

Új numerikus szimbólumok automatikus feldolgozása numerikus Stroop feladatban

A következő kísérlet egy nagyobb kutatás része, amely az emberek numerikus képességeinek és eredetüknek vizsgálatát tűzte ki célul. A kísérlet célja az, hogy az új szimbólumok módszertani alkalmasságát vizsgálja, vagyis azt, hogy tudnak-e az általunk megszokott arab számjegyekhez hasonló módon viselkedni. Ugyanakkor az eredmények hozzájárulhatnak későbbi kutatásokhoz, amelyek elősegíthetik a megértésünket arról, hogy milyen módon történik a számjegyek automatikussá válása, és valójában milyen reprezentációhoz kötjük őket.

Elméleti bevezetés

Numerikus képességek és a mentális számegyenes

Az emberek numerikus képességei számos tanulmány tárgya, és több modell létezik a természetükkel kapcsolatban. Egy ilyen modell Dehaene hármaskódú modellje (Dehaene, 1992), amely szerint három reprezentációnk van a számokat illetően: analóg mennyiség rendszer, arab számjegyek (más kultúrákban valószínűleg a megfelelő ideográfikus jelölés (pl. Ganor-Stern és Tzelgov, 2008; Ito és Hatta, 2003; Razpurker-Apfeld és Koriát, 2006)) és verbális kódok (szavak). Az analóg mennyiség rendszer evolúciósan fejlődött mechanizmus, amely megközelítőleg tudja reprezentálni a mennyiségeket, és minél nagyobb az adott mennyiség, annál zajosabb a reprezentációja. Az analóg mennyiség rendszer létezését állatoknál és csecsemőknél is mutatták ki (összefoglaló itt: Dehaene, 2011; Feigenson, Dehaene és Spelke, 2004). Az arab számjegyek ideográfikus (vagyis kép alapú) reprezentáció, amely összeköti a szimbólumokat és az analóg mennyiség rendszer által reprezentált mennyiségeket. A verbális kód hasonlóan közvetlen módon hozzáfér az analóg mennyiség rendszerhez, de nem kapcsolódik közvetlenül az ideográfikus reprezentációhoz (pl. Brysbaert, 2005). Más szóval, a numerikus képességek az analóg mennyiség rendszeren alapulnak, és az absztrakt reprezentációk elősegítik a számok pontosabb kezelését, valamint azok mennyiségek és műveletek megértését, amelyek nem része az analóg mennyiség rendszernek (pl. a szorzó tábla, mint memóriában tárolt információ). Egy másik elképzelés McCloskey modellje (McCloskey, 1992), ahol a számok jelölését egy közös absztrakt kóddá alakítjuk, attól függetlenül, hogy a jelölés ideográfikus vagy verbális, és ezt az absztrakt kódot használjuk összehasonlításhoz és más műveletekhez.

Ami fontos mindkét esetben az, hogy egyfajta mentális számvonalat tételeznek fel. Dehaene hármaskódú modellje esetében a mentális számegyenes egy folytonos egyenes, és az absztrakt kódok a számegyenes bizonyos pozícióihoz kötődnek, de ezek a pozíciók nem teljesen pontosak, és változhatnak a fejlődéssel (pontosabbak lesznek). Ezen az számegyenesen a nagyobb mennyiség nagyobb aktivációt jelent. A kódok pozícióinak pontosságának javulását a számegyenesen a Weber-állandó változása képviseli. A Weber-állandó egy olyan pszichofizikai mutató, amely azt mutatja,

hogy milyen arányban kell növelni/csökkenteni egy adott inger intenzitását ahhoz, hogy a különbséget észrevegyük. Ez az állandó található az észlelési rendszereknél, része az analóg mennyiség rendszernek (Dehaene, 2003, 2011), és csökken az életkorral absztrakt számrendszer jelenléte esetében (Dehaene, 2011). McCloskey modellje másfelől egy diszkrét egységekből álló mentális számegyenest képzel el, ahol a mennyiség absztrakt reprezentációi sorba rendeződnek el, és a nagyobb mennyiség egy későbbi pozícióban lévő reprezentációját jelenti.

A két modell (más modellekkel együtt) tudományos vita tárgya, és a dolgozatunk célja nem ennek a vitának a megoldása. Mindkét modell két dolog miatt jelentősek kutatásunk szempontjából. Először is, mindkét modell azt tételezi fel az ideográfikus jelölésről, hogy automatikusan aktiválja a vele kapcsolatos mennyiség reprezentációját. Másodszor, mindkét modell képes előrejelezni két olyan hatást, amelyekről az a vélemény, hogy kimutatják az ideográfikus jelölés automatikus feldolgozása mennyiségként: a távolsági hatás és a méret kongruencia hatás (l. lejjebb, (Brysbaert, Fias és Reynvoet, 2006; Brysbaert, 2005; Henik és Tzelgov, 1982; Moyer és Landauer, 1967; Tzelgov, Meyer és Henik, 1992). Így ha az általunk választott szimbólumok ugyanezeket a hatásokat mutatják, akkor joggal tételezhetjük fel azt, hogy legalábbis hasonlóak az arab számjegyekhez.

Automatikusság, távolsági hatás és méret kongruencia hatás

Mielőtt továbbhaladnánk, érdemes meghatározni, hogy mit fogunk érteni automatikusság alatt. Több elképzelés létezik a jelenség mögötti álló mechanizmusokkal kapcsolatban – a kettős-mód modell, Logan egyetlen lépésből történő emlékezeti előhívás mechanizmusa, Rabinowitz algoritmus javulási mechanizmusa, vagy az utolsó kettő kombinációja (összefoglaló itt: Moors és De Houwer, 2006). A dolgozat érdekében azonban Moors és De Houwer (2006) tanácsát fogjuk követni, és a vonás-alapú definíciót fogjuk használni, vagyis Tzelgov, Yehene, Kotler és Alon (2000) által adott definíció, hogy a folyamat akkor automatikus, ha az adott feladatban követeltek ellenére történik meg, nem hoz hasznot, és nem monitorozzuk. Megjegyeznénk, hogy a szakirodalomban (pl. Rubinsten, Henik, Berger és Shahr-Shalev, 2002; Tzelgov és mtsai., 2000) szoktak különbséget tenni intencionális és autonóm automatikus folyamatok között – pl. a numerikus Stroop feladatban, ahogy látni fogjuk később, a numerikus információ feldolgozása intencionális a számérték alapú feladatban (a feladat része), és autonóm a fizikai méret alapú feladatban (nem a feladat része) – ezt a megkülönböztetést, azonban, csak akkor érdemes alkalmazni, ha különbséget találunk az eredményekben az elvártakhoz képest.

Az egyik hatás, amelyet bizonyítéknak tartják az arab számjegyek automatikus feldolgozására, a távolsági hatás. Először Moyer és Landauer (1967) írták le. Azt kérték a résztvevőktől, hogy

hasonlítsák össze arab számokat, vagyis mondják meg, hogy melyik a nagyobb/kisebb. Az eredményeik azt mutatták ki, hogy minél nagyobb a különbség a számértékek között, annál gyorsabban és annál kevesebb hibával válaszolunk. Ez a hatás nagyon robusztos, gyerekeknél is jelen van (Sekuler & Mierkiewicz, 1977), valamint megismételhető más szám jelölésekkel, pl. Kanji vagy héber betű számjelöléssel (Ito és Hatta, 2003; Razpurker-Apfeld és Koriát, 2006; Takahashi és Green, 1983). A mentális számegyenes az analóg mennyiség rendszerben ezt a hatást úgy magyarázza meg, hogy minél közelebb áll egymáshoz két szám, akkor egymáshoz közeli mennyiségeket fognak aktiválni, és az aktivációban lesz átfedés. A diszkrét mentális számegyenes elképzelésben az a magyarázat, hogy mivel közel áll egymáshoz a két szám reprezentációja, nehezebb megkülönböztetést tenni. A távolsági hatás azért érdekes, mivel a későbbiekben értelmezni fogom a méret kongruencia hatás keretében.

