehetősen leegyszerűsítő, redukcionista irányba. A Skinner (1904-1990) és követői által élénk tárt világban ugyanis a „szenzoros inputok” és az ezek révén kiváltott válaszreakciók közötti vak – azaz automatikus és mindenféle belátást, megértést nélkülöző – asszociációképzés mozgatja a központi idegrendszerrel rendelkező élőlényeket. A behaviorizmussal egyidejűleg, a túlságosan leegyszerűsítő elképzelések mintegy ellenhatásaként jelent meg a pszichológiában az alaklélektan (pl. Köhler, 1887-1967), amely a belső, mentális történések szerepét emelte ki a tanulási folyamatban, és ezzel utat nyitott a modern tanuláselméletek felé. A modern kognitív pszichológiai szemlélet lényege, hogy a tanulás folyamatát belső reprezentációk, fogalmak és műveletek, illetve ezek kapcsolatainak kialakulásaként értelmezi, s e mentális tevékenység egy sajátos, a számítógépek működéséhez hasonló komputációs rendszerben történik, és az információkkal való műveletek folyamataként értelmezhető.*

Az idegtudományok elmúlt évtizedekben tapasztalt hatalmas fejlődésének köszönhetően ma már nemcsak arról tudunk pontos képet alkotni, hogy az érzékelés, tanulás és információ tárolás folyamatai hogyan kapcsolódnak az agy anatómiai struktúráihoz (1. ábra), hanem alapjába véve tisztában vagyunk azzal is, hogy a tanulásnak vannak sejtszintű, sőt molekuláris alapjai. Az elmúlt évtizedek egyre gyarapodó tudományos ismereteinknek köszönhetően már egyre több részletet ismerünk meg azzal kapcsolatban, hogy a tanulás – mint olyan mentális tevékenység, amelynek belső, tapasztalati-gondolati törvényszerűségei vannak – milyen módon horgonyozható le ezekhez a sejtszintű, idegrendszeri alapmechanizmusokhoz.



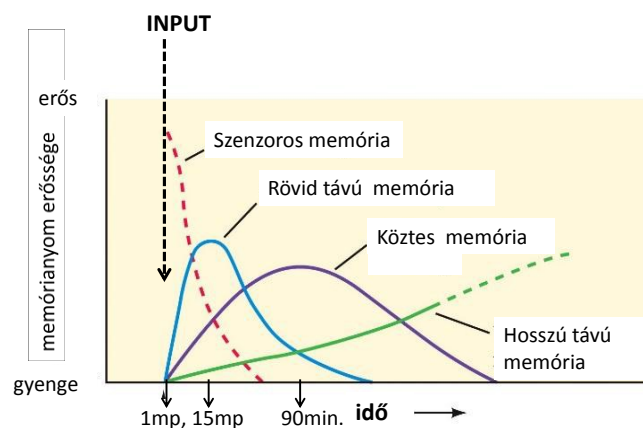
1. ábra. Az agy anatómiai struktúrája és a hozzá kapcsolt főbb funkciók.

Ha az idegi működés szintjén próbáljuk valamilyen egyszerű módon definiálni a tanulást, akkor leginkább az mondható, hogy ez egy olyan folyamat, melyet a neuronok jellegzetes szerkezeti és működési megváltozása kísér, s melynek következtében valamilyen „információ” tárolódik el tartós „memórianyomok” formájában. Fontos, hogy valamennyi tanulási folyamatban – így a társas tanulási helyzetekben is – alapvetően ugyanolyan főbb lépésekkel és paraméterekkel jellemezhető történések zajlanak le az információ betárolása során. A különféle érzékelési csatornákon át beérkező ingerek (komplex „szenzoros input”) a másodperc töredékéig élő ún. szenzoros memórianyomot hoznak létre. Az információt az idegrendszer ebben a tárolási formában képtelen megtartani, úgyhogy a megfelelő feltételek fennállása esetén (ennek fontos eleme a megfelelő figyelmi állapot) az információ átkerül a rövidtávú avagy munkamemóriába. Ebben a fázisban az információ megtartásának fontos mennyiségi és időbeni korlátai vannak, és az alapvetően csak folyamatos ismételtetéssel lehetséges. A folyamat ezt követő lépése, hogy egyfajta szelekció nyomán megkonstruálódik az a tartós memórianyom, amely később előhívható. Fontos azonban megemlíteni, hogy a memória előhívásának folyamata inkább egyfajta rekonstrukció tehát az ismeret újra felépítése mintsem pusztán aktiválása egy elraktározott ismeretnek (2. ábra).



