

Válaszok *Az elemi szimbolikus számfeldolgozás mentális reprezentációi* című akadémiai doktori értekezés opponensi bírálataira

Mindenekelőtt szeretném megköszönni mindhárom opponensnek a rendkívül pozitív értékeléseket illetve a fontos és izgalmas kérdéseket. A szűkebb témára vonatkozó kérdések mellett különösen érdekesek a más területekkel átfedő vagy kitekintő kérdések.

A bírálatokra a beérkezésük sorrendjében válaszolok. A szűken vett kérdéseken túl az opponensek egyes megjegyzéseire is érdemesnek találtam reagálni, azokat külön tárgyalom a válaszközlőben. A kérdésekre és megjegyzésekre egyesével válaszolok, az opponensi kérdés megismétlésével kezdve, majd a válasz kifejtésével. A könnyebb átláthatóság kedvéért az opponensek eredeti kérdései és megjegyzései szürkével vannak kiemelve. A releváns irodalmakra csak akkor hivatkozom itt, ha az a hivatkozott disszertáció fejezetekben nem található meg. Az itteni hivatkozások az APA stílusnak megfelelő szövegbeni hivatkozásokként szerepelnek, ám a szöveg végi irodalomjegyzék helyett a hivatkozás után szereplő DOI linkkel azonosítva.

Czigler István bírálata

Kérdések

1. „A kísérletekben alkalmazott új szimbólumok esetében nincs-e verbális átkódolás, azaz amikor a résztvevő meglátja az újonnan tanult karaktert, azt először lefordítja nyelvi címkére, és azután végzi el a feladatban kért műveletet? Például az előfeszítési (priming) hatások nem mutatnak-e ilyesmit.”

Azt tapasztaljuk, hogy a hatások általában jelölés specifikusak. Például több vizsgálatunkban az új számjelölés azért mutat a bemutatott ingerek gyakoriságát szintisztán követő nagyság hatást, mert a gyakoriság nem transzferálódik más jelölésekről (pl. arab számról vagy számnevekről). Ha verbális átkódolás történne, akkor a feladatok során a közös verbális kód miatt hasonló hatásokat kellene látnunk a jelölések közt, az adott számjelölés statisztikai tulajdonságaitól függetlenül. Mivel a hatások jelölésspecifikussága tűnik főszabálynak, a verbális átkódolás nem tűnik domináns lehetőségnek.

Ezzel együtt nem lehetetlen, hogy bizonyos esetekben ilyen előfordulhat, és valamilyen viszonylag kisebb hatása lehet a viselkedésre. Egyelőre erre utaló adatokat nem láttunk az adatainkban vagy az irodalomban, bár az is igaz, hogy nem is kerestünk. Dominánsan tehát biztosan nem verbális átkódolás történik, de kisebb kiegészítő hatásként akár el is képzelhető.

Egy harmadik kapcsolódó megjegyzés, hogy a DSZR modellünk szerint az egyes hatások a DSZR különböző aspektusából adódnak. A fenti magyarázat a nagyság hatás releváns tulajdonságából indul ki, de pl. az előfeszítési hatás a munkánk alapján más mechanizmusból adódik, mint a nagyság hatás. Más, a DSZR-hez hasonló, nyelvi vagy szemantikus modellek alapján azt feltételezhetjük, hogy az előfeszítési hatás is jelölés specifikus lehet, de nem ismerek olyan közvetlenül számokra vonatkozó adatot, amely a kérdés eldöntésében releváns lehetne. Így a parszimónia elve alapján azt feltételezhetjük, hogy az előfeszítési hatást elsődlegesen nem egy közös (pl. nyelvi) kód közvetíti, de itt sem lehet ezt a lehetőséget kizárni.

2. „Az egyes kísérletek módszerének leírásakor nem szerepel az instrukció. Ahol gyors (reakcióidő) választ kell adni, a gyorsaság-pontosság kapcsolat szempontjából ez nem mellékes. Mi volt az instrukció?”

Az instrukcióban többnyire nem jeleztük sem a pontosság sem a gyorsaság szerepét. Van néhány olyan kapcsolódó (pl. interferenciát vizsgáló) kísérletünk, ahol a résztvevők kifejezetten vagy a gyorsaságra vagy a pontosságra kellett fókuszáljanak. Ezen túl csak olyan általános instrukciót kaptak a kurzus kreditért részt vevő egyetemi hallgatók, hogy random találgatás mellett nem kaphatják meg a pontot a részvételért.

Van azonban legalább két szempont, ami azt jelzi, hogy a gyorsaság-pontosság szempont nem befolyásolná döntően az eredményeket. Az egyik, hogy a sodródási diffúziós modellek (drift diffusion models, DDM) alapján több vizsgálatunkban végeztünk paraméter visszaállítást. A DDM-ben a küszöb paraméter felelős a gyorsaság-pontosság beállításért, míg az eredményeink szerint a többi paraméter a küszöb paramétertől függetlenül mutat hatásokat. Vagyis a viselkedéses adatokban látott hatások a pontosság-gyorsaság egyéni különbségeitől függetlenül is láthatóak. (A paraméter visszaállítás ettől függetlenül sok további hasznos információval szolgál, mint pl. a disszertáció 5. fejezete mutatja a 36. ábrán.)

Egy másik szempont, hogy a távolság és nagyság hatásokat tanulmányok százai vagy inkább ezrei mutatták már ki, sok esetben nagyon különböző körülmények közt (idői nyomás, kulturális különbségek, stb.), és a hatások rendkívül robusztusak. Ez azt jelzi, hogy ezek az alaphatások nem érzékenyek a résztvevők pontosság-gyorsaság beállítódására. Ezzel együtt is, némely kevésbé robusztus hatásnál (mint pl. interferenciahatások) ez a beállítódás releváns lehet, amelyet egyébként néhány jelenlegi kísérletünkben is vizsgálunk.

Végül egy kapcsolódó érdekesség, hogy a pontosság-gyorsaság beállítódás hatással is lehet akár az összehasonlítási feladatra is, még ha nem is rövid távon. Bert Reynvoet, Delphine Sasanguie és Roi Cohen Kadosh kollégákkal közösen azt vizsgáljuk, hogy a pont összehasonlítás feladat tréningje javítja-e a Weber állandót. Az ASZR rendszer tréningjére irányuló munka rendkívül sok van, azonban mi a DDM modell segítségével nézünk a viselkedéses adatok mögé. A saját tréning adataink azt mutatják, hogy miközben viselkedéses szinten nem látható változás több alkalmas tréning során, a diffúziós ráta (drift rate) a pszichofizikai modell leírásának kritériumai szerint valójában növekszik, miközben a döntési küszöb csökken, és a két ellentétes irányú változás a hibázásban mérve kioltja egymást. Másként megfogalmazva, miközben a résztvevők Weber állandója javul, a feladatra egyre kevesebb mentális erőforrást szánnak (egyre hamarabb hoznak döntést), és ez a két mechanizmus egyszerre azt eredményezi, hogy a hibázásban nincs változás a tréning során. Ebben az esetben tehát nem a kísérletvezető pontosság-gyorsaság instrukciója, hanem a résztvevők spontán beállítódása befolyásolja a megfigyelt hatásokat.

Összességében, miközben a pontosság-gyorsaság beállítódásnak a főbb jelenségek szempontjából nincs általános hatása, van néhány specifikusabb jelenség (pl. a tréning vagy potenciálisan az interferenciák), ahol ez egy releváns faktor lehet.

3. „A drift modellek alapján, ahogy ez a vizsgálatokban szerepel, számítható a terjedési sebesség. Viszont (és itt az előző pontra is utalhatok) a teljesítmény másik meghatározója a kritérium (küszöb) szint. Ennek beállítása/változása a szokványosan mért hatásokban jelentkezik-e, és ha igen, hogyan jelenik meg az interpretációkban?”

Valóban kritikus kérdés ez. Ez és az előző kérdés szorosan összekapcsolódnak. Annál is inkább, mert miközben a pontosság-gyorsaság beállítódás követése viselkedéses adatokban a reakció idő és a pontosság valamifajta kombinációja lenne, a sokféle reakció idő és hibázás kombinációs módszere mögött valódi és érdemi motiváció tudtommal csak a diffúziós paraméter visszaállítás mögött van.

Egyfelől vissza tudok utalni az előző kapcsolódó kérdésre adott válaszomra, miszerint vannak olyan jelenségek, ahol a küszöb változás tetten érhető.

Egy további példa egy másik vizsgálatunk (Krajcsi és Kojouharova, 2025, elfogadott kézirat a Memory and Cognition lapban), ahol azt néztük meg, hogy nem szimbolikus (jelen esetben pont) számosság összehasonlításra hatással van-e az ingerek gyakoriság, mint ahogyan szimbolikus szám összehasonlításra hatással van. Mivel a pont összehasonlítás feladata és elemzése egy pszichofizikai küszöb mérésnek felel meg, arra számítanánk, hogy a gyakoriságnak nem kellene befolyásolnia a teljesítményt, hiszen pl. egy adaptív mérési technika, ahol a specifikus ingerek gyakoriságot szándékosan manipuláljuk, torzítaná az eredményt. Meglepő módon azt tapasztaltuk, hogy az ingerek gyakorisága befolyásolja a

viselkedés mintázatot, ám az a nem szimbolikus (pont) összehasonlításnál a küszöb változáson keresztül történik, szemben a szimbolikus (arab) összehasonlításnál a sodródási ráta (drift rate) változáson keresztül. A pszichofizikai méréseket végzők számára megnyugtatóként jelzem, hogy az ingerek gyakorisága a viselkedési adatokon főként a reakció időn látszik, míg a leggyakrabban figyelt pontosság adatokon nem.

Összességében tehát a döntési küszöbnek bizonyos specifikus hatásokban van kimutatható szerepe, és az adott jelenség és releváns modellek kontextusában tudjuk ezeket a hatásokat értelmezni.

4. „A szerző szerint mi is a SNARC-hatás magyarázata? Fentebb tettem egy megjegyzést, mely szerint ez egy Simon-effektus jellegű hatás. Ha ez igaz, akkor válasz-szervezési interferencia lenne, és a hagyományos szakaszelméleti gondolkodás szerint nem lenne interakcióban például a távolság hatással. Ha viszont igen, ez miként befolyásolja az eredmények interpretációját?”

