



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Természettudományi Kar

Pszichológia Doktori Iskola

Nagy Boglárka

**A kognitív öregedés folyamatainak és moduláló hatásainak
pszichofiziológiai megközelítése**

Tézisfüzet

Témavezető: Dr. Gaál Zsófia Anna

Budapest, Magyarország, 2025

A disszertációban szereplő tanulmányok

1A tanulmány:

Nagy, B., Czigler, I., File, D., & Gaál, Zs. A. (2020). Can irrelevant but salient visual cues compensate for the age-related decline in cognitive conflict resolution? – An ERP study. *PLoS One*, 15(5), e0233496. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233496>

1B tanulmány:

Gaál, Zs. A., Nagy, B., File, D., & Czigler, I. (2020). Older adults encode task-irrelevant stimuli, but can this side-effect be useful to them? *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 569614. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.569614>

2. tanulmány:

Nagy, B., Kojouharova, P., Protzner, A. B., & Gaál, Zs. A. (2024). Investigating the Effect of Contextual Cueing with Face Stimuli on Electrophysiological Measures in Younger and Older Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 36(5), 776-799. https://doi.org/10.1162/jocn_a_02135

3. tanulmány:

Nagy, B., Protzner, A. B., van der Wijk, G., Wang, H., Cortese, F., Czigler, I., & Gaál, Zs. A. (2022). The modulatory effect of adaptive task-switching training on resting-state neural network dynamics in younger and older adults. *Scientific reports*, 12(1), 9541. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13708-x>

Bevezetés és fő célkitűzések

Idősödő társadalomban élünk, ahol egyre sürgetőbb feladat az idősök fiziológiai, pszichológiai és társadalmi-gazdasági működésének és jóllétének támogatása annak érdekében, hogy a munka és a mindennapok területén aktívabbak és függetlenebbek legyenek, ezáltal biztosítva a jobb életminőséget számukra. Az öregedés egyik központi tényezője a kognitív funkciókban bekövetkező változások, különösen az információ feldolgozásához, szűréséhez és kinyeréséhez kapcsolódóan, amelyeket viselkedéses, pszichofiziológiai és agyi mutatókon keresztül lehet vizsgálni.

A jelen dolgozat fő célkitűzései három fő pillére épültek. Első célunk az volt, hogy megvizsgáljuk azokat a kulcsfontosságú kognitív és idegrendszeri funkciókat, amelyeket az egészséges (nem patológiás) öregedés erőteljesen érint – mint például a kognitív kontroll, a gátlási funkciók (beleértve az olyan specifikus folyamatokat, mint a zavaró információk figyelmen kívül hagyása – perceptuális gátlás, a domináns válaszok elnyomása – válasz gátlás, a kognitív konfliktus feloldása – kognitív gátlás), a figyelmi orientáció és allokáció, valamint az általános neurális információ-feldolgozási kapacitás – annak érdekében, hogy jobban megértsük a kognitív öregedés mögött álló viselkedéses, elektrofiziológiai és agyi mechanizmusokat. Második célunk az volt, hogy feltárjuk azokat a kompenzációs mechanizmusokat, amelyek támogatják az idősebb felnőttek teljesítményét, ideértve az életkorral járó kognitív változások potenciális előnyeit (pl. a lazább szűrés és a fokozott irreleváns inger-feldolgozás), a nagyrészt megőrzött hatékonyságú kognitív funkciókra való fokozott támaszkodást (pl. az ismétlődő vagy szabályszerű inger-elrendezések implicit elsajátítása), valamint az olyan intervenciós módszerek jótékony hatásainak felderítését, mint a kognitív tréning. Emellett harmadik célunk az volt, hogy e hatásokat három különböző szinten vizsgáljuk: (1) az egyes feladathelyzeteken belül, (2) a feladat elsajátításának előrehaladásával, valamint (3) kevésbé feladat-specifikus és inkább belső, intrinszik feldolgozási módokon keresztül. Az életkori kognitív változások detektálására elektroencefalográfiát (EEG) használtunk, két módszertani megközelítést alkalmazva: eseményhez kötött potenciálokat (EKP), amelyek az eseményekhez időzített idegi aktivitás átlagolásából származnak és specifikus kognitív folyamatok korrelátumait adják; valamint neurális dinamizmusok mutatóit, ideértve a többskálájú entrópiát (MSE), amely az agyi jel variabilitását és komplexitását tükrözi, és a spektrális teljesítménysűrűséget (SPD), amely az agyi jel oszcillációs teljesítményét mutatja.