A méret kongruencia hatást számoknál először Besner és Coltheart (1979) írták le. A munkájukat Paivio (1975) tanulmányára alapozták meg. Paivio azt mutatta ki, hogy ha hasonlítani kell két állat képét fizikai méret alapján, az emberek lassabban válaszolnak, ha a látható állatok fizikai mérete egymáshoz képest nem felel meg a valóságnak. Besner és Coltheart (1979) azt kérték a résztvevőktől, hogy mondják meg melyik szám a nagyobb két szám között – a feladatban a számok különböztek fizikai méretükben – és azt találták, hogy ha a fizikai méret különbség fordítottja volt a számérték különbségnek, akkor a résztvevők lassabban és több hibával válaszoltak. Később, Henik és Tzelgov (1982) megismételték a kísérletet és hozzáadtak egy másik feltételt is, amikor a számokat fizikai méret alapján kellett összehasonlítani. A kutatásukban a résztvevők számérték alapú vagy fizikai méret alapú döntést hoztak arról, hogy melyik szám nagyobb egy számpáron belül – így két feladatot végeztek el egymás után, résztvevőnként más-más sorrendben. A számpárok lehettek kongruensek (a nagyobb szám fizikai méretben is nagyobb volt), inkongruensek (a nagyobb szám fizikailag kisebb volt), és semlegesek (ugyanazok a számok a számérték alapú feltételben, és ugyanolyan méretű számok a fizikai méret alapú feltételben). Eredményeik közül számunkra az fontos, hogy a fizikai méret alapú feltételben gyorsabban döntöttek, mint a számérték alapú feltételben, valamint összességében leglassabbak voltak az inkongruens számpároknál, gyorsabbak a semleges számpároknál, és leggyorsabbak a kongruens számpároknál. A kutatásukon belül a második kísérlet arra a kérdésre adott választ, hogy a számok közötti távolság milyen módon befolyásolja a döntés gyorsaságát. Két numerikus távolságot használtak: 2 és 4, valamint három fizikai méretet. Itt nem volt semleges feltétel. Eredményeik az előzőeknek megfelelően azt mutatták ki, hogy összeségében a kongruens számpároknál gyorsabbak voltak, mint az inkongruenseknél, valamint gyorsabbak voltak a számérték alapú feltételben, mint a fizikai méret alapúban. Emellett a szignifikáns interakciók közül egyet emelnénk ki – a feltétel, a távolság és a kongruencia közötti

interakció, amely abban fejeződött ki, hogy a számérték alapú feltételben mindig gyorsabban döntöttek az egymástól távolabb lévő számok esetében kongruencia feltételtől függetlenül (távolsági hatás), amíg a fizikai méret alapú feltételben ez inkább igaz volt a kongruens feltételben (és nem szignifikáns), az inkongruens feltételben azonban a távolabb lévő számok esetében lassabban döntöttek (fordított távolsági hatás).

Numerikus Stroop feladat

Az előbb leírt kísérlet gyakorlatilag leírja azt a numerikus Stroop feladat változatát (több változata található itt: Pavese és Umiltà, 1998), amelyet a mi kísérletünkben is alkalmaztunk, valamint néhány olyan jellemzőjét, amely viszonylag konzisztensen jelennek meg a későbbi kutatásokban. Először is, leírjuk maga a feladatot. Két változatában alkalmaztuk: számérték alapú és fizikai méret alapú. A számérték alapú feltételben a résztvevők feladata az volt, hogy a látható két szám közül a numerikusan nagyobbbat válasszák ki. A fizikai méret alapú feltételben az volt a feladat, hogy a fizikailag nagyobbbat válasszák ki. A mi feladatunkban csak kongruens és inkongruens számpárokat alkalmaztunk, valamint az összes lehetséges számpárt 1 és 9 között, ami azt jelentette, hogy a mérhető távolságok 1 és 8 között voltak. A numerikus Stroop feladat úgy mutatja meg az arab számjegyek numerikus feldolgozásának automatikusságát, hogy a számérték alapú feladatban a fizikai méret információja befolyásolja a numerikus érték megítélését, a fizikai méret alapú feladatban pedig a numerikusság interferál a fizikai méret feldolgozásával. Ezek az interferáló folyamatok nem a feladat részét képezik, nem hasznosak a feladat elvégzése szempontjából, és nem monitorozzuk őket. Így az eredményeink a méret kongruencia hatást fogjuk keresni. Emellett arra is figyelni fogjuk, hogy kapunk-e olyan eredményeket, amelyek megfelelnek a következő jellemzőknek: gyorsabb döntés a fizikai méret alapú feladatban, kongruencia hatás és távolsági hatás interakció nélkül a számérték alapú feladatban, kongruencia hatás és kongruencia-távolság interakció vagy legalább fordított távolsági hatás az inkongruens feltételben a fizikai méret alapú feladatban.

Kutatások új szimbólumokkal

Jelenlegi tudásunk szerint két kutatás alkalmazott új szimbólumokat a számosság automatikussá válásának vizsgálatára. Az első ilyen kutatás (Tzelgov és mtsai., 2000) Gibson-figurákat alkalmazott fix sorrendben, valamint implicit tanulási feladatban. A résztvevőknek a tanulási fázisban szimbólum párokat mutattak, és arra kérték őket, hogy a nagyobbbat választják. Minden esetben visszajelzést adtak arról, hogy ez valójában a nagyobb szimbólum (szám) volt-e, így impliciten tanulhatták meg a szimbólumok sorrendjét. A résztvevők egy része csak egymás mellett lévő szimbólum párokat látták, a másik részük pedig csak nem egymás mellett lévőket. A tesztfázisban új és régi párokat is mutattak be. Először sima összehasonlítási feladatot végeztek,

amelyben csak a távolságnak volt főhatása, vagyis megjelent a távolsági hatás. Érdekes volt, hogy az 1-es távolságban lévő szimbólumokra adott válasz nem volt lassabb, mint a 2-es távolságban lévőknél. A második feladat a numerikus Stroop feladat fizikai méret alapú feladat volt, ugyanúgy régi és új szimbólum párokkal. A kongruencia hatás szignifikáns volt, de csak abban a csoportban, ahol nem egymás mellett lévő szimbólum párokat tanultak. Emellett ebben a csoportban szignifikáns volt a kongruencia és a távolság interakciója, amely abban fejeződött ki, hogy minél nagyobb volt a távolság, annál nagyobb volt a kongruencia hatás, valamint ez a hatás kisebb volt a 4-es és az 5-ös távolságnál. Második kísérletünkben annyival változtatták az elrendezést, hogy egy harmadik csoport résztvevőknél manipulálták a szimbólum párok megjelenésének gyakoriságát. Az eredmények majdnem teljes mértékben ismételték az előző kísérlet eredményét, de ebben az esetben a kongruencia hatás mindegyik csoportban jelent meg. A kutatás bejósolja azokat a jelenségeket, amelyeknek meg kell jelenniük a mi kutatásunkban is – a kongruencia hatás és az interakció a fizikai méret alapú feladatban. Azonban a kísérlet különbözik a mienktől, ahol a szimbólumokat konkrét arab számjegyekhez (és így mennyiségekhez) rendeltük hozzá, és a sorrendük tanulása explicit módon történt meg.