A DSZR-re vonatkozó általános javaslatunk az, hogy a numerikus interferenciák egy része abból adódik, hogy a kis-nagy vagy más numerikus tulajdonságpárok (pl. páros-páratlan) más tulajdonságpárral kapcsolódnak össze, és ez a kapcsolat okozza az interferenciát. Ez a magyarázat analóg a disszertáció 7. fejezetében is röviden ismertetett polaritás és jelöltség modellekkel. A mi modellünk ezen túl nem specifikálja a mechanizmust, például hogy további fázisoknak szerepe lehet-e az interferencia kialakulásában. Azonban ez az egyszerű leírás is nem triviális predikciókhoz vezet. Az egyik ilyen predikció, hogy ha ezek a szimbolikus csomópontok nem aktiválódnak, akkor a hagyományos interferenciák, pl. SNARC hatás nem jelenik meg. Ez azt is jelenti, hogy ugyan pontokkal kapcsolatos feladatban is kimutatták a SNARC hatást, de a modellünk szerint ez azért van, mert a feladatok számosságokkal voltak kapcsolatosak, ahol a válaszhoz a szimbolikus „kisebb”-”nagyobb” válaszok is aktiválódnak. Ezzel szemben ha a feladat nem tartalmaz explicit számossági feladatot, akkor a hatás nem jelenik meg nem szimbolikus helyzetben. Valóban ezt találtuk (Lengyel és Krajcsi, 2025, elfogadott kézirat a Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance lapban): színdöntési feladatnál (ahol a résztvevő azt dönti el, hogy piros vagy kék egy ponthalmaz, illetve piros vagy kék egy arab szám) ponthalmaznál nem mutatható ki SNARC hatás, míg arab számoknál igen. Egy másik nem triviális jóslat, hogy a számokkal bármi interferálhat, ami bármi miatt összekapcsolódik a számokkal. Hogy egy extrém demonstrációt találjunk, egy jelenleg is zajló mérésünkben bolgár és orosz szavak nyelvtani neme és a számok közti interferenciát vizsgálunk, ahol az előzetes eredmények szerint megfigyelhető interferencia, holott semmi matematikai vagy egyéb oka nincs annak, hogy a nyelvtani nem és a számosság összekapcsolódjon.

Ezzel együtt is, az interferencia és más hatások interakciója egy releváns kérdés, amelyre a DSZR modellünk komputációs viszonylag magas szintű leírása nem ad választ. Ezzel szemben Tom Vergutsék a numerikus megismerés szakirodalomban jól ismert

konnekcionista modellje olyan specifikációkat is tartalmaz, amely ilyen interakciókat is jósol, és amely modelljük kompatibilis a mi modellünkkel. Az eredményeik alapján pl. a numerikus interferencia függ a feladattól (pl. párossági vagy összehasonlítási feladat) (Gevers et al. 2006 <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.1.32>). Fontos azonban azt is megjegyezni a disszertáció és a DSZR modell szempontjából, hogy a rendszer ezen tulajdonságai tudunkkal nem befolyásolják az általunk levont következtetéseket, ugyanis a vizsgálatainkban tesztelt specifikus tulajdonságok ettől az interakciótól függetlenek, vagy legalábbis nem tudunk olyan kritikus jelenségről, amelyet kritikus módon (a modellek predikciói mentén) változtatna meg egy ilyen interakció.

Ha az interferencia kialakulásának fázisát nézzük, akkor az eddigi példák reprezentációs szinten kialakuló hatások mellett érvelnek. Más adatok is felhozhatóak ennek alátámasztására. Például számos képkötő adat alapján szokás érvelni a reprezentációs fázis mellett a SNARC hatás kapcsán, ugyanis az egyszerű számfeldolgozást és a téri képességek egy részét is a parietális területen, egymással átfedésben lokalizálja az irodalom. Ezzel szemben más mérések a késői válasz szinten keresik az interferencia hatás kialakulását, és vélnek is találni bizonyítékot erre. Fontos azonban, hogy ebben a kérdésben a DSZR modell semleges, és miközben a reprezentációs fázis szerepét hangsúlyozzuk, nem zárjuk ki további mechanizmusok lehetőségét.

Egy negyedik fontos megjegyzés a kérdéssel kapcsolatban, hogy az irodalom egyre inkább hajlik arra, hogy a numerikus interferenciáknál sem egyetlen okot kell keresni, hanem többféle ok állhat a háttérben, és így az interferenciáknak különböző csoportjai létezhetnek (pl. a nem szimbolikus látszólag numerikus interferenciáknak egy perceptuális magyarázatát adja Arianna Felisatti és kollégái, 2020 <https://doi.org/10.1111/nyas.14418>), így az interferenciák vizsgálatánál ezt is figyelembe kell venni.

Összességében az interferenciák és más jelenségek interakciója lehetséges a jelenlegi modellek szerint is, miközben a válasz kiválasztás fázisa is szerepet játszhat. Azonban a modellünk ebben a kérdésben semleges, és nem tudunk olyan észszerűen feltételezhető interakcióról vagy további érvről, amely az eddigi eredményeink értelmezését megváltoztatná.

5. „Némileg kapcsolódik az előző kérdéshez. Az irodalomjegyzéket áttekintve úgy tűnik, az idegtudományi vizsgálatok bevonása megáll a 2010-es évek közepével. Ezt nem azért említem, mert az ilyen kutatások általában véve fontosak, hanem azért, mert arra alkalmasak, hogy elkülönítsék az információ-feldolgozás egyes összetevőit (akár idői akár téri vonatkozásban), valamint kapcsolatokat elemezzenek perceptuális és válasz szervezési műveletek között. A szerző szerint nem voltak újabban ilyen kutatások, ezek nem adtak releváns eredményeket, vagy más oka van annak, hogy az érvelésekből kimaradtak?”

Valóban az az oka annak, hogy viszonylag kevés idegtudományi eredményt idézünk, mert az

elméletek tesztje szempontjából nem láttuk relevánsnak. Ezzel együtt mi is úgy gondoljuk, hogy bizonyos kérdések megválaszolására ideálisak lehetnek. Végeztünk korábban a DSZR tesztjére vonatkozó EEG vizsgálatot, ahol alapvető módszertani nehézségek miatt a kritikus tesztet sajnos már nem lehetett elvégezni. Jelenleg is zajlik egy fMRI vizsgálatunk Jérôme Prado, Daniel Ansari, Kenny Skagerlund és Mikael Skagenholt közreműködésével, ahol specifikusan a DSZR tesztjét végezzük (részleteket lásd még lentebb, Zsidó Andrásnak adott válaszómban). Kapcsolódóan végeztünk neuropszichológiai sérülések esetében is méréseket hasonló céllal, amelyeket általános, a neuropszichológiai egyedi mérések túlzott zaja miatt függesztettünk fel, és dolgozunk az általános módszertani megoldásán. Összességében tehát az idegtudományi adatokat mi is kritikus fontosságúnak és más módszerekkel felcserélhetetlennek tartjuk bizonyos esetekben, és mi magunk is dolgozunk ilyeneken, azonban az irodalmi adatoknak csak egy szűk köre válik valóban relevánssá a szokásos módszertani problémák illetve az elméleti motiváció hiánya miatt.

6. „Manapság szinte kötelező, hogy bekerüljön a dolgozatokba, hogy alkalmazási szempontból mi a kutatások fontossága. Magam e vonatkozásban kisebbségi álláspontot képviselek, de a szerző természetesen ezt a vonatkozást nem mellőzhette, így a mért alapvető számolási hatások és a matematikai teljesítmények kapcsolatáról is beszámol. Az idői keretek nem engedik meg, hogy e kérdéskörben az ok-okozati láncot (a „miért” kérdést) részletesen tárgyalja, így a kérdés csak arra vonatkozik, hogy kapcsolat tekintetében mennyire egyértelműek az empirikus adatok.”

Valóban, az alapkutatásoknak nem kell önmagában gyakorlati jelentőséget felmutatni, az a végső hatásuk szempontjából nem kritikus a tapasztalatok szerint, sőt, épp kontraproduktív is lehet. Másfelől a tudomány társadalmi rangját végső soron a hasznosíthatóság adja meg. Ennek megfelelően, miközben a disszertációban bemutatott munkák alapvetően alapkutatások, az elméletnél és az eredményeknél felvethető az alkalmazhatóság kérdése is, amelyet a disszertáció 9. fejezete is részben érint.

A DSZR modell egyik fontos üzenete, hogy a szám összehasonlítási feladat nem abból az okból fontos, ami miatt évtizedeken keresztül a kutatók figyelmének fókuszában volt: a szimbolikus szám összehasonlítás távolság és nagyság hatása nem szemantikus feldolgozást tükröz, hanem az ingerek egyszerű statisztikai tulajdonságait követi. Ha valaki a szemantikus feldolgozás nyomát kereste a szimbolikus szám összehasonlítási feladatban, és emiatt dolgozott ki erre épülő tréningprogramokat vagy diagnosztikus eszközöket, akkor a DSZR modell szerint ez egy tévút volt. Ilyen értelemben a modellünk lezár egy lehetséges utat az alkalmazási lehetőségek közül, hogy felszabadítsa azokat az óriási erőforrásokat, amelyeket kutatók ennek a szám összehasonlítás feladatnak a szerepére fordítottak.

Egy másik érdekes szál, hogy a szimbolikus szám összehasonlítás távolság és nagyság hatásai több munka szerint korrelálnak az iskolai vagy más magas szintű matematikai teljesítménnyel. Ha ezek a hatások nem a számok szemantikus feldolgozását tükrözik, akkor

vajon mit? Mivel az empirikus tesztheink rendre azt mutatják ki, hogy ezek a hatások a számszimbólumok és a feladat ingereinek különböző statisztikai tulajdonságaira reagálnak, a kézenfekvő válasz az lehet, hogy a hatások a statisztikai tanulás egyes aspektusait tükrözhetik. Ez a feltevés észszerűnek tűnhet olyan szempontból is, hogy a matematikai gondolkodás feladatmegoldásainak kialakításában észszerű lehet a statisztikai tanulás bizonyos aspektusait feltételezni. Mindebből az is következhet, hogy a jól ismert paradigmákat és hatásokat elkezdhetjük új értelmezéssel használni a diagnózis és fejlesztés szempontjából. Több ilyen jellegű munka megfontolás és tervezés alatt áll a kutatócsoportunkban.