Az **1A és 1B tanulmányok** ugyanazon kísérletből származó különböző adathalmazokat és elemzéseket mutatnak be. Az **1B tanulmányban** azt vizsgáltuk, hogy az idősebb felnőttek a

feladat szempontjából irreleváns, de szálens ingereket (pl. arcokat) nagyobb mértékben dolgozzák-e fel, mint a fiatalabbak, és hogy képesek-e ezeket megfelelően kódolni és később előhívni. Ez a vizsgálat az öregedés gátlási deficit hipotézisének alapszik, amely szerint az életkorral összefüggő csökkent hatékonyságú gátlási kontroll akadályozza az irreleváns információk elnyomását, így azok bejuthatnak és fenntartottak maradhatnak a munkamemóriában, növelve ezzel a figyelem-elterelődést és az interferencia-érzékenységet (Hasher és Zacks, 1988; Hasher és mtsai, 2007). Ugyanakkor korábbi eredmények arra is rávilágítottak, hogy a zavaró ingerek fokozott feldolgozása előnyös lehet az idős számára, mivel támogatja az előzőleg irreleváns ingerek kódolását és későbbi felhasználását (pl. Amer és Hasher, 2014; Biss és mtsai, 2013; Rowe és mtsai, 2006; Weeks és mtsai, 2016).

Az **1A tanulmányban** a gátlási funkciók életkori különbségeit egy módosított Simon-feladattal (inger-válasz konfliktus mérése) vizsgáltuk. Arra kerestük a választ, hogy a nem informatív, de szálens tekintet képes-e irányítani a téri-vizuális figyelmet (mint a Posner-paradigmában; Frischen és mtsai, 2007; Friesen és mtsai, 2005; Posner, 1980; Posner és Cohen, 1984), és befolyásolhatja-e a kognitív konfliktus monitorozását, feldolgozását, valamint a domináns motoros válasz gátlását és a válasz szervezését – különösen az idős korcsoportban. A kísérleti terv és paradigma egyrészt van der Lubbe és Verleger (2002) kutatásán alapult, akik egy Simon-feladaton keresztül tanulmányozták az életkori viselkedéses és elektrofiziológiai különbségeket az inger-válasz konfliktus feldolgozásában, másrészt Cespón és munkatársai (2013) kutatásán, akik egy módosított Simon-feladaton keresztül detektálták a további perceptuális konfliktus bevezetésének hatását különböző korcsoportokban. Mindkét vizsgálat jelentős életkori romlást talált az inger-válasz konfliktus feloldásában, amely a téri-vizuális inger-kiértékelés, a válasz-szelekció és a motoros gátlás hatékonyságának csökkenésében nyilvánult meg.

A **2. tanulmányban** azt kutattuk, hogy az idősebb felnőttek képesek-e elsajátítani és felhasználni a környezeti szabályszerűségeket (kontextuális jelzéseket) teljesítményük javítására, azon a feltételezésen alapulva, hogy a csökkent hatékonyságú kognitív kontroll elősegítheti az inger-vezérelt implicit (statisztikai) tanulást és az irreleváns információk fokozott feldolgozását az öregedés során (Amer és mtsai, 2016; Chrysikou és mtsai, 2014). Egy vizuális keresési feladat segítségével mértük a kontextuális jelzés hatását, tehát a téri-vizuális figyelem irányítását a tárgyak együttjárása, térbeli elrendezése és dinamikája alapján (Chun, 2000). Ezt a hatást viselkedéses, elektrofiziológiai és neurális dinamizmusok mutatóin keresztül vizsgáltuk a kontextuális tanulás progressziója során. Ez a kísérlet egyrészt azokra a korábbi kutatásokra épült, amelyek EEG-vel vizsgálták a kontextuális jelzés hatását (Johnson és mtsai,

2007; Schankin és Schubö, 2009, 2010; Schankin és mtsai, 2011; Zinchenko és mtsai, 2020), másrészt kutatócsoportunk korábbi munkájára (Kojouharova és mtsai, 2023), amely megismételte az eredeti téri kontextuális jelzés paradigmát (Chun és Jiang, 1998), kiterjesztve azt az öregedés és EEG mutatók vizsgálatával. Ebben a kísérletben egy módosított kontextuális jelzés paradigmát alkalmaztunk arcingerek felhasználásával, illetve arra is fókuszáltunk, hogy felderítsük a kontextuális információk reprezentációjának kialakulása mögött álló agyi dinamikákat.