A másik kísérletben TDCS-t (Cohen Kadosh, Bien és Sack, 2012), vagyis transzkraniális egyenáramú serkentést hatását vizsgálták új szimbólumok tanulása esetében numerikus Stroop és szám-a-vonalra feladatokban. Ezek közül csak a Stroop feladattal kapcsolatos eredmények érdekesek számunkra. A módszer alkalmazása megengedi az adott neuronpopulációnak aktivitásának serkentését vagy gátlását gyenge egyenáram révén. A résztvevők az előző kutatáshoz hasonlóan Gibson-figurák sorrendjét tanulták impliciten, ami alatt vagy a jobb parietális kérgüket serkentették és a balt gátolták, vagy fordítva (a parietális kérgét a számok feldolgozásával kapcsolják össze, összefoglaló itt: Dehaene, 2011; Feigenson et al., 2004), vagy nem kaptak ilyen manipulációt – összesen három csoport. A numerikus Stroop feladatban (csak fizikai méret alapú változatában) kapott eredmények azt mutatták meg, hogy a „jobb parietális kéreg serkentett – bal gátolt” csoportban a kongruencia hatás gyorsabban jelent meg (a negyedik napon) a nem manipulált csoporthoz képest – valószínűleg a serkentés hatására – de a nem manipulált csoportban is megfigyelhető volt az ötödik-hatodik nap után. Nem vizsgáltak távolsági hatást. A kutatás fontos olyan értelemben, hogy valószínűleg oksági kapcsolatot mutat egy agyi terület és a számosság automatikus feldolgozása között. A mi kutatásunk szempontjából azért érdekes, mert azt mutatja meg, akkor is automatikusabb lesz az új szimbólumok numerikus feldolgozása, ha nincs serkentés.

Kutatások más számjelölésekről

Mivel a kutatásunkban más számjelölések számértékét szeretnénk vizsgálni, mint az arab számjegyek, érdemes röviden összefoglalni azt, hogy hogyan jelenik meg a méret kongruencia hatás

olyan kultúrákban, ahol más számjelölést (is) használnak.

Takahashi és Green (1983) voltak az elsők, akik numerikus Stroop feladatban vizsgálták más számjelölések numerikus feldolgozását. Ők csak a számérték alapú változatot alkalmazták, kongruens, inkongruens és semleges feltétellel. A feladatban további két feltétel volt: a számokat Kanji-val vagy Kana-val írták ki. Kanji az ideográfikus írásrendszer, ahol egy szimbólum egy szót vagy kifejezést jelent, Kana gyakorlatilag szótag alapú ábécé. A használt távolságok 1, 3 és 5 volt. A Kanji feltételben a résztvevők leggyorsabbak voltak a kongruens feltételben, utána a semleges feltételben, és leghalásabbak az inkongruens feltételben. Az elvárt távolsági hatás megjelent. Mi több, a Kanji és a Kana feltétel más mintázatot mutatott meg, amely megfelelhet az arab számjegyek és a verbális kód közötti különbségeknek. Így az ideográfikus szimbólumoknál az eredmény hasonló volt, mint az arab számjegyeknél.

Ito és Hatta (2003) továbbá vitték ezt a kutatást. Kísérletükben a Kanji és a Kana (Katakana) mellett arab számjegyeket is vizsgáltak, emellett a numerikus Stroop feladat mindkét változatában – számérték alapú és fizikai méret alapú. A kísérletük nem tartalmazott semleges feltételt. A számérték alapú feladatban mindegyik írás szerinti csoportban megjelent a kongruencia hatás és a távolsági hatás, valamint csak a Kana feltételben volt interakció a kettő között. Tehát az ideográfikus jelölésben az elvártaknak megfelelőek voltak az eredmények. Ugyanakkor az arab számjegyek feldolgozása gyorsabb volt, mint a Kanji feldolgozása, és a Kanjié gyorsabb, mint a Kanaé. Ez kimutathatná a gyakorlás fontosságát – Japánban is nagyon gyakori az arab számjegyek használata. A fizikai méret alapú feladatban az eredmények azt mutatták ki, hogy a kongruencia hatás csak arab számjegyek és Kanji esetében volt jelentős. Arab számjegyeknél megjelent az elvárt interakció kongruencia és távolság között, valamint a fordított távolsági hatás is az inkongruens feltételben. A szerzők szerint a kongruencia-távolság hiánya lehet annak az eredménye, hogy a résztvevők jobban ismerték az arab számjegyeket. Az arab számjegyek és a Kanji hasonlóbb mintázatot mutatták ki, mint bármelyikük és a Kana jelölés. Emellett (a leíró statisztika alapján) a résztvevők gyorsabbak voltak a fizikai méretalapú feladatban.

Egy másik kutatás érdekes módon tovább bővítette a vizsgálható jelölések halmazát. Razpurker-Apfel és Koriát (2006) négy lehetséges jelölést vizsgáltak: arab számjegyek, héber betűk (amelyeknek van numerikus jelentésük is), héber számnevek és héber betűnevek (a számként használt betűk). Csak a numerikus Stroop fizikai méret alapú változatát alkalmazták. A kutatásunk szempontjából érdekesebbek a héber betűkről, és a héber betűnevekről szóló eredmények. A méret kongruencia hatás megjelent az arab számjegyeknél és a héber betűknél, valamint gyengébben a héber betűneveknél. Mindegyik feltételben látható volt a távolsági hatás, de érdekes módon itt nem volt megfigyelhető interakció kongruencia és távolság között. Viszont ez mind az arab számokra,

mind a héber betűkre volt igaz, ami azt mutatja, hogy ebben az esetben is a számok más jelölése hasonlóan viselkedik mint az arab jelölés. Érdekes még az is, hogy a betűk esetében a távolsági hatás kifejezettebb volt, mint az arab számoknál, amely feltehetően a betűk az ábécében való sorrendjének erősítő hatásának köszönhető.

Az utolsó kutatás, amely kapcsolódik a kutatásunkhoz jelölés szempontjából, Ganor-Stern és Tzelgov (2008) által vizsgált kapcsolat különböző jelölések között. A két jelölés az arab számjegyek és az izraeli arabok által használt indiai számjegyek. A kísérletben olyan emberek vettek részt, akik mindkét jelölést ismerték és használták. Arab-arab, indiai-indiai és arab-indiai számpárokat alkalmaztak fizikai méret alapú feladatban. Emellett sima összehasonlítást is végeztek a résztvevőkkel. A sima összehasonlításnál megfigyelhető volt a távolsági hatás, bár más-más meredekségben jelöléstől függően. A Stroop feladatnál mindegyik jelölés feltételben jelen volt a kongruencia hatás. A kongruencia hatás nőtt a távolsággal csak az arab-indiai jelölésnél, de érdemes említeni azt, hogy csak két értéket alkalmaztak – nagy (6, 7 és 8) és kis (1) távolság.

Összességében az mondható, hogy a számosság automatikus feldolgozása több jelölésre is jellemző, és valószínű, hogy a gyakorlás hatással van a méret kongruencia hatás megjelenésére.

Fejlődési kutatások

Az utolsó kutatási vonal, amely segíthet abban, hogy betekintést nyerjünk az új szimbólumok automatikussá való válásában, az, hogy hogyan tanulják meg a gyerekek az arab számokat, és mikor jelenik meg náluk a méret kongruencia hatás. Sekuler és Mierkiewicz (1977) kimutatták, hogy a távolsági hatást illetően a negyedik és hetedik osztályú gyerekeknél hasonlóak az eredmények, mint a felnőtteknél, de óvodásoknál és első osztályos gyerekeknél is jelen van a hatás, csak meredekebb. Ez azt jelenti, hogy már ilyen korán az arab jelölés számosságát legalábbis intencionálisan automatikusan dolgozzák fel.

