

Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és
Pszichológiai Kar

**A szenzomotoros szinkronizáció és a spontán motoros
tempó mérése és kapcsolata az olvasás fejlődésével**

Kertész Csaba

Doktori (PhD) disszertáció

2023

Témavezető: Dr. Honbolygó Ferenc PhD.

Tartalomjegyzék

Köszönetnyilvánítás	4
A disszertáció témáinak vizuális áttekintése	5
Ábrák jegyzéke.....	6
Táblázatok jegyzéke	7
Bevezető	8
Elméleti áttekintés	10
A ritmus észlelésének evolúciós gyökerei	10
Az idői feldolgozás modelljei	11
Az időzítés agyi háttere	15
A szenzomotoros szinkronizációs paradigma	17
Lineáris elemzés.....	17
Cirkuláris elemzés	18
Folytatásos elrendezés (Synchronization-continuation).....	20
A spontán motoros tempó feladat.....	20
Aszinkronitás, NMA, variabilitás.....	21
A szinkronizációs képesség fejlődése	22
Zenés ingeranyag használata az SMS paradigmában.....	24
Az olvasás kognitív háttere	27
A ritmus, a nyelv és az olvasás kapcsolata.....	29
Beszédészlelés.....	31
Nyelvtan	31
Olvasás	33
Az olvasás és szenzomotoros szinkronizáció.....	35
A ritmus-nyelv-olvasás kapcsolatot magyarázó elméletek	37
Diszlexia és ritmus	42
Összefoglalás.....	44
Saját vizsgálatok bemutatása.....	46
Jelen tanulmány.....	46
Kutatási kérdések	46

Az SMS és SMT feladat módszertana a három empirikus kutatásban.....	47
Eszközök	48
Ingeranyag, vizsgálati protokoll.....	48
Résztevők	50
Első vizsgálat - Az SMS és SMT feladat, valamint a ritmusreprodukció kapcsolata az olvasás és a fonológiai tudatosság színvonalával első osztályban.....	50
Módszer	51
Eredmények.....	54
Az első vizsgálat diszkussziója	57
Második vizsgálat - Az SMS és SMT feladat, valamint általános kognitív teljesítmények kapcsolata az olvasás, a helyesírás, a fonológiai tudatosság színvonalával első osztályban.....	62
Módszer	63
Eredmények.....	67
A második vizsgálat diszkussziója.....	71
Harmadik vizsgálat - Az SMS és SMT feladat kapcsolata az olvasás és a fonológiai tudatosság színvonalával első és harmadik osztály között, illetve harmadik osztályban.....	74
Eredmények.....	75
A harmadik vizsgálat diszkussziója	81
Általános diszkusszió	87
A tempó és az ingertípus hatása az SMS feladatban.....	87
Milyen hatással van az SMS feladat mutatóira az inger tempója?.....	87
Milyen hatással van az SMS feladat mutatóira az inger komplexitása?	89
Az SMS és SMT feladat mutatóinak longitudinális változása.....	91
Változnak-e az SMS feladat különböző aspektusait megjelenítő mutatók (konzisztencia, aszinkronitás, folytatásos konzisztencia) a vizsgált időszakban?	91
Változnak-e az SMT feladat mutatói (spontán tempó, konzisztencia) a vizsgált időszakban?	92
Az SMS és SMT feladat kapcsolata az olvasással, a helyesírással és a fonológiai tudatossággal	93
Kapcsolatban áll az SMS és SMT teljesítmény az olvasás, a helyesírás és a fonológiai tudatosság szintjével első osztályban?	93

Fennmarad az SMS és SMT teljesítmény kapcsolata az olvasással, a helyesírással és a fonológiai tudatossággal két évvel később is, harmadik osztályban?	95
Alkalmask az első osztályban felvett SMS és SMT tesztek mutatói a harmadik évfolyamos olvasás, helyesírás és fonológiai tudatosság prediktálására?.....	97
Konklúzió	100
Irodalomjegyzék.....	101
Melléklet.....	125

Köszönetnyilvánítás

Mindenek előtt szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Honbolygó Ferencnek, aki nélkül el sem kezdődhetett volna ez a négy éves kaland, amely során rengeteget tanulhattam tőle, és akivel már a közös munka kezdetén kiderült, hogy összeköt a zene iránti szenvedélyünk. Lehetővé tette, hogy saját témámat kutassam, temérdek bátorítást, segítséget kaptam tőle és egyre több lehetőséget, hogy megismerjem a kutatói munka különböző oldalait.

Hálás vagyok az „alma mater”-ből F. Földi Ritának, aki mentoromként először adott bizalmat a kutatói munkám során, és végigkíserte azt tudásával és támogatásával, és akit büszke vagyok, hogy egy éve kollégámnak nevezhetek. Köszönettel tartozom Takács Szabolcsnak, aki segítőkészségével, derűjével és bátorításával mindvégig biztos pont volt, és akitől megtudtam, hogy a doktori képzés és a kisgyermek nevelés remek párosítás.

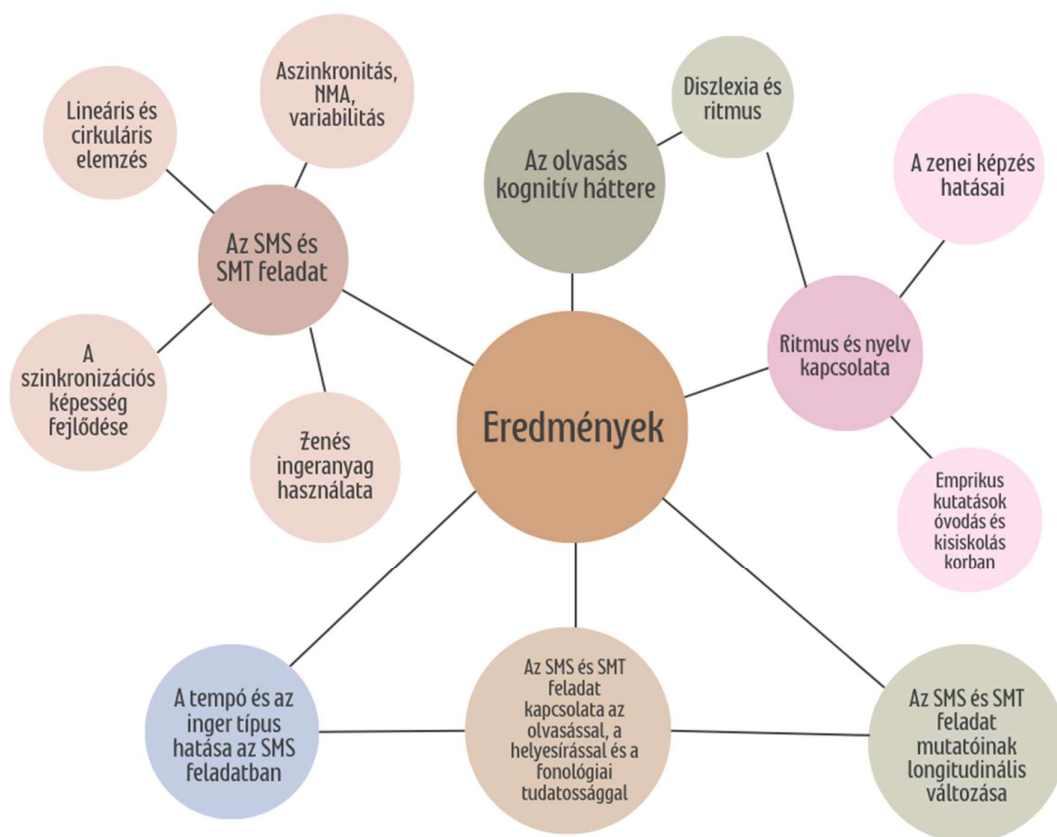
Köszönöm a kollégáknak az ELTE Fejlődés- és Klinikai Gyermekepszichológia Tanszékéről, különösen Balázs Juditnak, aki mindig jóindulattal és támogatással állt hozzám és a munkámhoz, a „társaknak az úton”, elsősorban Németh Barbinak, Sulyok Rozinak és Szabó Briginek, akikkel jó volt egy csapatban lenni, a TTK-ról pedig Lukács Borinak és Varga Verának, hogy megosztották velem a kitaposott ösvényt.

Hálával gondolok a Németh Imre Általános Iskola vezetőire, pedagógusaira és tanulóira. Köszönöm Tiborecz Mártának, Kovács Pálnak, Sági Andrásnak, Szőke Zitának és Tóth Katalinnak, hogy mindvégig támogatták a munkámat és idejük áldozásával és rugalmasságukkal segítették a vizsgálatokat, valamint az ELTE pszichológus hallgatóira, akik részt vettek az adatfelvételben.

Szeretném megköszönni szüleimnek és nagynénémnek a támogatást, segítséget és szeretetet, aminek sosem voltam híján.

Végül a legnagyobb hálával feleségemnek, Fanninak tartozom, akinek a türelme, bátorítása és szeretete nélkül nem jöhetett volna létre ez a munka, és fiamnak Ábrisanak, aki értelmet adott a nehézségeknek.

A disszertáció témáinak vizuális áttekintése



Ábrák jegyzéke

1. ábra. Hierarchikus metrikai struktúra.....	9
2. ábra. A ritmusok passzív hallgatása során aktív agyi területek.....	16
3. ábra. Az SMS paradigma lineáris elemzésének sematikus ábrázolása	18
4. ábra. Az SMS paradigma cirkuláris elemzésének sematikus ábrázolása	19
5. ábra. A spontán motoros tempó és a szinkronizációs képesség kapcsolata	24
6. ábra. Hierarchikus ritmikai szintek zenében és beszédben	38
7. ábra. A zenei és beszéd ritmus feldolgozásának mechanizmusai	42
8. ábra. A vizsgálati helyzet vázlatos ábrázolása.	47
9. ábra. A fonológiai tudatosság és a folytatásos szakaszban mért eltávolodás kapcsolata.	59
10. ábra. Egy tanuló ütéseinek kördiagramjai két próbában	64
11. ábra. Az inger típusának hatása	68
12. ábra. Lineáris modellek (2. vizsgálat)	73
13. ábra. Az SMS mutatók változása változása (3. vizsgálat).....	76
14. ábra. Lineáris modellek (3. vizsgálat /a).	84
15. ábra. Lineáris modellek (3. vizsgálat /b).	86

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat. Leíró statisztikák (1. vizsgálat).....	55
2. táblázat. Korrelációs elemzés (1. vizsgálat).....	57
3. táblázat. Leíró statisztikák (2. és 3. vizsgálat).....	67
4. táblázat. Lineáris modellek koefficiensei (2. vizsgálat).....	70
5. táblázat. Lineáris modellek koefficiensei (3. vizsgálat /a).	78
6. táblázat. Lineáris modellek koefficiensei (3. vizsgálat /b).....	80
7. táblázat. A fonológiai tudatosság és az olvasás kapcsolata első és harmadik évfolyamban.	81
8. táblázat. Nemi különbségek a nyelvi és olvasási változók között (Melléklet).....	125
9. táblázat. Az nyelvi és olvasási változók kapcsolata a korrall (Melléklet).....	125

Bevezető

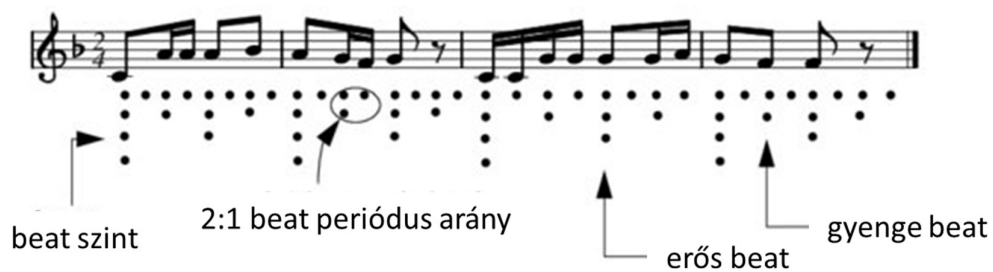
Mindennapi létünk, cselekvéseink elválaszthatatlan része a bennünket érő ingerek időbe ágyazottsága. Az általunk észlelt valóság ezen ingerek időbeli összerendezése által jön létre, tevékenységeink valamilyen mértékű egyénen belüli, egyén és környezet, bizonyos esetekben pedig egyének közötti idői koordinációt feltételeznek (Zacks & Tversky, 2001).

A zene mint az összes emberi kultúrában fellelhető humán univerzálé (Nettl, 2000) a hangok időbeli elrendezésén, vagyis ritmusán alapul, egyesek szerint a zene legmeghatározóbb aspektusa ez, amely fontosabb, mint a hangmagasság, vagy a hangsín (Hannon & Trainor, 2007).

A zenei ritmus hangokból, azok különböző kombinációiból, sorozataiból, valamint szünetekből áll (London, 2004), és a hang fizikai változásainak időbeliségét jeleníti meg. A zenei ritmus több szintű, hierarchikusan szerveződő struktúrát alkot, a felszíni ritmus alatt gyakran – de nem minden esetben – jelenlévő lüktetést taktusnak, vagy „beat”-nek nevezzük (1. ábra). Ez a szint nem feltétlenül van jelen, „szólal meg” a zenében, a hallgató a felszíni ritmus és az előzetes tudása alapján következtet rá (Lerdahl & Jackendoff, 1983). Bár az emberek többsége számára nem jelent nehézséget a zenei lüktetés észlelése, követése, illetve az ahhoz történő mozgásos alkalmazkodás, szinkronizáció, ennek színvonala nagy egyéni különbségeket mutat a populációban. A képzett zenészek állnak a kontinuum egyik végén, akik rendkívüli pontossággal képesek követni a taktust, mások ezzel szemben teljességgel képtelenek rá. Az utóbbi állapotot nevezzük beat-siketségnek (beat deafness), amely az amúzia - a zenei észlelés képességének zavara - egy fajtája. Bizonyos patológiákban szintén érintett a lüktetés észlelésének, követésének képessége, akár a központi idegrendszert érintő betegség, (Parkinson-kór), sérülés (afázia), vagy eltérő idegrendszeri fejlődés (diszlexia, nyelvi zavar, autizmus spektrum zavar, ADHD, dadogás) következtében (Ladányi és mtsai., 2020).

A beat, vagyis a periodikus ritmikai mintázat kinyerése az ingerfolyamból komplex feladat az agy számára, amelyben számos terület összehangoltan vesz részt. A zenei lüktetés követésének képessége észlelési és produkciós feladatokkal egyaránt mérhető. Az ezekben mutatott teljesítmény és más kognitív területek közti kapcsolat élénk tudományos érdeklődés tárgyává vált az elmúlt két évtizedben. Meggyőző számú empirikus kutatás eredményei mutatnak abba az irányba, hogy a beat követése, illetve a háttérben álló szinkronizációs, mechanizmusok kapcsolatban állnak a nyelvi és olvasási területekkel (Fiveash és mtsai., 2021; Miendlarzewska & Trost, 2014; Moreno & Bidelman, 2014; Nayak és mtsai., 2021). Jelen munka célja a ritmikai

szinkronizációs képesség viselkedéses megjelenése és a nyelvi, olvasási fejlődés összefüggéseinek feltárása alsó tagozatos gyerekek körében.



1. ábra. Hierarchikus metrikai struktúra (Lerdahl & Jackendoff, 1983 alapján)

Elméleti áttekintés

A ritmus észlelésének evolúciós gyökerei

A környezetünk számos jelenségében megfigyelhető ritmikai szabályosság. Az egyes események közt eltelt idő lehet egészen rövid, milliszekundum nagyságrendű, mint a beszédhangok észlelésénél, másodperc körüli, mint a lépteink séta közben, órákban mérhető, mint a test cirkadián ritmusai, vagy egészen hosszú, mint az évszakok váltakozása. Ritmusok széles spektrumát érdemes követnie az idegrendszernek, hogy helyes előrejelzéseket tudjon tenni. Az idői regularitások követése nem csak az emberre, de számos állatfajra is jellemző képesség (Brunner és mtsai., 1992; Crystal, 2001). Könnyen beláthatjuk, hogy a ritmikai feldolgozás sok előnnyel járhatott evolúciós környezetben (Huron, 2008), ugyanakkor nem egyértelmű, hogy miért fejlődött ki a mozgásos szinkronizáció képessége, amely már lényegesen kevésbé jellemző az állatvilágban. Annak ellenére, hogy az emberek nagy része nem csupán képes rá (Repp, 2005; Repp & Su, 2013), de örömmel is vesz részt ilyen tevékenységekben (pl. tánc), mindössze néhány állatfaj esetében sikerült bizonyosságot szerezni a külső ritmikai referenciához történő mozgásos alkalmazkodás képességének létéről. Ilyen például a sárgabóbitás kakadu (Patel és mtsai., 2009) és a kaliforniai oroszlánfőka (Cook és mtsai., 2013). Patel elmélete szerint (Vocal Learning Hypothesis; Patel, 2023; Patel & Iversen, 2014) a vokális tanulás képességével állhat kapcsolatban a spontán, több tempóhoz rugalmasan alkalmazkodni képes audio-motoros szinkronizáció, hiszen mindkettő feltétele a regularitások észlelése a hanginger folyamatban.

Steven Pinker (1999) elképzelése szerint a zene mint kulturális termék nem járhatott jelentős evolúciós előnyökkel, létrejöttét a nyelvhasználat megjelenésének köszönhetné, mint annak epifenoménje. További elméletek azonban adaptív értéket tulajdonítanak a zene és a tánc megjelenésének és univerzalitásának. A szexuális szelekciós magyarázat szerint, amelyet maga Darwin is osztott, az udvarlásban lehetett szerepe (Dean és mtsai., 2009), mások szerint az együttműködő csoporttagok kooperációját (Dissanayake és mtsai., 1999), a csoport kohézióját (Phillips-Silver és mtsai., 2010) erősíthette. Ezek az elképzelések azonban, mint általában az evolúciós eredetre vonatkozó spekulációk, korlátozottan tesztelhetők. Kirschner és Tomasello (Kirschner & Tomasello, 2010) frappáns kísérletében a közös ritmikus, zenei tevékenység, ezáltal az összehangolódás valóban erősítette 4-5 éves óvodások altruista és proszociális viselkedését. Ugyanakkor a nyelvhasználattal való kapcsolat elképzelését erősítik az ún.

„dajkanyelvvel” (IDS, infant-directed speech) kapcsolatos kutatások (Thiessen és mtsai., 2005). Általánosan megfigyelt jelenség, hogy a csecsemőre irányuló kommunikáció során a gondozók beszéde „zeneibb”, nagyobb hangmagasság változásokat és alacsonyabb tempót alkalmaznak, amely segíti a beszédfolyam szegmentálását, ezzel támogatva a csecsemők nyelvelsajátítását.

A humán szinkronizációs képesség amellelt, hogy általánosan magas szintű, az egyéni fejlődés során hamar megjelenik, amiből arra következtethetünk, hogy legalább részben „előhuzalozott”: már újszülötteknél is megfigyelhető elektrofiziológiai módszerekkel a zenei ritmus és lüktetés feldolgozása (Winkler és mtsai., 2009). A ritmikus alkalmazkodás a viselkedés szintjén számos területen megfigyelhető, létrejöhet akaratlagosan, vagy akaratlanul is. Az előbbi szükséges például a tánc esetében, amely során a zene tempója, metruma és ritmusa, illetve gyakran más résztvevők mozgása szerint kell koordinálnunk saját mozdulatainkat, az utóbbi pedig széleskörben megfigyelhető jelenség olyan területeken, mint a járás vagy az együttes taps (Koban és mtsai., 2019).

A szinkronizáció nem csupán intraperszonális szinten jöhet létre, hanem egyének között is. A személyek közötti ritmikai összhang azon túl, hogy segítheti a közös célok elérését bizonyos együttesen végzett munkafolyamatok (pl. kötélhúzás) során, elősegítheti a résztvevők közötti proszociális viselkedést és kooperációt (Cirelli és mtsai., 2014; Kirschner & Tomasello, 2010; Valdesolo és mtsai., 2010), valamint a másik féllel való együttérzést is (Valdesolo & DeSteno, 2011).