2. ábra. A (társas) tanulás memória folyamatainak vázlatos sémája

Bár ez egy meglehetősen leegyszerűsített kép, hiszen többek között nem térünk ki annak részletezésére, hogy különböző hosszú távú memóriarendszerek léteznek (explicit, deklaratív, implicit-procedurális – ld. pl. John et al. 1995; Roediger, 1990) de jól mutatja a tanulási folyamatnak azt a lényeges sajátosságát, hogy a memórianyomok különböző tárolási rendszerei eltérő idői dinamikával jellemezhetők (3. ábra). Miközben ezek a tárolási rendszerek időben egymással átfedő módon feldolgozzák a beérkezett információt, tulajdonképpen az történik, hogy nagyszámú neuron szerkezeti, és/vagy működési változáson megy keresztül. E változások alapvetően kétfélek, kémiai- vagy strukturális természetűek lehetnek. A kémiai jellegű változások során egyes idegi ingerületátvivő anyagok (pl. dopamin) mennyisége illetve az azokat kötő receptorok mennyisége és/vagy eloszlása változik meg, a strukturális változások során pedig a neuronok közötti kapcsolati háló alakul át új kapcsolatok kiépülése és/vagy meglévő kapcsolatok felbomlása révén.



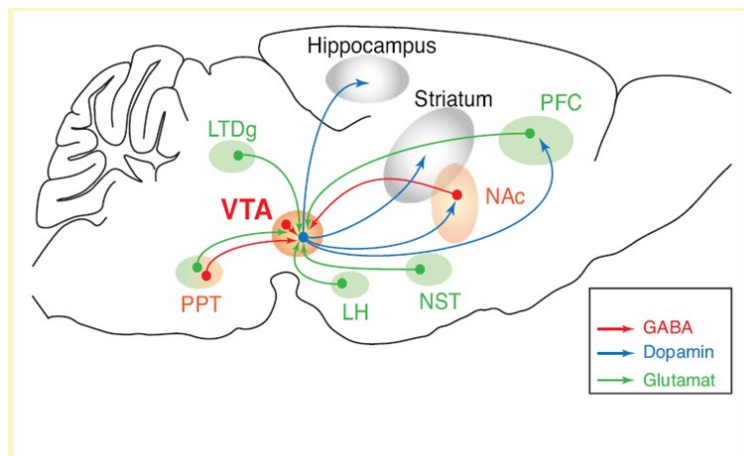
3. ábra. Az eltérő idői dinamikával jellemzett memória tárolási rendszerek

**Az elvárások kialakításának jelentősége a tanulás folyamatában**

Ahhoz, hogy a memória kialakulásának itt bemutatott sematikus leírását tudományosan érvényes modellként kezelhessük, fel kell tennünk a kérdést „mi az, hogy figyelem?“, és egyáltalán „mi indítja be a tanulás folyamatát és mi rögzíti az észlelt összefüggést?“. E kérdések megválaszolásához az ún. „elvárás-eltérés modell” (Kamin, 1969) nyújt fontos támpontot. Eszerint az idegrendszer által elvárt esemény (valamilyen pozitív vagy negatív inger), és a ténylegesen bekövetkező és megtapasztalt „szenzoros input” közötti eltérés mértéke, azaz az idegrendszer által kialakított elvárások és a valós események közötti viszony határozza meg hogy végbemegy-e a tanulás, avagy sem. Az ötletadó megfigyelést patkányokon végezték, melynek lényege, hogy első lépésben egy adott semleges ingerrel (pl. egy piros kör) társítanak egy feltétlen válasz kiváltó ingert (pl. jutalomfalat). Megvárják, amíg az ismételt társítások nyomán kialakul a két inger közötti asszociáció (azaz hogy a semleges inger is „válaszkiváltó potenciált” nyerjen), majd ezt követően egy másik vizuális ingert (pl. egy kék háromszög) és az előbbi ingert (piros kör) együttesen társítják a jutalommal. Ilyen esetben azt lehet tapasztalni, nagyszámú próba után sem fogja az állat összekapcsolni a kék háromszöget a jutalommal - ez az ún. gátlás (blocking) jelensége. Úgy tűnik tehát, hogy a már kialakult piros kör – jutalom asszociáció legátolja az újabb (kék háromszög – jutalom) asszociáció kiépülését. Másképpen fogalmazva, a dolog úgy is értelmezhető, hogy az idegrendszer a piros kör látványa alapján „elvárja” a jutalom megjelenését, s mivel az az elvártaknak megfelelően meg is érkezik, elvárás eltérés hiányában tulajdonképpen újabb tanulási folyamat már nem indul be, így a kék háromszög mintha ott sem lenne, nem asszociálódik a jutalomhoz.

