

Jutalompredikciós hiba hatása az emlékezeti diszkriminációra

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Kognitív Tudományi Tanszék

Szerző: Kiss Eszter Ágnes

Konzulens: Dr. Pajkossy Péter

Budapest

2021. 10. 28.

Tartalomjegyzék

Absztrakt.....	2
Bevezető.....	3
Hipotézisek.....	8
Módszer.....	9
Vizsgálati személyek.....	9
Eszközök.....	9
Eljárás.....	12
Statisztikai elemzés.....	14
Eredmények.....	14
Jutalomtanulás.....	15
MST alaperedmények.....	16
Szabályváltás hatása a target és lure ingerek későbbi azonosítására.....	18
Választott és nem választott képek külön statisztikai elemzése.....	20
Diskusszió.....	27
Konklúzió.....	32
Irodalomjegyzék.....	34
Mellékletek.....	37

Jutalompredikciós hiba hatása az emlékezeti diszkriminációra

Absztrakt

A jutalompredikciós hiba a jutalomtanulás folyamatának meghatározó eleme, amely a jósolt és a valós jutalom közötti különbséget fejezi ki. Ez alapján a jutalom megjelenésére és értékére vonatkozó predikciók módosulnak és frissülnek, ami hatást gyakorolhat az explicit emlékezeti teljesítményre (Ergo, De Loof és Verguts, 2020). Jelen kutatás célja, hogy megvizsgáljuk miként befolyásolja a kódolás során megjelenő jutalompredikciós hiba a későbbi emlékezeti előhívást, azon belül is a hasonló emlékezeti reprezentációk közötti diszkriminációt. Vizsgálatunkban ezen folyamatok felmérésére a Mnemonic Similarity Task (MST) (Stark, Yassa, Lacy és Stark, 2013) általunk módosított és kiegészített verzióját alkalmaztuk. A vizsgálat első része egy incidentális kódolási fázist és egy jutalompredikciós feladatot tartalmazott. Ebben a szakaszban a vizsgálati személyeknek különböző élőlényeket és tárgyakat megjelenítő képpárokat mutattunk be, melyekről a valós méretük alapján el kellett dönteniük, melyik a kisebb, illetve a nagyobb. A vizsgálat első szakasza kiegészült egy jutalompredikciós feladattal is, melynek értelmében a kis méretű tárgyak választása esetén a vizsgálati személyeknek 80% esélyük volt a jutalom megszerzésére, míg a nagy méretű tárgyak választása esetén 20%. A vizsgálat során ez a szabály 6 alkalommal megcserélődött, nagy predikciós hibát generálva ezáltal. A vizsgálat második, előhívási szakasza egy meglepetésszerű felismerési tesztet tartalmazott, amely során a kísérleti személyeknek korábban látott képeket kellett elkülöníteniük a korábban látottakhoz hasonló, mégis új, úgynevezett lure ingerektől. Eredményeink alapján nem találtunk különbséget az emlékezeti diszkriminációs teljesítményben a szabályváltás előtt és után látott képek között. Az adatok átfogóbb elemzése során az ingereket két csoportra bontottuk, a jutalomjáték alatt választott és nem választott képekre. A nem választott képekre vonatkozó emlékezeti teljesítmény elemzése során megfigyelhető volt, hogy a szabályváltásokat követő első három kép esetében a lure ingerek téves felismerésének aránya megnövekedett a szabályváltást megelőző három képhez viszonyítva. Ez utóbbi eredmény egyik lehetséges magyarázata, hogy a jutalomtanulási helyzetben a viselkedéses válasz optimalizálása érdekében a kódolás és a jutalompredikciós hiba feldolgozás együttes végrehajtása magasabb kognitív erőfeszítést igényelhet, amelynek következménye lehet a jutalomjáték során nem választott ingerek csökkent szintű elaboratív kódolása.

Bevezető

Az élet során szerzett tapasztalatok megváltoztathatják a jövőbeni eseményekkel kapcsolatos elvárásainkat. Ennek érdekében az agyunk különböző predikciókat komputál a saját és mások észleletével, cselekvéseivel és mentális állapotával kapcsolatban. Ez a folyamat lehetővé teszi az adaptív viselkedés megvalósulását, amely alapvetően elengedhetetlen a lét- és fajfenntartáshoz (Den Ouden, Kok és Lange, 2012). A pontos predikciók alkotásának szükséges eleme a predikciós hiba, ami a jóslt és a valós esemény közötti különbséget fejezi ki. Ez alapján a korábbi predikciók egyes jellemzői módosulnak és frissülnek, ami által a rendszer közelebb kerül az adott eseményre vonatkozó pontosabb predikció létrehozásához (Friston, 2003). A predikciós folyamat egy jutalom bekövetkezésére és annak értékére is vonatkozhat, ami gyakran előtérbe kerül a kognitív tudományhoz kapcsolódó vizsgálatokban. Az elmúlt időszakban az ehhez a témához köthető kutatások főként a jutalompredikció és a jutalompredikciós hiba implicit és explicit emlékezetre gyakorolt hatásaira fókuszáltak (Ergo, De Loof és Verguts, 2020).

A jutalompredikciós hiba és az implicit emlékezet kapcsolatával több tanulmány is foglalkozott (O’Doherty et al., 2004 ; Bray és O’Doherty, 2007 ; Pessiglione, Seymour, Flandin, Dolan és Frith, 2006) , azonban az explicit memória sajátosságaira kevesebb figyelem irányult ezen a területen. A témával foglalkozó kutatások jelenleg azt vizsgálják, hogy a kódolás alatt megjelenő jutalompredikciós hiba, milyen hatást gyakorol az emlékezeti reprezentációk diszkriminációjára és későbbi előhívására. Ennek az idegrendszeri háttere a hippocampus és a középagyban található dopaminerg rendszer kapcsolatán alapszik (Wittmann et al., 2005). A jutalom jelenléte aktiválhatja és modulálhatja e két agyi terület interakcióját, ami ezáltal befolyásolhatja az adott emlékezeti reprezentáció kódolását. Ennek következtében a jutalomhoz köthető ingereket és annak kontextuális részleteit előnyben részesítjük a kódolási, megtartási és előhívási folyamat során egyaránt. Maga a jutalom felbontható különböző komponensekre, a várt értékre, a jutalompredikciós hibára, és a jutalom megjelenésével kapcsolatos bizonytalanságra, melyek külön-külön is hatást gyakorolnak a középagy dopaminerg rendszerre és ezáltal a hippocampusra (Mason, Farrel, Howard-Jones és Ludwig, 2017). A középagy dopaminerg neuronoknak két tüzelési mintázatát különböztetjük meg, a fázisos és a tónusos tüzelést. Mint Shohamy és Adcock (2010) összefoglalójából kiderül az ehhez köthető egyik felfogás szerint a fázisos dopaminerg válasz a kiugró események jelenlétében jelenik meg. Ilyen kiugró eseménynek tekinthető a

jutalompredikciós hiba is. A tónusos dopaminerg választ egy tartós aktivitás jellemzi, mely egy esemény bekövetkezésére való várakozás során figyelhető meg. A tónusos tüzelési mintázat a jutalom megjelenéséhez köthető bizonytalansággal hozható kapcsolatba. A jutalompredikciós folyamat során a közepagy dopaminerg rendszer aktivitásmintázatának változása modulálja a kódolást a hippocampusban.

Ezt a jelenséget incidentális tanulási kondícióban végzett kísérletekkel próbálták alátámasztani, mely során a jutalom nem egyszerre jelent meg a célingerrel, hanem kisebb időbeli eltérés volt közöttük. Murayama és Kitagami (2014) kutatásukban egy incidentális tanulási helyzetben tárgyakat ábrázoló képeket mutattak be a vizsgálati személyeknek, melyekről el kellett dönteniük, hogy természetesek vagy ember által készítették. Ezt követően egy köztes feladat következett, melyben egy stopperórát kellett megállítaniuk egy bizonyos időintervallumon belül. A köztes feladat után az adott kondíciónak megfelelően egy jutalmazó vagy semleges visszajelzés jelent meg a képernyőn. Az incidentális tanulási szakaszt egy azonnali, majd egy késleltetett felismerési teszt követte. Eredményeik szerint a késleltetés után a vizsgálati személyek jobban emlékeztek azokra a képekre, amelyek után jutalom jelent meg. A talált hatás nem magyarázható az ingerek stratégiai kódolásával, mivel a jutalom mindig a képek után jelent meg, így előzetesen nem modifikálhatta a vizsgálati személyek figyelmét és motivációját a célinger kódolása során. Ezek alapján arra következtethetünk, hogy az utólagos jutalom megjelenése változást idézett elő a közepagy dopaminerg neuronok aktivitásmintázatában, ami visszamenőleg modulálta a kódolási folyamatot és ezáltal a konszolidációt a hippocampusban.

Egy új megközelítés szerint a jutalompredikciós hiba explicit emlékezetre gyakorolt hatása az eseményszegmentáció folyamatához is köthető. Eseményszegmentáció során egy folytonos tevékenységet bontunk fel értelmes eseményegységekre (De Groot, 1978). Az általunk létrehozott eseményhatárok hierarchikus struktúrába rendeződnek, amelyben a finoman tagolt eseményegységek egy nagyobb, durván tagolt eseményegységbe csoportosíthatók. Ezek az eseményegységek az emlékezet és a tanulás alapját képezhetik, hiszen a szegmentáció által a tevékenység részletei jobban elhatárolódnak egymástól, ami által az előhívás pontosabb. Azonban az emlékezeti teljesítmény szempontjából nemcsak a részletek elkülönítése meghatározó, hanem ezen részletek az eseményegységek hierarchiájába való beillesztése is. Ez a folyamat biztosítja az

eseményhatárok alapján megalkotott emlékezeti reprezentáció struktúráját és kontextusát (Zacks és Swallow, 2007).

A fentiek értelmében a jutalompredikció során, ha a jutalom bekövetkezésében vagy értékében változás történik, az jutalompredikciós hibát generál. A jutalompredikciós hiba egy eseményhatárként szolgálhat, amely egységekre szegmentálja a folytonos tevékenységet. Ez javíthatja az információ kódolását. Továbbá a jutalompredikciós hiba jelezheti a környezet jelentős megváltozását is, ami az új tapasztalatok a korábbiaktól való elválasztásához vezet. Ennek következtében a rendszer új kontextust és egy jobban elkülönülő memórianyomot alkot ezeknek a tapasztalatoknak. Ezek alapján a jutalompredikciós hiba pozitív és negatív hatást is gyakorolhat az emlékezeti teljesítményre, mivel az emlékezeti reprezentációk nagyobb mértékű elkülönítése megszakíthatja a folytonos eseménysorozat temporális integritását. Ez egyrészt csökkentheti az emlékezeti reprezentációk előhívását az események sorrendje tekintetében, másrészt javíthatja is az emlékezeti teljesítményt, mivel az emlékezeti reprezentációk jobban elkülönülnek egymástól (Rouhani, Norman, Niv és Bornstein, 2020).

A jutalompredikciós hiba és az explicit emlékezet kapcsolatát feltérképező vizsgálatokban a jutalompredikciós hiba sikeres kiváltásához általában kétféle módszert alkalmaznak, a jutalompredikciós és a többszörös ismétléses paradigmát. A jutalompredikciós megközelítésre épülő vizsgálatokban a vizsgálati személy a statisztikai eloszlásra alapozva becsüli meg a jutalom valószínűségét. Ezt a paradigmát alkalmazva a kutatások többségében azt találták, hogy a jutalompredikciós hiba pozitív hatással van a későbbi emlékezeti reprezentációk előhívására. De Loof és munkatársai (2018) ennek a feltételezésnek a vizsgálatára egy szó-pár tanulási paradigmát alkalmaztak jutalompredikcióval kiegészítve. Kutatásukban egy holland szóhoz 4 szuahéli szót rendeltek, majd a vizsgálati személyek feladata az volt, hogy a bemutatást követően kiválasszák az általuk helyesnek gondolt fordítást 2, 3 vagy 4 választási lehetőség közül. Minden helyes válaszáért virtuális pénzjutalomban részesültek, a rossz válaszokért nem kaptak jutalmat. Eredményeik azt mutatták, hogy az explicit tanulási folyamat során megjelenő jutalompredikciós hiba javította az ingerek későbbi felismerését, valamint a pozitívabb valenciájú jutalompredikciós hibával együtt járó ingerekre pontosabban és nagyobb bizonyossággal emlékeztek. Egy másik kutatásban Jang, Nassar, Dillon és Frank (2019) egy a jutalompredikciós megközelítésre épülő incidentális memóriaparadigmát alkalmaztak, amelyben a jutalompredikciós hiba egy hazard játék formájában

tűnt fel. Egyik vizsgálatukban a résztvevőknek bemutattak egy várható jutalomösszeget, majd két ingeret melyek közül az egyik egy élőlény, a másik egy élettelen tárgy volt. Ezt követően döntést kellett hozniuk, hogy részt vesznek a játékban a jutalom elnyeréséért vagy elutasítják a játék lehetőségét. Minden válaszadást követően visszajelzést kaptak a jutalomról függetlenül attól, hogy a játék lehetőségét, vagy annak visszautasítását választották. A vizsgálatot követően közvetlenül, majd 24 óra elteltével egy emlékezeti teszt következett. Eredményeik szerint a döntéshozatal során megjelenő jutalompredikciós hiba pozitív hatással van az emlékezeti teljesítményre, kockázatvállalás esetén a résztvevők magasabb arányban elő tudták hívni a látott ingereket. Ez a tendencia 24 óra elteltével is fennmaradt.

