



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Természettudományi Kar

Pszichológia Doktori Iskola

Manga Annamária Eszter

**A felbontás forradalma a vizuális munkamemória kutatásban:
Betekintés a célvezérelt viselkedésbe a késleltetett becslési feladat
szemüvegén át**

Tézisfüzet

Témavezető: Prof. Vidnyánszky Zoltán

Budapest, 2023

Bevezető

A kognitív folyamatok összehangolása a célvezérelt viselkedés alappillére, melyek közül a munkamemória felelős a viselkedéses válaszokhoz szükséges információ átmeneti mégis aktív fenntartásáért (Baddeley, 1986; Miyake & Shah, 1999). A szükséges információ felöleli a múltat, jelent és jövőt, magába foglalva a korábbi tapasztalatokat, szándékokat, a frissen beérkező ingereket, a mentális műveletek köztes eredményeit, a különböző szabályokat és cselekvési terveket. A munkamemória kritikus szerepet tölt be a legtöbb – ha nem az összes – mentális feladatban, és a működésében kialakult zavar gyakran érhető tetten különböző patológiák esetén (Baddeley & Hitch, 1974; Budson & Price, 2005; Goldman-Rakic, 1992; Grover et al., 2021), sőt, az öregedési folyamat során is (Salthouse et al., 1989). Ezért a munkamemória vizsgálata kiemelten fontos feladat, nem csupán a tudományos kíváncsiság kielégítése céljából, hanem azért is, hogy az esetleges zavara esetén a korai diagnózis és a terápiás lehetőségek mihamarabb feltárára kerüljenek.

A vizuális munkamemória a vizuális információ rövid idejű fenntartásáért és manipulációjáért felelős, és az elmúlt évtized egyik kiemelt kutatási kérdése a vizuális munkamemória tárolási kapacitásának megállapítására fókuszált (Luck & Vogel, 2013; Olivers & Van der Stigchel, 2020). Két irányzat volt uralkodó, melyek közül az egyik azon a feltételezésen alapult, hogy az információ diszkrét egységekben, úgynevezett tömbökben tárolódik. Egyszerre három-négy ilyen tömb tartható fenn a munkamemóriában, mely három-négy objektumnak felel meg, melyek teljes komplexitásukban kerülnek eltárolásra. Amely inger nem fér bele ebbe a limitbe, az egyáltalán nem tárolódik el a vizuális munkamemóriában (Luck & Vogel, 1997, 2013). Az elmélet alátámasztására szolgáló tudományos bizonyítékok elsősorban könnyen megkülönböztethető ingereket alkalmazó, bináris (igen-nem típusú) válaszokat igénylő feladatokból származnak. Ilyen feladat például a változásdetekciós feladat, ahol a vizsgálati személyeknek azt kell megállapítaniuk, hogy egy számítógépes képernyőn egyszerre bemutatott ingerhalmazban (mint például színes négyzetek) történt-e változás a képernyő rövid késleltetés után történő ismételt bemutatását követően (Ma et al., 2014). Annak ellenére, hogy ezen elméletcsalád hosszú ideig uralkodó volt, jogosan merülhet fel a kérdés, hogy a kogníció valóban ilyen mindent vagy semmit elven működik?

A késleltetett becslési feladat egy egyre nagyobb népszerűségnek örvendő munkamemória teszt, mely sokkal precízebben képes felmérni a munkamemória-működést, mint a hagyományos feladatok. A késleltetett becslési feladatban a kísérleti alanyoknak olyan objektumokat kell megjegyezniük, melyek egyszerre több tulajdonsággal bírnak (például van

színük, formájuk, dőlésük, pozíciójuk), majd egy rövid késleltetést követően megbecsülniük a kikérdezett tulajdonságot (például az objektum színét) egy folytonos skálán (például egy színgeréken). Míg a hagyományos felismerési feladat csupán egy igen-nem döntést vár a résztvevőktől (pl. emlékszik vagy nem emlékszik hogy megjelent az objektum a képernyőn), a késleltetett becslési feladat nagy felbontású információval képes szolgálni az alanyok memóriájáról (Bays et al., 2009; Gorgoraptis et al., 2011; Zhang & Luck, 2008). A késleltetett becslési feladat megalkotása (Wilken & Ma, 2004) és annak későbbi ötletes felhasználása (Bays et al., 2009; Zhang & Luck, 2008) az elméletek egy másik, új irányzatának, a forrás-alapú elméletcsaládnak kibontakozását eredményezte. A forrás alapú elmélet úgy tekint a munkamemória-kapacitásra, mint egy limitált, de szabadon felhasználható erőforrásra. Ahogy a megjegyzendő ingerek száma növekszik, lehetőség adódik a forrás további felosztására, ami azonban sok inger esetén egyre kevesebb egy ingerre jutó erőforrást, és így alacsonyabb memóriateljesítményt eredményez. A késleltetett becslési feladat nem csupán az emlékezet magas felbontású vizsgálatára teremtett lehetőséget, de további modelleket és elméleteket is inspirált, melyek a munkamemória zavarának hátterére keresnek magyarázatot. A jelen doktori munka központi témája annak leírása, hogy ez a sokoldalú feladat hogyan vitte közelebb a tudományt a célvezérelt viselkedés jobb megértéséhez.