Az első kutatás, amely gyerekeknél a méret kongruencia hatást vizsgálta papír-ceruza tesztel, Berie és Hinrichs (1981 id. Girelli, Lucangeli és Butterworth, 2000) végezte el, de a róla készült beszámoló nem lett publikálva és nem érhető el. Girelli és mtsai (2000) az általuk kapott eredményekkel konzisztensnek vélik. Girelli és mtsai (2000) első osztályos (átlag életkor (innenről kezdve: M)=6,5 év), harmadik osztályos (M=8,33 év), ötödik osztályos (M=10,25 év) gyerekeket és egyetemi hallgatókat (M=23 év) vizsgálták meg numerikus Stroop feladattal. A feladat mindkét változatát használták, és belevették a semleges feltételt is. Emellett egy további dimenzió mentén osztották fel az ingereket – aszerint, hogy az 5-ös csak egyik oldalán voltak-e található a számpár tagjai (unilaterális) vagy mindkét oldalán (bilaterális). Ez a felosztás arra a feltevésre épül, hogy nem annyira mennyiségeket hasonlítunk össze, hanem a „kicsi” és „nagy” címkékké látjuk el az egyjegyű számokat (Tzelgov et al., 1992). Ebben az esetben azonban a lateralitáshoz köthető volt

numerikus távolság is. Az unilaterális párokon belül a távolság 1 volt, a bilaterális párokon belül 5. A felnőttek gyorsabbak voltak a fizikai méret alapú feladatban. Ugyanúgy megjelent a kongruencia hatás, ahol kisebbek voltak a reakcióidők a kongruens feltételben. A számérték alapú feladatban a kongruencia és a lateralitás interferált egymással, és nem elvárt módon a kongruencia hatás erősebb volt a nagyobb távolságoknál (bilaterális párok). Ez a lateralizáció alapján képezett párok következménye lehetett. A fizikai méret alapúnál nem volt interakció, de az elvártak megfelelően nagyobb volt a kongruencia hatás a nagyobb távolságnál. A gyerekeknél először különböző feladatokkal vizsgálták, hogy jó-e a számismeretük. Az eredmények először is azt mutatták ki, hogy csökkent a reakcióidő a kor növekedésével, de ez a csökkenés meredekebb volt a számérték alapú feladatban. Ugyanúgy a fizikai méret alapú feladatban minden résztvevő gyorsabb volt. Első osztályos gyerekeknél nem volt kongruencia hatás a fizikai méret alapú feladatban, harmadik osztályosoknál megjelent, és kifejezettebbé vált ötödik osztályosoknál. A számérték alapú feladatban az eredmények az első osztályosoknál nem voltak egyértelműek, de a kongruencia hatás megjelent a két nagyobb életkorú csoportban. A számérték alapú feladatban a gyerekek gyorsabbak voltak az unilaterális feltételben, amely távolsági hatásnak felel meg. A fizikai méret alapú feladatban csak az ötödik osztályosoknál volt látható nagyobb kongruencia hatás a bilaterális számpároknál (nagyobb távolság), mint az unilaterálisoknál. A kutatás arra utal, hogy a méret kongruencia hatás megjelenése csak a számok kellő gyakorlása után történik meg. A számosság intencionális előhívása, úgy tűnik, korábban jelenik meg, de mivel nem egyértelműek az eredmények az első osztályos gyerekeknél, a kutatás ezt nem tudta jól kimutatni.

Egy ugyanakkor elvégzett kutatás (Rubinsten és mtsai, 2002) hasonló korcsoportokat célzott meg, azzal a különbséggel, hogy az első osztály elején és végén is végezték a mérést. A numerikus Stroop feladat mindkét változatát alkalmazták, semleges feltételt is belevéve, és három numerikus távolsággal: 1, 2 és 4. Mindkét feladatban gyorsabb lett a reakcióidő, de mindvégig a fizikai méret alapú feladatban gyorsabban válaszoltak, és a számérték alapú feladatban a teljesítmény javulása meredekebb volt. A fizikai méret alapú feladatban a méret kongruencia hatás az első osztály végén csak jelenik meg, és egyre kifejezettebb lesz az ötödik osztályig. Itt nem volt távolsági hatás vagy interakció távolság és kongruencia között. Ez talán annak köszönhető, hogy a legnagyobb távolság 4 volt, amely talán nem volt elegendő a hatások kimutatásához. A számérték alapú összehasonlításakor a méret kongruencia hatás elejétől kezdve jelen van, és mindegyik korcsoportban megfigyelhető volt távolsági hatás. A kutatás összességében azt mutatja ki, hogy az arab számok feldolgozásában már az első osztálytól kezdve megfigyelhetők bizonyos jelenségek, de csak a gyakorlással válik automatikussá.

Zhou és mtsai. (2007) csak egy korcsoportot vették bele a kutatásukban, de ez a csoport jóval fiatalabb volt, mint az eddigi kutatások szereplői. A kutatást Kínában végezték el óvodás korú gyerekekkel ($M=5,83$ év). Feltételezhető volt, hogy kínai gyerekek számára könnyebb lehet a számosság megtanulása, mivel a számnevek rövidebbek, a számok sorozata logikusabb, és többet vannak kitéve a számokkal kapcsolatos információnak. A kísérletben három kongruencia szint volt: kongruens, inkongruens és semleges, valamint két távolsági csoport: kicsi (1-3) és nagy (4-6). A numerikus Stroop feladat mindkét változatát használták. A fizikai méret összehasonlításánál megfigyelhető volt a méret kongruencia hatás, valamint a kongruencia és a távolság interakcióban voltak egymással, ahol a nagy távolságnál nagyobb volt a kongruencia hatás, és a kongruens feltételben jelen volt a távolsági hatás. A számérték alapú feladatban a méret kongruencia hatás és a távolsági hatás is volt kimutatható. A kísérlet arra utal, hogy a szám jelölések automatikus numerikus feldolgozása nagyon korán jelenhet meg, és valószínűleg ezt olyan tényezők befolyásolják, amelyek megkönnyítik a számok megtanulását.

Összességében, az új jelölések tanulása mennyiségek esetében azt mutatja ki, hogy a számosság automatikus aktiválása, amikor nem része a feladatnak vagyis autonóm, később jelenik meg, és általában gyakorlás eredménye. Ezt a következtetést agyi képeltérképezések is támogatják (Kaufmann és mtsai, 2006). A gyerekeknél a fizikai méret alapú feladatban leginkább prefrontális területek voltak aktívak (pl. ACC), és nem a jobb parietális kéreg, amelynek szerepe lehet a számjegyek automatikus feldolgozásában (Cohen Kadosh és mtsai., 2012; Dehaene, 2011).

A jelenlegi kutatás

A jelenlegi kutatásunkban azt vizsgáljuk meg, hogy milyen módon dolgozunk fel numerikusan új szimbólumokat. A kutatás fő célja kimutatni azt, hogy az új szimbólumokat tudjuk-e az arab számjegyekhez hasonlóan kezelni. Ehhez a numerikus Stroop feladat mindkét változatát alkalmazzuk, kongruens és inkongruens feltétellel és 1-8 távolságok mindegyikével. A számérték alapú feladat eredményeiben keresni fogjuk a méret kongruencia hatást és a távolsági hatást a kongruens és az inkongruens feltételben egyaránt. A fizikai méret alapú feladatban a méret kongruencia hatás mellett vagy kongruencia-távolság interakciót várunk el, vagy nagyobb kongruencia hatást a nagy távolságoknál, esetleg fordított távolsági hatás az inkongruens feltételben. Emellett azt várjuk el, hogy a résztvevők gyorsabbak legyenek a fizikai méret alapú feladatban, valamint azt is, hogy a számérték alapú feladatban a méret kongruencia hatás jelen lesz az első naptól fogva, amíg a fizikai méret alapú feladatban a hatás csak később fog megjelenni.

Módszer

Elrendezés

A kísérletünk 2x8x5 elrendezést használ két csoporton belül (számérték alapú és fizikai méret alapú numerikus Stroop feladat), ahol az első változó a kongruencia: kongruens és inkongruens, a második a távolság 1-től 8-ig, a harmadik a nap, amikor elvégezték a kísérletet, az első naptól az ötödik napig. Mindegyik változó csoporton belüli. A függő változó, amelyet elemezni fogjuk, a reakcióidő.