A másik fő megközelítési mód a többszörös ismétléses paradigma, mely során a megjegyzendő információkkal kapcsolatos kérdéseket tesznek a vizsgálati személyeknek számos alkalommal, majd egy magabiztossági skálán meg kell jelölniük, hogy mennyire biztosak a válaszuk helyességében. Ezt követően visszajelzést kapnak a jó válaszról. Ebben a paradigmában a jutalom predikciója és jutalompredikciós hiba komputációja a magabiztosság szintjéből és a visszajelzésből ered. Legtöbb kutatás eredményei szerint, ha a hibázás egy magas magabiztossággal társul, az egy magasabb jutalompredikciós hibát generál, ami a későbbiekben pozitív hatást gyakorol az emlékezeti előhívásra (Ergo et al., 2020). Fazio és Marsh (2009) kutatásukban a többszörös ismétléses paradigmát alkalmazva vizsgálták a jutalompredikciós hiba hatását az epizodikus emlékezeti teljesítményre. Vizsgálatukban általános ismereteket felölelő kérdéseket tettek fel a vizsgálati személyeknek, akiknek válaszolniuk kellett ezekre. Majd egy 1-től 7-ig terjedő magabiztossági skálán meg kellett jelölniük, mennyire biztosak a válaszuk helyességében. Válaszadást követően, a helyes információ egy mondatba foglalva jelent meg a képernyőn piros vagy zöld betűszínnel. A vizsgálat első része után egy forrásmonitorozási teszt következett a korábban látott visszajelzés betűszínével kapcsolatban. Eredményeik szerint a vizsgálati személyek jobban emlékeztek a visszajelzés színére, ha az inkongruens volt az elvárásaikkal.

A jutalompredikciós hiba kiváltására egy másik módszer is alkalmazható (Hauser, Iannacone, Walitza, Brandeis és Brem, 2015 ; Chase, Swainson, Durham, Benham és Cools, 2011). A reversal tanulási paradigmával általában a végrehajtó funkciókat, azon belül is a kognitív flexibilitást vizsgálják. A feladatban mindig két inger kerül bemutatásra, amit egy adott

diszkriminációs szabály alapján meg kell különböztetni egymástól. A válaszadást egy visszajelzés követi. A szabály helyes alkalmazása esetén a visszajelzés jutalmazó jellege megerősíti annak elsajátítását. Miután kialakult a megfelelő viselkedés a két inger diszkriminációjával kapcsolatban, a korábban alkalmazott szabály megfordul. Ekkor a korábbi szabály szerint megtanult válasz már nem eredményez jutalmat. Ennek következtében a korábban megtanult helyes válaszokat gátolni kell, míg a helyteleneket alkalmazni a jutalmazó visszajelzés újbóli elnyerése érdekében (Izquierdo, Brigman, Radke, Rudebeck és Holmes, 2017). A reversal tanulási paradigmában a jutalompredikciós hibát a diszkriminációs szabály megváltozása váltja ki. Az elsajátított szabály alapján kialakul egy predikció a jutalom megjelenéséről, azonban amikor ez valójában nem következik be, a rendszer észleli az eltérést a jósolt és a bekövetkezett esemény között. Ez alapján a jutalom megjelenésére vonatkozó valószínűségi érték újra számítható, ami végül az új diszkriminációs szabály megtanulásához vezet.

Jelen kutatásban a reversal tanulásban megjelenő jutalompredikciós hiba hatását szeretnénk vizsgálni az epizodikus emlékezetre. Ebben a paradigmában a diszkriminációs szabály változása eseményhatáráként is jellemezhető, ezért feltételezhető, hogy ez az emlékezeti reprezentációk elkülöníthetőségére, diszkriminációjára is hatással lesz (lásd Rouhani et al., 2020). Ebben fontos szerepet játszik egy, a hippocampusban megvalósuló neurális komputációs mechanizmus, a mintázat elkülönítés, amely által képesek vagyunk elkülöníteni hasonló emlékezeti reprezentációkat, ezzel kiküszöbölve az interferenciát közöttük. A mintázat elkülönítés a kódolási folyamatoknál jelenik meg, és így befolyásolhatja a későbbi felismerési teljesítményt is (Yassa és Stark, 2011). A kutatás újító jellege tehát az általunk alkalmazott módszerben rejlik. A jutalompredikciós hiba kiváltásához egy reversal tanulási paradigmát alkalmaztunk, aminek az epizodikus emlékezetre gyakorolt hatását egy azonnali meglepetésszerű felismerési teszttel mértük fel. Továbbá az epizodikus emlékezeti teljesítmény vizsgálata során nemcsak a felismerést, hanem magát a mintázat elkülönítési folyamatot is megvizsgáltuk. Ez alapján következtetést vonhatunk le azzal kapcsolatban, hogy a megjelenő jutalompredikciós hiba milyen hatással van a kódolási folyamat minőségére. Vizsgálatunkban ezen folyamatok felmérésére a Mnemonic Similarity Task (MST) (Stark, Yassa, Lacy és Stark, 2013) általunk módosított és kiegészített verzióját alkalmaztuk, melyben az incidentális kódolási szakasz egy jutalompredikciós feladattal egészült ki, mely időről időre jutalompredikciós hibát generált. Az MST egy megbízható vizsgálati

paradigma, mellyel pontosan mérhető a mintázat elkülönítés viselkedéses megjelenése, valamint a felismerés.

A kutatás során főbb feladataim közé tartozott az általunk alkalmazott ingeranyag kiválogatása meghatározott kritériumok alapján, a vizsgálat felvétele a vizsgálati személyekkel, valamint a felvett adatok statisztikai elemzése.

Hipotézisek

A vizsgálat első, incidentális kódolási szakasza kiegészül egy jutalompredikciós feladattal, melyben a résztvevőknek egymás után bemutatott két tárgy vagy élőlény esetében kellett meghatározniuk, hogy a valóságban melyiknek a mérete kisebb, illetve nagyobb. Majd azt is figyelembe kellett venniük, hogy melyik kategória választása esetén jár jutalom, és a választásukat minden esetben erre kellett alapozniuk. A vizsgálat elején a kisebb méretű tárgyak és élőlények voltak az előnyösebbek, az emellett szóló döntés esetén 80% esély volt a jutalom elnyerésére, míg a nagyobb méretűek esetén ez a valószínűség 20% volt. A vizsgálat során ez a diszkriminációs szabály több alkalommal megfordult, ami ezáltal időről-időre nagy jutalompredikciós hibát generált. A jutalompredikciós hiba eseményhatáráként szolgálhat, ami egységekre szegmentálja az incidentális kódolási szakasz nyereséjének. Ez pozitív hatással lehet a látott ingerek kódolási folyamatára, ami által a felismerési és az emlékezeti diszkriminációs képesség módosulhat. Ezeket egy MST feladattal vizsgáltuk meg. Ebben a szakaszban képingereket mutattunk be a vizsgálati személyeknek, melyek közül bizonyos képek a jutalomjáték során a szabályváltás előtt és után bemutatott ingeranyagból kerültek ki (target), más ingerek pedig a már korábban látott ingerekhez hasonló képek voltak (lure). A vizsgálati személyeknek el kellett dönteniük, hogy az adott inger megegyezik a korábban látott ingerrel ('rég'), vagy csak hasonlít ahhoz, de nem azonos azzal ('hasonló').

A szabályváltás hatására a felismerési teljesítmény esetleges módosulása a target ingerre adott 'rég' választípus értékének változásával figyelhető meg. A lure ingerre adott 'hasonló' válasz a mintázat elkülönítési mechanizmust jelöli, melynek értelmében képesek vagyunk elkülöníteni hasonló emlékezeti reprezentációkat az interferencia jelensége nélkül. A lure ingerre adott 'rég' válasz a mintázat kiegészítési mechanizmusnak feleltethető meg, mely szerint a látott ingert inkább

egy korábban létrehozott emlékezeti reprezentációval azonosítjuk, mint, hogy újként kódoljuk. A lure ingerre adott 'hasonló' és 'régí választípusok értékének növekedése és csökkenése által nyomon követhető az emlékezeti diszkriminációs képesség változása. Ennek megfelelően a vizsgálati hipotéziseink az alábbiak:

1. Szabályváltás után (azaz a diszkriminációs szabály megváltozása után) a későbbi target ingerre adott 'régí' választípus magasabb értéket vesz fel, mint szabályváltás előtt.
2. Szabályváltás után a későbbi lure ingerre adott 'hasonló' választípus magasabb értéket vesz fel, mint szabályváltás előtt.

Módszer

Vizsgálati személyek

A vizsgálatban 57 személy vett részt, 22 férfi és 35 nő. A vizsgálati személyek életkorukat tekintve 18 és 25 év közöttiek voltak ($M = 21.768$), mindegyikük tanulói, hallgatói jogviszonnyal rendelkezett. A részvételért pénzjutalomban részesültek. A vizsgálatfelvétel kritériumai közé a normál vagy korrigált normál látás tartozott.

Eszközök

A kutatáshoz az MST (Stark et al., 2013) általunk módosított és kiegészített verzióját alkalmaztuk. A vizsgálat két szakaszból tevődött össze, melyet egy gyakorló fázis előzött meg. A vizsgálatot és a gyakorló fázist egyaránt a Psychopy (Peirce, 2007) program 3-as verziójával hoztuk létre. A vizsgálat első szakasza egy incidentális kódolási fázist és egy jutalompredikciós feladatot tartalmazott, míg a második szakasza egy meglepetésszerű felismerési tesztből épült fel. Az ingerek kiválogatása az MST képanyagából történt meghatározott kritériumok alapján. Az első kritérium szerint az ingerek kiválasztásánál figyelembe vettük a target és a lure ingerek hasonlóságának mértékét, mivel a kutatás során fontos szempont volt, hogy a vizsgálati személyek képesek legyenek megfelelően kódolni és előhívni az ingeranyagot. A target és a lure ingerek nagy mértékű hasonlósága csökkent szintű emlékezeti diszkriminációt eredményezhet. A képek hasonlóságuk alapján Bin 1 és 5 közötti kategóriába sorolhatók, ahol a Bin 1-be tartoznak az egymáshoz

leginkább hasonlító ingerek, a Bin 5-be pedig az egymástól legkülönbözőbbek. A vizsgálat első, incidentális kódolási szakaszába csak Bin 3-as kategóriába tartozó képek kerültek. A képanyag másik beválogatási kritériuma a képeken szereplő élőlények és tárgyak mérete volt. Ennek célja az volt, hogy a vizsgálat első részéhez olyan képpárokat tudjunk alkotni, melyekről a valódi méretük alapján egyértelműen eldönthető, hogy a két képen szereplő élőlény vagy tárgy közül melyik a kisebb, illetve a nagyobb.

A vizsgálat első szakaszában 90 db képpár szerepelt. Az incidentális kódolási szakasz kiegészült egy jutalompredikációs feladattal is, melynek értelmében a kis méretű tárgyak választása esetén a vizsgálati személyeknek 80% esélyük volt a jutalom megszerzésére, míg a nagy méretű tárgyak választása esetén 20%. A vizsgálat során ez a diszkriminációs szabály 6 alkalommal megfordult. A szabályváltás pseudorandom sorrendben volt beállítva, 11, 12 vagy 13 képpár bemutatását követően ment végbe. Minden trial elején 1000 ms-on keresztül nem volt látható inger a képernyőn. Ezt követte az első kép bemutatása, mely 2500 ms-on át tartott. Az ingerbemutatást követően 500 ms-on keresztül ismét nem jelent meg inger a képernyőn. Majd a második kép bemutatása következett, ami szintén 2500 ms-on keresztül volt látható. A képek a számítógép képernyőjének közepén jelentek meg, a kisebb és nagyobb méretű tárgyat vagy élőlényt ábrázoló képek bemutatásának sorrendje random módon volt beállítva. A második ingerbemutatást követően egy kérdőjel volt látható a képernyő közepén, a válaszadási idő 6000 ms volt. Amennyiben a képen szereplő kisebb méretű tárgyat ítélték a jutalmazottnak az 1-es billentyűt kellett leütniük, míg a nagyobb méretű tárgy esetében a 2-es billentyűt. Minden választást követően visszajelzés jelent meg a válasz helyességéről az éppen érvényben lévő szabály függvényében, valamint a virtuális jutalom pénz összegéről. A visszajelzés minden trial végén 2000 ms-on keresztül volt látható a képernyőn. A vizsgálati személyek 0 Ft-tal indultak és minden jó válaszáért 1000 Ft értékű virtuális pénzben részesültek.

A vizsgálati második, előhívási szakasza egy meglepetésszerű felismerési tesztet tartalmazott. Ebben a szakaszban képingereket mutattunk be a vizsgálati személyeknek, melyek közül bizonyos képek a kódolás során bemutatott ingeranyagból kerültek ki (target), más ingerek a már korábban látott ingerekhez hasonló képek voltak (lure), és új képek is bemutatásra kerültek (foil). Összesen 150 db kép, target, foil és lure ingertípusonként 50 db kép jelent meg a képernyőn. A target és lure ingereket a vizsgálat első szakaszának utolsó 5 szabályváltása előtt és után szereplő

5-5 db képből válogattuk ki. Ez alapján az előhívási szakasz 2 verzióját hoztuk létre, melyben a két ingertípus aránya eltért a szabályváltás tekintetében. Az egyik verzióban az összesen 50 db target és 50 db lure ingerekből 24, illetve 26 db került ki a szabályváltás előtti trial-ekből, és 26, illetve 24 a szabályváltási utáni trial-ekből. A másik verzióban a target és a lure ingerek ezen aránya megfordult. Minden trial elején 500 ms-on keresztül nem volt látható inger a képernyőn. Ezt követte az ingerbemutatás, mely során a kép a képernyő közepén jelent meg. A vizsgálati személyeknek el kellett dönteniük, hogy az adott inger régi, hasonló vagy új. A válaszadási idő egybeesett az ingerbemutatási idővel, mely 5000 ms-ra volt beállítva. A válaszadás során, ha a vizsgálati személy a látott ingert réginek ítélte az 1-es billentyűt, ha hasonlóknak a 2-es billentyűt, ha újnak a 3-as billentyűt kellett leütnie. A válaszadás alatt a bemutatott inger és a válaszlehetőségek végig a számítógép képernyőjén maradtak. A kódolási és előhívási szakasz közé késleltetés nem volt beiktatva.

A vizsgálatból összesen 4 verzió készült, ami az első, incidentális kódolási szakaszban bemutatott későbbi target és lure ingertípusok random sorrendiségén alapult.

