

Szegedi Tudományegyetem
Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Kar
Elméleti Orvostudományok Doktori Iskola

**Az inger komplexitás és
verbalizálhatóság hatása az
asszociációs tanulásra és a hozzá
kapcsolódó memória folyamatokra**

A PhD értekezés tézisei



Tót Kálmán, MS

**Témavezetők:
Dr. habil. Nagy Attila, MS, PhD
Dr. Eördegh Gabriella, MS, PhD**

**Szeged
2023**

1. Bevezetés

A szerzett egyenértékűség tanulás az asszociációs tanulás egy olyan formája, ahol kettő vagy több inger összekapcsolódik, és egyenértékű lesz egymással, ha ugyanazzal a következménnyel rendelkeznek. Ez az egyenértékűség generalizálható új esetekre is.

A tanulás ezen formájának emberen történő vizsgálatára Myers és munkatársai (2003) létrehozta egy számítógépes neurokognitív tesztet (RAET: Rutgers Acquired Equivalence Test; Rutgers Szerzett Egyenértékűség Teszt). A teszt lényege, hogy vizuális ingerpárokat (antecedens és konzekvens párok) kell megtanulni először próbaszerencse, majd visszajelzéses alapon. A feladat két fázisból áll: a betanulási és a teszt (ellenőrzési) fázis. A betanulási fázis során a résztvevők lépésről lépésre, fokozatosan tanulják meg az asszociációs párokat a számítógép visszajelzése alapján. Ennek során kialakul az egyenértékűség azon ingerek (antecedensek) között, amelyek ugyanazon következménnyel (konzekvens) járnak. A teszt fázisban nincs visszajelzés a válaszok helyességéről, itt a már megtanult asszociációkat kell felidézni, valamint korábban nem mutatott, de az egyenértékűség elve alapján kikövetkeztethető új párok is megjelennek (generalizáció).

A vizsgálati módszer egyik legnagyobb előnye, hogy különböző agyi struktúrák vesznek részt a feladat két fő fázisában. Mind az eredeti, mind egyéb neurokognitív és képalkotó eljárásokat használó tanulmányok bizonyították, hogy a betanulási fázis főleg a bazális ganglion-frontális lebeny hurkokhoz, míg a teszt fázis főleg a

hippokampusz-mediotemporális lebeny megfelelő működéséhez köthetőek. Ezért a teszt lehetőséget nyújt olyan neurológiai és pszichiátriai betegségek vizsgálatára is, ahol az előbb említett struktúrák érintettek. Myers és munkatársai (2003) eredeti vizsgálatában Parkinson kóros betegek gyengén teljesítettek a betanulási fázisban, viszont a teszt fázisban nem. Ezzel ellentétben a hippokampális atrófiában szenvedők a teszt fázisban teljesítettek gyengébben, de a betanulásnál nem. Emellett a tanulási teljesítmény érintettsége volt tapasztalható borderline személyiségzavarnál és Tourette-szindrómánál, a teszt fázis pedig Alzheimer kórnál és szkizofréniánál volt érintett. Mindemellett generalizált tónusos-klónusos epilepsziás felnőttek, valamint kényszerbeteg és migrénes gyermekek esetében nem volt tapasztalható semmilyen teljesítményromlás az egészséges populációhoz képest.

Felmerülhet a kérdés, hogy vajon ténylegesen nincs különbség a fent említett néhány beteg és egészséges populáció teljesítménye között, vagy a módszer nem elég érzékeny ahhoz, hogy kimutassa a különbségeket. Ezt felismerve, azt tűztük ki célul, hogy növeljük a teszt érzékenységét a bazális ganglion-frontális lebeny hurokpályák működésének vizsgálatára. Ennek érdekében kifejlesztettünk egy új vizuális egyenértékűség tesztet (Polygon). Azt feltételeztük, hogy mivel a RAET-ben használt ingerek (rajzolt arcok és színes halak) összetettek, ezért olyan szemantikus illetve verbális információkat tartalmazhatnak, amelyek extra támpontokat jelenthetnek az asszociációk kialakítása során, és lehetőséget adhatnak a kérgi struktúrák kompenzációs mechanizmusainak bekapcsolódására.