Bár a tanulási folyamatok „elvárás-eltérés”-re alapozott modellje közel 50 éves már, valójában csak a közelmúlt idegtudományi kutatásai tudták meggyőző módon alátámasztani ennek érvényességét. Kísérletes adatok utalnak ugyanis arra, hogy egyes agyterületek dopamintermelő neuronjainak aktivitása irányítja az elvárás eltérés jelenségének idegrendszeri kialakulását, és ily módon ez (is) felelős a tanulási folyamat beindításáért (pl. Steinberg et al. 2013). A dopamin az idegi-ingerületátvivő anyagok (neurotranszmitterek) sorába tartozik, s az agyi jutalmazó rendszer egyik fontos hírvivő anyagaként tartják számon. Jelenlegi ismereteink alapján úgy tűnik, hogy az agy az elvárás eltérések folyamatos regisztrálásával, és az elvárások tapasztalatokhoz való igazításával folyamatosan alakítja azt, hogy mely viselkedések legyenek jutalmazó értékűek (azaz járjanak együtt dopamin felszabadulással) és melyek nem. A jutalmazó értékű viselkedések lesznek azután azok, amelyek a tanulási folyamatban rögződnek (Baez-Mendoza és Schultz, 2013). Fontos azonban, hogy a dopamin nemcsak jutalmazó, hanem egyúttal fokozza az idegsejtek egymás közötti kapcsolatainak megerősödését, ami a tanulás neurobiológiai alapja. Általános szabály, hogy ha nem számítunk a jutalomra, de az váratlanul mégis megérkezik, akkor ez a megfelelő agyterületeken intenzívebb dopamin felszabadulással jár. A váratlan jutalommal egyszerre beérkező, és ily módon azzal társítható információk pedig a serkentő ún. glutamáterg szinapszisok (idegi kapcsolatok) megerősödése révén átalakítják a neuronok kapcsolati

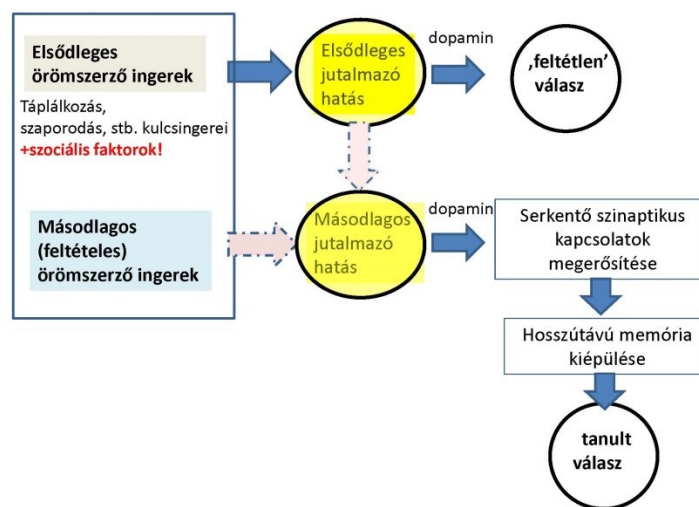
hálóját, és ily módon az információ bekerülhet a hosszú távú memóriába. Gondoljunk csak bele ez egy nagyon hatékony és „okos” rendszer, hiszen az idegrendszernek egyik legfontosabb feladata, hogy megjósolja a környezetben bekövetkező változásokat. Amennyiben sikeresen jósol, ez azt jelenti, hogy a külvilágról kialakított belső reprezentációs modell, aminek alapján ezeket a predikciókat meghozza, megfelelő s nem szorul korrigálásra. Amennyiben azonban az előre generált elváráshoz képest eltérő események következnek be, akkor tanulni kell, azaz korrigálni kell a világról alkotott reprezentációk rendszerét. Mivel a tanulást mindig valamilyen eleve jutalmazó hatású inger indítja be és serkeni, ahhoz hogy ez biztosan bekövetkezzon, az evolúció paradox módon jutalmazó értéket kapcsolt hozzá a téves elvárásokhoz, azaz a váratlan összefüggések felbukkanásának, a meglepetésnek erős belső jutalmazó ereje van. Vizsgálatok sora igazolja, hogy e jutalmazó/megerősítő rendszer anatómiai alapja elsősorban a mezolimbikus dopaminerg rendszer (4. ábra).



4. ábra. Az agy jutalmazó rendszere, a mezolimbikus dopaminerg rendszer - Haber és Knutson, 2010 nyomán. (VTA: ventralis tegmentalis area, NAc: nucleus accumbens LH: lateralis habenula, PPT: nucleus tegmentalis pedunculo pontinus PFC: prefrontalis cortex, NST: nucleus striae terminalis, LTDg: nucleus tegmentalis laterodorsalis)