A vizsgálat fenti két szakaszát egy gyakorló fázis előzte meg, melyben a vizsgálati személyek elsajátíthatták a jutalompredikciós feladat instrukcióinak helyes alkalmazását. Az összesen 70 trial-ben egy sárga és egy kék négyzet jelent meg a képernyő közepén, melyek bemutatása maximum 5000 ms-on át tartott. A négyzetek megjelenése a képernyő két oldalán random módon volt beállítva. A vizsgálat elején a sárga négyzet választása esetén a vizsgálati személyeknek 80% esélyük volt a jutalom megszerzésére, míg a kék négyzet választása esetén 20%. A vizsgálat során ez a diszkriminációs szabály 5 alkalommal megfordult. A válaszadás a bal és a jobb nyilakkal történt, a válaszadási idő egybeesett az ingerbemutatási idővel. Minden válaszadást követően az ingerek eltűntek, és visszajelzés jelent meg a válasz helyességéről az éppen érvényben lévő szabály függvényében, valamint a virtuális jutalom pénz összegéről. A visszajelzés minden trial végén 1000 ms-on keresztül volt látható a képernyőn. A vizsgálati személyek 0 Ft-tal indultak és minden jó válaszáért 1000 Ft értékű virtuális pénzben részesültek.

A vizsgálati személyek számára 4 kérdést is összeállítottunk, melyeket a vizsgálat végén szóban tettünk fel nekik. Ezek célja az volt, hogy képet kapjunk a vizsgálatban szerzett benyomásaikról, tapasztalataikról, meglátásaikról. A kérdések a későbbi előhívási szakasz

kiszámíthatóságára, a jutalompredikciós feladat nehézségére, az instrukció érthetőségére és a tárgyak méretein alapuló döntések egyértelműségére vonatkoztak.

Eljárás

A vizsgálati személyek közül 31 fő esetében online történt a vizsgálatfelvétel, 26 fő esetében pedig személyesen. Az online vizsgálatfelvétel a Microsoft Teams program felületén valósult meg. Minden vizsgálati személynek egy külön értekezletet hoztunk létre, ahová az általunk elküldött linken keresztül tudtak belépni. A személyes vizsgálatfelvételre a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Kognitív Tudományi Tanszékének laboratóriumában került sor. Az etikai irányelveknek megfelelően a résztvevőket előzetesen tájékoztattuk a kutatás céljáról, tartalmáról, az alkalmazott módszerekről, a részvétel megtagadásának lehetőségéről, és a titoktartás kereteiről. A vizsgálatfelvétel előtt minden résztvevő beleegyező nyilatkozatot írt alá, mellyel hozzájárultak a felvett adataik felhasználásához. Ezt követően rögzítettük a vizsgálati személyek demográfiai adatait, mint a nemet és az életkort.

A gyakorló fázist és a vizsgálatot a Pavlovia online kísérletfuttató szoftveren keresztül osztottuk meg a vizsgálati személyekkel. A vizsgálatfelvétel a gyakorló fázissal kezdődött, melynek elkezdése előtt a vizsgálatvezető ismertette a feladattal kapcsolatos tudnivalókat. Ezt követően megosztotta a kísérlet linkjét a vizsgálati személlyel. A vizsgálat elindítását követően egy szöveges instrukció jelent meg a képernyőn, amely tartalmazta a feladat rövid leírását, a résztvevők teendőit a feladat helyes megoldásához, valamint a válaszadási lehetőségeket. A gyakorló fázisban a vizsgálati személyeknek egy nyereményjátékot kellett játszaniuk, melyben egy sárga és egy kék négyzet közül kellett eldönteniük, hogy éppen melyiknek a választása esetén jár a jutalom. A nyereményjáték elején a sárga négyzet volt az előnyösebb kategória, ennek választása esetén 80% valószínűség volt a jutalom megszerzésére, míg a kék négyzet választása esetén 20%. Azonban ezen jutalom megszerzési valószínűségek több alkalommal megcserélődtek a kategóriák között a nyereményjáték során, melyek bekövetkezéséről a vizsgálati személyek nem kaptak információt. Ezekre a választásaikra adott visszajelzésekből kellett következtetniük.

A gyakorló fázis után a vizsgálat következett, mely két szakaszból épült fel. A vizsgálat elindítása előtt a vizsgálatvezető úgy részletezte a legfontosabb információkat a kísérlettel

kapcsolatban, hogy ne fedje fel a második szakasz meglepetésszerű felismerési feladatának jellegét a vizsgálati személyek előtt. Ezt követően megosztotta a kísérlet linkjét. Az első, incidentális kódolási szakaszt megelőzően egy szöveges instrukció jelent meg a képernyőn, amely tartalmazta a feladat rövid leírását, a résztvevők teendőit a feladat helyes megoldásához, valamint a válaszadási lehetőségeket. A vizsgálatnak ennek a részében a vizsgálati személyeknek szintén egy nyereményjátékban kellett részt venniük, melynek felépítése hasonló volt a gyakorló fázisban teljesített feladathoz. A résztvevőknek egymás után bemutatott két tárgy vagy élőlény esetében meg kellett határozniuk, hogy a valóságban melyiknek a mérete kisebb, illetve nagyobb. Majd azt is figyelembe kellett venniük, hogy melyik kategória választása esetén jár jutalom, és a választásukat minden esetben erre kellett alapozniuk. A vizsgálat elején a kisebb méretű tárgyak és élőlények voltak az előnyösebbek, az emellett szóló döntés esetén 80% esély volt a jutalom elnyerésére, míg a nagyobb méretűek esetén ez a valószínűség 20% volt. A feladat előrehaladtával a jutalom megszerzésének az esélyei többször megcserélődtek a kategóriák között, melyeknek ütemezéséről a vizsgálati személyek nem voltak tájékoztatva. Ezekre a választásaikra adott visszajelzésekből kellett következtetniük, és folyamatosan meg kellett jegyezniük az éppen előnyösebb kategóriát.

Ezt követően késleltetés nélkül következett a vizsgálat második, meglepetésszerű előhívási szakasza. A feladat előtt itt ismét egy szöveges instrukció jelent meg a képernyőn, amely a korábbiakhoz hasonlóan tartalmazta a feladat rövid leírását, a résztvevők teendőit a feladat helyes megoldásához, valamint a válaszadási lehetőségeket. A vizsgálatnak ebben a részében a vizsgálati személyeknek az egyesével bemutatott tárgyakat és élőlényeket ábrázoló képekről kellett eldönteniük, hogy azok régiek, hasonlóak vagy újak. Régiként azok a képek értelmezhetőek, melyek megegyeznek a korábban látott képekkel, hasonlóként azok, melyek hasonlítanak a korábban látott képekhez, de nem azonosak velük, újként pedig azok, melyek korábban nem fordultak elő.

A vizsgálat végén a vizsgálatvezető 4 kifejtendő kérdést tett fel szóban a vizsgálati személynek.

Befejezésül a résztvevőknek nyilatkozniuk kellett arról, hogy a vizsgálat előtt tett beleegyező nyilatkozatukat a vizsgálat után is fenntartják.

Statisztikai elemzés

Az adatok statisztikai elemzése során az alkalmazott tesztek feltételeinek ellenőrzését minden esetben elvégeztük, melynek eredményei a Mellékletben találhatóak meg.

A többdimenziós outliereket a Cook távolság használatával szűrtük, melynek 1 értékű kritériumszintjét egyetlen érték sem haladta meg (Cook és Weisberg, 1982).

A normalitás feltételét a reziduális hibákon ellenőriztük. Ennek teszteléséhez Ghasemi és Zahedi-Asl (2012) útmutatását követve az ismertebb Lilliefors korrigált Kolmogorov-Smirnov teszt helyett a Shapiro-Wilk normalitás tesztet használtuk.

A sfericitás feltételét Mauchly teszttel ellenőriztük a kettőnél több szintű összefüggő szempontokon és azok interakcióján.

Eredmények

A vizsgálat során felvett adatok statisztikai elemzése az IBM SPSS Statistics programcsomag 20-as verziójával történt.

A vizsgálatban 57 személy vett részt ($N = 57$). Az összes résztvevő vizsgálati eredménye rögzítésre került, hiányzó értékek nem voltak. Az adattisztítás során az adatokban a hagyományos outlier labelling rule (Tukey, 1977) alapján több szélsőséges értéket is találtunk. A target inger típusra adott 'régi' választípus értékei között 3 eset volt kimutatható, két darab 8.00-as érték és egy darab 6.00-os érték. A target ingerre adott 'új' választípus értékei között szintén 3 szélsőséges értéket találtunk, egy 48.00-as, egy 68.00-as és egy 84.00-es értéket. A foil ingerre adott 'régi' választípus értékei között 3 outlier-t fedeztünk fel, melyek egy 80.00-as, egy 70.00-es és egy 54.00-es értéket vettek fel. A foil ingerre adott 'új' választípus értékei között újabb 4 szélsőséges érték volt látható, két darab 6.00-os, egy darab 4.00-es és egy darab 8.00-as érték. A foil ingerre adott 'hasonló' választípus értékei között egy outlier volt kimutatható, egy 94.00-es érték. Az így megtalált outliereket felülvizsgáltuk a 2.2-es szorzót használó outlier labelling szabállyal (Hoaglin és Iglewicz, 1987), amely alapján továbbra is mindegyik szélsőséges értéknek minősült, a target ingerre adott 'új' választípus értékei között talált 48.00-as érték kivételével.

Mivel ezek az értékek ugyanazon 4 vizsgálati személyhez tartoztak, így az ő adataik törlésre kerültek. A további elemzést 53 vizsgálati személy adatain végeztük el (N = 53).

Jutalomtanulás

A vizsgálat első, incidentális kódolási szakaszában a jutalompredikciós feladat során a preferált, előnyösebb kategória választásának átlaga magasabb értéket vett fel, mint a nem preferált kategória választásának átlaga. Ez alapján elmondható, hogy a vizsgálati személyek rátanultak a kísérletre. (1. ábra)



1. ábra

A jutalompredikciós feladatban a preferált és nem preferált kategóriák választásának aránya százalékban kifejezve

Az ábra a jutalompredikciós feladatban a preferált és nem preferált kategóriák választásának arányát mutatja be százalékban kifejezve. Adatok: Preferált kategória: M = 63.82; SD = 12.23 ; Nem preferált kategória: M = 36.18; SD = 12.23.

MST alaperedmények

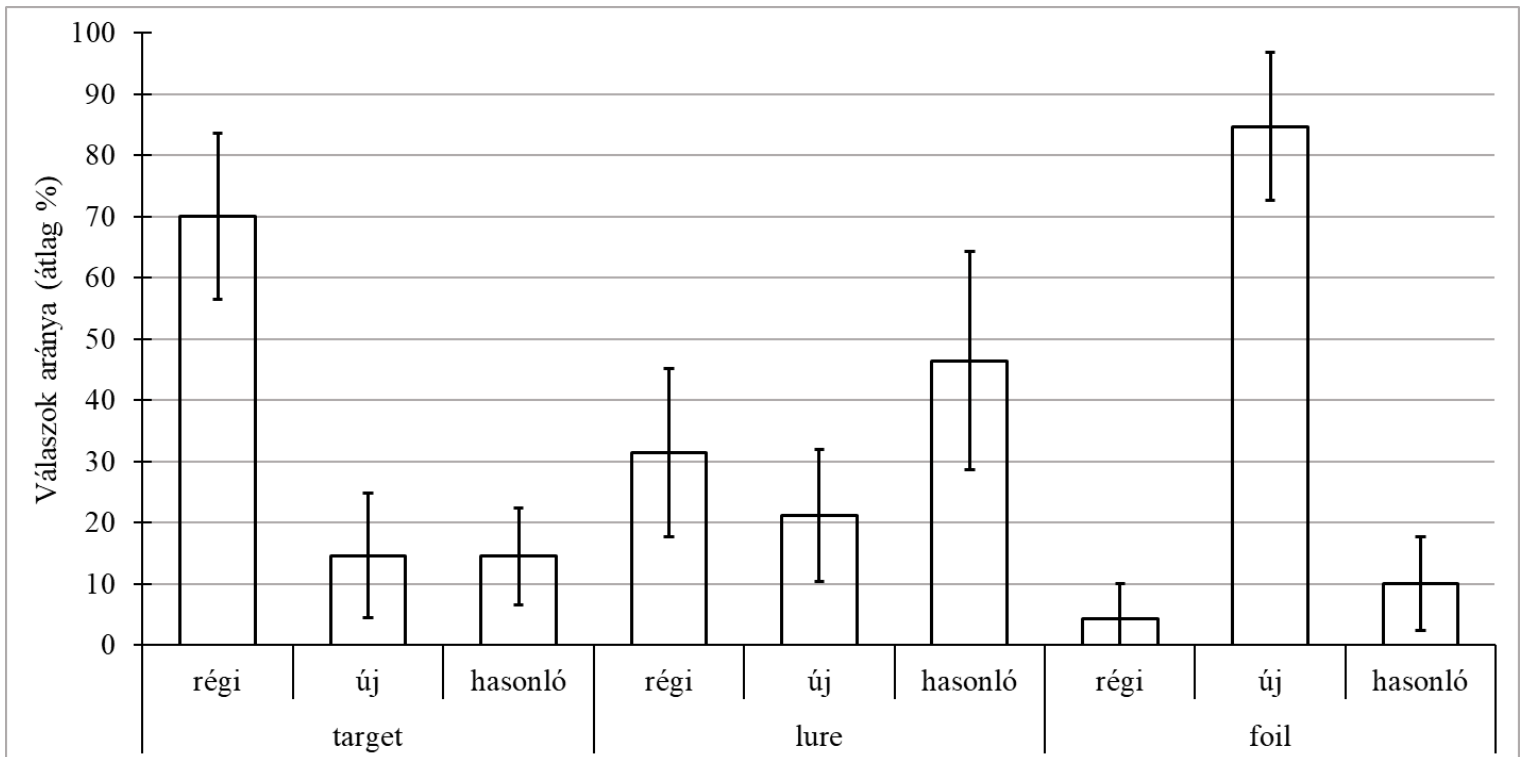
Az MST feladat összesített értékelése szerint a target, lure és foil ingerekre adott 3 lehetséges válasz átlagának százalékos aránya eltért egymástól. Ezek az eredmények megfelelnek az MST feladatban kimutatott értékek mintázatának. (2. ábra)

Az adatok elemzése során megvizsgáltuk, hogy a target ingertípusra adott 'régi', 'új' és 'hasonló' válaszok átlaga eltér-e egymástól. A normalitás feltételét ellenőriztük az adatokon, egy változó értéke nem követte a normális eloszlást. Ez alapján az elemzéshez egy nemparametrikus Friedman tesztet alkalmaztunk, melyben egy darab 3 szintű összefüggő szempontot hoztunk létre. A Friedman teszt eredményei szerint szignifikáns különbséget találtunk a target ingertípusra adott válaszok értékei között $\chi^2(2, N = 53) = 76.57$ $p < .001$. A választípusok között előforduló különbségeket Wilcoxon tesztek sorozatával elemeztük részletesebben. A többszörös tesztelés miatt a Post hoc elemzés során Bonferroni-korrekción alkalmaztunk, az eredmények $\alpha = .016$ szignifikancia szinten kerülnek értelmezésre. Ez alapján a target ingerre adott 'régi' választípus magasabb értéket vett fel, mint az 'új' ($Z = -6.33$ $p < .001$), és 'hasonló' választípus értékei ($Z = -6.33$ $p < .001$). A target ingerre adott 'új' és 'hasonló' válaszok értékei között nem találtunk különbséget ($Z = -.39$ $p = .696$).

