

EREDETI KÖZLEMÉNYEK

ELTE, Kognitív Pszichológia Tanszék

A numerikus képességek zavarai és diagnózisuk

KRAJCSI ATTILA

kajcsi@gmail.com, <http://sites.google.com/site/krajcsi/>

Absztrakt

A numerikus képességek zavara hozzávetőlegesen a gyerekek 5%-át érinti. Mind a mai napig nem ismert, hogy milyen rendszerek sérülése okozza a tüneteket, illetve hogy milyen lehetséges változatai vagy altípusai léteznek a számolási zavarnak. Jelen összefoglaló áttekinti a numerikus feladatok végrehajtásához szükséges mentális rendszereket, majd ennek fényében bemutatja a diszkalkulia leggyakoribb feltételezett okait. Az írás ismerteti a magyar nyelven elérhető diagnosztikus eszközöket, és összeveti néhány más hasonló teszttel.

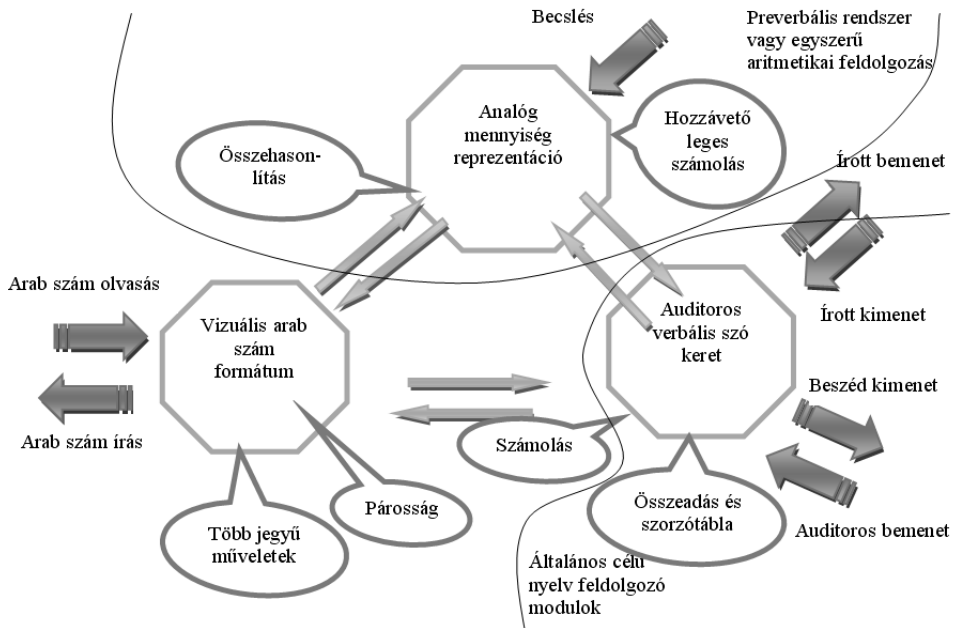
Kulcsszavak: fejlődési diszkalkulia, numerikus zavarok, diagnózis, fejlesztés

A kognitív képességek egy jellegzetes zavara, amikor normál intelligencia mellett a számokkal kapcsolatos műveletek nehezen mennek. Különbféle becslések szerint a gyerekek 3–6%-a küzd számolási zavarral (Shalev és Gross-Tsur 2001). Ez igen magas érték és hasonló nagyságrendű, mint az olvasási zavar, a hiperaktivitás vagy a figyelemzavar előfordulása. Az ezzel kapcsolatos kutatások az utóbbi néhány évtizedben jelentősen felgyorsultak, ám a legalapvetőbb kérdésekre még mindig nem tudjuk a válaszokat.

Tanulmányunkban először áttekintjük a számok kezeléséhez szükséges legfontosabb mentális rendszereket, majd ennek fényében bemutatjuk a számolási zavar tüneteit és a lehetséges okokat. A harmadik részben ismertetünk néhány tesztet, amely hasznosan egészítheti ki a ma Magyarországon használt diagnosztikai eljárásokat. Végül bemutatunk egy olyan fejlesztési programot, amely a legújabb kutatásokra építve próbál a fejlődési diszkalkuliás tüneteken segíteni.

A numerikus képességek áttekintése

Az olyan egyszerű művelet elvégzése is, mint amilyen egy összeadás, számos képességet igényel. A számok tárolása szűk értelemben véve is több rendszerben valósul meg. Az egyik részletes leírása ennek Stanislas Dehaene hármas kódolás modellje (magyarul lásd Dehaene 2003). Eszerint a numerikus feladatok megoldásához nem egy egységes reprezentációt használunk, hanem három különböző rendszert (lásd 1. ábra). A három rendszer egymástól eltérő módon reprezentálja a numerikus információt, és ennek következtében más-más feladatokban működnek hatékonyan, továbbá más-más tulajdonságokkal is rendelkeznek (Dehaene 1992, 2001; Dehaene, Piazza, Pinel és L. Cohen 2003). Ezeken a funkciókon kívül további rendszerek szükségesek, amelyek a feladatot vezérlik, vagy más típusú szemantikus ismerettel járulnak hozzá a matematikai feladat megoldásához. Az alábbi részben először a hármas kódolás modellt ismertetjük, majd további reprezentációkat mutatunk be, amelyek a numerikus feladatok megoldása során nélkülözhetetlenek.



1. ábra: Hármas kódolás elmélet sémája. Dehaene (1992) nyomán. Magyarázatot lásd a szövegben.

A hármas kódolás elmélete szerint az egyik rendszer az analóg mennyiség reprezentáció, amit a szemléletesség okán mentális számegyenesnek is szoktak nevezni. Ezt egy olyan számegyenesnek kell elképzelnünk, amelyben a jel annál „nagyobb”, minél nagyobb értéket reprezentál, ahogyan általában a számegyenesek vagy a vonalzó is reprezentálják a számosságot. Az analóg mennyiségrendszer reprezentációja a szokványos számegyenessel szemben azonban zajos, vagyis nem tudja pontosan tárolni az értékeket. A zaj mértéke arányos a jellel: minél nagyobb jelet kell tárolnia, annál nagyobb a jelhez kapcsolódó zaj. A jellel arányos zaj számos jól megfigyelhető

jelenséget produkál. Ilyen például a két érték összehasonlításakor jelentkező úgynevezett numerikus távolság hatás: minél kisebb két szám közt a relatív különbség, annál nehezebb megkülönböztetni őket, és így a mért reakcióidő annál hosszabb (Moyer és Landauer 1967). Például a 3 és 4 összehasonlításnál a 4 33%-kal nagyobb, mint a 3, ezért könnyű a két szám közül a nagyobbat kiválasztani. Ezzel szemben a 20 és 21 összehasonlításnál a különbség már csak 5%, ami nehezebbé teszi a feladatot. Amint a példákban is látható, a két szám aránya a kritikus mutató a szám „közelségének” mérésében. Az „értő”, ám pontatlan reprezentáció markánsan szembeállítható a másik két rendszer, a verbális rendszer és az arab számformátum tulajdonságaival.

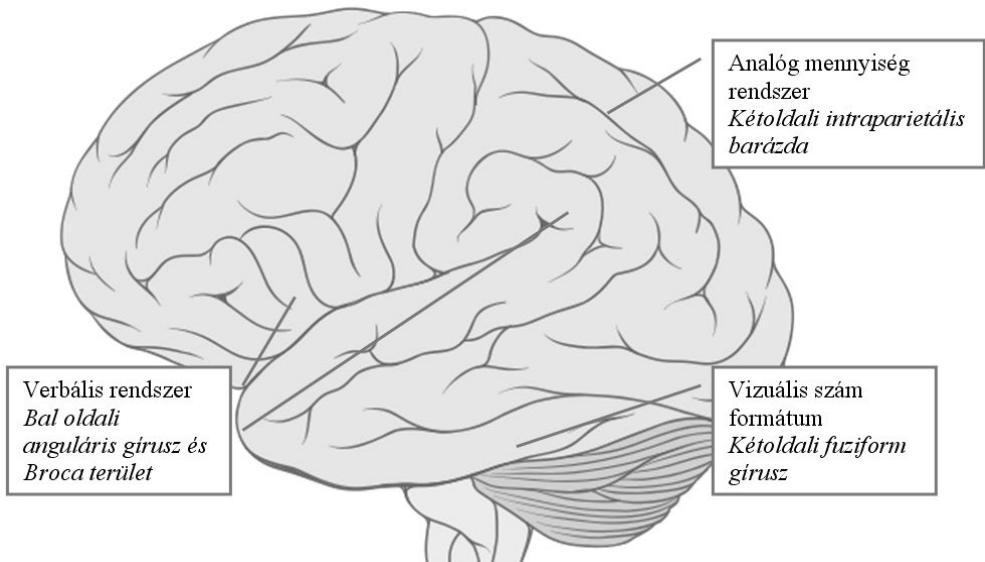
Az auditoros verbális szókeret, vagy rövidebben verbális rendszer az információt hangok sorozataként tárolja. Míg az analóg reprezentáció pontatlan, addig a verbális és az arab szám rendszer képes pontosan tárolni az értékeket. A verbális rendszer azonban a pontossága ellenére „nem érti” a tárolt adat értékét. Így például önmaga nem tudja megállapítani, hogy két hangsorozat, pl. a „huszonnyolc” és az „ötven” közül melyik képvisel nagyobb értéket. A verbális rendszer azonban a mennyiségrendszerrel ellentétben képes pontos információkat is reprezentálni, így például a szorzótábla is tárolható verbális kódban (Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu és Tsivkin 1999; Spelke és Tsivkin 2001). Korábbi vizsgálatok kimutatták az úgynevezett probléma méret hatást, miszerint pl. egyszerű összeadásnál vagy szorzásnál a végrehajtáshoz szükséges reakcióidő az operandusok méretével nő. Ennek megfelelően például gyorsabban meg tudjuk állapítani, hogy mennyi $3+2$, mint hogy mennyi $8+6$. Utóbbi adatok arra is utalnak, hogy a szorzótábla értékei mátrixszerűen kapcsolódnak össze egy aktivációs hálózatban, amelyben minél messzebbre kell eljutnunk az 1-1 kiindulási ponttól, annál tovább tart az előhívás (összefoglalást lásd pl. Ashcraft 1992; Frank Domahs és Delazer 2005).

