

Az újonnan tanult számszimbólumok reprezentációja:

az új címkék beépülése a szemantikus rendszerbe

Tartalom

Bevezetés	3
A numerikus megismerés rendszerei – analóg mennyiség rendszer.....	3
Numerikus távolság hatás.....	6
Az AMR és a numerikus távolság hatás kapcsolatának megkérdőjelezése	7
Előfeszítés numerikus paradigmákban.....	11
Az AMR és a numerikus távolság hatás az eddigi kutatások fényében.....	13
Kutatásunk tárgya	14
Módszer	17
Résztevők	17
Eljárás.....	18
Ingeranyag	19
Eredmények	21
Reakcióidők és hibázások eloszlása és változása	21
Előfeszítési távolság hatás.....	23
Válasz előfeszítő hatás	23
A tanulás hatása	24
Megvitatás.....	26
Tanulási folyamat elemzésének problémái	28
Konklúzió	29
Hivatkozások.....	30

Bevezetés

A munkámban bemutatott kísérlet egy kutatás részét képezi. A fő kutatásunk a numerikus megismerés egyik klasszikus elképzelését egy új megközelítésben teszteli. Ebben a vizsgálatunkban új szimbólumokat használunk arab számok helyett, és az analóg mennyiség rendszer és a numerikus szimbolikus távolság hatás kapcsolatát vesszük górcső alá. Azonban az új szimbólumok bevezetése előtt, először meg kell vizsgálnunk, vajon az újonnan tanult szimbólumok, mennyi tanulás után, mennyire viselkednek hasonlóan a fejünkben, mint az arab számok. A jelen kísérlet ezt a kérdést vizsgálja, tehát hogy milyen kapcsolat alakul ki az új szimbólumok és az arab számok között. Másképpen megfogalmazva arra vagyunk kíváncsiak a jelen munkában, hogy az újonnan tanult címkék (új szimbólumok) milyen gyorsan és mekkora mértékben aktiválják a címke által szimbolizált fogalmat (jelen esetben az arab számokat). Ezt az aktivációt, előfeszítést alkalmazva, kvantitatív módon reakcióidők megvizsgálásával mutatjuk ki.

A bevezetőben az analóg mennyiség rendszerről és a numerikus szimbolikus távolság hatásról alkotott különböző elméleteket vázolom fel, amely a fő kutatásunk témája. Majd a jelen kísérlethez releváns, a numerikus megismerés területén elvégzett előfeszítéses vizsgálatokat fogom összefoglalni. Végül bemutatom a fő kutatás és a jelen vizsgálat kapcsolatát.

A numerikus megismerés rendszerei – analóg mennyiség rendszer

Az emberi elmében vannak specifikus numerikus rendszerek, melyek mennyiségek leképezésével, feldolgozásával, és a velük kapcsolatos műveletekkel foglalkoznak. Ezeknek az agyi rendszereknek egy része evolúciósan ősbíbb struktúrák, melyek adaptációs problémát oldottak meg az ősi környezetben, és máig ugyanazokat a funkciókat látják el (melyek a verbális mentális rendszerek mellett haszontalannal tűnek). Valamint vannak humánspecifikus rendszerek, melyek az ősi struktúrákra ráépülve működnek, és a nyelv szimbolikus reprezentációit használják (Dehaene, 2003).

Az egyik legátfogóbb elmélet rendszer a numerikus architektúráról a dehaene-i hármas kódolás modell, mely három különböző reprezentációt különít el a numerikus ingerek leképezésére. Létezik egy (i) arab számok reprezentációjáért felelős vizuális rendszer, melyet az arab számok írásában, olvasásában és műveleteiben használjuk. A (ii) verbális rendszer a számokkal kapcsolatos auditoros bemenetet dolgozza fel, és pontos, diszkrét sorozatként

tárolja a számokat és főleg a velük való pontos aritmetikai műveletekben támaszkodunk erre a rendszerre. A vizuális arab szám és a verbális rendszer képes, minden számot (pozitív, negatív, tört, irracionális, komplex, stb...) diszkrét módon reprezentálni, és szimbolikus jelölésű (arab szám, számnév) mennyiségek esetében aktiválódnak (Feigenson, Dehaene és Spelke, 2004). Végül a nem szimbolikus jelölésben megjelenő mennyiség leképezéséért egy evolúciósan ősi mechanizmus a felelős: az (iii) analóg mennyiség rendszer (AMR). Ez a struktúra lehetővé teszi a számok/mennyiségek folytonos, zajos és modalitás független reprezentációját és nem szimbolikus jelölésben (tárgyak halmaza, pontthalmazok) felbukkanó számosság esetén ennek a rendszernek a segítségével becsüljük meg a mennyiségeket (Wynn, 1998; Dehaene, 2003, Feigenson és mtsai., 2004; Brannon, 2006). Így Az AMR részt vesz a mennyiségek (számok) összehasonlításában, pontatlan megbecsülésükben, valamint a közelítő számításokban (Dehaene, 1992; Polk, Reed, Keenan, Hogarth és Anderson, 2001, Dehaene, 2003).

Az AMR kelti a számosság érzékletét, míg a verbális rendszer pontosan reprezentálja a számokat, de önmagában nem okoz mennyiség érzetet. Neuropszichológiai kutatásokban felfedezték a verbális (pontos) és az AMR (pontatlan) rendszere közötti kettős disszociációt agykárosodott betegeknél (Polk és mtsai., 2001; Dehaene, 2003). A közelítő számolás (AMR) az intraparietális sulcus területéhez (HIPS), míg a pontos számolás (AMR és verbális rendszer együtt) ezen a területen kívül még a nyelvi áréakhoz is köthető (Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu és Tsivkin, 1999; Holloway, Price és Ansari, 2009). Olyan természeti népeknél, akinek nem voltak szavaik a számokra, és a mennyiségeket csak megközelítőleg kezelték, kimutatható volt, hogy a törzsi emberek a pontos számolással (amely a verbális, diszkrét szimbolikus rendszeren alapul) nem tudtak megbirkózni, míg a becsléses számolás (ahol a nem verbális rendszerek a felelősek) jól ment nekik (Pica, Lemer, Izard és Dehaene, 2004).

Megjegyzendő, hogy létezik még egy tárgykövető rendszer is (tárgy-fájl rendszer), amely a három reprezentáción kívül működik, alapvetően vizuális információkon alapul és egyszerre körülbelül 4 objektum leképezésén keresztül oldja meg a tárgyakra vonatkoztatott számosság pontos reprezentációját a kis számok tartományában (4-ig). Mivel a téma megértése nem igényli, ezért nem térek ki a tárgy-fájl rendszer részletezésére (lásd: Starkey és Cooper, 1980; Kahneman, Treisman és Gibbs, 1992; Wynn, 1998; Xu és Spelke, 2000; Xu, 2003; Piazza, 2011).

Az AMR szemléltetésére Meck és Church (1983) Gibbon (1981) kutatása alapján egy gyűjtőedény metaforával álltak elő. Képzeljük el, hogy az elménkben létezik egy tároló, amelybe folyamatosan folya valami (továbbiakban ezt a valamit nevezzük impulzusnak), ha mindig nyitva lenne a nyílás rajta. A tároló nyílászárója akkor aktiválódik (nyílik ki), ha bizonyos mennyiségek jelennek meg ingerbemenetként. Az 1 mennyiségre egy meghatározott ideig, a 2 mennyiségre körülbelül kétszer olyan hosszú ideig marad nyitva a nyílás, amin folyamatosan áramlanak be az impulzusok. A tárolóban lévő impulzusok sokasága határozza meg a mennyiség észleletet. A lényeg, hogy a számok növekedésével a torzítás is nő, mert nem mindig pontosan az egy egységnyi idő többszöröseinek megfelelő ideig van nyitva a tároló (Gibbon, 1981; Meck és Church, 1983; Wynn, 1998; Dehaene, 2003).

Az AMR így lehetővé teszi a mennyiségek pontatlan megbecsülését, tehát például két halmaz elemszámának a körülbelüli összehasonlítását. Az állatok is rendelkeznek ezzel a struktúrával (AMR-rel), és egyértelmű adaptációs előnnyel jár a számosság érzékelése a rendszer pontatlansága ellenére is. Az embernél a nyelv tette lehetővé a számok diszkretizálását (szimbolikus, verbális rendszeren keresztül), és engedte, hogy a matematikai tudásunk túlszárnyalja minden más állat számokkal kapcsolatos képességeit (Wynn, 1998; Dehaene, 2003, Brannon, 2006).

Az AMR másik elnevezéséből kiindulva, úgy tudjuk elképzelni, mintha lenne egy mentális számegyenes a fejünkben, amely zajosan és folytonosan kódolja a számokat. A mentális számegyenessel kapcsolatban két ismert modellt említünk meg. A *mentális számegyenes logaritmikus összesűritéssel* elméletében a rendszer a Weber törvényt követve, logaritmikusan reprezentálja a mennyiségeket és a hozzájuk tartozó észleleteket. Tehát ahogy nő a számosság, annál kisebb helyet foglal el egy-egy mennyiség reprezentációja a mentális számegyenesen, és az összefüggés logaritmikus, hasonlóan egy logarléchez (Wynn, 1998; Dehaene, 2003, Brannon, 2006). A másik megközelítés egy lineáris leképezésű mentális számegyenesből indul ki, amelyen a számosság által reprezentált jel variabilitása (ezt hívják skaláris variabilitásnak) változik a számok növekedésével (logaritmikusan nő). Tehát minél nagyobb egy mennyiség annál zajosabban reprezentáljuk azt és a zaj növekedése a Weber törvényt követi, amely meghatározza a mennyiségekhez tartozó jel variabilitását. Ezt a modellt a szakirodalomban a *mentális számegyenes skaláris variabilitással* név alatt találjuk meg (Gallistel és Gelman, 1992; Whalen, Gallistel és Gelman, 1999). A két modell ugyanazokat a tulajdonságokat jósol az AMR-nek, valamint ugyanazokat a viselkedési reakciókat eredményezi, és egyaránt magyarázni tudja az emberek teljesítményét

mennyiségek pontatlan becslésekor (Feigenson és mtsai., 2004). Azért maradt meg mégis elkülönülve a két modell, mert vannak olyan kísérletek, amikor megkülönböztethető a két fajta mentális számegyenes egymástól, bár eddig határozottan egyik modellt sem tudták megcáfolni. Például Nieder és Miller (2003) főemlősökön folytatott egy sejt aktivációkat vizsgáló kutatásában, a primáták prefrontális kérgében a mennyiségre érzékeny sejtek aktivitási mintázata a logaritmikus összesűrítésű mentális számegyeneset támogatta, a lineáris egyenes skaláris variabilitással elmélettel szemben (Nieder és Miller, 2003).