Minta

Összesen 13 egyetemi hallgató (11 nő, 2 férfi; átlag életkor 21,77 év, szórás 2,19 év) vett részt a kísérletben. Mindegyikük jobbkezes volt, és normális vagy korrigált látással. Közülük tizenegyen (10 nő, 1 férfi, átlag életkor 21,45 év, szórás 2,16 év) folytatták a kísérletet a többi napon is. A résztvevők egyetemi kurzuson belüli felhívás alapján jelentkeztek a kísérletre, és rész kreditet kaptak a részvételért.

Ingeranyag

A kísérletet számítógépen végeztük el a PsychoPy v1.74.01 program segítségével (Peirce, 2012). Az ablak, amelyen belül futott a program, 1000x600 pixel volt. A háttér szürke volt, a látható szimbólumok (betűk, számjegyek, új szimbólumok) fehér színűek voltak, és Arial betűtípussal voltak kiírva.

A kísérlet során 18 új szimbólumot használtunk az arab számjegyek helyettesítéséhez. Az új jelölések erősen különböztek az arab számjegyeiktől és a latin betűktől, hasonló méretűek voltak magasságban és szélességben, valamint vizuális szempontból viszonylag bonyolultak voltak. Itt látható néhány példa jelölés: И, Я, Ł, Ɔ, Ɔ. Az összehasonlítási feladatoknál, amilyen a numerikus Stroop feladat is, az egyik szimbólum az ablak közép pontjától 100 pixellel balra jelent meg, a másik szimbólum 100 pixellel jobbra. A szimbólum magassága 50 vagy 80 pixel volt. A szimbólum párok az összes 1 és 9 közötti számokkal képezhető párt képviselték úgy, hogy az adott páron belül az első szám egyszer balra és egyszer jobbra jelent meg. Így egy numerikus Stroop feladaton belül 144 pár jelent meg, véletlenszerű sorrendben.

Eljárás

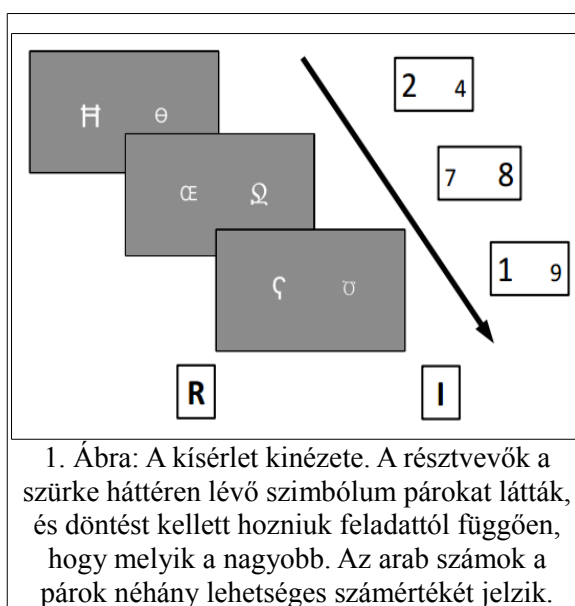
A kísérlet összesen öt feladatot tartalmazott, közülük csak az utolsó kettő volt numerikus Stroop feladat. A jelenlegi dolgozat csak a numerikus Stroop feladatok eredményeit vizsgálja, de röviden leírjuk a többi feladatot is.

Az első napon a résztvevőket helyszínen és egyénileg vizsgáltuk meg. A kísérlet elején tájékoztatást kaptak, volt lehetőségük kérdéseket feltenni, és aláírhattak beleegyező nyilatkozatot. A

program, indítás után, a 18 szimbólum közül véletlenszerűen hozzárendelt 9 szimbólumot az 1-től 9-ig számhoz. A hozzárendelt szimbólumokat külön fájlban tárolta, így minden következő indításkor az adott résztvevő ugyanazokat a szimbólumokat kapta meg ugyanabban a sorrendben, de mindegyik résztvevő más szimbólumokat kapott más sorrendben.

Miután láthatta és tanulmányozhatta a szimbólumokat, a résztvevő továbbléphetett az első feladathoz, amely tanulási feladat volt. Itt a feladat abból állt, hogy résztvevő egy új szimbólumot és arab számjegyet látott, és a korábbi hozzárendelésnek megfelelően kellett válaszolni arra, hogy egyenlőek-e. Az „igen” válaszhoz az „I” gombot, a „nem” válaszhoz az „R” gombot kellett megnyomni. A következő feladat összehasonlítási feladat volt, ahol a résztvevő két új szimbólumot látott, és számérték alapján a nagyobbat kellett választania gomb nyomással – „R”, ha a balra lévő, és „I”, ha a jobbra lévő volt a nagyobb. Ez a feladat elősegítette a szimbólumok sorrendjének rögzülését. A harmadik feladat előfeszítés feladat volt. A résztvevő először egy új szimbólumot (előfeszítő inger), utána egy arab számjegyet (célinger) látott, és mindkettőre válaszolnia kellett gombnyomással, hogy kisebb vagy nagyobb 5-nél („R”=kisebb, „I”=nagyobb). A feladat eredményei egy másik dolgozat tárgya. Mindegyik feladatban a program kellemes vagy kellemetlen hanggal visszajelzést adott a résztvevőnek a válasza helyességéről.

A következő feladat a számérték alapú numerikus Stroop feladat volt. A résztvevő két új szimbólumot látott, ezuttal különböző méretben (50 és 80 pixel), és döntenie kellett arról, hogy melyiknek nagyobb a számértéke. A résztvevő itt is kapott visszajelzést. Utána következett a fizikai méret alapú numerikus Stroop feladat, amely ugyanúgy nézett ki, mint az előző feladat, de itt a fizikailag nagyobb számot kellett választani. Ebben a feladatban nem volt visszajelzés. Mindkét feladatban az „R” gomb megnyomása azt jelentette, hogy a balra lévő szimbólum, az „I” gomb megnyomása azt, hogy a jobbra lévő a nagyobb. A gomb megnyomása után 300 ms-mal később jelent meg a következő szimbólum pár. Az 1. ábrán látható példa a kísérlet kinézetéről.



Mindegyik feladatban az ingerek véletlenszerű sorrendben jelentek meg. A kísérlet nagyjából 1 órát tartott. A feladatok fix sorrendben kezdődtek meg egymás után. Miután befejezték, a résztvevők e-mailben kaptak a szükséges számítógépes programokat, a szimbólum hozzárendelési fájlt, és részletes utasítást arról, hogy hogyan kell a PsychoPy programot telepíteni és a programokat indítani. A kísérletet további négy alkalommal végezték el otthon, és a keletkezett log fájlokat e-mailben küldték vissza. Így a kísérlet összesen öt napig tartott.

Eredmények

Résztvevőnként medián reakcióidőket számoltunk ki a helyes válaszok alapján, és ezeket használtuk a statisztikai elemzéshez. A statisztikai elemzést SPSS 17.0 program segítségével végeztük el. A hiba arányok kicsik voltak: 5% körül a számérték alapú feladatban az első napon és összesen, és 1% és 2% körül a fizikai méret alapú feladatban az első napon és összesen. Ezért kihagytuk a statisztikai elemzésből.

Az eredményeket numerikus Stroop feladatonként vizsgáltuk – egyrészt azért, mert nem variáltuk a feladatok sorrendjét, így nem volt érdemes sorrendi hatást vizsgálni, másrészt a feladaton belüli jelenségek voltak leginkább érdekesek számunkra. Emellett külön elemeztük az első napon kapott eredményeket, mivel azt szeretnénk volna megtudni, hogy jelen van-e a kongruencia hatás az első naptól kezdve.