Ezen kívül egy fontos részlete a hatékonyság méréseknek, hogy az ASZR Weber állandóját nem szimbolikus (pont) összehasonlításokkal szokás elsősorban mérni, és a kérdés az, hogy ezek a mérések mennyire megfelelőek. Bár a jelen disszertáció elsősorban a DSZR és az ASZR modellek összevetésére fókuszált, tágabb értelemben az is egy alapvető kérdés, hogy ha a szimbolikus hatások esetében nem is az ASZR van a matematikai megértés hátterében, a nem szimbolikus (pl. pont) szám feldolgozás mögött az általunk javasolt hibrid modellben is az ASZR áll. Emiatt felmerül a kérdés, hogy az ASZR és a nem szimbolikus számfeldolgozás mennyire állhat a magasabb szintű matematikai gondolkodás mögött. Ez pedig pontosan az opponens által felvetett kérdéshez vezet: mennyire egyértelműek az empirikus adatok? A fő problémát az jelenti, hogy miközben itt egy klasszikus pszichofizikai küszöbmérésről van szó, mégis a gyakorlatban a mérés sok problémával küzd, különösen, ha gyerekeket mérünk. Ezek közé időnként olyan egyszerű problémák tartoznak, hogy a gyerekek nem értik a feladatot, és ezt a kutató nem veszi észre (a legkönnyebb feladatokat is véletlen szinten oldják csak meg), vagy hogy a nem figyelt próbákat (lapse rate) a szigmoid görbe illesztésnél nem veszik a kutatók figyelembe (vagy szigmoid illesztés helyett átlagos találati arányt számolnak, ami többek közt a nem figyelt próbák külön mérésének hiányával egyenlő), és a vélt Weber állandó mutatója valójában általános figyelmi képességekkel vegyül. Más esetekben a probléma komplikáltabb, pl. ahogyan Dana Chesney és az én munkáinkban kimutattuk (Chesney, 2018 <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1515-x>; Krajcsi, 2020 <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01939-6>), az irodalomban a szigmoid görbe „meredekségét” (normál kumulatív függvényt használva, a szórását) az arányhatás lineáris meredekségével közelítik, azonban a meredekség matematikailag nem triviális módon a Weber állandónak nem monoton függvénye, emiatt pl. korrelációs munkákat ez a „közelítési” módszer teljesen tönkreteszhet. Egy másik probléma, ami pszichofizikával foglalkozók számára talán triviális, de amellyel a numerikus képességekkel foglalkozók kevésbé néznek szembe, hogy pl. óvodás gyerekek esetében a Weber állandó mérése többnyire elég nem reliábilis. Vajon hány pszichofizikával foglalkozó gondolná úgy, hogy résztvevőnként 15 próbával megbízhatóan mérhetünk egyéni különbségeket? (Utóbbi kérdésben szintén van több aktuális munkánk, ahol a probléma mértékét mérjük fel, és több megoldási lehetőséget is tesztelünk.) A méréssel kapcsolatos problémákat egy átfogó nemzetközi együttműködés keretében egy módszertani írásban összegeztük (Krajcsi és munkatársai, 2024 <https://doi.org/10.1016/j.dr.2024.101131>), aminek a ki nem mondott konklúziója az, hogy a gyerekeknél az ASZR és a matematikai

gondolkodás közti kapcsolatot mérő vizsgálatok konklúzióinak döntő többsége invalid. Az opponens kérdésére tehát, hogy mennyire egyértelműek az empirikus adatok, a sajnálatos válasz az, hogy alig.

7. „Végül egy igazán apróság: a cím angol változatában a reprezentáció egyes számban, a magyarban többes számban szerepel. Van ennek valami oka?”

Nincs oka az eltérésnek, valójában magam nem vettem észre ezt a különbséget eddig. Mindkét megoldás indokolt lehet: egyfelől a lehetséges reprezentációkat vetjük össze (több reprezentáció), hogy végül valamilyen konklúzióra jussunk, hogy a két modell közül melyik a helyes (egy reprezentáció) az elemi szimbolikus számfeldolgozás hatásainak magyarázatára.

Megjegyzések

1. „Lehet, hogy ebben tévedek, de olvasatomban a Simon-effektushoz hasonló „a válasz-kódok téri szám-asszociációs hatása (Spatial Numerical Association of Response Codes (SNARC)) az előbbiekből [a háttérben a Weber elv feltételezéséből] nem következik, ez egy kiegészítő feltételezésből adódik.”

Valóban, a számfeldolgozás mögötti Weber elv feltételezéséből önmagában nem adódik a téri-numerikus interferencia magyarázata. Az első magyarázat (Dehaene és munkatársai 1993-as cikkéből, amely a SNARC hatást eredetileg leírta) szerint az ASZR-nek van egy téri jellege, amely interferenciát okoz a téri feldolgozással – ez tehát egy kiegészítő feltételezés a modellben. A jelenségre számos további magyarázat született, némelyik ASZR szerű reprezentációra épül, és mindezeknél valamilyen kiegészítő feltevésre van szükség (pl. az ASZR és a téri reprezentáció (vagy legalábbis bizonyos téri reprezentáció(k)) is folytonosak, és a hasonló reprezentációk interferálhatnak). Némelyik magyarázat további részleteit a disszertáció 7. fejezete is tárgyalja.

2. „Nem meglepő, hogy a témakörben nem szakember bírálóhoz hasonlóan e pszichofizikai elmélet Krajcsi Attilának sem tetszett”

Kiemelném, hogy a szimbolikus számfeldolgozás pszichofizikai modellje a pszichofizikát jól ismerők számára (mint ahogyan az opponens számára is) szinte triviálisan tévesnek is tűnhet: szinte mindenki tudja, hogy a 68 nagyobb, mint a 67, de vélhetően a legtöbben csak találgatni tudnak, hogy az alábbi két vonal közül melyik a hosszabb (miközben nem valószínű, hogy nagyságrendekkel kisebb Weber állandóval rendelkezhetnének számokra):

Másfelől persze a perceptuális rendszerek pszichofizikai jellemzője és a számok lehetséges

pszichofizikai jellegének hasonlósága tette a modellt izgalmassá és vonzóvá – a disszertáció eredményei szerint tévesen.

3. „Magam egy írásomban elpanaszoltam és példával is szemléltettem, hogy hiába derül ki egy modellről, hogy nem működik, ha az jól tanítható és kellő tekintély támasztja alá, az elmélet továbbra is a terület általánosan idézett alapvető magyarázata marad. Csak remélni tudom, hogy Krajcsi Attila munkája nyomán a »Hozzávetőleges számrendszer« (ANS) modell a szimbolikus reprezentációk esetére nem ebbe a csoportba fog tartozni.”

Sajnos az eddigi jelek szerint a DSZR modell is ebbe a csoportba tartozik, ezt én is csak tudomásul venni tudom. A modellt először 2016-ban megjelent cikkünkben mutattuk be. Ennyi idő elég kellene legyen egy nem csak helyes, hanem vonzó elmélet elterjedéséhez. Ennek ellenére a munkáinkat továbbra is viszonylag kevesen idézik, szemben az ASZR dominanciájával.

Fontos, hogy (a) a DSZR mellett, illetve az ASZR ellen érvelő adataink robusztusak: mi magunk, és több esetben mások is, megismétlik az eredményeket, és a jelenségek nagy része nagy hatásmagyságú statisztikai értelemben, (b) nem ismerünk a modellünknek ellentmondó empirikus eredményt, illetve sok kollégával beszélve, nem hoztak fel kritikus ellenérveket a modellünk vagy az empirikus adatokkal kapcsolatban, (c) idővel számos empirikus, és újabban összegző cikkünk is megjelent, illetve számos konferencián ismertettük az adatainkat (elsősorban a numerikus megismerés több ezres résztvevőjű MCLS konferenciáján), emiatt a modellünkkel legalább több százan találkoztak már a kutatási területünkön belül, (d) sokan keresnek meg minket pozitív visszajelzéssel a munkáink kapcsán, illetve szinte minden általunk kezdeményezett nemzetközi kooperáció felkérését elfogadják a kollégák.

Mindezek és további szempontok miatt is azt gondoljuk, hogy a modellünk helyes, azonban kuhni értelemben vett paradigma váltást jelent. Emiatt arra lehet számítani és azt is tapasztaljuk, hogy a matematikai megismeréssel foglalkozó konferencia előadások és tudományos cikkek statisztikai alapján a terület legfontosabb és leggyakrabban kutatott modelljét nem lehet könnyen és gyorsan lecserélni, akkor sem, ha az érvek és az empirikus adatok meglepően egyértelműek és koherensen az általunk javasolt modell irányába mutatnak. Az ASZR egy egyszerű, vonzó, és a jelek szerint megkövesedett modell, amelyet gyorsan nem lehet lecserélni azzal, hogy egy alternatív modell helyesebb. (További kapcsolódó részlet is található Aczél Baláznak adott válaszában.)

Ez a numerikus megismerés területén sem egyedülálló sajnós. A Routledge kiadónál hamarosan megjelenő új numerikus megismerés kézikönyvének egy fejezetét írjuk Hilary Barth, Andrea Patalano, Declan Devlin és Natalia Dubinka kollégákkal, és a szám összehasonlításán túl tárgyalt számegyenes becslési feladat és sorba rendezési feladatok tanulsága is ugyanaz, mint a mi esetünkben: a tudományterület kutatói továbbra is

dominánsan olyan reprezentációt tételeznek fel és olyan motivációval használják a releváns paradigmákat, amelyek ellen világos és egybehangzó empirikus cáfolatok vannak, ám a korábbi elméletek vonzóságát a helyesség kritériuma nehezen tudja felülmúlni.