Tehát mindkét elméletből kiindulva, két mennyiség különbségének észlelete függ a két mennyiség arányától. Minél nagyobb szám jelenik meg bementként annál pontatlanabb a jel, ami aktiválódik az AMR (mentális számegyenesen). Ez a jel pontatlanság a Weber törvényt követi. Így két halmaz elemeinek megkülönböztetésénél azonos gyorsasággal és pontossággal dolgozzuk fel az azonos arányú halmazokat (például az 1 és 2 elemszámú halmazt a 10 és 20 elemszámúhoz hasonlóan) (Dehaene, 2003).

Numerikus távolság hatás

A hármas kódolás elméletében a három reprezentáció habár külön bemenettel és kimenettel rendelkezik, a struktúrák egymással kapcsolatban állnak és mindegyik rendszer aktiválhatja a többit is (Dehaene, 1992; Dehaene, 2003). Az ember a numerikus műveletek megoldásában a rendszerek együttműködésére támaszkodik, így az AMR kapcsolatban áll a pontos verbális rendszerrel. Így jöhet létre a diszkrét számok sorozata mögötti mennyiség érzéklet. Tehát a diszkrét szimbolikus reprezentációk (a vizuális arab szám és a verbális rendszer) aktiválhatják az AMR-t. Az analóg reprezentáció (AMR) és a szimbolikus reprezentációk (arab számok, számnevek) kapcsolatával leggyakrabban magyarázott jelenség a távolság és a nagyság hatás, melyekkel a jelen kutatás is foglalkozik. A hatásokat legelőször Moyer és Landauer (1967) írták le, egy szám összehasonlítási paradigmában. A kísérlet eredményei szerint a résztvevők lassabban döntöttek el két közeli számról (pl. 5 és 6), hogy melyik a nagyobb, mint két távoli szám esetében (pl. 2 és 9). Ezt a jelenséget numerikus távolság hatásnak nevezi a szakirodalom (Moyer és Landauer, 1967). Észrevették továbbá, hogy a nagyobb számoknál (pl. 6 és 8) még pontatlanabban és lassabban válaszoltak a személyek, akkor is, ha a különbség a két szám között azonos volt a kisebb számok között lévő távolsággal (pl. 4 és 6 esetében

gyorsabbak a válaszok, mint 6 és 8 összehasonlításakor). Ezt hívják nagysághatásnak. A kísérletükben kapott reakcióidők ebben az esetben is logaritmikus skálával írhatók le matematikailag (Dehaene, 2003).

Így a kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy az összehasonlítás előtt az ember fejében megtörténik az analóg mennyiség hozzárendelése, ezért jelenik meg a numerikus távolság hatás (Moyer és Landauer, 1967), tehát a szimbolikus rendszer lehorgonyzódik az AMR-hez (Dehaene, 2003; Feigenson és mtsai., 2004; Brannon, 2006). Annak ellenére is végbemegy ez a folyamat, hogy a felnőtt ember már absztrakt módon diszkrét sorozatként értelmezi a számokat, viszont a szimbolikus címke mögötti mennyiség megértésekor (ez egy tanulási folyamat eredménye), hozzátársítjuk az agyunkban a számokat a megfelelő mennyiség reprezentációkhoz az AMR-en (Dehaene, 2003). Az egyik kísérleti bizonyíték arra, hogy a mentális számegyenesen (AMR-en) lévő számokhoz tartozó reprezentációk, minden tulajdonságával együtt implicit módon, automatikusan is aktiválódnak, ha arab számokat látunk, a numerikus stroop feladatok méret kongruencia hatása (Pansky és Algom, 1999; Schwarz és Ischebeck, 2003; Dehaene, 2003; Pinhas és Tzeglov, 2012). A numerikus stroop kísérletekben a személyeknek két, a képernyőn megjelenő arab számról kell eldönteniük, hogy melyik a nagyobb fizikailag (betűméret szerint). Interferencia lép fel a szám numerikus és fizikai nagyságának feldolgozása közben, úgy hogy a résztvevőknek csak a fizikai tulajdonságra kellene figyelniük. Tehát a numerikus érték feldolgozása is automatikusan elindul (Pansky és Algom, 1999; Schwarz és Ischebeck, 2003).

Az AMR és a numerikus távolság hatás kapcsolatának megkérdőjelezése

Az AMR tulajdonságait legtisztábban mutató kísérletek a ponthalmaz összehasonlító feladatok, ekkor tisztán mennyiségekkel, nem szimbolikus jelelöléssel kódoljuk a számosságot (Dehaene, 2003, Piazza, 2011). Bár a klasszikus felfogás szerint mind a szimbolikus (arab számok, számnevek) és a nem szimbolikus (általában ponthalmazok) mennyiség jelöléssel megjelenő numerikus távolság hatásért az AMR a felelős, ahogyan az előző bekezdésben le is írtam (Dehaene, 1992, 2003; Gallistel és Gelman, 1992; Whalen és mtsai., 1999; Zorzi és Butterworth, 1999), néhány kutató megkérdőjelezi ezt a megközelítést (Verguts, Fias és Stevens, 2005; Kadosh, Brodsky, Levin. és Henik., 2008; Holloway és Ansari, 2009; Cohen, 2009; Maloney, Risko, Preston, Ansari és Fugelsang, 2010).

Holloway és Ansari (2009), valamint az ő kutatásukat tovább gondolva Maloney és kollégái (2010) kísérletükben azt találták, hogy a numerikus távolság hatás különbözik szimbolikus és nem szimbolikus jelölés használata esetében. A két féle feladatból (ponthalmaz elrendezés szerű négyzetek és arab szám összehasonlításból) nyert hatások nem korreláltak egymással, továbbá a nem szimbolikus feltételben nagyobb volt a numerikus távolság hatás, mint az arab számok összehasonlításakor. A szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy valószínűleg különböző mechanizmusokból eredeztethető a szimbolikus és a nem szimbolikus feltételekben a numerikus távolság hatás (Holloway és Ansari, 2009; Maloney és mtsai., 2010). Szimbolikus feladatokban a numerikus távolság hatás nem bizonyult megbízhatónak (split-half reliabilitással vizsgálva), míg a nem szimbolikus feltételeknél a hatás reliabilitása magas volt, tehát a reakcióidőkben konzisztensebben jelent meg a távolság hatás (Maloney és mtsai., 2010). Maloney és társai (2010) szerint feltételezhető, Verguts és Fias (2004) komputációs modelljén alapulva¹, hogy a mentális számegyenesen a számok helyi kódolással képeződnek le, és a számokhoz tartozó hangolási görbék² változnak meg különböző jelöléskor. Tehát ponthalmazok látványa zajosabb hangolási görbét eredményez a mennyiségnek a mentális számegyenesen, amely abból ered, hogy a nem szimbolikus bemenetű ingert át kell kódolni ahhoz, hogy reprezentálni tudjuk a számegyenesünkön. A korreláció hiánya a két jelölés között és a szimbolikus távolság hatás rossz reliabilitása két külön reprezentációs struktúra létezését is indokoltta teheti (Maloney és mtsai., 2010).

Zenei hangok összehasonlításakor fedezett fel távolság hatást Kadosh és kollégái (2008), amely hasonlított a mennyiségek összevetésekor megjelenő jelenségre. Elképzelhető, hogy minden ilyen összehasonlítási feladatban (tér, idő, számosság, nagyság, hangmagasság, fénysűrűség stb...) egy közös mechanizmus felelős a távolság hatásért, amely összeveti az ingerek nagyság észleleteit fontosságuk szerint. Tehát megkérdőjelezhető, hogy a numerikus távolság hatás egy reprezentációs sajátosságból eredne (Kadosh és kollégái, 2008).

Történelmi dátumok (számmal jelölve) és események (betűvel kiírva) összehasonlításakor is ki tudtak mutatni távolság hatást, amely jelezheti, hogy távolság hatás előállhat az AMR közreműködése nélkül is (Gullick és Temple, 2011).

Egy más megközelítést használó elméletben a mentális számegyenes két nem nyelvi reprezentációs rendszerből áll, amelyeket mennyiségek becslésére használunk: létezik egy

¹ Lásd: Verguts és Fias, 2004.

² A hangolási görbe jelen esetben azt határozza meg, hogy egy szám aktiválásakor milyen mértékben aktiválódnak a körülötte lévő számok is.

logaritmikus (Dehaene, 1992, 2003), vagy skaláris variabilitású (Gallistel és Gelman, 1992; Whalen és mtsai.,1999), tehát az AMR, illetve egy szintén nem nyelvi lineáris reprezentáció is (Siegler és Opfer, 2003; Opfer és Siegler, 2007). A paradigmában, amelyet a kutatók alkalmaztak, a résztvevők feladata az volt, hogy számokat helyezzen el egy megrajzolt számegyenesen, illetve a számegyenesen bejelölt helyhez rendeljen számokat. A kísérletük eredményei alapján úgy gondolták, hogy a logaritmikus összesűrítéssel, vagy a skaláris variabilitással rendelkező mentális számegyenes önmagában nem tudja magyarázni az ember numerikus képességeit (mivel náluk lineárisan egyenletes hibázással jelölték be a számokat a számegyenesen a résztvevők). Ezért egy lineáris reprezentáció feltételezése a logaritmikus mentális számegyenes (a logaritmikus számegyenes ebben az esetben egyszerre vonatkozik a logaritmikus összesűrítésűre és a skaláris variabilitásúra is, mivel a szerzők nem foglaltak állást egyik mellett sem) mellett indokolt lehet. A lineáris rendszer tanulás során (nyelvi, szimbolikus reprezentációk segítségével) fejlődik. A helyzettől függően aktiválódik hol a lineáris hol a logaritmikus reprezentáció. Tehát bizonyos feladatoknál és számtartományoknál a lineáris, más esetekben meg a logaritmikus egyenest használjuk. A gyermekek idővel egyre jobban a lineáris reprezentációra támaszkodnak. A szám összehasonlítási kísérletekből származó eredményeket úgy magyarázzák, hogy azokban az esetekben az AMR-re, míg az olyan feladatokban, amiket ők vizsgáltak a lineáris reprezentációra támaszkodnak az emberek (Siegler és Opfer, 2003; Opfer és Siegler, 2007).

Verguts és társai (2005) felvetik, hogy számos probléma van az AMR³ különböző, de széles körben elfogadott elméleteivel. A nagyság hatás nem jelenik meg a párossági döntések, illetve a szám megnevezéses feladatokban, mivel ezekben az esetekben szimmetrikus előfeszítési hatás jelenik meg (tehát csak a két szám közötti távolság határozza meg az előfeszítést a számok aránya nem). Ezekben a feladatokban ugyanúgy használjuk az AMR-t, így a nagysághatásnak meg kellene jelennie. A szerzők létrehoztak egy komputációs modellt, amely párossági döntésben és szám megnevezésben nem generál nagyság hatást, viszont szám összehasonlításakor igen, valamint a numerikus távolság hatást is képes előállítani. A modelljük alapján több reprezentációs rendszert képzelnek el: az egyik a kicsi számok pontos és a nagy számok pontatlanabb leképezéséért, a másik pedig a többjegyű számok reprezentációjáért felelős (Verguts és mtsai., 2005).