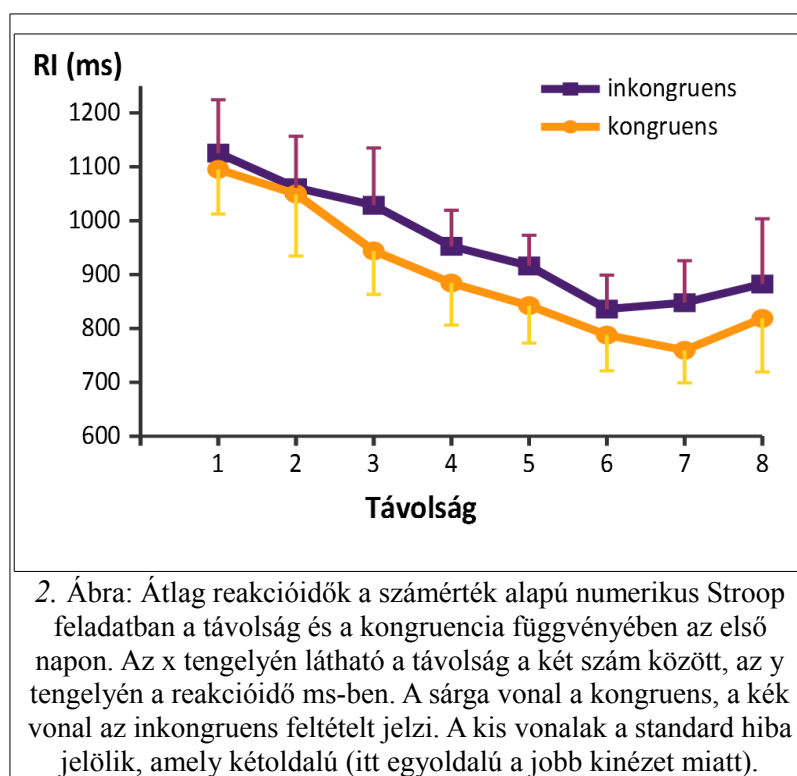
Első nap

A számérték alapú numerikus Stroop feladatban 2(kongruens és inkongruens)x8(1től 8ig távolság) vegyes varianciaanalízist végeztünk el. Az eredmények kimutatták a kongruencia ($F(1, 12)=5,666$, $p=0,035$) és a távolság ($F(3,294, 39,524)=12,222$, $p<0,001$) főhatását (Greenhouse-

Geisser mutató, az elemzés során végig ezt a mutatót használjuk). Az interakció nem volt szignifikáns. A résztvevők átlagosan 59,6 ms-mal gyorsabbak voltak a kongruens feltételben (átlagosan 897,6 ms), mint az inkongruens feltételben (átlagosan 956,2 ms). Az 1. táblázatban látható a reakcióidő távolságként a kongruens és az inkongruens feltételben (ms-ben). A kongruens és az inkongruens feltételben is kimutatható volt a távolsági hatás – $F(2,118, 27,538)=7,335$, $p=0,002$ és $F(3,474, 45,164)=9,055$, $p<0,001$. Az átlag reakcióidők a 2. ábrán mutatjuk.

	1	2	3	4	5	6	7	8
kongruens	1095,112	1049,469	943,777	884,223	842,304	787,658	759,419	818,569
inkongruens	1125,304	1061,085	1028,509	952,392	916,042	835,935	847,708	882,300

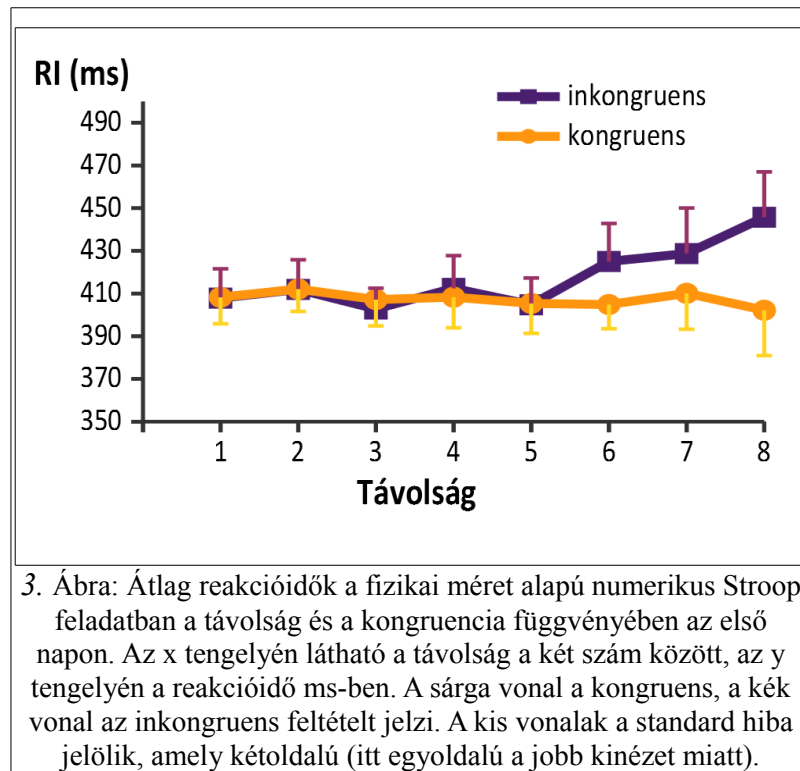
1. Táblázat: Átlag reakcióidők ms-ben távolságként és kongruencia feltételenként a számérték alapú numerikus Stroop feladatban az első napon



A fizikai méret alapú numerikus Stroop feladatban ugyanúgy 2(kongruens és inkongruens)x8(1-től 8-ig távolság) vegyes varianciaanalízis elemzést végeztünk el. Az elemzés nem mutatott ki szignifikáns főhatásokat vagy interakció, és a különbség a két kongruencia feltétel között csak 10 ms volt – a kongruens feltételben átlagosan 407,4 ms, az inkongruensben 417,4 ms volt a reakcióidő. Ennek ellenére az eredmények mintázata megfelel az elvártaknak – a kongruencia hatás a leíró statisztika alapján nagyobb a nagy távolságoknál. Az átlag reakcióidők kongruencia és távolsági feltételenként a 3. ábrán láthatók, a 2. táblázat pedig mutatja az átlag értékeket ms-ben.

	1	2	3	4	5	6	7	8
kongruens	408,231	412,065	407,192	408,292	405,377	404,858	410,104	402,185
inkongruens	407,865	411,923	402,777	412,431	404,758	425,000	428,696	445,731

2. Táblázat: Átlag reakcióidők ms-ben távolságonként és kongruenciáként a fizikai méret alapú numerikus Stroop feladatban az első napon



