

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
SZENT-GYÖRGYI ALBERT ORVOSTUDOMÁNYI KAR
KLINIKAI ORVOSTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
KÍSÉRLETES ÉS KLINIKAI IDEGTUDOMÁNY ALPROGRAM



**TRANSZKRANIÁLIS EGYENÁRAMÚ STIMULÁCIÓ ÉS
SZÁMÍTÓGÉP-ASSZISZTÁLT TRÉNINGPROGRAMOK
HASZNÁLATA A KOGNITÍV ÉS AFFEKTÍV REHABILITÁCIÓ
SORÁN POST-STROKE BETEGEK KÖRÉBEN**

PH.D. ÉRTEKEZÉS TÉZISEINEK ÖSSZEFOGLALÓJA

KAZINCZI CSABA

TÉMAVEZETŐK:

DR. RACSMÁNY MIHÁLY

DR. MUST ANITA

SZEGED

2025

A disszertációhoz kapcsolódó publikációk:

Kazinczi, C., Kocsis, K., Boross, K., Racsmány, M., Klivényi, P., Vécsei, L., & Must, A. (2024). The effect of computerized cognitive training and transcranial direct current stimulation on working memory among post-stroke individuals: A systematic review with meta-analysis and meta-regression. *BMC Neurology*, 24(1), 314. (Review Article, Q2, IF 2025: 2.2, DOI: <https://doi.org/10.1186/s12883-024-03813-x> (2024))

Kazinczi, C., Szépfalusi, N., Németh, V. L., Holczer, A., Jakab, K., Vécsei, L., & Racsmány, M. (2025). The effect of transcranial direct current stimulation and inhibitory control training on depression and anxiety among post-stroke individuals. *BMC Neurology*, 25(1), 38. (Original Research Article, Q2, IF 2025: 2.2, DOI: <https://doi.org/10.1186/s12883-025-04042-6> (2025))

Kazinczi, C., Szépfalusi, N., Németh, V. L., Holczer, A., Jakab, K., Vécsei, L., & Racsmány, M. (2025). The effect of transcranial direct current stimulation and inhibitory control training on working memory in post-stroke rehabilitation. *Neuropsychopharmacologia Hungarica*, 27(2), 88-10. (Original Research Article, Q2, IF 2025: 0.86, (2025))

BEVEZETÉS

A stroke a tartós egészségkárosodás és a kognitív funkciózavar egyik vezető oka, amelyet gyakran kísér a végrehajtó funkciók (EF) és az érzelmi élet zavara. Az EF zavarai gyakran érintik a munkamemóriát (WM) és a gátló kontrollt, affektív szempontból pedig a stroke utáni depresszió (PSD) és szorongás (PSA) megjelenése. A stroke utáni rehabilitációban az tapasztalható, hogy a kognitív és érzelmi problémák rendszerint együtt jelentkeznek, ami közös idegi és funkcionális mechanizmusokra utalhat, mely a klinikai gyakorlatban számos esetben nem kap megfelelő figyelmet.

A kognitív idegtudomány ma már nem elszigetelt agyterületekhez köti az EF-eket és az érzelemszabályozást, hanem dinamikus, kiterjedt agyi hálózatok részeként tekint rájuk. Ezek közül központi szerepet játszik a frontoparietális hálózat (FPN), amely magában foglalja a dorsolaterális prefrontális kérget (DLPFC) és a hátsó parietális kérget (PPC). Az FPN kulcsszerepet tölt be az EF-ben, kognitív kontrollban és a célirányos viselkedésben, miközben szoros kapcsolatban áll a limbikus rendszerrel és a szalencia hálózattal, amelyek az érzelemszabályozásban szintén részt vesznek. Stroke után az FPN integritása sérülhet, ami zavart okozhat mind az érzelmi szabályozásban, mind a végrehajtó funkciókban. Utóbbi esetében, a WM a releváns információk átmeneti tárolását és manipulálását teszi lehetővé, míg a gátló kontroll az irreleváns válaszok elnyomásáért felel.