A **3. tanulmányban** az adaptív kognitív tréninget alkalmaztuk, mint intervenciós módszert, tekintettel a korábbi kutatások által detektált nagyszámú bizonyítékra annak pozitív hatásáról a kognitív működés támogatásával és az életkorral járó hanyatlás késleltetésével vagy mérséklésével kapcsolatban (pl. Gates és mtsai, 2011; Kelly és mtsai, 2014; Lustig és mtsai, 2009; Reijnders és mtsai, 2013). Ezen kompenzációs hatások feltételezhetően az idegi és kognitív plaszticitás stimulálásából fakadnak, amely neurális mechanizmus az egészséges öregedés során is fennmarad bizonyos mértékig (Mahncke és mtsai, 2006; Park és Bischof, 2013). A bemutatott tanulmány kutatócsoportunk longitudinális feladatváltási tréning adatbázisára épül, amelynek korábbi elemzései rávilágítottak a tréninggel összefüggő viselkedéses és elektrofiziológiai változásokra a begyakorolt, közeli transzfer és távoli transzfer feladatokban mind a fiatal, mind az idős korcsoportokban (Gaál és Czigler, 2018). Ezek alapján az idősebb felnőttek teljesítménye a tréninget követően a fiatalabbakhoz hasonló szintet érhet el, bár a javulás mértéke a gyakorolt feladathoz való hasonlóságtól és a kognitív funkciók átfedésétől függött. A kognitív tréning elsődleges célja azonban nem csupán a gyakorolt és hozzá hasonló feladatokban elért jobb teljesítmény, hanem a szélesebb körű kognitív és idegi előnyök és optimálisabb működés kiváltása. Ennek érdekében a longitudinális kognitív tréning adatbázisunkból származó nyugalmi EEG-t elemeztük, hogy feltárjuk a tréning általánosabb és feladat-független hatásait az öregedéssel összefüggő agyi változásokra. Ennek vizsgálatához az intrinszik neurális dinamizmusok és az információ-feldolgozási kapacitás mérésére fókuszáltunk az MSE és SPD mutatókon keresztül, amelyek a funkcionális integritás, alkalmazkodóképesség és rugalmasság lehetséges indikátorainak számítanak az idegi jel variabilitásának mérésén keresztül (pl. Deco és mtsai, 2011, 2013; Garrett és mtsai, 2013; McIntosh és mtsai, 2010). Ezt a megközelítést és módszertant azok az egyre inkább felhalmozódó eredmények motiválták, amelyek az agyi dinamizmusokban detektálható, öregedéssel járó eltolódást mutatnak a globálisról a lokális neurális információ-feldolgozási rugalmasság és komplexitás irányába, amely hatással van az idősek kognitív működésére,

tanulási és adaptációs képességeikre (McIntosh és mtsai, 2014, 2019; Wang és mtsai, 2016, 2018).

Tézispontok és főbb eredmények

1. tézispont: A kognitív öregedés gátlási deficit hipotézisét alátámasztja a kevésbé hatékony információ-szűrés a feladat szempontjából irreleváns vizuális ingerek fokozott feldolgozásán és a megnövekedett interferencia-érzékenységen keresztül. Ugyanakkor az idősök nem tudnak előnyt kovácsolni ezekből a hatásokból és a megváltozott kognitív működésből (1A és 1B tanulmányok).

Az 1B tanulmányban életkori különbségeket találtunk a nem figyelt és a feladat szempontjából irreleváns arc ingerek korai vizuális feldolgozásában: az idősebb felnőttek a fiatalabbakhoz képest alacsonyabb P1 és magasabb N170 amplitúdót mutattak, ami fokozott figyelmi költséget és jelentősebb vizuális leterhelést jelez. Az 1A tanulmányban továbbá kimutattuk, hogy életkortól függetlenül az irreleváns arcok nem-informatív tekintetének iránya a célinger felé orientálták a figyelmet (nagyobb N2pc – poszterior kontralaterális N2 – komponens a kongruens tekintet feltételben), és fokozták a helytelen motoros válaszok kezdeti aktivációját az inkongruens Simon-feltételben (nagyobb s-LRP – ingerhez kötött lateralizált készenléti potenciál – pozitív eltérés). Ugyanakkor a tekintet zavaró hatása csak az idősebb felnőttek teljesítményét befolyásolta: reakcióidejük és hibázási arányuk megnövekedett azokban az inkongruens Simon próbákban, ahol az irreleváns tekintet a célinger felé irányult. Ezzel szemben teljesítményük nem javult azokban a próbákban, ahol a tekintet a kongruens Simon célinger felé irányult. Bár az idősök nagyobb mértékben dolgozták fel a feladat szempontjából irreleváns ingereket, ezeket az információkat nem tudták hatékonyan konszolidálni vagy előhívni, amit az alacsonyabb diszkriminációs mutatók és a rekollekcióhoz kapcsolódó ERP komponens (LPC – késői pozitív komponens) hiánya mutatott a régi/új felismerési teszt során. Összességében tehát a feladat-irreleváns ingerek befolyásolják a vizuális és figyelmi feldolgozást, fokozzák az interferenciát a kognitív teljesítményben, ám kompenzációs előnyöket nem biztosítanak az idősebb korcsoport számára.

2. tézispont: A gátlási funkciók további életkori hanyatlást mutatnak a kevésbé hatékony inger-válasz konfliktus feldolgozásán és feloldásán, illetve a motoros válasz szelekcióján, végrehajtásán és a domináns válasz gátlásán keresztül (1A tanulmány).