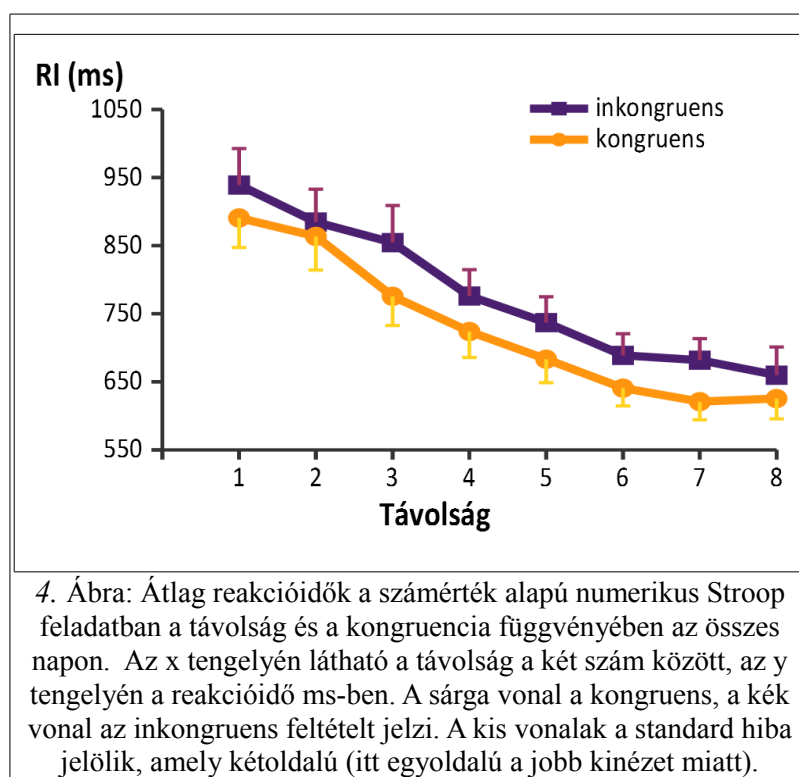
Összes nap

A számérték alapú numerikus Stroop feladatnál 2(kongruens és inkongruens)x8(1-től 8-ig távolság)x5(1-től 5 napig) vegyes varianciaanalízist végeztünk el. Mindegyik főhatás szignifikáns volt. Elsősor is szignifikáns volt a kongruencia hatás ($F(1, 10)=18,287$, $p=0,002$), ahol a résztvevők 49,7 ms-mal gyorsabbak voltak a kongruens feltételben (átlagosan 727,9 ms) az inkongruens feltételhez képest (átlagosan 777,6 ms). A távolságnak is volt főhatása ($F(2,666, 26,660)=50,326$, $p<0,001$). Emellett a távolsági hatás ki volt mutatható külön-külön a kongruens ($F(2,700, 26,995)=30,086$, $p<0,001$) és az inkongruens feltételben ($F(3,450, 34,500)=32,499$, $p<0,001$). Az átlag reakcióidők értékeit a 3. táblázat mutatja feltételenként. A reakcióidők ábrázolása a 4. ábrán történt meg.

	1	2	3	4	5	6	7	8
kongruens	890,66	863,59	775,54	723,82	683,24	640,69	620,82	625,37
inkongruens	938,96	884,67	854,44	776,04	736,88	688,82	681,73	659,70

3. Táblázat: Átlag reakcióidők ms-ben távolságonként és kongruenciaként a számérték alapú numerikus Stroop feladatban az összes napon

Annak is volt főhatása, hogy a kísérlet melyik napjánál tartottak a résztvevők – $F(1,843, 18,430)=9,824$, $p=0,002$. Az egymást követő napokon a résztvevők átlagos reakcióideje a következőképpen változott: 946,3, 793,2, 695,3, 697,7 és 631,5 ms. Ez azt mutatja, hogy résztvevők egyre gyorsabban tudtak dönteni az új simbólumokról. Egyik interakció sem volt szignifikáns.

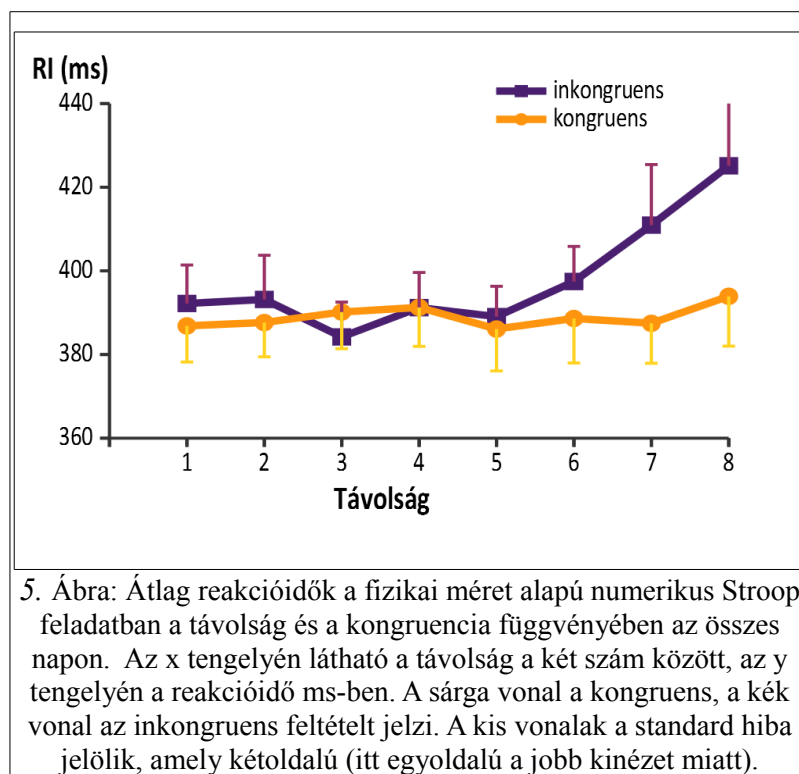


A fizikai méret alapú numerikus Stroop feladatnál ugyanazt a vegyes varianciaanalízist végeztük el – $2(\text{kongruens és inkongruens}) \times 8(1\text{-től } 8\text{-ig távolság}) \times 5(1\text{-től } 5 \text{ napig})$. Szignifikáns volt a távolsági hatás – $F(2,432, 24,318)=4,437$, $p=0,017$, valamint a nap hatása is – $F(2,250, 22,495)=3,955$, $p=0,030$. A résztvevők egyre gyorsabban döntöttek: 415,61, 406,11, 381,46, 386,10 és 378,04 ms. Ezt a hatást nem vizsgáltuk tovább, de a leíró statisztika alapján nagyobb volt a javulás a reakcióidőt illetően a számérték alapú feladatban (315 ms), mint a fizikai méret alapúban (47 ms) – ilyen módon javult a reakcióidő a fejlődési kísérletekben is. A távolsági hatást külön-külön néztük meg a két kongruencia feltételben. A kongruens feltételben nem volt szignifikáns ($F(2,615, 26,155)=0,374$, $p=0,746$), az inkongruens feltételben azonban tendenciaszerűen szignifikáns volt ($F(2,101, 21,008)=3,190$, $p=0,060$), és fordított. Az átlag reakcióidők értékeit ms-

ben a 4. táblázatban lehet megtekinteni, valamint az 5. ábrán mutatjuk.

	1	2	3	4	5	6	7	8
kongruens	386,85	387,65	390,16	391,26	386,09	388,62	387,46	393,93
inkongruens	392,20	393,17	384,21	391,21	389,06	397,46	410,95	425,12

4. Táblázat: Átlag reakcióidők ms-ben távolságonként és kongruenciáként a fizikai méret alapú numerikus Stroop feladatban az összes napon



5. Ábra: Átlag reakcióidők a fizikai méret alapú numerikus Stroop feladatban a távolság és a kongruencia függvényében az összes napon. Az x tengelyén látható a távolság a két szám között, az y tengelyén a reakcióidő ms-ben. A sárga vonal a kongruens, a kék vonal az inkongruens feltételt jelzi. A kis vonalak a standard hiba jelölik, amely kétoldalú (itt egyoldalú a jobb kinézet miatt).

A méret kongruencia hatás nem volt szignifikáns ($F(1, 10)=1,838$, $p=0,205$), de ennek ellenére megismételhető volt az a mintázat, amely már az első naptól kezdve jól látható volt, és megfelel az elvártaknak. Egyik interakció sem volt szignifikáns.

Diszkusszió

A numerikus Stroop feladat számérték alapú változatában az első naptól kezdve megfigyelhetők voltak azok a hatások, amelyeket feltételeztük automatikus feldolgozás esetében: a méret kongruencia hatás és a távolsági hatás. Emellett a két kongruencia feltételben külön-külön volt kimutatható a távolsági hatás. Ebben a feladatban lassabban döntöttek a résztvevők, mint a fizikai méret alapú feladatban.

A numerikus Stroop feladat fizikai méret alapú változatában az eredmények nem annyira egyértelműek. Az első napon nem kaptunk szignifikáns hatást vagy interakciót, de látható volt az elvártaknak megfelelő mintázat – a nagyobb távolságokban a leíró statisztika alapján nagyobb volt a kongruencia hatás. Az összesített eredményben továbbá nem jelent meg a kongruencia hatás, de a

mintázat egyre jobban volt kivehető, és a szignifikáns fordított távolság hatás, amely az inkongruens feltételben található tendenciaszerű fordított távolsági hatásnak köszönhető, jelezheti azt, hogy a méret kongruencia hatás alakulóban volt.