A stroke utáni kognitív rehabilitációban számítógépes kognitív tréning (CCT) hatékony és könnyen hozzáférhető módszer ezen funkciók fejlesztésére. A WM fejlesztésének klasszikus eszköze a hozzá szorosan kapcsolódó „frissítés” funkció tréningje, melyet például az „N-back” feladat segítségével végeznek. Az N-back feladat lényege, hogy folyamatos információfigyelést és feldolgozást, megtartást és frissítést igényel. Bár ezek a protokollok standardnak számítanak, egyre több bizonyíték szól amellett, hogy a célzott CCT más, kapcsolódó funkciókra is pozitív hatással lehet, az ún. távoli transzferhatás miatt. Ez felveti annak lehetőségét, hogy a WM javulása elérhető más EF-ek, például a gátló kontroll fejlesztésével is. A Flanker-alapú Gátló Tréning (ICCT) ígéretes eszköz lehet annak vizsgálatára, hogy a WM és az affektív kontroll komponensei fejleszthetők-e ezen alternatív útvonalon.

Emellett, a CCT mellett egyre nagyobb figyelmet kap a transzkraniális egyenáramú stimuláció (tDCS), egy nem invazív neuromodulációs eljárás, amely alacsony intenzitású elektromos árammal befolyásolja a kortikális ingerlékenységet és elősegíti a neuroplaszticitást. Korábbi kutatások szerint a DLPFC stimulációja javíthatja a WM teljesítményt és csökkentheti a depressziós tüneteket. Ugyanakkor a stroke utáni hálózati átrendeződés miatt az izolált régiókra irányuló stimuláció hatása korlátozott lehet. Emiatt egyre inkább előtérbe kerülnek a hálózatszintű, az FPN-t szélesebb körben bevonó stimulációs elrendezések.

Bár a CCT és a tDCS iránti tudományos érdeklődés növekedett az elmúlt évtizedekben, e két módszer együttes, integrált alkalmazása a WM, a gátlás és az érzelemszabályozás javításában, különösen post stroke-betegeknél, eddig kevésbé kutatott terület. A CCT strukturált viselkedéses tréninget kínál a végrehajtó funkciók fejlesztésére, míg a tDCS képes lehet felerősíteni ezen hatásokat az idegi hálózatok célzott modulálásával. Mivel a kognitív és affektív zavarok részben közös idegi alapokon nyugszanak, egy integrált, mindkét területet egyszerre célzó megközelítés a rehabilitációban hatékonyabb terápiás eredményeket hozhat.

A JELEN MUNKA CÉLJA

A jelenlegi kutatások rámutatnak a kognitív és affektív tényezők közös szerepére a stroke utáni rehabilitációban. Az áttekintett tanulmányok fontos kérdéseket vetnek fel, amelyek irányt mutathatnak a kognitív és érzelmi károsodások kezelésére szolgáló alternatív stratégiák kidolgozásához stroke-ot követően. Ennek alapján a hipotéziseink összefoglalóan a következők voltak:

- **H1:** A stroke utáni rehabilitációs eszközök közül a CCT várhatóan meggyőzőbb rehabilitációs potenciált mutat a tDCS-hez képest a WM-t mérő neuropszichológiai tesztek esetében.
- **H2:** A WM funkciók fejlesztése modulálható a gátló funkciók Flanker-alapú tréningjével (ICCT).

- **H3:** Az FPN stimulálása hatékony elrendezésnek mutatkozik a WM és az affektív szabályozás javításában.
- **H4:** A CCT és a tDCS együttes alkalmazása hatékonyabban javítja a WM-hez kapcsolódó funkciókat, a CCT vagy tDCS önmagában történő alkalmazásához képest.
- **H5:** A CCT és a tDCS együttes alkalmazása jelentősen csökkenti a stroke utáni depresszió és szorongás tüneteit, a CCT vagy tDCS önmagában történő alkalmazásához képest.

Ez a munka a szakirodalomban azonosított problémákat három tanulmányban vizsgálja: egy két részből álló empirikus kutatásban, amely a tDCS és a CCT, WM-re, depresszióra, valamint szorongásra gyakorolt hatásait méri. Továbbá, egy meta-analízisben, amely a két rehabilitációs módszer hatékonyságát hasonlítja össze a WM-re vonatkozóan.