A vizuális arab szám formátum az arab számok szimbólumával tárolja a számokat. Egyik feltételezett funkciója, hogy a számok párossági információjának előhívásában van szerepe (Dehaene, Bossini és Giraux 1993; Krajcsi, Gál, Rudas, Mórocz és Vidnyánszky, beküldve). Egy másik feltételezett szerepe, hogy írásban végrehajtott aritmetikai műveleteknél használjuk ezt a reprezentációt. A kutatások középpontjában elsősorban az analóg és a verbális rendszerek tulajdonságai állnak, míg az arab szám formátumról kevesebbet tudunk.

A három rendszer egymással össze van kapcsolódva, így az értékek átfordíthatók az egyik reprezentációból a másikba. Mindegyik rendszer külön bemenetet kap, és külön kimenetet küld (*lásd ismét az 1. ábra komponenseit*). Az arab szám reprezentáció az arab számok írását és olvasását végzi, a verbális a betűket olvassa és írja, továbbá a hallott és kimondott számneveket értelmezi, míg az analóg rendszer a vizuális becslésért felelős.

A három reprezentáció más-más helyre lokalizálható az agyban (*lásd 2. ábra*): a mentális számegeyes a kétoldali intraparietális barázdába, az auditoros-verbális szókeret a dominánsan bal oldali nyelvi területekbe, főleg az anguláris gíruszba és a Broca-területbe, a vizuális-arab szám formátum pedig két oldalt a halántéklebenyben a fuziform gíruszba (Dehaene 2003).

Egy másik átfogó elképzelés McCloskey folyamatorientált modellje (McCloskey 1992), amely szerzett diszkalkuliás (vagy más terminológiával akalkuliás) betegek vizsgálatából származik. Ők olyan betegek, akik valamilyen agysérülés (agyvérzés, daganat, baleset stb.) következtében veszítették el a számok feldolgozásának valamely képességét. Ezeket az eseteket alaposabban megvizsgálva azt látjuk, hogy az egyes numerikus funkciók szelektíven sérülhetnek. Ilyen vizsgálatok alapján McCloskey



2. ábra: A hármás kódolás elmélet rendszereinek agyi lokalizációja

szerint a numerikus megismerés két fő folyamatra bontható: numerikus feldolgozási folyamatokra és számolási (calculation) mechanizmusokra (McCloskey 1992). A numerikus feldolgozás a számok és a mennyiségek megértésére és produkciójára vonatkozik, tehát a számok és az általuk jelölt mennyiségek beolvasását és a kimenet létrehozását foglalja magában. Ezek a folyamatok jelölésfüggőek, így elkülönül egymástól az arab számok és a számnevek (azon belül is a grafémikus és a fonologikus, azaz a betűvel leírt és a kimondott számnevek) megértése és produkciója. A numerikus feldolgozás mellett a számolási folyamatok teszik lehetővé műveletek elvégzését a különböző numerikus információkon. A számolási mechanizmusok McCloskey modelljében az aritmetikai tények (például a szorzótábla vagy az egyszerű összeadások összegei) előhívása és a számolási procedúrák, azaz az összetettebb számoláshoz szükséges részlépések, amelyek már automatizálódtak (például a komplex írásbeli összeadásnál a maradék továbbvitele).

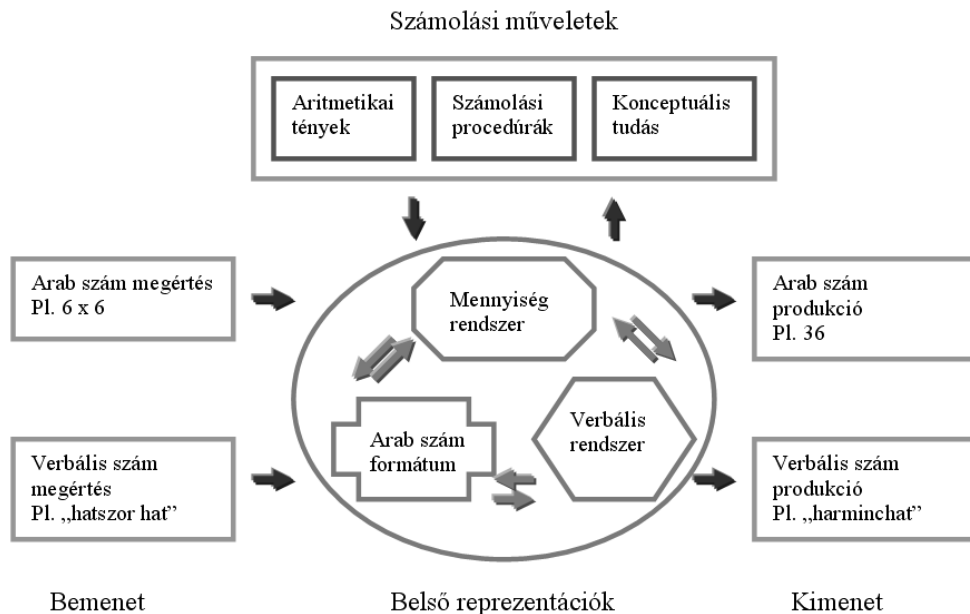
A folyamatorientált modell szerint a feladatmegoldás egy belső, jelölés- és modalitásfüggetlen numerikus reprezentációra támaszkodik. A már említett hármás kódolás modellt támogató adatok révén azonban ma már tudjuk, hogy ez utóbbi nincs így: a numerikus reprezentációk nem alkotnak egy egységes reprezentációt, hanem elkülönülnek egymástól (Dehaene 2003).

A legtöbb részlet esetében Dehaene és McCloskey modellje nem mond ellent egymásnak, hanem inkább kiegészítik egymást. A feladatokhoz kapcsolódó be- és kimenetek elkülönülését és működésmódját McCloskey tárgyalja részletesebben. A számok tárolását Dehaene írja le nem csak pontosabban, hanem mai ismereteink szerint helyesen is. Dehaene ugyancsak viszonylag pontosan megállapítja ezeknek a reprezentációknak a helyét az agyban. Míg McCloskey nagyobb hangsúlyt fektet a feldolgozás során a tények és procedúrák elkülönülésére, addig Dehaene részletesebben írja le az analóg mennyiségrendszer feldolgozási mechanizmusait.

A numerikus megismerés a már említett reprezentációkon túl kiegészül több további fontos tényezővel. Egyik ilyen fontos ismerettípus a konceptuális, fogalmi tudás, amely mintegy a háttérből vezérel és szabályoz számos műveletet (Delazer et al. 2004). A numerikus megismerésben konceptuális tudáson azokat a numerikus és aritmetikai szabályokat és alapelveket értjük, amelyek egy részét explicit formában tartalmazzák a matematika tankönyvek, és kulcsfontossággal bírnak a számokkal végzett aritmetikai műveletek elsajátításában. Ilyen alapelv például a kommutativitás (a tagok felcserélhetősége összeadásban vagy szorzásban), az asszociativitás (összeadásban és szorzásban a zárójel anélkül arrébb tehető, hogy ez az eredményt befolyásolná), vagy az az alapelv is, mely szerint az összeadás és a kivonás, valamint a szorzás és az osztás egymás inverz műveletei.

A McCloskey modelljében már említett procedurális rendszert érdemes külön megemlítenünk, ugyanis annak nem csak a számítási (pl. aritmetikai) feladatokban lehet szerepe, hanem sok más további feladatban. Így például a procedurális rendszernek szerepe lehet számok átkódolásában (Barrouillet, Camos, Perruchet és Seron 2004), vagyis amikor a számok az egyik jelölésmódról a másik jelölésre fordítódnak (pl. „százöt”-ről „105”-re), vagy tárgyak megszámlálásakor.

Az eddig felsorolt rendszerek egy lehetséges sémáját jeleníti meg a 3. ábra. Természetesen nem vagyunk teljesen biztosak abban, hogy ezek és csak ezek a rendszerek működnek közre a numerikus feladatok megoldásakor, és a felvázolt kapcsolatok sem teljesen bizonyosak, azonban igen valószínű, hogy legalább valami hasonló komplexitású rendszer segítségével vagyunk képesek megoldani a számokkal kapcsolatos műveleteket.



3. ábra: Összefoglaló ábra a numerikus megismerésben szerepet játszó rendszerekről és reprezentációkról (Dehaene 2003; Delazer et al. 2004; McCloskey 1992 nyomán)

Fontos kiemelnünk, hogy ezeknek a rendszereknek a nagy része nem kizárólag a számok feldolgozását végzi, hanem más feladatokat is ellát. A verbális rendszer például itt az a rendszer, amely a beszédet, szövegértést stb. egyébként is vezérli. Hasonlóképp a procedurális rendszer nem csak a számolási eljárásokkal foglalkozik, hanem bármilyen művelet sor vezérlésében részt vehet.

