

Gátlási folyamatok változása időskorban: előnyök és hátrányok (OTKA K115457)

Zárójelentés

Bevezetés

Hasher és Zacks 1988-as cikke óta az öregedés során jelentkező kognitív teljesítmény romlását gyakran a gátló kontroll deficitjével magyarázzák. Azonban a gátlás sem fiziológiai, sem pszichológiai értelemben nem egységes funkció. Kísérleteink célja az volt, hogy elkülönítsük a gátlás különböző formáit: megjelenését a perceptuális integrációban, a válaszgátlásban, az emlékezeti folyamatokban és a kreatív teljesítményben. Kíváncsiak voltunk, a gyengébb gátló kontroll bizonyos területeken vezethet-e jobb teljesítményhez.

Kísérletek

Automatikus változásdetekció

Szakirodalmi előzmények hiányában első lépésben sakktábla mintájú ingerekkel egy passzív oddball paradigmával megvizsgáltuk, különböznek-e a fiatal és idős csoportok az automatikus vizuális feldolgozásban (Sulykos és mtsai, 2018). Az EEG-ben megjelent a vizuális eltérési negativitás (vMMN) mind a két korcsoportban. A komponens első felében nem találtunk különbséget, míg a második felénél az időseknél az amplitúdó kisebb volt, mint a fiataloknál. Mindkét csoport tehát automatikusan detektálta az inger-sorozatban a szabályosság megsértését, azonban az időseknél ez a folyamat megkésett volt a fiatalokhoz képest, illetve a változások azonosítása már nem működött úgy.

Az információfeldolgozás korai szakaszának lassulása időskorban: visszaható maszkolás és integráció

Miután kimutattuk, hogy időseknél is kiváltható a vMMN, a továbbiakban ezt felhasználtuk a vizuális perzisztencia jelenségének vizsgálatára. Két, egymást némileg kiegészítő kísérleti elrendezésben vizsgáltuk a vizuális információfeldolgozás elemi működésének idői jellemzőit viselkedéses, majd elektrofiziológiai kísérletekben. Első lépésben a pszichofizika lépcső módszerét használtuk egy visszaható maszkolási és egy integrációs feladatban. A maszkolási kísérletben mosolygó és szomorú sematikus arcokat random mintázatú maszk követett. A bemutatás után két-választásos helyzetben kellett eldönteni, melyik érzelem volt látható. Időseknél az a kritikus időtartam, amíg a maszk hatékony volt, lényegesen hosszabb volt, mint a fiataloknál. Az integrációs feladatban három betűt mutattunk be két részletben. A résztvevőknek el kellett dönteniük, hogy a három betű értelmes szót alkot vagy sem. A két részlet bemutatása közötti időt változtattuk. Az eredmények szerint a korcsoportok nem különböztek abban, milyen időköz esetén ismerik fel a szót, azaz az első töredék reprezentációjának fennállása nem tért el (Bodnár és mtsai, 2017).

A viselkedéses eredmények alapján EEG kísérletben vizsgáltuk tovább a vizuális integrációt. Egy passzív oddball feladat irreleváns ingerei betűk és nem-betűk voltak egyben, illetve két részletben bemutatva. Utóbbi esetben a két fél bemutatása közötti időt növeltük. A vMMN megjelenését csak abban az esetben várhatjuk, ha a két ingerfél egy egészé integrálódik. Kísérletünkben a fiataloknál akkor alakult ki a vMMN, amikor az inger egyben volt bemutatva, míg időseknél még akkor is, amikor 30 vagy 50 ms telt el a két fél bemutatása között. Ennek oka a

rosszabb gátlási folyamatokban kereshető, ami paradox módon az automatikus feldolgozás szintjén jobb felismerési teljesítményhez vezet ebben a korcsoportban (Gaál és mtsai, 2017).