MÓDSZEREK

Szisztematikus szakirodalmi áttekintés, meta-analízis és meta-regresszió

A meta-analízis célja az volt, hogy áttekintse a jelenleg elérhető randomizált kontrollált vizsgálatokat (RCT), amelyek a CCT és a tDCS a WM különböző részfunkcióira gyakorolt hatását vizsgálták stroke utáni rehabilitációban. Az elemzés a PRISMA irányelvei szerint, regisztrált PROSPERO-protokoll alapján készült. A beválasztási kritériumokat a

PICOS keretrendszer alapján határoztuk meg: 40–70 év közötti, stroke-on átesett felnőttek; beavatkozásként CCT vagy tDCS a szokásos rehabilitációval kombinálva; kontrollfeltételként hagyományos terápia vagy sham-stimuláció. A WM-eredményeket az Előre Számterjedelem (Fonológiai hurok / Rövid távú verbális tár), a Visszafele Számterjedelem (WM kapacitás) és a Vizuális Terjedelem Feladattal (Téri-vizuális vázlattömb) azonosítottuk.

A szisztematikus keresést a PubMed, Scopus, Cochrane Library és Embase adatbázisokban végeztük, kiegészítve kézi keresésekkel. Két független bíráló értékelte a címeket, absztraktokat és teljes szövegeket, az eltéréseket konszenzussal oldva fel. A módszertani minőséget a Cochrane Risk of Bias Tool 2.0 segítségével vizsgáltuk, a magas kockázatú tanulmányokat kizártuk. Az adatkinyerés során rögzítettük a demográfiai, klinikai és beavatkozási jellemzőket, valamint a tDCS-vizsgálatok részletes stimulációs paramétereit. A két rehabilitációs technika esetén legalább 5 darab RCT volt szükséges az analízis lefuttatásához.

A statisztikai elemzést RevMan 5.4 szoftverrel végeztük. Minden tanulmány esetében a beavatkozás utáni átlagokat és szórásokat használtuk, szükség esetén mediánból és interkvartilis tartományból becsülve. A hatásméreteket standardizált átlagkülönbségként (SMD) és 95%-os konfidenciaintervallummal (CI) számoltuk ki, random modellel a vizsgálatok közötti heterogenitás figyelembevételére. A heterogenitást

az I^2 statisztikával értékeltük (25% – alacsony, 50% – közepes, 75% – magas). A statisztikai szignifikancia küszöbét $P < 0,05$ -ben, a heterogenitását $P < 0,10$ -ben vagy $I^2 > 50\%$ -ban határoztuk meg. Érzékenységvizsgálatot is végeztünk, egyes vizsgálatok eltávolításával tesztelve azok hatását az összesített eredményre. A hatásméreteket kicsinek (0,2), közepesnek (0,5) vagy nagynak (0,8) értékeltük.

Empirikus kutatás

Összesen 35 stroke-on átesett beteget vontunk be (átlagéletkor = 59,6 év, SD = 10,9), akiket a Szegedi Tudományegyetem Neurológiai Klinikájának Neurorehabilitációs Osztályáról toboroztunk. Valamennyien anyanyelvi magyar beszélők voltak, legalább két hétig voltak az intézményben, és részesültek gyógytornában, logopédiában és finommotoros tréningben. A beválasztás feltétele volt a mérhető kognitív deficit, a szövegértés megtartott szintje mellett. A kizárási kritériumok közé tartoztak: a stroke-tól független demencia, agyi atrófia, alkoholfüggőség, súlyos pszichiátriai betegség, kiterjedt vérzés, fémimplantátumok, afázia vagy epilepszia. Az Addenbrooke's Cognitive Examination átlagpontszáma 76,3 volt (SD = 9,89). A léziók elhelyezkedése: 12 jobb féltekei, 12 bal féltekei, 11 pedig bilaterális vagy szubkortikális lokalizációjú. A résztvevők közül 19 fő három hónapon belül kezdte meg az intervenciót (átlag = 1,29 hónap, SD = 0,87), míg 16 fő később (átlag = 41,81 hónap, SD = 46,21). A résztvevők nem tudták,

melyik csoportba kerültek, és csak a lehetséges mellékhatásokról kaptak tájékoztatást.