Az 1A tanulmányban életkori különbségeket azonosítottunk a Simon-feladat kivitelezésének viselkedéses és elektrofiziológiai mutatóiban. Az idősök kevésbé hatékony

inger-válasz konfliktus-feloldást, motoros válasz-szelekciót és gátlást mutattak. Ezeket az életkori hatásokat az időseknél detektált nagyobb Simon-hatás (hosszabb RT az inkongruens Simon próbákban a kongruensekhez képest), a helytelen válaszok (inkongruens próbákban) és a helyes válaszok nagyobb mértékű és késleltetettebb aktivációja, illetve e két s-LRP alfolyamat között eltelt hosszabb idő jelezte a fiatalabbakhoz képest. Emellett a motoros válasz végrehajtásában pedig elhúzódó válasz-előkészítést mutattak az idősek, amit a fiatalokhoz képest korábbi és nagyobb r-LRP – válaszhoz kötött LRP – komponens támasztott alá. A célinger-kiértékelés hatékonysága szintén alacsonyabb volt az időseknél, amit a kisebb amplitúdójú és késleltetett P3b komponens jelzett. Eredményeink arra utalnak, hogy az idősebb felnőtteknek több kognitív erőforrásra van szükségük (amit a magasabb döntési küszöbök is jeleznek), és érzékenyebbek az interferenciára a konfliktushelyzetek feloldása során.

3. tézispont: Az inger-együttjárások implicit elsajátítása és azok vizuális keresést támogató hatása időskorban is fennmarad, de a kontextuális tanulás és jelzés mögött álló idegrendszeri és kognitív mechanizmusok eltérnek a fiatal felnőttekétől (2. tanulmány).

A 2. tanulmányban azt vizsgáltuk, hogy a környezet szabályszerűségei elsajátíthatók-e implicit módon, és ezek az ismétlődő mintázatok támogathatják-e a teljesítményt a fiatalabb és idősebb felnőttek esetében. Egy kontextuális jelzéses feladatot alkalmaztunk ismétlődő (azonos arcok azonos térbeli elrendezésben) és új (véletlenszerű) konfigurációk bemutatásával, ahol a keresési feladat a férfi arc megtalálása volt. Mindkét korcsoport viszonylag gyorsan elsajátította nem figyelt módon ezeket az inger-együttjárásokat, amik segítették a vizuális keresésüket (a fiataloknál 5, az időseknél 10 ismétlés után). Ezt a fiatal és idős csoportban detektált hasonló nagyságú viselkedéses kontextuális jelzés hatás támasztotta alá (reakcióidő-különbség az új és az ismételt próbák között). Az ismételt konfigurációk emellett életkortól függetlenül globálisabb és szelektívebb reprezentációkat, valamint determinisztikusabb információ-feldolgozást generáltak a lokális neurális dinamizmusok szintjén, főként a téri-vizuális és motoros agyi területeken. Ezt a rövid időskálán mért entrópia csökkenése (1–20 ms) és a magasabb frekvenciasávok (13–30 Hz) teljesítményének csökkenése jelezte az ismételt próbák során mindkét korcsoportban. Ugyanakkor a kontextuális tanulás csak a fiatalabbaknál társult hatékonyabb kognitív feldolgozással: az ismételt konfigurációkban megnövekedett az N2pc (figyelmi orientáció a célingerre) és P3b (célinger kiértékelés és inger-válasz összekapcsolás) komponensek amplitúdója az új konfigurációkhoz képest, ami a korai figyelmi lókus fontosságát hangsúlyozza ennél a folyamatnál. Ezzel szemben bár az idősebb felnőtteknél az implicit kontextuális információ sikeresen támogatta a vizuális keresési teljesítményt, ennek

elsajátítási mechanizmusa inkább optimalizált lokális neurális dinamizmusokon alapult, nem pedig hatékonyabb kognitív folyamatokon.

4. tézispont: Az adaptív kognitív tréning hatékony intervenciós módszer az általánosabb és széleskörű előnyök elérésére az életkorral összefüggő nyugalmi (intrinszik) neurális dinamizmusokban bekövetkező változások modulálásán keresztül (3. tanulmány).