³ AMR-ről alkotott legfontosabb elméletek: mentális számegyenes logaritmikus „összesűrítéssel” (Dehaene, 1992, 2003), skaláris variabilitással (Gallistel és Gelman, 1992; Whalen és mtsai.,1999), vagy számossági/összegzési kóddal (Zorzi és Butterworth, 1999).

Egy teljesen új megközelítéssel Cohen (2009) demonstrálta, hogy a numerikus távolság hatás nem feltétlenül az AMR-ből ered. Azt kérdőjelezte meg a kutató, hogy az arab számok minden esetben, automatikusan aktiválják az AMR-t (tehát a mennyiséget, amit szimbolizálnak). A kísérletében egy standard számhoz kellett hasonlítani számokat⁴ és eldönteni azonosak-e, vagy különbözőek-e a standarddal. Az eredményeket jobban megmagyarázta a fizikai hasonlóság a számok között, mint az AMR reprezentációs átfedései alapján leírt numerikus távolság hatás. Tehát az arab számok nem aktiválták az általuk reprezentált mennyiségeket. Ebben az esetben létrejött távolság hatáshoz hasonló jelenséget a számok között fennálló fizikai hasonlóság mediálta (Cohen, 2009).

Tárgy és cselekvés megnevezési feladatban is felfedeztek távolság hatást, amely megmutatja, hogy numerikus távolság hatással megegyező jelenség eredhet pusztán verbális reprezentációkon alapulva, a szemantikai hálóból is. A kísérletben kimutatott jelenség tisztán a szemantikai különbség távolságától függött⁵. Az eredményeket azzal magyarázták, hogy a célszóhoz jelentésben hasonló szó interferenciát okozott annak az előhívásában (Vigliocco és mtsai., 2002). Úgy tűnik, hogy a távolság hatás létrejöhet perceptuális (alacsonyabb) szinten és szemantikai (magasabb) szinten is (Vigliocco és mtsai., 2002; Cohen, 2009).

Vajon a numerikus paradigmákban tényleg csak a számok fizikai hasonlósága eredményezi a távolság hatást, ahogyan Cohen (2009) kísérletében kimutatta? Esetleg egy szemantikus eredetű távolsági hatás felel a numerikus távolság hatásért is (a szimbolikus jelölésekben) Vigliocco és kollégái (2002) eredményeiből kiindulva, így a numerikusan egymáshoz közelebb álló számok nagyobb interferenciát okoznak, és ezáltal lelassulnak a válaszok? Nehéz választ adni a kérdésekre, mindenesetre a szakirodalomban sok kutató kérdőjelezi meg a diszkrét, szimbolikus verbális és az analóg rendszer kapcsolatában az AMR elsődlegességét a numerikus ingerek feldolgozásában. Így a numerikus távolság hatást nem feltétlenül az AMR-ből eredeztetik (Vigliocco és mtsai., 2002., Verguts és mtsai., 2005, Kadosh és kollégái, 2008, Cohen, 2009, Holloway és Ansari, 2009; Maloney és mtsai., 2010, Gullick és Temple, 2011).

⁴ A kísérletben az 5-höz kellett hasonlítani 1-9-ig a számokat és eldönteni a megjelölt számról, hogy az 5-e vagy egy másik szám (Cohen, 2009).

⁵ Bár a szerzők is megjegyezték, hogy az ingerként bemutatott képek vizuális hasonlósága korrelált a szemantikai hasonlóságukkal. Viszont a hatást nem közvetíthette kizárólag a vizuális tulajdonság (Vigliocco és mtsai., 2002).

Előfeszítés numerikus paradigmákban

A fő kutatásunkban a verbális és az analóg rendszer kapcsolatában az AMR dominanciáját vizsgáljuk a numerikus távolság hatás esetében újonnan tanult számszimbólumokkal. Az ehhez tartozó elméleti tárgykört az előző alfejezetekben mutattuk be. A fő kutatás szerves részét képező jelen kutatás az új szimbólumok és az általuk jelölt arab számok között létrejövő kapcsolatot vizsgálja előfeszítéssel. Numerikus előfeszítést gyakran használtak a számok reprezentációs sajátosságainak feltérképezéséhez (Koechlin és mtsai., 1999; Roggeman és mtsai., 2007; Van Opstal és mtsai., 2008; Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). Számos előfeszítést alkalmazó kísérletet végeztek a numerikus távolság hatás mögött rejlő mechanizmus vizsgálatára (Van Opstal és mtsai., 2008; Roggeman és mtsai., 2007; Reynvoet és mtsai., 2009), így ezek a vizsgálatok érdekesek, mind a fő kutatásunk tárgyát tekintve, mind a jelen munka módszertanát nézve.

Az előfeszítés által generált hatások azért lettek népszerűek a numerikus megismerés kutatásaiban, mert a numerikus távolság hatással ellentétben ezek bizonyosabban köthetőek reprezentációs rendszerekhez (Verguts és mtsai., 2005; Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). Két féle előfeszítési hatást vizsgálnak általában a numerikus irodalomban: az előfeszítési távolság hatást⁶, és a válasz előfeszítő hatást⁷ (Koechlin és mtsai., 1999; Naccache és Dehaene, 2001; Van Opstal és mtsai., 2008; Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). Jelen munkámban is ezt a két jelenséget vizsgálom. Az előfeszítési távolság hatás az, amikor az előfeszítő és a célinger közötti numerikus távolság kicsi (pl. 1-2), a célinger feldolgozása és így a feladat megoldása is gyorsabb lesz, mint mikor az előfeszítő és a célinger között nagy a távolság (pl. 1-4). Ez a hatás elfogadottan a számok mennyiség reprezentációinak az átfedéséből (AMR) eredeztethető (Verguts és mtsai., 2005; Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). A válasz előfeszítő hatás pedig az a jelenség, mikor a feladatokban a résztvevő gyorsabban dönt abban az esetben, mikor az előfeszítő és a célingerre ugyanaz a helyes válasz (kongruens feltételben), mint mikor az előfeszítő, illetve a célinger más helyes választ igényel (inkongruens feltételben) (Koechlin és mtsai., 1999; Naccache és Dehaene, 2001; Van Opstal és mtsai., 2008).

⁶ Az angol szakirodalomban „*priming distance effect*” (PDE) néven található meg Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). Koechlin és kollégái (1999) terminológiájában „*quantity priming*” névvel illetik (Koechlin és mtsai., 1999).

⁷ Az angol szakirodalom „*Congruency-priming effect*-nek” hívja (Naccache és mtsai., 2002; Van Opstal és mtsai., 2008). Koechlin és kollégái (1999) terminológiájában „*response priming*” névvel illetik (Koechlin és mtsai., 1999).

Az előfeszítés a szám (arab szám, vagy számnév) összehasonlítási paradigmákban nem csak perceptuális szinten, hanem szemantikai szinten is kimutatható (Dehaene és mtsai., 1998; Naccache és Dehaene, 2001). Bár az előfeszítési hatások nem automatikus és figyelemtől független folyamatokkal magyarázhatóak. Az előfeszítés függ a személyek megfelelő pillanatokban levő figyelmétől (mindegy, hogy észlelési küszöb alatti, körüli vagy feletti az előfeszítő inger). A nem figyelt előfeszítő inger nem generál előfeszítést (Naccache és mtsai., 2002).

A következőkben bemutatjuk az előfeszítést alkalmazó a jelen munkára releváns numerikus kutatásokat.

Előfeszítéssel vizsgálták meg Koechlin és kollégái (1999), hogy a szimbolikus és nem szimbolikus mennyiség jelölések vajon egy reprezentációhoz köthetők. Kísérleteikben szám összehasonlítást alkalmaztak, és három féle jelölést használtak a mennyiségek megjelenítésére: arab számokat, számneveket és pontthalmazokat. Habár minden jelölésnél megjelent a numerikus távolság hatás, nagyságukban különbözőek voltak, valamint a szimbolikus (arab számok) és nem szimbolikus jelölések (pontthalmazok) nem feszítették elő egymást. Konklúzióként arra jutnak, hogy jelölés specifikus reprezentációink vannak a mennyiségekről (egy arab szám, egy verbális és egy számosság a tárgyak halmazaira). A modell annyiban különbözik a dehaene-i hármas kódolású elképzeléstől, hogy a három féle reprezentáció attól függően tud csak kommunikálni egymással, hogy milyen erős aktivációt kapott. Tehát egy gyenge aktivációt kapó verbális rendszer nem fogja aktiválni a másik kettőt, így az előfeszítés sem lesz tetten érhető (Koechlin és mtsai., 1999).

Az előfeszítési távolság hatás és a numerikus távolság hatás nem korrelált egymással Reynvoet és társai (2009) (szintén szám összehasonlításos feladatban) vizsgálatában (Reynvoet és mtsai., 2009). Valamint az előfeszítési távolság hatás úgy néz ki, nem változik az életkorral sem szimbolikus, sem nem szimbolikus jelöléssel megjelenítve, ellentétben a numerikus távolság hatással (Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). A kutatók arra jutottak, hogy az előfeszítő hatást az AMR-en lévő reprezentációs átfedések okozzák, míg a numerikus távolság hatást valami más okozza, mivel nem korrelál a kettő egymással és gyermekeknél is korral másképpen változik a két hatás (Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011).

Az előfeszítési hatás hasonlóan nézett ki szimbolikus arab számok, és nem szimbolikus pontthalmazok esetében is Defever és társai (2011) kutatásában, amely hasonló pontosságú

reprezentációkra utal (Defever és mtsai., 2011). Ezzel ellentétben egy szám megnevezési kísérletben Roggeman és kollégái (2007) azt találták, hogy szimbolikus és nem szimbolikus jelöléskor megjelenő előfeszítési hatás különbözik egymástól. Abból indultak ki, hogy a numerikus távolság hatás különbözik szimbolikus és nem szimbolikus jelölésben, ezért lehetséges, hogy két féle mögöttes reprezentációval rendelkezünk a számosság leképezésére. Az előfeszítést alkalmazó kísérleteik eredményei a szimbolikus mennyiségek esetében egy hely kódolású rendszert támogatnak, amely alatt a szerzőknél a mentális számegegyenes logaritmikus „összesűritéssel” (Dehaene, 1992, 2003), vagy skaláris variabilitással (Gallistel és Gelman, 1992; Whalen és mtsai., 1999) rendelkező modelljeit értették. A nem szimbolikus pontthalmazok pedig egy összegzési kódolású struktúrát feltételeznek, melyet egy olyan mentális számegegyenessel lehet elképzelni, ahol az aktiválódó számok/mennyiségek az előttük lévő számokat/mennyiségeket is mind aktiválják (lásd: Zorzi és Butterworth, 1999). Ezt az elképzelést igazolva a kísérletükben a nem szimbolikus jelölés esteében az előfeszítő inger előfeszíti az összes előtte álló mennyiséget (a mentális számegegyenesen) (Roggeman és mtsai., 2007).