A fejlődési diszkalkulia és lehetséges okai

A fentiekben felvázoltunk néhány fontos mentális rendszert, amely közrejátsszik numerikus feladatok megoldásában. Ésszerűnek tűnik a feltevés, hogy számolási zavarok esetén a fenti rendszerek egy vagy több komponense sérül. A probléma csak az, hogy mind a mai napig nem sikerült fejlődési diszkalkulia esetén ezen rendszerek egyértelmű zavarát kimutatni. Sajnos ma még nem tudjuk, hogy melyik rendszer vagy rendszerek sérülése okozza a numerikus zavarokat. A helyzetet tovább nehezíti, hogy a tünetek meglehetősen heterogének fejlődési diszkalkuliában. Ebben a részben először áttekintjük a fejlődési diszkalkulia legjellegzetesebb tüneteit, majd megvizsgáljuk, hogy milyen feltevések születtek a probléma magyarázatára.

A fejlődési diszkalkulia tünetei

A számolási problémákat sokféleképp lehet csoportosítani. Megjelenésüket tekintve alapvetően két esetben jelentkeznek. A szerzett diszkalkulia (vagy más névhasználat szerint akalkulia) felnőtt korban bekövetkező agyi sérülés miatti számolási zavart jelent, míg a fejlődési diszkalkulia (FD) esetében ilyen jellegű sérülés nélkül tapasztaljuk a számolási nehézséget.

A diszkalkuliás gyerekek és felnőttek nehezen boldogulnak a vásárlással, nehezen becsülik meg, hogy mennyibe kerülnek az egyes árucikkek, mennyi visszajárót kell kapniuk vásárláskor, mennyi borralalót kell adniuk, nehezen kezelik az órát, nem értik a pontozásos sportokat, problémát okoz a mérés (pl. hőmérséklet, magasság), és általában nem értik a számokkal kapcsolatos helyzeteket. Jól jellemzi ezt egy szerzett diszkalkuliás beteg példája, aki nem tudta megmondani, hogy hány pohár van az asztalon. Végig tudja ugyan mondani mondókaszerűen, hogy egy-kettő-három-négy stb., sorba tud mutogatni a tárgyakra, és azt is tudja, hogy az utolsó elhangzó szám az, amit kérdeznek, de valahogy nem érti, hogy mi az, hogy „3”. A matematikai probléma érzelmi zavarokkal is társul, ami egyáltalán nem meglepő, ha figyelembe vesszük, hogy ezek a gyerekek sokszor csak a rossz matematikai teljesítményük miatt ismételnék évet, és mivel a pedagógusok sokszor nem tudnak a problémáról, egyszerűen butának gondolják a gyerekeket. A helyzet sok szempontból hasonlít arra, amikor 30 évvel ezelőtt a diszlexiát specifikus olvasási zavar helyett butaságnak vélték.

A DSM (DSM-IV – A mentális zavarok diagnosztikai és statisztikai kézikönyve IV. kiadás) és a BNO (BNO-10) szerint a fejlődési diszkalkulia kritériuma a matematikai képességek elmaradása, amelyet nem magyaráz az illető életkora, mentális életkora vagy az oktatás elégtelensége. A gyakorlatban a diagnózist intelligencia és matematikai képességek speciális vizsgálatával állítják fel (a Magyarországon alkalmazott tesztéről lásd Dékány, 1999; az általánosabb hazai gyakorlatot pedig Hrivnák 2003 írja le).

Többféle sérülés esetében is elképzelhető, hogy diszkalkuliát eredményez, ennek megfelelően több altípusát is megkülönböztetik egyes szerzők. Az alábbiakban néhány valószínű vagy gyakran idézett elképzelést ismertetünk.

A fejlődési diszkalkulia lehetséges okai és altípusai

Sokak szerint a matematikai rendellenességek egy része valójában valamilyen egyéb sérülés következményei. Például már Hans Berger is bevezeti 1926-ban a diszkalkulia elsődleges és másodlagos formáját. Az elsődleges formánál nincs más sérülés, míg a másodlagos formában valami egyéb kognitív zavar is fellelhető.

A lehetséges problémák listája igen hosszú, számos kutató javasolt valamilyen sérülést, amely a számolási zavarok alapja lehet. Rourke (1993, idézi Butterworth 2003) szerint téri-vizuális zavar illetve auditoros-perceptuális zavar eredményezhet két különböző típusú diszkalkuliát. Koontz és Berch (1996, idézi Shalev és Gross-Tsur 2001) munkamemória zavart javasol magyarázatként. Temple (1991, idézi Ansari és Karmiloff-Smith 2002) a tények és az eljárások elkülönülését állapítja meg, és javasol ennek megfelelően kétféle számolási zavart. Mások szerint a fejlődési diszkalkuliát az analóg mennyiségrendszer zavara okozza, ugyanis ez a rendszer az alapja a számok megértésének (Butterworth 2003; Dehaene 2003). Ez az állapot hasonlít például a színvakságra, ahol az agy egy specifikus régiójának deficitje miatt a személy elveszíti a színlátás képességét, és ezért is nevezik egyes szerzők a számolási zavart számvakságnak (Butterworth 2003). Ismét mások az analóg mennyiségrendszer és az arabszám rendszer rossz összeköttetését gyanítják a számolási zavarok mögött (Dehaene, Molko, L. Cohen és Wilson 2004).

Ansari és Karmiloff-Smith (2002) szerint a számolási készség deficit sokszor összefügghet genetikai problémákkal és az alacsony intelligenciával, amely más típusú matematikai zavar, mint amit fejlődési diszkalkuliaként diagnosztizálunk. Shalev és Gross-Tsur (2001) különböző, egymástól független problémákat fedez fel: aritmetikai táblák (mint pl. szorzótábla) tanulási zavara, aritmetikai eljárások megértésének zavara (pl. nem tud írásban szorozni), számfogalom megértési zavara, vagy probléma a számok leírásával és kiolvasásával (pl. „kétszázhusz” írásai módja nála 20020). Butterworth (2003) mások kutatásait összegezve felsorol még pár lehetséges okot: szemantikus emlékezet zavara, általános lassú feldolgozás, gyenge fonetikus reprezentáció. További lehetséges okokra és csoportosításra jó magyar nyelvű forrás Márkus (2000, 2007) összefoglalói.

És ezzel a listánk még nem ért véget. Egyesek ugyanis olyan okokkal állnak elő, ahol a zavar a diagnózis kritériuma alapján nem is tekinthető diszkalkuliának, ám mégis érdemes ezeket a lehetőségeket is figyelembe vennünk. Miller és Mercer (1997, idézi Shalev és Gross-Tsur 2001) szerint a rossz oktatás okozhat matematikai problémákat. (Emlékezzünk vissza, hogy a fejlődési diszkalkulia meghatározása szerint ha a számolási zavarokat a rossz oktatás okozza, akkor az nem tekinthető fejlődési diszkalkuliának. Nem lehetetlen azonban, hogy egy diagnosztikus vizsgálat helytelenül állapítja meg, hogy a számolási zavar nem a rossz oktatás következménye.) Ashcraft és Kirk (2001) a matematikai szorongást vetik fel lehetséges okként. Elképzeléseik szerint egyes gyerekeknél kialakul a matematikától való félelem, ami egyes oktatási intézmények viszonyait tekintve valós lehetőség. A szorongás minden olyan helyzetben megjelenik, amely a matematikára emlékezteti a személyt (pl. számokkal kell műveleteket végeznie). Ez a szorongás a munkamemória központi végrehajtójának a kapacitását

csökkenti, ami lassabb feladatmegoldáshoz vezet, időkorlátos feladatoknál pedig több hibázáshoz. A szorongás és a rossz oktatási módszer szerepét hangsúlyozza Krüll (2000) magyar nyelven megjelent kötete is. Megismételjük, hogy a FD kritériumai szerint az ebben a bekezdésben megemlített okok nem lehetnek okok. Azonban ezek a szerzők azt javasolják, hogy a rossz oktatáson és a szorongáson kívül nincs más oka a rossz számolási teljesítménynek.

Láthatjuk tehát, hogy nem világos, pontosan mi is sérül FD esetében. Ahogyan azt néhány korábbi ötlet is sugallja, talán nem is egyetlen okot kell feltételeznünk, hanem többet, és ennek megfelelően a diszkalkuliának több altípusát lehetne elkülönítenünk. Nézzünk egy ilyen tipológiát, amelyet Desoete (2006) javasol.

A szemantikus emlékezeti deficit a nevének megfelelően a szemantikus ismeretek zavarát feltételezi. Ennél az altípusnál problémák lépnek fel a numerikus tények előhívásával kapcsolatban, fejben számoláskor hibáznak, lassabban számolnak fejben és írásban is a tipikus fejlődésű csoportokhoz képest. A szám-tény ismereteket is nehezen sajátítják el. Mindez nem csak a matematikai feladatokban nyilvánul meg, hanem általában a szóban bemutatott feladatokkal problémák lehetnek, nehézségek lépnek fel a nyelvi megértésben, és problémák tapasztalhatóak a passzív szótárral is.

A procedurális deficit esetében írásbeli számolás közben problémák lehetnek az eljárások (procedúrák) alkalmazásával, komplex eljárásokban nehézséget okoz több lépés sorba állítása, a végrehajtásban sok hiba található, és a komplex aritmetikai műveleteket nehéz megtervezni és végrehajtani. A fejben számolás során is problémák adódnak, több lehetséges stratégia kiválasztásakor a fejletlenebbet választják, és az eljárások mögött meghúzódó fogalmakat is nehezen értik.

A téri-vizuális deficit esetében a számokat megfordíthatják, vagy a számjegyeket nem megfelelő sorban használják aritmetikai feladatokban. A számokat nem tudják helyesen elhelyezni egy számegyenesen, illetve tárgyakat nehezen rendeznek sorba nagyság szerint. Ahogyan az más deficit esetében is lehetséges, nem csak a számokkal lehet probléma, hanem a téri-vizuális emlékezet és képzelet működésével is, és ennek megfelelően a téri feladatok vagy geometriai problémák is nehezen mennek.