Eredményeink rámutatnak arra, hogy az időskori változások elemi észlelési folyamatokat is érintenek. A maszkolós eredmények igazolják, hogy idős személyeknél hosszabb időre van szükség a célinger azonosításához, míg az integrációs kísérlet eredményei megerősítik, hogy a rosszabb gátló funkciók a vizuális inger hosszabb perzisztenciájához vezet, ami speciális esetekben módosíthatja az ingerek észlelést is.

Gátlás és munkaemlékezet

Az öregedés gátlási deficit elmélete a munkaemlékezetet viselkedéses tanulmányozásán alapszik, (Hasher és Zacks, 1988), egyes eredmények szerint az idősek nagyobb mértékben feldolgozzák a környezet zavaró ingereit (Biss és mtsai, 2013). Vogel és Machiazawa (2004) nyomán ezt az elméletet szerettük volna átültetni elektrofiziológiai vizsgálatokra. Szerintük a munkamemóriában tárolt elemek számával nő a CDA (contralateral delayed activity – egy hosszan elhúzódó negatív komponens az ingerrel ellentétes oldalon) amplitúdója. Feltételeztük, hogy ha az idősek a feladatban irreleváns elemeket is kódolják, akkor a CDA amplitúdója náluk nagyobb lesz a disztraktorok jelenlétében, mint ha csak a célingereket látják, illetve a viselkedéses teljesítményük az elterelő ingereket tartalmazó próbákban rosszabb lesz, mint a fiataloké.

Kísérletünkben egy kör mentén helyeztük el a célingereket és a disztraktorokat, majd két inger közül kellett kiválasztania a személyeknek, hogy melyik szerepelt korábban. Ez az elrendezés az eredetitől abban tér el, hogy nem csak egy ponton változik a monitoron látható kép, hanem az egész képernyő kicserélődik, ténylegesen az emlékezetből kell előhívni a választ. A kísérletet elvégeztük egyszínű szimbólumokkal és a Vogelék által használt színes négyzetekkel is, azonban egyik esetben sem kaptunk a munkamemóriában tárolt elemek számával korreláló komponenset. Mivel ezekben a kísérletekben egy módszertani probléma futottunk és nem tudtuk reprodukálni a szakirodalomban (kevés helyen) leírt komponenset, így ezen a módon nem tudtuk feltárni, hogy az idősek kódolják-e az irreleváns ingereket és ez vezet-e a rosszabb teljesítményükhöz.

A későbbiekben egy másik módszerrel, egy „reference back” feladatban (Rac-Lubashevsky és Kessler, 2016) vizsgáltuk, hogyan hat a munkaemlékezet egyes alfolyamataira az öregedés, illetve ezeket hogyan befolyásolja egy zavaró inger megjelenése. A prefrontális kéreg – basalis ganglionok munkamemória modell (Frank és mtsai, 2001; O’Reilly, 2006; Hazy és mtsai, 2006) szerint a basalis ganglionok a dopaminrendszeren keresztül szabályozzák, hogy az információ eljuthat-e a prefrontális kéregbe. Utóbbi felelős a munkamemória tartalmának fenntartásáért, míg a basalis ganglionok fázisos dopamin aktivitása „kinyitja a kaput”, amit a thalamus képez, és ezáltal frissülhet a munkamemória tartalma. A reference back feladat ennek a kapuzási folyamatnak az egyes lépéseit tudja elkülöníteni. A feladat során X és O betűket lát a résztvevő, amelyek körül egy négyzet van. Referencia és összehasonlítási próbák vannak, ezeket a négyzet színe jelzi. A feladat, hogy aktuálisan látott betűről el kell dönteni, hogy megegyezik-e az utolsó referencia próbában látott betűvel. Az egyes feltételek egymásból való kivonásával következtethetünk az egyes alfolyamatokra. A kapunyitás (ami lehetővé teszi a munkamemória tartalmának frissítését) egy 300 és 700 ms között elhúzódó pozitivitással jelent meg a kiváltott potenciálban, amplitúdója a fiataloknál nagyobb volt az idősekéhez képest. A kapuzárást (aminek a fenntartásban van jelentősége) egy 300 és 500 ms közötti centroparietális negativitás és frontális pozitívitas jellemezte. Életkori különbséget csak frontálisan