Van Opstal és kollégái (2008) kísérletében az előfeszítési távolság hatás csak számoknál jelent meg, szavaknál nem volt megfigyelhető, míg a numerikus távolság és a válasz előfeszítő hatás kimutatható volt mindkét jelölés (számnevek és arab számok) esetében is. Úgy gondolták, valószínűleg nem az aktiválódó mennyiség reprezentációk átfedése (AMR) áll a numerikus távolság hatás hátterében. Mivel az előfeszítési távolság hatásnak szavak esetében is meg kellett volna jelennie, ha az AMR felelős a numerikus távolság hatásért, így szerintük ez a jelenség az összehasonlítási folyamatnak a következménye, nem pedig a mögöttes reprezentáció műve. Továbbá ki lehet terjeszteni általánosságban vett távolság hatásra, ami megjelenik minden összehasonlítási feladatban. Az előfeszítési távolság hatás pedig reprezentációs sajátosságokból adódik, ezért nem jelenik meg csak számoknál, ahol az AMR idézi elő (Van Opstal és mtsai., 2008). Érdekes megjegyezni, hogy Koechlin és társai (1999) kísérletében számneveknél is létrejött az előfeszítési távolság hatás.

Az AMR és a numerikus távolság hatás az eddigi kutatások fényében

Láthatjuk a kutatások alapján nincs teljes egyetértés, hogy milyen kapcsolat van a verbális és az analóg numerikus reprezentációk között, sőt még abban sincs konszenzus, hogy milyen

numerikus reprezentációs rendszereket kellene feltételezni ahhoz, hogy megmagyarázhatóak legyenek a viselkedési jelenségek.

Így a numerikus távolság hatás és az AMR kapcsolata sem egyértelmű. Rengeteg a numerikus távolság hatás klasszikus elméleti megközelítésével ellentétes, vagy azzal nehezen értelmezhető kutatási eredmény található a szakirodalomban (pl. Verguts és mtsai., 2005; Kadosh és mtsai., 2008; Holloway és Ansari, 2009; Cohen, 2009; Maloney és mtsai., 2010). Ennek ellenére nehéz kijelenteni, hogy a kérdéses hatás nem az AMR-hez való lehorgonyzásból, annak aktiválódásából ered, mivel a kísérletekben gyakran olyan problémák merülnek fel, amely megkérdőjelezhetik az eredményeket. Például a szubitizáció tényét gyakran nem veszik figyelembe pontthalmazok becslése feladatokban, amely torzíthatja az eredményeket (Koechlin és mtsai., 1999; Roggeman és mtsai., 2007; Holloway és Ansari, 2009; Maloney és mtsai., 2010; Defever és mtsai., 2011). A szubitizáció az a jelenség, amikor az 1-4-ig látott mennyiségekről (maximum 4 elemet tartalmazó halmazokról) szinte azonnal, nagyon gyorsan tudjuk a pontos számosságát (Mandler és Shebo, 1982). Valamint a kutatók eddig azt specifikusan nem vizsgálták, hogy az arab számoknál megjelenő numerikus távolság hatás nem az AMR műve, csupán erre utaló eredményeket kaptak. A szakirodalmat áttekintve egyes kutatók zenei hangok, történelmi dátumok, események, tárgyat és cselekvést reprezentáló szavak esetében mutattak ki távolság hatást (Kadosh és kollégái, 2008; Gullick és Temple, 2011; Vigliocco és mtsai., 2002). Más szerzők szimbolikus és nem szimbolikus mennyiség jelölésekben elvégzett feladatok összehasonlításából, vagy valamilyen más az AMR tulajdonságára utaló hatás megjelenésének hiányából (Koechlin és mtsai., 1999; Siegler és Opfer, 2003; Verguts és mtsai., 2005; Opfer és Siegler, 2007; Roggeman és mtsai., 2007; Van Opstal és mtsai., 2008; Holloway és Ansari, 2009; Reynvoet és mtsai., 2009; Maloney és mtsai., 2010; Defever és mtsai., 2011); illetve egy teljesen új megközelítésből (Cohen, 2009;) kiindulva gondolták, hogy a szimbolikus numerikus távolság hatás mögött valami más mechanizmus áll.

Kutatásunk tárgya

A jelen munka egy kutatás részkísérlete. A főkutatás egy olyan paradigmát használ, amellyel konkrétan megkérdőjelezhető az az elgondolás, hogy a szimbolikus numerikus távolság hatás az AMR aktiválódásából ered. A paradigmában megvizsgáljuk, hogy vajon a klasszikus szám összehasonlítási feladatokban a két szám közötti numerikus távolság, vagy az arány

határozza meg a távolság hatást szimbolikus és nem szimbolikus jelölésekben. Ahhoz, hogy két szám arányát is meg tudjuk vizsgálni, ki kell terjeszteni a kísérletben felhasználandó számok tartományát a kétjegyű számokra is. Ezáltal a paradigma képes a nagysághatás kimutatására, amely azt demonstrálná, hogy két szám aránya írja le a távolság hatást a nagy számoknál. Az arány ebben az esetben arra engedne következtetni, hogy az AMR működése okozza a távolság hatást, mivel a Weber törvénnyel összhangban a két szám közötti arány határozza meg a viselkedési reakciókat. Amennyiben a két szám közötti numerikus távolság írja le jobban a kísérlet eredményeit, akkor nem az AMR műve a távolság hatás, mert az AMR a Weber törvénnyel összhangban, logaritmikusan reprezentálja a mennyiségeket.

Tehát az eredményeknél arra leszünk kíváncsiak, vajon a nagy számok tartományában a két összehasonlítható szám aránya (amely az AMR elsődlegességére utal a távolság hatás létrejöttében), vagy a köztük lévő numerikus távolság (amely szemantikus eredetű hatásra utal) lesz-e a meghatározó a reakcióidőben megjelent távolság hatásnál. Abban az esetben, ha az aránnyal nem tudjuk megmagyarázni az eredményeket, a szimbolikus szám reprezentáció vagy nem aktiválja az AMR-t, vagy nem az AMR eredményezi a numerikus távolság hatást. Azt jósoljuk, hogy a közelítő pont összehasonlítási feladatban a távolság hatást a két pont halmazban lévő pontok számának aránya határozza meg, ekkor az AMR-t használjuk. Míg a szimbolikus összehasonlításoknál (arab számok, számnevek, vagy új szimbólumok esetében) a számok közötti távolság írja le a jelenséget (távolság hatást), így ebben az esetben valamilyen szemantikus eredetű távolság hatás jelenik meg.

A paradigma megvalósításában számos probléma merül fel. Figyelembe kell vennünk a szubitizációt (Mandler és Shebo, 1982), valamint azt, hogy a kétjegyű számokat másképpen dolgozzuk fel (Zhou, Chen, Chen és Dong, 2008; Meyerhoff, Moeller, Debus és Nuerk, 2012). A kísérletben kihagyjuk az 1-4-ig tartó szubitizációs tartományt, valamint új szimbólumokat (egy jegyű/karakterű) vezetünk be az arab számok helyett, így megvizsgálható a kétjegyű számok tartománya is. Az új szimbólumokat gyakorlással megtanítjuk a résztvevőknek az általuk jelölt arab számokhoz kötni, majd pontthalmazokon és az új szimbólumokon klasszikus „szám” összehasonlítási feladatot végeztetünk el a személyekkel.

A fő kutatásunk csak akkor informatív az arab számokra nézve, ha el tudjuk mondani, hogy az új szimbólumokat számként kezeljük, és nem szimbólumok vak sorozataként. (A vak sorozat alatt azt értjük, hogy a szimbólumok mögött nincs jelentés, nem horgonyzódnak le sehova.)

Ha az új szimbólumokat erősen az arab számokhoz kötjük, és számokként viselkednek, akkor elő is kell feszíteniük egymást, mivel az egyik részben aktiválja a másikat is. Hasonlóan a számnevekhez, ahogyan Koechlin és kollégái (1999) kísérletében is megjelent, az újszimbólumok esetében is létrejön a numerikus távolság hatás, melyet a klasszikus felfogás szerint az arab számokhoz és számnevekhez hasonlóan az AMR-nek kellene okoznia. Viszont abban az esetben, ha nem a számok (szimbólumok) közötti arány a meghatározó a távolság hatás létrejöttében, hanem a közöttük fennálló numerikus távolság, akkor egyértelműen nem az AMR felel a numerikus távolság hatásért sem az új szimbólumoknál, sem számneveknél és nagy valószínűséggel az arab számoknál sem. Ehhez azonban tudnunk kell, hogy az új szimbólumokat számnak tekinthetjük-e.

Ezért fontos eleme a fő kutatásnak a jelen munka, amely lehetővé teszi, hogy eldöntsük az új szimbólumok számokként viselkednek-e. Az előfeszítés ideális paradigma arra, hogy megvizsgáljuk a két jelölés közötti kapcsolatot (Koechlin és mtsai., 1999; Roggeman és mtsai., 2007; Van Opstal és mtsai., 2008; Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). Tehát vajon az új szimbólumok előfeszítik-e az arab számokat? Továbbá az előfeszítési távolság hatás megjeleníti az új szimbólumoknak azt a tulajdonságát is, hogy aktiválódásukkor az általuk jelölt számot és a numerikus értékük körül lévő új szimbólumokat és számokat is (a numerikus értékük alapján) aktiválják-e. Ez abból adódik, hogy az előfeszítési távolság hatás elfogadottan a számok mennyiség reprezentációinak az átfedéséből (AMR-ből) eredeztethető (Verguts és mtsai., 2005; Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). Tehát, ha létrejön ez az előfeszítési jelenség, akkor az arab számok reprezentációi is aktiválódnak, így az elméletek szerint automatikusan az AMR is (Dehaene, 2003; Feigenson és mtsai., 2004; Brannon, 2006). Ebben az esetben az új szimbólumokat nagy valószínűséggel számokként reprezentáljuk az elménkben. Azt viszont megkérdőjelezzük, hogy a távolság hatás ezeknek a szimbolikus reprezentációknak (arab számok, számnevek, új szimbólumok) az AMR-hez való lehorgonyozódásából ered.

Amennyiben az új szimbólumok aktiválják a számokat az előfeszítési távolság hatásnak meg kell jelennie. A kísérletben továbbá megvizsgáljuk az aktivitás mértékét, amely az új címke (jelen esetben az új szimbólumok) és az általa jelölt fogalom (jelen esetben számok) között jön létre. Több napon át vettük fel a kísérletet így az új szimbólumok feldolgozásának változását is meg vizsgálhattuk a tanulás függvényében. Így információt nyerhetünk az új címkék beépülésének folyamatáról a szemantikus rendszerbe: milyen gyorsan és mekkora mértékben fogja aktiválni az új szimbólum a mögötte lévő fogalmat (számot)?