A 3. tanulmányban a neurális információ-feldolgozási kapacitás életkor- és tréning-függő változásait vizsgáltuk MSE és SPD módszerek alkalmazásával nyugalmi EEG adatokon, amelyeket egy adaptív feladatváltási tréning protokoll előtt és után rögzítettünk fiatalabb és idősebb felnőttek kontroll és tréning csoportjaiban. A tréning előtti adatok elemzéséből kimutattuk a korábbi vizsgálatokban leírt életkori eltolódást a kiterjedtről a lokális neurális dinamizmusok és feldolgozás felé: az idősebb felnőttek a fiatalabbakhoz képest széleskörű csökkenést mutattak a hosszabb időskálán mért entrópiában (35–50 ms) és az alacsonyabb frekvenciasávok teljesítményében (1–7 Hz), amelyek a kiterjedt neurális hálózatok információ-feldolgozási kapacitásának csökkenésével hozhatók összefüggésbe. Ezzel párhuzamosan széleskörű növekedés volt megfigyelhető a rövidebb időskálán mért entrópiában (1–20 ms) és a magasabb frekvenciasávok (15–30 Hz) teljesítményében, amelyek a lokális neurális feldolgozás megnövekedett kapacitására és komplexitására utalnak. A feladatváltási tréning azonban általános, feladat-független transzfer-hatást váltott ki főként az időseknél az életkorral összefüggő nyugalmi agyi dinamizmusok változásának módosításán keresztül. Az idős-tréning csoportban a tréning hatására megnövekedett a hosszabb időskálákon mért entrópia (20–50 ms) főként középvonali és jobb fronto-centrális területeken, az alacsony frekvenciasávok teljesítménye (3–7 Hz) főként középvonali és a jobb centro-parietális területeken, valamint az alfa frekvenciasáv (8–14 Hz) teljesítménye főként a fronto-centrális régióban. Ezek az eredmények a nagyléptékű agyi kapcsolatok információ-feldolgozási rugalmasságának és neurális adaptivitásának visszanyerését és fokozását jelzik. Emellett kisebb mértékben a rövid időskálán mért entrópia (1–20 ms) szintén növekedést mutatott főként középvonali és bal fronto-centrális területeken az idős-tréning csoportban. Ezzel szemben a fiatal-tréning csoport csak az oszcillációs teljesítményben mutatott változást a tréning hatására (alacsonyabb frekvenciasáv-teljesítmény növekedése), az entrópia mutatókban azonban nem, ami arra utal, hogy az adaptív kognitív tréning nagyobb mértékű és komplexebb hatással van az idősebb felnőttek idegi működésére.

Általános összefoglalás

A jelen disszertációs munka fő célja kettős volt: (1) a kognitív öregedés folyamatának mélyebb megértése részletesebb viselkedéses, elektrofiziológiai és neurális korrelátumok azonosításán keresztül, valamint (2) annak vizsgálata, hogy az életkorral összefüggő megfigyelt kognitív változások előnyé alakíthatók-e, illetve sikeresen kompenzálhatók-e, ezáltal támogatva az idősebb felnőttek viselkedését és funkcionálását.

Számos bizonyítékot találtunk, amelyek megerősítik a kognitív öregedés gátlási deficit hipotézisét (Hasher és Zacks, 1988; Hasher és mtsai, 2007). Az idősek kevésbé voltak képesek hatékonyan figyelmen kívül hagyni a zavaró ingereket, mivel azokat nagyobb mértékben feldolgozták (1B tanulmány). A feladat szempontjából irreleváns információ (a nem-informatív tekintet irányának figyelmi orientáló hatása) erőteljesebben befolyásolta a célinger feldolgozását és a feladat végrehajtását az idősebb felnőtteknél, mivel növelte az interferenciát és a kognitív erőforrásigényt számukra (1A tanulmány). A domináns válaszok gátlásával kapcsolatban az idősek a válasz-szelekció korai szakaszában nagyobb mértékben aktiválták a prepotens motoros válaszokat, és több neurális bizonyítékra volt szükségük a válasz kiválasztásához és végrehajtásához (magasabb válasz küszöb), ami kevésbé hatékony motoros válaszgátlásra utal (1A tanulmány). A kognitív gátlás tekintetében az inger-válasz konfliktus feloldása kevésbé volt hatékony az idősebeknél: lassabb vizuomotoros feldolgozást és célinger-kiértékelést mutattak, döntési küszöbük nagyobb és elhúzódóbb volt, illetve reakcióidejük lassabbnak bizonyult, és mindez fokozódott a konfliktus és az interferencia mértékének növekedésével, amit a nagyobb Simon-hatás is tükrözött (1A tanulmány). Ugyanakkor eredményeink alapján az idősebb felnőttek a fiatalokhoz hasonló mértékben képesek implicit módon elsajátítani a környezet szabályszerűségeit, és ezeket teljesítményük támogatására felhasználni a vizuális keresés során (2. tanulmány). Emellett a nyugalmi agyi dinamizmusok vizsgálatával további bizonyítékot szolgáltatunk az öregedéssel összefüggő eltolódásra a kiterjedt neurális információ-feldolgozási és kommunikációs kapacitásról és komplexitásról a lokális neurális feldolgozás irányába, amely befolyásolhatja az idősek tanulási, kognitív és alkalmazkodó képességeit (3. tanulmány).