Az idői feldolgozás modelljei

Az idői feldolgozás tudományos vizsgálatának egyik úttörője Paul Fraisse (1984) az idői észlelés két aspektusát írta le: a hosszúságot, vagyis az egyes események között eltelt időintervallumot, illetve az események szukcesszióját, azaz, összetartozóságukat, szekvenciális szerveződésüket. Ez a distinkció a későbbi elméletekben is megjelenik az intervallum-alapú (duration-based, vagy interval-based) és a beat-alapú (beat-based) feldolgozás különbségtételében. Az első az abszolút időkülönbségek észlelését jelenti és olyan feladatokkal mérhető, mint a hosszúságok becslése, összehasonlítása, vagy diszkrét intervallumok reprodukciója (Teki és mtsai., 2011). A beat-alapú feldolgozás a relatív idői hosszúságok és az ezekből létrejövő hierarchikus struktúrák észlelését jelenti és olyan helyzetekben érhető tetten, mint a beat-hez történő szinkronizáció (Repp, 2005; Repp & Su, 2013), egyenletes ritmusú ingerekben történő változások detekciója (Dalla Bella és mtsai., 2017), vagy annak a

megítélése, hogy egy zenei részlethez igazodik-e a vele együtt bemutatott metronóm jel (Iversen & Patel, 2010).

A fenti példák mind az ún. explicit, vagyis akaratlagos időzítés fogalmkörébe tartoznak. Számos helyzetben azonban a feladatvégzés ugyan nem direkt módon magát az időzítést teszteli, az mégis hat a mért teljesítményre, például egy labda elkapása, vagy egy kör megrajzolása során. Ezt nevezzük implicit időzítésnek. A központi idegrendszeri léziók vizsgálata valamennyi bizonyítékot szolgáltat a kétfajta feldolgozás disszociációjára. Cerebelláris sérülést követően például az egyének teljesítményében lényeges romlás tapasztalható a viselkedéses szinkronizáció során, de továbbra is képesek például folyamatos mozgással köröket rajzolni (Spencer és mtsai., 2003). Az implicit időzítés a jelen munka fókuszán kívül esik, a továbbiakban a vizsgálandókat az explicit folyamatokra korlátozzuk.

Az időzítés kognitív folyamatait leíró modellek közül történetileg az intervallum-alapúak a korábbiak (Allan & Kristofferson, 1974; Merchant & de Lafuente, 2014). Ezek a megközelítések hatékonyak voltak az időzítés észlelési küszöbértékeinek meghatározásában, ezen vizsgálandóságok eredményeképpen tudjuk például, hogy két egymást követő hang esetében 2 ms a minimális különbség, amely ahhoz szükséges, hogy külön eseményként észleljük őket, vagy hogy a ritmusok integrációja, vagyis összetartozóként észlelése a 100 ms-tól kb. 2,4 másodpercig terjedő intervallumban valósul meg (Fraisse, 1963).

A hosszúság reprodukciós feladatokban a vizsgálati személynek a két hang által meghatározott intervallumot kell a lehető legpontosabban reprodukálnia, például egy billentyű lenyomásával. Az intervallumbecslés feladat ehhez képest nem tartalmaz mozgásos választ, a személynek két egymást követő intervallumról kell döntést hoznia, hogy azonos, vagy különböző hosszúságot hallott. A válaszok variabilitása a Weber-törvényt követve mind percepció, mind produkciós feladatoknál az inger nagyságának (hosszúság) függvénye (Allan, 1998; Wearden, 2003).

Az ún. skaláris expektancia elmélet (SET, scalar expectancy theory, Gibbon, 1977) feltételez valamilyen „belső óra” mechanizmust, amely standardként szolgál az észlelés során. A hosszúságok reprezentációit az emlékezet tárolja, majd ezek kerülnek összehasonlításra a később bemutatott intervallumokkal. A beat-alapú feldolgozás ezzel szemben az ingerek periodicitása miatt a predikciókra támaszkodik és alkalmas a komplex feldolgozás, a több szintű ritmikai struktúra észlelésének leírására. Az ún. beat-illeszkedési teszt (beat alignment test – BAT, Iversen & Patel, 2010) során a vizsgálati személynek egy zenei részlet és a vele együtt bemutatott metronóm szinkronicitásáról kell dichotóm ítéletet hoznia, míg az anizokronia

detekciós feladatban egyenletes tempójú inger (pl. metronóm) egy-egy megváltoztatott hosszúságú intervallumát kell felismernie (Hyde & Peretz, 2004).

Gyakran azonban nem pusztán perceptuális, hanem mozgásos, ún. szenzomotoros szinkronizációs (SMS, sensorimotor synchronization) feladattal vizsgálják a beat-alapú feldolgozást (Isd. részletesebben „A szenzomotoros szinkronizációs paradigma” c. fejezetben). Az ezen a területen megfigyelt jelenségek magyarázatára született modellek két irányzatra oszthatók: a kognitív szempontú információfeldolgozási, vagy lineáris modellek (Repp, 2005, 2006; Wing & Kristofferson, 1973), illetve a dinamikus rendszer szemléletű, nem-lineáris, oszcillátor modellek (Drake és mtsai., 2000; Jones, 2018; Large & Jones, 1999).

A lineáris időzítési modellek az intervallum-alapú megközelítéshez hasonlóan feltételeznek a központi idegrendszerben valamilyen egységes, vagy elosztott központi időzítési mechanizmust (central timekeeper), valamint hibakorrekciós eljárásokat. A mozgásválaszok variabilitásának két komponensét írják le. Az egyik a leütések között eltelt időintervallumok nagyságából ered, a másik pedig a motoros kivitelezésből (Repp, 2006; Wing & Kristofferson, 1973). Ahogy az alacsony tempók esetében növekszik a variabilitás, a viszonylag konstans motoros komponens szerepe csökken. A mechanizmus hosszútávú működéséhez elengedhetetlen a feedback és a hibakorrekció, amely két módon történik. A nagyobb mértékű kognitív kontrollt feltételező periódus-korrekcióval, amely a visszacsatolás alapján a belső óra újraállítását jelenti, illetve az automatikusan is megvalósuló fázis-korrekcióval, amely során a az észlelt aszinkronitások csökkentése történik a periódus megtartása mellett (Mates, 1994).

A feltételezett belső óramechanizmus helyett nem-lineáris, egymáshoz kapcsolt oszcillátorok működésével modellezik a szinkronizációt a dinamikus rendszer szemléletű elméletek. Központi fogalmuk az úgynevezett „entrainment” jelenség (magyarul nem tökéletesen “összehangolódásnak” fordítható), amely során két saját frekvenciával rendelkező oszcilláló rendszer kölcsönhatásaként jön létre a közös frekvencia és fázis (Bressler & Kelso, 2016) (Isd. metronómkok, vagy ingák spontán szinkronizációja). A szinkronizáció könnyebben jön létre, amennyiben a két rendszer intrinzik frekvenciája közelebb áll egymáshoz. Az entrainment elméletek ilyen kapcsolódó oszcillátorokként írják le a szinkronizációs feladatokban bemutatott ingert és a motoros választ adó rendszert (pl. ujjak). Lényeges különbség, hogy az elképzelés szerint a szinkronizációnak nem feltétele sem a belső óra, sem az emlékezeti működés.

Az entrainment mint jelenség a viselkedéses mellett neurális szinten is megfigyelhető. Az agykéreg egyes sejtcsoportjai képesek periodikus aktivitásuk frekvenciáját (frequency

locking) és fázisát (phase locking) külső ingerekhez, vagy egymáshoz szinkronizálni. Az így létrejövő, különböző frekvenciatartományokban megfigyelhető oszcillációk szerepet játszhatnak az ingerek bemeneti szelekciójában, sejtcsoportok összekapcsolásában, az információ reprezentációjában és konszolidációjában (Buzsáki & Draguhn, 2004), a figyelem irányításában, és az ingerfolyam alapján történő predikcióban (Large & Jones, 1999).

A ritmikai szinkronizáció szempontjából a fenti mechanizmusok két aspektusa is különösen releváns. Az agykéreg béta frekvenciasávú oszcillációinak modulációja figyelhető meg passzív helyzetben, ritmusok bemutatásakor, amely követi a beat-et, valamint motoros és auditoros kérgi területek fázis szinkronizációja is megfigyelhető, amely a szenzomotoros integráció korrelátumaként interpretálható (Nozaradan és mtsai., 2011, 2012). A szinkronizáció periódusa, vagyis a beat szintje akaratlagosan befolyásolható azáltal, hogy a vizsgálati személy hogyan csoportosítja a hallott ritmusokat (pl. 2-es, vagy 3-as metrum szerint) (Nozaradan és mtsai., 2011), illetve létrejön a beat szinthez abban az esetben is, ha az nincsen egyértelműen jelen a bemutatott ingerben (Isd. „hiányzó beat” effektus, (Tal és mtsai., 2017). Mindebből arra következtethetünk, hogy nem pusztán az inger követése és az arra való reakció történik meg, hanem fentről lefelé irányuló, önfenntartó, prediktív folyamatok is működnek.

A szenzomotoros szinkronizációs paradigma szempontjából kisebb a jelentősége az ún. akció-reprezentáció modelleknek, amelyek elsősorban az interperszonális szinkronizáció leírására születtek. Elképzelésük szerint a cselekvések mentális reprezentációval bírnak, amelyek a végrehajtásuk, elképzelésük, vagy megfigyelésük során aktiválódnak (Hommel és mtsai., 2001; Jeannerod & Frak, 1999). Ezt az elképzelést támasztja alá, hogy a mozdulatok végzése, illetve másik aktor megfigyelése során azonos fronto-parietális területek, az ún. tükrö-neuron rendszer aktiválódik embereknél (Buccino és mtsai., 2004; Keysers & Gazzola, 2009) és majmokban (di Pellegrino és mtsai., 1992; Kraskov és mtsai., 2009; Rizzolatti és mtsai., 1996) egyaránt. A jelenség auditív modalitásban is megfigyelhető, ráadásul az emberek esetében a mozgás elvégzésében szerzett tapasztalat is modulálja az aktivációt (Calvo-Merino és mtsai., 2005; D’Ausilio és mtsai., 2006; Lahav és mtsai., 2007). Közös tevékenység során a társak mozdulatainak megfigyelése aktiválhatja az egyén saját reprezentációit és prediktív modelljeit, melyek segítségével a partner mozgását képes anticipálni és ezáltal a saját mozdulatait koordinálni (Wolpert és mtsai., 2003).

Az időzítés agyi háttere

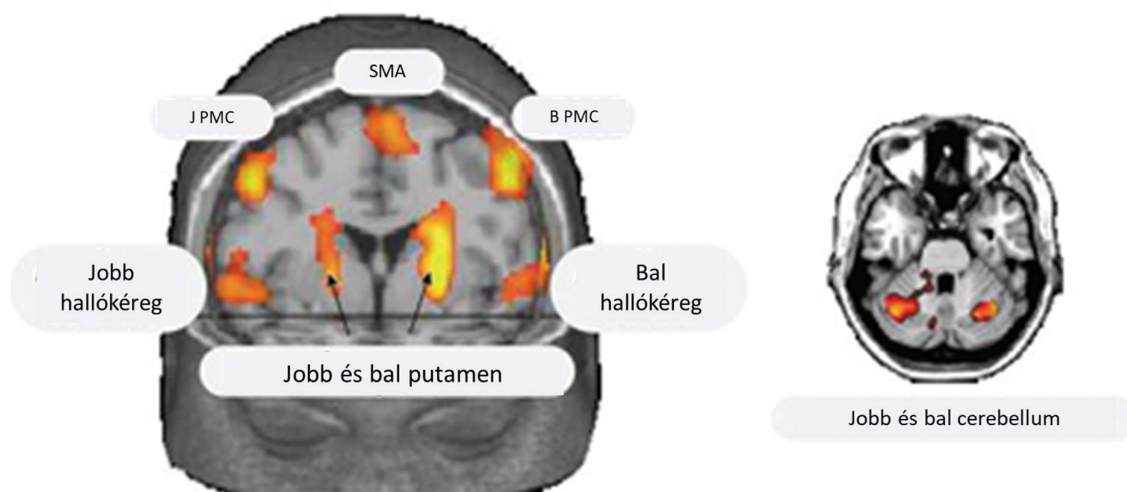
A pontos időzítés rendkívül komplex folyamat, amely számos agyterület összehangolt működését feltételezi. Az audio-motoros feldolgozásban involváltak auditív kérgi területek, mint a hallókéreg és a superior temporalis gyrus (Grahn & Brett, 2007; Zatorre és mtsai., 2007), motoros területek, mint a bazális ganglionok, motoros és pre-motoros áréák (Grahn & Brett, 2007; Grahn & Rowe, 2009; Zatorre és mtsai., 2007), valamint a mozgásos tervezésben és predikcióban szerepet játszó kisagy (Coull és mtsai., 2011; Grube és mtsai., 2010; Schwartze & Kotz, 2013; Spencer és mtsai., 2003) (2. ábra).

A ritmusészlelésben részt vevő struktúrák két rendszerre oszthatók, amelyek különböző feladatokat látnak el, a felosztás alapja és a területek pontos elkülönítése azonban a mai napig vitatott. Egy elképzelés szerint (Repp & Su, 2013) az egyik rendszer a másodperc alatti idői változások feldolgozásáért és az automatikus hibakorrekcióért felel, és az elsődleges és másodlagos motoros területek, valamint a kisagy alkotják. A másik rendszer egy hosszabb intervallumok észleléséért és az akaratlagos változtatásokért felelős kortikális-szubkortikális kör, amely a bazális ganglionokat, a parietális kérget és prefrontális területeket tartalmazza (Buhusi & Meck, 2005; Lewis & Miall, 2003).

Egy alternatív felosztás szerint a beat- illetve az intervallum-alapú feldolgozás mentén választható szét a két rendszer (Grube és mtsai., 2010; Teki és mtsai., 2011). Amennyiben nincsen jelen lüktetés, egy olivo-cerebelláris kör aktív, ha azonban fellelhető a beat, egy striato-thalamo-corticalis rendszer aktiválódik, amely részei a bazális ganglionok, a thalamus, a premotoros kéreg, a szuplementáris motoros área és a dorzolaterális prefrontális kéreg. A két rendszer szorosan együttműködik oly módon, hogy a feldolgozás során az utóbbi az alapértelmezett és az előbbi felel a hibakorrekcióért. A bazális ganglionok szerepét támasztja alá, hogy a Parkinson-kórban szenvedő betegek, akiknél a terület érintett, gyengébben teljesítenek az olyan beat-alapú ritmikai feladatokban, ahol a ritmus a taktus alapján prediktálható lenne (Grahn & Brett, 2007). A szerzők feltételezése szerint a bazális ganglionok a lüktetés belső létrehozásában és a külső ritmus alapján tett predikciókban játszanak szerepet. A ritmikai észlelés és a mozgás kapcsolatát támasztják alá azok az eredmények is, amelyek szerint passzív helyzetben, észlelés során is involváltak motoros területek (BG, pre-SMA és PMC) (Bengtsson és mtsai., 2009; Chapin és mtsai., 2010; Chen és mtsai., 2008, 2009; Grahn & Brett, 2007; Grahn & McAuley, 2009). Patel és Iversen (2014) ASAP (Action Simulation for Auditory Prediction) elméletében a motoros régiók aktivitását azzal magyarázza, hogy a

beat észlelése során az agy periodikus mozgás szimulációjával segíti a hallórendszert a jövőbeli események predikciójában. Elképzelésük szerint a pre- és szuplementáris motoros áréak a hallókéreggel a parietális területeken keresztül a dorsalis hallási pályán kapcsolódnak, az SMA pedig egy kérgi-bazális-thalamikus kör részeként vesz részt a beat észlelésében (Cannon & Patel, 2021). Az elméletet alátámasztani látszik, hogy a parietális kéreg angularis tekervényhez (AG) közeli TMS (transzkraniális mágneses stimuláció) ingerlése negatívan hat a beat észlelésre (Ross és mtsai., 2018), illetve, hogy a beat észleléses teszt pontszámai együttjárnak az AG-ban fMRI-vel megfigyelt aktiváció mértékével (Grahn & Schuit, 2012).

A Szenzomotoros Elmélet (Todd & Lee, 2015) szerint a két rendszer közül az első egy külső referenciájú egység, amely központi területe a kisagy, feladata pedig, hogy a hangingerfolyam regularitásainak feldolgozásával „megtalálja” a lüktetést (“beat-finder”). Amennyiben szabályos beat-tel találkozik, továbbítja azt a második, belső referenciájú rendszernek, amely meghatározó részei a bazális ganglionok. Ennek a rendszernek a feladata a lüktetés szubjektív érzetének a megteremtése (“beat-keeper”). Az utóbbi a vesztibuláris és a limbikus rendszerrel való kapcsolatával magyarázzák a szerzők az olyan ritmikus, mozgásos tevékenységek preferenciáját, mint például a hintaszékben ringatózás, vagy a tánc.



2. ábra. A ritmusok passzív hallgatása során aktív agyi területek: a szuplementáris motoros áréa (SMA), a premotoros kéreg (PMC), a hallókéreg, a putamen és a kisagy (Cameron & Grahn, 2014 alapján).

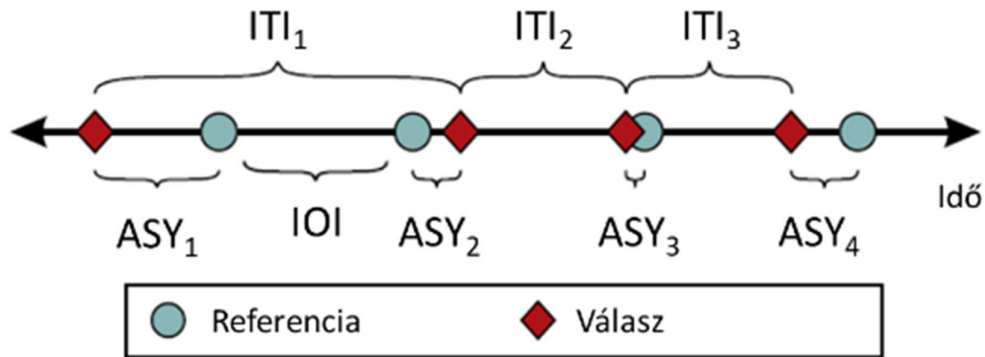
A szenzomotoros szinkronizációs paradigma

A szinkronizációs képesség mérésére legelterjedtebb viselkedéses kísérleti paradigma az ún. szenzomotoros szinkronizációs feladat (sensorimotor synchronization, SMS). Ennek során a vizsgálati személynek a periodikus hangingerhez (általában metronómhoz) alkalmazkodva kell egyszerű mozgást, leggyakrabban ujjheggyel történő kopogást (tapping) végeznie. Az eljárással szerzett legkorábbi, még kimográf segítségével regisztrált, publikált eredmények 1886-ból származnak (Stevens, 1886).

A felnőtt vizsgálati személyek a tempók széles skáláján képesek az egyenletes lüktetéshez történő mozgásos szinkronizációra. A feladatvégzés alsó korlátját a referencia prediktálhatósága jelenti. Körülbelül 33 bpm (beat per minute) tempónál lassabb inger esetében, amikor az egyes események között kb. 1,8 másodperc telik el, különösen nehézé válik azok előrejelzése, a válaszok, vagyis az ütések ettől az értéktől jellemzően a referenciát követik, vagyis a vizsgálati személy inkább csak reagál ezekre, ahelyett, hogy prediktálná azokat. Ez az érték megfelel a ritmusészlelés alsó korlátjának is, így valószínűsíthetően perceptuális korlátról beszélhetünk (Fraisse, 1982). Ezzel szemben a felső korlátot a 3-400 bpm (másodpercenként 5-7 ütés) körüli érték jelenti, amelyet a motoros kivitelezés képessége határoz meg.