Az eredményeink alapján azt tételezhetjük fel, hogy az új szimbólumok numerikus feldolgozása viszonylag gyorsan válik automatikussá az arab számjegyekhez hasonlóan, és valószínűleg hasonló utat követi, mint amelyet az arab számjegyek tanulásakor. Ezek a szimbólumok alkalmasak más, a numerikus képességekkel kapcsolatos kísérletekben való használatra, pl. ahol szükséges a többjegyű számok holisztikus feldolgozása.

A légvégén néhány kitekintést szeretnék tenni olyan témákkal kapcsolatban, amelyek nem kapcsolódnak közvetlenül a dolgozat tárgyához.

Elsősorban, az analóg mennyiség rendszer és a diszkrét egységekből álló mentális számegetes nem az egyetlen elképzelések a méret kongruencia hatás mögötti álló mechanizmussal kapcsolatban. Cohen (2009) kutatásában azt mutatja meg, hogy a távolságu hatást jól magyarázza meg a használt jelölés (arab számjegyek) alakja. Hasonló következtetéshez jutottak el García-Orza, Perea, Mallouh és Carreiras (2012), akik kutatásukban indiai számjegyeket vizsgáltak. A mi kutatásunk valamennyire ellentmond ezeknek a feltételezéseknek, mivel a használt új szimbólumokat a számítógépes program véletlenszerűen választotta ki és rendelte hozzá a nagyságokhoz. Természetesen, ez nem jelenti azt is, hogy a szimbólumok nem hasonlítanak egymáshoz olyan módon, hogy a távolsági hatás ne jelenjen meg a szimbólum alakjának függvényeként.

A másik kitekintés arról szól, hogy nem minden szerző tekinti a fizikai méretet és a mennyiséget mint egymással kapcsolatban álló dimenziók. Algom, Dekel és Pansky (1996) szerint a numerikus Stroop hatás annak köszönhető, hogy az egyik dimenzió általában jobban diszkriminálható (több szintje van), mint a másik. Ezek a dimenziók a távolság, amelynél kettőnél több szintje szokott lenni, és a fizikai méret, ahol csak „kicsi” és „nagy” szint van általában. Ez az egyik lehetséges magyarázata is annak, hogy aszimmetrikus a méret kongruencia hatás a feladatok között – azért általában van interakció a fizikai méret alapú feladatban, mert a mennyiség jobb tagolása befolyásolja a döntést, de a számérték alapú feladatban a durva „nagy-kicsi” felosztás nem elég hozzá. A mi kutatásunk célja nem e kérdés megválaszolása, de érdemes említeni, hogy ugyanazok a gyengének tartott pontok (Algom és mtsai., 1996) jellemzők az eredményekre és ugyan olyan módon, mint az arab számjegyeknél.

Végezetül, az új szimbólumok hasznosak lehetnek a numerikus képességek vizsgálatában, mert olyan faktorokat manipulálhatjuk velük, amelyeken nehéz változtatni a tanult, automatikus természetük miatt. Így a használatuk elősegítheti a numerikus képességek jobb megértését.

Irodalomjegyzék

- Algom, D., Dekel, A., & Pansky, A. (1996). The perception of number from the separability of the stimulus: The Stroop effect revisited. *Memory & Cognition*, 24(5), 557–572.
- Berie, J. L., & Hinrichs, J. V. (1981). Size-congruity in the development of numerical comparisons. Presented at the Meeting of the Midwestern Psychological Association, Detroit.
- Besner, D., & Coltheart, M. (1979). Ideographic and alphabetic processing in skilled reading of English. *Neuropsychologia*, 17(5), 467–472.
- Brysbaert, M. (2005). Number Recognition in Different Formats. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition* (1st ed., pp. 23–42). New York: Psychology Press.
- Brysbaert, M., Fias, W., & Reynvoet, B. (2006). The issue of semantic mediation in word and number naming. In A. Columbus (Ed.), *ADVANCES IN PSYCHOLOGY RESEARCH* (Vol. 48, pp. 181–200). Nova Science Publishers. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1854/LU-132358>
- Cohen, D. J. (2009). Integers do not automatically activate their quantity representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(2), 332–336.
- Cohen Kadosh, R., Bien, N., & Sack, A. T. (2012). Automatic and Intentional Number Processing Both Rely on Intact Right Parietal Cortex: A Combined fMRI and Neuronavigated TMS Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1–42.
- Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber–Fechner law: a logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(4), 145–147.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: how the mind creates mathematics* (Rev. and updated ed.). New York: Oxford University Press.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307–314.
- Ganor-Stern, D., & Tzelgov, J. (2008). Across-notation automatic numerical processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(2), 430–437.
- García-Orza, J., Perea, M., Mallouh, R. A., & Carreiras, M. (2012). Physical similarity (and not quantity representation) drives perceptual comparison of numbers: Evidence from two

- Indian notations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(2), 294–300.
- Girelli, L., Lucangeli, D., & Butterworth, B. (2000). The Development of Automaticity in Accessing Number Magnitude. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(2), 104–122.
- Henik, A., & Tzelgov, J. (1982). Is three greater than five: The relation between physical and semantic size in comparison tasks. *Memory & Cognition*, 10(4), 389–395.
- Ito, Y., & Hatta, T. (2003). Semantic processing of Arabic, Kanji, and Kana numbers: Evidence from interference in physical and numerical size judgments. *Memory & Cognition*, 31(3), 360–368.
- Kaufmann, L., Koppelstaetter, F., Siedentopf, C., Haala, I., Haberlandt, E., Zimmerhackl, et al. (2006). Neural correlates of the number-size interference task in children. *NeuroReport*, 17(6), 587–591.
- McCloskey, M. (1992). Cognitive mechanisms in numerical processing: evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44(1-2), 107–157.
- Moors, A., & De Houwer, J. (2006). Automaticity: A Theoretical and Conceptual Analysis. *Psychological Bulletin*, 132(2), 297–326.
- Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for Judgements of Numerical Inequality. *Nature*, 215(5109), 1519–1520.
- Paivio, A. (1975). Perceptual comparisons through the mind's eye. *Memory & Cognition*, 3(6), 635–647.
- Pavese, A., & Umiltà, C. (1998). Symbolic distance between numerosity and identity modulates Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(5), 1535–1545.
- Peirce, J. W. (2012). *PsychoPy*. Retrieved from www.psychopy.org
- Razpurker-Apfeld, I., & Koriat, A. (2006). Flexible mental processes in numerical size judgments: the case of Hebrew letters that are used to convey numbers. *Psychonomic bulletin & review*, 13(1), 78–83.
- Rubinsten, O., Henik, A., Berger, A., & Shahar-Shalev, S. (2002). The Development of Internal Representations of Magnitude and Their Association with Arabic Numerals. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(1), 74–92.

- Sekuler, R., & Mierkiewicz, D. (1977). Children's judgments of numerical inequality. *Child Development*, 48(2), 630–633.
- Takahashi, A., & Green, D. (1983). Numerical judgments with Kanji and Kana. *Neuropsychologia*, 21(3), 259–263.
- Tzelgov, J., Meyer, J., & Henik, A. (1992). Automatic and intentional processing of numerical information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(1), 166–179.
- Tzelgov, J., Yehene, V., Kotler, L., & Alon, A. (2000). Automatic comparisons of artificial digits never compared: Learning linear ordering relations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(1), 103–120.
- Zhou, X., Chen, Y., Chen, C., Jiang, T., Zhang, H., & Dong, Q. (2007). Chinese kindergartners' automatic processing of numerical magnitude in stroop-like tasks. *Memory & cognition*, 35(3), 464–470.