A kísérleti beavatkozás három csoportból állt: A csoport (aktív tDCS), T csoport (sham-tDCS + ICCT), AT csoport (aktív tDCS + ICCT). Az intervenciós fázis tíz alkalomból állt, majd azonos tesztbatteriaival történt az utómérés. A tDCS-t NeuroConn DC Stimulator Plus készülékkel végeztük, 2 mA erősségű árammal, két $5,5 \times 7,5$ cm-es szivacselektrodán keresztül. A szakirodalmi áttekintésben bemutatott FPN stimulációja miatt az anód az AFz, a katód pedig a Pz pozícióra került a 10–20 EEG-rendszer szerint, az elektrodák elhelyezését egyéni fejméretek alapján ellenőriztük. A SimNIBS 3.2 modellezés igazolta, hogy a stimuláció csúcsa a dorsolaterális prefrontális, a parietális és a parieto-okcipitális kéregben volt. A stimuláció minden alkalommal 12 percig tartott. az AT csoportban a tDCS az ICCT-vel párhuzamosan zajlott, míg a T csoportban az ICCT stimuláció nélkül valósult meg. Az ICCT egy Flanker-feladat volt, amelyet E-prime 2.0-ban futtattunk a gátló kontroll fejlesztésére. A résztvevőknek egyező (zöld cél és zöld kísérők) és eltérő (piros cél, zöld kísérők) ingerekre kellett reagálniuk, a reakcióidőt a pontosság függvényében fokozatosan csökkentettük 5000 ms-ról 1000 ms-ra. Minden ülés négy, egyenként 180 próbából álló blokkot tartalmazott, amely összesen szintén 12 percet vett igénybe.

Az I/I vizsgálatban a WM teljesítményt a meta-analízisben is alkalmazott Előre Számterjedelem, Visszafele Számterjedelem és egy

Vizuális Terjedelem feladattal (Corsi Kocka feladat) mértük. Ezt kiegészítettük a Hallási Mondatterjedelem Teszttel (Komplex WM), továbbá a Trail Making Teszt A (Feldolgozási sebesség) és B (Frissítési funkció / Végrehajtó működés) változatával. **Az I/II vizsgálatban** a hangulati változókat a Beck Depresszió Kérdőívvel (BDI), a Hamilton Depresszió Skálával (HAM-D), valamint a Spielberger Állapot / Vonás Szorongás Kérdőívvel (STAI-S és STAI-T) értékeltük. További felmérések között szerepelt az Addenbrooke's Cognitive Examination (ACE) (Általános kognitív állapot) és a National Adult Reading Test (NART) (Premorbid intellektuális képességek). Az előzetes mérések két egymást követő munkanapon zajlottak az intervenció előtt.

A vizsgálat adatainak statisztikai elemzését az SPSS v25.0 és a JAMOV v2.3 ($\alpha = 0,05$) szoftverrel végeztük. A baseline összehasonlítást Egyszempontos Varianciaanalízissel (ANOVA) vagy Kruskal–Wallis-teszttel végeztük folytonos változókra, és Khí-négyzet tesztel a kategóriás változókra. **Az I/I vizsgálat** során az intervenció hatásait lineáris vegyes modellben (LMEM) vizsgáltuk a csoport, az idő és a csoport $\times$ idő interakció figyelembevételével, demográfiai és klinikai kovariánsokkal korrigálva. Szignifikáns interakciók esetén Bonferroni-korrekcióval végzett post hoc tesztek alkalmaztunk, a hatásméreteket f^2 és Cohen's d értékekkel adtuk meg. **Az I/II elemzése**i során 2×2 vegyes ANOVA-t, Tukey post hoc tesztek, korrelációkat és Bayes-féle vegyes modellű ANOVA-t (BF₁₀, BF_{Inc1}) alkalmaztunk az intervenció

hatásának vizsgálatára. Statisztikai szignifikancia esetén klinikailag jelentős mértékű változás indexét (MCID) is meghatároztuk.

EREDMÉNYEK

Szisztematikus szakirodalmi áttekintés, meta-analízis és meta-regresszió

Az adatbázis-keresés összesen 4 142 találatot azonosított (PubMed: 609, Scopus: 1 036, Embase: 929, Cochrane Library: 1 544), valamint további 24 cikket kézi kereséssel. A duplikátumok eltávolítása és cím/absztrakt szűrés után 53 tanulmány teljes szöveges átvizsgálására került sor, amelyek közül 44-et kizártunk a vizsgált populáció jellemzői, a vizsgálati terv, a kimeneti változók hiánya vagy kombinált beavatkozások miatt. Végül kilenc, kizárólag CCT-t alkalmazó tanulmány került be az elemzésbe. A tDCS esetében csak négy tanulmány került volna be a vizsgálatba, amely a korábban meghatározott minimum feltételeknek nem tett eleget, így a tDCS elemzése nem került be a vizsgálatba.