A felsorolásuk utolsó típusa a számismeret deficitje. Ebben az esetben egyrészt a bemenetek és kimenetek, illetve azok kapcsolatának a zavaráról lehet szó. Ennek megfelelően a számokat helytelenül olvassa vagy írja a személy, illetve a különböző modalitások és jelölések közt hibásan fordít. A számok absztraktabb fogalma is sérülhet, vagyis a számok szemantikája is rosszul működhet. Ekkor probléma lehet az absztrakt számmegértéssel, illetve gond adódhat a számrendezéssel vagy számlálással.

Ez a tipológia meglehetősen tetszetős, hiszen négy lehetséges okot sorol fel, amelyhez jól meghatározható tünetek társulnak. A diagnózis elvileg igen egyszerű lenne. A probléma ismét abból adódik, hogy ilyen egyértelműen elkülönülő tünetekkel ritkán szoktunk találkozni. Valójában az itt leírt problémák némelyikénél már azt is nehéz megállapítani, hogy melyik tapasztalható a vizsgált gyermeknél. A különböző tünetek tehát egyszerre szoktak jelentkezni, könnyen felismerhető mintázat vagy elkülönülés nélkül. Igaz ugyan, hogy a fenti négy altípus számos alap kutatás alapján logikusnak tűnik, azonban semmi garanciánk nincs egyelőre arra, hogy tényleg léteznek is.

Összefoglalva tehát a fejlődési diszkalkulia tüneteire és lehetséges okaira vonatkozó ismereteinket, azt láthatjuk, hogy létezik egy olyan tünet együttes, amely különböző súlyossági formában és a tünetek különböző kombinációiban vitathatatlanul előfordul. Ám mivel ma még nem látszik világosan, hogy ezek a tünetek hogyan járnak együtt, nem tudunk megbízhatóan altípusokat sem felállítani. Ebből pedig az is következik,

hogy nincs megbízható elméletünk arra sem, hogy mi állhat a fejlődési diszkalkulia hátterében, és hogy mely rendszerek sérülése okozhatja a tüneteket.

Diagnosztikai eszközök

Láttuk, hogy az eddigi kutatások nem tudtak egyértelműen dönteni a fejlődési diszkalkulia okait illetően, így a diagnózis során nem tudhatjuk pontosan, hogy mit is keresünk. Emiatt a tesztek azokat a feladatokat és problémákat vizsgálják, amelyekről tudjuk, hogy tünetként megjelennek.

A diagnózis felállításában számos elméleti probléma is felmerül. Például a ma használt tesztek többsége a hibázást méri, holott a reakcióidő sok esetben pontosabb és megbízhatóbb eredménnyel szolgálhat (néhány további probléma részletezését lásd magyarul Krajcsi, Racsmány, Igács és Pléh 2007 írásában).

Az alábbiakban röviden bemutatunk néhány tesztet, amelyek közül a Diszkalkulia prevenció vizsgálat a ma legelterjedtebb Magyarországon, egy másik eszköz szerzett sérülések diagnózisára alkalmas, és egy újabb, fiatal felnőtteket is mérő teszt pedig hamarosan magyar nyelven is elérhető lesz. Az 1. táblázat mutatja meg néhány teszt alaptulajdonságát. A továbbiakban a Tedi-Math kivételével a négy tesztet, és azok legfontosabb tulajdonságait ismeretjük.

Teszt neve	Nyelv	Ára	Standard	Zavar jellege	Kor-osztály	Hibázás/RI	Fel-vétel ideje	Elméleti konstrukció	Referencia
Diszkalkulia prevenció vizsgálat	Magyar	Ingyenes	Nincs	Fejlődési	10 éves korig	Hibázás, RI, egyéb megfigyelések		Számfogalom	Dékány (1999), Dékány és Juhász (2007)
Diszkalkulia Szűrő (Dyscalculia Screener)	Angol	160 font/év	Angolra van	Fejlődési	6-14 év	Hibázás és RI kombinált mutatója	30-35 perc	Analog mennyiségrendszer	Butterworth (2003)
Numerikus Feldolgozás és Számolás Teszt	Magyar, német, olasz	Ingyenes	Magyarra nincs, olaszra és németre van	Szerzett	Felnőtt	Hibázás	60-90 perc	Háromas kódolás (Dehaene, 1992) Folyamatorientált modell (McCloskey, 1992)	Delazer, Girelli, Grana és Domahs (2003)
Tedi-Math	Holland, német, francia	300 euro	Hollandra van	Fejlődési	4-8 év	Hibázás, RI			Van Nieuwenhoven, Grégoire és Noël (2001)
Aritmetikai Kognitív Fejlődési Képességek teszt	Magyar, angol	Ingyenes	Magyarra nincs	Fejlődési	16 év felett	Hibázás	Max. 40 perc	Kilenc készség modell (Desoete & Roeyers, 2005)	Desoete és Roeyers (2002, 2005)

1. táblázat: Számolási zavarok diagnózisára alkalmas tesztek

Diszkalkulia prevenció vizsgálat

Magyarországon a Dékány Judit által kidolgozott diszkalkulia vizsgálat (Dékány 1999; Dékány és Juhász 2007) terjedt el leginkább. A módszer az iskolai felmérőktől számos ponton eltér, figyelembe veszi a fejlődési diszkalkuliás (FD) gyerekek tipikus problémáit. Dékány szerint a FD gyerekek legfőbb gondja a számfogalom megértése. Ennek megfelelően a feladatok közt szerepel pl. számlálás, mennyiségi relációk (melyik szám nagyobb), mennyiség állandóság (ha a korongokat átrendezem, ugyanannyi marad-e), számjegyek írása, alapműveletek leírása és elvégzése, szöveges feladatok, matematikai szabályok felismerése (sorozatok folytatása) stb. Mindezek a feladatok a gyerek életkorának és iskolai osztályának megfelelő nehézségűek.

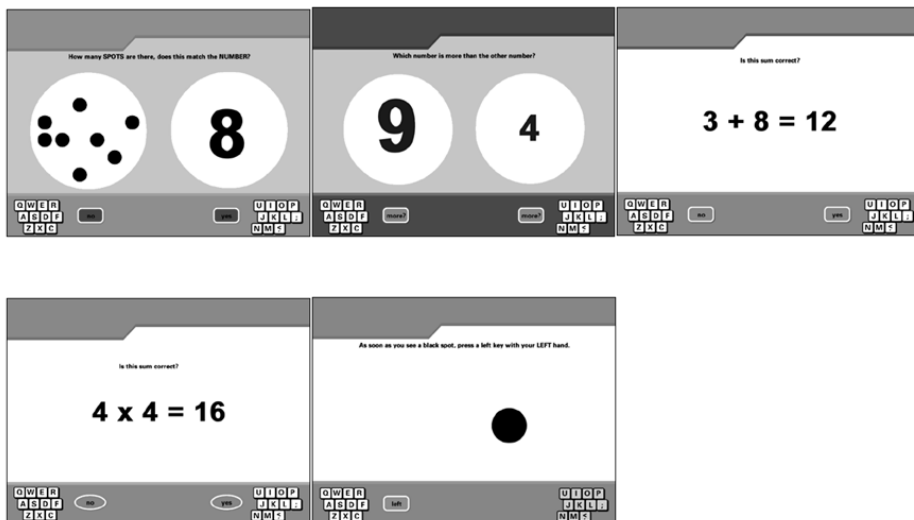
Emellett szerepelnek olyan feladatok is, amelyek gyakran problémásak FD esetében, ám nem feltétlenül diagnosztizálják a diszkalkuliát (Dékány, személyes közlés). Így például a számemlékezet (mondd vissza, hogy 3-6-2-5) független a számfogalom fejlettségétől. Ez ésszerű Baddeley munkamemória modellje alapján is (magyarul lásd Baddeley 2001), miszerint a számismétlés egyszerű verbális feladatként is megoldható, nem szükséges hozzá a számok szemantikus megértése, amit a mennyiségrendszer biztosítana.

A feladatok közt szerepel a téri viszonyok megértésének vizsgálata is (pl. írd le a nevedet a papír bal felső sarkába, vagy tedd a kezed az asztal fölé), amely gyakran zavart szenved FD esetében, ám nem tekinthető megbízható kritériumnak a diagnózisban.

A teszt fontos jellegzetessége, hogy az értékelése nagyban épít a diagnosztika szakértelmére. Más tesztekkel ellentétben a diagnózist nem a feladatok pontozásából, majd az ott elért összpontszám alapján állítja fel. A feladatok végrehajtása után inkább egy benyomásra támaszkodik: vajon a gyerekek a feladat során a koruktól elvárható gyorsasággal oldották-e meg azokat, gyakran használták-e a kezüket számolásra, túlságosan bizonytalanok voltak-e stb. Gyakorlatban tehát a diagnózist végző szakember a feladatok alapján mérlegel, és hoz döntést. Ez a szubjektivitás sok gyakorló szakember számára okoz nehézséget, hiszen nincsen objektív kritérium a diagnózis felállításához. Ugyanakkor gyakorlott diagnosztika kezében a teszt igen hatékonyan működhet.