Az itt bemutatásra kerülő doktori munka elkészítésének három célja volt. Először is, annak bemutatása, hogy a munkamemória az emberi kogníció szerves részét képezi és szoros kapcsolatban áll a figyelemmel, hosszú távú memóriával, és a motivációs rendszerrel. Ezen felfedezés az összetett, több területet lefedő megközelítések fontosságát hangsúlyozza a kognitív kutatások terén. Másodsor, a precíz mérést lehetővé tevő feladatok fontosságának hangsúlyozása a nehezen kimutatható, de mégis jelentős hatású kognitív folyamatok vizsgálata során, és annak bemutatása, hogy ez hogyan aknázható ki a patológiás kognitív változások korai felismerésére és nyomon követésére. Harmadszor pedig, annak demonstrálása, hogy olyan egyszerű eszközökkel mint a motiváció, milyen nagyszerű eredményeket lehet elérni a jobb teljesítmény elérésében. A hagyományos terjedelem, n-back és változásdetektációs tesztekkel ellentétben a késleltetett becslési feladat a memórianyomok minőségéről szolgáltat gazdag információt. A doktori munka kitűzött céljainak eléréséhez a késleltetett becslési feladat ezen kiváló tulajdonsága került kiaknázásra, melyen keresztül értékes bizonyítékok kerültek feltárára a munkamemória működéséről.

I. Tézispont: A felülről vezérelt figyelmi kontroll és a versengő munkamemória reprezentációk közötti interferencia csökkentése szorosan kapcsolódó működések.

Kapcsolódó közlemény:

1. Közlemény: Hermann, P., Weiss, B., Knakker, B., Madurka, P., Manga, A., Nárai, Á., & Vidnyánszky, Z. (2021). Neural basis of distractor resistance during visual working memory maintenance. *NeuroImage*, 245, 118650.

Tekintettel arra, hogy a vizuális munkamemória kapacitása limitált, a bennünket körülvevő határtalan mennyiségű információ hatékony szűrése kiemelt jelentőséggel bír (Chun et al., 2011; Myers et al., 2017). Annak meghatározásában, hogy az ingerek mely része képes reprezentációt nyerni a vizuális munkamemóriában, a figyelem játszhat kulcsszerepet. Ahogyan Desimone és Duncan (1995) kihangsúlyozta a súlyozott versengési modellben, a külvilágból érkező vizuális ingerek versengenek egymással a reprezentációért, és a figyelmi szignálok képesek eme versengés befolyásolására azáltal hogy vagy a száliens vizuális tulajdonságú, vagy pedig a céljaink szempontjából releváns ingereket részesítik előnyben. Míg a stimulus száliencia adatvezérelten hat a rendszerre, a relevancia felülről vezérelt figyelmi sablonok által kerül közvetítésre melyek nagy valószínűséggel a munkamemóriában is érintett agyi területekről származnak. Mint ahogyan a belső reprezentációknak hatalmuk van hogy befolyásolják magát az észlelést, a külső ingerek is képesek befolyásolni azt hogy mely munkamemória reprezentációk kerülnek kiválasztásra azon esetekben, ahol a külső ingerek hasonló vonásokkal bírnak mint a belső vizuális munkamemória reprezentációk. Ennélfogva kijelenthetjük, hogy mind a vizuális észlelés, mind pedig a célvezérelt viselkedés ezen bonyolult, kétirányú moduláció integrációjáért felelős számítások eredményén múlik (Hollingworth et al., 2008; Serences & Yantis, 2006; van Ede et al., 2020). Azonban nem csupán annak a kiválasztása a fontos, hogy mely külső ingerek kerüljenek reprezentálásra; az is kritikus hogy megvédjük a már reprezentációval rendelkező ingereket a zavaró külső ingerektől. A kognícióban tehát kiemelten jelentős szereppel bír azon képességünk hogy ellenálljunk az irreleváns információk zavaró hatásának, melyet a disztraktor-ellenállás és a munkamemória-kapacitás közötti korreláció is alátámaszt (McNab & Dolan, 2014; Postle, 2006; Vogel et al., 2005). A disztraktor-ellenállás különösen nehéz amikor a disztraktorok és a megjegyzendő ingerek közös vizuális tulajdonságokkal bírnak (Mallett et al., 2020; Rademaker et al., 2015). A munkamemóriában való megtartás szempontjából a zavaró külső

ingerek mellett a munkamemória saját tartalma is kihívást jelent, ugyanis a már reprezentált ingerek folyamatosan interferálnak egymással. Azon esetekben amikor a vizuális ingerek egymást követően (és nem egyszerre) kerülnek bemutatásra, a sorban elől lévő elemek zavaró hatást fejtenek ki az utánuk következő elemekre (proaktív interferencia), azonban a későbbi elemek is gyengítik az őket megelőző elemek fenntartását és előhívását (retroaktív interferencia) (Dewar et al., 2007; Keppel & Underwood, 1962). A késleltetett felidézési feladat prototípusának is tekinthető Sternberg feladatban (1966) nagy recencia (jobb teljesítmény a szekvencia utolsó elemére vagy elemeire), és mérsékelt primácia hatás (jobb teljesítmény a szekvencia első elemére vagy elemeire) figyelhető meg (Oberauer, 2003) azon feltételezéshez vezetve, hogy a sorozat korábbi elemei jobban ki vannak téve az interferencia káros hatásának, és hogy a középső elemeket érintettségé a legsúlyosabb.