A válogatás interrater-reliabilitása jelentős volt: a Cohen-féle kappa értéke 0,71 és 0,77 között, a PABAK-értékek pedig 0,79 és 0,82 között mozogtak, ami jó megbízhatóságot jelez. A kilenc, 2007 és 2022 között publikált vizsgálat összesen 461 résztvevőt foglalt magában (234 a beavatkozási, 227 a kontrollcsoportban), hat különböző országból. A résztvevők átlagéletkora 43,9 és 67,5 év között mozgott, az átlagos stroke

utáni időtartam pedig 13,8 hónap volt. A kontrollfeltételek tanulmányonként eltértek, ugyanakkor legtöbb beavatkozás strukturált CCT-programokat (pl. RehaCom, Lumosity, Cogpack, Erica, RoboMemo vagy BrainGymmer) alkalmazott, 10–58 alkalommal, egy-egy alkalom 20–60 percig tartott. A munkák minőségi értékelése során négy tanulmányt „alacsony kockázatú”, ötöt pedig „némi aggodalomra okot adó” kategóriába soroltunk, „magas kockázatú” besorolás nem fordult elő. A módszertani problémák többsége a randomizálás vagy a mérési módszerek indoklásának hiányos leírásával volt kapcsolatos; a WM-specifikus kimenetekre vonatkozóan azonban nem azonosítottunk jelentős torzítást.

A meta-analízis eredményei alapján, a rövid távú fonológiai felidézés (**Előre Számterjedelem Teszt, DSTF**) nyolc tanulmány ($n = 384$) alapján mérsékelt heterogenitást mutatott ($I^2 = 50\%$), és nem talált szignifikáns javulást a kontrollcsoporthoz képest ($SMD = 0,30$; $95\% CI = 0,06-0,46$; $Z = 1,95$; $P = 0,05$). Az érzékenységanalízis két kiugró vizsgálatot azonosított; ezek eltávolítása a heterogenitást nullára csökkentette ($I^2 = 0\%$), de statisztikailag szignifikáns eredményt így sem hozott. A munkamemória-kapacitást (**Visszafele Számterjedelem Teszt, DSTB**) négy tanulmányban ($n = 193$) vizsgálták, és szignifikáns javulást találtunk a CCT javára ($SMD = 0,39$; $95\% CI = 0,10-0,67$; $Z = 2,65$; $P = 0,008$), elhanyagolható heterogenitással ($I^2 = 0\%$). A téri-vizuális munkamemória (**Vizuális Terjedelem Teszt / Corsi Kocka Feladat, VSTF**) hét tanulmány ($n = 323$) adatai alapján nem

szignifikáns, javulás irányába mutató trendet mutatott (SMD = 0,22; 95% CI = -0,01–0,44; Z = 1,90; P = 0,06), mérsékelt heterogenitással (I^2 = 40%). Egy kiugró vizsgálat eltávolítása megszüntette a heterogenitást (I^2 = 0%), és szignifikáns hatást eredményezett a CCT javára (SMD = 0,43; 95% CI = 0,16–0,69; Z = 3,14; P = 0,002). A **metaregressziós elemzés** a résztvevők életkorát, az egyes alkalmak időtartamát és a teljes alkalmak számát vizsgálta mint lehetséges moderátorváltozókat, azonban egyik tényező sem befolyásolta szignifikánsan WM-eredményeket.