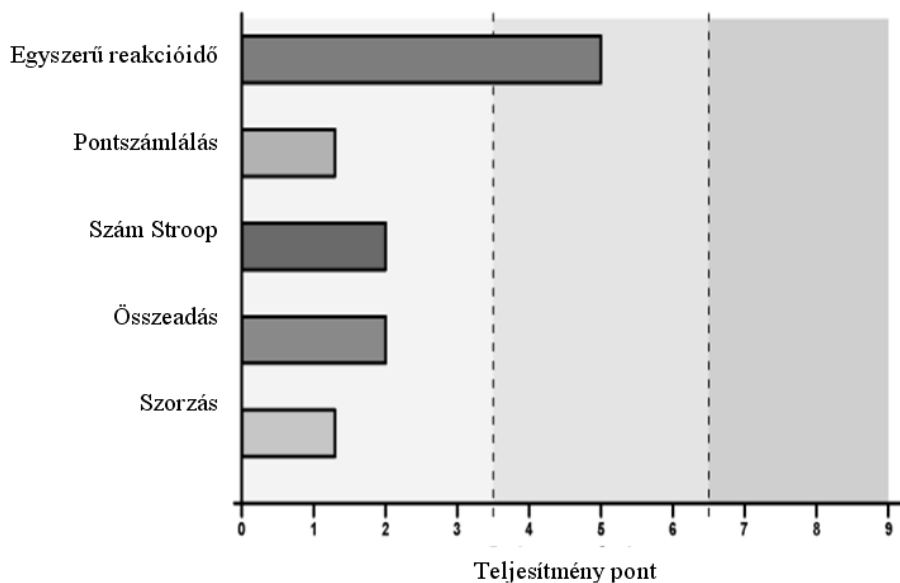
Diszkalkulia szűrő

Brian Butterworth az analóg mennyiségrendszer deficitjét véli a fejlődési diszkalkulia okának. Ezen kívül a gyakorlatban ma még ritkábban használt reakcióidő mérési eljárást javasol (Butterworth 2003). A Diszkalkulia szűrő (Dyscalculia Screener) nevű számítógépes tesztben ötféle feladatot használnak (lásd 4. ábra): pontok számolása



4. ábra: Feladatok Brian Butterworth Diszkalkulia Szűrő tesztjéből. Butterworth (2003) nyomán.

(annyi pont van-e a bal oldalon, mint amennyi a jobb oldali szám értéke), számok összehasonlítása (a bal vagy a jobb oldalon lévő szám értéke nagyobb-e – függetlenül az arab szám fizikai méretétől), összeadás és szorzás (helyes-e a felírt művelet eredménye), és egyszerű reakcióidő (a pont megjelenése után azonnal meg kell nyomni egy gombot). A legfontosabb mért érték minden feladatnál a hibázással korrigált reakcióidő. Az egyszerű reakcióidő feladatot arra használják, hogy az általános gyorsaság ne befolyásolja a számok feldolgozásával kapcsolatos reakcióidőt. A numerikus feladatok két komponenset mérnek Butterworth szerint. Az egyik komponens a mennyiségrendszer, amelyet a pontszámolás és az összehasonlítás mér, míg a másik komponens a teljesítménymutató, amely részben független a mennyiségrendszertől, inkább az oktatás van rá hatással, és amelyet a szorzás és az osztás feladata mér.



5. ábra: Egy diszkalkuliás gyermek profilja a Diszkalkulia Szűrő tesztben

Az 5. ábra mutatja egy diszkalkuliás gyermek profilját: az oszlopok azt jelzik, hogy valaki átlag felett (hosszú oszlop) vagy átlag alatt (rövid oszlop) teljesít-e a saját korcsoportjához képest. A konkrét példán a legfelső oszlop normál egyszerű reakcióidőt mutat, míg az összes többi feladatban átlag alatti teljesítményt, ami a mennyiségrendszer deficitjére utal. Ha a matematikai nehézség oktatási problémából származna, akkor csak a szorzás és összeadás feladatban találnánk átlag alatti teljesítményt, míg a pontszámolásban és az összehasonlításban nem. A reakcióidők pontosabb és objektívabb diagnózist ígérnek Butterworth elképzelése szerint. A teszt Butterworthék széles körben sztenderdizálták Angliában, és 2002 szeptemberétől általánosan használják a brit iskolákban a diszkalkuliás gyerekek szűrésére.

A Diszkalkulia Szűrő előnye lehet, hogy nem csak hibázást mér, mint a legtöbb diszkalkulia teszt, hanem reakcióidőt is (Krajcsi et al. 2007). A sikere azonban azon is múlik, hogy a fejlődési diszkalkulia oka valóban a mennyiségrendszer deficitje-e,

és hogy az adott két feladat azt helyesen méri-e. Arról ugyan nincs vita a szakirodalomban, hogy a számösszehasonlítási feladathoz a mennyiségrendszerre van szükség, ám a pontszámolás már kényesebb. Egyes elképzelések szerint néhány (legfeljebb 4) pont megszámlálásához talán a mennyiségrendszerre lehet szükség (Dehaene 2003; Gallistel és Gelman 2000), ám többek közt a saját részletes méréseink ennek egyértelműen az ellenkezőjét mutatták (Krajcsi 2006). A teszt részleteivel kapcsolatban is több probléma merül fel: például nem világos, hogy hogyan kombinálják a hibázás és a reakcióidő értékeket, illetve egyáltalán indokolt-e ennek a mutatónak a használata. A teszt ugyan csak angolul érhető el, mégis azért mutattuk be, hogy egy teljesebb képet adhassunk arról, hogy milyen típusú eljárásokkal próbálják a diszkalkulia diagnózisát elvégezni.

A Numerikus Feldolgozás és Számolás Teszt

Az eredeti nevén Number Processing and Calculation Test Delazer és munkatársai (2003) által kidolgozott neuropszichológiai teszt. A teszt fő célja a szerzett numerikus sérülések diagnózisa, a sérült részterületek feltárása és azok súlyosságának megállapítása. A teszt legfőbb erőssége abban rejlik, hogy sorra veszi azokat a funkciókat, amelyek a bevezető részben tárgyalt elméletekben megjelennek: az alapvető numerikus funkciók mellett megvizsgálja a numerikus feldolgozás alapjául szolgáló numerikus reprezentációkat is. A teszt nem elhanyagolható előnye a modalitások és jelölések szigorú felosztása; a numerikus ki- és bemenetek állapotát minden egyes modalitás és jelölés szintjén megvizsgálja, amely szerzett sérülések vizsgálatában különösen releváns. Mivel a teszt itthon kevéssé ismert, ezért valamelyest részletesebben is bemutatjuk. A teszt további részletes leírása és a feladatok mögött meghúzódó rendszerek ismertetése magyarul Igács, Janacsek és Krajcsi (2008) írásában található meg.

A teszt feladatai 4 nagy feladatcsoportba sorolhatók, amelyek a következők: számlálási feladatok, számfogalom vizsgálata, numerikus átkódolás és számolási feladatok. (Az angol counting és calculation szavakat a magyar nyelvű szövegben a számlálás és számolás szavakkal fogjuk megkülönböztetni.) Az egyes feladatcsoportok további részfeladatokra oszthatók, ahogyan ezt a továbbiakban látni fogjuk.

Számlálási feladatok

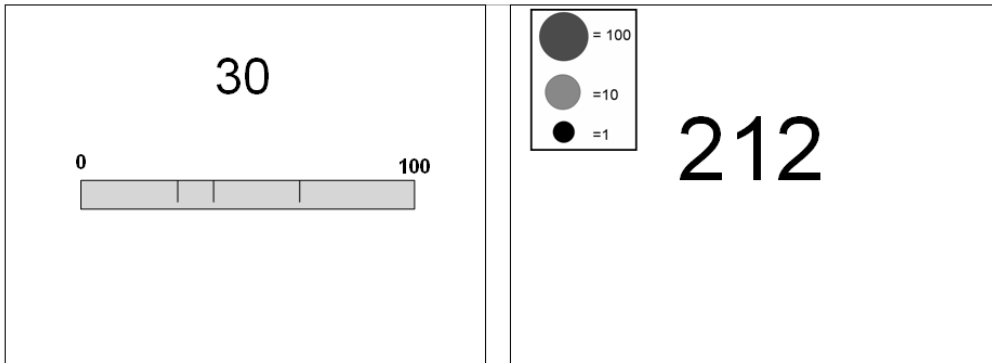
- 1) Szekvenciák számlálása (verbális és írásbeli számlálás). A vizsgálati személynek egy adott számtól kell egy másik számig elszámlolnia. A feladat egyik részét szóban, a másik részét írásban kell megoldania. Mind a két feladatrész tartalmaz visszafelé számlálást, és ún. „nem kanonikus” számlálást, amikor a vizsgálati személynek nem egyesével kell számlálnia. Például: „Számoljon el 3-tól 21-ig, kettesével!”
- 2) Pontszámlálás. Ez a feladat vizuális bemenet mellett vizsgálja a verbális kimenetet; a vizsgálati személynek pontok halmazát kell szóban megszámlolnia. A vizsgálati személynek itt elég a pontok teljes számával válaszolnia, nem kell hangosan egyesével végigszámlálnia azokat.

Számfogalom

- 1) Számösszehasonlítás. A vizsgálati személynek el kell döntenie, hogy két többjegyű szám közül melyik a nagyobb. Ez egy mennyiségi döntést igénylő feladat, amely

háromféle jelöléssel/modalitással kapcsolatban vizsgálja meg az összehasonlítást; arab számok, írott számnevek és hallott számnevek.