találtunk, a fiatal csoportban volt nagyobb az amplitúdó. A munkamemória tartalmának frissítését (updating) két parietális komponens jellemezte: egy 150 és 300 ms közötti negativitás és egy 500 és 800 ms közötti pozitivitás. Életkori különbséget ezek esetén nem találtunk. A helyettesítés (substitution) a munkamemória tartalmának frissítésének annyiban speciálisabb változata, hogy ebben az esetben mindig új információval történik a frissítés. Egy 300 és 500 ms közötti negativitás és egy 500 és 700 ms közötti pozitivitás jellemezte ezt a folyamatot, melyek közül a negativitás nagyobb amplitúdójú volt a fiataloknál az időseknél látotthoz képest. Ennek a kísérletnek fontos hozadéka, hogy leírja, az egyes alfolyamatoknak mik az EEG korrelátumai (ilyen részletességgel eddig ezt más nem írta le), illetve rámutat, hogy a kapuzási folyamat hatékonyabb a fiataloknál, ami viselkedésesen a helyettesítés rövidebb reakcióidejében mutatkozik meg. Az életkori különbségek csökkentek a zavaró ingerek (arcok) bevezetésével. Az N170 komponens amplitúdó-változásaiból arra következtethetünk, hogy az idősek a fiataloknál nagyobb mértékben dolgozták fel a feladatban irreleváns ingereket a munkamemória feladatban, ám egy későbbi váratlan felidézés során mégis a fiatalok ismerték fel nagyobb százalékban, melyik arcot látták már korábban, illetve a régi ingerek felismerését jelző késői pozitivitás megjelent a fiataloknál, míg az időseknél ez nem alakult ki. Eredményeinkből arra következtethetünk, hogy bár az idősek tényleg nagyobb mértékben feldolgozzák a környezet zavaró ingereit, ezt az információt egy későbbi feladatban nem tudják felhasználni.

Válaszgátlás

A válaszgátlást és az irreleváns ingerek kódolását is vizsgáltuk egy következő feladatban. Ez a Simon feladat (Simon, 1969) egy olyan verziója volt, amiben először egy a feladat szempontjából irreleváns arc jelent meg, ami kinézett valamelyik oldalra. Ezután jelentek meg azok az ingerek, amikre válaszolni kellett: a J betűre a jobb, a B betűre bal kézzel. Annak függvényében, hogy az inger bemutatásának oldala és a válaszadás oldala megegyezett-e vagy sem, kongruens és inkongruens próbáink voltak. Továbbá az inger előtti arc tekintetének az iránya is lehetett kongruens vagy inkongruens a válaszadással. Egyrészt feltételeztük, hogy a tekintet iránya olyan erős szociális inger, hogy kongruens esetben felgyorsítja, inkongruens esetben pedig lassítja a válaszadást, másrészt azt gondoltuk, hogy ez a hatás az időseknél fog jelentkezni, akik kevésbé tudják gátolni az irreleváns ingerek feldolgozását.

Eredményeinkben kimutattuk a Simon hatást, azaz az inkongruens próbákban a kongruensekhez képest nőtt a reakcióidő, a hibák száma, a P3b komponens latenciája, míg csökkent az amplitúdója, az s-LRP (lateralized readiness potential) pedig jelezte, hogy az inkongruens esetekben először elindult a rossz oldali aktiváció, és csak később vált dominánssá a jó oldali kéz aktivációja. A fenti eredményeket befolyásolta az életkor is, az időseknél nagyobb volt a Simon hatás, igazolva a nagyobb érzékenységet az interferenciára, a gyengébb gátló kontrollt, illetve a motoros gátlás csökkent hatékonyságát (Nagy és mtsai, 2020). Az N170 komponens amplitúdójának változásai alapján kimutattuk, hogy az idősek a fiataloknál nagyobb mértékben dolgozták fel a feladat szempontjából irreleváns arcokat. Ezek tekintetének iránya a várttal ellentétben nem segítette az időseket, hanem csak újabb terhet jelentett a kognitív feldolgozórendszernek. A nagyobb mértékű feldolgozás továbbá, a korábbi kísérlethez hasonlóan, nem járt együtt azzal, hogy egy későbbi feladatban ezt az információt fel tudják használni (Gaál és mtsai, 2020).