Fontos kiemelni azt is, hogy az agyi jutalmazó rendszer valójában nem a tanulási folyamatokra specializált, hanem ez egy olyan rendszer, amit általában a természetes örömszerző ingerek is aktiválnak. Természetes örömszerzőnek nevezünk azokat az ingereket, amelyek az egyed fennmaradása, biológiai értelemben vett sikeressége szempontjából elemi fontosságúak. Ilyenek például a táplálkozáshoz, szaporodáshoz köthető ún. kulcsingerek. Az ember esetében azonban e természetes örömszerző ingerek sora sajátos módon kibővült, és a társas ingerek egy széles köre kapcsolódik az agyi jutalmazó rendszerhez. Az ember ugyanis „hiperszociális” csoportlény, mivel fajunk evolúciójának egyik legfontosabb adaptációs tényezője volt a zárt és komplex csoportokba való szerveződés, az elmetartalmak minél tökéletesebb megosztása, a viselkedések nagyfokú szinkronizálása a csoportszintű szabályok lojális követése. Ahhoz hogy ezek a készségek kialakuljanak és viselkedésünk fő szervező erejévé válhassanak az kellett, hogy a szociális környezetből érkező stimulációk (pl. kellemes érintések megtapasztalása, vonzó arcok látványa, pozitív/biztató szavak hallása, másokkal való affiliatív interakciók) az

emberi agy számára erős pozitív megerősítő hatásúak legyenek, és hogy a reputáció (mások általi elismerés) elnyerése illetve a szociális státus növelése nagy jutalmazó erővel bírjon. Ezeket a „társas megerősítőket” azután széles körben és hatékonyan lehet kihasználni a különböző tanulási folyamatokban, amelyek lényege, hogy az elsődleges örömszerző ingerekhez kapcsolt másodlagos ingerek is örömszerző, dopamin-fel szabadító képességre tesznek szert, s így módon a serkentő szinapszisok megerősítésével, konzolidálásával új neuroncsoportokat kapcsolnak hozzá a feltétlen ingerek által kiváltott válaszáért felelős idegsejtekhez. Az így kialakult hálózati kapcsolatokon keresztül az újonnan bekapcsolt idegsejtek maguk is egy másodlagos válaszkiváltó képességre tesznek szert, azaz kialakul a hosszú távú memória egy adott összefüggéssel kapcsolatban és megfelelő feltételek esetén később is bármikor előhívható a tanult válasz (5. ábra).



5. ábra Az elsődleges pozitív megerősítő hatással bíró ingerekre alapozott társításos tanulás és az agyi jutalmazó rendszer kapcsolata.

Manapság egyre növekszik azoknak a vizsgálatoknak a száma, amelyekben agyi képalkotó eljárás (fMRI) alkalmazásával, az idegrendszeri aktivitás „on-line” követésével szolgáltatnak adatot arra, hogy a társas ingerek és a jutalmazó hatás hogyan kapcsolódik össze az idegrendszeri működés során. Egyik ilyen vizsgálatban például felnőtt személyeknek olyan képeket mutattak, melyeken emberek láthatóan jól érzi magukat együtt (Cacioppo et al. 2009). A kutatók úgy találták, hogy ettől a látványtól a magányosok agyában a jutalmazó rendszer egyik központi elemében, a striatum ventrális részén sokkal kisebb aktivitás keletkezett, mint a normális társas viszonyok között élő személyek esetében. Persze az, hogy a magányos emberek agyának jutalmazással összefüggő területén kisebb aktivitás figyelhető meg pozitív társas ingerek hatására (azaz ezek az ingerek csak csökkent mértékű a dopamin felszabadulást képesek okozni), kétféleképpen is értelmezhető. Nem lehet tudni ugyanis, hogy a szociális elszigeteltség, mint kényszerű életforma egy tanulási folyamat révén csökkenti az agyi jutalmazó választ, vagy azok hajlanak az egyedüllétre, akiknél ez az agyi terület eleve



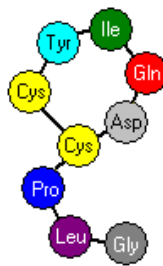
kisebbségi aktivitással működik és ezért számukra a társas kapcsolatok az átlagemberhez képest kevésbé jutalmazó hatásúak.

Egy másik vizsgálatban azonban szemléletesen sikerült demonstrálni azt, hogy az elvárási eltérés kialakulása miként indítja be a tanulás folyamatát egyes hétköznapi szituációkban (Xiang et al. 2012). Ebben agyi képalkotó eljárás (fMRI) segítségével követték az agyi jutalmazó rendszer aktivitásának változásait közgazdasági játék szituációkban. A szituáció lényege, hogy a kísérleti alanyok dönthetnek bizonyos összeg befektetéséről, majd a partnereik is befektetnek valamennyit, de a befektetésnek sajátos szabályai, korlátai vannak, ahogyan a befektetést követő osztozkodásnak is. A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy amennyiben a vizsgált személy partnere indokolatlanul önzetlen vagy éppen túlságosan is önző stratégiát alkalmaz, akkor az erős elvárási eltérést, és ennek következtében a jutalmazó rendszer megnövekedett aktivitását hozza létre a vizsgált személy idegrendszerében. Úgy tűnik tehát, hogy az agy az elvárási eltérések folyamatos regisztrálásával, és az elvárások tapasztalatokhoz való igazításával alakítja azt, hogy mely viselkedések legyenek jutalmazó értékűek (azaz járjanak dopamin felszabadulással) és melyek nem. A jutalmazó értékű viselkedések lesznek azután azok, amelyek a tanulási folyamatban rögződnek. Ez a megerősítő tanulási algoritmus tehát az idegrendszeri alapmechanizmusa annak, hogy az ember megtanuljon bízni valakiben.