- 2) Párossági döntés. A vizsgálati személynek a látott arab számokat kell párosság alapján kategorizálnia.
- 3) Analóg mennyiség skála. A feladat a vizsgálati személy mennyiség reprezentációját vizsgálja. A vizsgálati személynek különböző mennyiségek helyét kell meghatároznia egy számegyenesen (lásd 6. ábra bal oldala). A számegyenes az egyik esetben 0-tól 100-ig, a másik esetben 0-tól 50-ig reprezentálja a mennyiségeket. A számegyenesek minden esetben három helyen vannak megjelölve. A vizsgálati személynek el kell döntenie, hogy a három jelölés közül melyik mutatja a látott szám helyét.
- 4) Átkódolás arab számokról zsetonra. A vizsgálati személynek a látott számokat zsetonokra kell váltania (lásd 6. ábra jobb oldala). A vizsgálati személynek háromféle zseton áll a rendelkezésére, amelyek a különböző helyi értékeket jelölik; a kis fekete zseton egyet, a közepes narancssárga tízet, a nagy zöld zseton pedig százat ér. Minden egyes próbánál külön feltüntetjük az egyes zsetonok értékeit is, kizárva az esetleges emlékezeti nehézségeket. A feladat próbánként 3-7 zseton átváltásával jár.



6. ábra: Analóg mennyiség skála (bal oldal) és átkódolás arab számról zsetonra (jobb oldal) az NFSZT-ben

Numerikus átkódolás

- 1) Arab számok felolvasása. Különböző nehézségű arab számokat kell a vizsgálati személynek felolvasnia. Például 850, 2499, 65 300 stb.
- 2) Arab számok írása diktálás után. A feladat ugyanolyan jellegű, mint az előző, csak a vizsgálati személy a verbális bemenet mellett írásban produkálja a váltást.
- 3) Számszavak felolvasása. A vizsgálati személy hangosan felolvassa a betűvel kiírt számszavakat. Például kétszázkilencven, ötezer-huszonegy stb.
- 4) Átkódolás írott számnevekről arab számokra. A betűvel kiírt számneveket arab számok formájában írja le a vizsgálati személy. A verbális – vizuális kód átváltás melletti írásbeli produkciót vizsgálja a feladat.
- 5) Átkódolás zsetonról arab számra. A vizsgálati személy a látott zsetonokat arab szám formájában írja le. Itt is háromféle zseton jelenik meg, amelyek értékét a vizsgálati személynek folyamatosan mutatjuk, és az átváltandó zsetonok száma 3-7 között mozog.

Számolási képességek és aritmetikai alapelvek

- 1) Aritmetikai tények és szabályok. A vizsgálati személynek egyszerű aritmetikai feladatokat kell megoldania (*a példákat lásd az 2. táblázatban*). Ahogyan már fentebb említettük, ezekhez a feladatokhoz általában nincs szükség online számolásra, emlékezeti előhívással megoldhatók. Minden feladat arab szám formájában jelenik meg, és verbálisan kell megválaszolni. A feladatok a négy alpművelet (összeadás, kivonás, szorzás, osztás) szerint vannak csoportosítva. A feladatok közé szabály-alapú feladatok vannak keverve, amelyek megoldásához a vizsgálati személynek konceptuális tudását kell használnia (összeadás: $n + 0$; kivonás: $n - n$, $n - 0$; szorzás: $n \times 0$, $n \times 1$; osztás; $n : n$, $n : 1$). Ezeket az elemeket az értékelésnél az aritmetikai tényektől külön pontozzuk.

Feladat	Aritmetikai tények	Aritmetikai szabályok
Összeadás	$7 + 7$	$0 + 9$
Kivonás	$9 - 6$	$3 - 3$
Szorzás	5×6	4×0
Osztás	$18 / 3$	$6 / 6$

2. táblázat: Aritmetikai tények és szabályok az NFSZT-ben

- 2) Szorzás, többszörös választás. A vizsgálati személy egy szorzást lát, és az alatta megjelenő négy lehetséges megoldás közül kell kiválasztania a helyes megoldást (*lásd 7. ábra bal oldala*).

6×8		$872 - 325 =$
48	41	640
49	42	460
		550
		120

7. ábra: A szorzás-többszörös választás (bal oldal) és a közelítő számolás (jobb oldal) az NFSZT-ben

- 3) Mentális számolás. A vizsgálati személynek fejben kell elvégeznie egyszerű számolásokat, amelyeket vizuálisan mutatunk be a számára. A feladatok a négy alpművelet mentén csoportosulnak. Például $45 + 23 =$ stb.
- 4) Írásbeli számolás. Komplex (többjegyű) számolást kell írásban végeznie a vizsgálati személynek. Az ingereket arab számjegyek formájában prezentáljuk a számára. A feladatok itt összeadásokból, kivonásokból és szorzásokból állnak. Például $501 - 322 =$ stb.

- 5) Közelítő számolás. A vizsgálati személy egy műveletet lát és alatta négy számot, amelyek közül ki kell választania azt a számot, amelyik legközelebb áll a művelet eredményéhez (lásd 7. ábra jobb oldala). A számok közül egyik sem a valós eredmény. A közelítő feladatok közelítő szorzási, összeadási, kivonási és osztási feladatokba rendeződnek.
- 6) Szöveges feladatok. A vizsgálatvezető szöveges feladatokat olvas fel a vizsgálati személynek. A vizsgálati személy számára a feladatok szövegét vizuálisan is prezentáljuk. A feladatok megoldásához a vizsgálati személy használhat papírt és ceruzát, ha ennek szükségét látja. Idői korlát természetesen ennél a feladatnál sincs. Például: „A vonat 9:05-kor indul el. Most 8:42 van. Mennyi idő maradt megvenni a jegyet?”
- 7) Aritmetikai alapelvek. A vizsgálati személy minden egyes próbában egy műveletpárt lát, az első művelet tartalmazza a megoldást, a második pedig nem (lásd 3. táblázat). A második művelet eredménye a konceptuális tudás alapján kikövetkeztethető az első műveletből, így nem igényel tényleges számolást – erre külön felhívjuk a vizsgálati személy figyelmét. A feladatok első fele összeadási problémákat tartalmaz, a második pedig szorzási problémákat. Az összeadási feladatok alapelvei a következők: kommutativitás (az elemek felcserélhetősége), $a + 1$, $a - 1$, $10a + 10b$, összeadás/kivonás inverzek. A szorzási feladatok alapelvei: kommutativitás, ismételt összeadás, $10a \times 10b$, $a - 1 \times b$, szorzás/osztás inverzek.

Összeadás	Szorzás
$54 + 29 = 83$	$12 \times 4 = 48$
$83 - 54 =$	$12 + 12 + 12 + 12 =$

3. táblázat: Aritmetikai alapelvek összeadásnál és szorzásnál az NFSZT-ben

A teszt elsősorban szerzett zavarok mérésére lett kidolgozva, amely jól tükröződik a feladatokon is. A szerzett sérülések számos rendszer elkülönülését mutatták, és a teszt ezen lehetséges elkülönült rendszereket veszi sorra. Mégis, előzetes adataink szerint a teszt alkalmas lehet általános iskolás korú fejlődési diszkalkuliás gyerekek diagnosízására is, akik a normál kontroll csoporthoz képest rosszabb teljesítményt mutattak a teszten (Szilágyi 2007).

A teszt magyar nyelven ingyen elérhető a kutatócsoportunk honlapjáról a <https://sites.google.com/site/matematikaimegismeres/cimen>.

Az Aritmetikai Kognitív Fejlődési Képességek teszt

Az AKFK tesztet felnőtt személyek diagnosízására fejlesztették ki, amely 16 év felett alkalmazható (Desoete és Roeyers 2002, 2005). A teszt alapvetően 9 képesség meglétét vizsgálja, és az egyes feladatsorokot ezeket a képességeket veszik sorra.

1. Numerikus olvasás és produkció

Az összetevő neve a különböző szám jelölésmódok közti fordítás képességét (átírás) jelenti, vagyis a betűvel vagy arab számmal írott, illetve a kimondott alak közti megfeleltetést.

Pl. Olvasd ki (vagy írd le): 1309,03

2. Műveleti jelek olvasása és produkciója

Ahogy a neve is sugallja, a műveleti jelek helyes felismerését és használatát vizsgálja.

Pl. Tedd be a helyes jelet (<, > vagy =)

$$4 \times (12,7 - 0,9) \dots 30 + 20$$

3. Számrendszer ismerete

A számrendszer szemantikus ismerete, amely a tízes számrendszer megfelelő használatát biztosítja.

Pl. Rendezd sorrendbe a legkisebbel kezdve

8,52 95,02 85,2 9,25

4. Procedurális számolás

Procedurális ismeretekre többek közt az aritmetikai műveletek során van szükség. Az egyik problémás helyzet például az operandusok felcserélése, így pl. 47-9 feladatnál a 49-7 műveletet végzi el, és jut a helytelen 42 eredményre, a helyes 38 helyett. Az operandusok helyes kezelését, és a több jegglyel végrehajtható műveletek sorrendjét, irányítását többek közt a procedurális rendszer végzi.

Pl. $30563,7 - 137,95 =$

5. Nyelvi megértés

Annak a képessége, hogy egy egyszerű állítást matematikai formulába tudjunk átalakítani.

Pl. 283-mal több, mint -71 a(z) _

6. Mentális reprezentáció

A képesség a komplex helyzetek megértésére utal. Az oktatásban ez pl. úgy nyilvánul meg, hogy a szóveges feladatokat helyesen fordítják-e le matematikai formulákra. A nyelvi megértéshez képest itt kulcsmozzanat, hogy a feladat több elemből tevődik össze, vagyis nem csak egyetlen egyszerű állítás lefordításáról van szó. Visszatérő hiba, hogy egy-egy szót közvetlenül fordítanak le egy műveletté (közvetlen fordítás). „Rolandnak 9 üveggolyója van. Rolandnak kettővel kevesebb üveggolyója van, mint Tamásnak. Mennyi üveggolyója van Tamásnak?” A feladat végeredményeként gyakran hangzik el a 7, ugyanis a „kevesebb” szót kivonásnak fordítják.