Lineáris elemzés

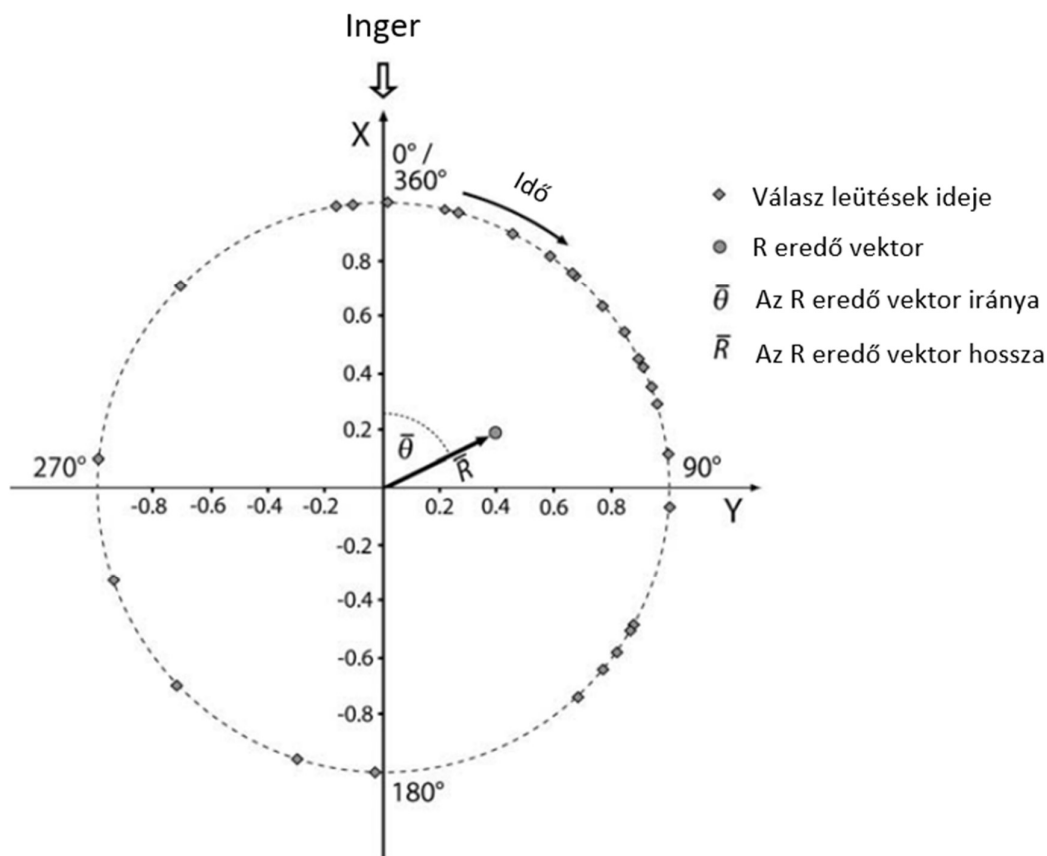
Az SMS feladatban mutatott teljesítmény jellemzésére több megközelítés is létezik. A referencia és a leütések, azaz a kontaktfelülettel való érintkezés idejének különbségét aszinkronitásnak nevezzük (ld. 3. ábra). Ennek értéke lehet negatív, ebben az esetben a leütés a referencia előtt történt, vagy pozitív, vagyis azt követő. A feladatvégzés jellemezhető az átlagos aszinkronitással, de ebben az esetben az értelmezéskor fontos figyelembe venni, hogy egy nullához közeli érték nem feltétlenül jelent pontos feladatvégzést, hiszen a pozitív és negatív aszinkronitások „kiolthatják” egymást. Ez az érték inkább alkalmas az anticipációs, vagy követő tendencia leírására. A szinkronizáció pontosságát jobban tükrözi az eltérések abszolútértékének átlaga. Az átlagon kívül fontos mutató az aszinkronitások szórása, amely a feladatvégzés konzisztenciáját tükrözi. A szinkronizációs mutatóknál figyelembe vehető a feladatvégzés tempója úgy, hogy a mérőszámokat elosztjuk a referenciaként használt IOI (Inter Onset Interval) hosszával, így ún. variációs együtthatót kapunk (CV, coefficient of variation). Az aszinkronitás helyett használható alapadatként a leütések között eltelt idő is (ITI, Inter Tap Interval), amely esetében ugyanúgy vizsgálhatjuk ezek átlagos értékét, vagy az értékek szórását.



3. ábra. Az SMS paradigma lineáris elemzésének sematikus ábrázolása. IOI (Inter Onset Interval) - referencia hangok közt eltelt idő. ITI (Inter Tap Interval) - a vizsgálati személy válasza, leütései közt eltelt idő. ASY (Aszinkronitás) - a válasz és a referencia közti különbség (Corriveau & Goswami, 2009 alapján)

Cirkuláris elemzés

A fent ismertetett, lineáris elemzési mód mellett létezik ún. cirkuláris elemzés is (Fisher, 1993), amely a dinamikus rendszer szemléletű megközelítést tükrözi. Ez a módszer általánosságban olyan esetekben használatos, ahol az adatok iránya is informatív a nagyságuk mellett (pl. szélirány és erősség). Esetünkben alkalmazása az aszinkronitások lehetséges pozitív és negatív iránya miatt indokolt. A cirkuláris elemzés során a leütéseket egy egység sugarú kör kerületén elhelyezkedő pontokkal reprezentáljuk, ahol a 0° a referenciaérték (4. ábra). Az ettől való eltérést a függőlegessel bezárt szöggel jellemezzük, így az egyes ütésekből számított eredő vektor iránya (cirkuláris átlag) lesz az aszinkronitás mutatója, a vektor hossza (ρ) pedig a konzisztenciáé. Az aszinkronitást megadhatjuk 0-tól 360 fokig terjedő, vagy a 0-tól pozitív és negatív irányban is 180 fokig terjedő intervallumban.



4. ábra. Az SMS paradigma cirkuláris elemzésének sematikus ábrázolása (Kirschner & Tomasello, 2009 alapján)

A cirkuláris elemzés során a normál eloszlásnak megfelelő ún. van Mises eloszlástól való eltérést teszteli a Rayleigh próba. Amennyiben ennek szignifikancia szintje meghaladja az egyezményes 0,05 értéket, a válaszok eloszlását véletlenszerűnek tekinthetjük. Egyes esetekben, például, ha a vizsgált populáció szinkronizációs teljesítménye alacsony, dichotóm változó is képezhető a Rayleigh próba eredményéből (pl. Bonacina és mtsai., 2021; Woodruff Carr és mtsai., 2014). Amennyiben a szignifikancia érték 0,05 alatti, a vizsgálati személyt az adott próbában sikeresnek szinkronizálónak tekintjük, ellenkező esetben a feladat sikertelen volt. Láthatjuk, hogy az SMS feladat elemzésére számos megközelítés létezik, ami megnehezíti a szakirodalomban fellelhető különböző vizsgálati eredmények értelmezését, összehasonlítását.

Folytatásos elrendezés (Synchronization-continuation)

Az ingerrel történő feladatvégzést követheti egy referencia nélküli, ún. folytatásos szakasz (continuation, vagy unpaced phase), amely során a vizsgálati személynek folytatnia kell a mozgást a lehető legkisebb eltávolodással a kezdőtempótól. A folytatásos szakasz elemzéséhez alkalmazható mind a lineáris, mind a cirkuláris megközelítés. Mérlegelendő szempont, hogy a szinkronizációs szakasz referenciáját, illetve annak extrapolálását vesszük ekkor alapul, amely esetben értelmezhető az aszinkronitás és a konzisztencia is, vagy a feladatvégzést önmagában vizsgáljuk, és az átlagos ITI és a konzisztencia lesznek a mutatóink.

A spontán motoros tempó feladat

Az SMS feladat egy speciális fajtájának tekinthető a Spontán Motoros Tempó (Spontaneous Motor Tempo, SMT) feladat, amely során kezdetben sincs jelen külső referencia, tehát az inger nélkül történik. A vizsgálati személy feladata, hogy számára kényelmes, egyenletes tempójú mozgást produkáljon. Az SMT feladatot az átlagos ITI értékével, vagyis a spontán tempóval, a leütések szórásával, illetve az előző kettőből származtatott variációs együtthatóval jellemezhetjük.

Mivel a folytatásos és a spontán produkció során egyfajta belső referenciához kell alkalmazkodnia a vizsgálati személynek, feltételezhető, hogy a feladatvégzés a szinkronizációs szakasztól részben eltérő kognitív és agyi háttérre támaszkodik. Míg a referenciához történő szinkronizáció a tudatosság számára kevésbé hozzáférhető folyamat, a szabad feladatvégzés több kognitív kontrollt igényel, amely megmutatkozik a prefrontális területek aktivációjában (Chen és mtsai., 2008), illetve a nonverbális intelligencia és munkamemória tesztek eredményeivel való kapcsolatban (Grahn & Schuit, 2012; Madison és mtsai., 2009). Ugyanakkor ellentétes empirikus eredményeket is találunk, amelyek szerint a folytatásos szakasz, illetve az SMT variabilitása nem áll kapcsolatban kognitív teljesítményekkel, az egyéni különbségeket a motoros fejlettség és az SMS feladat esetében a spontán tempótól való távolság magyarázza (Monier & Droit-Volet, 2019) (bővebben lsd. „A szinkronizációs képesség fejlődése” c. fejezetben).

Aszinkronitás, NMA, variabilitás

Már a paradigmával folytatott legkorábbi kísérletek során (Miyake, 1902; Woodrow, 1932) megfigyelték, hogy az SMS feladatban mért aszinkronitások átlaga általában negatív előjelű, vagyis anticipált. Ez a jelenség az ún. Negatív Átlagos Aszinkronitás (Negative Mean Asynchrony, NMA), melynek háttere a mai napig vita tárgyát képezi. Az NMA mértéke zeneileg képzett vizsgálati személyek esetében alacsonyabb (Aschersleben, 2002), valamint függ az inger komplexitásától és tempójától, illetve a különböző modalitásokban kapott (auditoros, vizuális, proprioceptív) szenzoros visszacsatolástól. A sűrűbb ritmikai beosztás, például negyed helyett nyolcados metronómhang, vagy komplex zenei ingeranyag esetén az NMA csökken, vagy eltűnik (Wohlschlager & Koch, 2000). Szintén csökken az anticipáció, ha az inger tempóját növeljük (Repp, 2003). Az SMS feladat vizuális modalitásban is végezhető, ekkor a vizsgálati személynek ritmikusan felvillanó fényekhez kell szinkronizálnia, amely során a megfigyelések szerint az aszinkronitás mértéke lényegesen nagyobb (Repp, 2005; Repp & Su, 2013).

A jelenség okai felől jelen pillanatig nincsen konszenzus, több kurrens elmélet képes az NMA bizonyos aspektusait magyarázni. A szenzoros akkumulációs modell (Aschersleben, 2002) szerint a „szinkronban levés” szubjektív élménye több modalitásból származó információ összegzése során jön létre. Eszerint a taktilis információ lassabb központi feldolgozása az auditív feedback-hez képest lehet az NMA hátterében. Az elmélet jól magyarázza azt a jelenséget, hogy az auditív visszacsatolás erősítése, illetve a taktilis feedback megszüntetése (érezéstelenítéssel) csökkenti az anticipáció mértékét (Aschersleben és mtsai., 2001)

A dinamikus rendszer megközelítés szerint az auditív referencia és az ehhez szinkronizálódó mozgásos válasz egyaránt oszcilláló rendszerek, amelyek az észlelés által kapcsolódnak. Az NMA abban az esetben jön létre, ha a motoros rendszer (pl. kopogtató ujj) intrinzik frekvenciája magasabb, mint a külső referencia. Az elmélet alapján azt várhatjuk, hogy az anticipáció csökken, ha az auditív inger tempója megközelíti az ujj feltételezett magasabb frekvenciáját. Nem egyértelmű azonban, hogy mit tekinthetünk az SMS feladat során intrinzik frekvenciának. A spontán tempóval (SMT) végzett vizsgálatok során kapott átlagos sebesség (100-120 bpm) (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006) nem támasztja alá az elképzelést, ugyanakkor, lehetséges, hogy ez az érték inkább kognitív eredetű, míg létezik egy ennél magasabb intrinzik tempó, amely az ujj sajátfrekvenciáját tükrözi (Repp, 2005).

A perceptuális elmélet az NMA jelenségét a referenciahangok közti időintervallumok (IOI) alulbecslésével magyarázza (Wohlschläger & Koch, 2000). Az elmélet jól magyarázza azt a megfigyelést, mely szerint az idői intervallumok szubdivíziója (az ütések közti idő beosztása mozgással, vagy a hanginger kiegészítésével) szintén csökkenti az NMA mértékét.

Az aszinkronitások, illetve az ITI értékek variabilitásával jellemezzük a feladatvégzés konzisztenciáját. Ez az érték nagy egyéni különbségeket mutat, képzett zenészek esetében értéke egészen alacsony, akár 2% körüli is lehet, ütőhangszeresek esetében pedig csupán 0,5% (Repp & Penel, 2002). A variabilitás nagysága jellemzően függ az inger, illetve a feladatvégzés sebességétől. Magasabb tempó esetében az aszinkronitás és az ITI-ok variabilitása is csökken (Semjen és mtsai., 2000). A variabilitás kapcsolatban áll a hibakorrekciónal is. Amikor a vizsgálati személy a szinkronizáció során csökkenteni igyekszik az aszinkronitáshoz mértékét (fázis-korrekción), a variabilitás jellemzően növekszik, különösen alacsony tempó esetében. Az SMT feladatban, illetve a folytatásos szakaszban ugyanezen okból alacsonyabb a variabilitás, hiszen ebben az esetben nem történik hibakorrekción a külső referencia hiányában. A variabilitás esetében is megfigyelhető, hogy az aszinkronitáshoz hasonlóan a szubdivízió csökkenti a mértékét (Semjen & Ivry, 2001).

A szinkronizációs képesség fejlődése

Bár a külső referenciához történő mozgásos szinkronizációs képessége általános, gyerekek és felnőttek esetében is jelentős egyéni különbségeket mutat és változik a teljes élethossz folyamán (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006). Már 1-2 napos újszülötteknél is megfigyelhető EKP módszerrel, hogy észlelik a zenei ritmus és tempó változásait (Háden és mtsai., 2015; Winkler és mtsai., 2009).

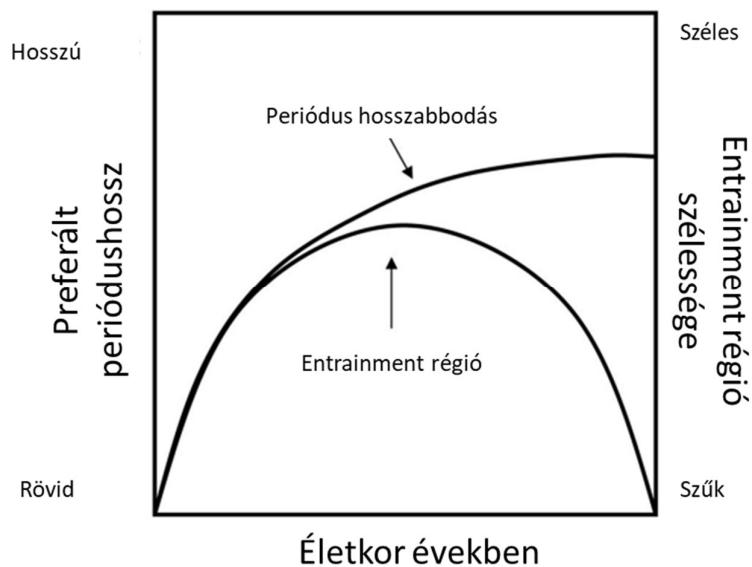
A zenével való együttmozgás már másfél éves kortól megfigyelhető, ekkor azonban még csak kevésbé képesek a gyerekek a külső referenciát figyelembe venni. A mozgásuk szinkronizációja a kisgyermekkor során fokozatosan bontakozik ki. Kétéves kor alatt spontán mozgással reagálnak a bemutatott zenére, végtagjaik, törzsük és fejük repetitív mozdulataival, így az alkalmazkodásuk is spontán helyzetben vizsgálható (Cirelli & Trehub, 2019; Rocha-Thomas, 2018; Zentner & Eerola, 2010). A második életévtől lehetséges a szinkronizációjukat specifikus célmozgással (pl. kopogással, dobolással) vizsgálni (Provasi & Bobin-Bègue, 2003). Kirschner és Tomasello (2009) úttörő kísérlete felhívta a figyelmet arra, hogy ez a korosztály jobb teljesítményt mutat, ha társas helyzetben vizsgálják. A későbbi kutatások módszertanát is

meghatározó, úgynevezett közös dobolásos (joint drumming) paradigmájuk, amelyben a kísérletvezetővel, illetve a másik két kondícióban egy robottal, vagy hangszórón át bemutatott hangingerrel együtt kell dobolnia a vizsgálati személynek, alkalmasnak bizonyult egészen korai vizsgálatokra is. Partnerrel együtt már a 2,5 évesek is képesek voltak a spontán tempójuknál lassabb sebességhez valamelyest alkalmazkodni, illetve minden korosztály (2,5 , 3,5 , 4,5 év) teljesítménye jobb volt a társas kondícióban. Kisebb változtatásokat eszközöltek a módszeren Yu és mtsai (2021), a gyerekek verővel ütötték a kísérlethez használt dobot, a kísérletvezető helyett az édesanyjukkal együtt végezték a feladatot, valamint ismert gyerekdalokat mutattak be ingerként. Az eljárás ebben a formájában a másfél évesek vizsgálatát is lehetővé tette. Már ebben az életkorban is megmutatkoztak jelei a mozgásos alkalmazkodásnak, majd a teljesítményük a vizsgált 30 hónapos korig folyamatosan javult. A két különböző tempójú (90 és 150 bpm sebességű) inger közül a gyorsabbhoz, amely a korosztályra jellemző spontán tempó körüli érték (Provasi & Bobin-Bègue, 2003, 2008; Rocha és mtsai., 2021), történő szinkronizáció könnyebben ment, a gyerekek a lassabb tempóhoz, amely a felnőttekre jellemző érték (McAuley és mtsai., 2006) 24 hónapos koruktól voltak képesek alkalmazkodni.

A következő fejlődési ugrást a 6 éves kor környéke jelenti. A szinkronizáció SMT-től való meghatározottsága ekkor szignifikánsan csökken, a gyerekek már lényegesen jobb teljesítményt nyújtanak a spontán tempójuktól távol eső sebességeknél is, illetve preferált tempójuk 6-8 éves korukban csökken a felnőttekéhez közeli 120 bpm-es értékre (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006; Thompson és mtsai., 2015; van Noorden & Moelants, 1999).

6 és 11 év közötti gyerekeket mértek fel Carrer és mtsai (2022) kutatásukban. A gyerekek SMS feladatban mutatott variabilitása 6 és 9 éves kor között fejlődött, az aszinkronitásuk azonban változatlan maradt, amely arra utal, hogy a szinkronizációs teljesítmény e két aspektusa háttérben nem teljesen azonos mechanizmusok állnak. Fontos megemlíteni azonban, hogy eredményeik keresztmetszeti vizsgálatból származnak. A szinkronizációs teljesítmény fejlődési ívének megismeréséhez szükséges hosszmetzeti vizsgálatok jelenleg hiányoznak a szakirodalomból

Az aszinkronitás és a variabilitás, valamint a spontán tempó, bár kisebb mértékben, tovább csökken egészen a fiatal felnőttkorig, amikor eléri platóját. Ezután már csak az időskorral történik újabb változás, amikor az SMT még tovább csökken, valamint az ettől távolabbi tempókban a szinkronizációs teljesítmény romlik, feltehetően az idegrendszeri funkciócsökkenés következtében (McAuley és mtsai., 2006) (5. ábra).



5. ábra. A spontán motoros tempó és a szinkronizációs képesség kapcsolata. (McAuley és mtsai., 2006 alapján)

Az SMT fejlődési görbéjével kapcsolatban több szerző is megemlíti, hogy nagysága tükrözhet bizonyos antropometriai dimenziókat (pl. végtagok hosszúsága) (Moelants, 2002; Todd & Lee, 2015), sőt kisgyermekkorban szerepet játszhatnak akár a szülők testméretei és hordozási szokásai is (Rocha-Thomas, 2018), hiszen eközben egyenletes tempójú vesztibuláris ingerlésben részesülnek. Az antropometriai elképzelés ráadásul jól illeszkedik a dinamikus rendszer szemléletű elméletekbe mint az oszcillátor saját frekvenciáját meghatározó dimenzió. Ez a megközelítés azonban kevésbé képes magyarázni az időskori csökkenést, illetve hogy a vizsgálati személyek által passzív helyzetben preferált tempó és a produkció során mért SMT értéke erősen korrelál (McAuley és mtsai., 2006).

Zenés ingeranyag használata az SMS paradigmában

Az SMS paradigmával végzett kutatások többsége az eljárás létrejötte óta (Repp & Su, 2013; Stevens, 1886) egyszerű metronóm hangot alkalmaz ingerként, amely tagadhatatlan előnye a jól kontrollálhatósága, laboratóriumi “tisztasága”. Az ingeranyag komplexitásának hatását vizsgáló kutatások rámutatnak azonban, hogy már az egyszerű „negyedes” mérő „nyolcados” ritmussal történő megfelelése is lényegesen változtat a feladatvégzésen (Repp, 2005; Repp & Su, 2013). A természetes zene használata különösen megnehezíti az inger jellemzőinek

kontrollálását, ugyanakkor magasabb ökológiai validitással is bír a kevésbé életszerű metronómos szinkronizációhoz képest.