Az adatok további elemzése során megvizsgáltuk, hogy a lure ingertípusra adott 'régi', 'új' és 'hasonló' válaszok átlaga eltér-e egymástól. A normalitás feltétele egyik változó esetében sem sérült. A sphericitás feltétele azonban nem teljesült az adatokon. Az elemzéshez repeated measures ANOVA-t alkalmaztunk, melynek elrendezésében egy darab 3 szintű összefüggő szempontot hoztunk létre. A repeated measures ANOVA teszt eredményei szerint, szignifikáns különbséget találtunk a lure ingertípusra adott válaszok átlagai között $F(1.53, 79.73) = 27.44$ $p < .001$ (Greenhouse-Heisser korrekció). A Post Hoc elemzést Bonferroni korrekcióval végeztük el, mely szerint a lure ingerre adott 'hasonló' válaszok átlaga magasabb értéket vett fel, mint a 'régi' ($p = .002$) és az 'új' válaszok átlagai ($p < .001$). Továbbá lure ingerre adott 'régi' válaszok átlaga magasabb volt, mint az 'új' válaszok átlaga ($p < .001$).

Végül az adatok elemzése során megvizsgáltuk, hogy a foil ingertípusra adott régi, új és hasonló válaszok átlaga eltér-e egymástól. A normalitás feltételének ellenőrzése során kimutattuk, hogy mindhárom változó eltért a normál eloszlástól. Ez alapján az elemzéshez egy nemparametrikus Friedman tesztet alkalmaztunk, melynek elrendezésében egy darab 3 szintű

összefüggő szempontot hoztunk létre. A Friedman teszt eredményei szerint szignifikáns különbséget találtunk a foil inger típusra adott válaszok értékei között $\chi^2(2, N = 53) = 92.04$ $p < .001$. A választípusok között előforduló különbségeket Wilcoxon tesztek sorozatával elemeztük részletesebben. A többszörös tesztelés miatt az Post hoc elemzés során Bonferroni-korrekciót alkalmaztunk, az eredményeket $\alpha = .016$ szignifikancia szinten értelmezzük. Ez alapján a foil ingerre adott 'rég' választípus alacsonyabb értéket vett fel, mint az 'új' ($Z = -6.34$ $p < .001$) és a 'hasonló' választípus értéke ($Z = -4.58$ $p < .001$). Továbbá az 'új' választípus értéke magasabb volt, mint a 'hasonló' választípus értéke ($Z = -6.34$ $p < .001$).



2. ábra

Az MST feladatban az inger típusokra adott válaszok aránya százalékban kifejezve

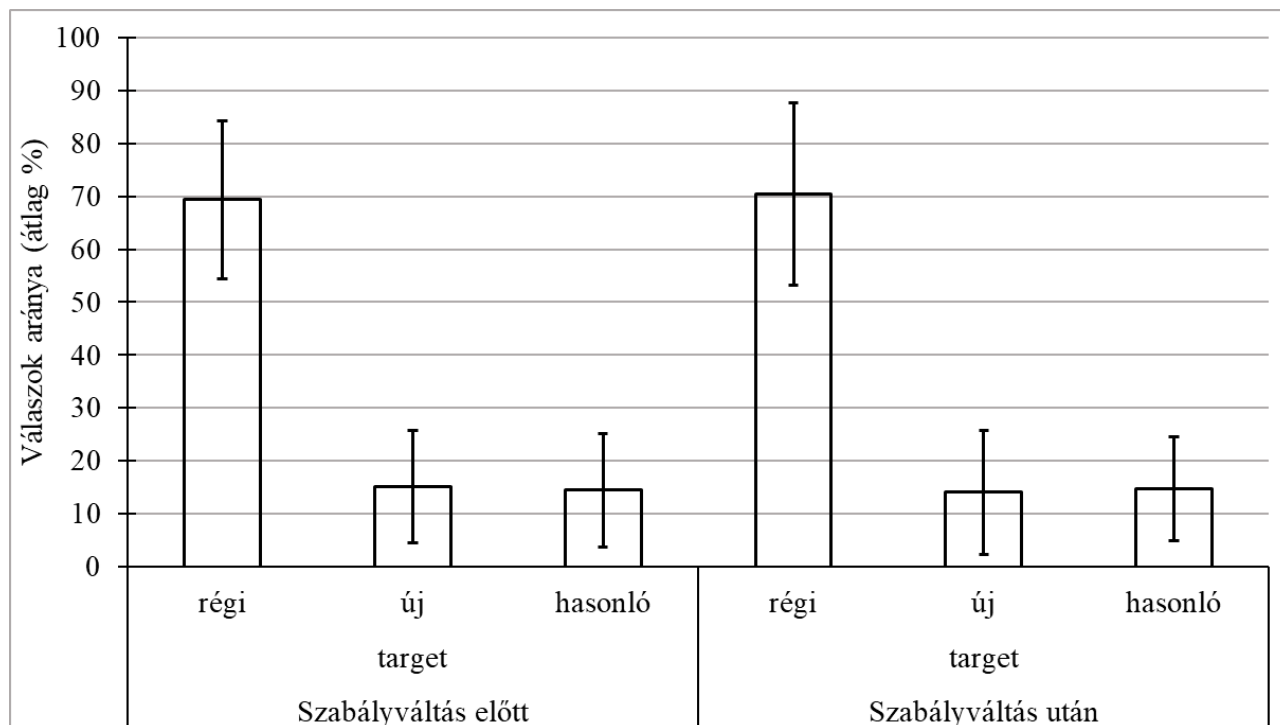
Az ábra az MST feladatban az inger típusokra adott válaszok átlagának arányát mutatja be százalékban kifejezve. Adatok: Target ingerre adott helyes, 'rég' válasz: $M = 70.04$; $SD = 13.59$; Target ingerre adott helytelen, 'új' válasz: $M = 14.60$; $SD = 10.24$; Target ingerre adott helytelen, 'hasonló' válasz: $M = 14.49$; $SD = 7.89$; Lure ingerre adott helytelen, 'rég' válasz: $M = 31.43$; $SD = 13.78$; Lure ingerre adott helytelen, 'új' válasz: $M = 21.21$; $SD = 10.77$; Lure ingerre adott helyes, 'hasonló' válasz: $M = 46.45$; $SD = 17.84$; Foil ingerre adott helytelen, 'rég' válasz: $M = 4.19$; $SD = 5.85$; Foil ingerre adott helyes, 'új' válasz: $M = 84.72$; $SD = 12.07$; Foil ingerre adott helytelen, 'hasonló' válasz: $M = 10.04$; $SD = 7.60$.

Szabályváltás hatása a target és lure ingerek későbbi azonosítására

A szabályváltás előtt és után a target és lure ingerekre adott 'régi', 'új' és 'hasonló' válaszok átlagának százalékos aránya és szórása a 3., illetve a 4. ábrán tekinthetők meg.

Az adatok elemzése során megvizsgáltuk, hogy a szabályváltás előtt és után a target ingerekre adott 'régi', 'új' és 'hasonló' válaszok átlaga eltér-e egymástól. Ennek vizsgálatára repeated measures ANOVA-t alkalmaztunk, melynek elrendezésében egy darab 2 szintű és egy darab 3 szintű összefüggő szempontot hoztunk létre, mely a szabályváltás (előtt és után) és target ingerre adott választípus ('régi', 'új' és 'hasonló') volt. A normalitás feltétele nem teljesült az adatokon, 4 változó értékei nem követték a normális eloszlást. A szfericitás feltétele szintén sérült. Mivel a többszemponos összetartozó mintás varianciaanalízisnek nincs nemparametrikus megfelelője, és az ANOVA alapvetően robusztus a normalitás megsértésére, ezért ezt a módszert használtuk a hipotézisünk szempontjából kritikus szabályváltás (előtt és után) és választípus ('régi', 'új' és 'hasonló') szempontok interakciójának kimutatására (Schmider, Ziegler, Danay, Beyer és Bühner, 2010). Szignifikáns interakció esetén az elemzéseket nemparametrikus elemzésekkel is ellenőrizzük. Ezáltal megbizonyosodhatunk arról, hogy a szignifikáns eltérés nem az ANOVA feltételének megsértése miatt esetlegesen megnövekedő elsőfajú hiba következménye.

A repeated measures ANOVA teszt eredményeit elemezve nem találtunk szignifikáns interakciót a szabályváltás előtti és utáni target ingerre adott 'régi', 'új' és 'hasonló' válaszok között $F(1.42, 73.63) = .25$ $p = .697$. (Greenhouse-Geisser korrekció) A szabályváltás szempontja tekintetében nem volt megfigyelhető szignifikáns főhatás $F(1, 52) = .36$ $p = .554$. A target ingerre adott válaszok szempontja esetében azonban szignifikáns főhatást találtunk. $F(1.48, 76.82) = 304.84$ $p < .001$. A Post Hoc vizsgálatot Bonferroni korrekcióval végeztük el, mely szerint a target ingerre adott 'régi' választípus magasabb értéket vett fel, mint az 'új' ($p < .001$) és a 'hasonló' válaszok értékei ($p < .001$). (3. ábra)



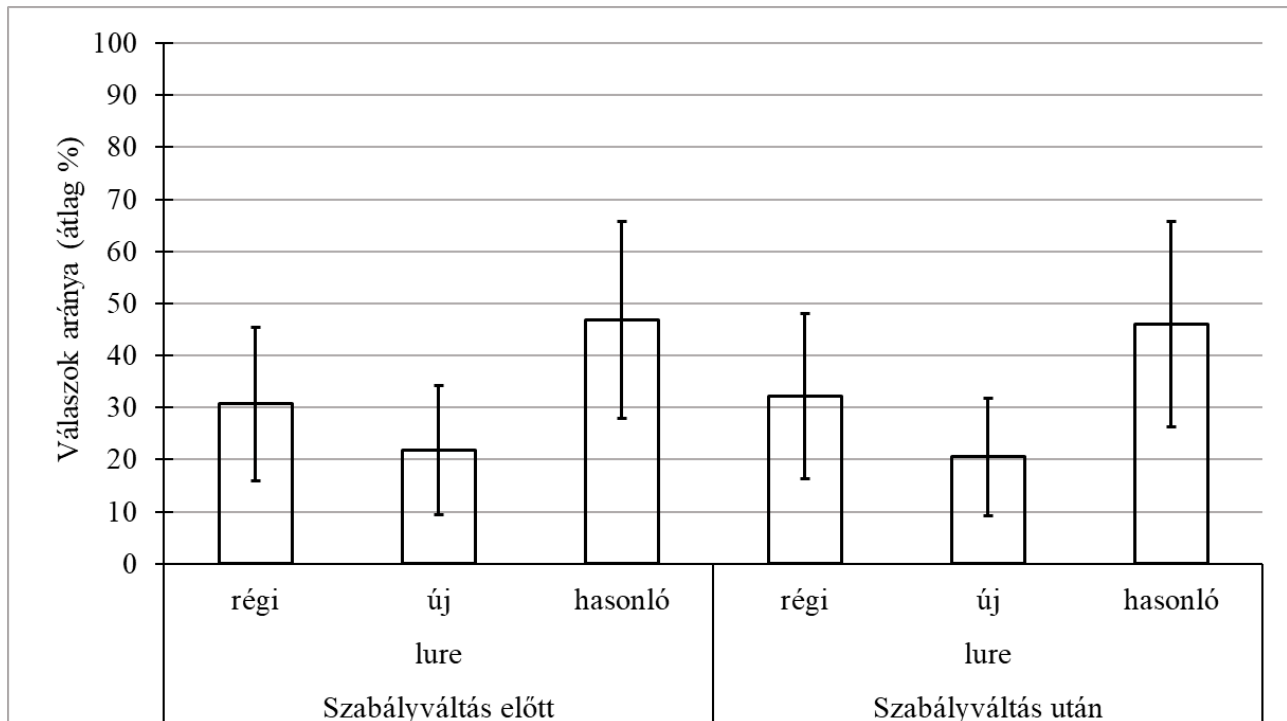
3. ábra

A target ingerre adott válaszok aránya szabályváltás előtt és után

Az ábra a target ingerre adott 'rég', 'új' és 'hasonló' válaszok átlagának arányát mutatja be szabályváltás előtt és után százalékban kifejezve. Adatok: Szabályváltás előtt target ingerre adott 'rég' válasz: $M = 69.34$; $SD = 14.91$; Szabályváltás előtt target ingerre adott 'új' válasz: $M = 15.15$; $SD = 10.56$; Szabályváltás előtt target ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 14.45$; $SD = 10.69$; Szabályváltás után target ingerre adott 'rég' válasz: $M = 70.52$; $SD = 17.23$; Szabályváltás után target ingerre adott 'új' válasz: $M = 14.08$; $SD = 11.76$; Szabályváltás után target ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 14.67$; $SD = 9.83$.