Noha az idősebb felnőttek nagyobb mértékben feldolgozták a feladat szempontjából irreleváns ingereket, és ez hatással volt teljesítményükre, ezeket nem tudták megfelelően kódolni és konszolidálni hatékonyan előhívható reprezentációkká (1B tanulmány), ami ellentmond a korábbi pozitív eredményeknek (Amer és Hasher, 2014; Biss és mtsai, 2013; Rowe és mtsai, 2006; Weeks és mtsai, 2016). Lényeges különbség azonban, hogy az említett

vizsgálatokban a zavaró információ valamilyen szinten releváns volt a feladat-végrehajtással kapcsolatban, és bizonyos mértékig feldolgozták a résztvevők a vizsgálat korábbi szakaszában, míg a mi kísérletünkben a résztvevők kifejezetten arra kaptak instrukciót, hogy hagyják figyelmen kívül ezeket a nem releváns ingereket. Ebből következően azt javasoljuk, hogy a zavaró ingerek sikeres konszolidációjához bizonyos fokú előzetes relevancia szükséges annak érdekében, hogy az idősek hatékonyan tudják felhasználni ezeket. A feladat-irreleváns információ teljesítményre gyakorolt hatását illetően azt találtuk, hogy az idősebb felnőtteknél nőtt az interferencia akkor, amikor a nem-informatív tekintet az inger-válasz konfliktust tartalmazó célinger felé irányult (inkongruens Simon-próbákban), de nem találtunk bizonyítékot a serkentő hatásra akkor, amikor a nem-informatív tekintet a konfliktus-mentes célinger felé mutatott (kongruens Simon-próbákban) (1A tanulmány). Összességében tehát a lazább inger-szűrés csak fokozta a vizuomotoros konfliktust és az interferenciát az időseknél, anélkül, hogy teljesítménybeli előnyöket biztosított volna.

A 2. tanulmány eredményei alapján a kontextuális jelzés időskorban is hatékony maradt, azonban a támogató mechanizmusok életkorral összefüggő különbségeket mutattak. Az együttesen megjelenő arcok ismételt bemutatása globálisabban szervezett és specifikusabb neurális reprezentációkat alakított ki az ismétlési elnyomás és neurális élesítési hatásokon keresztül, valamint determinisztikusabb és kevésbé változékony lokális neurális dinamizmust eredményezett mindkét korcsoportban. Ugyanakkor a kognitív feldolgozás hatékonysága csak a fiatalabb felnőtteknél javult az ismételt arc-konfigurációk bemutatása során, amit a fokozott figyelmi orientáció és célinger-kiértékelés mutatott, kiemelve a korai figyelmi lókuszt jelentőségét a kontextuális jelzés mechanizmusában (Goujon és mtsai, 2015; Sisk és mtsai, 2019; Wolfe és Horowitz, 2017). Ez az életkori különbség Sherman és munkatársai (2020) statisztikai tanulási modelljével magyarázható, miszerint a statisztikai tanulás időskorban is hatékony és kimutatható a neurális reprezentációk formálásán keresztül, de a kognitív facilitáció és időben kiterjedt hatékony integráció elsősorban a fiatalabb felnőtteknél érvényesül.

Emellett a 3. tanulmányban új és jelentős bizonyítékokat találtunk az (adaptív) kognitív tréning feladat-független, általános hatékonyságára az életkorral összefüggő kognitív és neurális változások kompenzálására a nyugalmi agyi dinamizmusok elemzésével. Kimutattuk, hogy a kognitív tréninggel módosítható az öregedéssel járó eltolódás a globálisról a lokális neurális információ-feldolgozás felé, és bizonyos mértékig visszaállítható a kiterjedt agyi hálózatok neurális rugalmassága, komplexitása és információ-feldolgozási kapacitása. Emellett a tréning hatására detektálható volt időseknél egy feladat-specifikusabb kompenzációs elem is

a kognitív rugalmassághoz és feladat-váltáshoz kapcsolódóan, amelyet a specifikusan érintett (bal és középilonali fronto-centrális) agyi területek megnövekedett lokális neurális komplexitása támasztott alá (Armbruster és mtsai, 2012, 2016). Fontos kiemelni, hogy ezek a tréninghez köthető változások kifejezetten az idősebb korcsoportban jelentek meg, míg a fiataloknál kisebb mértékű és kevésbé komplex javulás volt tapasztalható a neurális feldolgozási kapacitásban. Ez az eredmény alátámasztja a kognitív tréning kompenzációs elméletét (Lövdén és mtsai, 2012), amely szerint az idősebb felnőttekben nagyobb fejlődési kapacitás rejlik, ami komplexebb és kiterjedtebb neurális és kognitív változásokban tükröződik.