A zene esetében nem magától értetődő, hogy mit tekintünk referenciának. Amennyiben az inger számítógép által generált, kvantált, vagyis teljesen pontos, könnyű meghatározni a beat-et, a természetes zene esetében azonban ez már korántsem egyértelmű, hiszen az emberek által előadott zene mindig tartalmaz tempóingadozásokat. Ebben az esetben támaszkodhatunk egy szakértő, pl. professzionális dobos feladatvégzésére mint referenciára (Iversen & Patel, 2010), illetve végezhető spektrális elemzés az ingeren (Einarson, 2017). Szintén nem elhanyagolható előnye a zenés ingeranyagnak, hogy gyerekek számára játékos, motiváló feladathelyzetet teremt, ezzel megkönnyítve a vizsgálatokat. A zenével történő együttmozgás, mint láttuk, spontán módon jelenik meg gyerekeknél és minden korosztály számára élvezetes tevékenység. Bizonyos zenék ritmikai jellemzőik miatt, amelyet groove-nak is szokás nevezni (Janata és mtsai., 2012) nagyobb eséllyel váltanak ki szinkronizációs viselkedést, illetve segítik annak pontosságát is (Carrer és mtsai., 2022; Rose és mtsai., 2021; Tranchant és mtsai., 2016). A fenti megfontolások miatt döntött több szerző is a komplex zenei ingeranyag használata mellett az utóbbi években tipikus (Carrer és mtsai., 2022) és atipikus (Cumming és mtsai., 2015; Puyjarinet és mtsai., 2017) fejlődésű gyerekek vizsgálatokor. A kétféle ingert összehasonlító tanulmányok száma alacsony, általános megfigyelés a korábban említett NMA, vagyis az anticipált válaszadás tendenciájának csökkenése az ingerkomplexitás növelésének hatására. Ugyanakkor a komplexitás negatív hatással is lehet a szinkronizációs teljesítményre egyes esetekben. Feltehetően figyelmi deficit mutatkozik meg a figyelemhiányos hiperaktivitás zavarban érintettek szinkronizációs nehézségeiben.

6-12 éves ADHD diagnózisú gyerekek metronómhoz (80, 100, 133 bpm) és két klasszikus zenei részlethez (100 bpm) történő szinkronizációját mérték SMS feladattal (Puyjarinet és mtsai., 2017), valamint hanghosszúság és tempódiszkriminációs feladatot is végeztek velük. Az ADHD csoport a kontrollhoz képest alacsonyabb teljesítményt mutatott a hanghosszúságok megítélésében és a szinkronizációban egyaránt. Az utóbbinál a zenés inger, amely a metronómhoz képest lényegesen komplexebb volt (J.S. Bach: Badinerie és Rossini Tell Vilmos nyitányát használták), tovább rontotta az ADHD csoport teljesítményét, amelyet a szerzők a DAT (Dynamic Attending Theory, Large & Jones, 1999) elmélet keretében, figyelemirányítási nehézségekkel magyaráztak.

Einarson (2017) tipikusan fejlődő 5-7 évesek vizsgálata során magasabb konzisztenciáról számoltak be metronóm ingernél és alacsonyabb aszinkronitásról zeneinél, amely értelmezhető

a hibakorrekció korábban leírt mechanizmusán keresztül: a komplexebb inger lehetőséget ad a hatékonyabb hibakorrekcióra, amely az aszinkronitások csökkentésére irányul, ezáltal azonban csökken az aszinkronitás (Semjen & Ivry, 2001). Ezt a jelenséget felnőttek körében is megfigyelték Dalla Bella és mtsai (2017) Carrer és mtsai (2022) nagymintás kutatásában 6 és 11 év közötti gyerekeket mértek fel metronóm és komplex zenei ingeranyaggal. Az ingertípus hatásai ellentmondásosak voltak, a robusztusabb hatású tempótól függtek.

Az olvasás kognitív háttere

Bár a legtöbb ember számára az olvasás mindennapjaink része, nélkülözhetetlen eszköz a világban való eligazodáshoz, az automatikus, készségszintű olvasás birtoklása egyáltalán nem magától értetődő, számos agyterület összehangolt, komplex együttműködésén, kognitív képességek megfelelő színvonalán, és hosszú tanulási folyamaton alapul (Csépe, 2006). Világszerte a gyerekek 3-11 százaléka nem jut el a korának megfelelő olvasási szintre, annak ellenére, hogy lemaradásukat háttérben nem áll alacsonyabb intelligencia, érzékszervi probléma, vagy nem megfelelő tanítási módszer. Ezt az állapotot nevezzük fejlődési diszlexiának. Sajnálatos módon az érintettek körében a teljes élethosszon át magasabb a depresszív tünetek, az alacsony önértékelés előfordulása, nehézségük pedig alacsonyabb akadémiai teljesítményhez és társadalmi mobilitáshoz vezet, valamint nagyobb eséllyel kerülnek kapcsolatba az igazságszolgáltatással, ezért a korai felismerés és reedukáció szerepe igen nagy (Boetsch, 1996; Lyon és mtsai., 2003; Perie és mtsai., 2005).

Az olvasási zavarok a XIX. század végén váltak a neurológiai szempontú tudományos érdeklődés tárgyává, de az olvasás mögötti kognitív folyamatok leírása csak a XX. század második felében kezdődött (Csépe, 2006). Az úgynevezett egyutas modellek az olvasás háttérben lentől felfelé haladó folyamatot feltételeznek (fonológiai út), amely során a fonéma-graféma megfeleltetéstől jutunk el a szófelismeréshez. Ez a folyamat a gyakorlás hatására egyre gyorsabban megy végbe, míg ideális esetben eléri a fluens olvasás szintjét. Ezzel szemben a kétutas modellek felismerik, hogy a gyakorlott olvasók a szó képe alapján is eljuthatnak a szófelismerésig. Ezt a fentről lefelé irányuló folyamatot nevezik ortográfiai útnak, amely során a szó vizuális képétől (ortográfiai reprezentáció) jutunk el a jelentéséig (szemantikus reprezentáció). A két folyamat egymással párhuzamosan működik, míg az ortográfiai út lényegesen gyorsabb feldolgozást tesz lehetővé, hiszen nagyobb egységekből dolgozik, a fonológiai út továbbra is hasznos a gyakorlott olvasók számára is, ha ismeretlen szavakkal találkozunk.

Már a formális olvasás tanulás megkezdése előtt rendelkeznek a gyerekek olyan tudással, illetve kognitív képességekkel, amelyek kapcsolatban állnak a későbbi olvasási teljesítményükkel. Ezeket nevezzük az olvasás kognitív prekursorainak. (Landerl és mtsai., 2022). Az olvasáshoz elengedhetetlen az adott nyelv írásos szimbólumainak ismerete és azok a fonémákkal való megfeleltetésének képessége. Ez a tudás nem csak prekuzorként, hanem már az olvasás kezdeti szintjeként is értelmezhető. Az egy adott nyelvben használt grafémák száma korlátozott, az

alfabetikus ortográfiák esetében kifejezetten alacsony, míg más írásrendszerekben (pl. a japán, vagy kannada nyelv) lényegesen nagyobb, ami nyilvánvalóan meghatározza, hogy az olvasáshoz szükséges kódrendszer elsajátítása mennyi időt és mekkora erőfeszítést igényel a tanulótól.

Az adott ortográfia nyelvi egységeinek megismerése is szükséges előfeltételnek tekinthető, habár az olvasás elsajátítása lehetséges fonológiai reprezentációk nélkül is, például siketek számára (Varga és mtsai., 2022). A szavak belső szerkezetéhez való hozzáférést, a szó különböző méretű egységekre történő bontásának, illetve azok elemeivel (fonémák, szótagok) való manipulációnak a képességét fonológiai tudatosságnak (FT) nevezzük (Csépe, 2013; Jordanidisz, 2009). A FT szótag és fonéma szinten is vizsgálható, ezek közül az előbbi jelenik meg hamarabb. A fonológiai tudatosság olyan feladatokkal mérhető, mint a fonémák törlése, cseréje, összeolvasztása, rímek felismerése és keresése, vagy a szavak szegmentálása, szótagokra bontása (Jordanidisz, 2009). Széleskörben megfigyelt jelenség, hogy a korai FT előrejelzi az olvasás későbbi színvonalát és ez a kapcsolat a tanulás során bár változó mértékben, de fennmarad. A FT és az olvasás kapcsolata kétirányú. Az olvasás fejlődése során végbemegy a fonológiai reprezentációk újrakódolása, ami a FT fejlődéséhez is vezet. Ugyanakkor feltehetően nem minden nyelvben azonos fontosságú a FT. Az ún. Ortográfiai Mélység Hipotézis (Katz & Frost, 1992) szerint az olyan inkonzisztens, vagy mély ortográfiájú nyelvek esetében, amelyeknél egy fonémához több graféma tartozhat (pl. angol) nagyobb jelentősége van a FT -nak, mint a konzisztens, vagy sekély ortográfiájú nyelveknél (pl. finn, vagy magyar), ahol a megfeleltetés egyértelmű. Hasonló következtetésre jutott Ziegler és Goswami (2005), akik szerint az adott nyelv ortográfiáját jellemző szublexikális elemek mérete („grain size”) a meghatározó. A FT szerepe az olvasás színvonalában nem csupán nyelvek között (Surányi és mtsai., 2009), de a tanulás folyamata során is feltehetően változik. Az alfabetikus olvasás szakaszában, amikor a tanuló még csak a fonológiai útra tud támaszkodni, nagyobb a jelentősége, majd az ortográfiai út térnyerésével fokozatosan csökken (Ziegler és mtsai., 2010). Ekkor válik fontosabbá és ezáltal erősebb prediktorrá a vizuális bemutatás alapján történő megnevezés sebessége, amelyet a gyors automatizált megnevezés (RAN, rapid automatized naming) feladatokkal mérhetünk.

A RAN elsősorban az olvasás fluenciájával mutat kapcsolatot, de fontos megjegyezni, hogy a sekély ortográfiájú nyelveknél az olvasás pontossága viszonylag hamar eléri a plafonértéket (Kirby és mtsai., 2010), ezért nem jellemzi jól annak színvonalát. Megkülönböztetünk alfanumerikus RAN-t, amelyben számok és betűk bemutatása történik, valamint nem

alfanumerikus, ahol színeket, vagy képeket kell megneveznie a vizsgálati személynek. Az előbbi erősebb összefüggést mutat az olvasással. Fontos megemlíteni, hogy a RAN a feladatvégzés módjából eredően (kimondás) magában foglal fonológiai teljesítményt is. A fonológiai tudatossággal ellentétben a RAN hatása az olvasásra egyirányú és úgy tűnik, nem függ az adott nyelv ortográfiai mélységétől (Landerl és mtsai., 2022).

A munkamemória (MM), vagyis az elemek rövidtávú emlékezetben való megtartásának és az azokkal végzett műveleteknek a képessége is összefüggést mutat az olvasás szintjével. Peng és mtsai metaanalízise (2018) szerint a tanulás kezdetén többféle MM feladat is kapcsolatban áll az olvasással, negyedik osztály felett azonban kifejezetten a verbális MM szerepe a meghatározó, vagyis a kezdetben területáltalános hatás specifikussá válik a tanulás előrehaladtával.

Két további területről fontos említést tennünk, amelyek kapcsolatban állnak az olvasás színvonalával. Az egyik az IQ (verbális és nonverbális intelligencia egyaránt), amely legerősebben első és harmadik osztály között, de bizonyos mértékben még felnőttkorban is együttjár az olvasási teljesítménnyel (Ferrer és mtsai., 2010), a másik pedig a szókincs, amely nem csak prediktora az olvasásnak, hanem kétirányú, dinamikus kapcsolatban állnak egymással (Duff és mtsai., 2015; Li & Kirby, 2014).

Ahogy a következő részekben látni fogjuk, számos empirikus vizsgálati eredmény mutat abba az irányba, hogy az olvasás fent bemutatott, hagyományosan elfogadott prediktorai mellett a ritmikai képességek is bírnak ezektől független magyarázó erővel (Lê és mtsai., 2020; Nave és mtsai., 2022; Sousa és mtsai., 2022).

A ritmus, a nyelv és az olvasás kapcsolata

Bár több kognitív terület esetében találtak kapcsolatot egyes zenei képességekkel, így a munkamemóriával (Parbery-Clark, Strait, Anderson, és mtsai., 2011; Strait és mtsai., 2012), a végrehajtó funkciókkal (Degé & Schwarzer, 2011; Moreno & Bidelman, 2014; Moreno & Farzan, 2015; Trainor és mtsai., 2009), a téri-vizuális képességekkel (Hetland, 2000), vagy az IQ-val (Forgeard, Winner, és mtsai., 2008), a jelenleg rendelkezésünkre álló kutatások alapján a nyelvi és az olvasási területekkel való összefüggés látszik a legerősebben megalapozottnak (Miendlarzewska & Trost, 2014; Nayak és mtsai., 2021).

A területek kapcsolata több módszerrel is vizsgálható. A legtöbb rendelkezésünkre álló adat korrelációs jellegű kutatásokból származik, amelyek általában valamely kognitív képességekben található egyéni variabilitásra, illetve az ezek közötti kapcsolatok mintázatára fókuszálnak (Miendlarzewska & Trost, 2014). A ritmikai és tonális képességek például együttjárást mutatnak a beszédészlelés számos aspektusával (Yates és mtsai., 2019). Bár a területről való tudásunk nagyrészt ilyen típusú kutatásokra épül, ezek nyilvánvaló korlátja, hogy a feltárt összefüggések alapján nem állítható fel ok-okosági viszony.

A kutatások másik iránya a zenei képzés hatásaira fókuszál, amelyekről képet alkothatunk a zenei képzettség (képzés típusa, idő, intenzitás, stb.) mint önálló változó figyelembe vételével, illetve a zenészek és nem zenészek valamilyen szempont mentén történő összehasonlításával (Barrett és mtsai., 2013). Ugyanakkor fontos szem előtt tartanunk az öröklött képességek és a tanulás hatásainak nehéz szétválaszthatóságát. A nagyobb zenei képzettséggel rendelkező egyének jobb beszédészlelésének hátterében például a zenei képességekben megfigyelt egyéni különbségek mellett (vagy helyett) szerepet játszhat például a zenei képzés során tanult magasabb szintű figyelemirányítás (Besson és mtsai., 2011). Hasonlóan a zenei képzettség hatásait vizsgálva nem kizárható, hogy az eleve jobb zenei képességekkel rendelkező egyének nagyobb arányban vesznek részt különórákon (Schellenberg, 2011).

Az említett korlátok miatt különösen értékesek a longitudinális elrendezésű vizsgálatok. Ezek egy része valamely zenei képesség hosszútávú prediktív erejét vizsgálja más kognitív területekre vonatkozóan (pl. Moritz és mtsai., 2013), amely a későbbi tanulási nehézségek korai felismerésének lehetőségével kecsegtet. Szintén fontos hosszmetzeti perspektívával szolgálnak a zenei, vagy zenés elemeket is tartalmazó tréning, illetve intervenció programok hatásvizsgálatai, amelyek valóban alkalmasak ok-okozati összefüggések feltárására (Degé & Schwarzer, 2011; François és mtsai., 2013), bár ezekkel kapcsolatban is felmerülnek módszertani kritikák. Salaés Gobet (2020) metaanalízisükben arra a következtetésre jutottak, hogy a tréningek során mért változások hátterében a különböző csoportokba sorolt résztvevők randomizálásának hiánya állt. Adataik újraelmzése során a közeli és távoli transzferhatások szétválasztásával azonban mégis szignifikáns hatásokat tártak fel Bigand és Tillmann (2022), ami jól szemlélteti, a területet ellentmondásosságát.

Úgy tűnik, a zenei képességeken belül a ritmus különösen erős kapcsolatban áll a nyelvvel és az olvasással, feltehetően a zene és a nyelv ritmusában fellelhető hasonlóságoknak köszönhetően (Fiveash és mtsai., 2021). Jelenlegi tudásunk alapján a ritmikai képességek szorosabb kapcsolatban állnak ezekkel a területekkel, mint az ún. tonálisak (Sousa és mtsai.,

2022), ezért a következőkben a beszédészlelés, a nyelvtan és az olvasás ritmussal való kapcsolatát vizsgáló kutatásokat mutatjuk be. A tonális képességek (pl. hangmagasság, kontúr, harmónia) vizsgálata kívül esik jelen munka fókuszán, ezek szerepével több összefoglaló tanulmány is foglalkozik (Besson és mtsai., 2007; Nayak és mtsai., 2021).

Beszédészlelés

A zenei és beszédhang inger feldolgozás között intuitív módon is kapcsolatot feltételezhetünk, hiszen a két terület részben azonos elemeket hasznosít (hangerő, hangmagasság, ritmus, hangszín, hangsúly), bár ezek eltérő súllyal bírnak a jelentés szempontjából, például a hangmagasság feldolgozása a nem tonális nyelveknél elsősorban a prozódiai feldolgozásban játszik fontos szerepet, míg a zene esetében elengedhetetlen a dallam észleléséhez (Hirst & Di Cristo, 1998).

Korrelációs adatok alapján a ritmusészlelés kapcsolatban áll a prozódiai feldolgozással, specifikusan a hangsúly (Hausen és mtsai., 2013; Morrill és mtsai., 2015), illetve az intonáció észlelésével (Nitin és mtsai., 2023), a beszédhang diszkriminációval (Swaminathan & Schellenberg, 2019) és a zajban történő beszédészleléssel (SPIN – speech perception in noise) (Yates és mtsai., 2019), valamint az utóbbi együttjárást mutat a ritmusreprodukciós és a szinkronizációs teljesítménnyel is (Slater és mtsai., 2018; Woodruff Carr és mtsai., 2014).

Ezen összefüggéseket megerősíteni látszanak az elektrofiziológiai módszerekkel gyűjtött adatok is. A nagyobb zenei képzettséggel rendelkező személyek jobb SPIN és beszédhang diszkriminációs teljesítménye pontosabb szubkortikális feldolgozásban (Parbery-Clark és mtsai., 2009; Parbery-Clark, Strait, & Kraus, 2011; Strait és mtsai., 2012), illetve a prozódiai feladatokban jobb teljesítményt mutató zenészeknél a kérgi válaszok nagyságában is megmutatkozik (Magne és mtsai., 2006).

Zenei tréningek hatásvizsgálataiból is állnak rendelkezésünkre adatok. Chobert és mtsai (2014) 8-10 éves gyerekeknél 12 hónapig tartó zenei tréninget követően jobb teljesítményt találtak zöngékezdési idő és szótaghossz diszkriminációs feladatokban az azonos ideig tartó festő foglalkozáson résztvevő kontrollhoz képest, vagyis az egy éven át tartó foglalkozások elégnak bizonyultak ahhoz, hogy a beszédészlelés területén megjelenjenek a zenei transzferhatások.

Nyelvtan

A hatékony beszélt és írásos nyelvi kommunikáció elengedhetetlen feltételei a kisebb elemekből történő szóalkotással kapcsolatos morfológiai, illetve a szavakból történő

mondatalakítás szabályaira vonatkozó szintaktikai készségek megfelelő színvonala. Ahogy a zenei ritmus észlelése, a szintaxis elsajátítása is többszintű, hierarchikus kapcsolatok feldolgozásán alapul, további párhuzamot szolgáltatva a két terület között, amelyet empirikus adatok is megerősíteni látszanak.

A ritmusdiszkrimináció és a beathez történő szinkronizáció kapcsolatban áll a receptív és expresszív nyelvtani feladatokban mutatott teljesítménnyel (Gordon és mtsai., 2015; Nitin és mtsai., 2023; Politimou és mtsai., 2019).

Gordon és mtsai (2015) 6 éves gyerekekkel végzett vizsgálatában a ritmusdiszkriminációs feladatban elért pontszám az expresszív nyelvtani (morfoszintaktikai) teljesítmény 48%-át magyarázta a nonverbális intelligencia, a szocioökonómiai státusz és a korábbi zenei tapasztalat kontrollálása mellett, illetve a ritmikai és a morfoszintaktikai feladatokban mutatott teljesítmény kapcsolatában kizárták a fonológiai tudatosság szerepét is. A kutatásban felmért gyerekek EKP módszerrel történt vizsgálata (Persici és mtsai., 2021) tovább erősíti a két terület között feltételezett kapcsolatot. A béta és gamma frekvenciatartományban mért kérgi oszcillációk szinkronizációja a bemutatott egyszerű ritmusokhoz, szintén kapcsolatban állt a nyelvtani tesztben mért teljesítménnyel, ami az entrainment mint háttérmechanizmus feltételezett szerepét erősíti.

Több kutatás eredménye is arra enged következtetni, hogy a ritmus-nyelvtan kapcsolatot nem más kognitív háttérváltozók (pl. a munkamemória, vagy a fonológiai tudatosság) magyarázzák. A ritmusdiszkrimináció és a szintaktikai teljesítmény között találtak kapcsolatot Lee és mtsai (2020) 7-17 éves gyerekek körében. A ritmusészlelés és a nyelvtani feladat közötti kapcsolat független volt a munkamemóriától, a résztvevők korától, nemétől, valamint az édesanya végzettségétől.