Módszer

A kísérletben a résztvevők először megtanulták az új szimbólumok numerikus jelentését különböző gyakorlási feladatokon keresztül. A tanulási fázist követő előfeszítési feladatot Koechlin és társai (1999) első kísérletének paradigmájához hasonlóan dolgoztuk ki. Mivel az előfeszítés hatása várhatóan kisebb lesz az új szimbólumok esetében, mint az arab számoknál, vagy akár a számneveknél, így mi is azt az eljárást alkalmaztuk, hogy mind az előfeszítő ingerről (ami minden esetben új szimbólum jelölésben jelent meg), mind a célingerről (ami arab szám volt) el kellett dönteni, hogy kisebb, vagy nagyobb mint 5 (illetve az ötnek megfelelő szimbólum). Ez nagyobb előfeszítői hatást eredményez, mint egy maszkolt észlelés körüli előfeszítő inger, valamint biztosan tudjuk, hogy az előfeszítő ingert is feldolgozta a személy (Koechlin és társai, 1999). Azért választottuk az 1-9-ig tartományt, mert ebben a klasszikus 5-tel való összehasonlítási feladatban az előfeszítési távolság hatást vizsgálva 0-3-ig terjedő numerikus távolság áll rendelkezésünkre az előfeszítő és célinger között, így a hatást finomabban is ki lehet mutatni. Ez lehetővé teszi, hogy folytonos emelkedést figyelhessünk meg a reakcióidőben, ahogyan az előfeszítő és a célinger numerikus távolsága nő, amely biztosabbá teszi a kísérlet eredményeit.

A kísérletet több napon keresztül végeztük el ugyanazon résztvevőkön (akik ugyanazokkal a szimbólumokkal csinálták végig a feladatokat) ötször. Azt feltételeztük, hogy a tanulás során egyre erősebb kapcsolat alakul ki az új szimbólumok és az arab számok között, ami az előfeszítési távolság hatás növekedésében jelenne meg. Minden kísérlet minimum 5-6 óras alvás előzött meg, így biztosítottuk, hogy az új szimbólumok megfelelően konszolidálódhassanak a résztvevők fejében.

Résztvevők

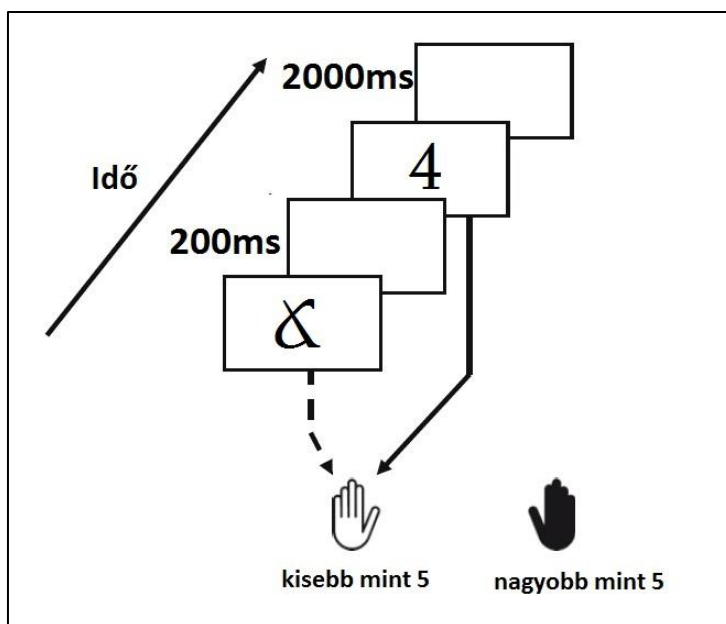
A kísérletekben résztvevő személyek egyetemisták voltak, egy kurzus keretein belül vettek részt a vizsgálatban kurzus kredit fejében. Az első alkalommal tizenöt, 19 és 25 év közötti hallgató (13 nő, 2 férfi) csinálta meg a feladatokat, akik az Eötvös Loránd Tudományegyetem különböző szakain tanultak. Az életkorok átlaga 22 év volt. A kísérleti személyek látása mind normális, vagy megfelelően korrigált (szemüveggel, vagy kontaktlencsével) volt. A kísérletet a többi napon csak 13 ember végezte el.

Eljárás

A vizsgálat első alkalmával a résztvevőket behívtuk a laborba, és a kísérletvezető leültette őket egyedül egy szobában egy számítógép elé. Röviden ismertette velük a kísérlet menetét, hogy a megoldandó feladatok a tárgyak mennyiségének megállapításának mechanizmusait kutatja, és egyszerű számokat kell majd összehasonlítani arab számok, illetve új szimbólumok jelölésében. A konkrét instrukciókat a program írta ki közvetlenül a feladat előtt. A résztvevők utasításában mind a gyorsaság és pontosság hangsúlyozva volt a kísérlet elvégzésében.

A kísérleti személyek először megcsinálták a tanulási fázis feladatait, amelyben elsajátították az új szimbólumok jelentését. Az első tanulási feladatban a képernyőn megjelent számról és új szimbólumról az kellett eldönteni, hogy az általuk jelölt érték megegyezik-e vagy sem. Ez a tanulási fázis addig ment, míg a résztvevőnek nem sikerül legfeljebb 5%-os hibázással egy hosszabb blokkot végigcsinálnia. A második gyakorló feladatban össze kellett hasonlítani a két felvillanó új szimbólum értékét egymással, és megállapítani melyik a nagyobb a kettő közül. Az utolsó gyakorlat a második feladattal megegyező volt, csak ebben a feltételben arab számokat kellett újszimbólumokkal összehasonlítani.

Minden tanulási gyakorlatban az inger addig volt látható a képernyőn, míg a résztvevő meg nem nyomta a válasz billentyű egyikét. Majd 300 ms után következett a másik inger.



Ábra 1-0. Az előfeszítési feladat egy kongruens próbájának mintája.

A tanulási fázis után következtek az előfeszítéses próbák, amelyekben először az előfeszítő inger jelent meg, és a válasz gomb lenyomásáig látható volt a képernyőn, majd 200 ms múlva tűnt fel a célinger, amely szintén a válaszig fennmaradt a képernyőn, után 2 másodperc szünet (üres képernyő) következett (lásd Ábra 1.0.). Így az előfeszítő és cél inger elkülönülve párokban csoportosulva villant fel monitoron.

A résztvevők a kísérlet minden próbájában hang formájában visszajelzéseket kaptak válaszuk helyességéről. Ezzel facilitáltuk az új szimbólumok berögzülését. Helyes válasz esetében kellemes, míg helytelen válasz gomb megnyomásakor kellemetlen hangot hallottak a személyek.

A kísérlet befejezésekor a kísérletvezetője ismertette a résztvevőkkel, hogyan kell a vezérlő programot letölteni, telepíteni és használni a személyek saját számítógépén, valamint hangsúlyozta, hogy mindenképpen két kísérlet elvégzése között egy normális alvás periódusnak kell végbemennie. A résztvevők különböző ütemben haladva ötször csinálták meg a feladatokat, melyek output fájljait e-mailben küldték el a kísérletvezetőnek.

Ingeranyag

Minden résztvevőnél véletlenszerűen párosította össze a program az új szimbólumokat az arab számokkal egy adott szimbólum készletből. Így minden személynek egyedi szimbólum készlet jelölte a számokat és ez a szimbólum készlet maradt végig a kísérletek során. 1-9-ig használtunk számokat és a hozzájuk rendelt szimbólumok a következők voltak: ŁΘΔΙΑΨΗЄΔλΣΤΥΖΩԹՕՃ. Az összes új szimbólumnak hasonló a vertikális és horizontális kiterjedése, valamint mindegyik vizuálisan komplexnek mondható.

Psychopy kísérletvezérlőt alkalmaztunk (lásd: Peirce, 2009), ami lehetővé tette (mivel ingyenesen elérhető mindenki számára), hogy a résztvevők otthon, maguk végezzék el a kísérletet több napon keresztül.

A kísérletet három különböző számítógépen vettük fel az első alkalommal, majd minden személy a saját számítógépét használta a következő napokon. A képernyő minden esetben LCD volt. Az inger bemutatását és a válaszidők tárolását paramétereikkel a Psychopy szoftver v1.74.01-ös verziója szabályozta. Az ingerek (szám és újszimbólum párok) minden esetben

fehér színűek voltak szürke háttérrel és 50-es betűméretben, a képernyő közepén jelentek meg 500 pixel távolságra egymástól. A képernyőt körülbelül fél méterről nézték a résztvevők.

A tanulási fázisban az 1-9 értékeket szimbolizáló új szimbólumok, és az arab számok 1 és 9 között minden lehetséges kombinációban véletlenszerűen kiválasztva kétszer kerültek bemutatásra egy blokkban. Három blokk után addig indult újra és újra egy blokk, míg a hibázások 5% alá nem mentek egy blokkon belül. A másik két tanulási feladatban minden lehetséges kombinációban véletlenszerűen kiválasztva négyszer kerültek bemutatásra az inger párok. Ebben az esetben ez $8 \times 9 = 72$ ingerpár négyszeri bemutatása feladatonként 288 próba felvillanását indukálta.

Az előfeszítéses kísérletben mind az új szimbólumok előfeszítő ingerként és az arab számok célingerként 1 és 9 között minden lehetséges kombinációban véletlenszerűen kiválasztva ötször kerültek bemutatásra. Ez $72 \times 5 = 360$ előfeszítő - célinger csoportot eredményez, ami összesen 620 próbát jelent személyenként.

Eredmények

A következőkben először a reakcióidők és hibázások eloszlását vizsgáljuk meg, hogy megtudjuk mennyire tipikusak hasonló numerikus feladatokhoz viszonyítva, illetve hogyan változnak a kísérleti alkalmak során. Majd megvizsgáljuk az előfeszítési távolság hatást a hibázások és a reakcióidők alapján. Miután a cél az volt, hogy kimutassuk, az előfeszítő inger befolyásolja a célingerre adott választ, ezért ebben az elemzésben Koechlin és kollégái (1999 exp. 1a) kísérletéhez hasonlóan csak a célingerre adott válaszokat vizsgáljuk, kongruens feltételben (mikor az előfeszítő és a célingerre ugyanaz a helyes válasz), valamint mind az előfeszítő és célingerre adott hibás válaszokat kizárjuk a számításból. Az inkongruens feltételekben a válaszok interferenciája elfedheti az előfeszítésben a távolság hatást, ezért hagyjuk ki az elemzésből azokat a próbákat (Defever és mtsai., 2011). Megjegyzendő, hogy mikor az előfeszítő és a célinger távolsága nulla, a jelen kísérletben nem történt ismétlési előfeszítés⁸ a klasszikus értelemben (legfeljebb szemantikus szinten), mivel két különböző jelölésben látható az előfeszítő és a célinger. Ezek után megvizsgáljuk a válasz előfeszítő hatást, szintén mind a hibázások, mind a reakcióidők esetében. A számításokba itt is csak a célingerre adott válaszokat vettük bele. Végül megnézzük, hogy a több napos gyakorlás során hogyan változnak az újszimbólumok előfeszítő hatásai.

Az elemzésben az egyéni adatok középértékének megállapításakor mediánt használtuk, mert ez kevésbé érzékeny a szélső értékekre. Így a személyenként kiszámolt mediánok értékeit használtuk fel az összetartozó mintás varianciánálízisekben (VA), illetve a páros t-próbákban.