Empirikus kutatás

A résztvevők átlagéletkora 59,68 év volt (SD = 11,10), az iskolai végzettség átlaga pedig 12,03 év (SD = 3,40). A csoportok között nem volt szignifikáns különbség sem a demográfiai változóknál (életkor, iskolai végzettség, nemi megoszlás, lézió helye, a stroke óta eltelt idő), sem a NART és ACE tesztekkel mért kiindulási kognitív teljesítményben. A LMEM eredményei szerint a kiindulási értékekben nem volt szignifikáns eltérés sem a fő WM-mutatókban (DSTF, DSTB, LST, CBTT, TMT-A/B), sem az affektív mérőszámokban (BDI, STAI-S, STAI-T), kivéve a HAM-D-t, ahol az aktív tDCS csoport alacsonyabb értéket mutatott. A kiindulási BDI és HAM-D értékek a klinikai küszöb felett voltak, míg a STAI pontszámok normál tartományban maradtak. Erős korreláció mutatkozott a kezelés előtti és utáni affektív mutatók között, a legerősebb kapcsolat a kezelés utáni STAI-T és BDI pontszámok között volt ($r = 0,79$, $p < 0,001$).

Az I/I vizsgálatban a DSTF teljesítmény szignifikáns idő $\times$ csoport interakciót mutatott ($p = 0,028$) az AT csoport (aktív tDCS + CCT) javára. Nem találtunk szignifikáns hatást a DSTB, CBTT, TMT-A vagy TMT-B esetében. Az LST pontszámoknál szignifikáns fő időhatás mutatkozott ($p = 0,006$), ami a beavatkozást követő általános javulást jelezte minden csoportban. A variancia-komponens elemzés nagy egyéni változékonyságot mutatott a legtöbb feladatban ($ICC = 0,37-0,90$). **Az I/II vizsgálatban** a BDI pontszámok szignifikáns javulást mutattak az idő során ($p < 0,001$, $\eta^2 = 0,30$), valamint szignifikáns idő $\times$ csoport interakciót ($p < 0,001$, $\eta^2 = 0,40$), a post hoc tesztek szerint kizárólag az AT csoportban volt jelentős a javulás. A Bayes-analízis megerősítette mind az idő-, mind a feltételhatást, az AT csoport javára a BDI esetében. A HAM-D pontszámok szignifikáns fő időhatást ($p = 0,004$, $\eta^2 = 0,23$) és csoporthatást ($p = 0,012$, $\eta^2 = 0,25$) mutattak, ugyanakkor szignifikáns interakció nem mutatkozott. A STAI-S pontszámokban nem történt szignifikáns változás, míg a STAI-T esetében szignifikáns fő időhatás mutatkozott ($p = 0,015$, $\eta^2 = 0,18$), ami a vonásszorongás általános csökkenését jelezte. Emellett, a BDI pontszámváltozások MCID elemzése azt mutatta, hogy az AT csoportban szignifikánsan több résztvevő ért el klinikailag releváns javulást, mint az A és T csoportban ($\chi^2 = 10,14$, $p = 0,006$; $\chi^2 = 8,43$, $p = 0,015$), ami alátámasztja a kombinált beavatkozás klinikai hatékonyságát.

MEGVITATÁS

Összefoglalva, kutatásaink főbb eredményei a következők:

Empirikus vizsgálat: A rövid távú fonológiai felidézés esetében szignifikáns idő $\times$ csoport interakció volt megfigyelhető, amelyben az AT csoport érte el a legnagyobb javulást. A hallásutáni mondatterjedelem teszt szignifikáns fő időhatást mutatott, ami a csoportoktól független, általános javulásra utalt. A depressziós tüneteknél a BDI pontszámok szignifikáns idő- és idő $\times$ csoport hatást jeleztek, a javulás azonban csak az AT csoportban volt klinikailag is jelentős. A HAM-D pontszámok idővel javultak, de nem volt szignifikáns interakció. A vonásszorongás (STAI-T) pontszámok szignifikáns fő időhatást mutattak, ami általános csökkenést jelezett a csoportokban. **Meta-analízis:** A CCT szignifikánsan javította a munkamemória kapacitást (Visszafele Számterjedelem Teszt) és a téri-vizuális munkamemóriát (**Vizuális Terjedelem Teszt / Corsi Kocka Feladat**) a kontrollfeltételekhez képest.