Összegezvén az idáig említett elméleteket és eredményeket, mind a releváns reprezentációk közötti interferencia, mind pedig az irreleváns ingerek által okozott zavaró hatás leküzdése kritikus szerepet játszik a jó munkamemória-teljesítmény elérésében. Az első számú kutatás (Hermann et al., 2021) kiváló és egyedi lehetőséget nyújtott arra, hogy ezt a kettő, rendszerint külön tárgyalt aspektust együttesen megvizsgálhassuk. Az első kutatás résztvevői elvégeztek egy késleltetett mintázatpárosítási feladatot, mely során arcokat és rácsokat együttesen ábrázoló képeket kellett rövid ideig megjegyezniük. Egy utólagos jelzőinger jelezte, hogy mely dimenziót kell ezek közül fejben tartani, és a fenntartás alatt irreleváns disztraktor képek jelentek meg, melyik vagy megegyeztek, vagy különböztek a megjegyzendő inger kategóriájától. A kongruens és inkongruens disztraktorokra adott idegi válaszok elektroencefalográfia (EEG) és funkcionális mágnesesrezonancia-képalkotás (fMRI) segítségével, két külön mérési alkalom során voltak monitorozva. A résztvevők egy késleltetett becslési feladatot is elvégeztek, mely során egymás után bemutatott színes pálcikák irányát kellett a lehető legpontosabban megjegyezniük és felidézniük. Az eredmények azt mutatták, hogy az irányok felidézésének a pontossága szoros összefüggést mutat a disztraktor-ellenállás viselkedéses mutatójával melyet a késleltetett mintapárosítási feladaton mértünk. Az EEG mérés alatt rögzített viselkedéses disztraktor-ellenállás és a késleltetett becslési feladatban mért pontosság közötti összefüggést a második listaelemre mutatott pontosság vezette. A fMRI mérés során rögzített disztraktor-ellenállás és a késleltetett felidézési feladatban mért pontosság közötti összefüggésben pedig mind az első, mind pedig a második listaelemre mutatott pontosság vezető szereppel bírt. Ezen eredmények összhangban vannak azzal a megfigyeléssel, hogy a szekvenciában korábban szereplő elemek emlékezeti fenntartásához nagyobb erőfeszítés szükséges, hiszen ezen elemek jobban ki vannak téve az interferencia

káros hatásának. Továbbá, az első számú publikáció fontos bizonyítékkal szolgált annak alátámasztására hogy az irreleváns, zavaró ingereknek való ellenállás erősen összefügg a munkamemóriában reprezentációt nyert ingerek egymást zavaró hatásának csökkentését célzó folyamatokkal.

II. Tézispont: A koherens vizuális munkamemória reprezentációk és hosszú távú tárgyi emlékezeti reprezentációk alapjául közös összekapcsolási folyamatok szolgálnak.

Kapcsolódó közlemények:

2. Közlemény: Manga A., Havadi-Nagy M., Székely O., & Vidnyánszky Z. (2021). Demencia prevenció: A korai diagnózistól a személyre szabott intervencióig. *Scientia et Securitas*, 2(2), 207–219.

3. Közlemény: Manga, A., Madurka, P., Vakli, P., Kirwan, C. B., & Vidnyánszky, Z. (2021). Investigation of the relationship between visual feature binding in short- and long-term memory in healthy aging. *Learning & Memory*, 28(4), 109–113.

A nagy felbontású információt szolgáltatató késleltetett becslési feladat hatalmas potenciált hordoz magában a célvezérelt viselkedés igen finom és egyben nehezen mérhető változásainak detektálására, ezáltal nagyszerű lehetőséget jelenthet a kognícióban bekövetkező patológiás folyamatok korai észrevételére. Amíg bizonyos funkciók viszonylagosan épen maradnak, mások – mint például a munkamemória és a hosszú távú epizodikus emlékezet – súlyosan ki vannak téve mind az egészséges, mind pedig a patológiás öregedi folyamat hatásának (Arvanitakis et al., 2019; Hedden & Gabrieli, 2004). A demencia korai detekciója komoly kihívást jelent, ugyanis a háttérben évtizedekig észrevétlenül maradó patológiás változások mellett a kognitív hanyatlás általában a betegség késői szakaszában válik csak észrevehetővé (Firth et al., 2020; Mortamais et al., 2017; Ritchie et al., 2017). Ebből következik, hogy a kezdeti szakaszban kialakuló, nagyon apró és nehezen mérhető biológiai és viselkedéses változások észrevételéhez nélkülözhetetlen a célzott szűrőprogramok és nagy érzékenységet mutató tesztek kifejlesztése. A második számú közlemény (Manga, Havadi-Nagy, et al., 2021) azzal a céllal íródott, hogy egy átfogó, mégis alapos képet adjon a demencia tüneteiről, lefolyásáról és diagnózisáról, különös tekintettel az Alzheimer-kórra. A magyar nyelven íródott hiánypótló mű jellemzi a betegséggel járó idegi változásokat és ezen változások

felmérésének lehetséges módszereit, valamint a biomarker kutatás legújabb fejlesztéseit is bemutatja. Mivel a betegség pontos kiindulópontja tisztázatlan, és a betegség lefolyását radikálisan visszafordító gyógyszer hiányzik, a korai detekció fontossága áll a közlemény fókuszában, erősen hangsúlyozva a prevenció és intervenció jelentőségét. Azonban a korai szűrési módszerek fejlesztéséhez nélkülözhetetlen annak az ismerete, hogy mely kognitív folyamatok mutatják a legnagyobb kitettséget a betegségnek. Ehhez pedig az életkori változások által leginkább érintett funkciók tanulmányozása szükséges, és az asszociatív információ fenntartása ígéretes jelöltnek tűnik erre a célra.

Az objektumokat felépítő dimenziók és értékek sokasága ellenére a tárgyakat mégis egységes, koherens egészként érzékeljük és kezeljük (Fougnie & Alvarez, 2011), ami valamely féle összekapcsolási mechanizmus jelenlétét implikálja (Reynolds & Desimone, 1999). A koherens reprezentációk háttérének megismerése nagyban profitált a késleltetett becslési feladatokból, melyek nagy felbontású információt szolgáltatnak az emlékezetben tárolt ingerekről. Ennek a feladatnak a segítségével például megállapításra került, hogy vizuális munkamemóriában tárolt ingerek felidézésének variabilitásán kívül a random találgatás és az objektumok dimenzióinak téves emlékezeti összekapcsolása felelős a vizuális munkamemóriában való megtartásban bekövetkezett hibák jelentős hányadáért (Bays et al., 2009).