Pl. 1250,8 4 tízessel több, mint

7. Kontextus információ

Ebben az esetben ugyancsak a több állításból felépülő feladatok megoldását vizsgálják, azonban itt az a kérdés, hogy a munkamemória kapacitása és az egyéb matematikai szemantikai ismeretek megléte (jártasság) elegendő háttérrel biztosítanak-e a feladat megoldásához.

Pl. Lisse $36,4^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű. Egy órával később a hőmérséklet $37,2^{\circ}\text{C}$ -ra emelkedett. Mennyivel ment feljebb?

8. *Releváns információ kiválasztása*

A matematika órák feladatai általában csak a feladathoz szükséges adatokat tartalmazzák, a való életben azonban nem csak a releváns információkkal találkozunk, így egy feladatnak az is része lehet, hogy a számunkra szükséges adatokat kiválogassuk. Ennek a nehézségét mutatja az, amikor a buszra fel- és leszálló utasok megadása után megkérdezzük, hogy hány éves a buszsofőr, majd válaszként megkapjuk az éppen a buszon tartózkodó utasok számát.

Pl. Egy palack kemping gáz $6,750\text{ kg}$. 2.7 kg gáz lehet a palackban. Mielőtt nyaralni mennél, a palack 5 kilós . A nyaralás után a palack $4,050\text{ kg}$. Mennyi gáz volt a palackban a nyaralás előtt?

9. *Számérzék*

Az utolsó komponens egyfajta becslési képességet jelent, amikor a feladat számainak pontos feldolgozása nélkül a megoldás nagyságrendjét próbáljuk megbecsülni.

Pl 18:15 melyikhez van legközelebb?

Reggel 6 óra

15 óra

reggel fél 4 $18:55$

Érdekes összevetnünk az NFSZT és az AKFK feladatokat. Ugyan mindkét teszt felnőttek vizsgálatára készült, de míg az NFSZT elsősorban szerzett, addig az AKFK fejlődési zavarok mérését végzi. Az AKFK ráadásul nem annyira a fejlődési diszkalkulia tüneteiből indul ki, hanem leginkább abból, hogy az általános- és középiskolai oktatásban melyek a tipikus problémák (magyarul erről jó összefoglalást nyújt Sternberg és Ben-Zeev 1998 szerkesztett kötete). Jeleztük az előző részben is, hogy az NFSZT a szerzett sérülésekre való specializációjától függetlenül alkalmasnak tűnik fejlődési zavarok mérésére is. Ezzel együtt a két teszt más-más aspektusát méri a számolási képességeknek.

A teszt hamarosan magyar nyelven ingyen elérhető lesz kutatócsoportunk honlapjáról a <https://sites.google.com/site/matematikaiamegismeres/> címen. A teszt részletesebb leírása és a feladatok mögött meghúzódó képességek pontosabb ismertetése magyarul Krajcsi és Hallgató (előkészületben) cikkében olvasható.

A számérzék lehetséges fejlesztése: A Számverseny

Fejezetünk zárásaként egy olyan próbálkozást mutatunk be, amely a diszkalkuliások fejlesztését tűzte ki maga elé. Számos matematikai képességet fejlesztő eljárás született már. A Számverseny nevű számítógépes játék attól különleges, hogy nagyban épít azoknak a kutatásoknak az eredményeire, amelyek a numerikus képességek mögött álló mentális rendszereket derítik fel (Wilson et al. 2006).

A program elsősorban az analóg mennyiségrendszert illetve annak a szimbolikus rendszerekkel való kapcsolatát fejleszti (a rendszerek részletesebb leírását lásd lentebb). Mindez azért fontos, mert a Számverseny deklarálta az alacsony szintű folyamatok javítását tűzi ki célul a magasabb szintű folyamatok helyett. A korábbi leírásokból már kiderült, hogy nem tudhatjuk, hogy a diszkalkuliánál valóban ezekkel a folyamatokkal vannak-e gondok, és így azt sem láthatjuk előre, hogy a program fejleszti-e a diszkalkuliások képességeit. Azt sem tudhatjuk továbbá, hogy ha egy program azt

a rendszert fejleszti is, ami sérül, elérhető-e érdemi javulás. Mindenesetre a program kipróbálása abban is segíthet, hogy a most feltett kérdéseinkre választ kaphassunk.

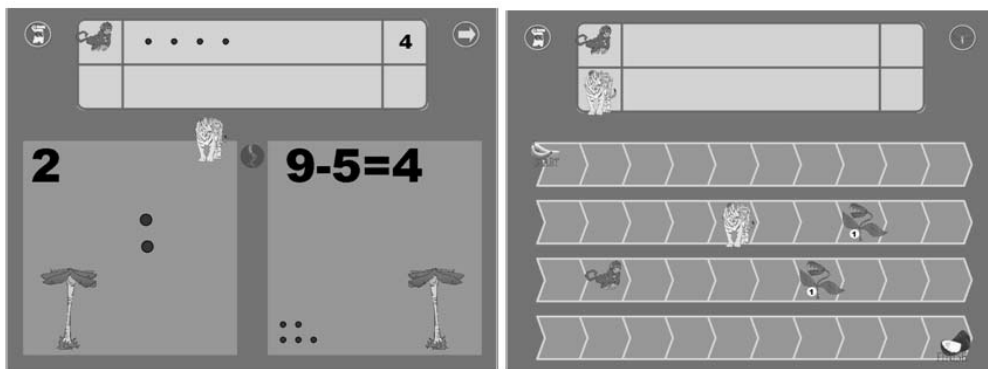
Anna Wilson és munkatársai eredetileg tehát a diszkalkulia fejlesztését tűzték ki célul. A szoftver másik célcsoportja a hátrányos helyzetű diákok felzárkóztatása. Hasonló ötletek már jól ismertek. Ilyen volt a hetvenes években készült, majd később a hazai tévék műsorán is látható Sesame Street, ahol nálunk a Breki és a többiekből is ismert bábok segítették a gyerekeket. A számolás fejlesztése is a program része volt, ahol Count (a gróf, aki szeret számolni, vagyis inkább kényszeresen mindent megszámol) vezeteti be a gyerekeket a számok világába.

Az 5-8 éves gyerekeknek ajánlott játék egy szokványos PC-n futtatható. A játék magyar változata hamarosan ugyancsak ingyenesen letölthető kutatócsoportunk honlapjáról: <https://sites.google.com/site/matematikaimegismeres/>. A magyar változat mellett a program további változatai is megtalálhatóak (jelenleg angol, francia, német, holland és spanyol) a szoftver eredeti honlapján:

<http://www.unicog.org/main/pages.php?page=NumberRace>.

A játék menete

A gyerekeknek egy szereplőt kell választaniuk, akit a játék során irányítani fognak. A kiválasztott szereplő a számítógép irányította ellenféllel versenyez. Az elsődleges feladatban a képernyőn két számot/ponthalmazt/aritmetikai műveletet látunk, amelyek közül ki kell választani a nagyobbat (*lásd a 8. ábra bal oldalát*). A feladat megoldása időre történik, ugyanis a számítógép által irányított szereplő elindul a képernyő közepe felé, hogy végül a nagyobb szám felé vegye útját, és ha a tanuló nem elég gyors, akkor a számítógép szereplője kapja meg a nagyobb számot. Az összehasonlítási feladatban a győztes így megkapja a nagyobb számot, míg a vesztes a kisebbet. A feladatok során az értékek arab számként és pontthalmazként is láthatóak, továbbá a számnevek el is hangzanak (nem mindig látható/hallható mindegyik jelölésmód: ez függ az éppen használt konceptuális komplexitásól, lásd később). A játék másik fő terepe egy tábla, amelyen a Start mezőtől a Cél mező felé kell lépkedni (*lásd a 8. ábra jobb oldalát*). Mindkét játékos annyit léphet előre, amekkora számot az összehasonlítási feladatban megszerzett. A játék körökre oszlik, minden kör az összehasonlítási feladattal kezd,



8. ábra: Összehasonlítási feladat (bal oldalt) és előrelépés a táblán (jobb oldalt)

majd a megszerzett számok alapján a táblán lépnek előre. A játék addig tart, amíg valaki be nem ér a célba. A táblán időnként csapdák jelennek meg, amire rálépve a játékos megadott számú mezőt lép vissza (*lásd pl. a két növényt az 8. ábra jobb oldalán*).

A feladatok egyre nehezebbek lesznek. Az összehasonlítási feladat eleinte csak pontokat, majd számokat is tartalmaz, végül egyre bonyolultabb aritmetikai feladatok is bekerülnek. A válaszokat egyre gyorsabban kell megadni. Végül a táblán csapdák jelenhetnek meg, amelyre lépve a játékos néhány mezővel visszalép.

A játék mögött meghúzódó elvek

A játék számos kutatás inspirálta elvet tartalmaz. Az alábbiakban áttekinjtük a főbb elveket, miszerint (1) az összehasonlítási feladatok az analóg mennyiségrendszert fejleszthetik, (2) a többféle jelölésmód a jelölések közti kapcsolatot javítja, (3) az aritmetikai feladatok közben látható animáció az aritmetika megértését segítheti, és végül (4) az adaptív technika segítségével a program mindig a tanuló teljesítményéhez igazítja a feladatok nehézségét (Wilson et al. 2006).

A program koncepciója abból indul ki, hogy a fejlődési zavar mögött vagy a számérzék magjának sérülése áll, vagy a számérzék és a szimbolikus reprezentáció kapcsolata sérül. A számérzék fejlesztéséhez a játékban az elsődleges feladat az összehasonlítás. Az összehasonlítást az analóg mennyiségrendszer hajtja végre, ennek megfelelően az összehasonlítási feladat alkalmas lehet a számérzék fejlesztésére. A feladatok során a két szám távolsága egyre kisebb, és a döntést egyre gyorsabban kell meghozni. Mindkét paraméter a számérzék fejlesztését célozza. A számérzék és a szimbolikus rendszer kapcsolatát fejlesztheti a táblán való lépegetés. Itt a tábla jól megfeleltethető az analóg mennyiségrendszernek, míg a lépések közben az arab számok is látszanak, illetve a számnevek el is hangzanak.