A ritmusészlelés, a nyelvtan és a lehetséges kognitív háttérváltozók kapcsolatának mintázatát mediációanalízis segítségével vizsgálták Nitin és mtsai (2023). 132 kisiskolás korú (5-7 éves) gyerekekkel végzett kutatásukban a ritmusdiszkrimináció nem csak kapcsolatban állt a szintaktikai feladatban mutatott teljesítménnyel, de kizárták a prozódiai észlelés, a munkamemória, valamint a nonverbális intelligencia közvetítő szerepét is, vagyis a ritmusészlelés direkt hatását tárták fel.

Olvasás

A beszédészlelésen és a nyelvtani képességek mellett meggyőző számú kutatás látszik alátámasztani a ritmikai képességek kapcsolatát az olvasás színvonalával, illetve az azzal szorosan összefüggő kognitív képességekkel (Miendlarzewska & Trost, 2014; Moreno & Bidelman, 2014; Nayak és mtsai., 2021; Tierney & Kraus, 2013a).

A ritmusészlelés és produkció összefüggést mutat a fonéma-graféma megfeleltetéssel (Ríos-López és mtsai., 2019), a fonológiai tudatossággal, a verbális munkamemóriával (Anvari és mtsai., 2002; Moritz és mtsai., 2013; Woodruff Carr és mtsai., 2014), a gyors automatizált megnevezéssel (RAN), a fonológiai tudatossággal és a szókincs méretével is (Anvari és mtsai., 2002; Moritz és mtsai., 2013). Ezen kívül kapcsolat figyelhető meg a helyesírással (Lê és mtsai., 2020; Lundetræ & Thomson, 2018), amely esetében az összefüggés nem annyira magától értetődő, mint a felsorolt kognitív képességek esetében, amelyek az olvasás ismert prekursorai (Landerl és mtsai., 2022). Az olvasás és a helyesírás színvonala nem csak erősen korrelál (általában $r = 0,7$ körüli érték figyelhető meg), de mechanizmusukat tekintve is rendkívül hasonlóak (Ehri, 1997, 2000). Míg az egyiknél a grafémák és szótagok szintézise szükséges, a másikonál az ezzel ellentétes szegmentálás történik a feladatvégzés során.

A ritmikai és olvasási képességek között megfigyelt kapcsolat háttérben álló mechanizmusok leírására több elméleti keret is született, melyeket a következő fejezetben ismertetünk részletesen. Ezek egyik sarkalatos kérdése a fonológiai tudatosság szerepe. Több szerző szerint a fonológiai feldolgozás, illetve a fonológiai tudatosság jelenti a kapcsolatot a ritmikai képességek és az olvasás között (Goswami, 2018a; Ozernov-Palchik & Patel, 2018). Az elmúlt években több kísérlet is született a feltételezés igazolására, amelyek egy része valóban a FT mediáló szerepét tárta fel (Ozernov-Palchik & Patel, 2018) mások azonban mediáció nélküli direkt hatásról számoltak be (Lê és mtsai., 2020).

Ozernov-Palchik és mtsai (2018) 76 óvodást mértek fel ritmusdiszkriminációs, valamint olvasási és általános kognitív tesztekkel. Az általuk használt ritmusdiszkriminációs feladat kapcsolatot mutatott a fonológiai tudatossággal, a RAN-nal, valamint a fonéma-graféma megfeleltetéssel. A strukturális egyenlet modellezés (SEM) módszerével direkt és indirekt, vagyis a fonológia által mediált kapcsolatot is találtak a ritmusdiszkriminációs teljesítmény és az olvasás színvonala között.

Óvodás (5 éves) és harmadik osztályos (8 éves) német anyanyelvű gyerekeket vizsgáltak Steinbrink és kollégái (2019) tempó-, és ritmusészlelési, valamint ritmusreprodukciós

feladatokkal. Az utóbbiban mutatott teljesítmény állt kapcsolatban a fonológiai tudatossággal mindkét korosztálynál. A harmadik osztályosok körében több zenei teszt és az olvasás között találtak kapcsolatot, de a fonológiai tudatosság kontrollálása után egyedül a ritmusreprodukcióval való együttjárás maradt szignifikáns, vagyis a reprodukció önálló magyarázóerővel bírt, hatása nem csupán a fonológiai tudatosság mediálásán keresztül érvényesült.

Hasonló eredményekre jutottak 6-8 éves portugál iskolások körében Sousa és mtsai (2022). Vizsgálatukban a ritmusdiszkrimináció járt együtt a gyerekek fonológiai tudatosságával, munkamemóriájával és olvasási színvonalával. A ritmusdiszkrimináció hatása az ő esetükben indirekt módon, a FT mediálásával érvényesült.

Bár kis számban, de longitudinális adatok is rendelkezésünkre állnak a ritmus-olvasás kapcsolat megértéséhez. Moritz és mtsai (2013) harminc angol anyanyelvű gyereket mértek fel 5 éves korukban óvodában, majd második osztályban. A ritmusdiszkriminációs teljesítményük kereszt- és hosszmetzeti kapcsolatban is állt a fonológiai tudatosságukkal, valamint a FT szintjének növekedése együttjárást mutatott a zenei tevékenységekben való részvétellel.

A ritmusreprodukcióval találtak longitudinális kapcsolatot különösen nagy mintán, 695 francia anyanyelvű gyereket vizsgálva Dellatolas és mtsai (2009). Az iskolakezdők (5-6 éves) ritmus feladatban mutatott teljesítménye jelezte előre a második osztályos (7-8 éves) olvasási szintjüket. Ez az együttjárás a figyelmi, a mondatisméltési és a tér-vizuális feladat eredményeinek szintentartása mellett is megmaradt. Eredményeik annak ellenére jelentősek, hogy felmerülnek módszertani aggályok az eljárásukkal kapcsolatban, a pontozást ugyanis a vizsgálatvezetők végezték.

Hosszabb időt felölelő utánkövetéses vizsgálatukban David és mtsai (2007) 53 angol anyanyelvű tanulót mértek fel évenként, elsőtől ötödik osztályig. A ritmusreprodukció minden osztályban kapcsolatban állt a gyerekek olvasásával, de a FT kontrollálása után ez az összefüggés csak ötödik osztályban maradt fenn, ami a FT mediálására enged következtetni a korábbi évfolyamokon. Az első osztályos ritmusreprodukció továbbá előrejelezte a második, harmadik és ötödik évfolyamos olvasást is. Az általuk alkalmazott ritmikai tesztben a gyerekeknek zenét hallgatva kellett azokhoz különböző mozgásokkal igazodni (térden tapsolva, járva, stb.), így valójában egyfajta SMS feladról beszélhetünk. Ebben az esetben is felmerül az eredmények megbízhatóságának kérdése, mivel a gyerekek teljesítményét pontozók ítélték meg.

A ritmikai képességek és az olvasás kapcsolatát elektrofiziológiai adatok is megerősítik. Strait és mtsai (2011) 8-13 éves gyerekek körében végzett vizsgálatában a ritmusészleléssel és az olvasással is kapcsolatban állt a szótagészlelési feladatban kiváltott hallási agytörzsi válasz (ABR) nagysága. A SEM módszerrel történt elemzés szerint a ritmikai és az olvasási teljesítmény közötti kapcsolatot valóban az EKP változó mediálta.

Tréningek hatásvizsgálataiból is állnak rendelkezésünkre longitudinális adatok. Degé és Schwarzer (2011) kutatásában óvodás gyerekek vettek részt 20 hónapon keresztül napi 10 perces zenei, vagy fonológiai tréningben, illetve sport foglalkozáson. Az első két csoportnál azonos mértékű fejlődést találtak a fonológiai tudatosságukban a sportoló kontrollhoz képest. Egy másik tréning vizsgálatban egy 2 éves program hatásait vizsgálták Chobert és mtsai (2013) 8 évesek körében. A Kodály módszer és az Orff Schulwerk gyakorlataiból összeállított foglalkozások hatására a gyerekek beszédsegmentációs képességei fejlődtek a kontrollcsoportéhoz képest, amely hatást a feladat közben mért kiváltott kortikális válaszok nagysága is megerősítette.

Az olvasás és szenzomotoros szinkronizáció

Mivel a zenéhez szinkronizált mozgás univerzálisan jelen lévő és spontán megjelenő humán viselkedés, ezért a ritmikai képességek felmérésére a szinkronizáció alapú feladatok már korábban alkalmasak, mint a ritmusdiszkriminációs, vagy reprodukciós feladatok, amelyek esetében a feladat megértése is nagyobb kihívást jelent, illetve nagyobb mértékben támaszkodnak a rövidtávú emlékezetre (Tierney és mtsai., 2017). Mint a korábbi fejezetekben láttuk, a szenzomotoros szinkronizáció viselkedéses mérése spontán helyzetben már kisgyermekkorban lehetséges, a nagyobb feladattudatot igénylő kopogásos paradigma pedig óvodáskortól alkalmazható. Az SMS feladattal végzett vizsgálatok jelen munka szempontjából különösen relevánsak, ezért ezeket külön mutatjuk be, kitérve azok módszertani sajátosságaira is.

Az ezredforduló óta egyre több SMS paradigmával végzett kutatási eredmény áll rendelkezésünkre, amelyek alapján úgy tűnik, a ritmusészlelési és produkciós feladatokhoz hasonlóan a szinkronizációs teljesítmény is kapcsolatban áll az olvasás színvonalával, a fonológiai tudatossággal, a helyesírással, a gyors automatizált megnevezéssel és a verbális emlékezettel (Bonacina és mtsai., 2018; Lê és mtsai., 2020; Lundetræ & Thomson, 2018; Tierney és mtsai., 2017; Woodruff Carr és mtsai., 2014).

Bonacina és mtsai (2021) 90 és 150 bpm tempójú metronómos SMS feladattal mértek fel 156 óvodáskorú (3-5 éves), angol anyanyelvű gyereket. Szintén a két próbából származó adatokat összevonva a Rayleigh teszt segítségével két csoportot hoztak létre: akik leütései véletlenszerűnek bizonyultak, a „nem szinkronizáló”, akik eltértek a normális eloszlástól, a „szinkronizáló” csoportba kerültek. Az utóbbiak magasabb pontszámot értek el a FT, auditív rövidtávú emlékezet és RAN feladatokban. Eredményeiket elektrofiziológiai módszerrel is sikerült alátámasztaniuk, a „szinkronizáló” csoport esetében pontosabb és konzisztensebb FFR (frequency following response) választ mértek.

5-7 éves, szintén amerikai, angol anyanyelvű gyerekeket SMS feladattal mértek fel korábbi vizsgálatukban Bonacina és mtsai (2018). A szinkronizációs teljesítmény együttjárást mutatott a szóolvasással, a fonológiai feldolgozással, a helyesírással, a feldolgozási sebességgel, valamint a morfo-szintaktikai feladatban elért pontszámmal. A konzisztensebben szinkronizáló gyerekeknél ezen kívül pontosabb kéreg alatti feldolgozást (FFR) is találtak. Módszertani szempontból érdekes, hogy az SMS feladatot az általánostól eltérő technikával, tapsolva, a tenyerükre erősített szenzorokkal mérve végezték, egészen lassú, 54 bpm-es tempóra. A kiugróan alacsonynak számító sebességgel kapcsolatban felmerül a gyanú, hogy a nagymozgással végzett szinkronizáció során implikálhatja a duplázott ritmikai szintet, amely esetben a vizsgálati személyek valójában 108 bpm sebességű választ produkálnának úgy, hogy csupán minden második értéket hangoztatnak.

A FT a RAN és a finommotoros képességek mediáló szerepét vizsgálták Lê és mtsai (2020) kutatásukban, amelyben 278 harmadik osztályos, francia anyanyelvű gyereket mértek fel. A vizsgálati személyek 90 és 150 bpm-es tempójú metronóm ingerrel végeztek SMS feladatot, az aszinkronitás és konzisztencia mutatókat a két próba átlagából számolták. SEM elemzést használva megállapították, hogy bár a szinkronizációs teljesítmény, a fonológiai tudatosság és a RAN is hatással volt a szóolvasási teljesítményre, az SMS és a FT között nem volt szignifikáns kapcsolat, és az SMS mutatók hatása direkt módon érvényesült, nem a FT, vagy a RAN közvetítésével. Ezen kívül a gyerekek finommotoros képességei sem mediáltak a két terület között, bár kapcsolatban álltak a szinkronizációval.

Ahogy a kisgyermekkor szinkronizációnál láttuk, a korosztályra jellemző spontán tempó alatti sebességhez való alkalmazkodás nagyobb nehézséget okoz és később válik lehetségessé, mint az SMT körüli, ezért alkalmas az egyéni különbségek mérésére. Lundetræ és Thomson (2018) első osztályos norvég tanulókkal végeztetett SMS feladatot 90 és 120 bpm-es tempójú metronóm ingerrel. A gyerekek szinkronizációs pontossága számos nyelvi és olvasási

teljesítményükkel mutatott együttjárást (helyesírás, fonológiai feldolgozás, szóolvasás, morfológia és szintaktika teljesítmény), valamint - elsősorban a 90 bpm-es tempójú feladat - előjelezte az első osztály végi olvasási szintjüket.

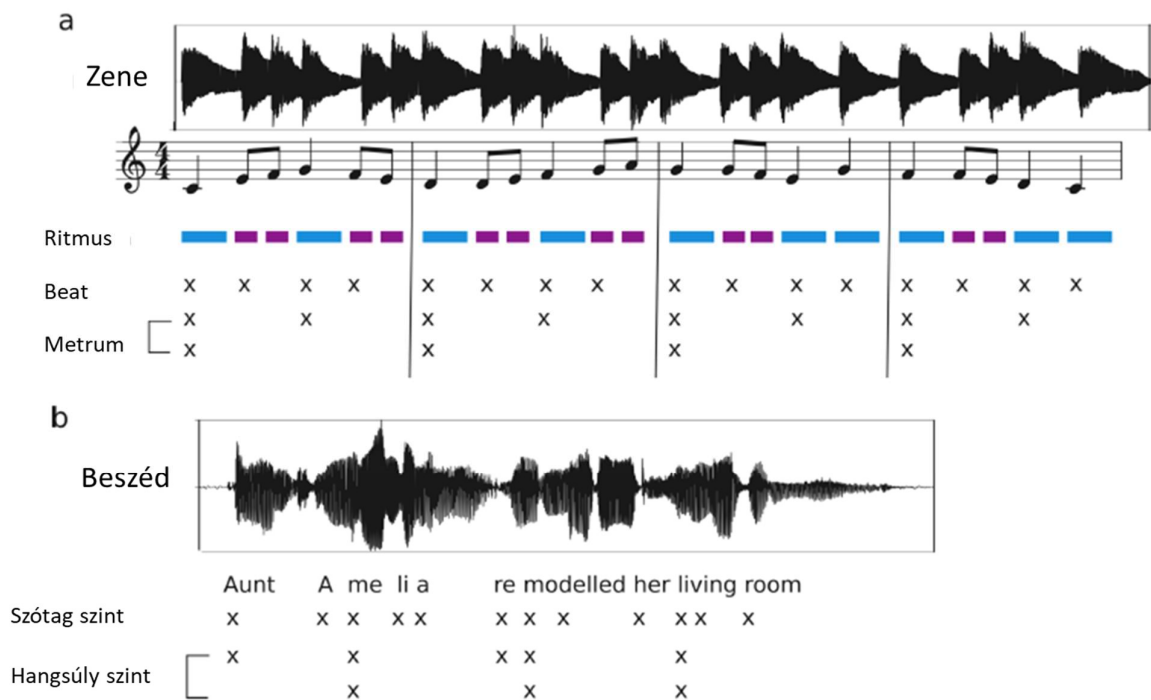
Tierney és mtsai (2017) 64 fiatal felnőttet vizsgálva kapcsolatot találtak a ritmikai teszteken elért magasabb teljesítmény és a vizsgálati személyek kérgi és kéreg alatti feldolgozása között SPIN feladatban. A ritmikai tesztek faktoranalízis segítségével két csoportba sorolták: szekvencia alapú (ritmusreprodukció és ritmus szinkronizáció), valamint szinkronizációs feladatokra (egyszerű szinkronizáció, beat szinkronizáció, változó tempójú és időzítésű szinkronizáció). Míg az előbbiek a kortikális feldolgozással és a verbális emlékezettel és olvasással álltak kapcsolatban, az utóbbiak a szubkortikális válaszok pontosságával és egy visszafelé maszkolást alkalmazó, nonverbális hallási észlelési feladat pontszámaival, ami alapján a két típusú feladat háttérben különböző agyi feldolgozást feltételeztek.

Hasonló eredményre jutottak Bonacina és mtsai (2020), akik 5-8 éves gyerekeket vizsgálva az izokrónikus szinkronizációs feladat és a RAN, valamint a szekvenciális kopogás és a fonológiai tudatosság között találtak kapcsolatot. Ezen eredményeknek részben ellentmondva Woodruff-Carr és mtsai (2014) 3-4 éves gyerekekkel végzett vizsgálatában az izokrónikus szinkronizáció állt kapcsolatban az agytörzsi válaszok pontosságával, valamint a ritmusdiszkriminációs, a rövidtávú emlékezeti, a gyors megnevezési és fonológiai tudatosság teljesítménnyel.

A magyar anyanyelvű gyerekekkel végzett SMS paradigmát használó kutatások száma elenyésző, a jelen munkában közölt vizsgálatokon kívül mindössze egy kutatásról van tudomásunk. Maróti és mtsai (2019) 6-7 éves gyerekek körében találtak összefüggést a 90 bpm tempójú, metronóm ingert alkalmazó SMS feladat folytatásos szakaszában mért konzisztencia mutató és a gyerekek fonológiai, figyelmi és munkamemória teljesítménye között, valamint enyhe javulást figyeltek meg a szinkronizációs teljesítményben 8 hetes zenei tréning hatására. Kutatásukban nem vizsgálták az olvasási teljesítményt, így annak a szinkronizációval való kapcsolatáról magyar anyanyelvűek körében nem áll rendelkezésünkre adat.

A ritmus-nyelv-olvasás kapcsolatot magyarázó elméletek

A beszéd és a zene ritmikussága különböző: a zene jellemzően periodikus és általában egyenletes lüktetéssel rendelkezik míg a beszédre ez nem mondható el, ezért „kvázi-periodikusnak” nevezhetjük. Ugyanakkor mindkét területen megfigyelhető, hogy a hangsúlyos és hangsúlytalan elemek többszintű struktúrákba szerveződnek (ld. 6. ábra), ezáltal hierarchikus feldolgozást igényel a zenei és a nyelvi észlelés egyaránt (Fiveash és mtsai., 2021).



6. ábra. Egy egyszerű zenei részlet (a) és egy beszélt mondat (b) hierarchikus ritmikai szintjeinek reprezentációja (Fiveash és mtsai, 2021 alapján)

A ritmikai és nyelvi, olvasási képességek között egyes szerzők terület-általános mechanizmusokat feltételeznek, mint a figyelemirányítás (Large & Jones, 1999), a végrehajtó funkciók (Moreno & Bidelman, 2014), a procedurális emlékezet (Ullman & Pierpont, 2005), vagy az inger regularitásai alapján történő predikció képessége (Ozernov-Palchik & Patel, 2018). Az utóbbi elképzelés rokonságot mutat a prediktív kódolás elméletével (Friston & Kiebel, 2009).

Mások inkább terület-specifikus elméleti keretben magyarázzák a megfigyelt összefüggéseket, amelyekben lényeges szerepe van az auditív feldolgozásnak, a szenzomotoros entrainment-nek és a fonológiai feldolgozásnak (Fiveash és mtsai., 2021; Goswami, 2018; Tierney & Kraus, 2014). Az elméletek e két csoportja azonban nem különül el teljesen egymástól, a predikciót központba helyezők például szintén a fonológiai feldolgozás mediálását feltételezik a ritmus-olvasás kapcsolat háttérében (Ozernov-Palchik & Patel, 2018), illetve az agyi entrainment mint

az auditív ingerek hatékony feldolgozását segítő mechanizmus is több különböző elképzelés része (Fiveash és mtsai., 2021; Goswami, 2018; Tierney & Kraus, 2014).

Patel közös szintaktikai integrációs erőforrás hipotézise (Shared Syntactic Integration Resource Hypothesis, SSIRH) (Patel, 2003) szerint a zenei és a nyelvi elemek feldolgozását végző agyi struktúrák között a szintaxis szintjéig találunk átfedést, a nyelvi és zenei képességek együttjárása ezzel a közös neurális háttérrel magyarázható.