Az új tesztben (Polygon) kétdimenziós mértani alakzatokat használtunk (szürkeárnyalatos körök, mint antecedensek; háromszög, négyzet, rombusz és konkáv deltoid, mint konzekvensek) színes rajzolt arcok és halak helyett. Azt feltételeztük, hogy mivel ezek a mértani alakzatok kevésbé komplexek, ezért kevesebb szemantikai tartalommal rendelkeznek és nehezebben lehet verbalizálni őket. Az volt a hipotézisünk, hogy az új, egyszerűbb vizuális ingerek használata, illetve a tanulást segítő információk hiánya (szemantikai tartalom, a tulajdonságok verbalizálhatósága) miatt a tanulás még jobban implicit lesz, és emiatt érzékenyebbé válik a bazális ganglion-frontális kéreg hurokpályák működéseire.

Korábbi tanulmányokból ismert, hogy a szerzett egyenértékűség tanulásban résztvevő agyi struktúrák (bazális ganglionok és hippokampusz) a multiszenzoros információ feldolgozásában és integrációjában is részt vesznek. Ezért, hogy vizsgáljuk a multimodális információ hatását az egyenértékűség tanulásban, a kutatócsoportunk kifejlesztett egy audiovizuális tesztet (SoundFace), ami az eredeti RAET-en alapul. A tesztben az antecedens ingerek különböző hangok (egy macska, egy gitár, egy jármű és egy nő hangja), a konzekvensek pedig a rajzolt arcok a RAET-ből. Összehasonlítva a vizuális és audiovizuális tesztet egészséges embereknél azt találtuk, hogy nincs különbség a tanulás hatékonyságát illetően. Erre egy lehetséges magyarázat az, hogy ez a fajta asszociációs tanulás egy nagyon ősi és konzervált funkció, amely esetében a multiszenzoros információ nem élvez elsőbbséget az unimodális információkkal szemben, és ezek a tanulás folyamatához

azonos mértékben járulnak hozzá. Ezzel ellentétben a felidézés és a generalizáció hatékonyabb az audiovizuális teszt esetén, amely a rövidebb reakcióidők alapján figyelhető meg. Ennek a paradigmának az esetében is felmerül a lehetősége annak, hogy az ingerek szemantikai tartalma és verbalizálhatósága befolyásolhatja az eredményeket. A SoundFace teszt során alkalmazott vizuális ingerek ugyanazok a rajzolt arcok, amelyek a RAET-ben is szerepelnek, valamint, a hangingerek hétköznapi hangok a mindennapi életből, melyek szintén bírnak szemantikai tartalommal és könnyen verbalizálhatóak. Ebből kifolyólag, ez facilitálhatja a tanulási folyamatot és a memória teljesítményt, mert könnyebb kapcsolatokat képezni a komplex ingerek között az előzetesen megtanult asszociációk és a szemantikai kongruencia alapján.

Ennek kiszűrésére új audiovizuális tesztet fejlesztettünk, amelyben csökkentettük az alkalmazott vizuális ingerek komplexitását és verbalizálhatóságát. Az összehasonlíthatóság érdekében megtartottuk a hangingereket a SoundFace tesztből, de a színes rajzolt arcokat lecseréltük a Polygon tesztben konzekvensekként alkalmazott kétdimenziós alakzatokra. A kérdésünk, amelyre választ szeretnénk volna kapni, az volt, hogy a vizuális ingerek csökkentett ingerkomplexitása és verbalizálhatósága hogyan befolyásolja a résztvevők teljesítményét az audiovizuális tesztben.

2. Célkitűzés

A tanulmányaink célja a vizuális és audiovizuális asszociációs tanulás vizsgálata volt egészséges embereknél. Szándékunk volt validálni az újonnan fejlesztett asszociációs tanulási tesztjeinket, amelyekben csökkentett ingerkomplexitással, szemantikai tartalmakkal és verbalizálhatósággal rendelkező vizuális ingereket alkalmaztunk. Vizsgálni szeretnénk volna ennek a szerzett egyenértékűség tanulásra és a hozzá kapcsolódó memóriafolyamatokra gyakorolt hatását egészséges felnőtt résztvevők esetében. Ennek érdekében a vizuális és audiovizuális, komplexebb és kevésbé komplex vizuális ingereket alkalmazó tesztekben nyújtott teljesítményt hasonlítottuk össze egymással.