A számok többszörös reprezentációjának összekapcsolását szolgálja a játék több további pontja. Az arab szám, a kimondott számnév, a pontok, illetve a táblán a mezők egyszerre látszanak/hangzanak el, amely segítheti a különféle reprezentációk összekapcsolását.

A fejlődési diszkalkuliánál gyakori, hogy az aritmetikai képességek fejlődése késik. A program ezért egyszerű aritmetikai műveleteket is gyakoroltat. Mindezen esetekben a szoftver pontok animációjával is bemutatja az összeadás és kivonás műveletét.

A Számverseny a gyerekek teljesítményét követi, és annak megfelelő nehézségű feladatokat ad. A feladatok nehézsége úgy lesz beállítva, hogy átlagosan a problémák 75%-át tudja a tanuló megoldani. Ez egy megfelelő arány lehet arra, hogy a gyerekek számára a feladat kihívást jelentsen, és kellőképp motiváló legyen, ugyanakkor nem túl alacsony szám ahhoz, hogy túlságosan frusztrálónvá váljon. Mindezt a program egy adaptív technikával éri el. A futtatás során folyamatosan méri a tanuló teljesítményének 3 dimenzióját: a numerikus távolságot, a válasz idői korlátját illetve a konceptuális komplexitást. A szoftver a három dimenzió mentén követi a tanuló teljesítményét, és a feladatok nehézségét ezen három egymástól független dimenzió alapján állapítja meg.

A játék részletesebb leírása, a háttérben meghúzódó elvek pontosabb kifejtése és a fejlesztés hatása magyarul Krajcsi és Huszár (előkészületben) írásában olvasható.

Összegzés

A számokkal kapcsolatos képességek több mentális rendszerre támaszkodnak. A mai kutatások ezeknek a rendszereknek a tulajdonságait próbálják meg leírni. Ezek az ismeretek várhatóan hozzájárulnak ahhoz is, hogy a fejlődési diszkalkulia okait pontosabban tárhassuk fel.

A mai diagnosztikai eszközök szintén felhasználják ezeket a kutatásokat: a tesztek ugyanis nem csak a diszkalkulia tüneteiből indulnak ki, hanem a kutatások során feltárt olyan feladatokból és mentális rendszerekből is, amelyekről tudjuk, hogy gyakran működhetnek rosszul, vagy amelyekről tudjuk, hogy elkülönülnek egymástól (disszociálódnak). A fejezetben bemutatunk néhány konkrét diagnosztikai eszközt is, többek közt a Magyarországon leggyakrabban használt Dékány-féle diszkalkulia tesztet és két új eszközt, melyet kutatócsoportunk az utóbbi időben magyarított: a Numerikus Feldolgozás és Számolási Tesztet és az Aritmetikai Kognitív Fejlődési Képességek Tesztet.

Irodalom

- ANSARI, D., & KARMILOFF-SMITH, A. (2002): Atypical trajectories of number development: a neuroconstructivist perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(12), 511–516.
- ASHCRAFT, M. H. (1992): Cognitive arithmetics: A review of data and theory. *Cognition*, 44, 75–106.
- ASHCRAFT, M. H., & KIRK, E. P. (2001): The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 224–237.
- BADDELEY, A. (2001): Az emberi emlékezet. Budapest: Osiris.
- BARROUILLET, P., CAMOS, V., PERRUCHET, P., & SERON, X. (2004): ADAPT: A developmental, asemantic, and procedural model for transcoding from verbal to arabic numerals. *Psychological Review*, 111(2), 368–394.
- BUTTERWORTH, B. (2003): *Dyscalculia Screener*. London: nferNelson.
- DEHAENE, S. (1992): Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1–42.
- DEHAENE, S. (2001): Précis of The Number Sense. *Mind és Language*, 16, 16–36.
- DEHAENE, S. (2003): A számérzék. Osiris könyvtár. Budapest: Osiris.
- DEHAENE, S., BOSSINI, S., & GIRAUX, P. (1993): The mental representation of parity and mental number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 371–396.
- DEHAENE, S., MOLKO, N., COHEN, L., & WILSON, A. J. (2004): Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 218–224.
- DEHAENE, S., PIAZZA, M., PINEL, P., & COHEN, L. (2003): Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20, 487–506.
- DEHAENE, S., SPELKE, E. S., PINEL, P., STANESCU, R., & TSIVKIN, S. (1999): Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain-Imaging Evidence. *Science*, 284, 970–974.
- DÉKÁNY, J. (1999): Kézikönyv a diszkalkulia felismeréséhez és terápiájához. Budapest: Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Tanárképző Főiskola.
- DÉKÁNY, J., JUHÁSZ, Á. (2007): A diszkalkulia vizsgálata. In *Logopédiai vizsgálatok kézikönyve* (119–137) Budapest, Logopédiai Kiadó.
- DELAZER, M., DOMAHS, F., LOCHY, A., KARNER, E., BENKE, T., & POEWE, W. (2004): Number processing and basal ganglia dysfunction: a single case study. *Neuropsychologia*, 42, 1050–1062.
- DELAZER, M., GIRELLI, L., GRANÁ, A., & DOMAHS, F. (2003): Number processing and calculation – Normative data from healthy adults. *The clinical neuropsychologist*, 17(3), 331–350.
- DESOETE, A. (2006): Dyscalculia in Belgium: definition, prevalence, subtypes, comorbidity, and assessment. In *Dyscalculia and Dyslexia in Higher Education*. Loughborough.

- DESOETE, A., & ROEYERS, H. (2002): Off-line metacognition. A domain-specific retardation in young children with learning disabilities? *Learning Disabilities Quarterly*, 25, 123–139.
- DESOETE, A., & ROEYERS, H. (2005): Cognitive skills in mathematical problem solving in Grade 3. *British Journal of Educational Psychology*, 75, 119?138.
- DOMAHS, F., & DELAZER, M. (2005): Some assumptions and facts about arithmetic facts. *Psychology Science*, 47(1), 96–111.
- GALLISTEL, C., & GELMAN, R. (2000): Non-verbal numerical cognition: from reals to integers. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(2), 59–65.
- HRIVNÁK, I. (2003): Lusta? Nem szeret számolni? – Diszkalkulációsok a közoktatásban. *Új Pedagógiai Szemle*, (2), 92–102.
- IGÁCS, J., JANACSEK, K., KRAJCSI, A. (2008): A Numerikus Feldolgozás és Számolás Teszt (NFSZT) magyar változata. *Magyar Pszichológiai Szemle*, 63(4), 633–649. doi:DOI: 10.1556/MPSzle.63.2008.4.2.
- KRAJCSI, A. (2006): Enumerating objects: the cause of subitizing and the nature of counting. Eötvös Loránd University.
- KRAJCSI, A., GÁL, V., RUDAS, G., MÓRO CZ, I. Á., & VIDNYÁNSZKY, Z.: Neural correlates of parity judgement.
- KRAJCSI, A., HALLGATÓ, E.: Fejlődési diszkalkulia diagnózisa felnőtteknél: Az Aritmetikai Kognitív Fejlődési Képességek teszt.
- KRAJCSI, A., HUSZÁR, T.A számverseny: Gyerekek numerikus képességeit fejlesztő szoftver.
- KRAJCSI, A., RACSMÁNY, M., IGÁCS, J., PLÉH, C. (2007): Fejlődési zavarok diagnózisa reakcióidő méréssel. In M. Racsmány (Szerk.), *A fejlődés zavarai és vizsgálómódszerei. Neuropszichológiai diagnosztikai módszerek*. Budapest, Akadémiai.
- KRÜLL, K. E. (2000): A diszkalkulias (számolásgyenge) gyerekek. Akkord Kiadó.
- MÁRKUS, A. (2000): A matematikai képességek zavarai. In S. Illyés (Szerk.), *Gyógypedagógiai alapismeretek (279–308)* Budapest, ELTE, Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Főiskolai Kar.
- MÁRKUS, A. (2007): Számok, számolás, számolászavarok. Budapest, Pro Die Kiadó.
- MCCLOSKEY, M. (1992): Cognitive mechanisms in numerical processing: evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44(1–2), 107–157.
- MOYER, R. S., & LANDAUER, T. K. (1967): Time required for judgement of numerical inequality. *Nature*, 215, 1519–1520.
- SHALEV, R. S., & GROSS-TSUR, V. (2001): Developmental Dyscalculia. *Pediatric Neurology*, 24(5), 337–342.
- SPELKE, E. S., & TSIVKIN, S. (2001): Language and number: a bilingual study. *Cognition*, 78, 45–88.
- STERNBERG, R. J., BEN-ZEEV, T. (Szerk.) (1998): *A matematikai gondolkodás természete*. Budapest: Vince.
- SZILÁGYI, C. (2007): Matematika tanulási nehézség vizsgálata a Numerikus Feldolgozás és Számolás Teszt segítségével. Szegedi Tudományegyetem.
- VAN NIEUWENHOVEN, C., GRÉGOIRE, J., & NOËL, M. (2001): *Le TEDI-MATH. Test Diagnostique des compétences de base en mathématiques*. Paris: ECPA.
- WILSON, A. J., DEHAENE, S., PINEL, P., REVKIN, S. K., COHEN, L., & COHEN, D. (2006): Principles underlying the design of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2(19).