A minket körülvevő ingerek komplexitása azonban nem csupán a munkamemóriát állítja komoly kihívások elé: a hosszú távú epizodikus emlékezet (Tulving, 1972, 2002) szintén összekapcsolt, koherens elemeken alapszik. Az epizodikus emlékek különösen sok aspektust, részletet tartalmaznak melyeket értelmezhető eseménnyé kell formáznia emlékezetünknek (Ekstrom & Yonelinas, 2020; Ranganath, 2010; Rolls, 2013). Mivel a közös részleteken osztozó emlékek hajlamosak interferálni egymással, a sikeres emlékezeti teljesítmény az egyes részletek összekapcsolásán túl az egymással átfedő de mégis külön epizódhoz tartozó elemek szétválasztására is nagy mértékben támaszkodik (O'Reilly & McClelland, 1994; Yassa & Stark, 2011). A korai komputációs elméleteken és állatkísérleteken túl a hippocampus emlékezeti diszkriminációban betöltött kiemelt szerepe az emlékezeti hasonlósági feladat (Bakker et al., 2008; Kirwan & Stark, 2007) segítségével került bizonyításra. A komputációs elméletek szerint a hippocampus nem csupán a különböző események megkülönböztetéséért felel, hanem az egységes, összefüggő esemény reprezentációk kialakításában is elsődleges szerepet játszik azáltal hogy automatikusan összekapcsolja az adott ingerhez tartozó dimenziókat miközben a környezetre figyelünk (Kesner & Rolls, 2015; O'Reilly & Rudy, 2001; Ranganath, 2010). Míg a hippocampus hosszú távú epizodikus emlékezetben betöltött

szerepe jól ismert, egyes felvetések szerint a hippocampusnak és a környező mediális temporális lebenynek a rövid távú emlékezeti reprezentációk létrehozásában is központi szerepe lehet (Gilbert et al., 1998; Jonides et al., 2008; Opitz, 2010). Annak ellenére hogy ennek a vizsgálata nagyban profitálna azon kutatásokból melyek a rövid- és hosszú távú emlékezeti funkciót ugyanazon résztvevőkön mérnék, meglehetősen kevés az olyan kutatás ahol az epizodikus emlékek szétválasztásának képessége és a munkamemória teljesítmény egyaránt felmérése került volna. Néhány közlemény az emlékezeti hasonlósági feladat mellett számterjedelem tesztet is alkalmazott (Bennett et al., 2019; Bennett & Stark, 2016; Venkatesh et al., 2020), azonban faktoranalízis során azt találták hogy az epizodikus emlékezeti diszkrimináció és a munkamemória külön faktorokat erősít. A következtetések elhamarkodott levonása előtt azonban meg kell jegyeznünk, hogy a számterjedelemteszt egy durva mennyiségi becslést ad a munkamemória tartalmáról (Yonelinas, 2013; Zokaei & Husain, 2019). Ezen kívül azt is fontos kiemelnünk, hogy a hosszú távú emlékezeti mintázatszétválasztás és a munkamemóriát támogató összekapcsolási folyamat közötti lehetséges összefüggés korábban nem került vizsgálatra.

A hármas számú kutatás (Manga, Madurka, et al., 2021) ezt az űrt töltötte be azáltal hogy ugyanazon résztvevőkben mérte fel az emlékezeti diszkriminációs képességet és a vizuális munkamemórianyomok minőségét. Az emlékezeti diszkrimináció az emlékezeti hasonlósági feladat (Stark et al., 2013, 2019) segítségével került felmérésre, a vizuális munkamemória teljesítmény vizsgálata pedig a késleltetett becslési feladattal (Gorgoraptis et al., 2011) történt, nagy számú idős felnőtt részvételével. A munkamemória feladaton elkövetett hibázás elemzéséhez komputációs modellezés (Bays et al., 2009; Suchow et al., 2013) került alkalmazásra, lehetővé téve az összekapcsolási információra mutatott emlékezeti teljesítmény becslését. Az eredmények azt mutatták hogy az emlékezeti diszkrimináció összefüggést mutat a koherens vizuális munkamemória reprezentációk létrehozásával idős korban: a diszkriminációs teljesítmény szignifikáns negatív korrelációt mutatott annak a valószínűségével hogy a résztvevők nem a kérdezett inger irányát állítják be a felidézési feladatnál, ami azt jelenti hogy az épen megőrzött képesség hogy különbséget tegyünk a hasonló tárgyakat reprezentáló hosszú távú emlékek között együtt jár a munkamemóriában fellépő összekapcsolási hiba alacsonyabb megjelenési valószínűségével. Nagyon fontos megjegyezni azonban, hogy nem találtunk korrelációt a diszkrimináció és más hibázási paraméterek között, ami kizárja annak a lehetőségét hogy egy általános összefüggés a két feladat között vezette volna a korrelációt.