### **Figyelem és motiváció: a kontextus jelentősége a tanulás folyamatában**

Bár az eddigiekben amellet érveltünk, hogy a tanulási folyamat sikeressége végső soron az agyi jutalmazó rendszer sikeres aktiválásán áll vagy bukik, szót kell ejtenünk azokról a járulékos tényezőkről is, amelyek a jutalmazó rendszert közvetve vagy közvetlenül stimulálják. Az elmúlt évek vizsgálatai sokoldalúan bizonyították, hogy a memória kiépülésének folyamatában óriási jelentősége van a kontextusnak, azaz annak a háttérnek, amibe az elsajátítandó információ aktuálisan be van ágyazva. Egy komplex társas ingerről való tanulás (például megfigyelünk valakit, miközben egy tárgyat manipulál) sikeressége ugyanis nemcsak a megfigyelt összefüggések váratlanságán, meglepetést keltő erején (elvárás-megsértés) múlik, hanem nélkülözhetetlen eleme, sőt előfeltétele a kellő intenzitású és helyesen fókuszált figyelem. Valójában tehát két nagy, egymástól nem teljesen független idegi szabályozó rendszer irányítása alatt tanulunk: a tanulás alapjául szolgáló környezeti ingerek „memóriaképző ereje” az *agy jutalmazó rendszerre* gyakorolt hatáson túl azon is múlik, hogy a szituációnak mennyire sikerül a *motivációt és érzelmi válaszainkat szabályzó rendszert* stimulálnia.

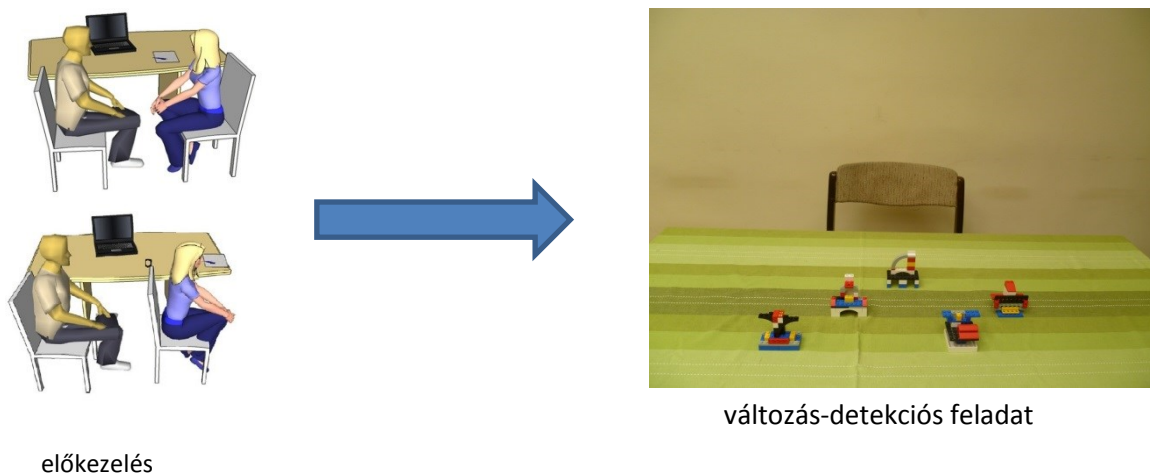
Az agy motivációt és érzelmi válaszokat szabályzó rendszere rendkívül összetett, melynek tárgyalása messze meghaladná ezen írás kereteit. Éppen ezért az alábbiakban csak egyetlen vonatkozását emeljük ki azzal a céllal, hogy a tanulást befolyásoló hatását bemutathassuk. Az idegrendszert érő társas „kulcsingerek” (pl. szemkontaktus, érintés) figyelmi motivációs rendszerre gyakorolt hatását a köztiagy egy adott részén (a hipotalamuszban) termelődő oxytocin közvetíti (Uvnas-Moberg, 1997). Az oxytocin egy 9 aminosavból álló polipeptid (6. ábra) – neurohormonként és neurotranszmitterként egyaránt funkcionáló nagyhatású molekula – mely társas ingerek hatására nagy mennyiségben szabadul fel a központi idegrendszerben. Többek között a társas érzelmi információk egyik fontos feldolgozó központjának, a középagy mandula formájú részének (amygdala) aktivitását szabályozza oly módon, hogy a szociális félelmet csökkenti és ez által a társas ingerek pozitív „jutalmazó” erejét növeli (Kirsch et al. 2005).