Aczél Balázs bírálata

Kérdések

1. „A bemutatott empirikus munkák egyik gyakori és központi eredménye, hogy a szerzők egyes kapcsolatokra vagy hatásokra nem találtak pozitív eredményt. Egy helyen az ilyen nem-szignifikáns eredmények értelmezése expliciten ki is van mondva “the effect was not significant[...]. The lack of significance could mean the lack of PDE, or it could reflect the lack of statistical power, or both.” (p.96). Kérdésem, hogy a szerzők nem fontolták-e meg olyan statisztikai módszerek alkalmazását, melyek képesek különbséget tenni az inkonklúzív és a negatív eredmények tekintetében, például az ekvivalencia teszt vagy a Bayes factor eljárások segíthetik a kutatót abban, hogy nemszignifikáns eredmények esetében is tudjon állításokat tenni a hipotézist illetően.”

Valóban, önmagában a frekventista hipotézis tesztek nem elegendőek a null hatások igazolására. Ezt szándékom szerint minden esetben kezeljük, legtöbbször az alábbi megoldások egyikével vagy ezek kombinációjával:

- A talán a legtöbb kutató vagy legalábbis módszertannal foglalkozó kutató által elfogadott megoldás a bayesiánus teszt használata, ha az alternatív hipotézisek paramétereire észszerű becslések tehetőek. A disszertációban a bayesiánus szó változataira rákérdezve meglepve tapasztaltam, hogy ezekben a munkákban éppen nem használtunk ilyen elemzéseket, bár más munkáinkban ezek megjelennek.
- Sokak számára talán nem triviális módon, a bayesiánus megoldással koncepcionálisan analóg (de számítási módjában nem ekvivalens) módon az erőelemzéssel kiegészített frekventista hipotézis teszt is elvégzi ezt a feladatot. A bayesiánus megoldásban a számítás azt mérlegeli, hogy két hipotézis (vagy súlyozott hipotézis csoport) közül melyik valószínűbb az adatok fényében. Ezzel analóg módon az erőelemzés a frekventista eljárásban az eredeti nullhipotézist kiegészíti azzal a feltevessel, hogy ha az alternatív hipotézis igaz, az csak egy minimális hatásnagyságnál nagyobb lehet. Fontos hangsúlyozni, hogy ez koncepcionálisan hasonló a bayesiánus megoldáshoz olyan értelemben, hogy a két hipotézis csak egymás viszonylatában vagy együttesen értelmezendő, nem egymástól függetlenül, önmagukban. Ezzel a hatásnagyság feltevessel a szignifikáns eredmény az alternatív hipotézist igazolja, míg a nem szignifikáns eredmény itt a nullhipotézist igazolja (hiszen az előfeltevésünk miatt a statisztikai erő hiány értelmezés már nem jöhet számításba).

- Adott esetben az Új statisztika kezdeményezésnek megfelelően a konfidencia intervallumok is segítik az ilyen értelmezést. Ez koncepcionálisan rokon megoldás az ekvivalencia tesztekkel.
 - Ha a hatásnagyságra nincs észszerű megfontolás, akkor pedig a fenti példához hasonlóan az inkonzisztivitást fontos hangsúlyozni. Érdemes itt is megjegyezni, hogy ilyen esetben a bayesiánus elemzés sem adna megoldást, hiszen az az alternatív hipotézisről is tartalmaz feltevést – és ez akkor is igaz, ha a kutató nem állítja be azt expliciten, hanem az elemzés alapértelmezett paramétereit használja. Más szóval, a bayesiánus elemzés impliciten mindig alkalmaz egy erőelemzéssel rokon hatásnagyság becslést, ami azonban nem használható, ha szakmailag teljesen nyitott a hatásnagyság kérdése.
2. „A bemutatott munkákból nem tűnt ki világosan, hogy a disszerens és közvetlen kollégáin kívül más kutatócsoportok foglalkoznak-e ezen alternatív modell tesztelésével. Miben látja a disszerens a nemzetköziesedés lehetőségeit és akadályait?”

Egyelőre csak korlátozottan foglalkoznak más csoportok a modell tesztelésével. Számos olyan vizsgálatot ismerünk, ahol a tesztjeinkben kimutatott hatásokat replikálják (pl. a disszertáció 7. fejezetében leírt számosság-párosság interferenciát pl. Krzysztof Cipora és munkatársai is replikálták). Ismerünk olyan munkákat, amelyek tőlünk függetlenül igyekeznek a modellt tesztelni, de ismereteink szerint a tesztek komoly módszertani problémákkal küzdenek, ami miatt itt nem is jelölnénk meg konkrét laborokat. (Valóban, a mi tesztjeink is nagyon hosszú és alapos tervezésen és elővizsgálatokon mennek keresztül, amíg végleges formájukat elérik.) Ezen túl több olyan munka is folyamatban van, ahol a mi modellünket nemzetközi együttműködésben teszteljük, például a Czigler István bírálatára adott válaszokban említett fMRI vizsgálatban.

A legkomolyabb korlát azonban az, hogy ahogyan azt szintén Czigler István bírálatára kapcsán kifejtettem, a munkánk a jelek szerint túl radikális váltást jelent az évtizedek óta beágyazódott ASZR modellel szemben, és a tudomány természeténél fogva nem számíthatunk gyors változásra. Ilyenkor már azt is előrelépésnek tekintjük, ha az alternatív elméletek részleteit vagy alapjait kezdik el tesztelni. Például a gyerekek számfejlődése kapcsán több helyütt leírtuk (például Krajcsi és Reynvoet, 2024 <https://doi.org/10.1111/desc.13430>), hogy a jelenleg használt, 90-es évek eleje óta dominánssá vált tesztelési módok pontatlanok, és emiatt a konklúziójuk invalid. Ez a javaslatunk is csak nagyon lassan tud gyökeret verni. Egy nemzetközi együttműködés, a ManyNumbers (<https://www.manynumbers.org/>), amely több, mint 100 labor 250 kutatójának munkáját fogja össze néhány alapvető kérdés megválaszolására, többek közt az egyik általunk javasolt módszertani módosítást ellenőrzi. Ez tehát még nem a korábbi fejlődési leírások általunk nyújtott radikális átértelmezésének és a modellünknek a tesztelése, hanem csak az egyik módszertani módosításunk, és az egyik megfigyelt mintázat változásának az ellenőrzése/replikációja. Hasonló replikációt látunk pl. Anna Shustermanék csoportjában (Rovero és munkatársai, 2025 <https://escholarship.org/uc/item/9fc6j3d6>).

Egyelőre azonban közös ezekben a munkákban, hogy csak az eredményeink kiinduló pontjait ellenőrizzük.

A fentiekkel szemben az a néhány munkánk, amely mögött a kiindulási pont egy kevésbé váratlan, kevésbé radikális, vagy a mai modellekbe könnyebben integrálható ötlet, és amelyen általában a koncepcionális egyszerűsége miatt hosszasan gondolkodom, hogy egyáltalán érdekes-e eléggé, hogy érdemes legyen a kutatást végrehajtani, tipikusan több idézést és gyorsabb befogadást eredményeznek.

Összességében a munkáink többsége viszonylag lassan terjed el és válik elfogadottá a kutatói közösségben, és a kutatócsoportom munkáinak természete miatt a legtöbb kutatási témánk esetében sajnos nem lehet gyorsabb terjedésre számítani a továbbiakban sem.

3. „A magasabb-szintű matematikai gondolkodással kapcsolatban a disszerens érdekes felvetéssel él a 9. fejezetben, miszerint a számmegértésnek három fő forrása van: A perceptuális lehorgonyzás, a fogalmi rendszerrel való kapcsolódások és a dinamikus szemantikus megértés. A felvetés mindenképp izgalmas és új utakat nyithat a kérdéskör tisztázására, de nem derült ki világosan, hogy a felvetés empirikusan hogyan lenne tesztelhető és mindez hogyan kapcsolódik a DSS modellhez vagy annak hibrid változatához.”

Valóban nem triviális, hogy ezeket az irodalomban is kevésbé tárgyalt reprezentációkat vagy a reprezentációk közt lévő viszonyokat hogyan lehet vizsgálni.

Ami a DSZR szerepét illeti, ott a modellünk egyik elsődleges üzenete az, hogy a szimbolikus szám összehasonlításához és más elemi feldolgozáshoz kapcsolódó hatások nem a számok szemantikus feldolgozását tükrözik, hanem az ingerek statisztikai tulajdonságait, emiatt (a) ezek a hatások és a háttérben lévő reprezentáció nem relevánsak a magasabb szintű matematikai megértés kutatásában, (b) vagy relevánsak, de azért, mert a hatások statisztikai tanulást tükröznek, és a statisztikai tanulásra való képesség vagy annak egyéni paraméterei befolyásolhatják a magasabb szintű matematikai gondolkodásban látható egyéni különbségeket.