3. Módszerek

3.1. Résztvevők

Mindkét vizsgálatunkban összesen 55 személy (de nem ugyanazok) vett részt. A résztvevők önkéntes alapon jelentkeztek, semmilyen kompenzációban nem részesültek és bármikor önként, következmények nélkül kiléphettek a vizsgálatból. Minden résztvevő egészséges felnőtt volt, mindennemű neurológiai és pszichiátriai betegség nélkül. A vizsgálati protokoll mindenben követte a Helsinkii Nyilatkozat elveit. A protokollt a Szegei Tudományegyetem

Regionális Humán Orvosbiológiai Kutatásért Bizottsága jóváhagyta (27/2020-SZTE).

3.2. Az alkalmazott vizuális tesztek

A teszteket laptopon végezték el a résztvevők. A vizsgálatok csendes szobában történtek, személyenként egyesével. A válaszadásra nem volt időkorlát, hogy elkerüljük az ebből származó stresszhatást. A résztvevők egymás után végezték el a feladatokat, pseudo-random sorrendben, hogy a transzferhatást és a fáradási hatást minimalizáljuk.

Két vizuális tesztet használtunk, egy összetettebb komplexitású ingereket (módosított RAET) és egy egyszerűbb ingereket (Polygon) tartalmazót. A RAET esetében az antecedensek különböző rajzolt arcok: férfi, nő, kisfiú, kislány voltak. A konzekvensek különböző rajzolt színes halak: piros, zöld, kék, sárga. A feladat az antecedensek és konzekvensek közötti asszociációk kialakítása és megtanulása volt. A Polygon esetében az antecedensek szürkeárnyalatos körök: fehér, világos-, sötétszürke és fekete. A konzekvensek pedig kétdimenziós mértani alakzatok: háromszög, négyzet, rombusz és konkáv deltoid voltak. Minden antecedenshez két konzekvens tartozik, amely nyolc párosítást tesz lehetővé.

Mindkét teszt szerkezete ugyanolyan felépítésű, és két fő részre, betanulási és teszt fázisra osztható. A betanulási fázis során a résztvevők először próba-szerencse alapon tanulják meg az antecedensek és konzekvensek közötti asszociációkat. A résztvevő a párokat (a nyolc lehetségesből hatot) párról párra, lépésenként tanulja meg a számítógép a válaszok helyességéről való visszajelzései

alapján. Minden bemutatott pár után meghatározott mennyiségű helyes választ kell adni (4, 6, 8, 10, 12), hogy a tesztben a résztvevő tovább tudjon haladni, és teljesítse a betanulási fázist. Ennek következtében az ismétlésszám ebben a fázisban változó, és az egyéni tanulási teljesítménytől függő.

A teszt fázisban nincs visszajelzés a válaszok helyességéről. Ebben a fázisban a résztvevőnek fel kell idéznie a már megtanult asszociációkat, valamint a korábban nem mutatott két inger pár is bemutatásra kerül. Ha az egyenértékűség kialakult, akkor a résztvevők ki tudják következtetni a helyes választ (generalizáció), annak ellenére, hogy nem látták ezeket a párokat a betanulás során. Összesen 48 ismétlésből áll a teszt fázis, ebből 36 felidézési, 12 pedig generalizációs ismétlés. A két különböző párosítási feladat a teszt fázis során véletlenszerűen jelenik meg.

3.3. Az alkalmazott audiovizuális tesztek

Az audiovizuális tesztek ugyanazzal a felépítéssel rendelkeznek, mint amivel a vizuálisak, azonban itt az antecedensek jól megkülönböztethető hangok: macska nyávogás, gitár akkord, jármű hang és egy női "Hello". A SoundFace tesztben a konzekvensek a RAET-ban használt rajzolt arcok, míg a SoundPolygon esetében ugyanazok a mértani alakzatok, amelyek a Polygon tesztben szerepeltek. A Polygon teszt konzekvensei (mértani alakzatok) kevesebb leírható tulajdonsággal rendelkeznek, mint a RAET-ben szereplő rajzolt arcok.