Az adatok elemzése során azt is megvizsgáltuk, hogy a szabályváltás előtt és után a lure ingerre adott 'rég', 'új' és 'hasonló' válaszok átlaga eltér-e egymástól. Ennek vizsgálatára szintén repeated measures ANOVA-t alkalmaztunk, melynek elrendezésében egy darab 2 szintű és egy darab 3 szintű összefüggő szempontot hoztunk létre, amely a szabályváltás (előtt és után) és lure ingerre adott választípus ('rég', 'új' és 'hasonló') volt. A normalitás feltétele egyik változó esetében sem sérült. Az szfericitás feltétele azonban nem teljesült. A repeated measures ANOVA teszt eredményeit elemezve nem találtunk szignifikáns interakciót a szabályváltás előtti és utáni lure ingerre adott 'rég', 'új' és 'hasonló' válaszok között $F(1.69, 87.62) = .47$ $p = .596$ (Greenhouse-Geisser korrekció). A szabályváltás szempontja tekintetében nem volt megfigyelhető szignifikáns főhatás $F(1, 52) = 1.66$ $p = .203$. A lure ingerre adott válaszok szempontja esetében

azonban szignifikáns főhatást találtunk. $F(1.53, 79.50) = 27.57$ $p < .001$ (Greenhouse-Geisser korrekció). A Post Hoc vizsgálatot Bonferroni korrekcióval végeztük el, mely szerint a lure ingerre adott 'hasonló' választípus magasabb értéket vett fel, mint a 'rég' ($p = .002$) és az 'új' válaszok értékei ($p < .001$). A 'rég' választípus értéke magasabb volt, mint az 'új' válasz értéke ($p < .001$). (4. ábra)



4. ábra

A lure ingerre adott válaszok aránya szabályváltás előtt és után

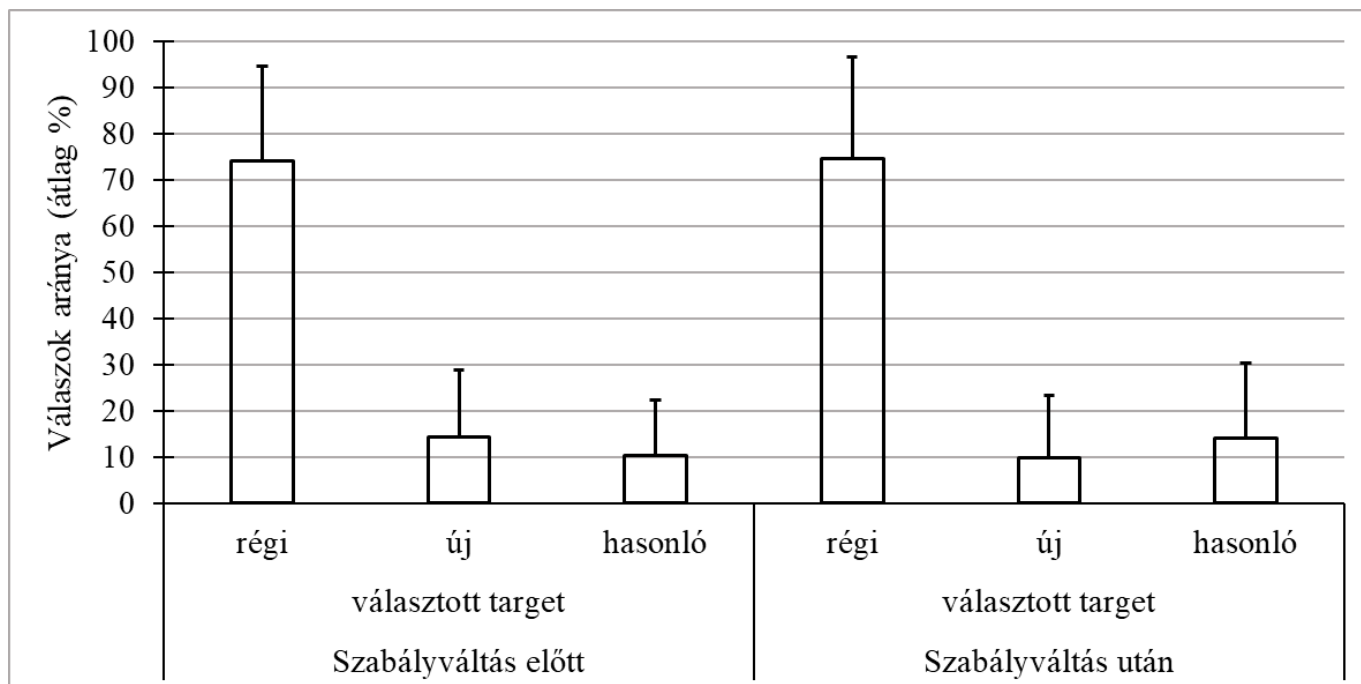
Az ábra a lure ingerre adott 'rég', 'új' és 'hasonló' válaszok átlagának arányát mutatja be szabályváltás előtt és után százalékban kifejezve. Adatok: Szabályváltás előtt lure ingerre adott 'rég' válasz: $M = 30.73$; $SD = 14.76$; Szabályváltás előtt lure ingerre adott 'új' válasz: $M = 21.83$; $SD = 12.41$; Szabályváltás előtt lure ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 46.79$; $SD = 18.97$; Szabályváltás után lure ingerre adott 'rég' válasz: $M = 32.24$; $SD = 15.88$; Szabályváltás után lure ingerre adott 'új' válasz: $M = 20.48$; $SD = 11.29$; Szabályváltás után lure ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 46.00$; $SD = 19.79$.

Választott és nem választott képek külön statisztikai elemzése

Az adatok átfogóbb elemzése során az ingereket két csoportra bontottuk, a jutalomjáték alatt választott és nem választott képekre. Ezen a két csoporton belül megvizsgáltuk, hogy a szabályváltás előtt és után van-e különbség a target és lure ingertípusra adott válaszok arányai

között. Ezen változókhoz tartozó átlagok százalékos aránya és szórása az 5., 6., 7. és 8. ábrán tekinthetők meg.

Először megvizsgáltuk, hogy a szabályváltás előtt és után a választott target ingertípusra adott válaszok átlagai eltérnek-e egymástól. Ennek vizsgálatára repeated measures ANOVA-t alkalmaztunk, melynek elrendezésében egy darab 2 szintű, illetve egy darab 3 szintű összefüggő szempontot hoztunk létre, mely a szabályváltás (előtt és után) és választott target ingerre adott választípus ('régi', 'új' és 'hasonló') volt. A normalitás feltétele nem teljesült, 5 változó értéke eltért a normál eloszlástól. A sphericitás feltétele szintén sérült. A repeated measures ANOVA teszt eredményeinek elemzése nem találtunk szignifikáns interakciót a szabályváltás előtti és utáni választott target ingerre adott válaszok között $F(1.53, 79.65) = 1.30$ $p = .273$ (Greenhouse-Geisser korrekció). A szabályváltás szempontja tekintetében nem volt megfigyelhető szignifikáns főhatás $F(1, 52) = .05$ $p = .825$. A választott target ingerre adott válaszok szempontja esetében azonban szignifikáns főhatást találtunk. $F(1.46, 75.98) = 263.92$ $p < .001$ (Greenhouse-Geisser korrekció). A Post Hoc vizsgálatot Bonferroni korrekcióval végeztük el, mely szerint a választott target ingerre adott 'régi' válasz átlaga magasabb értéket vett fel, mint az 'új' ($p < .001$) és a 'hasonló' válasz átlaga ($p < .001$). (5. ábra)



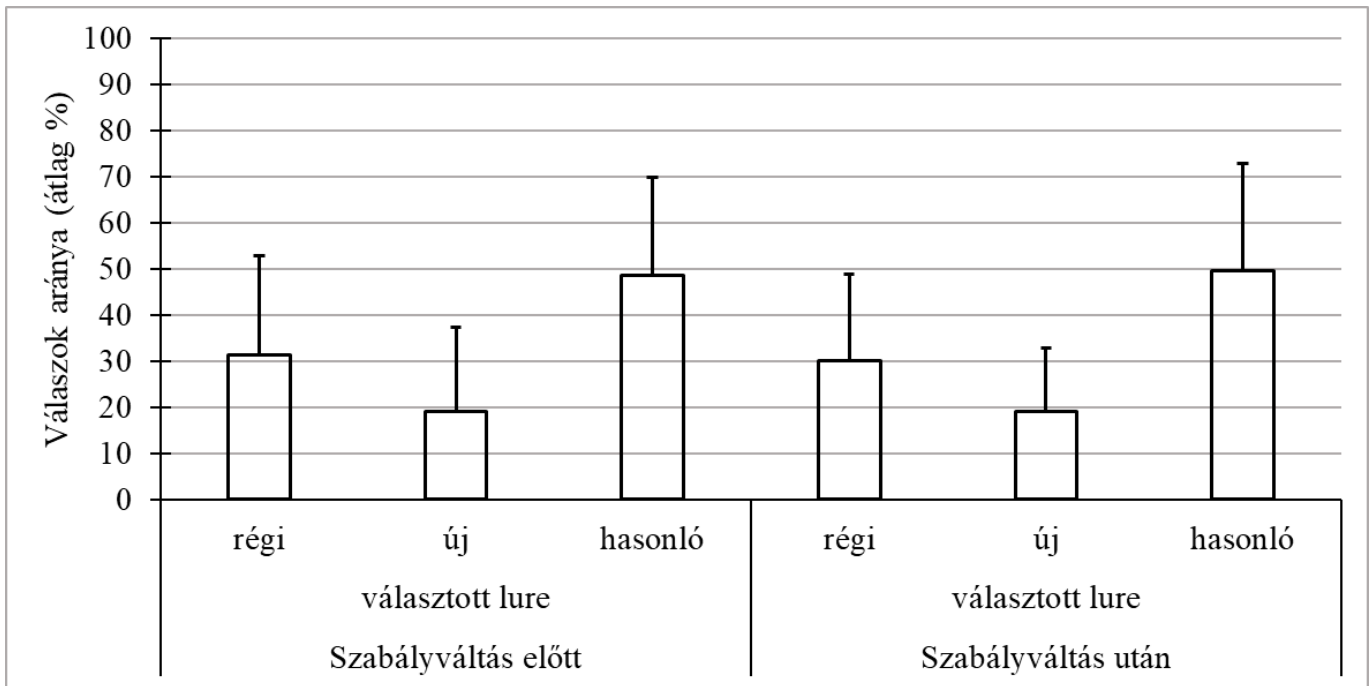
5. ábra

A választott target ingerre adott válaszok aránya szabályváltás előtt és után

Az ábra a választott target ingerre adott 'régi', 'új' és 'hasonló' válaszok átlagának arányát mutatja be szabályváltás előtt és után százalékban kifejezve. Adatok: Szabályváltás előtt választott target ingerre adott 'régi' válasz: $M = 73.98$; $SD = 20.61$; Szabályváltás előtt választott target ingerre adott 'új' válasz: $M = 14.24$; $SD = 14.70$; Szabályváltás előtt választott target ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 10.34$; $SD = 12.07$; Szabályváltás után választott target ingerre adott 'régi' válasz: $M = 74.57$; $SD = 22.07$; Szabályváltás után választott target ingerre adott 'új' válasz: $M = 9.83$; $SD = 13.59$; Szabályváltás után választott target ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 13.98$; $SD = 16.44$.

A következő elemzésben megvizsgáltuk, hogy a szabályváltás előtt és után a választott lure inger típusra adott válaszok átlagai eltérnek-e egymástól. Ennek vizsgálatára ismét repeated measures ANOVA-t alkalmaztunk, melynek elrendezésében egy darab 2 szintű, illetve egy darab 3 szintű összefüggő szempontot hoztunk létre, mely a szabályváltás (előtt és után) és a választott lure ingerre adott választípus ('régi', 'új' és 'hasonló') volt. A normalitás feltétele sérült az adatokon, 5 változó értéke nem követte a normál eloszlást. A sphericitás feltétele csak az összefüggő szempontok interakciója esetében teljesült. A repeated measures ANOVA teszt eredményeinek elemzése során nem találtunk szignifikáns interakciót a szabályváltás előtti és utáni választott lure ingerre adott válaszok között $F(2, 104) = .10$ $p = .903$. A szabályváltás szempontja tekintetében nem volt megfigyelhető szignifikáns főhatás $F(1, 52) = .01$ $p = .915$. A választott lure

ingerre adott válaszok szempontja esetében szignifikáns főhatást találtunk $F(1.71, 89.10) = 30.27$ $p < .001$ (Greenhouse-Geisser korrekció). A Post Hoc vizsgálatot Bonferroni korrekcióval végeztük el, mely szerint a választott lure ingerre adott 'hasonló' válasz átlaga magasabb értéket vett fel, mint a 'régí' ($p = .001$) és az 'új' válasz átlaga ($p < .001$). Továbbá a 'régí' válasz átlaga magasabb volt, mint az 'új' válasz átlaga ($p = .002$). (6. ábra)