Ami az egyéb lehetőségek empirikus vizsgálatát illeti, erre nincs egyetlen egyszerű válasz, mert sok esetben a reprezentáció maga sem ismert, illetve sok egymástól többé-kevésbé független reprezentációról vagy mechanizmusról van szó. Emiatt csak két példát adnék arra, hogy korábban hogyan vizsgáltunk olyan jelenségeket, amelyek a mostani tudásunk szerint ezekről az alternatív reprezentációkról mutatnak be részleteket. (1) Az egyik vizsgálatunkban (Krajcsi, Kojouharova és Lengyel, 2021, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.583734>) óvodásokat kértünk összehasonlítási és összeadási feladatokra ahol a nulla számot is használni kellett, miközben arra vonatkozó metatudás kérdést is feltettünk, hogy a nulla, illetve más értékek számok-e (miközben egy

sor egyéb dolgot is kontrolláltunk). Az eredmények szerint, amint a gyerekek 3 éves koruk körül megértették a pozitív egész számok egy részét, rögtön tudták a nullát is kezelni összehasonlítási és összeadási feladatokban. Ez egy önmagában is meglepő eredmény, mert sok elképzelés szerint a nulla megértése és kezelése komplikált, illetve ezek a gyerekek a pozitív egész számokat sem értették még teljesen (úgynevezett alhalmaz-tudók voltak), mégis tudták a nullát használni. A másik fontos eredmény szerint viszont fogalmuk sincs, hogy a nulla az szám-e (a feladatban véletlenszerűen teljesítenek), miközben tudják, hogy az ajtó nem szám, és a kettő az szám. Az aktuális modelleket végigvéve arra jutottunk, hogy ezt a mintázatot (nullát tudják kezelni, de nem tudják, hogy az szám-e) egyik modell sem tudja kezelni. Ehelyett azt javasoltuk, hogy a számokat a halmazok tulajdonságaiként fogják fel, és ha a halmaz elemei elfogynak, nincs értelme a nem létező halmaz tulajdonságairól gondolkodni (hasonlóan bizarr lenne, mint Lewis Carroll történetében az eltűnő macska, aminek a mosolya megmarad). (2) Egy másik példa a helyiérték és jelérték számjelölések vizsgálata (Krajcsi és Szabó, 2012 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00463>), ahol egy mesterséges számjelölés rendszert dolgoztunk ki hosszú kritérium listával (könnyen legyen tanulható; ne legyen transzfer a már ismert, pl. arab vagy római számokkal; ne befolyásolja a szimbólumok vizuális jellegzetessége; kontrollálhatóak legyenek olyan heurisztikák, amelyekkel rossz eljárással helyes eredményre juthatnak; stb). Elméleti megfontolásaink csak azt jósolták, hogy a jelértéknek nem kellene nehezebbnek lennie jól kontrollált körülmények közt, mint a helyiértéknek (holott a matematikai, matematikatörténeti, kognitív, stb. leírások döntően az ellenkezőjét állítják), ám az meglepetés volt, hogy a jelérték kezelése nem hogy nem nehezebb, hanem még könnyebb is. A nullával kapcsolatos munkánkhoz hasonlóan az aktuális számrepresentációs modellek nem tudták megmagyarázni ezt a mintázatot, emiatt egy új modellt javasoltunk. A modell szerint a számokat a tárgyak és azok csoportjaiként értjük meg eredetileg, és a jelérték jelölés komputációsan ehhez közelebb áll. Vagyis ez is egy új (és a nulla kapcsán javasolt modellel rokon) elképzelés. A két példa és további lehetséges példák mellett is, nincs általános recept a további lehetséges reprezentációk vizsgálatára. Ehelyett itt is a DSZR tesztek többségéhez hasonlóan az ötletek és új elgondolások sokaságára lehet szükség.

4. „Az utolsó egy nehezebb kérdésem, mert a szerző elméleti elköteleződésére vonatkozik. Egy popperi tudományban a kutató a történeti és személyes kontextustól függetlenül kellene értékelje az empirikus adatokat és tennie fel kérdéseit. Minden erőfeszítésével azon kellene dolgozni, hogy megdöntse saját hipotézisét. Ez persze nem egy valós leírása annak, ahogy a kutató működik. Ha sokat foglalkozunk egy témával és letesszük a voksunkat elméletek mellett vagy ellen, akkor egyre nehezebb lesz nem ezen a szemüvegen keresztül szemlélni a tényeket. Kérdésem, hogy nem lehetséges-e, hogy az ANS és DSS modell pártolói is hasonlóan be tudnak szorulni vésőállásaik mögé. Kérdésem továbbá, hogy a szerző hogyan látja szűkebb területét és a saját munkásságát ebben a viszonylatban. Lát-e olyan módokat, amivel tudatosan vagy nem, de a szakértők elköteleződése elhomályosíthatja az objektivitást? Ha igen, akkor tud-e ezen bármi javítani (pl. szakmai kultúra, preregisztráció) általános viszonylatban és a saját területén?”

Sok szempontból ez a kérdés az egyik legkritikusabb és legfontosabb a munkáink kapcsán.

Először is a legfontosabb válasz az, hogy a kutató emberként a mai ismereteink szerint nem fog tudni megszabadulni a saját előfeltevéseitől vagy prekonceptióitól. Mindent kivédő eljárást tudtommal senki nem ismer. Ezzel együtt is sok olyan megoldás létezik, amelyek ezeknek a torzításoknak az esélyeit csökkentik – és ugyanakkor a legtöbb ilyen megoldás is időnként félresiklik illetve csak részleges megoldást ad. Felsorolok néhányat, amelyet a munkáinkban rendszeresen használunk, és amelyeket nem látok rendszeresen más kutatócsoportok gyakorlatában.

- Specifikusan a DSZR vs. ASZR tesztjeinknél olyan jelenségeket keresünk, ahol a két modell jóslata eltér. (Meglepő módon az irodalomban korábban publikált adatok döntő többsége olyan, amelyet a DSZR és az ASZR hasonlóan jósol – emiatt is lehet persze első közelítésben a DSZR ugyanolyan jó modell, mint az ASZR). Ilyenkor az eltérő jóslatok mellett teljesen nyitott, hogy az eredmények az egyik vagy a másik modell jóslatát erősítik-e meg. Ez idáig kivétel nélkül azt láttuk (a disszertációban közölt cikkekben, más publikált cikkekben, és az eddigi folyamatban lévő munkáinkban is), hogy az adatok összhangban vannak a DSZR modellünkkel (vagy tágabb értelemben a hibrid ASZR-DSZR modellel), ám cáfolják az ASZR modellt (vagy tágabb értelemben a tiszta ASZR modellt). Holott kijöhettek volna olyan eredmények is, amik az ASZR-t támogatják, és a DSZR-t cáfolják. Ezekben a tesztekben tehát az eredmény a mérés előtt mindig nyitott, így ez az aspektus nem lehet egy lehetséges elfogultság mechanizmusa.
- A legtöbb esetben olyan eredményeket közlünk csak publikációkban, amelyeket mi magunk is replikáltunk, pl. egy nagyobb létszámú előkísérletben, vagy amikor a paradigmát elsőre rosszul állítjuk be, és emiatt jól ismert alaphatások sem látszanak, akkor az újrhangolt paradigmában. Bizonyos esetben ezek nem lehetségesek praktikus okokból, pl. fMRI vagy csecsemő vizsgálatoknál a mérések erőforrás igényessége miatt ez a lehetőség korlátozott, ám felnőtt viselkedéses méréseknél, vagy sok esetben óvodások esetében is az ilyen jellegű replikáció viszonylag könnyen kivitelezhető. Utólag visszatekintve sem tudunk arról, hogy bármelyik közölt eredményünk pl. elsőfajú hiba lenne (ami replikáció nélkül például komoly eséllyel előfordulhat).
- Az elemzéseket illetve a szimulációkat tipikusan legalább két labortag egymástól függetlenül végzi el, pusztán a célokat és a főbb módszereket rögzítve, hogy a kimazsolázást (cherry picking), elemzési tévedéseket, szoftver hibákat, stb. elkerüljük. Nagyjából az esetek 10-20%-ban találunk eltéréseket a különböző számítások között, amelyek egy jó része számítási hiba, így viszonylag sok elemzési problémát tudunk ezzel a módszerrel elkerülni. Empirikus mérések pedig megerősítik, hogy hasonló nagyságrendű hiba fordulhat elő ilyen okokból a publikált adatokban azon laborok munkáiban, amelyek ilyen jellegű óvintézkedéseket nem vezetnek be.
- A modellek, a jóslatok, az eredmények kimenetének a végiggondolásakor mindig igyekszünk a legtöbb alternatív magyarázatot és ellenérvet végiggondolni. Van sok

értelmetlen vagy félreértésen alapuló kritika is, amivel gyakran találkozunk a lektorok részéről (vagy gyakran találkozom lektorként a lektortársak véleményeiben), amelyeket szintén igyekszünk már a tervezésnél is kivédeni, de ezeket szem előtt tartjuk az elemzéseknél és az értelmezésnél is.

- Ezen túl elég sokat beszélgetünk és levelezünk a terület kollégáival, kifejezetten bátorítjuk őket, hogy kritizálják a munkáinkat, és hogy mutassanak rá a gyengeségekre. Ez is segít egyes hiányosságokat kijavítani.

Az eddigi példák arra vonatkoztak, hogy a laboron belül hogyan igyekszünk az elfogultságot elkerülni. Van azonban több olyan pont is, amely a szerkesztők vagy a lektorok szempontjából segíthet a helyzeten. Itt is olyan szempontokat említek, amelyek ritkábban vagy tudtommal soha nem fordulnak elő a módszertani irodalomban.

- Az egyik fontos torzító tényező, hogy a szerkesztők arra optimalizálnak, hogy ne jelenjen meg olyan cikk, ami utólag hibásnak bizonyul, mert az hátrányos a lap reputációjára és az ő szerkesztői munkájukra nézve. Azonban az nem okoz ilyen jellegű problémát, ha valamilyen értékes munkát elutasítanak, mert az kívülről nézve nem látszik. Utóbbi csak néhányszor, közvetve derül ki, pl. Baddeley és Hitch óriási hatású klasszikus munkamemória cikke, amely a lapok elutasításai miatt könyvfejezetként jelent meg végül. Ha adott esetben az elutasítások is publikusak lehetnének, akkor pl. nem történhetne meg olyan, hogy beküldünk egy cikket az ASZR modell problémáiról egy vezető lapnak, és a szerkesztő, aki az ASZR szerepét taglaló munkáiról ismert, azt mondja, hogy ez a téma nem fontos (tehát nem azt mondja, hogy hibás a vizsgálat, rosszul van megírva, invalid az érvelés, stb., hanem hogy a téma maga nem fontos – ami témának a szerkesztő a hírnevét valójában köszönheti). Sajnos nagyon sok ilyen negatív példánk van nyilvánvalóan rossz szerkesztői döntésekről.
- A legtöbb lap másik komoly problémája, hogy többnyire 1 vagy 2 kör lektori véleményt és választ tesznek lehetővé, mondván, hogy ha ennyi idő alatt nem sikerül dűlőre jutni, akkor a kézirat nincs jól megírva. Ez az érvelés sok esetben igaz is lehet, azonban olyan munkáknál, ahol a mondanivaló váratlanabb, és nehezebben befogadható a számos beidegződés és megkövesedett elképzelések miatt, 1 vagy 2 kör gyakran nem elég. Több körös megoldást viszonylag könnyen meg lehet valósítani a mai technikai lehetőségek mellett, lásd pl. a Frontiers lapcsoport megoldását, ami ráadásul a szerkesztő idejével is takarékos, hiszen a szerző és a lektorok közvetlenül tudnak a lap szerkesztői felületén kommunikálni. Azt gondolom, nem véletlen, hogy a két legváratlanabb és legerősebb DSZR cikkünk is a Frontiers in Psychologyban jelent meg, ugyanis a többi lapnál nem volt elég idő és lehetőség a lektorokat meggyőzni arról, hogy a váratlan ötletünk miért reális lehetőség. A későbbi cikkeink a hagyományos tudományometriai értékelések szerint egyre jobb lapokban jelentek meg, miközben az újdonságok ezekben a cikkekben értelemszerűen egyre kisebb volt, hiszen egyre több eredmény részlet volt már replikáció vagy egyre több részlete volt a modellnek már ismert.