A válaszgátlást és a disztraktor ingerek hatását vizsgáltuk egy gon-nogo feladatban is, ahol a célinger színének függvényében egy gombnyomással kellett megakadályozni annak „leesését”, míg más esetekben nem kellett reagálni. Az esetek kis százalékában disztraktor ingerek is megjelentek. Az EKP adatok egyértelmű különbséget mutattak abban, hogy az idősek gátlási folyamatai kevésbé hatékonyak (későbbi, kisebb amplitúdójú nogo-P3), illetve a disztraktor ingereket nagyobb mértékben dolgozták fel (100-200 ms között nagyobb amplitúdójú anterior pozitívitás és posterior negatívitás). Ezek a különbségek viszont nem jelentek meg a viselkedésben: nem volt több téves riasztásuk, illetve a disztraktor jelenléte nem befolyásolta a reakcióidejüket. Mindezekből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy bár a gátlási folyamatok kevésbé voltak hatékonyak az időseknél a fiatalokhoz képest, ezt megfelelően tudták kompenzálni, hogy ez a hatás ne jelentkezzen a viselkedésükben (Kojouharova és mtsai, 2020).

Kreativitás

Chrysiokou és mtsai (2014) a kognitív kontroll összehangolt szűrő hipotézisében feltételezik, hogy a prefrontális kéreg befolyásolja a kognitív funkciókat egyfajta top-down kontrollt kifejtve. Az azonban, hogy mi ennek a kognitív kontrollnak az optimális szintje, nagyon is feladatfüggő. Bizonyos feladatokban – melyek explicitek, szabály alapúak, verbálisak vagy absztraktak, a munkaemlékezet kapacitásán belül megoldhatóak – a magas a magas szintű kognitív kontroll vezet jobb eredményre, míg más feladatokban – melyek implicitek, jutalom alapúak, nem verbálisak vagy intuitívek, a munkamemória korlátaitól függetlenül megoldhatóak – az alacsony kognitív kontroll előnyösebb. Utóbbi feladatok közé tartozik a kreatív problémamegoldás is. A fentiekből kiindulva feltételeztük, hogy ha az életkorral kevésbé hatékony lesz a kognitív kontroll, az megmutatkozik a kreatív teljesítményben is. Mivel a kérdés EKP-val való vizsgálatának számos módszertani nehézsége van (ld. Czigler és mtsai, megjelenés alatt), azt a megközelítést választottuk, hogy először megvizsgáltuk a kísérleti személyeink kreativitását, majd a kreativitás index alapján kialakított csoportok kognitív teljesítményét hasonlítottuk össze.

A fentiek megvalósításában fontos lépés volt, hogy Fáy Nóra és munkatársai a TTCT (Torrance Test of Creative Thinking) figurális altesztjeit felvették reprezentatív magyar mintán, illetve megújították azok értékelését. Ennek előnye, hogy a kísérletben résztvevők pontszáma alapján rögtön meg tudjuk állapítani, a korcsoportjukhoz képest mennyire kreatívak. A Fáyékkal való közös munka során létrehoztunk egy olyan mutatót, ami kutatásban is jól alkalmazható csoportok kialakítására a kreativitás alapján. Ez a kreativitás index (CI) a Körök (CR1) és Képbefejezés (CR2) alteszteken mért normalizált változók – fluencia (F), originalitás (O), kidolgozottság (E), korai befejezéssel szembeni ellenállás (C) és kreatív erősségek (CS) – összegeként jön létre: $CR1=(F + O/F + E/F)/3$; $CR2=((E/F + C/F)/2 + F + O/F)/3$; $CI=(CR1 + CR2 + CS)/3$. Kísérleteinkben az életkorcsoportokon belül ezt az indexet használtuk.