A különböző frekvenciatartományú agyi oszcillációknak és ezek egymáshoz, illetve külső hangingerekhez történő szinkronizációjának szerepe lehet a beszéd és a ritmus észlelésében, a szenzomotoros szinkronizáció során a motoros– és a hallókéreg együttműködésében, és periodikus ingerek feldolgozásakor a predikcióban, figyelemirányításban (Doelling és mtsai., 2019; Giraud & Poeppel, 2012; E. Large & Snyder, 2009; Large és mtsai., 2015; Large & Jones, 1999). A Dinamikus Figyelmi Elmélet (Dynamic Attending Theory, DAT, Jones, 2018; Large & Jones, 1999) szerint az auditív inger periodicitásához, vagyis regularitásához történő neurális szintű szinkronizáció úgy segíti a feldolgozást, hogy a korlátozott figyelmi kapacitást a releváns információra allokálja. A DAT mint átfogó elmélet számos további elképzelés számára szolgált táptalajul.

A SEP (Sound Envelope Processing and Synchronization and Entrainment to Pulse, Fujii & Wan, 2014) hipotézis szerint a beszéd hangerőváltozásainak (envelope) követése, illetve a zenei ritmushoz történő viselkedéses és agyi szinkronizáció azonos mechanizmusokra támaszkodik. A zenei tréning emiatt javíthatja a szenzoros és motoros területek közti szinkronizációt, amely pozitív hatással lehet a beszéd észlelésére olyan kórképek esetében, amelyek a nyelv és a beszéd területein tapasztalható deficittel járnak (dadogás, Parkinson-kór, afázia, autizmus spektrumzavar).

Szintén a zenei tevékenységek pozitív hatásainak vizsgálatából indul ki Patel az ún. OPERA hipotézisben (2011, 2014), amelyben öt mechanizmust nevez meg, amelyeken keresztül azok fejlesztő hatása érvényesülhet a nyelv területén. Ezek közül az első a korábban már említett neurális átfedés (Overlap). A zenei feldolgozás a beszédhez képest precízebb (Precision) feldolgozást kíván, ezáltal finomhangolja az észlelést. A zenei tevékenységek pozitív érzelmeket váltanak ki (Emotion), amelyek hatására hajlamosak vagyunk azokat gyakrabban végezni (Repetition), végül a zenei tevékenységek erős figyelmi fókuszot (Attention) kívánnak, amely szintén erősíti a hatást.

Specifikusan az olvasással való kapcsolatot tárgyalja elméletében Patel és Ozernov-Palchik (Ozernov-Palchik & Patel, 2018) akik szintén a fonológiai tudatosságot feltételezik a ritmus-olvasás kapcsolat háttérében. Elképzelésük szerint kifejezetten az ún. beat-alapú ritmikai teljesítmények járnak együtt a tudatossággal, mivel mindkettő esetében fontos az idői regularitások hatékony feldolgozása és az ezek alapján történő predikciók létrehozásának képessége. A beat-alapú feladatok az abszolút hosszúság észleléséhez képest azért különlegeseek, mert lehetővé teszik az említett predikciót.

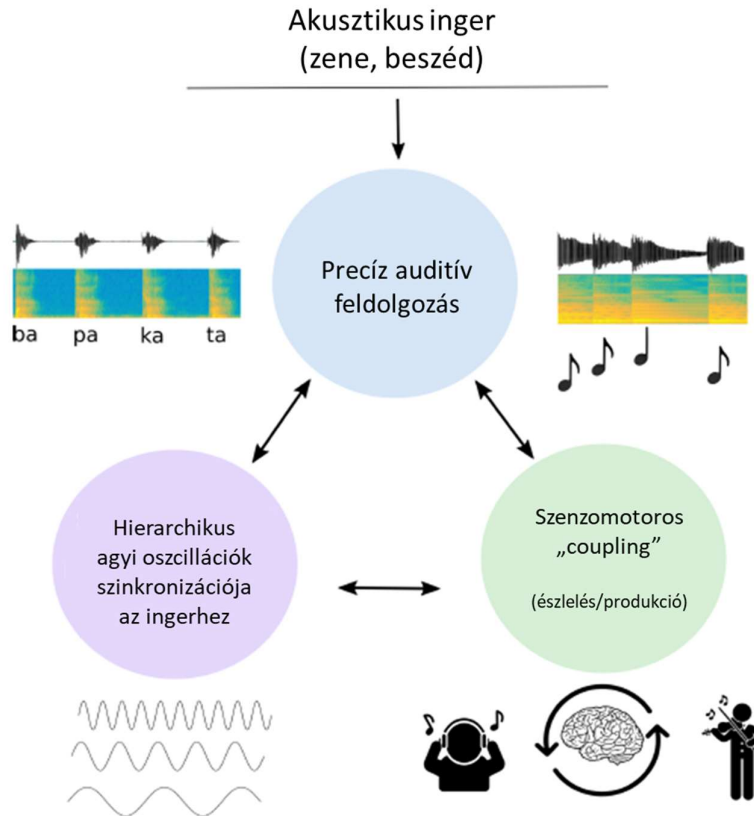
A Precise Auditory Timing Hypothesis elmélet (PATH, Tierney & Kraus, 2014) szerint precíz, neurális szintű idői feldolgozás szükséges a zenei lüktetés követéséhez és a beszédészlelésen keresztül a pontos fonológiai reprezentációk létrehozásához egyaránt, így a gyenge szinkronizációs teljesítmény és fonológiai deficit gyakran megfigyelt együttjárásának háttérében ez a képesség állhat. Eredményeik szerint az auditív hangingerre adott agyi aktivitás konzisztenciája valóban kapcsolatban áll az SMS feladatban mért variabilitással (Tierney & Kraus, 2013b), valamint a hallási észlelés pontosságán keresztül a fonológiai tudatosság szintjével.

Az Usha Goswami nevéhez fűződő Temporal Sampling Theory (TST), később Temporal Sampling Framework (TSF) (Goswami, 2018) eredetileg a diszlexiában megfigyelt ritmikai deficit jelenségeire, illetve ezek magyarázatára alapoz, de az elmélet kiterjeszhető a tipikus fejlődés leírására is. Goswami elmélete a ritmus és az olvasás közötti kapcsolat háttérére különösen részletes, kidolgozott magyarázatot kínál. A TSF szerint egyes agyi sejtsoportok az auditív ingerhez (beszéd vagy zene) történő pontatlan szinkronizációja következtében a hangfelfutási idő (rise time) észlelésében létrejövő deficit okozza a diszlexiásoknál megfigyelt pontatlan fonológiai reprezentációk létrejöttét. Az ennek következtében kialakuló alacsonyabb szintű fonológiai tudatosság következtében jelennek meg az olvasási nehézségek, a zene területén pedig ugyanez a pontatlan szinkronizáció okozza a ritmusészlelésben és produkcióban megfigyelt gyenge teljesítményt is. Az elmélet szerint a neurális és viselkedéses szintű szinkronizációs nehézség nem minden frekvenciatartományt érint egyformán, a szelektív deficit elsősorban a 2 Hz körüli tartományra jellemző. Azt is megfigyelték, hogy a beszélt nyelvben bizonyos egységek hozzávetőlegesen hasonló időközönként követik egymást, vagy másképp fogalmazva, egy jellemző frekvencián kódolódnak. A fonémák esetében ez az érték 20 Hz körüli, míg a hangsúlyos szótagok esetében az említett 2 Hz. Ez a szelektív sérülés áll a TSF szerint a diszlexiában tapasztalt fonológiai deficit háttérében. A 2 Hz-es frekvencia azonban nem csupán a beszédészlelés szempontjából releváns: ez az érték, amely a 120 bpm-

es zenei tempónak felel meg, több mozgásos tevékenység preferált tempója felnőttek körében (pl. tánc, járás), és körülbelül megfelel a spontán tempó feladatokban mért átlagos ITI-nak (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006). Az elméletet több olyan kutatás is alátámasztani látszik, amelyek valóban szelektív deficitet találtak diszlexiás egyének körében elektrofiziológiai és viselkedési paradigmákkal egyaránt (Goswami, 2018).

Bár több elmélet is a fonológiai tudatosság mediációs szerepét fogalmazza meg a ritmus és az olvasás területei közötti kapcsolat magyarázatára, ezt az elképzelést kevés kutatás igyekezett tesztelni, feltehetően azért, mert a hatások feltérképezése magasabb elemszámot feltételező statisztikai eljárásokat igényel, illetve ezek eredményei is mint láttuk, ellentmondásosak (Lê és mtsai., 2020; Ozernov-Palchik és mtsai., 2018; Sousa és mtsai., 2022). Felmerül a lehetőség, hogy ahogy a FT szerepe az olvasás fejlődésének korai szakaszában jelentősebb, a ritmikai tesztekben mért teljesítmény ebben az időszakban részben a fonológián keresztül áll kapcsolatban az olvasással, majd később, ahogy az olvasás már más prediktorok által meghatározott, csak a direkt út marad fenn a két terület között. Ahogy láttuk, a FT szerepe az adott nyelv ortográfiai mélységétől is függ (Surányi és mtsai., 2009; Ziegler és mtsai., 2010), amely a ritmus – FT – olvasás kapcsolat szempontjából is feltehetően relevanciával bír. Feltételezhetjük, hogy a sekély ortográfiájú rendszerek esetében az említett indirekt út jelentősége kisebb, helyette a direkt út érvényesül. Sajnálatos módon a rendelkezésünkre álló adatok túlnyomó része mély ortográfiájú nyelvek (angol, francia) vizsgálatából származik (Lê és mtsai., 2020; Ozernov-Palchik és mtsai., 2018; Sousa és mtsai., 2022). Az elképzelés tesztelésére különböző ortográfiai rendszerek azonos módszertannal történő vizsgálatára lenne szükség.

Fiveash és munkatársai (2021) PRISM (Processing Rhythm in Speech and Music) elméleti kerete kísérletet tesz a terület fent bemutatott elméleteinek integrálására a beszéd- és zenei ritmus feldolgozásának közös mechanizmusainak leírásával (7. ábra). Elképzelésük szerint a beszéd, illetve a zene ritmusának feldolgozásához egyaránt szükséges a hanginger pontos idői feldolgozása, az agyi oszcillációk szinkronizációja az inger különböző ritmikai szintjeihez, amely lehetővé teszi a predikciót, illetve a szenzoros és motoros területek szintén az entrainment mechanizmus általi összekapcsolódása (coupling). A szerzők szerint a három mechanizmus mindegyike kapcsolatban áll a többivel, de az egyes patológiák esetében az időzítési deficit nem feltétlenül általános, hanem érinthet specifikusan csak egyet.



7. ábra. A zenei és beszéd ritmus feldolgozásának mechanizmusai a PRISM keretben (Fiveash és mtsai., 2021 alapján)

Diszlexia és ritmus

A ritmus-olvasás kapcsolat szempontjából a megkerülhetetlenek a fejlődési diszlexia (FD) területéről származó adatok. A FD-val együttjáró idői feldolgozási deficitet, valamint ennek megjelenését a beszédészlelés, a fonológia és a ritmusérzék területein meggyőző számú empirikus kutatás írja le (Cumming és mtsai., 2015; Flaugnacco és mtsai., 2014; Huss és mtsai., 2011; Ladányi és mtsai., 2020; Nayak és mtsai., 2021; Overy és mtsai., 2003). Az ezek által feltárt jelenségekre épül Usha Goswami korábban bemutatott elmélete, a Temporal Sampling Framework (TSF).

Wolff (2002) nagyhatású korai kutatásában 10-16 éves FD diagnózisú fiatalokkal végzett metronóm ingert használó SMS feladatot. A normál olvasók 41 ms-os átlagos anticipációjához (NMA) képest a diszlexiások esetében lényegesen nagyobb, három-négyszeres értéket talált.

Ezen kívül a FD csoport gyengébb teljesítményt mutatott a ritmusreprodukcióban, és tagjai számára nagyobb nehézséget jelentett az ingerben tapasztalt tempóváltozásokhoz való alkalmazkodás, ezeket követően hosszabb idő alatt tudtak ismét szinkronizálódni az izokrón ingerhez. Bár robusztus eredményeit később nem replikálták, Wolff munkája rávilágított, hogy az idői feldolgozásnak nem csak hogy szerepe lehet az olvasási problémák kialakulásában, de az SMS feladat alkalmas ennek viselkedéses szintű vizsgálatára.

Az azóta született kutatások eredményei alapján valóban szignifikáns különbségek rajzolódnak ki a FD és a tipikusan olvasó egyének között. A diszlexiások esetében atipikus szinkronizációt figyeltek meg a hanginger amplitudóváltozásaihoz már neurális szinten is a beszédészlelés során, nyelvtől függetlenül (Leong & Goswami, 2014; Molinaro és mtsai., 2016; Surányi és mtsai., 2009), ezzel párhuzamosan pedig a zenei lüktetéshez történő gyengébb szinkronizációt (Colling és mtsai., 2017; Overy és mtsai., 2003; Thomson & Goswami, 2008). Valószínűsíthetően szintén a neurális szintű szinkronizációs deficitnek köszönhetően a FD jellegzetessége a hangfelfutási idő gyengébb észlelése is (Huss és mtsai., 2011; Leong és mtsai., 2011; Power és mtsai., 2016)., amely a TSF elmélet szerint ugyancsak a fonológiai deficit hátterében állhat.

A kapcsolat a viselkedéses szinten is látványosan megmutatkozik: a diszlexiásoknál tapasztalt gyengébb ritmikai észlelés és produkció együtt jár a fonológiai tudatosság (Corriveau és mtsai., 2010; Flaunacco és mtsai., 2014; Forgeard és mtsai., 2008; Huss és mtsai., 2011; Thomson & Goswami, 2008) és az olvasás (Corriveau és mtsai., 2010; Flaunacco és mtsai., 2014; Goswami és mtsai., 2013; Thomson & Goswami, 2008) alacsonyabb szintjével. Ezek a különbségek ráadásul úgy tűnik, nem múlnak el, hanem fennmaradnak felnőttkorú diszlexiásoknál is (Thomson és mtsai., 2006).

Thomson és kollégái (2008) összesen 25, tíz év körüli, FD-vel diagnosztizált gyereket hasonlítottak össze 23 tipikusan olvasóval, többek között a három tempójú (90, 120, 150 bpm) metronóm ingert használó SMS feladatban mutatott teljesítményük alapján. Amellett, hogy a diszlexiás csoport gyengébben teljesített számos idői feldolgozással kapcsolatos feladatban (hanghosszúság, hangfelfutási idő hangmagasság és intenzitás diszkrimináció), lényegesen gyengébb volt a szinkronizációs teljesítményük. Az egyéni ITI variabilitás kapcsolatot mutatott az olvasás és a fonológiai tudatosság szintjével a non-verbális intelligencia kontrollálása után is. További fontos tanulása a kutatásnak, hogy a szintén felmért finommotorikus képességek nem mutattak kapcsolatot sem a fonológiai tudatossággal, sem az olvasással, így az expresszív ritmikai teljesítmény nem ezen keresztül állt kapcsolatban az előbbiekkal.

Hasonló eredményekről számoltak be 8-11 éves (N = 48), olasz anyanyelvű, FD diagnózisú gyerekeket vizsgálva Flaugnacco és mtsai (2014). A tesztbatteria tartalmazott egy 90 bpm tempójú, metronómos SMS feladatot, amelyben az ITI konzisztencia variációs együtthatóját használták mutatóként. A szinkronizációs teljesítmény mellett a ritmusreprodukció is kapcsolatban állt a fonológiai tudatossággal és az olvasás szintjével is. A kutatás arra is rávilágít, hogy a ritmikai deficit a sekély ortográfiájú nyelvekben is meghatározó lehet a FD kialakulásában.

Patel és Ozernov-Palchik (2018) a predikciót mint általános mechanizmus szerepét hangsúlyozó elképzelését látszik erősíteni Pagliarini és mtsai (2020) vizsgálata, amelyben FD diagnózisú felnőttek és gyerekek egyaránt gyengébben teljesítettek beat-alapú, vagyis prediktálható ingert alkalmazó időzítési feladatban, az intervallum-alapú ritmikai kondícióban azonban ez az előny eltűnt.

A FD esetében a ritmus érintettsége nem csak a ritmikai és olvasási deficittek együttjárásában jelenik meg. Egyre több empirikus adat áll rendelkezésünkre azzal kapcsolatban, hogy a fókuszált zenei tréningek hatásosak az atipikus olvasás és az azzal kapcsolatos kognitív deficittek fejlesztésében. A ritmikai elemeket tartalmazó, vagy kifejezetten ritmus-fókuszú tréningek is képesek javítani a diszlexiás gyerekek hallási észlelésén, auditív figyelmén, fonológiai tudatosságán, olvasási fluenciáján és pontosságán (Bonacina és mtsai., 2015; Flaugnacco és mtsai., 2015; Habib és mtsai., 2016; Thomson és mtsai., 2013).

Bár jelen munkának szigorúan véve nem tárgya, mégis fontos megemlíteni, hogy a ritmikai deficittek széleskörben megfigyelhetők a diszlexia mellett más atipikus populációkban is, például a nyelvi fejlődési zavar (Corriveau & Goswami, 2009; Cumming és mtsai., 2015; Richards, 2017) a dadogás (Falk és mtsai., 2015), vagy az ADHD (Puyjarinet és mtsai., 2017) esetében. A különböző patológiák magas komorbiditása miatt felmerül annak a lehetősége is, hogy mindezek háttérében közös, terület-általános ritmikai deficit is állhat (Ladányi és mtsai., 2020).

Összefoglalás

Összefoglalva jelenlegi tudásunkat a területről, a szenzomotoros szinkronizáció az iskola-óvodai átmenet környékén erőteljes fejlődésen megy keresztül, amelyben központi szerepet játszik a spontán motoros tempó csökkenése és a szinkronizációs régió szélesedése (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006; Thompson és mtsai., 2015; van Noorden & Moelants,

1999), a folyamat pontosabb megértéséhez azonban olyan longitudinális vizsgálatok hiányoznak, amelyek a szinkronizáció több aspektusát is figyelembe veszik (aszinkronitás, konzisztencia). A zenei inger használata ígéretes iránynak tűnik a gyerekek vizsgálatához, például diagnosztikai céllal, ugyanakkor keveset tudunk arról, hogy milyen hatása van a feladatvégzésre az inger komplexitásának, illetve milyen kognitív képességekkel áll kapcsolatban a gyakrabban használt metronómhanghoz képest (Carrer és mtsai., 2022; Einarson, 2017; Semjen & Ivry, 2001). A gyerekek SMS feladatban mutatott teljesítménye kereszt- és hosszmetzeti kapcsolatban áll az olvasás színvonalával és számos kognitív képességgel, köztük a helyesírással és a fonológiai tudatossággal is. Az utóbbi konstruktum mediáló szerepét feltételezi több szerző, a feltevést tesztelő kisszámú kutatás eredményei alapján azonban direkt és indirekt kapcsolat is lehetséges a szinkronizáció és az olvasás között, amelyben szerepe lehet az adott nyelv ortográfiájának, illetve a vizsgált gyerekek korának, olvasási szintjének is.

Saját vizsgálatok bemutatása

Jelen tanulmány

Jelen munkában arra keresem a választ, hogy magyar anyanyelvű alsó tagozatos gyerekek szenzomotoros szinkronizációs (SMS) és spontán motoros tempó (SMT) paradigmákban mutatott teljesítménye változik-e a vizsgált időszakban (1-3. évfolyam), hogyan hat rá az inger típusa (metronóm, vagy komplex zene), illetve található-e kereszt- és hosszszetszeti összefüggés olvasásuk színvonalával, helyesírásukkal és fonológiai tudatosságukkal. Az olvasás tanulásának kezdete az általános iskola első osztálya, ezért választottuk a vizsgálatok első mérési pontjának ezt a kiemelten fontos időszakot. A második adatfelvételt harmadik osztályra terveztük, amikor a gyerekek már gyakorlottabban olvasnak, részben annak céljából, hogy adataink összevethetőek legyenek egy friss tanulmány (Lê és mtsai., 2020) eredményeivel, amely hasonló módszertannal vizsgálta ezt a korosztályt.

Kutatási kérdések

A bemutatott szakirodalmi adatok alapján a következő kutatási kérdéseket fogalmaztam meg.

A tempó és az ingertípus hatása az SMS feladatban

1. Milyen hatással van az SMS feladat mutatóira az inger tempója?
2. Milyen hatással van az SMS feladat mutatóira az inger komplexitása?