- Egy újabb lehetőség, amit az utóbbi idők technikai fejlődése tesz lehetővé, hogy amikor vita van a lektorok és a szerzők közt arról, hogy egy szöveg tartalmaz-e bizonyos érveket, vagy a szöveg mi mellett érvel, akkor a MI segítségével a szöveg egy viszonylag semleges feldolgozása lehetséges (semleges olyan értelemben, hogy a szokásos kulturális formákat a szoftver ismeri, de a konkrét munka esetében nincs motivált elfogultsága). Ez egy komoly segítség lehet akár a szerkesztőknek, akár a lektoroknak és a szerzőknek, hogy alátámasszák az érveiket.

Megjegyzések

1. „Krajcsi Attila disszertációjában kilenc fejezetten keresztül foglalja össze tudományos munkásságának zömét, mely egy központi tézis köré épül fel a számreprezentáció egy alternatív modelljét illetően.”

Bár a DSZR modellünk a kutatócsoportunk munkáinak komoly részét fedi le, korántsem adják ki a munkáink zömét. Ezen túl számos további témával foglalkozunk vagy foglalkoztunk az évek során numerikus megismerés, illetve adatfeldolgozás és statisztikai témákban. Néhány fontosabb példa a kutatásainkból:

- A PhD munkám kapcsán a kis halmazok gyors és pontos kvantifikációjáról (szubitizáció) mutattam ki, hogy a jelenség elsősorban az akkor dominánsan érvénytelennek tekintett alakzatdetekció a felelős.
- A helyiérték és jelérték kapcsán mutattuk ki elméleti és empirikus alapon is, hogy a matematikai és kognitív közvélekedéssel ellentétben a jelérték jelölés a könnyebb egyszerű számítások elvégzéséhez. Egy utóbbi időben elkészült munkánkban azt mutatjuk ki, hogy a helyiérték kezelése szelektíven és markánsan sérül a fejlődési diszkalkulia egy altípusában. Egy aktuális munkánkban azt igyekszünk kimutatni, hogy a számjelölés kognitív/komputációs kezelése miatt hogyan vezethet egy területáltalános végrehajtó funkció zavar egy területspecifikus matematikai deficithez.
- A jelen disszertációban bemutatott munkák a numerikus megismerés vélhetően legtöbbet kutatott domináns ASZR modelljének az alternatíváját mutatja be, számos elméleti megfontolással és empirikus teszttel támogatva. Azonban a mi modellünkben is lehet valamekkora szerepe az ASZR-nek, bár egyáltalán nem olyan domináns, mint a klasszikus modellben. Emiatt fontos mindezt empirikusan is megfelelően mérni, különösen, hogy az irodalomban elterjedt módszerek számos problémával küzdenek. Kapcsolódó munkáinkban számos problémát azonosítottunk, és megoldási javaslatokat dolgoztunk és dolgozunk ki.
- A gyerekek számfejlődésének egyik legkritikusabb pontja, amikor 3-4 éves koruk körül megértik a szimbolikus számok jelentését. A folyamat leírása és a magyarázó elméletek is vitatottak jelenleg. A munkáinkban a fejlődés menetének mérőeszközeinek számos

problémáját azonosítottuk, alternatív eljárásokkal a fejlődés új menetét írtuk le, és a fejlődés mögötti mechanizmusokra új modelleket javasoltunk.

- A nulla megértését több korosztályban vizsgáltuk. Óvodásoknál a megértés kettős természetét mutattuk ki, tisztázva a korábbi szakirodalmi adatok látszólagos ellentmondásait. Felnőtteknél a DSZR modellel összhangban lévő mintázatokat tapasztaltunk. Összességében pedig ezek az adatok a számok többszörös reprezentációját mutatják ki.
- A reliabilitás kapcsán több munkánk készült el vagy van folyamatban, pl. hogy a reliabilitás paradoxon miért egy félreértés, és nem paradoxon; a bootstrapping alapú reliabilitás számítás szakirodalomban javasolt változata miért ad hibás eredményeket (pl. véletlenszerű, vagyis 0 reliabilitású, adatokra adott esetben 0.5 reliabilitást mutat ki). Egy másik munkában kimutatjuk, hogy az irodalomban erőelemzéseknel 80% erőt használnak tipikusan a kutatók, ami Cohen eredeti javaslatának félreértésén alapul, és ami hozzájárul a replikációs krízishez.
- Szintén alapvető fontosságú a továbbra is egyedülálló automatikus statisztika szoftverünk fejlesztése, amely a statisztikai kogníció kutatások eredményeit is részben integrálja, és amelyről empirikus mérések is igazolják, hogy a használók hatékonyabban végeznek elemzést az egyedi elemzés statisztikai szoftverek (vagyis minden más szoftver) használóiánál.

2. „Ahogy megértettem a DSS megközelítésében a nagysághatás egy gyakorisági jelenség.”

Igen, a nagyság hatás az empirikus tesztjeink alapján az ingerek gyakoriságától függnek elsősorban és dominánsan.

Zsidó András bírálata

Kérdések

1. „A DSZR érthető módon egy elmélet keretrendszerét vázol fel, ugyanakkor jó lett volna többet megtudni működésének formális, kvantitatív modelljéről, ide értve például a kapcsolatok súlyozását és az aktiváció terjedését (vagy ezek interakcióját).”

Valóban, ez egy lehetséges kibővítése lehet a modellnek, amely izgalmas további részleteket tárhat fel. A kutatócsoportunk egyelőre szándékosan nem foglalkozott ezzel a kiterjesztéssel, mert az elsődleges kérdés, hogy a dominánsan elfogadott ASZR modell helyes reprezentációs típust javasol-e vagy sem, és ez a viszonylag egyszerű, specifikus implementációkat korlátozottan tartalmazó leírás is számos tesztelhető jóslatot tesz, amelyet sikeresen tudtunk felhasználni.

Ezzel szemben több konnektionista modell is elérhető a szakirodalomban, amely a DSZR modellel összhangban van, így például a disszertációban is többször említett modell Tom

Vergutsék kutatócsoportjából. A modellt felfogható a DSZR specifikus implementációjaként is. Fontos azonban megjegyezni, hogy ennek a konnekcionista modellnek szándékai szerint bármilyen leírás megfelelő, amely a viselkedéses adatokat megjósolja, és nincs reprezentációs típus elköteleződése az ASZR modellhez képest. Ez az elköteleződés vagy motiváció hiánya érdekes helyzetekhez vezet. Stanislas Dehaene, az ASZR modell egyik legfontosabb támogatója és képviselője, Tom Vergutsék konnekcionista modelljét az ASZR egy lehetséges implementációjaként írja le, holott ez az értelmezés helytelen, hiszen az adott konnekcionista modell a nagyság hatást csak az ingerek egyenetlen eloszlásával tudja produkálni, ami egy pszichofizikai rendszerben, mint az ASZR, nem lehet előfeltétel. Tom Vergutsék maguk tudtommal semelyik cikkükben nem jelzik, hogy a konnekcionista modell minőségileg egy pszichofizikai modell implementációja, vagy egy más jellegű reprezentáció. Az elköteleződés vagy motiváció hiányát Tom Verguts személyes közlése is megerősíti.

Miközben tehát a mi funkcionálisan magasabb szintű leírásunk és a technikailag specifikusabb konnekcionista modellek összhangban vannak, a modellek mögötti megfontolások és motivációk eltérőek, és a maga módján mindkét megközelítés hatékony, hiszen fontos új predikciókhoz és empirikus tesztekhez vezet. A mi megközelítésünk a mi céljaink elérésére elégséges volt, miközben a modell specifikusabb részletei is érdekes és hasznos új tudáshoz vezetnek. A mi kutatócsoportunkban egyszerűen csak nem a specifikus részletek, hanem a reprezentációk alapvető típusa volt a fő kérdés.

2. „A DSZR kapcsán egyértelműen megjelenik, hogy ez nem a számok szemantikus megértésén alapul, hanem sokkal inkább statisztikai információkra, tulajdonságokra és sajátosságokra. Ezért talán mégis meglepő, hogy a nem szimbolikus számok feldolgozását az ASZR végzi (továbbra is) és nem elképzelhető egy „tisztán” DSZR keretrendszer. Ugyanakkor, a statisztikai információkra vonatkozóan bár a kísérlet módszertan sokszor az egyéni különbségeken túli általános összefüggésekre fókuszál, mégis érdekes kérdés, hogy melyek azok az egyéni különbségek és környezet faktorok, amelyek feltehetően befolyásolhatják a DSZR működését.”

A nem szimbolikus szám összehasonlítás a mi, szakirodalomhoz képest szigorúbb tesztjeink szerint is a Weber elvet követi. Az ilyen jellegű pszichofizikai folyamatok dominánsan nem érzékenyek a környezet statisztikájára. Például a küszöb adaptív mérésekor egyes arányokat gyakrabban, másokat ritkábban mutatunk, ez a gyakorlat szerint mégsem befolyásolja radikálisan a mért küszöböt. (Lásd még Czigler István 3. kérdésére adott választ. Illetve megjegyezhetjük, hogy egyes pszichofizikai modellek éppen az ingerek bizonyos statisztikai tulajdonságaiból vezetik le a mért viselkedéses mintázatot, de nem olyan jellegű statisztikai hatásról van szó, mint amit a DSZR modell kapcsán kimutattunk a szimbolikus szám összehasonlításnál.) Mindezek miatt nehezen képzelhető el, hogy egy DSZR jellegű rendszer lenne felelős a nem szimbolikus szám feldolgozásért.