Egy dupla feladatváltási paradigmában mind a viselkedéses (mixing costs, switching costs), mind az EKP eredmények (CNV, N2b) azt mutatták, hogy a kognitív kontroll a kreatív fiatal csoportban volt a leghatékonyabb, míg a legkevésbé hatékonyan a kevésbé kreatív idős csoport tudta alkalmazni azt. Az eredmények arra utalnak, hogy a kognitív kontroll a kreatív folyamat eltérő fázisait befolyásolhatja a különböző korcsoportokban. Az időseknél a kevésbé hatékony gátlás növeli az irreleváns elemek feldolgozását, ami az ötletek generálását segíti az előkészítési szakaszban. A

fiataloknál viszont a hatékony kognitív kontroll a végrehajtás fázisában jelent előnyt az ötletek kiértékelésében és kiválasztásában.

A fenti vizsgálatban a TTCT vizuális altesztjein kívül további tesztek is felvettünk a résztvevőkkel: WAIS-IV (intelligencia), Big Five Kérdőív (személyiségjegyek), és Kreatív Teljesítmény Kérdőív (valós életben elért kreatív teljesítmény). Azt vizsgáltuk, hogy a kreativitás és a korábbi szakirodalmi eredmények alapján a kreatív potenciált előrejelző pszichológiai tényezők, mint az intelligencia, vagy a személyiségjegyek, milyen kapcsolatban állnak egymással, hogyan változnak ezek az egészséges öregedéssel. Eredményeink szerint a fiatal felnőtteknél a kreatív potenciált nem jelezték előre a vizsgált egyéb pszichológiai mutatók, míg az idős korcsoportban nagyrészt meg tudtuk erősíteni az intelligencia, az energia, a lelkiismeretesség és a nyitottság pozitív, míg az érzelmi stabilitás negatív kapcsolatát a kreativitással. A viszonylag váratlan eredményeket befolyásolhatta a relatíve kis elemszám, a figurális kreativitás-teszt mutatóinak kiszámolásának módszertana, illetve az idős csoport átlagon felüli teljesítménye is.

Egy következő kísérletben azt a kérdést tettük fel, vajon már az ingerek észlelésénél megkezdődik-e a különbség a kreatív és kevésbé kreatív személyek között, és ezt befolyásolja-e a gátlási folyamatok változása az öregedéssel. Egy oddball paradigmában a személyeknek akkor kellett gombot nyomniuk, amikor pillangót láttak (10%), míg a gyakori ingerek (90%) portré festmények voltak, azok egyértelmű (50%) és többértelmű (50%) verziójában. Ez a kísérlet azért is különösen érdekes, mert korábban még sosem vizsgálták kiváltott potenciálokkal, hogyan tér el a különböző kreativitású személyek észlelése. Az adataink nem bizonyították, hogy a kreativitás már a szenzoros feldolgozás korai fázisát is befolyásolná (P1, N1), viszont a 300-500 ms-os szakaszban nagyobb volt a pozitívítás a kétértelmű ingerekre, mint az egyértelműekre a kreatívabb csoportban. A hagyományos elemzésekkel ez csak a fiataloknál volt kimutatható, az 'ERP decoding' technika viszont az időseknél is jelezte ezt a különbséget. Mindebből arra következtethetünk, hogy egy felülről lefelé irányuló kontroll okozza a csoportok közötti különbséget, és ebben a szakaszban a fiatalok jobban működő gátlási folyamatai előnyösebbek.