3.4. Adatelemzés

Az eredmények kiértékelése során a következő változókat vizsgáltuk: betanulási ismétlésszám, betanulási hibaarány, felidézési hibaarány, és generalizációs hibaarány. A hibaarányokat az adott rész helytelen válaszainak és összes válaszáinak hányadosaként határoztuk meg. A reakcióidőket milliszekundum pontossággal vettük fel. A reakcióidő az inger megjelenése és a résztvevő válasza között eltelt idő. A 3SD-nél nagyobb értékek kizárásra kerültek.

Az adatok normál eloszlásának a vizsgálatára Shapiro-Wilk normalitás tesztet alkalmaztunk. Mivel az adatok nem parametrikusak voltak, ezért a tesztekben (RAET kontra Polygon; SoundFace kontra SoundPolygon) nyújtott teljesítmények egymással történő összehasonlítása Wilcoxon-próba segítségével történt.

4. Eredmények

4.1. A vizuális tesztek összehasonlítása

Összesen 54 résztvevő tesztekben nyújtott teljesítményének statisztikai analízisét mutatjuk be.

A Polygon tesztben szignifikánsan több ismétlésszámra volt szükség az asszociációk megtanulására, mint a RAET-ben ($Z = 3.731$, $p = 0.0002$). Hasonlóan a betanulási ismétlésszámhoz a betanulási hibaarány is szignifikánsan nagyobb volt ($Z = 3.939$, $p = 0.00008$). A reakcióidők is szignifikánsan hosszabbak voltak a Polygon teszt esetében ($Z = 2.983$, $p = 0.003$).

A betanulási fázissal ellentétben, nem volt szignifikáns különbség a RAET és Polygon tesztekben nyújtott teljesítmények között sem a felidézésben ($Z = 0.739$, $p = 0,460$), sem a generalizációban ($Z = 1.624$, $p = 0.104$). A reakcióidők ugyancsak nem különböztek sem a felidézés ($Z = 0.667$, $p = 0,505$), sem a generalizáció során ($Z = 0.595$, $p = 0,552$) a két teszt között.

4.2. Az audiovizuális tesztek összehasonlítása

Összesen 55 résztvevő tesztekben nyújtott teljesítményének statisztikai analízisét mutatjuk be.

A résztvevőknek szignifikánsan több betanulási ismétlésszámra volt szüksége az asszociációk megtanulására a SoundPolygon teszt esetében ($Z = 2.417$, $p = 0.016$). Ehhez hasonlóan a betanulási hibaarány is lényegesen magasabb volt ($Z = 2.213$, $p = 0.027$). A SoundPolygon esetében nem csak a teljesítmény volt gyengébb, hanem a reakcióidők is szignifikánsan hosszabbak voltak ($Z = 3.703$, $p = 0.0002$).

A betanulási fázishoz hasonlóan, a SoundPolygon tesztben a hibaarányok szignifikánsan magasabbak voltak mind a felidézésben ($Z = 2.727$, $p = 0.0064$), mind pedig a generalizációban ($Z = 3.085$, $p = 0.002$). A reakcióidők szintén a betanulási fázishoz hasonlóan szignifikánsan hosszabbak voltak a SoundPolygon teszt esetében, mind a felidézési ismétlések ($Z = 4.994$, $p = 0.000001$), mind pedig a generalizációs ismétlések ($Z = 3.938$, $p = 0.00008$) esetében.