Nagyon izgalmas kérdés az egyéni különbségek szerepe, amelyet ez idáig valóban nem vizsgáltunk, de többször felmerült már ennek a lehetősége a csoportunkban, más laborokkal való lehetséges együttműködésben is. Az ehhez vezető út fokozatait itt három fázisban jellemezném, ahol az első kettő fázist már elértük, és bármikor elképzelhető, hogy a 3. fázissal kapcsolatos munkát is elkezdjük. (1) Az egyéni különbségek mérésének egyik gyakran figyelmen kívül hagyott előfeltétele, hogy a mutatók megfelelő reliabilitásúak-e. Ez a kérdés hangsúlyos a disszertáció 8. fejezetében is, ahol többek közt kimutatjuk, hogy az egyéni különbségek mérésében nagyon gyakran alkalmazott összehasonlítási távolság hatás a szokásos mérési módszerekkel várhatóan megfelelő reliabilitású, míg például az előfeszítési távolság hatás megfelelő reliabilitását csak személyenként sok óras méréssel lehet biztosítani. A disszertáció 6. fejezete szintén jelzi, hogy a szimbolikus és nem szimbolikus távolság és nagyság hatások megfelelő reliabilitásúak. A reliabilitás megfelelőisége tehát nem triviális, de sok itt releváns mutató szerint mégis megfelelőnek tűnik. (2) Több itteni munkánkban is egyes hatások korrelációját vizsgáljuk, amely lényegében az egyéni különbségek összefüggéseit vizsgálja. Az említett 6. és 8. fejezet ilyen összefüggéseket tár fel, időnként kognitív kutatásokban szokatlan kvantitatív statisztikai jóslatokkal. Például a 6. fejezetben a nem szimbolikus összehasonlítás hibrid ASZR-DSZR modellje szerint a távolság és nagyság hatások egyetlen arány hatás különböző mérismódjai, ahol a távolság és nagyság hatást is ugyanaz a belső Weber állandó határozza meg (illetve ugyanaz a döntési küszöb, vagy általános figyelmi folyamatok), emiatt a két hatásnak (lineáris hatás meredekséggel mérve) tökéletesen korrelálnia kell. Az eredményekben ennek megfelelően a reliabilitással korrigált 0.99 és 1.06 korrelációs értékeket kapjuk, ami szokatlanul pontos empirikus igazolása az elméletileg jóslt 1.0 értéknek. Mindezek azt jelzik, hogy a releváns mutatók nem csak megfelelő reliabilitással rendelkeznek, hanem az egymással való korrelációjuk is koherens mintázatot mutat. (3) Az opponens fő kérdése arra vonatkozik, hogy ezek a mutatók hogyan korrelálnak más képességekkel vagy teljesítménnyel. A kutatócsoportunknak nincs ilyen jellegű mérése, azonban a szakirodalom tartalmaz ilyen méréseket, lásd pl. Schneider és munkatársai, 2017 <https://doi.org/10.1111/desc.12372> metaelemzését. Alapvető értelmezési kérdés azonban, hogy az irodalom korábbi mérései a szimbolikus számfeldolgozás egyes paramétereit egy ASZR Weber állandójaként értelmezték, míg a DSZR modellünk, vagy a hibrid ASZR-DSZR keretünk szerint ezek bizonyos (és mutatók közt is eltérő) jellegű statisztikai tanulási mutatók. A modellünkből adódóan a korábbi mérésekhez képest szerintünk a számításokat időnként másként kell végezni, illetve más jellegű képességeket kell kontrollálni. Továbbá a korábbi elméleti motivációktól eltérően az elemi szimbolikus számkezelési feladatok nem csak más matematikai teljesítménnyel, hanem számos más tulajdonsággal is összefügghetnek.

Mindezek alapján tehát minden adott, hogy az egyéni különbségeket a modellünk alapján pontosított módszerekkel és más értelmezési keretben végezhesük el a korábbi mérésekhez képest. A kutatócsoportunkban azonban nem történt még ilyen mérés, bár több lehetőség is megfogalmazódott már.

3. „A végső konklúziókban megjelenik, hogy az ASZR-rel szemben a DSZR statisztikai tanulás alapú. Milyen folyamatokban jelenik ez meg és milyen fejlődési aspektusai vannak? Ez azért is érdekes kérdés, mert a disszertációkban felnőtt alanyok szerepelnek – vajon a (különböző korú) gyerekekkel végzett vizsgálatok milyen eredményt mutatnának? Melyek a fejlődési lépések, milyen tanulási mechanizmusok alakítják ki ezt a hálózatos szemantikai kapcsolatrendszer? Milyen szerepe van ebben a nyelvi kontextusnak és a tanításnak? Talán még egy lépéssel továbbmehetünk itt, milyen új didaktikai vagy fejlesztési stratégiák következnek a DSZR modellből a szimbolikus számfeldolgozás kapcsán?”

A kérdés vagy kérdéscsoport egy nagyon fontos problémára világít rá, és az erre adott kezdeti válaszok is talán meglepőek, amelyek nem egy egyszerű mintázatot mutatnak.

Elsőként egy tisztázó részlet: a DSZR-nek azért tulajdonítunk statisztikai tanuláshoz kapcsolódó jellegzetességeket, mert az összehasonlítási feladat két kulcs jelensége, a távolság és nagyság hatás elsősorban (illetve eddigi méréseink alapján kizárólag) az ingerek statisztikáját tükrözik. Az összehasonlítási feladat teljesítménye (és így az azt támogató vagy produkáló rendszer) az ingerek statisztikáitól függ, nem más tulajdonságtól.

Az egyik kritikus probléma a tágabb kérdéssor kapcsán, hogy ha a DSZR csak az ingerek statisztikai tulajdonságára reagál, mintegy az ismétlődő, és adott esetben unalmassá váló feladat megoldásának kisegítője, melyik az a rendszer, amely a számok jelentését valóban reprezentálja. Lehet az a DSZR, csak nem a távolság és nagyság hatások által jelzett működési aspektusban? Vagy lehet valamilyen más rendszer? Ezen kérdésekkel kapcsolatban több munkánk is folyamatban van. Az egyik ilyen vizsgálatunkban, amelyet Kimberly Broschéval együtt végzünk, a résztvevők nem csak számokat, hanem betűket és hónapokat is összehasonlítanak (pl. melyik betű jön az abécében előbb, a J vagy az L?). Ilyen jellegű vizsgálatból sok van az irodalomban, és rendre bemutatják, hogy más sorozatok összehasonlítása is hasonló távolság hatást mutat, mint a számok összehasonlítása, kiemelve a folyamatok hasonlóságát. Azonban ha a viselkedési mintázatok mélyére nézünk, akkor kiderül pl. a távolság hatás szimmetriájából (a 2 vs. 4 vagy a 4 vs. 2 a könnyebb? A C vs. F vagy az F vs. C a nehezebb), vagy a résztvevők beszámolójából (egyes döntési mechanizmusokhoz van hozzáférése a résztvevőknek, pl. hónapok összehasonlításánál gyakran számolnak be arról, hogy elsődlegesen az évszak alapján próbálnak dönteni, vagy betű összehasonlításnál felidézik az ábécé releváns részletét), hogy ezek a látszólag hasonló távolság hatások más-más generátorból származnak (és ennek megfelelően a távolság hatások nem is korrelálnak). Ezen túl, ha a résztvevők sok ülésen keresztül csinálják ezeket a feladatokat, megfigyelhető egy fokozatos elmozdulás, hogy a legtöbb összehasonlítási feladat a szám összehasonlításra kezd el hasonlítani, mintha a számoknál már feltételezhetően lezajlott egyfajta automatizáció is kezdene kialakulni a kevésbé begyakorolt feladatokon. Mindez azt jelezheti, hogy a DSZR használata (akár más jellegű ingereknél, nem csak számoknál) egy több reprezentációt és stratégiát érintő fejlődési folyamat utolsó állomásának tűnik, és a fejlődés kérdésében az érintett reprezentációk azonosítása és a fejlődés átmeneteinek a leírása egy fontos kiindulási

probléma.

Egy másik releváns pont a felvetett kérdés kapcsán, hogy a gyerekeknél különböző összehasonlítási feladatoknál rendre kimutatnak távolsági és hasonló hatásokat (bár például interferenciákat nem feltétlenül), jelezve a jelenségek folytonosságát a fejlődés során, ám ezeket az eredményeket néhány további szempont alapján érdemes újragondolni. Az egyik bizonyos értelemben kézenfekvő, a szakirodalomban mégis sokszor ignorált szempont, hogy a gyerekeknél sok hatás azért tűnhet gyengébbnek, mert másként mérünk a felnőttekhez képest és/vagy más jellegzetességek megakadályozzák az azonos mérést. Például nyilvánvaló módon a gyerekek adatai zajosabbak, a reakcióidő sok esetben nehezen mérhető, egy ülés alatt kevesebb próbát mérhetünk. Ezek mindegyike befolyásolhatja a hatások kimutatását. Egy másik nagyon fontos szempont a fentebb említett, kutatócsoportunk által képviselt álláspont, hogy a hagyományosan egységesen kezelt összehasonlítási arány, távolság és nagyság hatások nem egységesek, nem csak az ASZR-DSZR modellek miatt, hanem például a fentebb említett nem-szám (betű, hónap, hét napjai, stb.) összehasonlításoknál látható hatások miatt is (Krajcsi és Kojouharova, 2024 <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/HACY8>). Vagyis amikor sokak által azonos hatásokat látunk, akkor valójában részletesebb tulajdonságok alapján kellene megállapítani, hogy mik a valódi generátorok, és hogy a fejlődés során látható-e folytonosság a reprezentációkban, vagy a fejlődés során reprezentációkat váltunk.