6. ábra. A 9 aminosavból álló oxytocin felépítése.

Egy nemrégiben végzett vizsgálatunkban sikeresen demonstráltuk, hogy a társas ingereknek az oxytocin rendszer stimulálása révén milyen fontos szerepe van az idegrendszer figyelmi erőforrásainak irányításában (Oláh et al. 2016). A kísérlet során egészséges felnőtt személyek egy ún. változás-detekciós feladatban vettek részt, melynek lényege, hogy először egy asztalon elhelyezett 5 különböző tárgyat kellett megfigyelniük. A tárgyak kis színes Lego kockákból összerakott viszonylag bonyolult formák voltak (7. ábra). Néhány másodperces memorizálás után az alanyok egy némileg módosított elrendezést láthattak: vagy valamelyik tárgy kicserélődött vagy pedig minden tárgy ugyanaz maradt, de egyikük át lett helyezve egy másik pozícióba. A változás tehát kétféle jellegű lehetett (t.i. egy adott tárgy pozíciója vagy kinézete változott) és a kísérleti személyek feladata a változás felismerése volt. Korábbi vizsgálatok szerint ilyen helyzetben az ember figyelme elsősorban nem a tárgyak kinézetére, hanem a téri elrendeződésre fókuszál, azaz könnyebben azonosítjuk az tárgyak pozíciójában bekövetkező változásokat, mint azok másokra való kicserélését (Marno et al. 2014). Fontos megjegyezni, hogy a téri elrendeződés egy olyan epizodikus információ, mely tulajdonképpen nem tartozik a látott tárgyak inherens tulajdonságai közé és ezért nem is tekinthető a tárgyról való tanulás lényeges elemének. A tárgy kinézete azonban olyan inherens tulajdonság, amely az adott a tárgyról kialakított memórianyom fontos eleme. Vizsgálatunkban arra voltunk kíváncsiak, hogy az idegrendszernek ez a spontán meglévő figyelmi elfoglaltsága megváltozik-e, azaz az epizodikus információkra való fókuszálás csökken-e a tárgyról való tanulás szempontjából

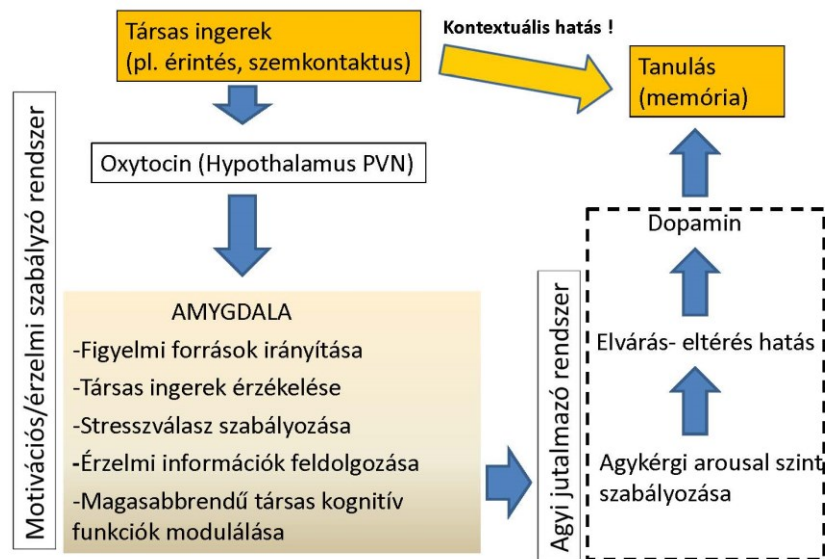
relevánsabb információk javára akkor, ha társas ingerekkel (az oxytocin rendszer stimulálásán keresztül) megpróbáljuk „előfeszíteni” a kísérleti személyek figyelmi-motivációs rendszerét. Ezért még mielőtt a változás-detekciós feladattal szembesültek volna, a kísérleti személyek kétféle „előkezelésben” vettek részt: az ún. stimuláló előkezelés során a kísérletvezető folyamatos szemkontaktust tartva időnként megfogta a vizsgált személy csuklóját (pulzusrészes céljából), míg az ignoráló előkezelés során végig hátat fordított, és így az oxytocin rendszer stimulálására alkalmas erős társas „kulcsingerek” (érintés, szemkontaktus) hiányoztak. Az eredménynek azt mutatták, hogy a társas ingerekkel való előkezelés valóban befolyásolja, hogy az azt követő feladatban az alanyok mire figyelnek, s ennek hatására a tárgyak tulajdonságaira irányuló figyelem, tehát a tárgyakról való tanulás –mint figyelmi attitűd – erősödik.