Mindent összevetve a hármas számú kutatás fontos új tudást szolgáltatott azon vitatott kérdés tisztázásához hogy az epizodikus emlékezet és a munkamemória közös idegi mechanizmusokra támaszkodik-e (Lugtmeijer et al., 2021). Feltételezhetően a sikeres rövid- és hosszú távú emlékezeti teljesítmény háttérében a különböző dimenziók menti tulajdonságok összekapcsolásáért felelős mechanizmus áll, hippocampális eredettel (Cabeza et al., 2002; Fallon et al., 2016; Lee & Jung, 2017; Olsen et al., 2012). Míg annak vizsgálata, hogy az egészséges öregedés milyen hatással van az összekapcsolási információ munkamemóriában történő fenntartására idáig vegyes eredményekkel szolgált, a kutatók egyetértése növekszik azon irányba hogy az egészséges öregedés helyett az összekapcsolási problémák inkább a patológiás öregedi folyamatot tükrözhetik (Schneegans & Bays, 2019; Zokaei & Husain, 2019). A hármas számú kutatás által szolgáltatott új eredmények pedig azt mutatják, hogy a késleltetett becslési feladat egy ígéretes eszköz lehet az öregedéssel összefüggő változások korai felmérésére. Ugyanakkor jogosan vethető fel a kérdés, hogy mi a jelentősége a korai detekciónak, és hogy van-e lehetőség beavatkozásra az egészséges és patológiás öregedési folyamat kognícióra gyakorolt negatív hatása ellen. Annak vizsgálata, hogy a különböző intervenciós módszerek milyen hatással vannak az öregedési folyamatra, nagy múltra tekint vissza (pl., Baltes & Lindenberger, 1988) és egyre növekvő népszerűségnek örvend. Mindazonáltal továbbra is vitatott, hogy a kognitív teljesítmény ténylegesen javítható-e (Brem & Sensi, 2018). Ha azt az alapevet tartjuk szem előtt hogy minden sikeres intervenció alapja a rendszeres és elkötelezett részvétel és kitartás, ésszerű feltételezésnek tűnik hogy a motiváció döntő szereppel bír a tréning programok sikerességében (Brem & Sensi, 2018). Számos kutatás foglalkozott korábban a motiváció idegi háttérének és különböző kognitív folyamatokra mutatott hatásának felmérésével, többek között azon kérdésre keresve a választ hogy az öregedési folyamat során maguk a kognitív funkciók sérülnek, vagy inkább az erőfelfejtésre irányuló belső motiváció mutat csökkenést a jobb teljesítmény elérése érdekében. További kérdés pedig hogy a különböző ösztönzők kiaknázzhatóak-e arra, hogy visszaállítsák a kognitív teljesítményt, sőt, akár ezen túlmenően javítsák is azt.

III. Tézispont: A késleltetett becslési feladatból származtatott modell paraméterek és a reakcióidő érzékeny mutatói a motiváció és munkamemória közötti interakciónak és azt mutatják hogy az ösztönzők motiváló hatása fiatal- és időskorban is jelen van.

Kapcsolódó közlemény:

4. Közlemény: Manga, A., Vakli, P., & Vidnyánszky, Z. (2020). The influence of anticipated monetary incentives on visual working memory performance in healthy younger and older adults. *Scientific Reports*, 10(1), 8817.

A célvezérelt viselkedés alapja hogy minden cselekvésnek van egy eredménye, és nagy tudományos érdeklődés övezi azon kérdés megválaszolását, hogy az elhatározás hogy egy cél elérése érdekében energiát fektessünk be vajon képes-e mérhető javulást előidézni a kognitív teljesítményünkben (Botvinick & Braver, 2015). A széles körben igaznak vélt összefüggéssel szemben hogy a motiváció serkenti a kogníciót, a kapcsolat ezen működések között ennél jóval bonyolultabb. A jutalom vizuális munkamemória teljesítményt növelő hatása fiatal felnőttekben meglehetősen robusztus és könnyen mérhető kevésbé szenzitív, mindent vagy semmit típusú feladatokkal. Egy érdekes kérdés azonban hogy a motiváció és kognitív teljesítmény közötti összefüggés azon esetekben is olyan egyértelműen mérhető-e, amikor akár a motivációban, akár a kognitív teljesítményben funkcióvesztés történik mint például pszichiátriai zavarok vagy az egészséges öregedési folyamat során. A pénzbeli jutalom kognitív teljesítményre gyakorolt hatását idősokban mérő kutatások száma jelentősen kevesebb az összefüggést fiataloknál vizsgáló kutatásokéhoz képest, és az eredményeik is sokkal kevésbé konzisztensek (Braver et al., 2014). Annak ellenére hogy a munkamemóriának kardinális szerepe van a célvezérelt viselkedésben és hogy ki van téve az egészséges öregedési folyamat negatív hatásának, idáig mindösszesen egyetlen kutatás (Thurm et al., 2018) foglalkozott a jutalom munkamemóriára gyakorolt hatásának életkorfüggő vizsgálatával. Összehangban a szakirodalom alapján vártakkal, ezen kutatás is vegyes eredményekkel szolgált: a kutatók egy n-back feladatot alkalmaztak mely meglehetősen kevés információt szolgáltat a munkamemória reprezentációk minőségéről, ami képes elfedni a nehezen detektálható ám mégis jelen lévő különbségeket és összefüggéseket idős és fiatalok között, beleértve a jutalmazásra mutatott érzékenységet.

A négyes számú kutatás (Manga et al., 2020) a motiváció, kogníció és öregedés közötti bonyolult kapcsolatot vizsgálta, hogy ezáltal információt szolgáltatson a jutalmazás és tágabb értelemben véve a motiváció potenciáljáról az öregedési folyamat munkamemória funkcióra gyakorolt káros hatásának az ellensúlyozásában. A vizuális munkamemória teljesítmény felmérésére a késleltetett becslési feladat került alkalmazásra mely nagy felbontású információt szolgáltatott a memória reprezentációk minőségéről és a felidézés során fellépő hibázásról (Gorgoraptis et al., 2011). A kutatás nagy számú fiatal és idős felnőtt részvételével valósult meg, akik pontokat gyűjtöttek a feladatvégzés közben a próbák értékének és a