Összefoglalva, a jelen disszertáció részletesebb képet adott a kognitív öregedési folyamatról, illetve, hogy miképp hasznosíthatók az öregedéssel összefüggő kognitív és neurális változások az idősek mindennapi teljesítményének és funkcionálásának támogatására. Eredményeink jelentős és szerteágazó bizonyítékokat szolgáltatottak az (egészséges) öregedéssel járó kognitív és neurális profil változásairól. (1) Megerősítettük az öregedés gátlási deficit hipotézisét az időseknél fokozott disztraktibilitás, illetve a kevésbé hatékony domináns válaszgátlás és inger-válasz konfliktus-feloldás kimutatásával, (2) kiemeltük az implicit tanulás megőrzött kapacitását, valamint (3) bemutattuk az intrinszik neurális feldolgozás változásait, amelyek a kiterjedt agyi hálózati információ-feldolgozástól a lokális neurális kapacitás és komplexitás felé való eltolódást tükrözik. A kognitív öregedés vizsgált moduláló tényezői közül (1) a kontextuális jelzés hatékonyan alkalmazható a vizuális keresési teljesítmény támogatására idősebb felnőtteknél is, és (2) az adaptív kognitív tréning alkalmas arra, hogy kiterjedt és feladat-független módon kompenzálja a kognitív öregedést az életkorral járó neurális dinamizmusok változásainak módosításán (és bizonyos mértékű visszafordításán) keresztül, azonban (3) bár az idősebb felnőttek nagyobb mértékben feldolgozták a feladat-irreleváns ingereket, azokat nem tudták hatékonyan eltárolni és előnyösen felhasználni a feladat-végrehajtás során. Ezek az eredmények és következtetések hangsúlyozzák a célzott intervenciók potenciális alkalmazását a kognitív reziliencia fokozására, valamint a függetlenebb, adaptívabb és sikerebb öregedés elősegítésére.

Hivatkozáslista

- Amer, T., & Hasher, L. (2014). Conceptual processing of distractors by older but not younger adults. *Psychological Science*, 25(12), 2252–2258. <https://doi.org/10.1177/0956797614555725>
- Armbruster, D. J., Ueltzhöffer, K., Basten, U., & Fiebach, C. J. (2012). Prefrontal cortical mechanisms underlying individual differences in cognitive flexibility and stability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(12), 2385–2399. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00286
- Armbruster-Genç, D. J., Ueltzhöffer, K., & Fiebach, C. J. (2016). Brain signal variability differentially affects cognitive flexibility and cognitive stability. *Journal of Neuroscience*, 36(14), 3978–3987. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2517-14.2016>
- Biss, R. K., Ngo, K. J., Hasher, L., Campbell, K. L., & Rowe, G. (2013). Distraction can reduce age-related forgetting. *Psychological Science*, 24(4), 448–455. <https://doi.org/10.1177/0956797612457386>
- Chrysikou, E. G., Weber, M. J., & Thompson-Schill, S. L. (2014). A matched filter hypothesis for cognitive control. *Neuropsychologia*, 62, 341–355. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.10.021>
- Cespón, J., Galdo-Álvarez, S., & Díaz, F. (2013). Age-related changes in ERP correlates of visuospatial and motor processes. *Psychophysiology*, 50(8), 743–757. <https://doi.org/10.1111/psyp.12063>
- Chun, M. M. (2000). Contextual cueing of visual attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(5), 170–178. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01476-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01476-5)
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1998). Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 36(1), 28–71. <https://doi.org/10.1006/cogp.1998.0681>
- Deco, G., Jirsa, V. K., & McIntosh, A. R. (2011). Emerging concepts for the dynamical organization of resting-state activity in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(1), 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrn2961>
- Deco, G., Jirsa, V. K., & McIntosh, A. R. (2013). Resting brains never rest: computational insights into potential cognitive architectures. *Trends in Neurosciences*, 36(5), 268–274. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.03.001>
- Friesen, C. K., Moore, C., & Kingstone, A. (2005). Does gaze direction really trigger a reflexive shift of spatial attention? *Brain and Cognition*, 57(1), 66–69. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.08.025>

- Frischen, A., Bayliss, A. P., & Tipper, S. P. (2007). Gaze cueing of attention: Visual attention, social cognition, and individual differences. *Psychological Bulletin*, *133*(4), 694–724. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.694>
- Gaál, Zs. A., & Czigler, I. (2018). Task-switching training and transfer. *Journal of Psychophysiology*, *32*(3), 106–130. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000189>
- Garrett, D. D., Samanez-Larkin, G. R., MacDonald, S. W., Lindenberger, U., McIntosh, A. R., & Grady, C. L. (2013). Moment-to-moment brain signal variability: A next frontier in human brain mapping? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *37*(4), 610–624. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.02.015>
- Gates, N. J., Sachdev, P. S., Singh, M. A. F., & Valenzuela, M. (2011). Cognitive and memory training in adults at risk of dementia: A systematic review. *BMC Geriatrics*, *11*(1), 55. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-11-55>
- Goujon, A., Didierjean, A., & Thorpe, S. (2015). Investigating implicit statistical learning mechanisms through contextual cueing. *Trends in Cognitive Sciences*, *19*(9), 524–533. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.07.009>
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 22, pp. 193–225). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60041-9](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60041-9)
- Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. T. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, & J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 227–249). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195168648.003.0009>
- Johnson, J. S., Woodman, G. F., Braun, E., & Luck, S. J. (2007). Implicit memory influences the allocation of attention in visual cortex. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*, 834–839. <https://doi.org/10.3758/bf03194108>
- Kelly, M. E., et al. (2014). The impact of cognitive training and mental stimulation on cognitive and everyday functioning of healthy older adults: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, *15*, 28–43. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2014.02.004>
- Kojouharova, P., Nagy, B., Czigler, I., & Gaál, Z. A. (2023). Mechanisms of spatial contextual cueing in younger and older adults. *Psychophysiology*, *60*(11), e14361. <https://doi.org/10.1111/psyp.14361>