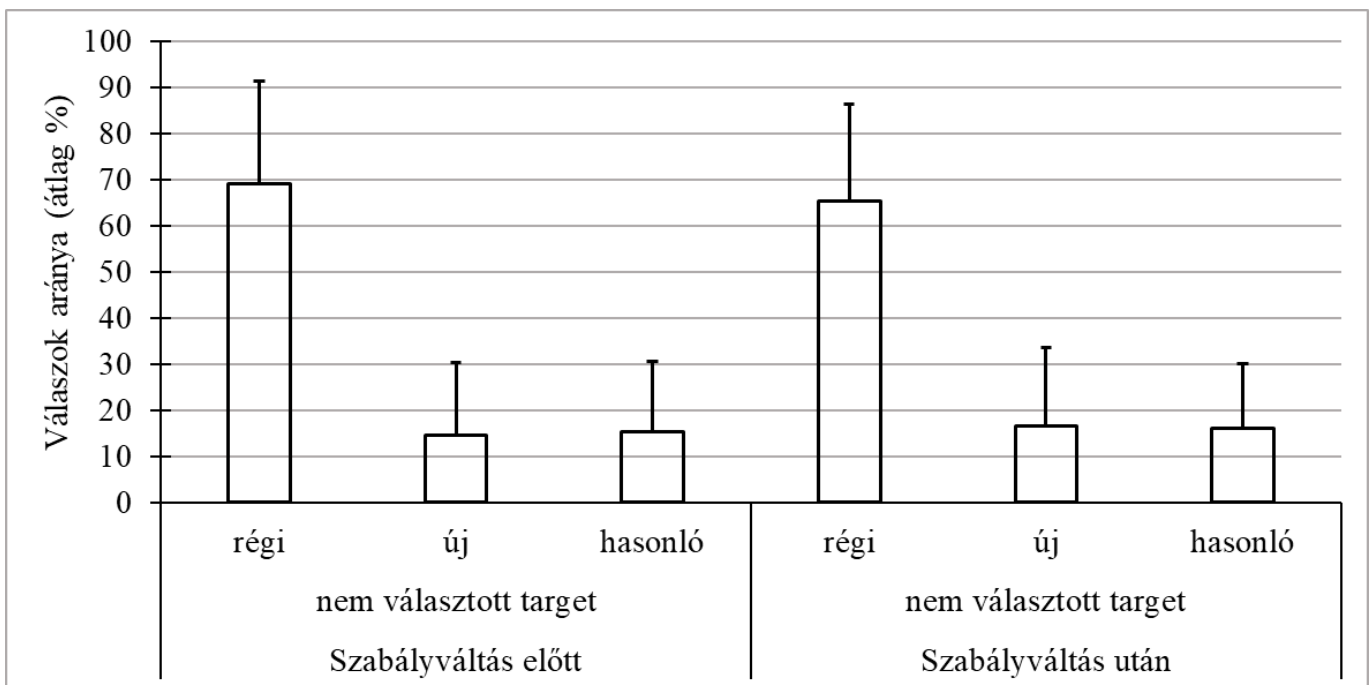
6. ábra

A választott lure ingerre adott válaszok aránya szabályváltás előtt és után

Az ábra a választott lure ingerre adott 'régí', 'új' és 'hasonló' válaszok átlagának arányát mutatja be szabályváltás előtt és után százalékban kifejezve. Adatok: Szabályváltás előtt választott lure ingerre adott 'régí' válasz: $M = 31.30$; $SD = 21.60$; Szabályváltás előtt választott lure ingerre adott 'új' válasz: $M = 19.02$; $SD = 18.28$; Szabályváltás előtt választott lure ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 48.53$; $SD = 21.41$; Szabályváltás után választott lure ingerre adott 'régí' válasz: $M = 30.02$; $SD = 18.85$; Szabályváltás után választott lure adott 'új' válasz: $M = 19.11$; $SD = 13.82$; Szabályváltás után választott lure ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 49.59$; $SD = 23.15$.

Ezt követően megvizsgáltuk, hogy a szabályváltás előtt és után a nem választott target ingertípusra adott válaszok átlagai eltérnek-e egymástól. Ennek vizsgálatára repeated measures ANOVA-t alkalmaztunk, melynek elrendezésében egy darab 2 szintű, illetve egy darab 3 szintű összefüggő szempontot hoztunk létre, mely a szabályváltás (előtt és után) és a nem választott target ingerre adott választípus ('régí', 'új' és 'hasonló') volt. A normalitás feltétele nem teljesült, 5

változó értéke eltért a normál eloszlástól. A szfericitás feltétele szintén sérült. A repeated measures ANOVA teszt eredményeinek elemzése szerint nem találtunk szignifikáns interakciót a szabályváltás előtti és utáni nem választott target ingerre adott válaszok között $F(1.69, 87.81) = .69$ $p = .483$ (Greenhouse-Geisser korrekció). A szabályváltás szempontja tekintetében nem volt megfigyelhető szignifikáns főhatás $F(1, 52) = .83$ $p = .368$. A nem választott target ingerre adott válaszok szempontja esetében azonban szignifikáns főhatást találtunk. $F(1.66, 86.09) = 158.28$ $p < .001$ (Greenhouse-Geisser korrekció) A Post Hoc vizsgálatot Bonferroni korrekcióval végeztük el, mely szerint a nem választott target ingerre adott 'rég' válasz átlaga magasabb értéket vett fel, mint az 'új' ($p < .001$) és a 'hasonló' válasz átlaga ($p < .001$). (7. ábra)



7. ábra

A nem választott target ingerre adott válaszok aránya szabályváltás előtt és után

Az ábra a nem választott target ingerre adott 'rég', 'új' és 'hasonló' válaszok átlagának arányát mutatja be szabályváltás előtt és után százalékban kifejezve. Adatok: Szabályváltás előtt nem választott target ingerre adott 'rég' válasz: $M = 69.02$; $SD = 22.25$; Szabályváltás előtt nem választott target ingerre adott 'új' válasz: $M = 14.60$; $SD = 15.73$; Szabályváltás előtt nem választott target ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 15.30$; $SD = 15.35$; Szabályváltás után nem választott target ingerre adott 'rég' válasz: $M = 65.32$; $SD = 20.93$; Szabályváltás után nem választott target ingerre adott 'új' válasz: $M = 16.66$; $SD = 17.05$; Szabályváltás után nem választott target ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 16.00$; $SD = 14.09$.

Végül megvizsgáltuk, hogy a szabályváltás előtt és után a nem választott lure inger típusra adott válaszok átlagai eltérnek-e egymástól. Ennek vizsgálatára ismét repeated measures ANOVA-t alkalmaztunk, melynek elrendezésében egy darab 2 szintű, illetve egy darab 3 szintű összefüggő szempontot hoztunk létre, melyek a szabályváltás (előtt és után) és a nem választott lure ingerre adott választípus ('régi', 'új' és 'hasonló') volt. A normalitás feltétele sérült, 3 változó értéke nem követte a normál eloszlást. A sphericitás feltétele csak az összefüggő szempontok interakciója esetében teljesült. A repeated measures ANOVA teszt eredményeinek elemzése során szignifikáns interakciót találtunk a szabályváltás előtti és utáni nem választott lure ingerre adott válaszok között $F(2, 104) = 7.03$ $p = .001$ part. $\eta^2 = .119$. A szabályváltás szempontja tekintetében nem volt megfigyelhető szignifikáns főhatás $F(1, 52) = 3.02$ $p = .088$. A nem választott lure ingerre adott válaszok szempontjának elemzésénél szignifikáns főhatást találtunk $F(1.72, 89.62) = 11.28$ $p < .001$ part. $\eta^2 = .178$ (Greenhouse-Geisser korrekció) A Post Hoc vizsgálatot Bonferroni korrekcióval végeztük el, mely szerint a nem választott lure ingerre adott 'új' válasz átlaga alacsonyabb értéket vett fel, mint a 'régi' ($p = .028$) és a 'hasonló' válasz átlaga ($p < .001$).

A szignifikáns interakció elemzése céljából Simple effects tesztelést végeztünk. Először a két szintű szabályváltás szempont (előtt és után) hatását elemeztük a nem választott lure ingerre adott választípus szempont mindhárom szintjén ('régi', 'új', 'hasonló') (tehát külön szabályváltás előtt, illetve után eltér-e a választípusok aránya). Ehhez 2 darab ANOVA elemzést végeztünk el. A familywise error növekedésének valószínűségét Bonferroni korrekcióval kontrolláltuk, az új szignifikancia szint $\alpha = .025$. Ez alapján szabályváltás előtt és után is szignifikáns a vizsgálat. Szabályváltás előtt: $F(2, 51) = 5.57$ $p = .006$; Szabályváltás után: $F(2, 51) = 19.13$ $p < .001$ A Post hoc elemzés szerint a szabályváltás előtt a nem választott lure ingerre adott 'hasonló' válasz átlaga magasabb értéket vett fel, mint a 'régi' ($p = .002$), és az 'új' válaszok átlagai ($p = .005$). Szabályváltás után nem választott lure ingerre adott 'régi' válasz átlaga magasabb volt, mint az 'új' válaszok átlaga ($p < .001$). Továbbá a 'hasonló' válaszok átlaga szintén magasabb értéket vett fel, mint az 'új' válaszok átlaga ($p < .001$). Ezt követően a nem választott lure ingerre adott választípus szempont ('régi', 'új', 'hasonló') hatását elemeztük a szabályváltás szempont két szintjén (előtt és után) (tehát külön-külön, az egyes választípusok átlaga, hogyan változik szabályváltás előtt és után). Ehhez 3 darab ANOVA elemzést végeztünk el. A familywise error növekedésének valószínűségét Bonferroni korrekcióval kontrolláltuk, az új szignifikancia szint $\alpha = .016$. Ez alapján a nem választott lure ingerre adott 'régi' és 'új' válasz esetében szignifikáns a vizsgálat. Nem

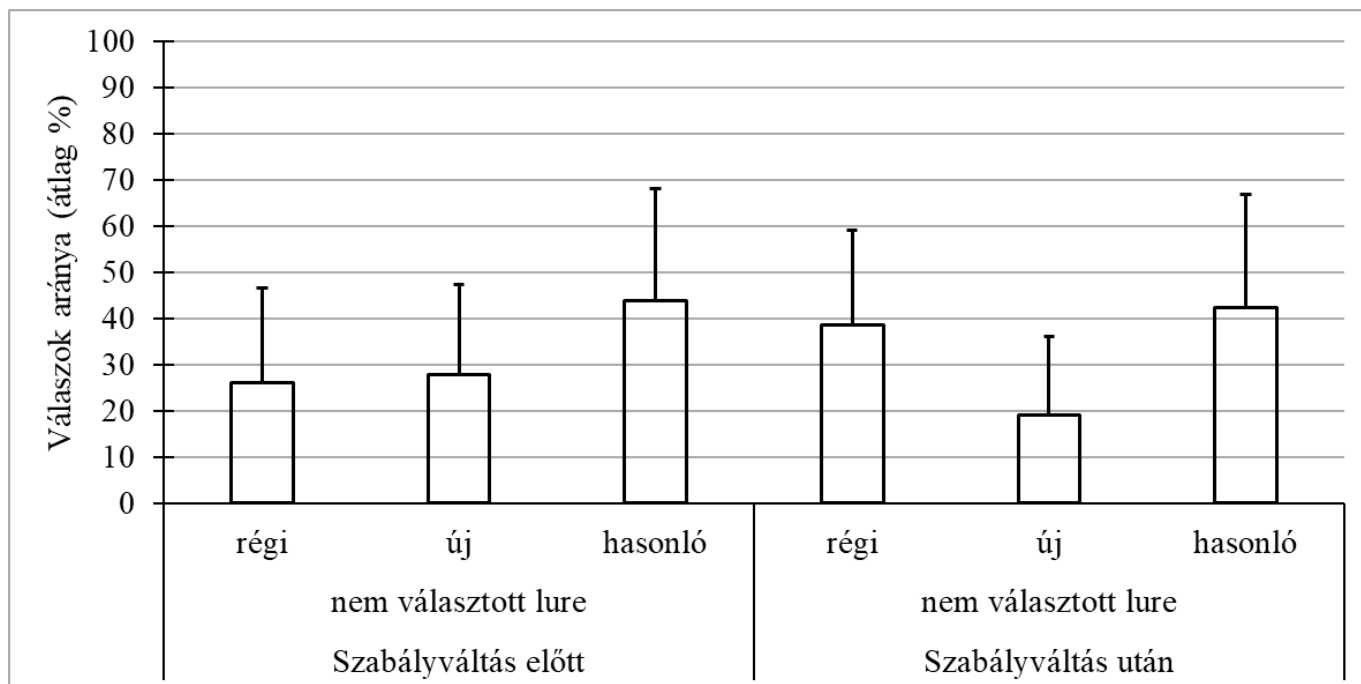
választott lure/régi: $F(1, 52) = 15.53$ $p < .001$; Nem választott lure/új: $F(1, 52) = 8.01$ $p = .007$. A Post hoc elemzés szerint a szabályváltás után a régi válaszok átlagának magasabb az értéke ($p < .001$), míg az új válaszok átlagának alacsonyabb ($p < .001$), mint szabályváltás előtt. (8. ábra)

Mivel a normalitás feltétele nem teljesült minden változó esetében, így a fent kapott szignifikáns interakciót nemparametrikus Wilcoxon előjeles rangteszttel is ellenőriztük. A szabályváltás előtti és utáni nem választott lure ingerre adott választípusok összehasonlításához 3 próbát végeztünk el, így a familywise error valószínűségét Bonferroni korrekcióval kontrolláltuk. Ez alapján az új szignifikancia szint $\alpha = .016$.

Szabályváltás előtt és után szignifikáns különbséget találtunk nem választott lure ingerre adott 'rég' válasz értékei között $T = 302.50$ $Z = -3.66$ $p < .001$. A szabályváltás előtt alacsonyabb volt a 'rég' választípus értéke (Mdn = 25.00), mint szabályváltás után (Mdn = 43.00).

Szabályváltás előtt és után szignifikáns különbséget találtunk nem választott lure ingerre adott 'új' válasz értékei között $T = 345.50$ $Z = -2.82$ $p < .005$. A szabályváltás előtt magasabb volt a 'új' választípus értéke (Mdn = 25.00), mint szabályváltás után (Mdn = 14.00).

Végül szabályváltás előtt és után nem volt kimutatható szignifikáns különbség a nem választott lure ingerre adott 'hasonló' válasz értékei között $T = 676.50$ $Z = -.35$ $p < .730$. A szabályváltás előtt a 'hasonló' választípus értéke közel azonos értéket vett fel (Mdn = 43.00), mint szabályváltás után (Mdn = 38.00).