Az SMS és SMT feladat mutatóinak longitudinális változása

3. Változnak-e az SMS feladat különböző aspektusait megjelenítő mutatók (konzisztencia, aszinkronitás, folytatásos konzisztencia) a vizsgált időszakban?
4. Változnak-e az SMT feladat mutatói (spontán tempó, konzisztencia) a vizsgált időszakban?

Az SMS és SMT feladat kapcsolata az olvasással, a helyesírással és a fonológiai tudatossággal

5. Kapcsolatban áll az SMS és SMT teljesítmény az olvasás, a helyesírás és a fonológiai tudatosság szintjével első osztályban?
6. Fennmarad az SMS és SMT teljesítmény kapcsolata az olvasással, a helyesírással és a fonológiai tudatossággal két évvel később is, harmadik osztályban?
7. Alkalmasak az első osztályban felvett SMS és SMT tesztek mutatói a harmadik évfolyamos olvasás, helyesírás és fonológiai tudatosság prediktálására?

Az SMS és SMT feladat módszertana a három empirikus kutatásban

Az SMS és SMT feladatoknak jelenleg nincsen egységes, széles körben elfogadott és alkalmazott „sztenderd” módszertana, amely pontosan specifikálná az alkalmazott ingeranyagot, a méréshez használt válaszeszközt, az adatfeldolgozás módját és a feladatvégzést jellemző mérőszámokat. Emiatt a következőkben bemutatott vizsgálatokban részben a nemzetközi szakirodalomból merítve saját módszertannal dolgoztunk, amely az eredmények tükrében, illetve a terület fejlődése következtében az egyes vizsgálatok között is változott.



8. ábra. A vizsgálati helyzet vázlatos ábrázolása. Az ingerbemutató a számítógép segítségével történik, a vizsgálati személy zárt fejhallgatón keresztül hallgatja a zenét, vagy metronóm hangot, miközben a domináns kezével kopog a MIDI vezérlő gumi felületén. Az ütések időpontját a számítógép regisztrálja és rögzíti.

Eszközök

Mindhárom vizsgálat során azonos eszközöket használtunk. A vizsgálati helyzetet a 8. ábra szemlélteti. A válaszadás AKAI LPD-8 MIDI dobpadon történt, amely szenzorokkal ellátott gumilapjain kopogott a vizsgálati személy a domináns kezének ujjaival. A MIDI (Musical Instrument Digital Interface) eszközök előnye, hogy a rendkívül gyors adatátvitelnek köszönhetően a látencia, vagyis az eszközből származó késés minimális, így a hangingerhez képest néhány milliszekundumos különbség mérésére is alkalmas. Az ingerbemutatáshoz Steinberg UR-22 külső hangkártyát használtunk, valamint ATH-T200 típusú zárt fejhallgatót. A lejátszás és felvétel Steinberg Cubase 5 programmal történt, amely a válaszok (ütések) idejét regisztrálta. Az ezekből létrejövő idői adatsort használtuk az elemzések során.

Ingeranyag, vizsgálati protokoll

Az első vizsgálatban használt ingeranyag három különböző tempójú rövid zenei részlet volt. Három populáris zenei számot választottunk, amelyek egyértelmű, egyenletes 4/4-es lökötésűek, és olyan stíluskorszakokból származnak, amely a magyar gyerekek számára kevésbé ismertek: „All I have to do is dream” (Everly Brothers), „Michelle” (Beatles), „Johnny B Goode” (Chuck Berry). A MIDI formátumú zenéket különböző módokon manipuláltuk, hogy megfeleljenek a vizsgálat céljainak. Annak érdekében, hogy a hangszín és hangerő okozta hatásokat kiküszöböljük, azonos hangszerelést alkalmaztunk (dob, nagybőgő, zongora) virtuális hangszerek (VST) segítségével, valamint azonos hangerőt állítottunk be mindhárom zenénél. Az énekdallamot, illetve a jellegzetes hangszeres témákat eltávolítottuk, hogy ezek ne jelenthessenek segítséget, így egy egyszerű instrumentális alapot hallottak a vizsgálati személyek. Végül az eredeti tempókat megváltoztatva 80, 120 és 150 bpm gyorsaságú tempót állítottunk be a daloknál a fenti sorrend szerint. A zenei részletek hossza kb. 30 másodperc volt attól függően, hogy az adott periódus mikor végződött, ez jelentette a szinkronizációs szakaszt. Az inger megszűnését követte az úgynevezett folytatásos szakasz, amely még kb. 20 másodpercig tartott. A próba kezdetét négy hangból álló beszámolás jelezte a zene tempójában, a Cubase program „woodblock” (fa résdob) hangszínén. A referenciaértékeket, vagyis a beat-et az ütemek negyedhang értékei jelentették, amelyek idejét a MIDI kvantálásnak köszönhetően pontosan az adott tempóhoz tudtuk igazítani, így 750, 500 és 400 ms intervallumokkal követték egymást. Az SMT feladatban, illetve a folytatásos szakaszban a vizsgálati személy ütéseinak limitálása helyett az idői korlát mellett döntöttünk, mivel nagy egyéni különbségekre számítottunk a referencia nélküli kopogásnál.

A második és harmadik vizsgálat ingeranyaga a fenti zenei részletek mellett tartalmazott metronóm hangos próbákat is, amelyek, mint korábban írtuk, egyszerűségük miatt jobban kontrollálhatóak, ugyanakkor alacsonyabb ökológiai validitással bírnak. A metronóm hangos próbák a zenei ingerekkel azonos tempójúak és hosszúságúak voltak, vagyis 80, 120 és 150 bpm sebességűek és a szinkronizációs és folytatásos szakaszok hosszúsága is megegyezett a zenés próbákéval. A metronóm hangszíne a beszámolóhoz használt „woodblock” virtuális hangszer volt.

A vizsgálatvezető a vizsgálat kezdetén bemutatta az eszközt, majd megkérte a vizsgálati személyt, hogy domináns kezével, számára kényelmes módon kopogjon a gumilapon. Az első próba minden esetben a spontán tempó feladat volt, hogy a későbbi feladatok ne befolyásolják a vizsgálati személy tempóját. A feladathoz tartozó instrukció a következő volt:

„Az előtted látható eszközön gombok vannak. Kérlek, a nagyok közül a bal felsőn kopogjál azzal a kezeddal, amelyikkel írni szoktál. Lehet egy, vagy több ujjal kopogni rajta, a lényeg, hogy kényelmes legyen neked. Most próbáljuk ki! Arra foglak kérni, hogy kezdj el neked jól eső, egyenletes sebességgel kopogni, majd ha szólok, hogy elég, hagyd abba. Körülbelül fél perc lesz a feladat.”

A későbbi SMS feladatok sorrendje véletlenszerű volt, az elsőt rövid demonstráció előzte meg, amelyben nem hangzott el a zenei részlet, de a vizsgálatvezető meggyőződhetett arról, hogy a tanuló érti a feladatot. A vizsgálatvezető verbálisan bemutatta a beszámolást („egy-két-há-nég”), majd az eszközön saját maga kopogva mutatta be a feladatvégzést. Az első SMS próba instrukciója a következő volt:

„Most zenét vagy egy pittyegő hangot fogsz hallani és az lesz a feladatod, hogy minél inkább azzal együtt kopogjál. Az elején négy pittyenést fogsz hallani, ami megmutatja, hogy milyen gyors lesz majd a feladat. Ezek után kezdj el a hallott zenével/pittyegéssel együtt kopogni! Fontos, hogy amikor elhallgat a hang, te ne hagyd abba, hanem folytasd úgy, mintha még mindig hallanád. Szólni fogok, amikor vége a feladatnak.”

Amennyiben a feladatvégzés során a tanuló a taktushoz képest dupla, fél, vagy antifázisú ritmusban kopogott, a vizsgálatvezető megállította a próbát és megismételte a demonstrációt. A próbák után a vizsgálatvezető kérdést tett fel arra vonatkozóan, hogy a vizsgálati személy felismerte-e a hallott zenei részletet, erre egyik vizsgálatban sem volt példa.

Az adatok szűrése, tisztítása és elemzése a három empirikus kutatás során lényeges változásokon ment keresztül. Míg az első vizsgálatban tisztán lineáris elemzést alkalmaztunk, a második és a harmadik esetében a cirkuláris és lineáris megközelítés ötvöztetését választottuk, valamint szigorúbb adatszűrést is végeztünk. Emiatt az első tanulmány módszertana inkább feltáró jellegű, míg a második és harmadik esetében közelebb áll a nemzetközi szakirodalomhoz. A konkrét adatelemzési módokról részletesen az adott kutatások kapcsán írunk.

Résztevők

Mindhárom vizsgálatban magyar anyanyelvű, alsó tagozatos tanulók vettek részt, akik nem rendelkeztek diagnosztizált pszichiátriai, neurológiai, vagy érzékszervi problémával, illetve tanulási zavarral. A kutatásban való részvétel feltétele az önkéntes jelentkezés, illetve a szülő tájékoztatást követő írásos beleegyezése volt. A tanulók külön szóbeli tájékoztatást kaptak a vizsgálat menetéről, és arról, hogy azt bármikor megszakíthatják. Az első vizsgálatot a Károli Gáspár Református Egyetem, a második kettőt az ELTE PPK Kutatásetikai Bizottsága hagyta jóvá.

Első vizsgálat - Az SMS és SMT feladat, valamint a ritmusreprodukció kapcsolata az olvasás és a fonológiai tudatosság színvonalával első osztályban¹

Az első vizsgálatban arra kerestük a választ, hogy magyar anyanyelvű iskolakezdő gyerekek körében is fennáll-e a nemzetközi szakirodalomban leírt összefüggés a ritmikai tesztek (SMS, SMT, ritmusreprodukció), valamint a fonológiai tudatosság (FT) és a szóolvasás színvonala között. A magyar anyanyelvű gyerekekkel végzett kutatások hiánya miatt a vizsgálódás bizonyos mértékig exploratív jellegű volt. Mivel a FT jelentősége az olvasás elsajátítása szempontjából kevésbé meghatározó a magyarhoz hasonló sekély ortográfiájú nyelvekben, így elképzelhetőnek tartottuk, hogy a ritmikai tesztek (SMS, SMT, ritmusreprodukció) és a szóolvasási teljesítmény között nem tárható fel kapcsolat. A vizsgált korcsoport fejlődési jellegzetességei miatt a játékosabb, motiválóbb zenei ingeranyag használata mellett döntöttünk. Módszertani szempontból fontosnak tartottuk annak feltárását, hogy ebben az esetben is

¹ A fejezet a Magyar Pszichológiai Szemlében megjelent „*A ritmikai szinkronizáció kapcsolata a fonológiai tudatossággal és az olvasással iskolakezdő gyerekeknél*” (Kertész és mtsai., 2020) című cikk alapján íródott.

megjelenik-e a széles körben megfigyelt anticipációs tendencia (átlagos negatív aszinkronitás - Negative Mean Asynchrony, NMA), mivel az ingeranyag komplexitásának hatásáról ellentmondásos eredmények állnak rendelkezésünkre. Az SMS mellett a ritmusreprodukciós feladatok is gyakran együttjárást mutatnak a nyelvi és olvasási területekkel, ezért megvizsgáltuk ennek szerepét is. A bemutatott szakirodalmi eredmények alapján a következő hipotéziseket fogalmaztuk meg:

1. A zenés inger esetében is megjelenik az anticipációs tendencia (NMA).
2. Az inger tempója hatással van az SMS feladat mutatóira (átlagos aszinkronitás, átlagos abszolút aszinkronitás, eltávolodás, folytatásos inkonzisztencia)
3. Az SMS feladatban mért teljesítmény (alacsony aszinkronitás, magas konzisztencia, alacsony mértékű eltávolodás) együttjárást mutat a szóolvasási teljesítménnyel (fluencia, pontosság), valamint a fonológiai tudatossággal.
4. A ritmusreprodukció pontossága együtt jár a szóolvasási teljesítménnyel (fluencia, pontosság) és a fonológiai tudatossággal.

Módszer

Résztevők

Harminckilenc első osztályos gyerek vett részt a vizsgálatban a 2019/20-as tanév során, akik a budapesti Németh Imre Általános Iskola tanulói voltak, mind önként jelentkeztek, szüleik írásos tájékoztatást kaptak a vizsgálat menetéről és beleegyező nyilatkozatot töltöttek ki. Átlagos életkoruk 7,2 év (SD = 0,46) volt, a lányok aránya 48,7%.

Eljárás

A vizsgálatok két időpontban zajlottak. A tanév kezdetén, októberben került sor az első ülésre, amelyben az SMS, SMT és ritmusreprodukciós feladatok szerepeltek, majd április és május során, a második alkalommal vettük fel a Fonológiai Tudatosság Tesztet és a Meixner Olvasólapot. Az utóbbiak későbbi felvételét az olvasás elsajátításának tanterv szerinti üteme indokolta. A vizsgálat során 2019. októberében összesen 39 iskolakezdő tanuló végezte el a ritmikai tesztbattériánkat, amely az SMT-ből és a három próbából álló SMS feladatból, illetve

egy ritmusreprodukciós feladatsorból állt (Asztalos & Csapó, 2017), valamint a tanév végén, április és május hónapokban mértük fel őket a Fonológiai Tudatosság Teszt (Jordanidisz, 2009), illetve a Sipos (2018) által sztenderdizált, az évfolyamnak megfelelő Meixner Olvasólap segítségével. A ritmikai tesztek a szerző egyedül, a nyelvi és olvasási feladatokat a szerző és egy a tesztek felvételében járatos fejlesztőpedagógus vette fel a gyerekekkel az általános iskola erre kijelölt külön helyiségében.

Mérőeszközök

Az SMS és SMT feladatok felvétele a korábban leírtak szerint történt zenei ingeranyag bemutatásával. Ezeknél a feladatoknál csak a leírtaktól eltérő elemeket mutatjuk be.

SMT és SMT

Az SMT feladatban az első 10 ütés átlagaként határoztuk meg a gyerekek spontán tempóját, illetve azok variációs együtthatójából az inkonzisztenciáját.

Az SMS feladatban az adatokat két érték alapján szűrtük. A 25 ms alatti ITI értékeket tapasztalat alapján a válaszeszköz artefaktumának tekintettük és eltávolítottuk, valamint a referencia IOI kétszeresét elérő értékeket is kihagytuk az elemzésből, mivel ebben az esetben a vizsgálati személy feltehetően kihagyott egy beat-et. A szinkronizációs szakasz jellemzésére két mutatót használtunk. Az aszinkronitások átlagát, amely negatív és pozitív értéket is felvehetett, valamint ezek abszolútértékének átlagát. A folytatásos szakaszban a referenciaérték hiányában a leütések szórásának átlagával, valamint a kezdőtempótól való eltávolodás mértékével jellemeztük a feladatvégzést. Az utóbbi mérőszámot a szakasz utolsó 10 ütésének átlagos ITI értéke és a kezdőtempó különbségéből számoltuk. Minden mutatót a referencia tempó, illetve a folytatásos szakasznál az átlagos ITI százalékában adtuk meg. Hogy robusztusabb mutatókat hozzunk létre, a három próba azonos mutatóinak átlagait használtuk az elemzésben (Ild. Lundetræ & Thomson, 2018; Politimou és mtsai., 2019; Woodruff Carr és mtsai., 2014). Az Eltávolodás változót exploratív módon hoztuk létre, amellyel a szakirodalomban leírt akcelerációs tendencia mértékét szerettük volna vizsgálni, mivel úgy gondoltuk, hogy hasonlóan az NMA-hoz, kapcsolatban állhat az olvasási teljesítménnyel (Repp, 2005; Repp & Su, 2013; Wolff, 2002).

Ritmusreprodukció

A vizsgálathoz az Asztalos által összeállított zenei képességteszt (Asztalos & Csapó, 2017) ritmusreprodukciós feladatát használtuk, amelyben a tanulóknak összesen 10, fokozatosan

nehezedő ritmust kellett tapsolva visszaismételniük. A vizsgálatvezető által készített hangfelvételeket 5 felsőfokú zenei végzettséggel rendelkező bíráló pontozta a mérőeszközhöz tartozó javítókulcs alapján. Egy ritmus visszaismétlésére 0-5 pontot, így összesen 50 pontot szerezhettek a vizsgálati személy. A pontozók az inter-rater reliabilitása elérte az elvárt értéket ($ICC = ,91, p < ,001, ICC(U) = ,91, p < ,001$). A vizsgálati személyek tapsolását Olympus WS650S diktafonnal rögzítettük.

Fonológiai tudatosság

Jordanidisz Ágnes Fonológiai Tudatosság Tesztjének (Jordanidisz, 2009) öt feladatát használtuk a gyerekek felmérésére: rímtalálás, szótagolás, hangszintézis, hosszú hang megnevezés és hangmanipuláció. A rímtalálás szubtesztben a tanulóknak összesen 5 hiányos mondatot kellett azok utolsó szavával kiegészíteni úgy, hogy az rímeljen a mondat első felének utolsó szavával. Például: “Magas hegyen túl / ugrál egy kis...”. A szótagolás feladatban 10, a vizsgálatvezető által elmondott szót kellett helyesen szótagolva visszaismételni (pl. “kon-cen-trál”). A hangszintézis feladatban 5 szó szerepelt, amelyeket a vizsgálatvezető fonémákra bontva, 1 mp-es szünetekkel ejtett ki. A tanulóknak ezeket kellett értelmes szavakká összeolvasztva visszaismételniük (pl. “s-t-a-d-i-o-n”). A hosszú hang megnevezés feladatban 10, a vizsgálatvezető által elmondott szóról kellett a tanulóknak eldöntenie, hogy annak melyik hangja hosszú (pl. “stoPPol”). Végül a hangmanipuláció feladatban 6 szónál kellett a gyerekeknek meghatározott módon fonéma-cserét végrehajtaniuk (pl. “Mondd ki: kés. Most mondj /s/ helyett /z/ hangot”), illetve további 4 szót visszafelé elismételniük (pl. “Mondd visszafelé: koros”). Minden szubtesztben a helyes válaszok száma jelentette annak pontszámát. Az elemzés során a feladatok nyerspontjainak összegéből képzett fonológiai tudatosság összpontszám mutatót (FT) használtuk.

Olvasás

A Sipos (2018) által sztenderdizált, elsősök számára készült Meixner-féle olvasólap szóolvasási feladatát használtuk a gyerekek felmérésére, amelyben fentről lefelé haladva 5 oszlopban kellett időre összesen 40, 1-2 szótagos szót felolvasniuk. Hibának tekintettük a betűtévesztéseket, betoldásokat, kihagyásokat, a hanghosszúság helytelen produkcióját azonban nem. A tanulók olvasását két mérőszámmal jellemeztük, a fluenciával, vagyis az olvasás idejével, illetve a hibázások számával.

Statisztikai elemzés

Az inger tempójának hatását ismételt mérések ANOVA segítségével vizsgáltuk a sfericitási feltétel sérülése esetén Geisser-Greenhouse, a post-hoc elemzésben pedig Bonferroni-korrektúrával. A változók normalitását a Shapiro-Wilk próbával teszteltük. A korrelációs elemzéshez a Pearson-féle együtthatót közöltük, a gyerekek nemének és korának hatását parciálással szűrtük ki.

Eredmények

Az inger tempójának hatása az szenzomotoros szinkronizációra

Az összes teszt mérőszámainak átlagát és szórását az 1. táblázatban közöljük nyerspontként. Az SMS feladat szinkronizációs (átlagos és átlagos abszolút aszinkronitás) és folytatásos (inkonzisztencia és akceleráció) szakaszában mért mutatóit ismételt mérések ANOVA segítségével elemeztük a bemutatott inger tempóját (80, 120, 150 bpm) használva faktorként.

Az átlagos aszinkronitásra hatással volt a tempó $F(1,6, 61,6) = 12,55, p < ,001$, szignifikáns különbséget találtunk a 80 és 120 ($p = ,007$), valamint a 80 és 150 bpm tempójú próbák ($p = ,001$), valamint az elvárt szignifikancia szintet megközelítőt a 120 és 150 tempójúak között ($p = ,056$). A legnagyobb mértékű NMA-t a lassú tempónál találtuk, a közepes tempónál ez az érték szintén negatív előjelű, de enyhébb volt, míg a 150 bpm-es tempónál pozitív aszinkronitást találtunk (1. táblázat). Az abszolút aszinkronitás mértékére elemzésünk szerint tendencia szintű hatással volt a tempó $F(2, 76) = 2,48, p = ,091$.