- Lövdén, M., Brehmer, Y., Li, S. C., & Lindenberger, U. (2012). Training-induced compensation versus magnification of individual differences in memory performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 141. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00141>
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., & Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: A review and future directions. *Neuropsychology Review*, *19*(4), 504–522. <https://doi.org/10.1007/s11065-009-9119-9>
- Mahncke, H. W., Bronstone, A., & Merzenich, M. M. (2006). Brain plasticity and functional losses in the aged: Scientific bases for a novel intervention. *Progress in Brain Research*, *157*, 81–109. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)57006-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)57006-2)
- McIntosh, A. R. (2019). Neurocognitive aging and brain signal complexity. In *Oxford Research Encyclopedia of Psychology*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190236557.013.386>
- McIntosh, A. R., Kovacevic, N., Lippe, S., Garrett, D., Grady, C., & Jirsa, V. (2010). The development of a noisy brain. *Archives Italiennes de Biologie*, *148*(3), 323–337.
- McIntosh, A. R., Vakorin, V., Kovacevic, N., Wang, H., Diaconescu, A., & Protzner, A. B. (2014). Spatiotemporal dependency of age-related changes in brain signal variability. *Cerebral Cortex*, *24*(7), 1806–1817. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht030>
- Park, D. C., & Bischof, G. N. (2013). The aging mind: Neuroplasticity in response to cognitive training. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *15*(1), 109–119. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2013.15.1/dpark>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*(1), 3–25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In *Attention and Performance X: Control of Language Processes* (Vol. 32, pp. 531–556).
- Reijnders, J., van Heugten, C., & van Boxtel, M. (2013). Cognitive interventions in healthy older adults and people with mild cognitive impairment: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, *12*(1), 263–275. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.07.003>
- Rowe, G., Valderrama, S., Hasher, L., & Lenartowicz, A. (2006). Attentional dysregulation: A benefit for implicit memory. *Psychology and Aging*, *21*(4), 826. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.4.826>
- Schankin, A., & Schubö, A. (2009). Cognitive processes facilitated by contextual cueing: Evidence from event-related brain potentials. *Psychophysiology*, *46*, 668–679. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00807.x>
- Schankin, A., & Schubö, A. (2010). Contextual cueing effects despite spatially cued target locations. *Psychophysiology*, *47*, 717–727. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.00979.x>

- Schankin, A., Hagemann, D., & Schubö, A. (2011). Is contextual cueing more than the guidance of visual-spatial attention? *Biological Psychology, 87*, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.02.003>
- Sherman, B. E., Graves, K. N., & Turk-Browne, N. B. (2020). The prevalence and importance of statistical learning in human cognition and behavior. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 32*, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.01.015>
- Sisk, C. A., Remington, R. W., & Jiang, Y. V. (2019). Mechanisms of contextual cueing: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics, 81*, 2571–2589. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01832-2>
- Van der Lubbe, R. H. J., & Verleger, R. (2002). Aging and the Simon task. *Psychophysiology, 39*(1), 100–110. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3910100>
- Wang, H., McIntosh, A. R., Kovacevic, N., Karachalios, M., & Protzner, A. B. (2016). Age-related multiscale changes in brain-signal variability in pre-task versus post-task resting-state EEG. *Journal of Cognitive Neuroscience, 28*(7), 971–984. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00947
- Wang, H., Pexman, P. M., Turner, G., Cortese, F., & Protzner, A. B. (2018). The relation between Scrabble expertise and brain aging as measured with EEG brain-signal variability. *Neurobiology of Aging, 69*, 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2018.05.015>
- Weeks, J. C., Biss, R. K., Murphy, K. J., & Hasher, L. (2016). Face-name learning in older adults: A benefit of hyper-binding. *Psychonomic Bulletin & Review, 23*, 1559–1565. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1003-z>
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour, 1*, 0058. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0058>
- Zinchenko, A., Conci, M., Töllner, T., Müller, H. J., & Geyer, T. (2020). Automatic guidance (and misguidance) of visuospatial attention by acquired scene memory: Evidence from an N1pc polarity reversal. *Psychological Science, 31*, 1531–1543. <https://doi.org/10.1177/0956797620954815>