8. ábra

A nem választott lure ingerre adott válaszok arányai szabályváltás előtt és után

Az ábra a nem választott lure ingerre adott 'régi', 'új' és 'hasonló' válaszok átlagának arányát mutatja be szabályváltás előtt és után százalékban kifejezve. Adatok: Szabályváltás előtt nem választott lure ingerre adott 'régi' válasz: $M = 26.21$; $SD = 20.33$; Szabályváltás előtt nem választott lure ingerre adott 'új' válasz: $M = 27.91$; $SD = 19.49$; Szabályváltás előtt nem választott lure ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 43.74$; $SD = 24.38$; Szabályváltás után nem választott lure ingerre adott 'régi' válasz: $M = 38.53$; $SD = 20.60$; Szabályváltás után nem választott lure adott 'új' válasz: $M = 18.98$; $SD = 17.23$; Szabályváltás után nem választott lure ingerre adott 'hasonló' válasz: $M = 42.40$; $SD = 24.52$.

Diszkusszió

Jelen vizsgálatban a reversal tanulásban megjelenő jutalompredikciós hiba hatását vizsgáltuk a későbbi explicit emlékezeti teljesítményre, azon belül a felismerésre és az emlékezeti diszkriminációra. A vizsgálat első része egy incidentális kódolási fázist és jutalompredikciós feladatot tartalmazott. Ebben a szakaszban a vizsgálati személyeknek képpárokat mutattunk be, melyeken különböző élőlények és tárgyak szerepeltek. A vizsgálati személyeknek el kellett dönteniük, hogy valós méretük alapján melyik a kisebb, illetve a nagyobb. A vizsgálat első szakasza kiegészült egy jutalompredikciós feladattal is, melynek értelmében a kis méretű tárgyak választása esetén a vizsgálati személyeknek 80% esélyük volt a jutalom megszerzésére, míg a nagy méretű tárgyak választása esetén 20%. A vizsgálat során ez a diszkriminációs szabály 6 alkalommal

megfordult. A vizsgálati második, előhívási szakasza egy meglepetésszerű felismerési tesztet tartalmazott, amely által megfigyelhettük a szabályváltás által kiváltott jutalompredikciós hiba hatását az emlékezeti teljesítményre.

A vizsgálat eredményei szerint a target és lure ingerre adott szabályváltás előtti és utáni választípusok aránya között némi eltérés volt megfigyelhető, de ez a különbség nem bizonyult szignifikánsnak. A szabályváltást követően a target ingerre adott helyes, 'régi' válasz átlaga kis mértékben növekedett, míg a helytelen, 'hasonló' válasz átlaga közel azonos értéket vett fel, mint szabályváltás előtt. Továbbá a szabályváltás után a lure ingerre adott helytelen, 'régi' válasz értéke némileg magasabb volt, míg a helyes, 'hasonló' válasz átlaga közel azonos értékkel rendelkezett, mint szabályváltás előtt. Mivel egyik különbség sem lett szignifikáns, ezért az eredményeink azt mutatják, hogy a szabályváltásból fakadó jutalompredikciós hiba és a jutalom megjelenéséhez köthető bizonytalanság nem gyakorolt jelentős hatást a felismerési és a mintázat elkülönítési mechanizmusokra.

A fenti eredményekre magyarázatul szolgálhatnak az általunk alkalmazott módszer sajátosságai. A reversal tanulási paradigmában egy adott diszkriminációs szabály alapján kell két ingert megkülönböztetni egymástól, amit a szabály helyes alkalmazása esetén jutalom követ. Miután kialakult a megfelelő viselkedés a két inger diszkriminációjával kapcsolatban, az alkalmazott szabály megfordul. Ekkor a korábbi szabály szerint megtanult válasz már nem eredményez jutalmat. Ennek következtében a korábban megtanult helyes válaszokat gátolni kell, míg a helyteleneket alkalmazni a jutalom újbóli elnyerése érdekében. A jutalompredikciós hibát a diszkriminációs szabály megfordulása váltja ki. Jelen vizsgálatban ez a szabály a bemutatott két élőlény vagy tárgy valós méretének összehasonlításán alapult. A két válaszlehetőséghez egy magas 80%, illetve egy alacsony, 20% értékű jutalom megszerzési valószínűség társult, amely a szabályváltáskor megcserélődött. Azonban a 80%-20% valószínűségi arány eredményeképp a jutalmat nem lehetett mindig elnyerni annak ellenére, hogy a diszkriminációs szabály szerint a kategória választása helyes volt. 5 alkalomból 1-szer a preferált kategória választása nem járt jutalommal. A szabályváltás pszeudorandom sorrendben volt beállítva, 11, 12 vagy 13 kép bemutatását követően ment végbe. Ennek értelmében szabályváltás előtt és után is egyaránt akár 2 olyan próba is előfordulhatott, amikor a szabályváltás még nem következett be, de a helyes válasz nem volt jutalmazva. Ezek a próbák szintén jutalompredikciós hibát eredményezhettek. Ez alapján

azt feltételezhetjük, hogy a szabályváltáson kívül megjelenő jutalompredikciós hibák is hatást fejtettek ki látott ingerek kódolására, ami befolyásolhatta a későbbi felismerési és emlékezeti diszkriminációs teljesítményt. Ennek következtében a szabályváltás által indukált jutalompredikciós hiba hatása nem tudott megmutatkozni a későbbi előhívási teszt során.

Továbbá az is feltételezhető, hogy a jutalompredikciós hiba előfordulásának gyakorisága folyamatosan módosította a jutalom megjelenéséhez köthető predikció komputációját, ami a jutalompredikciós hiba hatásának csökkenéséhez vezethetett. A vizsgálat nyereséjének során, miután a diszkriminációs szabálynak megfelelően a vizsgálati személy elsajátította a helyes választ, a jutalomra vonatkozó predikciója értelmében biztos annak megjelenésében. Azonban a jutalompredikciós hiba gyakori negatív valenciájú visszajelzése ezt a predikciót időről-időre módosítja, aminek következtében a vizsgálati személy bizonyossága a jutalom megjelenéséről folyamatosan csökken. A jutalom megjelenéséhez köthető bizonytalanság növekedésével az újra és újra kiváltott jutalompredikciós hiba nagysága jelentősen csökkenhet. Ennek következtében a vizsgálat előrehaladtával a jutalompredikciós hiba megjelenése nem gyakorol markáns hatást az ingerek kódolására, aminek eredményeképp a bemutatott ingerekre vonatkozó felismerési és emlékezeti diszkriminációs teljesítmény nem változik a diszkriminációs szabály megfordulását követően.

A kapott eredményekre magyarázatul szolgálhat a kiváltott jutalompredikciós hiba hatásának időbeli hossza is. A vizsgálat során minden trial-ben a visszajelzés, ami a jutalompredikciós hibát kiválthatta, 2000 ms-on keresztül tartott. Ezután 1000 ms szünet következett, ez idő alatt semmi nem volt látható a képernyőn. Ezt követően megkezdődött a következő trial ingerpárjának a bemutatása, mely egyenként 2500 ms-on át tartott, közepük 500 ms szünet volt beiktatva. E felépítés alapján feltételezhető, hogy az általunk indukált jutalompredikciós hiba nemcsak az adott trialben befolyásolhatta visszamenőleg a látott ingerek kódolását, hanem akár a következő trial képpárjának kódolására is hatást gyakorolhatott. Ennek következtében elképzelhető, hogy a diszkriminációs szabályváltás által előidézett jutalompredikciós hiba hatása kettő vagy több trial-re és így több inger kódolására is kiterjedt, melynek eredményeképp a felismerési és emlékezeti diszkriminációs teljesítmény hasonló mértékben változott ezen ingerek esetében.

Végül a kapott eredmények alapján az is feltételezhető, hogy az általunk alkalmazott reversal tanulási paradigmában a diszkriminációs szabály elsajátítása nehezebb volt a vizsgálati személyek számára. Erre a jutalompredikciós feladatban a preferált és nem preferált kategória választásának százalékos arányából következtethetünk, mely a preferált kategória esetén 63.82% volt, a nem preferált kategória esetén pedig 36.18%. Ezen értékek eltérnek a reversal tanulási paradigma értékeinek általános mintázatától. Azon kutatásokban, melyekben szintén ezt a paradigmát alkalmazták azonos jutalom-kontingenciákkal (80% - 20%) a preferált kategória választásának százalékos aránya általában egy 70.00% feletti értéket vett fel, míg a nem preferálté egy 30% alattit (Dickstein et al., 2010 ; Hauser et al., 2015). Ezekben a vizsgálatokban a diszkriminációs szabály gyakran egy egyértelmű döntésen alapul, mint két inger megkülönböztetése a színe vagy az alakja alapján. Az általunk alkalmazott diszkriminációs szabály értelmében a vizsgálati személyeknek a bemutatott két ingert nem a képen látott, hanem a valós méretük alapján kellett differenciálniuk. Ez a feladat egy magasabb szintű kognitív erőfeszítést igényelhetett, melynek eredményeképp nem tudták megfelelően monitorozni a diszkriminációs szabály megfordulását. Ez a jutalompredikciós hiba hatásának csökkenéséhez vezethetett, ami szintén befolyásolhatta az ingerek kódolását és későbbi előhívását.

Az adatok átfogóbb elemzése során az ingereket két csoportra bontottuk, a jutalomjáték alatt választott és nem választott képekre. Ezen a két csoporton belül megvizsgáltuk, hogy a szabályváltás előtt és után van-e különbség a target és lure ingertípusra adott válaszok arányai között. Feltételezésünk szerint a vizsgálat első szakaszában a nyereményjáték során a figyelmi folyamat eltolódhat a választott képek irányába. Ennek hatása lehet ezen ingerek kódolási folyamatának a minőségére, ami javíthatja a későbbi felismerésüket és más ingerektől való megkülönböztetésüket. Jang és munkatársai (2019) kutatásukban a jutalompredikciós hiba hatását vizsgálták az epizodikus kódolási folyamatokra. Az általuk alkalmazott incidentális memória paradigmában először egy jutalomösszeget mutattak be a vizsgálati személynek, majd egy képet. Ezt követően el kellett dönteniük, hogy játszanak a jutalomösszeg elnyeréséért vagy elutasítják a játék lehetőségét. Minden próba végén visszajelzést kaptak a jutalomról. A kutatás egyik eredménye szerint a vizsgálati személyek jobban emlékeztek azokra az ingerekre, melyek esetében a játék lehetőségét választották. A kutatók szerint ennek egyik magyarázata lehet, hogy a választott ingerek esetében a figyelem megnövekedett a jutalom elnyerésének lehetősége miatt.

Vizsgálatunk eredményei szerint a nem választott lure ingerre adott választípusok aránya között különbséget találtunk szabályváltás előtt és után. A szabályváltást követően a 'régi' válaszok átlaga magasabb, míg az 'új' válaszok átlaga alacsonyabb volt, mint szabályváltás előtt. A 'hasonló' választípus értéke közel azonos értéket vett fel mindkét kondícióban.

A lure ingerre adott 'hasonló' válasz a mintázat elkülönítési mechanizmust jelöli, melynek értelmében képesek vagyunk elkülöníteni hasonló emlékezeti reprezentációkat ezzel kiküszöbölve az interferenciát közöttük. A lure ingerre adott 'régi' válasz a mintázat kiegészítési mechanizmusnak feleltethető meg, mely szerint a látott ingert inkább egy korábban létrehozott emlékezeti reprezentációval azonosítjuk. A magasabb arányú mintázat kiegészítés azt jelzi, hogy az adott információ kódolása kevésbé volt elaboratív, melynek következtében a látott lure ingert inkább egy korábban létrehozott emlékezeti reprezentációval azonosítjuk, mint, hogy újként kódoljuk. A mintázat kiegészítési mechanizmus növekedése általában a mintázat elkülönítési mechanizmus csökkenésével jár együtt, azonban a mi eredményeinken ez a mintázat nem volt megfigyelhető (Stark et al., 2013). Szabályváltás után a nem választott lure ingerre adott megnövekedett 'régi' választípus értéke az 'új' választípus csökkenéséből eredt. Ennek értelmében a diszkriminációs szabály megfordulását követően az ingerek előhívása során a tévesztés csökkent, a mintázat kiegészítési mechanizmus alkalmazása megnőtt, a mintázat elkülönítési mechanizmus alkalmazása pedig nem változott. Ezt a szabályváltás okozta eltérést csak a nem választott lure ingerek esetében sikerült kimutatni. A kapott válaszmintázat alapján feltételezhető, hogy jutalomtanulási helyzetben a viselkedéses válasz optimalizálása érdekében a kódolás és a jutalompredikciós hiba feldolgozás együttes végrehajtása magasabb kognitív erőfeszítést igényelhet. Ennek következménye lehet a jutalomjáték során nem választott ingerek csökkent szintű elaboratív kódolása. Ez alapján valószínűsíthető, hogy ezen ingertípus esetében a figyelmi folyamat lecsökkent, ami befolyásolta a kódolási folyamatot és ezáltal a későbbi emlékezeti diszkriminációt.

Ezt az eredményt alapul véve érdemes lehet további vizsgálatokat végezni a témában, hogy feltérképezzük ennek a kirajzolódott válaszmintázatnak a hátterét.

Konklúzió

Kutatásunkban a reversal tanulásban megjelenő jutalompredikciós hiba hatását vizsgáltuk a későbbi explicit emlékezeti teljesítményre, azon belül a felismerésre és az emlékezeti diszkriminációra. Vizsgálatunk eredményei szerint a szabályváltásból fakadó jutalompredikciós hiba és a jutalom megjelenéséhez köthető bizonytalanság nem gyakorolt szignifikáns hatást a felismerési és a mintázat elkülönítési mechanizmusokra. Csak a nyereményjáték során nem választott lure inger típus (a vizsgálat első szakaszában bemutatott ingerhez hasonló, de azzal nem azonos inger) esetében volt megfigyelhető különbség a mintázat kiegészítés mechanizmus alkalmazása tekintetében a szabályváltás előtt és után.