teljesítményüknek megfelelően. A kutatás eredményei azt mutatták, hogy a nagyobb jutalmat érő próbák csak a fiatal felnőttek esetében eredményeztek jobb vizuális munkamemória teljesítményt amikor a felidézési pontosság – az emléknymok minőségének általános mutatója – került kiértékelésre. Ezzel ellentétben a feladaton előforduló hibázások elemzése (Bays et al., 2009; Suchow et al., 2013) megmutatta, hogy a magasabb jutalom csökkentette a válaszok variabilitását, az összekapcsolási hiba illetve a találgatás valószínűségét – azaz a hibázás mindhárom forrását – mind a fiatal, mind pedig az idős résztvevők csoportjában. Továbbá, a feladaton mért reakcióidők egyértelműen megmutatták hogy az idős résztvevők motiváltak voltak arra hogy minél pontosabban idézzék fel a kérdezett ingerek irányát a magas jutalmat érő próbák során, csak úgy mint a fiatalok. Ez az eredmény pedig felveti annak a lehetőségét, hogy a motiváció-kogníció interakcióban bekövetkező életkori változások a befektetett kognitív erőfeszítés teljesítményjavulással történő konverzióját érintik. Mindent összevetve, ezek az eredmények új és fontos bizonyítékkal szolgáltak arról, hogy a jutalmazás teljesítményt javító hatása még ha csökkent mértékben is, de időskorban is jelen van. Ezzel együtt a jelen kutatás rávilágít a késleltetett becslési feladathoz és komputációs modellezéshez hasonló, magas érzékenységet mutató módszerek szükségességére a célvezérelt viselkedés megismerésében.

Hivatkozások

- Arvanitakis, Z., Shah, R. C., & Bennett, D. A. (2019). Diagnosis and Management of Dementia: Review. *JAMA*, 322(16), 1589. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.4782>
- Baddeley, A. (1986). *Oxford psychology series, No. 11. Working memory*.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pp. 47–89). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Bakker, A., Kirwan, C. B., Miller, M., & Stark, C. E. L. (2008). Pattern Separation in the Human Hippocampal CA3 and Dentate Gyrus. *Science*, 319(5870), Article 5870. <https://doi.org/10.1126/science.1152882>
- Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1988). On the range of cognitive plasticity in old age as a function of experience: 15 years of intervention research. *Behavior Therapy*, 19(3), Article 3. [https://doi.org/10.1016/S0005-7894\(88\)80003-0](https://doi.org/10.1016/S0005-7894(88)80003-0)
- Bays, P. M., Catalao, R. F. G., & Husain, M. (2009). The precision of visual working memory is set by allocation of a shared resource. *Journal of Vision*, 9(10), Article 10. <https://doi.org/10.1167/9.10.7>
- Bennett, I. J., & Stark, C. E. L. (2016). Mnemonic discrimination relates to perforant path integrity: An ultra-high resolution diffusion tensor imaging study. *Neurobiology of Learning and Memory*, 129, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2015.06.014>
- Bennett, I. J., Stark, S. M., & Stark, C. E. L. (2019). Recognition Memory Dysfunction Relates to Hippocampal Subfield Volume: A Study of Cognitively Normal and Mildly Impaired Older Adults. *The Journals of Gerontology: Series B*, 74(7), Article 7. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbx181>

- Botvinick, M., & Braver, T. (2015). Motivation and Cognitive Control: From Behavior to Neural Mechanism. *Annual Review of Psychology*, 66(1), Article 1. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015044>
- Braver, T. S., Krug, M. K., Chiew, K. S., Kool, W., Westbrook, J. A., Clement, N. J., Adcock, R. A., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Carver, C. S., Cools, R., Custers, R., Dickinson, A., Dweck, C. S., Fishbach, A., Gollwitzer, P. M., Hess, T. M., Isaacowitz, D. M., Mather, M., ... Somerville, L. H. (2014). Mechanisms of motivation–cognition interaction: Challenges and opportunities. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 14(2), 443–472. <https://doi.org/10.3758/s13415-014-0300-0>
- Brem, A.-K., & Sensi, S. L. (2018). Towards Combinatorial Approaches for Preserving Cognitive Fitness in Aging. *Trends in Neurosciences*, 41(12), Article 12. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2018.09.009>
- Budson, A. E., & Price, B. H. (2005). Memory Dysfunction. *The New England Journal of Medicine*, 352(7), 692–699.
- Cabeza, R., Dolcos, F., Graham, R., & Nyberg, L. (2002). Similarities and Differences in the Neural Correlates of Episodic Memory Retrieval and Working Memory. *NeuroImage*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1063>
- Chun, M. M., Golomb, J. D., & Turk-Browne, N. B. (2011). A Taxonomy of External and Internal Attention. *Annual Review of Psychology*, 62(1), Article 1. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100427>
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 193–222.
- Dewar, M. T., Cowan, N., & Sala, S. D. (2007). Forgetting Due to Retroactive Interference: A Fusion of Müller and Pilzecker’s (1900) Early Insights into Everyday Forgetting and Recent Research on Anterograde Amnesia. *Cortex*, 43(5), 616–634. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70492-1](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70492-1)
- Ekstrom, A. D., & Yonelinas, A. P. (2020). Precision, binding, and the hippocampus: Precisely what are we talking about? *Neuropsychologia*, 138, 107341. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107341>
- Fallon, S. J., Zokaei, N., & Husain, M. (2016). Causes and consequences of limitations in visual working memory: Limitations in working memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1369(1), 40–54. <https://doi.org/10.1111/nyas.12992>
- Firth, N. C., Primativo, S., Brotherhood, E., Young, A. L., Yong, K. X. X., Crutch, S. J., Alexander, D. C., & Oxtoby, N. P. (2020). Sequences of cognitive decline in typical Alzheimer’s disease and posterior cortical atrophy estimated using a novel event-based model of disease progression. *Alzheimer’s & Dementia*, 16(7), 965–973. <https://doi.org/10.1002/alz.12083>
- Fougnie, D., & Alvarez, G. A. (2011). Object features fail independently in visual working memory: Evidence for a probabilistic feature-store model. *Journal of Vision*, 11(12), 3–3. <https://doi.org/10.1167/11.12.3>
- Gilbert, P. E., Kesner, R. P., & DeCoteau, W. E. (1998). Memory for Spatial Location: Role of the Hippocampus in Mediating Spatial Pattern Separation. *The Journal of Neuroscience*, 18(2), 804–810. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.18-02-00804.1998>
- Goldman-Rakic, P. S. (1992). Working memory and the mind. *Scientific American*, 267(3), 110–117.
- Gorgoraptis, N., Catalao, R. F. G., Bays, P. M., & Husain, M. (2011). Dynamic Updating of Working Memory Resources for Visual Objects. *Journal of Neuroscience*, 31(23), Article 23. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0208-11.2011>
- Grover, S., Nguyen, J. A., & Reinhart, R. M. G. (2021). Synchronizing Brain Rhythms to Improve Cognition. *Annual Review of Medicine*, 72(1), Article 1. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-060619-022857>
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. E. (2004). Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(2), 87–96. <https://doi.org/10.1038/nrn1323>
- Hermann, P., Weiss, B., Knakker, B., Madurka, P., Manga, A., Nárai, Á., & Vidnyánszky, Z. (2021). Neural basis of distractor resistance during visual working memory maintenance. *NeuroImage*, 245, 118650. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118650>