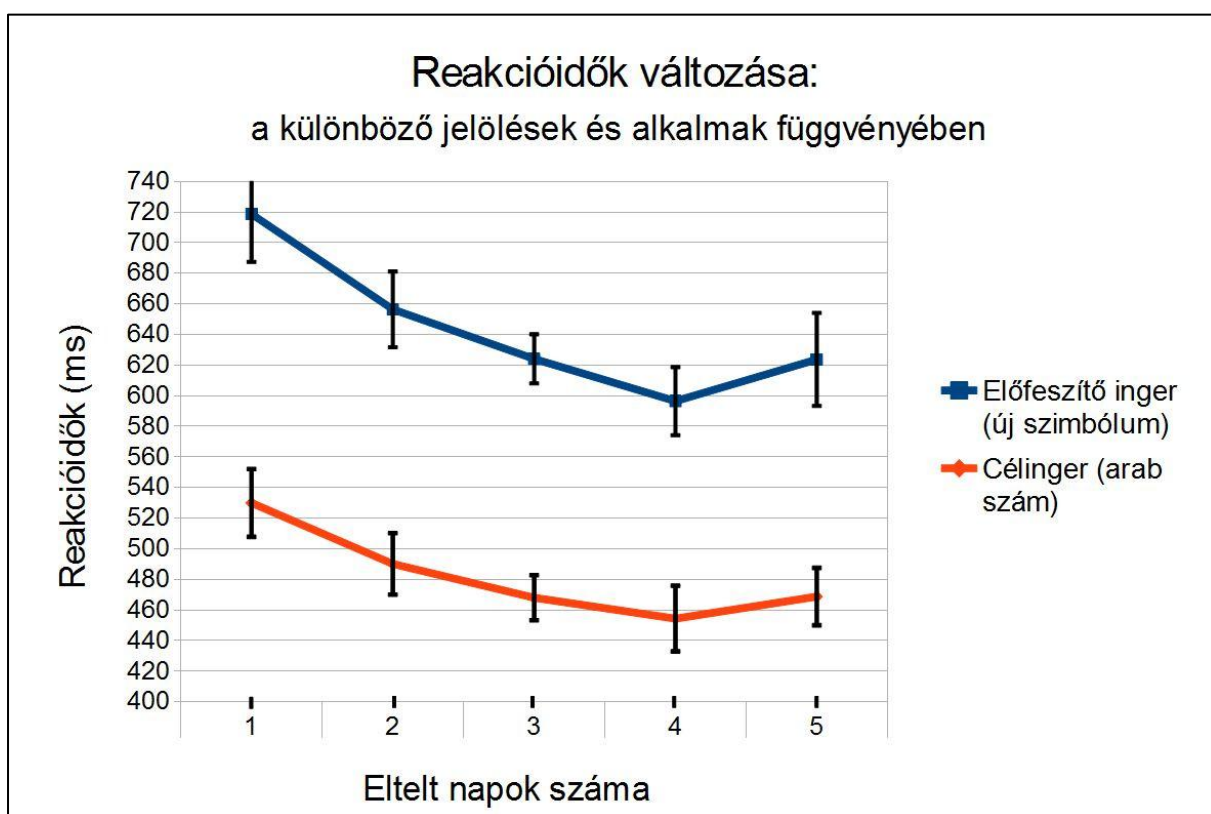
Reakcióidők és hibázások eloszlása és változása

A hibázások eloszlása alapján elmondható, hogy senki nem lógott ki. Az első két alkalommal kifejezetten alacsony (átlagosan 0,55-0,93 %), majd szemre egyre növekvő arányú tévesztést mutatnak az eredmények. Viszont az összetartozó mintás VA statisztikailag nem mutatott ki szignifikáns eltérést a különböző napokon elvégzett feladatok és a hibázások között ($F(1,088;13,06)=2,142$; $p=0,167$), ahogyan az előfeszítő (új szimbólumra) és a célingerre (arab számra) adott helytelen válaszok között sem jelentkezett különbség ($F(1;12)=0,007$;

⁸ Ismétlési előfeszítést az angol szakirodalomban „repetition priming effect” néven találjuk meg. Akkor jön létre a hatás, mikor az előfeszítő és a célinger ugyanaz. Általában perceptuális szinten zajló folyamatnak gondolják, de hat szemantikai szinten is (Huber, 2008).

$p=0,936$). A rossz válaszok aránya (átlagosan 0,55-2,9%) normálisnak tekinthető az ilyen jellegű feladatokban.

A reakcióidők nagyságrendileg (hasonló numerikus feladatokhoz mérve) teljesen normális eloszlást mutatnak. Az előfeszítő ingerre lassabb (átlagosan⁹ 595,35 ms – 720,30 ms), míg a célingerre gyorsabb (átlagosan 462,10 ms – 520,10 ms) válaszok születtek, melyet az új szimbólumok nehezebb feldolgozása eredményezett. A reakcióidők folyamatosan gyorsultak a napok során (lásd 1.1. ábra). A VA-ben így két szignifikáns főhatásként megjelent a jelölések közötti különbség, ami ebben az esetben az előfeszítő és a célinger közötti eltérésnek felel meg ($F(1;12)=232,196$; $p<0,001$), valamint a kísérleti alkalmak közötti reakcióidő változás ($F(2,269; 27,223)=6,277$; $p=0,004$). A két változó nem befolyásolta egymást, tehát nem volt interakciós hatás.



Ábra 1.0. A reakcióidők változását mutatja a különböző napokon, a jelölés függvényében (új szimbólum, vagy arab szám).

⁹ Ezekben az esetekben az átlagosan a személyek mediánjainak az átlagait jelenti.

Előfeszítési távolság hatás

A hibázásokat vizsgálva az összetartozó mintás varianciaanalízis (VA), melyet 0, 1, 2 és 3 előfeszítő-célinger távolságokra számítottunk ki, egyik alkalommal sem mutatott szignifikáns előfeszítési távolság hatást (1. nap: $F(3; 42)=2,005$, $p=0,128$; 2. nap: $F(3; 36)=1,859$, $p=0,154$; 3. nap: $F(3; 36)=1,782$, $p=0,168$; 4. nap: $F(3; 36)=2,027$, $p=0,127$; 5. nap: $F(3; 36)=4,502$, $p=0,009$). Az utolsó nap kísérletében szignifikáns hatása volt az előfeszítő és a célinger távolságának a hibázásokra, de csak az 1 és a 2 numerikus távolság tért el a 0 és a 3 távolságtól (tehát mikor az előfeszítő és a cél inger közötti numerikus távolság 0 és 3, illetve 1 és 2 volt). Ez nem tekinthető az előfeszítői távolság hatásnak.

A reakcióidők elemzése során az összetartozó mintás VA alapján megjelent a keresett előfeszítési hatás (lásd: 1.2. ábra). Már az első alkalommal a reakcióidőket szignifikánsan befolyásolta az előfeszítő és a célinger közötti távolság ($F(1,862; 26,065)=10,463$, $p=0,001$), és az előfeszítő hatást egy lineáris függvénnyel lehetett a legjobban leírni ($F(1;14)=14,798$, $p=0,002$). A negyedik nap kivételével (ahol tendencia szintű hatás látszik csak) minden alkalommal szignifikáns hatást mutatott az előfeszítő és a célinger közötti távolság a reakcióidőkre (2. nap: $F(1,425;17,097)=6,599$, $p=0,013$; 3. nap: $F(3;36)=7,550$, $p<0,001$; 4. nap: $F(1,677; 20,129)=2,707$, $p=0,098$; 5. nap: $F(1,968; 23,614)=6,926$, $p=0,004$), és minden esetben lineárisan növekedő válaszütemek társulnak a nagyobb előfeszítő - célinger távolságokhoz (lineáris illeszkedés: 2. nap: $F(1; 12)=10,992$, $p=0,006$; 3. nap: $F(1;12)=13,859$, $p=0,003$; 4. nap: $F(1;12)=8,855$, $p=0,012$; 5. nap: $F(1;12)=13,001$, $p=0,004$). Tehát az előfeszítési távolság hatás megjelent a kísérletekben a reakcióidők esetében, míg a hibázások tekintetében ez nem volt kimutatható.

Válasz előfeszítő hatás

A jelen munkában a válasz előfeszítő hatás nem döntő jelentőségű. Mégis megvizsgáljuk ezt a jelenséget is. A hibázásokon elvégzett elemzések csupán a második napi kísérletben mutattak szignifikáns eredményt, és abban az esetben is egy fordított válasz előfeszítő hatás jelent meg, tehát a kongruens feltételekben többen hibáztak a résztvevők ($t(12)=-2,352$, $p=0,037$). Valószínűleg ez a jelenség semmit nem jelent, mivel a többi alkalommal semmilyen formában nem fordul elő ez a fordított hatás. A reakcióidőket szemlélve is csak két tendencia szintű eltérés volt felfedezhető a kongruens és inkongruens feltételek között az első ($t(14)=1,764$, $p=0,099$) és a harmadik napon ($t(12)=2,085$, $p=0,059$). Ezekben az esetekben a kongruens feltételekben gyorsabban válaszoltak a résztvevők, mint az inkongruens próbákban.

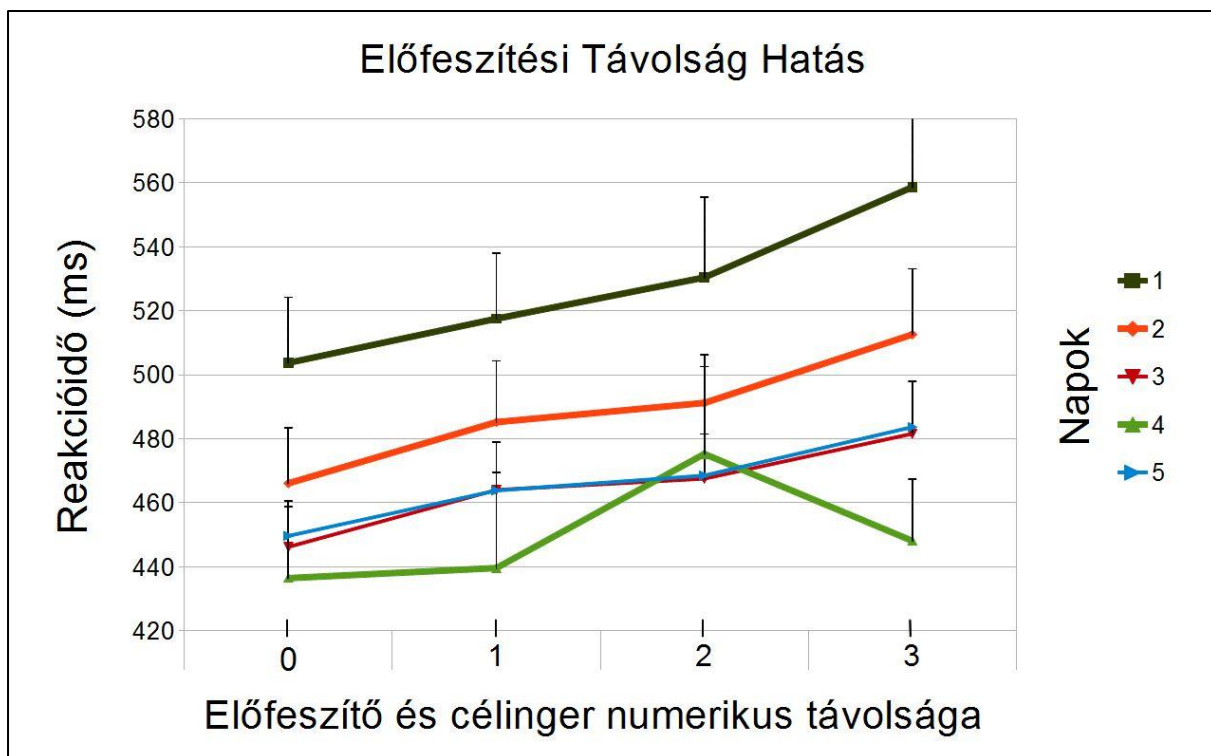
Megvizsgáltuk továbbá ezt a hatást az 5-től numerikusan távol eső számok (új szimbólumok) esetében. Csak az 1, 2 és 8, 9 előfeszítő, valamint ugyanezen célingerekre adott válaszokat elemezve az első és a harmadik alkalommal elvégzett kísérletekben szignifikáns (1. nap: $t(14)=2,320$, $p=0,036$; 3. nap: $t(12)= 2,641$, $p=0,022$), míg az ötödik napi gyakorlatban tendencia szinten ($t(12)=1,857$, $p=0,088$) megjelent a válasz előfeszítő hatás.