7. ábra. A változás-detekciós feladatban alkalmazott kísérleti elrendezés. (Oláh et al. 2016)

Az oxytocin rendszer társas figyelem szabályozásában betöltött szerepét igazolják azok az eredmények is, melyek szerint e neurohormon hatása alatt felnőtt egészséges személyek könnyebben felismerik a különbséget a biológiai és nem biológiai jellegű mozgást mutató pontok között (sétáló embert imitáló figura vs. random mozgó pontok – Kéri és Benedek 2009). Sőt, további vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy társas ingerekkel a fentebb már ismertetett módon való előkezelés hasonlóan facilitálja a biológiai mozgás iránti érzékenységet (Kovács et al., előkészületben). Az oxytocinnal illetve társas ingerekkel való kezelés figyelmi és memória folyamatokra gyakorolt hasonló hatását mutatja az vizsgálatunk is, amelyben arcok és érzelemkifejezések kategorizálása és felidézése volt a feladat, s amelyben kimutattuk, hogy mind az oxytocinnal való kezelés, mind pedig a társas ingerek az implicit szociális memória fejlesztésén keresztül serkentik az emberi arcokkal kapcsolatos információk feldolgozását (Kis et al. 2012).

Az amygdala azonban nemcsak a figyelem irányításában, a társas ingerek érzékelésében, a stresszválasz szabályozásában és az érzelmi információk feldolgozásában játszik fontos szerepet, hanem a komplex társas kognitív funkciók modulálása is ezen agyterület aktív közreműködésével zajlik. Vizsgálatok igazolják például, hogy amygdala károsodott személyek az egészséges emberek szerint megbízhatatlan, és nem őszinte emberek arcképét is abszolút megbízhatónak és hitelesnek értékelik (Adolphs et al. 1998). Az ún. Williams-szindrómában szenvedők esetében is az egyik vezető tünet az amygdala abnormális működése, például negatív érzelmi információt megjelenítő emberi arcok nagymértékben aktiválják az amygdalát normál fejlődésű személyeknél, míg a Williams-szindrómásoknál nem (Meyer-Lindenberg et al. 2005). Ennek következtében ezek az emberek fokozottan szociálisak és együttérzők, még olyan helyzetekben is, melyek az egészséges emberekből félelmet és szorongást váltanak ki. Ugyanakkor nem szociális jellegű szituációkban sokszor a normálisnál erősebb aggodalom, szorongás tapasztalható náluk (pl. pókfóbia, tériszony). Ami az amygdala tanulásban betöltött további szerepét illeti, fontos megjegyezni, hogy kiterjedt kapcsolatokkal rendelkezik az agykéreg felé (és befolyásolja az agykérgi izgalmi szintet), így végül a társas kulcsingerekkel megfelelő módon facilitált és motivációsan kellőképpen mozgósító helyzetben a memórianyomok hatékonyabban jönnek létre. A külső környezetből érkező (társas) ingerek hatását közvetítő oxytocin pedig sajátosan szerepet játszik ebben a rendszerben, ugyanis specifikusan gátolja az amygdala izgalmi szintet növelő hatását (Baumgartner et al. 2008). Jól demonstrálják ezt a szabályozási mechanizmust azok a kísérletek, amelyben egészséges felnőtt személyeknek kell oxytocin hatása alatt olyan befektetési játékot játszaniuk, ahol figyelniük kell a partnerek stratégiáját, és ehhez hozzáigazítani a saját döntéseiket (pl. Kosfeld et al. 2005). Ilyen helyzetben az oxytocin az amygdala gátlásán keresztül éri el azt, hogy relatíve kisebb kérgi izgalmi állapot jöjjön létre olyankor, amikor az illető megtapasztalja azt, hogy a partnere átveri őt. Emiatt az alanyok idegrendszerében kisebb elvárás-hibajelentés generál, mint az egyébként elvárható lenne. Ennek következtében a viselkedésük „rugalmatlanabb” lesz, azaz továbbra is alkalmazzák az egyébként megszokott, és a másokban való bizalomra építő stratégiát, s nem váltanak egy kompetitív viselkedésmódra.