A vizsgálat esetleges korlátjai az alkalmazott eljárási paradigmában figyelhetők meg. A kapott eredmények alapján érdemes lehet módosítani vagy kiegészíteni ezen paradigma egyes részeit. A vizsgálat első szakasza kiegészült egy jutalompredikciós feladattal is, melynek értelmében a kis méretű tárgyak választása esetén a vizsgálati személyeknek 80% esélyük volt a jutalom megszerzésére, míg a nagy méretű tárgyak választása esetén 20%. Az ingerpárokhoz tartozó jutalom megszerzési valószínűségek módosításával esetleg csökkenthető a szabályváltáson kívül megjelenő jutalompredikciós hibák száma, amelyek szintén hatást fejthetnek ki a látott ingerek kódolására, ami befolyásolhatja a későbbi felismerési és emlékezeti diszkriminációs teljesítményt. Továbbá a jutalom-kontingenciák megváltoztatásával és így a szabályváltáson kívüli jutalompredikciós hibák csökkentésével, a jutalom megjelenéséhez kapcsolódó magabiztosság is növelhető. Ezáltal a szabályváltás indukálta jutalompredikciós hiba hatása markánsabb lehet a kódolási folyamatokra és így a későbbi felismerésre és emlékezeti diszkriminációra.

A vizsgálat során az általunk alkalmazott diszkriminációs szabály értelmében a vizsgálati személyeknek a bemutatott két ingert nem a képen látott, hanem a valós méretük alapján kellett differenciálniuk. Feltételezhető, hogy e szabály egyszerűsítésével a két inger egymástól való megkülönböztetése kisebb mértékű kognitív erőfeszítést igényelne. Ez elősegítené a jutalompredikciós feladat szabályváltásainak monitorozását, ami növelné az ebből fakadó jutalompredikciós hiba hatását.

Továbbá az általunk alkalmazott vizsgálatot érdemes lehet kiegészíteni egy késleltetett felismerési teszttel is. Gruber, Ritchey, Wang, Doss és Ranganath (2016) kutatásukban megfigyelték, hogy a tanulást követő késleltetési szakasz miként befolyásolja az epizodikus

emlékezetet, valamint a középagyi ventrális tegmentális area és a hippocampus aktivitását kiugró ingerek esetében. Vizsgálatuk egy jutalomtanulással kiegészített incidentális kódolási szakaszból és egy meglepetésszerű felismerési tesztből épült fel, melyek közé késleltetést iktattak be. A késleltetés alatt fMRI-vel vizsgálták a ventrális tegmentális area és a hippocampus aktivitását és azok interakcióját. Eredményeik szerint a kódolást követően, a késleltetés alatt a ventrális tegmentális area és a hippocampus közötti kapcsolat nagyobb aktivitást mutatott a kiugró ingerek megtartása esetében, melyeket a felismerési teszt során pontosabban elő tudtak hívni. A jutalomtanulás folyamata során az egyes ingereknél megjelenő jutalompredikációs hiba egy kiugró eseménynek tekinthető. A kódolás és előhívás közé beiktatott késleltetés alatt a ventrális tegmentális area és a hippocampus közötti interakciók prioritizálhatják ezeknek a kiugró ingereknek a megtartását, melynek következtében az előhívásuk gyorsabb és pontosabb lehet a későbbiekben.

A kutatást érdemes lehet megismételni a vizsgálat fent leírt módosításaival és kiegészítéseivel. Mindemellett fontos további kutatásokat végezni a témában, hogy feltérképezzük és pontosabb képet kapjunk a jutalompredikációs hiba emlékezeti diszrkiminációra gyakorolt hatásának viselkedésbeli és idegrendszeri hátteréről.

Irodalomjegyzék

- Bray, S., & O'Doherty, J. (2007). Neural coding of reward-prediction error signals during classical conditioning with attractive faces. *Journal of Neurophysiology*, *97*(4), 3036-3045.
- Chase, H. W., Swainson, R., Durham, L., Benham, L., & Cools, R. (2011). Feedback-related negativity codes prediction error but not behavioral adjustment during probabilistic reversal learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(4), 936-946.
- Cook, R. D., & Weisberg, S. (1982). *Residuals and influence in regression*. New York, NY: Chapman and Hall.
- De Groot, A. (1978). *Thought and choice in chess*. Hague, Netherlands: Mouton Publishers.
- De Loof, E., Ergo, K., Naert, L., Janssens, C., Talsma, D., Van Opstal, F., & Verguts, T. (2018). Signed reward prediction errors drive declarative learning. *PLoS One*, *13*(1): e0189212.
- Den Ouden, H. E., Kok, P., & De Lange, F. P. (2012). How prediction errors shape perception, attention, and motivation. *Frontiers in Psychology*, *3*, 548.
- Dickstein, D. P., Finger, E. C., Brotman, M. A., Rich, B. A., Pine, D. S., Blair, J. R., & Leibenluft, E. (2010). Impaired probabilistic reversal learning in youths with mood and anxiety disorders. *Psychological Medicine*, *40*(7), 1089-1100.
- Ergo, K., De Loof, E., & Verguts, T. (2020). Reward prediction error and declarative memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *24*(5), 388-397.
- Fazio, L. K., & Marsh, E. J. (2009). Surprising feedback improves later memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(1), 88-92.
- Friston, K. (2003). Learning and inference in the brain. *Neural Networks*, *16*(9), 1325-1352.
- Ghasemi, A., & Zahedi-Asl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, *10*(2), 486-489.

- Gruber, M. J., Ritchey, M., Wang, S. F., Doss, M. K., & Ranganath, C. (2016). Post-learning hippocampal dynamics promote preferential retention of rewarding events. *Neuron*, 89(5), 1110-1120.
- Hauser, T. U., Iannaccone, R., Walitza, S., Brandeis, D., & Brem, S. (2015). Cognitive flexibility in adolescence: neural and behavioral mechanisms of reward prediction error processing in adaptive decision making during development. *Neuroimage*, 104, 347-354.
- Hoaglin, D. C., & Iglewicz, B. (1987). Fine-tuning some resistant rules for outlier labeling. *Journal of the American Statistical Association*, 82(400), 1147-1149.
- Izquierdo, A., Brigman, J. L., Radke, A. K., Rudebeck, P. H., & Holmes, A. (2017). The neural basis of reversal learning: an updated perspective. *Neuroscience*, 345, 12-26.
- Jang, A. I., Nassar, M. R., Dillon, D. G., & Frank, M. J. (2019). Positive reward prediction errors during decision-making strengthen memory encoding. *Nature Human Behaviour*, 3(7), 719-732.
- Mason, A., Farrell, S., Howard-Jones, P., & Ludwig, C. J. (2017). The role of reward and reward uncertainty in episodic memory. *Journal of Memory and Language*, 96, 62-77.
- Murayama, K., & Kitagami, S. (2014). Consolidation power of extrinsic rewards: reward cues enhance long-term memory for irrelevant past events. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(1), 15-20.
- O'Doherty, J., Dayan, P., Schultz, J., Deichmann, R., Friston, K., & Dolan, R. J. (2004). Dissociable roles of ventral and dorsal striatum in instrumental conditioning. *Science*, 304(5669), 452-454.
- Peirce, J. W. (2007). PsychoPy - psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162(1-2), 8-13.
- Pessiglione, M., Seymour, B., Flandin, G., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2006). Dopamine-dependent prediction errors underpin reward-seeking behaviour in humans. *Nature*, 442(7106), 1042-1045.

- Rouhani, N., Norman, K. A., Niv, Y., & Bornstein, A. M. (2020). Reward prediction errors create event boundaries in memory. *Cognition*, *203*, 104269.
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2010). Is it really robust?. Reinvestigating the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution assumption. *Methodology: European Journal of Research Methods for the Behavioral and Social Sciences*, *6*(4), 2010, 147-151
- Shohamy, D., & Adcock, R. A. (2010). Dopamine and adaptive memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(10), 464-472.
- Stark, S. M., Yassa, M. A., Lacy, J. W., & Stark, C. E. (2013). A task to assess behavioral pattern separation (BPS) in humans: Data from healthy aging and mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, *51*(12), 2442-2449.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Zacks, J. M., & Swallow, K. M. (2007). Event segmentation. *Current Directions in Psychological Science*, *16*(2), 80-84.
- Wittmann, B. C., Schott, B. H., Guderian, S., Frey, J. U., Heinze, H. J., & Düzel, E. (2005). Reward-related FMRI activation of dopaminergic midbrain is associated with enhanced hippocampus-dependent long-term memory formation. *Neuron*, *45*(3), 459-467.
- Yassa, M. A., & Stark, C. E. (2011). Pattern separation in the hippocampus. *Trends in Neurosciences*, *34*(10), 515-525.

Melléklet

1. MST alaperedmények normalitás és szfericitás feltételének ellenőrzése Shapiro-Wilk és Mauchly tesztekkel

Target ingerre adott választípus

Shapiro-Wilk teszt

Std. reziduális hiba	W	df	p
Target – 'régi'	.983	53	.633
Target – 'új'	.938	53	.009
Target – 'hasonló'	.974	53	.290

Lure ingerre adott választípus

Shapiro-Wilk teszt

Std. reziduális hiba	W	df	p
Lure – 'régi'	.965	53	.127
Lure – 'új'	.979	53	.489
Lure – 'hasonló'	.975	53	.315

Mauchly-teszt

	χ^2	df	p
Lure választípus	18.517	2	<.001

Foil ingerre adott választípus

Std. reziduális hiba	W	df	p
Foil – 'régi'	.715	53	<.001
Foil – 'új'	.887	53	<.001
Foil– 'hasonló'	.889	53	<.001

2. Szabályváltás előtt és után a target és lure ingerre adott választípusok normalitás és szfericitás feltételének ellenőrzése Shapiro-Wilk és Mauchly tesztekkel

Szabályváltás előtt és után target ingerre adott választípusok

Shapiro-Wilk teszt

Std. reziduális hiba	W	df	p
Szabályváltás előtt – Target – 'régi'	.966	53	.140
Szabályváltás előtt – Target – 'új'	.950	53	.026
Szabályváltás előtt – Target – 'hasonló'	.929	53	.004
Szabályváltás után – Target – 'régi'	.976	53	.374
Szabályváltás után - Target – 'új'	.914	53	.001
Szabályváltás után – Target – 'hasonló'	.950	53	.028

Mauchly teszt

	χ^2	df	p
Target választípus	22.265	2	<.001
Szabályváltás * Target választípus	27.130	2	<.001

Szabályváltás előtt és után lure ingerre adott választípusok

Shapiro-Wilk teszt

Std. reziduális hiba	W	df	p
Szabályváltás előtt – Lure – 'régí'	.969	53	.187
Szabályváltás előtt – Lure – 'új'	.975	53	.337
Szabályváltás előtt – Lure – 'hasonló'	.976	53	.376
Szabályváltás után – Lure – 'régí'	.958	53	.061
Szabályváltás után Lure – 'új'	.974	53	.310
Szabályváltás után – Lure – 'hasonló'	.969	53	.184

Mauchly teszt

	χ^2	df	p
Lure választípus	18.792	2	<.001
Szabályváltás * Lure választípus	10.555	2	.005

3. Szabályváltás előtt és után a választott és nem választott target és lure ingerre adott választípusok normalitás és sphericitás feltételének ellenőrzése

Szabályváltás előtt és után a választott target ingerre adott választípusok

Shapiro- Wilk teszt

Std. reziduális hiba	W	df	p
Szabályváltás előtt – Választott target – 'régí'	.957	53	.052
Szabályváltás előtt – Választott target – 'új'	.841	53	<.001
Szabályváltás előtt – Választott target – 'hasonló'	.793	53	<.001
Szabályváltás után – Választott target – 'régí'	.907	53	.001
Szabályváltás után- Választott target – 'új'	.747	53	<.001
Szabályváltás után – Választott target – 'hasonló'	.804	53	<.001

Mauchly teszt

	χ^2	df	p
Választott target választípus	23.468	2	<.001
Szabályváltás * Választott target választípus	18.609	2	<.001

Szabályváltás előtt és után a választott lure ingerre adott választípusok

Shapiro-Wilk teszt

Std. reziduális hiba	W	df	p
Szabályváltás előtt – Választott lure – 'régí'	.944	53	.015
Szabályváltás előtt – Választott lure – 'új'	.868	53	<.001
Szabályváltás előtt – Választott lure – 'hasonló'	.949	53	.024
Szabályváltás után – Választott lure – 'régí'	.955	53	.042
Szabályváltás után- Választott lure – 'új'	.921	53	.002
Szabályváltás után – Választott lure – 'hasonló'	.969	53	.179

Mauchly teszt

	χ^2	df	p
Választott lure választípus	9.332	2	.009
Szabályváltás * Választott lure választípus	.578	2	.749

Szabályváltás előtt és után a nem választott target ingerre adott választípusok

Shapiro-Wilk teszt

Std. reziduális hiba	W	df	p
Szabályváltás előtt – Nem választott target – 'régi'	.964	53	.107
Szabályváltás előtt – Nem választott target – 'új'	.836	53	<.001
Szabályváltás előtt – Nem választott target – 'hasonló'	.863	53	<.001
Szabályváltás után – Nem választott target – 'régi'	.939	53	.009
Szabályváltás után – Nem választott target – 'új'	.862	53	<.001
Szabályváltás után – Nem választott target – 'hasonló'	.878	53	<.001

Mauchly teszt

	χ^2	df	p
Nem választott target választípus	11.897	2	.003
Szabályváltás * Nem választott target választípus	10.398	2	.006

Szabályváltás előtt és után a nem választott lure ingerre adott választípusok

Shapiro-Wilk teszt

Std. reziduális hiba	W	df	p
Szabályváltás előtt – Nem választott lure – 'régi'	.931	53	.004
Szabályváltás előtt – Nem választott lure – 'új'	.936	53	.007
Szabályváltás előtt – Nem választott lure – 'hasonló'	.969	53	.180
Szabályváltás után – Nem választott lure – 'régi'	.957	53	.053
Szabályváltás után – Nem választott lure – 'új'	.889	53	<.001
Szabályváltás után – Nem választott lure – 'hasonló'	.971	53	.219

Mauchly teszt

	χ^2	df	p
Nem választott lure választípus	8.921	2	.012
Szabályváltás * Nem választott lure választípus	2.241	2	.326