- Hollingworth, A., Richard, A. M., & Luck, S. J. (2008). Understanding the function of visual short-term memory: Transsaccadic memory, object correspondence, and gaze correction. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.1.163>
- Jonides, J., Lewis, R. L., Nee, D. E., Lustig, C. A., Berman, M. G., & Moore, K. S. (2008). The Mind and Brain of Short-Term Memory. *Annual Review of Psychology*, *59*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093615>
- Keppel, G., & Underwood, B. J. (1962). Proactive inhibition in short-term retention of single items. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *1*(3), 153–161. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(62\)80023-1](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(62)80023-1)
- Kesner, R. P., & Rolls, E. T. (2015). A computational theory of hippocampal function, and tests of the theory: New developments. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *48*, 92–147. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.11.009>
- Kirwan, C. B., & Stark, C. E. L. (2007). Overcoming interference: An fMRI investigation of pattern separation in the medial temporal lobe. *Learning & Memory*, *14*(9), Article 9. <https://doi.org/10.1101/lm.663507>
- Lee, J. W., & Jung, M. W. (2017). Separation or binding? Role of the dentate gyrus in hippocampal mnemonic processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *75*, 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.049>
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, *390*(6657), 279–281. <https://doi.org/10.1038/36846>
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (2013). Visual working memory capacity: From psychophysics and neurobiology to individual differences. *Trends in Cognitive Sciences*, *17*(8), 391–400. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.06.006>
- Lugtmeijer, S., Geerligs, L., de Leeuw, F. E., de Haan, E. H. F., Kessels, R. P. C., on behalf of The Visual Brain Group, Smits, A. R., Schmand, B. A., de Haan, E. H. F., de Leeuw, F. E., Luijckx, G. J. A., Scholte, H. S., Spikman, J. M., Kappelle, L. J., Geerligs, L., van Zandvoort, M. J. E., Caan, M. W. A., Raemaekers, M. A. H. L. L., Prokop, M., ... Pinto, Y. (2021). Are visual working memory and episodic memory distinct processes? Insight from stroke patients by lesion-symptom mapping. *Brain Structure and Function*, *226*(6), 1713–1726. <https://doi.org/10.1007/s00429-021-02281-0>
- Ma, W. J., Husain, M., & Bays, P. M. (2014). Changing concepts of working memory. *Nature Neuroscience*, *17*(3), 347–356. <https://doi.org/10.1038/nn.3655>
- Mallett, R., Mummaneni, A., & Lewis-Peacock, J. A. (2020). Distraction biases working memory for faces. *Psychonomic Bulletin & Review*, *27*(2), 350–356. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01707-5>
- Manga A., Havadi-Nagy M., Székely O., & Vidnyánszky Z. (2021). Demencia prevenció: A korai diagnózistól a személyre szabott intervencióig. *Scientia et Securitas*, *2*(2), 207–219. <https://doi.org/10.1556/112.2021.00031>
- Manga, A., Madurka, P., Vakli, P., Kirwan, C. B., & Vidnyánszky, Z. (2021). Investigation of the relationship between visual feature binding in short- and long-term memory in healthy aging. *Learning & Memory*, *28*(4), 109–113. <https://doi.org/10.1101/lm.052548.120>
- Manga, A., Vakli, P., & Vidnyánszky, Z. (2020). The influence of anticipated monetary incentives on visual working memory performance in healthy younger and older adults. *Scientific Reports*, *10*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65723-5>
- McNab, F., & Dolan, R. J. (2014). Dissociating distractor-filtering at encoding and during maintenance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(3), 960–967. <https://doi.org/10.1037/a0036013>
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge University Press.
- Mortamais, M., Ash, J. A., Harrison, J., Kaye, J., Kramer, J., Randolph, C., Pose, C., Albala, B., Ropacki, M., Ritchie, C. W., & Ritchie, K. (2017). Detecting cognitive changes in preclinical Alzheimer’s disease: A review of its feasibility. *Alzheimer’s & Dementia*, *13*(4), 468–492. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2016.06.2365>