8.ábra A társas tanulás neurális szabályozásának vázlatos rendszere

## Zárszó

A kognitív neurológia hagyományos vizsgálatainak középpontjába elsősorban a tanulás kognitív aspektusait állította. Ugyanakkor az érzelmi és indulati folyamatokat szabályozó területek figyelembe vételét meglehetősen elhanyagolta, és ezért sokáig nem igazán ismerte fel az érzelmeknek a kognitív funkció sikeres működésében játszott szerepét. Jóllehet az érzelmi szabályozás területén végzett neuropszichológiai kutatások meglehetősen hiányosak, a szakemberek az érzelmek kinyilvánításának biológiai összetevőit legalábbis részben már elég jól feltárták. Összességében elmondható, hogy az elmúlt évek vizsgálatai nyomán egyre részletesebb kép bontakozik ki arról, hogy az idegrendszerben működő motivációs és érzelmi szabályozó rendszer valamint a jutalmazó rendszer összehangolt, egymást feltételező működése milyen fontos szerepet játszik a társas környezetből érkező információk feldolgozásában és az feldolgozáshoz kapcsolódó tanulási folyamatokban (8. ábra). A társas interakciók kulcsingerei hatékonyan képesek előkészíteni, előhangolni tanulási folyamatainkat, döntéshozó és viselkedésszervező kognitív rendszereinket, ugyanakkor a sikeres tanulás (és tanítás) fontos komponense az emocionális töltés és a váratlan összefüggések felismerésére alapozott ún. „AHA”élmény.

## Köszönetnyilvánítás

A szerző kutatásait az NKFI (K112138) támogatja.

**Idézett irodalom**

- Adolphs R. Tranel D. Damasio A.R. (1998). The human amygdala in social judgment. *Nature*, 393: 470-474.
- Báez-Mendoza R. Schultz W. (2013). The role of the striatum in social behaviour. *Frontiers in Neuroscience* 7: 233.
- Baumgartner T. Heinrichs M. Vonlanthen A. Fischbacher U. Fehr E. (2008). Oxytocin shapes the neural circuitry of trust and trust adaptation in humans. *Neuron* 58: 639-650.
- Cacioppo J.T. Norris C.J. Decety J. Monteleone G. Nushbaum H. (2009). In the Eye of the Beholder: Individual Differences in Perceived Social Isolation Predict Regional Brain Activation to Social Stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21: 83-92.
- Haber S.N. Knutson B. (2010). The Reward Circuit: Linking Primate Anatomy and Human Imaging. *Neuropsychopharmacology Reviews* 35: 4–26.
- Kirsch P. Esslinger C. Chen Q. Mier D. Lis S. Siddhanti S. Gruppe H. Mattay V.S. Gallhofer B. Meyer-Lindenberg A. (2005). Oxytocin modulates neural circuitry for social cognition and fear in humans. *Journal of Neuroscience* 25: 11489–11493.
- Maguire, E.A. Woollett K. Spiers H.J. (2006). London taxi drivers and bus drivers: a structural MRI and neuropsychological analysis. *Hippocampus* 16: 1091-101.
- Meyer-Lindenberg A. Hariri A.R. Munoz K.E. Mervis C.B. Mattay V.S. Morris C.A. Berman K.S. (2005). Neural correlates of genetically abnormal social cognition in Williams syndrome. *Nature Neuroscience* 8: 991-993.
- Morrison R.G. Knowlton B.J. (2012). *Neurocognitive Methods in Higher Cognition, The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning*.
- John D.E. Gabrieli D.A. Fleischman, M.M. Keane, S.L. Reminger, F.M. (1995). Double Dissociation Between Memory Systems Underlying Explicit and Implicit Memory in the Human Brain. *Psychological Science* 6: 76-82.
- Kamin, L. J. (1969). Predictability, surprise, attention, and conditioning. In B. A. Campbell & R. M. Church (Eds.), *Punishment and aversive behavior* (pp. 279-296). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Kéri S. Benedek G. (2009). Oxytocin enhances the perception of biological motion in humans. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 9:237–241.
- Kis A. Kemerle K. Hernádi A. Topál J. (2013). Oxytocin and social pretreatment have similar effects on processing of negative emotional faces in healthy adult males. *Frontiers in Psychology* 4:532.
- Kosfeld M. Heinrichs M. Zak P.J. Fischbacher U. Fehr E. (2005): Oxytocin increases trust in humans. *Nature* 435: 673–676.
- Marno H. Davelaar E.J. Csibra G. (2014). Nonverbal communicative signals modulate attention to object properties. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(2): 752.
- Oláh K. Elekes F. Turcsán B. Kis O. Topál J. 2016. Social Pre-treatment Modulates Attention Allocation to Transient and Stable Object Properties. *Frontiers in Psychology* 25(7):1619.

Roediger H.L. (1990). Implicit memory. Retention without remembering. *American Psychologist*, 45, 1043–1056.

Steinberg E.E. Keiflin R. Boivin J.R. Witten I.B. Deisseroth K. Janak P.H. (2013). Acausal link between prediction errors, dopamine neurons and learning. *Nature Neuroscience* 16: 966–973.

Uvnas-Moberg K. (1997). Physiological and endocrine effects of social contact. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 807: 146–163.

Xiang T. Ray D. Lohrenz T. Dayan P. Montague P.R. (2012). Computational phenotyping of two-person interactions reveals differential neural response to depth-of-thought. *PLoS Comput. Biol.* 8: e1002841.