Egy további kísérletben szintén az ingerek feldolgozásának különbségét vizsgáltuk a kreatív és nem kreatív csoportokban. Ebben az elrendezésben a korábban is használt egyértelmű és kétértelmű portré festmények, illetve arcokról készült fotók előzték meg a célingereket. Bár az életkor befolyásolta a viselkedési és EKP eredményeket, nem mutatott interakciót sem az inger típusával, sem a kreativitással. A reakcióidő gyorsabb volt a célingerekre, ha azok arcok után voltak bemutatva, mint ha festmények után. Az N1 komponens amplitúdója nagyobb, a P2-é kisebb volt az arcokra, mint a festményekre. A P1 amplitúdó kisebb, a P3 amplitúdó nagyobb volt a többértelmű portrékra, mint az egyértelműekre vagy a fotókra. A kreativitás befolyásolta a legkorábbi (P1) és a legkésőbbi (CNV) fázisát is a feldolgozásnak, tehát ebben a feladatban ki tudtuk mutatni, hogy már az ingerek észlelése is eltérhet a kreativitás függvényében, illetve megerősítettük, hogy a késői folyamatokat is eltérnek a két csoportban.

Konklúzió

Bár az utóbbi években megkérdőjelezték, hogy vajon a gátlás romlása és annak hatása a kognitív feladatokban tényleg annyira általános-e az öregedés során (Rey-Mermet és Gade, 2018), kísérleteinkben a legkülönbözőbb helyzetekben is a gátlási folyamatok romlását találtuk időskorban. Az öregedés érinti már az elemi észlelési folyamatokat is, de kimutattuk a motoros gátlás

csökkenését is. A munkamemória egyes alfolyamatainak vizsgálatakor azt találtuk, hogy a kapuzárasi folyamat kevésbé hatékony az időseknél. Ezzel lehet összefüggésben, hogy nagyobb mértékben dolgozzák fel a feladatban irreleváns ingereket. Ennek ellenére ezt az információt később mégsem tudják felhasználni, az irreleváns elemek inkább csak tovább terhelik a feldolgozó rendszert. Bár azt is kimutattuk, hogy a disztraktor hatást többnyire sikeresen tudják kompenzálni az idősek, és így az nem jelenik meg a viselkedésükben. És miközben a kreativitás már az ingerek észlelését is befolyásolhatja, az öregedés hatása csak a későbbi folyamatokat érinti. Időseknél a gátlás csökkenése több inger egyidejű hozzáférhetőségével az ötletek generálását segítheti az előkészítési folyamatban, míg a fiatalok hatékonyabb kognitív kontrollja a végrehajtás fázisában jelent előnyt az alternatívák értékelésében és a legjobb válasz kiválasztásában.