- Myers, N. E., Stokes, M. G., & Nobre, A. C. (2017). Prioritizing Information during Working Memory: Beyond Sustained Internal Attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(6), 449–461. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.03.010>
- Oberauer, K. (2003). Understanding serial position curves in short-term recognition and recall. *Journal of Memory and Language*, 49(4), 469–483. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(03\)00080-9](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(03)00080-9)
- Olivers, C. N. L., & Van der Stigchel, S. (2020). Future steps in visual working memory research. *Visual Cognition*, 28(5–8), 325–329. <https://doi.org/10.1080/13506285.2020.1833478>
- Olsen, R. K., Moses, S. N., Riggs, L., & Ryan, J. D. (2012). The hippocampus supports multiple cognitive processes through relational binding and comparison. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00146>
- Opitz, B. (2010). Neural binding mechanisms in learning and memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1036–1046. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.11.001>
- O'Reilly, R. C., & McClelland, J. L. (1994). Hippocampal conjunctive encoding, storage, and recall: Avoiding a trade-off. *Hippocampus*, 4(6), 661–682. <https://doi.org/10.1002/hipo.450040605>
- O'Reilly, R. C., & Rudy, J. W. (2001). Conjunctive representations in learning and memory: Principles of cortical and hippocampal function. *Psychological Review*, 108(2), Article 2.
- Postle, B. R. (2006). Working memory as an emergent property of the mind and brain. *Neuroscience*, 139(1), 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.06.005>
- Rademaker, R. L., Bloem, I. M., De Weerd, P., & Sack, A. T. (2015). The impact of interference on short-term memory for visual orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(6), 1650–1665. <https://doi.org/10.1037/xhp0000110>
- Ranganath, C. (2010). Binding Items and Contexts: The Cognitive Neuroscience of Episodic Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 19(3), 131–137. <https://doi.org/10.1177/0963721410368805>
- Reynolds, J. H., & Desimone, R. (1999). The Role of Neural Mechanisms of Attention in Solving the Binding Problem. *Neuron*, 24(1), 19–29. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80819-3](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80819-3)
- Ritchie, K., Ropacki, M., Albala, B., Harrison, J., Kaye, J., Kramer, J., Randolph, C., & Ritchie, C. W. (2017). Recommended cognitive outcomes in preclinical Alzheimer's disease: Consensus statement from the European Prevention of Alzheimer's Dementia project. *Alzheimer's & Dementia*, 13(2), 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2016.07.154>
- Rolls, E. T. (2013). The mechanisms for pattern completion and pattern separation in the hippocampus. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00074>
- Salthouse, T. A., Mitchell, D. R., Skovronek, E., & Babcock, R. L. (1989). Effects of adult age and working memory on reasoning and spatial abilities. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(3), 507.
- Schneegans, S., & Bays, P. M. (2019). New perspectives on binding in visual working memory. *British Journal of Psychology*, 110(2), 207–244. <https://doi.org/10.1111/bjop.12345>
- Serences, J. T., & Yantis, S. (2006). Selective visual attention and perceptual coherence. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(1), 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.11.008>
- Stark, S. M., Kirwan, C. B., & Stark, C. E. L. (2019). Mnemonic Similarity Task: A Tool for Assessing Hippocampal Integrity. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(11), Article 11. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.08.003>
- Stark, S. M., Yassa, M. A., Lacy, J. W., & Stark, C. E. L. (2013). A task to assess behavioral pattern separation (BPS) in humans: Data from healthy aging and mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, 51(12), Article 12. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.12.014>
- Sternberg, S. (1966). High-Speed Scanning in Human Memory. *Science*, 153(3736), 652–654. <https://doi.org/10.1126/science.153.3736.652>
- Suchow, J. W., Brady, T. F., Fournie, D., & Alvarez, G. A. (2013). Modeling visual working memory with the MemToolbox. *Journal of Vision*, 13(10), 9–9. <https://doi.org/10.1167/13.10.9>
- Thurm, F., Zink, N., & Li, S.-C. (2018). Comparing Effects of Reward Anticipation on Working Memory in Younger and Older Adults. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02318>
- Tulving, E. (1972). 12. Episodic and Semantic Memory. *Organization of Memory/Eds E. Tulving, W. Donaldson, NY: Academic Press*, 381–403.

- Tulving, E. (2002). Episodic Memory: From Mind to Brain. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114>
- van Ede, F., Board, A. G., & Nobre, A. C. (2020). Goal-directed and stimulus-driven selection of internal representations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(39), 24590–24598. <https://doi.org/10.1073/pnas.2013432117>
- Venkatesh, A., Stark, S. M., Stark, C. E. L., & Bennett, I. J. (2020). Age- and memory- related differences in hippocampal gray matter integrity are better captured by NODDI compared to single-tensor diffusion imaging. *Neurobiology of Aging*, 96, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2020.08.004>
- Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438(7067), 500–503. <https://doi.org/10.1038/nature04171>
- Wilken, P., & Ma, W. J. (2004). A detection theory account of change detection. *Journal of Vision*, 4(12), 11. <https://doi.org/10.1167/4.12.11>
- Yassa, M. A., & Stark, C. E. L. (2011). Pattern separation in the hippocampus. *Trends in Neurosciences*, 34(10), 515–525. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2011.06.006>
- Yonelinas, A. P. (2013). The hippocampus supports high-resolution binding in the service of perception, working memory and long-term memory. *Behavioural Brain Research*, 254, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.05.030>
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 453(7192), 233–235. <https://doi.org/10.1038/nature06860>
- Zokaei, N., & Husain, M. (2019). Working Memory in Alzheimer’s Disease and Parkinson’s Disease. In T. Hodgson (Ed.), *Processes of Visuospatial Attention and Working Memory* (Vol. 41, pp. 325–344). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/7854_2019_103