Hipotézisek: **H1:** Részben igazolódott, a CCT bizonyos WM-területeken (téri-vizuális és komplex WM) javulást eredményezett, míg a tDCS hatására vonatkozó bizonyítékok korlátozottak voltak. **H2:** Nem igazolódott, az ICCT önmagában nem hozott igazolható szignifikáns transzferhatást a WM-re. **H3:** Nem igazolódott, az FPN stimulációja tDCS-sel nem eredményezett következetesen előnyöket. **H4:** Nem igazolódott, összességében nem mutatkozott fő WM-hatás, de az A és

AT csoportok között szignifikáns különbség volt a DSTF esetében. **H5:** Részben igazolódott, a CCT és tDCS kombinációja a depressziós tünetek jelentős csökkenését eredményezte az önálló alkalmazásokhoz képest, azonban a szorongás mérőszámaiban nem mutatkozott egyértelmű hatás.

Az eredményeket áttekintve, a meta-analízis rávilágít a CCT klinikai értékére (különösen a komplex és téri-vizuális WM fejlesztésében), míg az empirikus eredmények azt mutatják, hogy a CCT és tDCS alternatív megközelítésű kombinációjával csak kis mértékű javulás érhető el. Fontos következtetés, hogy számít, a WM mely komponensét célozza a beavatkozás: a végrehajtó funkciókat igénylő feladatok érzékenyebbek lehetnek a tréningre, míg az egyszerűbb, tárolásalapú funkciók (pl. DSTF) kevésbé reagálnak. Ez megerősíti, hogy az intervenció tartalmát a rehabilitáció során várhatóan leginkább fejleszthető kognitív mechanizmusokhoz kell igazítani.

A tDCS esetében eredményeink rámutatnak a szakirodalomban is jelzett nehézségekre: az eredmények következtetlensége valószínűleg a montázs, az intenzitás és az egyéni neurobiológiai sajátosságok heterogenitására vezethető vissza. Bár az AFz–Pz elrendezés elméletileg ígéretes az FPN bevonása szempontjából, lehet, hogy nem elég specifikus a stroke utáni hatásokhoz. Az ICCT tágabb WM-mérőszámokra gyakorolt transzferhatásának hiánya kérdéseket vet fel a korábbi kutatásokban tapasztalt transzferhatások általánosíthatóságáról. Ebben szerepet játszhatnak a stroke-hoz kapcsolódó idegi kapcsolódási

változások, a kognitív terhelés korlátai és a stimulációs paraméterek lehetséges interferenciája is. Mindez arra utal, hogy az ICCT, bár elméletileg értékes, ebben a populációban módosításra vagy más WM-releváns gyakorlatokkal való kiegészítésre szorulhat. Az affektív kimenetek tekintetében a depressziós tünetek javulása szorongásos tünetek javulása nélkül összhangban van a korábbi kutatásokkal. Bár a kombinált tDCS + CCT módszer mutatta a legígéretesebb változási irányt, a hatások változékonysága és részleges jellege megnehezíti az általánosítást.

Klinikailag releváns következtetések:

- A CCT a WM fejlesztésére könnyen hozzáférhető, jól adaptálható eszköz a klinikai rehabilitációban, miközben kevesebb erőforrást igényel, mint a neuromoduláció.
- A tDCS protokollokat célszerű optimalizálni és finomítani a fókusz és intenzitás tekintetében, egyénre szabottan.
- A kombinált beavatkozásokat multidiszciplináris programokba érdemes beépíteni, a kognitív terhelés és az egyéni reakciók gondos monitorozásával.

Végül a szakirodalomban tapasztalható módszertani heterogenitás, különösen a beavatkozások kialakításában és a kimenetek mérésében, továbbra is gátolja az egyértelmű klinikai alkalmazhatóságot. A jövőbeni kutatásoknak a standardizálást, a nagyobb és homogénebb minták

bevonását, valamint a hosszú távú utánkövetést kell előtérbe helyezniük a hatások tartósságának vizsgálatához. A statisztikai szignifikancia mellett a klinikailag jelentős változásoknak kell irányadó szempontnak maradniuk, biztosítva, hogy a rehabilitációs előrelépések kézzelfogható javulást eredményezzenek a betegek mindennapi működésében és életminőségében

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm társszerzőimnek az együttműködést és a kutatásban nyújtott hozzájárulásukat. Hálás vagyok témavezetőimnek, Dr. Racsmány Mihálynak és Dr. Must Anitának a szakmai iránymutatásért és támogatásért a munka elkészítése során. Külön köszönet illeti a Szegedi Tudományegyetem Neurológiai Klinikáját az együttműködésért és a kutatás megvalósításában nyújtott segítségért.