Publikációk

A pályázat támogatásával öt nemzetközi (**Gaál et al., 2017, Sulykos et al., 2018, Nagy et al., 2020, Kojouharova et al., 2020, Gaál et al., 2020**) és egy magyar nyelvű (**Bodnár és mtsai, 2017**) cikk jelent meg. Egy magyar nyelvű cikkünket elfogadták publikálásra, de még nem jelent meg (**Czigler, I., Csizmadia, P., Nagy, B., Gaál, Zs.A.** Tehetség és idegtudomány: Adatok a kreativitás és a matematika területéről. Magyar Pszichológiai Szemle), illetve két cikk készült az Alkalmazott Pszichológia Kreativitás különszámába, melyek még lektorálás alatt állnak (**Csizmadia, P., Czigler, I., Nagy, B., Gaál, Zs.A.** Befolyásolja-e a kreatív kognitív stílus a vizuális feldolgozást? – EKP tanulmány fiatal és idős felnőtteken, **Nagy, B., Csizmadia, P., Kovács, A.J., Czigler, I., Gaál, Zs.A.** A kreativitás és a kreatív teljesítményt befolyásoló tényezők pszichometriai vizsgálata fiatal és idős felnőtt populáción). További két cikk áll lektorálás alatt nemzetközi folyóiratoknál (**Csizmadia, P., Czigler, I., Nagy, B., Gaál, Zs.A.** Does creativity influence visual perception? – An event-related potential study with younger and older adults, **Nagy, B., Czigler, I., File, D., Csizmadia, P., Fáy, N., Gaál, Zs.A.**: Do age-related changes in cognitive control affect creative performance in older compared to younger adults? – An ERP study of task-switching), illetve három anyag még megírás alatt áll, ezeknek az eredményei az idei ESCAN konferencián lesznek először bemutatva, az absztraktok már elfogadásra kerültek (**Gaál, Zs.A., Petró, B., Kojouharova, P., Scheiling, K., Nagy, B., Csizmadia, P., Czigler, I.**: Age-related differences in a 'reference-back' task both with and without irrelevant distractors, **Csizmadia, P., Nagy, B., Czigler, I., Gaál, Zs.A.**: The effect of ambiguous and unambiguous stimuli on target processing in less creative and creative groups, **Scheiling, K., Petró, B., Kojouharova, P., Czigler, I., Nagy, B., Gaál, Zs.A.**: Enhanced processing of distractors among elderly does not lead to better utilization of this information).

Irodalom

Biss, R.K., Ngo, J., Hasher, L., Campbell, K.L., Rowe, G. (2013). Distracting can reduce age-related forgetting. *Psychological Science*, 24, 448-455.

Bodnár F., Czigler I., Gaál Zs.A. (2017) Az információfeldolgozás korai szakaszának lassulása időskorban: Visszaható maszkolás és integráció. *Magyar Pszichológiai Szemle*, 72(2), 187-200.

Chrysikou, E.G., Weber, M.J., Thompson-Schill, S.L. (2014) A matched filter hypothesis for cognitive control. *Neuropsychologia* 62, 341-355.

Czigler, I., Csizmadia, P., Nagy, B., Gaál, Zs.A. (megjelenés alatt) Tehetség és idegtudomány: Adatok a kreativitás és a matematika területéről. Magyar Pszichológiai Szemle.

Frank, M.J., Loughry, B., O'Reilly, R.C. (2001) Interactions between frontal cortex and basal ganglia in working memory: a computational model. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 1, 137-160.

Gaál, Zs.A., Bodnár, F., Czigler, I. (2017) When elderly outperform young adults – Integration in vision revealed by the visual mismatch negativity event-related component. *Frontiers in Aging Neuroscience*, Paper 15.

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*, Paper: 569614.

Hasher, L., Zacks, R.T. (1988) Working memory, comprehension of and aging: A review and a new view. In G.G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (vol 22, pp. 193-225). San Diego, CA: Academic Press.

Hazy, T.E., Frank, M.J., O'Reilly, R.C. (2006) Banishing the homunculus: making working memory work. *Neuroscience*, 139, 105-118.

Kojouharova, P., Gaál, Zs.A., Nagy, B., Czigler, I. (2020) Age Effects on Distraction in a Visual Task Requiring Fast Reactions: An Event-Related Potential Study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, Paper: 596047.

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*, Paper: e0233496.

O'Reilly, R.C. (2006) Biologically based computational models of high-level cognition. *Science*, 314, 91-94.

Rac-Lubashevsky, R., Kessler, Y. (2016) Decomposing the n-back task: An individual differences study using the reference-back paradigm. *Neuropsychologia*, 90, 190-199.

Rey-Mermet, A., Gade, M. (2018) Inhibition in aging: What is preserved? What declines? A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25: 1695-1716.

Simon, J.R. (1969) Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*. 81 (1): 174.

Sulykos, I., Gaál, Zs.A., Czigler, I. (2018) Automatic change detection in older and younger women: A visual mismatch negativity study. *Gerontology*, 64(4), 318-325.

Vogel, E.K., Machizawa, M.G. (2004) Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428, 748-751.