5. Megbeszélés

Az unimodális vizuális szerzett egyenértékűség tanulásban a résztvevők teljesítménye szignifikánsan gyengébb volt a betanulási fázisban a Polygon teszt esetén a RAET-el szemben. Mindez a szignifikánsan magasabb hibaarányok és a magas betanulási ismétlésszám alapján látható, annak ellenére, hogy a reakcióidők is szignifikánsan hosszabbak voltak, ami a hosszabb döntési folyamatra utalhat. Eredményeink azt sugallják, hogy a szerzett egyenértékűség tanulást, amely főleg a megfelelő bazális ganglion működésekhez köthető, erősen befolyásolja az alkalmazott vizuális ingerek komplexitása és verbalizálhatósága. A teszt fázisban a hibaarányok nem különböztek a két teszt között sem a felidőzésben, sem a generalizációban, és ugyanez igaz a reakcióidőkre is. Tehát az inger komplexitása és verbalizálhatósága nincs hatással az előzetesen megtanult asszociációk felidőzésére, sem az egyenértékűség korábban nem látott ingerpárokra való generalizálására.

Ebből arra következtetünk, hogy a Polygon tesztben alkalmazott egyszerűsített vizuális ingerek hatására a résztvevők feltehetően átváltak implicittebb tanulási stratégiára, amely csökkenti a deklaratív memória által mozgósított agykérgi hozzájárulást. Az eredmények arra is utalnak, hogy a Polygon teszt érzékenyebb lehet a bazális ganglion-frontális lebeny hurkok működésére, mint az eredeti RAET.

A két audiovizuális tesztet összehasonlítva, az eredmények azt mutatták, hogy a vizuális tesztek összehasonlításánál

tapasztaltakkal ellentétben, a multimodális tesztek esetén a csökkentett ingerkomplexitás és verbalizálhatóság nem csak a betanulási fázisban nyújtott teljesítményt befolyásolta, hanem az egész teszt fázist (felidézési és generalizációs szakasz). Az eredmények alapján úgy tűnik, hogy amikor a tanulás unimodális (vizuális), a csökkentett inger komplexitás nehezebbé teszi a tanulást, de ha az sikeres volt, akkor megkíméli a felidézést és a generalizációt. Ez a jelenség nem figyelhető meg a multimodális (audiovizuális) tanulási feladatok esetében.

Egy lehetséges hipotézis annak a magyarázatára, hogy a csökkentett ingerkomplexitás és verbalizálhatóság miért érinti a multimodális teszt minden fázisát (de a vizuális teszt esetén csak a betanulást) az lehet, hogy a hippokampális kompenzáció lehetséges, hogy vizuális modalitás specifikus, és csak unimodális tanulás során működik. A másik lehetséges magyarázat az, hogy a SoundFace teszt esetén mind a hangingerek (macska, ember, gitár, jármű), mind a vizuális ingerek (rajzolt arcok) gazdagok szemantikai tartalmakban és könnyen verbalizálhatóak, ami miatt könnyebb asszociációs kapcsolatokat létrehozni közöttük, illetve az egyenértékűség szabályszerűségeit tudatosan megfogalmazni. Ennek következtében a hippokampusz aktívabbá válhat (mint a deklaratív memória része), és hatékonyabbá teheti a kódolást (az események hatékonyabb integrálása által). Ilyen kapcsolatokat nehezebb a hangok és a mértani alakzatok között létrehozni, ami negatívan befolyásolja nemcsak a kódolást, de az előhívást és a generalizációt is.

6. Összegzés

Jelen tanulmány célja az volt, hogy a vizuális inger komplexitás és verbalizálhatóság hatását vizsgáljuk az asszociációs szerzett egyenértékűség tanulásra és a hozzá kapcsolódó memóriafolyamatokra (felidézés és generalizáció) vizuális és audiovizuális tanulási paradigmákban.

Az unimodális vizuális tesztek esetén azt találtuk, hogy jelentős hatással van a betanulási fázisra, de ez nem tapasztalható a felidézés és a generalizáció során. Arra következtettünk, hogy feltehetőleg a csökkentett ingerkomplexitás és verbalizálhatóság miatt a résztvevők inkább implicit tanulási stratégiára váltanak, kevesebb agykérgi kompenzációs hozzájárulással. Az eredmények arra is utalnak, hogy a korábban használt Rutgers Szerzett Egyenértékűség Tesztel (RAET) szemben, a Polygon teszt érzékenyebb lehet a bazális ganglion-frontális lebeny hurok pályák működésének vizsgálatára.