Tehát a válasz előfeszítő hatás részben megjelent a kísérletünkben a reakcióidők terén a szélső numerikus értékeket használva.

A tanulás hatása

A kísérletek másik célja az volt, hogy kimutassuk az előfeszítési távolság hatásnak a változását a napok elteltével, a gyakorlás (a feladatok újra és újra megoldása) folyamán. Egy 5x4-es összetartozó mintás VA-sel teszteltük ezt a kérdést, amelyben a reakcióidőket vizsgáltuk meg, és a tanulást 5 szinten az 5 különböző kísérleti alkalom, az előfeszítő - célinger távolságot meg 4 szinten a 0-3-ig terjedő előfeszítő - célinger távolság jelentette. Mind a kísérleti alkalmak ($F(4;48)=5,462$, $p=0,001$) mind az előfeszítő - célinger távolság ($F(3;36)=28,180$, $p<0,001$) szignifikáns főhatást mutatott. Viszont a kettő változó interakciója nem volt szignifikáns ($F(3,657; 43,884)=1,558$, $p=0,206$) (lásd: 1.2. ábra).

Megvizsgáltuk a különböző napokhoz tartozó előfeszítési távolság hatásokat jelképező egyenesek meredekségét, hogy megtudjuk, vajon változik-e a hatás idővel. Az 1.2-es ábrán is látható egyenesek meredeksége folyamatosan csökken (az első naptól kezdődően: 17,66; 14,55; 10,98; 7,06; 10,68). A folyamatos csökkenés értelmezésének problémáit kifejtjük a megvitatásban (lásd: 1.3. ábra).



Ábra 1.2. A grafikon az öt alkalommal felvett kísérletekben megjelent előfeszítési távolság hatásokat mutatja, a különböző kísérleti napokra lebontva.



Ábra 1.3. Az előfeszítési távolság hatásokat jelképező egyenesek meredekségeinek változását mutatja a különböző kísérleti alkalmakkor.

Megvitatás

A jelen munkában arra voltunk kíváncsiak, hogy a frissen tanított új szimbólumok (melyek számokat szimbolizáltak) vajon előfeszítik-e az arab számokat. Amennyiben megjelenik az előfeszítés, tudjuk, hogy az új szimbólumok aktiválták az arab számokat. Kérdéses volt számunkra, hogy mennyi tanulás után és mekkora mértékben jön létre ez az aktiváció, tehát hogyan változik az előfeszítés a gyakorlás folyamán. Mivel elképzelhető, hogy ha egyre jobban elsajátítják az újszimbólumok készletét, a két féle reprezentáció (új szimbólumok és arab számok) közötti kapcsolat megerősödik, így az előfeszítés mértéke is emelkedni fog.

Ezekből a mutatókból tudjuk eldönteni, mennyire viselkednek számként az új szimbólumok és nem csak szimbólumok vak sorozatként képezzük le őket (amely azt jelentené, hogy nincs mögöttes jelentése a szimbólumoknak). Továbbá az eredményekből információt nyerhetünk általánosan arról, hogy ha egy új címkét rakunk egy adott fogalomra, ez a címke milyen gyorsan és mekkora mértékben aktiválja az adott koncepciót. Tehát az új szimbólumok esetében a szemantikus rendszerbe való beépülésük a folyamatáról kapunk tudást.

A reakcióidők tekintetében a kísérletek igazolták, hogy az új szimbólumok aktiválják az arab számokat, mivel minden alkalommal megjelent az előfeszítési távolság hatás, tehát a reakcióidők lineárisan emelkedett az előfeszítő és a célinger távolságának növekedésével (lásd: 1.1. ábra). A szakirodalomban elfogadott, hogy az előfeszítési távolság hatást reprezentációs sajátosságokon alapuló jelenségnek gondolják. Tehát a hatással mérni lehet az arab számok és az új szimbólumok reprezentációi között kialakult kapcsolatot (Verguts és mtsai., 2005; Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). A kísérletünkben már az első alkalomtól kezdve markáns előfeszítési távolság hatást kaptunk. A hatás nagysága hasonló mértékű volt, mint az irodalomban leírt előfeszítési távolság hatásnak (*priming distance effect*) (Koechlin és mtsai., 1999; Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011). A jelen kísérlet ezen hatását a legjobban Koechlin és kollégái (1999 exp. 1a) kísérletével lehet összevetni, mivel a kutatásuk kevert jelölésben, számneveket és arab számokat használva végezték el ezt az előfeszítéses vizsgálatot. (Ahogy már megemlítettem a módszerek fejezetben a jelen kísérlet próbáinak felépítése Koechlin és társai (1999 exp. 1a) munkáján alapul.) Az eredményeinkben az új szimbólumok nagyon hasonló mértékben és mintázatban feszítették elő az arab számokat, mint ahogyan a számnevek feszítették elő az arab számokat Koechlin és társai (1999 exp. 1a) kísérletében. Vizsgálatukban is ugyanolyan lineárisan növekedő hatást kaptak, mint amelyet a jelen kutatás eredményei mutattak. Tehát az új

szimbólumok és az arab számokat között az előfeszítés tekintetében olyan szoros kapcsolat alakult ki, mint az arab számok és a számnevek között (Koechlin és társai, 1999, exp. 1a munkájához viszonyítva). Ezt az eredményt négyszer sikerült megismételni, és a kísérletekben a hatás ugyanolyan mintázatú volt.

A hibázások vizsgálata során, viszont nem jelent meg az előfeszítési távolság hatás, tehát a résztvevők nem hibáztak gyakrabban a célingerre adott válaszuk során, mikor az előfeszítő és a célinger távolsága nagyobb volt. Általában elmondható, hogy az ilyen reakcióidős kísérleteknél a nagyon alacsony hiba gyakoriság miatt, a rossz válaszok eloszlása egy kevésbé mérvadó mutató. Az első kísérletben nagyon alacsony volt a hibázások száma (összesen 53 alkalommal válaszoltak helytelenül a célingerre). A többi alkalommal ugyan növekedtek a téves válaszok gyakorisága, de mindvégig 3 % alatt maradt. Koechlin és kollégái (1999) kísérletében a hibázásoknál is megjelent az előfeszítői távolság hatás, valamint azonos jelölések alkalmazásával más munkákban is fellelhető volt a hatás a téves válaszok eloszlásában is (Koechlin és mtsai., 1999; Reynvoet és mtsai., 2009; Defever és mtsai., 2011).

A kérdésünk szempontjából kevésbé érdekes válasz előfeszítő hatást szintén nem tudtuk kimutatni az adatokból, sem a reakcióidők, sem a hibázások esetében. A szakirodalomban ezt a hatást rengeteg kísérlettel igazolták arab számok és számnevek esetében (pl. Koechlin és mtsai., 1999; Van Opstal és mtsai., 2008). Koechlin és munkatársai (1999) paradigmájában a válasz előfeszítő hatás csak az 5-től távol eső számoknál volt megfigyelhető (az 5 a paradigmában használt viszonyszám, amelyhez a megjelent számokat kellett hasonlítani), és kevert jelölésekben (arab szám és számnév) kisebb volt a hatás (Koechlin és mtsai., 1999). Ezért érdemes volt megnézni az 5-től távoli számok tekintetében a válasz előfeszítő hatást. Az elemzések ebben az esetben már kimutatták a keresett hatást az első és a harmadik kísérleti alkalomkor, és tendencia szintű hatást találtunk az utolsó napi adatsorban. A kísérletünkben így részben megjelent a válasz előfeszítés, de valószínűleg az új szimbólumok miatt a hatás kisebb, mint az arab számok, vagy számnevek esetében, ezért nem, vagy csak nehezen tudtuk kimutatni.

A számunkra érdekes előfeszítési távolság hatás a reakcióidők esetében statisztikailag nem változott a tanulás folyamán. Úgy tűnik, az újszimbólumok gyakorlási idejének hossza nincs különösebb hatással az előfeszítésre. Bár az alkalmak során egyre gyorsabb válaszok születtek, az előfeszítési távolság hatás mértéke nem változott (lásd 1.0. és 1.1. ábra: a hatást jelképező egyenesek meredeksége nem módosult statisztikailag). Tehát a tanulás során a

résztevők válaszadás általánosan egyre gyorsabb lett. Mivel ugyanazokat a feladatokat csinálták minden alkalommal, a feladatmegoldása egyre gyorsult és a harmadik naptól beálltak egy szintre a reakcióidők, ettől fogva már nem vehető észre további válasz gyorsulás.

A következő alfejezetben kifejtem milyen problémák vannak az előfeszítési távolság hatás változásának elemzésében, mikor a tanulási folyamatot vizsgáljuk.

Tanulási folyamat elemzésének problémái

A fő probléma a tanulási hatás megvizsgálásakor, hogy kérdéses, hogyan érdemes megmérni, azt hogy hogyan változott az előfeszítési távolság hatás idővel. Nem tudjuk, hogy a hatást jelképező egyenesek meredekségét hogyan hasonlítsuk össze egymással. Érdemes-e standardizált értékeket számolni? Vajon a hatást szimbolizáló egyenesek meredekségének változása tulajdonképpen a válaszadási folyamat melyik részéről ad információt?