Ha ebből a tágabb perspektívából nézzük újra az opponens kérdését, akkor számos kérdés újrafogalmazható: mely mentális rendszerek érintettek az elemi számfeldolgozás során, mi vezérli az átmeneteket, melyik rendszernek mi a valódi szerepe más komplexebb matematikai és más képességekben, stb.? Sajnos ezek többségére ma még nincsen válasz, mint ahogyan a fentebbi bekezdésekből látható. A DSZR-rel kapcsolatban azonban azt feltételezném, hogy vagy nincs hatása a komplexebb matematikai képességekre, vagy ha van, akkor a statisztikai tanulás képességén keresztül. Az itt újrafogalmazott kérdésekre kapott majdani válaszok tudják eldönteni azt is, hogy a fejlesztés vagy tréningek szempontjából a DSZR releváns rendszer vagy más reprezentációk játszanak kiemelt szerepet a matematikai problémamegoldásban.

4. „Valamelyest kapcsolódó kérdés, hogy más számrendszerekben és kultúrákban is hasonlóan működhet a DSZR?”

Ami a számrendszereket illeti, a DSZR modell valószínűleg nem releváns modell a következők miatt. Az itteni vizsgálatokban, és sok más hasonló vizsgálatban az irodalomban, az egyik legegyszerűbb kérdés, hogy az egymás után következő természetes számokat (itt: pozitív egész számokat) hogyan kezeljük. Kognitív és komputációs szempontból egy jelentős szempont, hogy amint a számokat nem egymás után következő önkényes szimbólumok sorozataként (1, 2, 3, ... 9) kezeljük, hanem a nagyobb (a tízes számrendszerünkben a 9 feletti) értékek jelölésére bevezetünk kompozíciós szabályokat,

akkor a számok jelölését extra szabályok fogják vezérelni. Ez tehát komputációs új szempontokat jelent, ami az észlelőben további kognitív folyamatokat jelent. Az arab számok esetében a kutatási terület egy klasszikus kérdése, hogy a többjegyű (az arab helyiérték jelölőrendszerben egyben többhatványú) számokat hogyan dolgozzuk fel. Például az ASZR modell egyes változatai szerint a többjegyű számokat egy fordítási folyamat során az ASZR-re illesztjük, majd a további feldolgozás ott történik (úgynevezett holisztikus feldolgozás). Ezzel szemben más modellek hatványonkénti feldolgozást feltételeznek (úgynevezett kompozicionális feldolgozás), ahol pl. két háromjegyű számnál először a százast hasonlítjuk össze, és döntünk ez alapján ha lehetséges, illetve haladunk tovább a kisebb hatványok felé, amíg különbséget nem találunk. Az opponens kérdése szempontjából itt az a releváns tényező, hogy a számrendszerek esetében nem néhány önálló szimbólummal rendelkező, egymás utáni pozitív egész számról van szó, hanem olyan értékekről, amelyek a szimbólumok megadott kombinációjával jelölhetők. Ez a kombinációs jelölésmód további kognitív folyamatokat igényel, amelyre a DSZR, vagy más hasonló elemi folyamatokat magyarázó modellek, nem térnek ki. Azonban a komplex szabályokat alkalmazó számjelölések alapjainál is általában feltételezünk többek közt olyan elemi lépéseket, mint amit a DSZR is leír. Összességében tehát a DSZR (és hasonló alternatívák) a számjelölések komplexebb jelölésének feldolgozását önmagukban nem tudják magyarázni, ám a háttérben az egyik feldolgozási komponens lehet a DSZR.

Ami a kultúrák közti különbséget illeti, miközben sok számmegértéssel kapcsolatos kultúraspecifikus jelenséget és mechanizmust ír le az irodalom (pl. a számnevek szerkezetének hatása, a nyelvtani számok hatása, a számnevek megléte, abakusz használatának hatása, stb.) az elemi összehasonlítási folyamatokról (mint amilyen két egyjegyű szám összehasonlítása) nem ismerek ilyen leírást (feltéve, hogy az adott kultúra rendelkezik számnevekkel), emiatt a DSZR tekintetében nem számítanék kulturális különbségekre.

5. „A DSZR további vizsgálatában és a DSZR-ASZR különbségek feltérképezésében milyen új utakat és lehetőséget nyithatna a viselkedéses módszertannal való részbeni szakítás és fizioiógias vagy idegtudományi módszerek és eszközök alkalmazása? Pedálul mely agyterületek (vagy még inkább agyi hálózatok) felelnek a DSZR működéséért, és ezek hogyan különülnek el az ASZR-rel összefüggésbe hozható területektől?”

Tudatos döntés eredménye volt, hogy a vizsgálataink elsősorban viselkedéses adatokra épülnek. A 2000-es évek végén néhány évig folytattam munkákat MRI és fMRI technikákkal, és többször felmerült az EEG használatának lehetősége is. Az MRI munkáink azonban azt mutatták meg számomra, hogy az akkor szokásos módszerek, elemszámok és elemzési technikák mellett az eredmények túlzottan megbízhatatlanok. Ezt a meglátást azóta a képalkotó irodalom is tükrözi, ráadásul számos olyan elmozduláshoz vezetve, amely pl. a módszereket alapértelmezésben erősebben egységesíti, vagy az elemszámokat átlagosan folyamatosan növeli – vagyis a problémák felismerését követi egyfajta korrekció is. Ezen túl

azonban egy képző munka sokkal erőforrás igényesebb (több idő az adatfelvétel, az adatfelvétel infrastruktúrája sokszor szűk keresztmetszet, az elemzés sokkal időigényesebb és sokszor érzékenyebb a specifikus elemzési eljárásra, illetve a készülék üzemeltetése is drágább), mint pl. a viselkedési vizsgálatok. Ezzel szemben a viselkedési vizsgálatok tervezése, adatfelvétele és elemzése a rutinszerű megoldásokkal néhány nettó napot vesz csak igénybe, és rugalmasabban ütemezhető, ami több teret enged a különböző megoldások próbálgatásának is, és innovatív megoldások kifejlesztésének, amelyre a mi munkáinknál gyakran van szükség. Összességében emiatt úgy ítélem meg, hogy a képző módszerek erőforrás-érték aránya rosszabb a viselkedési munkáéknál. Fontos azt is kiemelni, hogy a képző eredmények nem „jobbak” a viselkedési adatokhoz képest (valójában nem mutatják meg közvetlenebbül a folyamatokat; az értelmezés képző és viselkedési adatoknál is sok közvetett lépésből áll), hanem más kérdésre válaszolnak. Fordítva nézve, a képző módszerekhez képest a viselkedési adatok nagyon sok kérdésre tudnak választ adni, amire a képző módszerek nem. Mindezek miatt tehát szándékosan elsősorban viselkedési módszerekre igyekeztünk teszteket tervezni a DSZR modell vizsgálata során (is).

Ennek megfelelően azonban valóban vannak olyan kérdések, amelyekre képző módszerek választ adhatnak, miközben viselkedési adatok nem. A jelen esetben például egy olyan vizsgálat elővizsgálatai folynak épp (amelyet Czigler Istvánnak adott válaszómban is említék), ahol a szimbolikus és nem szimbolikus távolság és nagyság hatások funkcionális lokalizációját végezzük. A szakirodalomban sok adat áll rendelkezésre a távolság hatásról, de nem találtunk ilyet a nagyság hatásról. Utóbbi az ASZR modell szempontjából észszerű döntés a kutatók részéről: ha a távolság és nagyság hatás is ugyanannak az arányhatásnak a különböző mérési módja, akkor elég egyetlen hatást mérni. Ráadásul mivel a távolság hatás nagysága nagyobb, mint a nagyság hatás nagysága (ez angolul is ugyanilyen furcsán hangzik), ezért a távolság hatás mérése egy észszerű döntés, és a nagyság hatás mérésére nem kell optimalizálni a feladatot. Ezzel szemben a DSZR szempontjából a nagyság hatás mérése releváns, sőt kritikus, ahol a hibrid ASZR-DSZR modellünk három generátort jósol: nem szimbolikus arány hatás, szimbolikus távolság hatás és szimbolikus nagyság hatásnak megfelelő mechanizmusokat. A generátor jóslat miatt tehát az fMRI mérés kritikus információt nyújthat. Az elvárt eredmények részben (a távolság hatás tekintetében) replikációk, de egy másik része új. Ezekben a kontrasztokban első megközelítésként azt várjuk, hogy a nem szimbolikus távolság és nagyság hatás elsősorban a jobb intraparietális sulcus-ba lokalizálható, míg a szimbolikus távolság és nagyság hatás potenciálisan két eltérő területen a bal hátsó temporális és/vagy parietális területekre lokalizálható (hátsó nyelvi és/vagy szemantikus feldolgozáshoz kapcsolódó területeken). Ezek hangsúlyozottan első hipotézisek, ugyanis a korábbi adatok és feladat optimalizálások potenciális problémái miatt jelenleg nem lehet pontosabb jóslatot tenni.

Összességében a kutatócsoportunkban úgy ítéljük meg, hogy a viselkedési adatok jó erőforrás-érték aránya miatt preferáltak, különösen a nálunk gyakori, sok innovációt igénylő

munkák miatt, de bizonyos kiemelkedő kérdéseknél (potenciálisan nagy értékű válaszoknál) már érdemes nagyobb erőforrás igényű idegtudományi módszereket is alkalmazni.

Megjegyzések

1. „Az arab számok összehasonlításának nagysághatása csak részben függ az ingergyakoriságtól, míg az összehasonlítási távolsághatás jelentősen függ az ingerstatisztikától.”

Valójában a nagyság hatásnál is csak az ingergyakoriság hatását figyeltük meg. Ami valójában különbség ilyen szempontból a nagyság hatás és a távolság hatás közt, hogy az aktuális illetve a korábbi ülések ingerstatisztikáinak milyen relatív hatása van, vagy másként megfogalmazva, amikor a korábbi és aktuális tapasztalatokat összegzi egy statisztikai tanulás, akkor mennyire fontos megőriznie a korábbi tapasztalatot, vagy mennyire írja felül azokat új tapasztalatokkal. A méréseink szerint a távolság hatás gyorsan felülírja a korábbi tapasztalatokat, és így az aktuális ülés hatása a domináns, míg a nagyság hatásnál a korábbi ismeretek erősebb hatásúak (arab számok esetében korábbi sok év tapasztalata), és az aktuális ülés hatása így korlátozott.

Budapest, 2025, augusztus 25.



Krajcsi Attila

ELTE PPK Kognitív Pszichológia Tanszék