Az audiovizuális tanulási tesztek esetében azt találtuk, hogy a csökkentett komplexitású és verbalizálhatóságú vizuális ingerek alkalmazása esetén a résztvevők teljesítménye a tanulási paradigma minden fázisában csökkent. Erre egy lehetséges magyarázat az, hogy a hippokampusz az unimodális vizuális kódolást részesíti előnyben, és kevésbé érzékeny az audiovizuális multiszenzoros információkra. A másik magyarázat az lehet, hogy a kevésbé verbalizálható vizuális ingerek és az alkalmazott hangok között a szemantikai kongruencia vagy korábban tanult asszociációk révén nehezebb asszociatív kapcsolatot teremteni.

7. Köszönetnyilvánítás

Először is, szeretném a legmélyebb hálámat kifejezni a témavezetőimnek, Dr. Nagy Attilának és Dr. Eördegh Gabriellának a türelmükért, a sok tanácsért, a tudományos gondolkodásom fejlesztéséért, és a rengeteg segítségért, amit nyújtottak. Nagyon szerencsésnek érzem magamat, hogy ilyen témavezetőim lehettek.

Továbbá köszönetet szeretnék mondani Professzor Dr. Jancsó Gábornak és Professzor Dr. Bari Ferencnek, hogy részt vehettem az Idegtudományi PhD programban, és ugyancsak hálás vagyok Professzor Dr. Sály Gyulának, hogy a tudományos munkámat az Élettani Intézetben végezhettem.

Köszönetet szeretnék mondani kollégáimnak, Dr. Bodosi Baláznak a sok segítségért, Dr. Braunitzer Gábornak a cikkek lektorálásában nyújtott segítségéért és az új ötletekért, és Dr. Orosz-Ábel Mariettának a kedvességéért.

Köszönetet szeretnék mondani még Harcsa-Pintér Noéminek és Kiss Ádámnak, jelenlegi és jövőbeli PhD hallgatóinknak a mindennapokban nyújtott segítségért és támogatásért.

Köszönet a külső munkatársainknak, Dr. Rosu Anettnek és Dr. Kelemen Andrásnak, és köszönet minden hallgatónak, aki részt vett a kutatásainkban, név szerint: Huszár Olívia, Brassó Bátor, Gaszner Márton, Hegedűs András, Lazsádi Anna, Hertelendy Ábel, Horváth Márk, Szűcs Bulcsú és Szemcsuk Krisztián.

Köszönöm édesanyámnak, Tót Editnek, hogy végig segített utamon és ott volt, ha szükségem volt rá.

A kutatásainkat támogatta az SZTE-SZAOK-KKA (no. 2019/270-62-2 and no. 2023/5S479), és az Innovációs és Technológiai minisztérium Új Nemzeti Kiválósági Programja (ÚNKP-21-3).

A tézis alapját képező közlemények

- I. Eördegh, G., Tót, K., Kelemen, A., Kiss, Á., Bodosi, B., Hegedűs, A., Lazsádi, A., Hertelendy, Á., Kéri, S., & Nagy, A. (2022). The Influence of Stimulus Complexity on the Effectiveness of Visual Associative Learning. *Neuroscience*, 487, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2022.01.022>
SJR indicator: Q2
IF: 3.3
- II. Tót, K., Eördegh, G., Kiss, Á., Kelemen, A., Braunitzer, G., Kéri, S., Bodosi, B., & Nagy, A. (2022). Visual consequent stimulus complexity affects performance in audiovisual associative learning. *Scientific reports*, 12(1), 17793. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22880-z>
SJR indicator: D1
IF: 4.6

Egyéb közlemények:

- I. Eördegh, G., Tót, K., Kiss, Á., Kéri, S., Braunitzer, G., & Nagy, A. (2022). Multisensory stimuli enhance the effectiveness of equivalence learning in healthy children and adolescents. *PloS one*, 17(7), e0271513. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271513>
- II. Rosu, A., Tót, K., Godó, G., Kéri, S., Nagy, A., & Eördegh, G. (2022). Visually guided equivalence learning in borderline personality disorder. *Heliyon*, 8(10), e10823. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10823>