A következőkben felvázolunk egy elképzelést az előfeszítési távolság hatást szimbolizáló egyenesek (lásd: 1.1. ábra) meredekségének változásának jelentéséről. Pontosabban megvizsgálva a hatások egyenesét a meredekségük folyamatosan csökkent (lásd: 1.2. ábra). Ez azt jelentheti, hogy az előfeszítési távolság hatás változatlan maradt a tanulás folyamán. Gondoljunk bele, abban az esetben, ha az egyenesek inkább párhuzamosak lettek volna (az az nem csökkent volna a meredekségük), és az eltolódásuk az alacsonyabb reakcióidők irányába változatlanul megmaradt volna, az folyamatosan növekvő előfeszítési távolság hatást jelentett volna. Mivel ha a hatásokat elosztom a reakcióidők gyorsulásával, mely az eltelt napok során megjelent és ugyanannyi minden előfeszítő – célinger távolságra vonatkozóan, akkor az egyenesek meredekségeinek is ugyanannyival kell csökkenniük. Ez azért van, mert egy egyenest, ha elosztok egy értékkel például 2-vel (a kísérletünk esetében a tanulás folyamán létrejött reakcióidők gyorsulásával) akkor a meredeksége is 2-vel fog csökkenni

Tehát, ha nem változik az egyenesek meredeksége az azt jelenti, hogy a hatás nagysága változott (feltételezve, hogy a többi mentális folyamat arányosan csökkent ugyanolyan mértékben). Így a meredekség csökkenése azt sugallja, hogy a hatás mértéke nem változott idővel. Ebben az esetben azt feltételezzük, hogy a résztvevőkben végbemenő folyamatok mind arányosan változtak.

Az alfejezetben felvázolt nehézségek miatt nem egyértelmű, hogyan kellene pontosabban kielemezni a tanulási folyamat hatását az előfeszítés jelenségére, így maradunk annál a következtetésnél, hogy az előfeszítési távolság hatás statisztikailag nem mutatott különbséget az eltelt napok során.

Konklúzió

Konklúzióként elmondható, hogy az új szimbólumok nem szimbólumok vak sorozataként viselkedtek a kísérletben és az arab számokhoz kötve őket részben aktivizálva dolgozzuk fel az elménkben őket. Öt alkalommal tudtuk kimutatni az előfeszítési távolság hatást az új szimbólumok felhasználásával, melyek előfeszítő ingerként aktiválták az arab számokat. Az előfeszítés hatásának a mértéke a számnevekével azonos (Koechlin és mtsai, 1999), és már az első alkalommal létrejött. Tehát az új szimbólumok már az első kísérletben a tanulási fázis után számok reprezentációjaként viselkedtek a résztvevők fejében, hasonlóan a számnevekhez.

Tehát a fő kutatásunkban, a numerikus távolság hatás vizsgálatára elképzelt paradigmában (a bevezető végén olvasható) az új szimbólumok használata arab számok helyett informatív lesz az arab számokra nézve, mivel az új szimbólumok számokként viselkednek, az arab számok reprezentációjához kapcsolódva képeződnek le.

Továbbá a kísérlet rávilágít arra, hogy az újonnan tanult számszimbólumok gyorsan, szinte azonnal beilleszkednek a szemantikus rendszerbe, hasonlóan a nyelvi címkékhez.

Hivatkozások

Brannon E. M. (2006). *The representation of numerical magnitude*. Current Opinion in Neurobiology, 16, 222–229.

Cohen, D.J. (2009). *Integers do not automatically activate their quantity representation*. Psychon Bull Rev. April ; 16(2): 332–336. doi:10.3758/PBR.16.2.332.

Defever E., Sasanguie D., Gebuis T., & Reynvoet B. (2011). *Children's representation of symbolic and nonsymbolic magnitude examined with the priming paradigm*. Journal of Experimental Child Psychology, 109, 174–186.

Dehaene, S. (1992). *Varieties of numerical abilities*. Cognition, 44, 1-42.

Dehaene S. (2003). *A számérzék. Miként alkotja meg az elme a matematikát?* Osiris Kiadó, Budapest.

Dehaene, S., Naccache, L., Le Clec'H, G., Koechlin, E., Mueller, M., Dehaene-Lambertz, G., van de Moortele, P. F., & Le Bihan, D. (1998). *Imaging unconscious semantic priming*. Nature, 395(6702), 597–600. doi:10.1038/26967.

Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). *Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence*. Science, Vol. 284, 970-974.

Den Heyer, K., & Briand, K. (1986). *Priming single digit numbers: Automatic spreading activation dissipates as a function of semantic distance*. American Journal of Psychology, 99, 315±340.

Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). *Core systems of number*. Trends in cognitive Sciences, Vol.8, No.7.

Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). *Preverbal and verbal counting and computation*. Cognition, 44, 43-74.

Gibbon, J. (1981) *On the form and location of the psychometric bisection function for time*. J. Math. Psychol. 24, 58–87.

Gullick M.M., & Temple E. (2011). *Are historic years understood as numbers or events? An fMRI study of numbers with semantic associations*. Brain and Cognition, 77, 356–364.

Holloway, I. D., & Ansari, D. (2009). *Mapping numerical magnitudes onto symbols: The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement*. Journal of Experimental Child Psychology, 103, 17–29.

Holloway, I. D., Price, G. R., & Ansari, D. (2009). *Common and segregated neural pathways for the processing of symbolic and nonsymbolic numerical magnitude: An fMRI study*. NeuroImage, 49, 1006-1017.

Huber, D. E. (2008). *Immediate priming and cognitive aftereffects*. Journal of Experimental Psychology: General, 137(2), 324–347. doi:10.1037/0096-3445.137.2.324.

Kadosh R.C, Brodsky W., Levin M. & Henik A. (2008). *Mental representation: What can pitch tell us about the distance effect?* Cortex, 44, 470-477.

Kahneman, D., Treisman, A. & Gibbs, B.J. (1992). *Reviewing object files*. Cognit. Psychol. 24, 175–219.

Koechlin, E., Naccache, L., Block, E., & Dehaene, S. (1999). *Primed Numbers: Exploring the Modularity of Numerical Representation With Masked and Unmasked Semantic Priming*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, vol. 25, No. 6, 1882-1905.

Maloney E. A., Risko E. F., Preston F., Ansari D., & Fugelsang J. (2010). *Challenging the reliability and validity of cognitive measures: The case of the numerical distance effect*. Acta Psychologica, 134, 154–161.

Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). *Subitizing: An analysis of its component processes*. Journal of Experimental Psychology: General, 111, 1-22.

Meck, W. H., & Church, R. M. (1983). *A mode control model of counting and timing processes*. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 9, 320–334.

Meyerhoff H. S., Moeller, K., Debus K., & Nuerk, H. (2012). *Multi-digit number processing beyond the two-digit number range: A combination of sequential and parallel processes*. Acta Psychologica, 140, 81–90.

Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). *The time required for judgements of numerical inequality*. Nature, 215, 1519–1520.

Naccache, L., Blandin, E. & Dehaene, S. (2002). *Unconscious masked priming depends on temporal attention*. Psychological Science, Vol. 13, No. 5.

Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). *Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli*. Cognition, 80, 215±229.

Nieder, A., & Miller, E. K. (2003). *Coding of cognitive magnitude: compressed scaling of numerical information in the primate prefrontal cortex*. Neuron, Vol. 37, 149-157.

Opfer, J., & Siegler, R.S. (2007). *Representational change and children's numerical estimation*. Cognitive Psychology, 55, 169–195.

Pansky, A., & Algom, D. (1999). *Stroop and Garner effects in comparative judgment of numerals: The role of attention*. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 25, 39-58.

Piazza, M. (2011). *Neurocognitive Start-Up Tools for Symbolic Number Representations*. Space, Time and Number in the Brain, chapter 17, pages 267-285.

Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). *Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group*. Science, 306(5695):499-503.

Peirce, J. W. (2009). *Generating stimuli for neuroscience using PsychoPy*. *Frontiers, Neuroinform.* 2:10. doi:10.3389/neuro.11.010.2008.

Pinhas, M., & Tzelgov, J. (2012). *Expanding on the Mental Number Line: Zero is Perceived as the "Smallest"*. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Feb 27.

Polk A. T., L. Reed L. C., Keenan M. J., Hogarth P., & Anderson A. C. (2001). *A Dissociation between Symbolic Number Knowledge and Analogue Magnitude Information*. *Brain and Cognition* 47, 545–563.

Reynvoet, B., & Brysbaert, M. (1999). *Single-digit and two-digit Arabic numerals address the same semantic number line*. *Cognition*, 72, 191–201.

Reynvoet B., De Smed B., & Van den Bussche E. (2009). *Children's representation of symbolic magnitude: The development of the priming distance effect*. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 480–489.

Roggeman C., Verguts T., & Fias W. (2007). *Priming reveals differential coding of symbolic and non-symbolic quantities*. *Cognition*, 105, 380–394.

Schwarz, W., & Ischebeck, A. (2003). *On the relative speed account of the numbersize interference in comparative judgment of numerals*. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 507-522.

Siegler, R.S. & Opfer, J. (2003). *The development of numerical estimation: evidence for multiple representations of numerical quantity*. *Psychol. Sci.* 14, 237–243.

Starkey, P., Spelke, E. S., & Gelman, R. (1983). *Detection of intermodal numerical correspondences by human infants*. *Science*, 222, 179–181.

Van Opstal F., Gevers W., De Moo W., & Verguts T. (2008) *Dissecting the symbolic distance effect*:

Comparison and priming effects in numerical and nonnumerical orders. Psychonomic Bulletin & Review, 15 (2), 419-425.

Vigliocco, G., Vinson, D.P., Damian, M.F., & Levelt, W. (2002). *Semantic distance effects on object and action naming.* Cognition, 85, B61–B69.

Verguts, T., & Fias, W. (2004). *Representation of number in animals and humans: A neural model.* Journal of Cognitive Neuroscience, 16, 1493–1504.

Verguts, T., Fias, W., & Stevens, M. (2005). *A model of exact small-number representation.* Psychonomic Bulletin & Review, 12, 66-80.

Whalen, J., Gallistel, C.R., & Gelman, R. (1999). *Nonverbal Counting in Humans: The Psychophysics of Number Representation.* Psychological Science, volume 10, issue 2, pages 130-137.

Wynn, K. (1998). *Psychological foundations of number: Numerical competence in human infants.* Trends in Cognitive Sciences, 2, 296-303.

Xu, F. & Spelke, E.S. (2000). *Large number discrimination in 6-month old infants.* Cognition 74, B1–B11.

Xu, F. (2003). *Numerosity discrimination in infants: Evidence for two systems of representations.* Cognition, 89, B15–B25.

Zhou, X., Chen, C., Chen, & L., Dong, Q. (2008). *Holistic or compositional representation of two-digit numbers? Evidence from the distance, magnitude, and SNARC effects in a number-matching task.* Cognition, 106, 1525–1536.

Zorzi, M., & Butterworth, B. (1999). *A computational model of number comparison.* In M. Hahn & Scott C. Stoness (Eds.), Proceedings of the twentyfirst annual meeting of the Cognitive Science Society (pp. 772-777). Mahwah, NJ: LEA.