1. táblázat. Az SMS, SMT, ritmusreprodukció, valamint a fonológiai tudatosság és szóolvasás feladatok mutatóinak értékei

Változó	M (SD)	Változó	M (SD)
aszinkronitás (80)	-6,37 (8,36)	folyt. inkonzisztencia (150)	13,13 (6,49)
aszinkronitás (120)	-2,45 (7,51)	absz. aszinkronitás	13,85 (5,04)
aszinkronitás (150)	0,49 (6,54)	eltávolodás	-8,45 (8,81)
absz. aszinkronitás (80)	13,56 (5,96)	folyt. inkonzisztencia	12,61 (4,59)
absz. aszinkronitás (120)	12,65 (6,31)	SMT	122,81 (33,42)
absz. aszinkronitás (150)	15,35 (7,77)	SMT inkonzisztencia	8,59 (5,22)
eltávolodás (80)	-13,35 (14,62)	SMT eltávolodás	-11,55 (18,69)
eltávolodás (120)	-7,14 (10,86)	ritmusreprodukció	28,35 (7,69)
eltávolodás (150)	-4,86 (9,58)	FT összpontszám	28,43 (7,37)
folyt. inkonzisztencia (80)	12,94 (7,33)	szóolvasás hiba	4,39 (3,80)
folyt. inkonzisztencia (120)	11,78 (5,90)	szóolvasás fluencia	95,08 (50,42)

A kezdőtempótól való eltérés a folytatásos szakaszban mindhárom próbánál negatív előjelű volt, vagyis gyorsulós tendencia volt megfigyelhető. A tempó szignifikáns hatással volt az eltávolodás mértékére $F(1,8, 66,8) = 7,90, p = ,0013$. A 80 és 120 ($p = ,007$), illetve a 80 és 150 bpm ($p = ,006$) tempójú próbák közt mutatkozott különbség. Az akceleráció az alacsony tempót követően volt a legnagyobb, a gyors tempónál pedig a legkisebb mértékű. A folytatásos szakaszban mért inkonzisztenciára az inger tempójának nem volt szignifikáns hatása $F(2, 76) = ,62, p = ,541$.

A vizsgált tanulók körében az átlagos SMT 122,81 bpm volt, azonban nagymértékű egyéni változatosság mutatkozott ennek mértékében, amelyet a szórás ($SD = 33,42$) és a szélsőértékek ($min = 55, max = 225$) is jeleztek.

A szenzomotoros szinkronizáció és a ritmusreprodukció kapcsolata a fonológiai tudatossággal és az olvasással

A ritmikai és a nyelvi, olvasási feladatok közötti kapcsolat feltárására korrelációs elemzést végeztünk a bemutatott változókon. A korrelációs elemzéshez összevont SMS mutatókat képeztünk a különböző tempókból. Ennek eredményei a 2. táblázatban összesítve láthatók. A többszörös korrelációs elemzések miatti FDR (false discovery rate) korrekció segítségével kontrolláltuk az elsőfajú hiba növekedését.

A szóolvasási fluencia az átlagos abszolút aszinkronitással ($r = -,40, p = ,016$), valamint az eltávolodás változóval ($r = -,33, p = ,043$) mutatott negatív együttjárást, valamint pozitívat a spontán tempó nagyságával ($r = ,45, p = ,005$). Szintén az SMT-vel ($r = ,54, p = ,001$) és az eltávolodással ($r = -,41, p = ,013$) állt kapcsolatban az olvasási hibák száma.

Az FT összpontszám a Folytatásos inkonzisztencia ($r = -,40, p = ,015$), valamint az eltávolodás ($r = ,53, p = ,001$) (9. ábra) változókkal mutatott szignifikáns együttjárást, illetve tendencia szintűt az SMT-vel ($r = -,29, p = ,078$). Kevésbé erőteljes kapcsolatot találtunk a rímtalálás és a hangmanipuláció szubtesztekkel, amelyek egy-egy SMS és SMT mutatóval jártak együtt. A ritmusreprodukció feladat pontszáma nem állt kapcsolatban egyik FT vagy olvasási változóval sem.

2. táblázat. A fonológiai tudatosság és a szóolvasás kapcsolata a ritmikai szinkronizációs és ritmusreprodukciós feladatok mutatóival

Változók	abszolút aszink.	eltávolodás	folytatásos inkonz.	SMT	SMT inkonz.	ritmusrep.
FT összpontszám	,12	,53**	-,40*	-,29+	-,23	,18
szóolvasás hiba	-,26	-,41*	,18	,54**	-,05	-,00
szóolvasás fluencia	-,40*	-,33*	,21	,45**	-,05	,13

* $p < ,05$; ** $p < ,01$

Az első vizsgálat diszkussziója

Az első vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a zenei ingeranyag SMS és az SMT feladatok alkalmasak egyéni különbségek mérésére magyar anyanyelvű iskolakezdő gyerekek körében. A spontán tempó 120 bpm körüli átlagos értéke megfelel a szakirodalomban leírt, erre a korosztályra vonatkozó adatoknak (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006; Thompson és mtsai., 2015; van Noorden & Moelants, 1999). Az SMT 6-8 éves kor körül markánsan csökken a megfigyelések szerint, a mutató általunk mért magas szórása és szélsőséges alsó és felső értékei feltehetően azt tükrözik, hogy a gyerekek ebben az idegrendszeri érésel összefüggésbe hozott átmenetben nem azonos ütemben haladnak.

Az inger tempójának hatása az SMS feladatban

Az anticipált válaszadás széles körben megfigyelt jelensége (NMA) az inger tempójától függően jelent meg a gyerekek feladatvégzésében. Értéke a 80 bpm-es tempónál volt a legmagasabb, a 120 bpm-es próbákban enyhébb, de szintén negatív, a 150 bpm-esekben pedig - bár nem tértek el szignifikánsan a közepes tempó értékeitől - zéróhoz közeli, enyhén pozitív

volt, vagyis a válasz jellemzően inkább követte a referenciát. Az NMA tehát a komplex ingeranyag mellett is megjelent, ami megerősíti a zenével történő tesztelés megközelítésének validitását a vizsgált korosztályban. Mivel ebben a vizsgálatban nem szerepelt metronóm inger, az ingerkomplexitás hatásáról nem alkothattunk képet. A 150 bpm-es tempónál mért nullához közeli érték a magas abszolút aszinkronitási mutatóval együtt nézve nem pontos feladatvégzést tükröz, hanem a hibázások jellegének változását, amelynek következtében a pozitív és negatív aszinkronitások hasonló mértékben jelentek meg. Az NMA csökkenése a tempó növekedésével egybevág a korábban leírt szakirodalmi adatokkal (Repp, 2003).

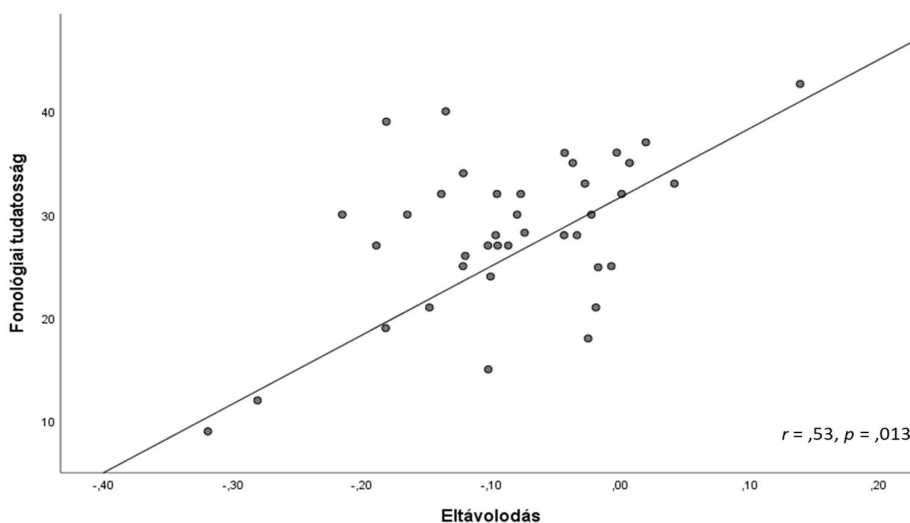
A szinkronizáció pontosságára, vagyis az abszolút aszinkronitásra csupán tendencia szinten volt hatással a zene tempója, ez a korlátozottan általánosítható eredmény azonban egybevág a szakirodalomból ismertekkel. A legalacsonyabb értéket, vagyis a legpontosabb feladatvégzést a 120 bpm-es tempónál találtuk, amely érték a legközelebb állt a gyerekek spontán tempójához. A szinkronizáció fejlődése során az SMT csökkenésével párhuzamosan lesz egyre szélesebb azon tempók skálája, van Noorden (1999) fogalmával élve a “rezonancia görbe”, amelyben sikeres szinkronizációra képesek a gyerekek.

A folytatásos szakaszban mindhárom tempónál negatív előjelű eltávolodást találtunk a kezdőtempótól, vagyis a gyerekek jellemzően felgyorsultak. Ennek nagysága a kezdőtempó szerint változott. Az alacsony tempójú szinkronizációs szakasz után volt a legnagyobb mértékű az akceleráció, míg a 120 és 150 bpm tempójú próbáknál ez az érték alacsonyabb volt, ugyanakkor nem tűnt el, vagy vált pozitív előjelűvé, mint az NMA esetében. Mindebből úgy tűnik, hogy az SMT „vonzása” mellett más tényezők is állhatnak a gyorsulási tendencia hátterében, például a gátló funkció fejlettsége (Moreno & Farzan, 2015).

Az inger tempója nem volt hatással a folytatásos szakaszban mért inkonzisztenciára. Ez az eredmény részben magyarázható az aszinkronitás és a konzisztencia reciprok viszonyával. A hibakorrekció során, amely az aszinkronitások csökkentését célozza, az inkonzisztencia jellemzően nő (Madison, 2001; Semjen és mtsai., 2000). A folytatásos szakaszban azonban referencia híján nincsen szükség hibakorrekcióra, így a feladatvégzés során nem figyelhető meg az átlagos aszinkronitáshoz hasonló változás.

Az SMS és SMT feladatok kapcsolata az olvasással és a fonológiai tudatossággal

A fonológiai tudatosság összpontszámmal (FT) az anticipációs tendenciával összefüggésbe hozható eltávolodás mutató, illetve a szintén a folytatásos szakaszt jellemző konzisztencia mutató állt kapcsolatban. Az eltávolodás és a FT nem csak a 0 értékig, hanem a pozitív tartományban is együttjárt, vagyis a legmagasabb fonológiai tudatosság pontszámot azok a gyerekek érték el, akik nem csupán megtartották a tempót, de le is lassultak.



9. ábra. A fonológiai tudatosság és a folytatásos szakaszban mért eltávolodás kapcsolata.

A szóolvasási hibák száma kapcsolatban állt az eltávolodás és az SMT mutatóval is. Azok a gyerekek, akik képesek voltak ellenállni az akcelerációs tendenciának, illetve akiknek alacsonyabb volt a spontán tempójuk, kevesebb hibát vétettek.

Az eltávolodás és az SMT mutató kiemelt szerepére egy lehetséges magyarázatot kínál a már említett rezonancia görbe (van Noorden & Moelants, 1999). Feltételezhető, hogy a csupán kis mértékű gyorsulást, vagy akár lassulást produkáló gyerekek spontán tempója alacsonyabb volt, ezért a lassabb érték felé "húzta" a folytatásos szakasz tempóját, így azok a gyerekek értek el magasabb pontszámot az FT és olvasási feladatokban, akiknél a spontán tempó csökkenése, amely összefüggésbe hozható az idegrendszer éréseivel, már előrehaladottabb volt.

Egy ezzel nem ellentétes alternatív magyarázat szerint azok a gyerekek sikeresebbek a FT feladatokban, akiknek a gátló funkciója fejlettebb, ezáltal az anticipációs és gyorsulós tendenciának képesek ellenállni. Ez utóbbi elképzelés egybeesik azon véleményekkel, melyek szerint a zenei tevékenységek transzferhatásai a végrehajtó funkciók fejlesztésén keresztül érvényesülnek (Moreno & Bidelman, 2014; Moreno & Farzan, 2015; Provasi és mtsai., 2014). A folytatásos szakaszban mért inkonzisztencia kapcsolata a fonológiai tudatossággal a korábbi magyar anyanyelvű gyerekekkel végzett vizsgálat (Maróti és mtsai., 2019) eredményeihez hasonlóan közepes erősségben együttjár a FT pontszámmal.

Az olvasás fluenciáját vizsgálva ellentmondásos eredményekre jutottunk. Míg a változó jól magyarázhatóan negatív együttjárást mutatott az eltávolodással, szintén negatív kapcsolatban állt az abszolút aszinkronitással, amely azt jelenti, hogy a nagyobb pontossággal szinkronizáló gyerekeknek hosszabb ideig tartott a szavak elolvasása. Felmerül a kétség az aszinkronitás mutató ebben a formában való hasznosságával kapcsolatban, hiszen egyedül a fent említett szignifikáns kapcsolatot találtuk vele, amely az elvárásainkkal, illetve a többi mutató működésével ellentétes. Későbbi vizsgálatokban indokolt a változó módszertani újragondolása. Hasonlóan az SMT esetében is elgondolkodtató a pozitív kapcsolat, amely szerint az alacsony spontán tempót produkálók hosszabb ideig olvasták a szavakat. Az utóbbi eredmény azonban a hibázások számával összevetve mégis értelmezhető. Feltehetően az alacsony SMT-t produkáló gyerekek alacsony fluencia pontszáma olyan olvasási stratégiát tükröz, amelyben a pontosabb olvasást lassabb tempóval érik el a tanulók, míg másoknál a magas spontán tempó mint feladatvégzési karakterisztika megjelenik az olvasásban is, de több hibázást is okoz.

A fenti adatok fényében úgy tűnik, azok az SMS és SMT mutatók álltak kapcsolatban a nyelvi és olvasási teljesítménnyel, amelyek nem az ingerhez való alkalmazkodást, hanem az önálló, referencia nélküli feladatvégzést jellemezték. Ez a fajta produkció, mint korábban már körüljártuk, minőségileg különbözik a szinkronizációtól, hiszen nem része a hibakorrekciónak, de támaszkodhat a munkamemóriára, mivel a beat belső reprezentációját kell a vizsgálati személynek fenntartani (Puyjarinet és mtsai., 2017), így későbbi vizsgálatokban indokoltnak látjuk ennek kontrollálását. Mivel a szinkronizáció során a hibakorrekciónak az aszinkronitások csökkentése mellett alacsonyabb konzisztenciát is eredményez (Madison, 2001; Semjen és mtsai., 2000), a jövőben a szinkronizációs szakaszban ennek mérése is célszerű lenne. Elképzelhető, hogy a zenés ingerek komplexitásuknál fogva összességében túl nagy kihívást jelentettek a résztvevők számára, így nem voltak alkalmasak a nyelvvel és olvasással

kapcsolatos egyéni különbségek feltárására. Ennek eldöntéséhez azonban szükséges a metronómhanggal való összehasonlítás.

Meglepő módon annak ellenére, hogy a szakirodalomban számos példa áll rendelkezésünkre a ritmusreprodukció és a fonológiai tudatosság, illetve az olvasás kapcsolatára (David és mtsai., 2007; Steinbrink és mtsai., 2019), jelen vizsgálatban nem látszott ilyen összefüggés. Bár csupán a spekuláció szintjén, elképzelhető, hogy mivel a reprodukció során feltehetően előnyt jelent, ha a tanulók ismerik a Kodály-módszerben is használt ritmus szótagokat (“tá”, “ti-ti”), ennek az iskolakezdekor egyáltalán nem alapértelmezett tudásnak a megléte, vagy hiánya torzíthatja az eredményeket. További jellegzetessége a ritmusreprodukciós feladatnak, hogy implicit módon a rövidtávú emlékezetet is méri, amely tovább bonyolítja a feltárni kívánt összefüggéseket, a későbbi vizsgálatokban ezért indokolt ennek, illetve további általános kognitív képességeknek a kontrollálása.

Az első eredmények az SMS és SMT feladatokkal biztatóak, hiszen kapcsolat mutatkozott a fonológiai tudatossággal és az olvasás szintjével, ugyanakkor számos újabb kérdést is felvetnek. Ezek tisztázására az SMS feladat módszertanának újragondolása, jelesen a metronóm ingeranyaggal való kiegészítése és az említett konzisztencia mutató bevezetése mellett indokolt a tesztbatteria bővítése is az olvasás olyan kognitív prediktoraival, mint a verbális munkamemória, az általános intelligencia, a szókincs és a RAN.

Második vizsgálat - Az SMS és SMT feladat, valamint általános kognitív teljesítmények kapcsolata az olvasás, a helyesírás, a fonológiai tudatosság színvonalával első osztályban²

A második vizsgálatban a szinkronizáció és a fonológiai tudatosság, valamint az olvasás között korábban feltárt kapcsolatot kívántuk részletesebben feltérképezni, illetve kizárni az olyan háttérváltozók esetleges szerepét, mint a munkamemória, a nonverbális intelligencia, a szókincs és a RAN, ezért ezeket beépítettük a tesztbattériába. Továbbá az olvasás és a fonológiai tudatosság felmérésére nemzetközileg is elfogadott, nagymintás magyar sztenderddel rendelkező mérőeszközt választottunk (3DM-H). Az új mérőeszköz használatával lehetővé vált a gyerekek helyesírásának tesztelése is, amely – mint az elméleti részben tárgyaltuk – szintén gyakori együttjárást mutat a ritmikai képességekkel, az olvasással szoros összefüggésben.

Az SMS feladat kiegészült metronóm ingeres próbákkal, illetve az adatok elemzésére más megközelítést alkalmaztunk. A szinkronizációs szakaszban a szakirodalomban érzékelhető trendeknek jobban megfelelő cirkuláris és a korábban már használt lineáris elemzés segítségével aszinkronitási és konzisztencia mutatókat hoztunk létre. Ezek a változtatások lehetővé tették nem csak az általános kognitív területek beemelését az elemzésbe, de annak a vizsgálatát is, hogy az alkalmazott ingerek komplexitása milyen módon hat a szinkronizációs teljesítmény különböző aspektusaira. A korábbi vizsgálat és a szakirodalmi adatok alapján a következőket feltételeztük:

1. A komplex zenei ingeranyag a metronómhoz képest pontosabb feladatvégzést eredményez, mivel a ritmikai szubdivízió megkönnyíti a szinkronizációt.
2. Az SMS és SMT feladatok mutatói az olvasás, a fonológiai tudatosság és a helyesírás ismert kognitív prediktorai mellett saját magyarázóerővel bírnak ezek varianciájára nézve.

² A fejezet a *Frontiers in Psychology*-ban megjelent *“Tapping to Music Predicts Literacy Skills of First-Grade Children”* (Kertész & Honbolygó, 2021) című cikk alapján íródott.

Módszer

Résztevők

A 2020/21-es tanév kezdetén 37 iskolakezdő tanulót mértünk fel. Átlagos életkoruk 7,4 év volt (SD = 0,4), a lányok aránya 48,6%.

Eljárás

A vizsgálatokra két ülésben került sor, amelyeket márciusra terveztünk, az első mérések után azonban a COVID-19 pandémia miatti iskolalátogatási tilalom következtében a második ülésekre csak szeptemberben kerülhetett sor. Az első ülés során az SMT és SMS feladatokat, valamint a WISC-IV intelligencia teszt három szubtesztjét (mozaik, számterjedelem, szókincs) végezték el a tanulók, a második ülésben pedig a 3DM-H négy feladatát (olvasás, helyesírás, fonológiai tudatosság, RAN).

Mérőeszközök

SMT feladat

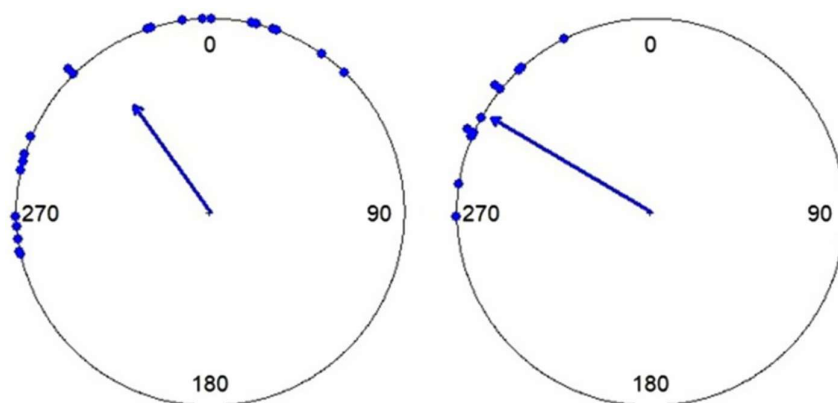
A spontán motoros tempó feladat felvétele a korábban leírtak szerint történt, a használt adatelemzés az 1. vizsgálathoz képest a következők szerint változott. Az összes vizsgálati személytől begyűjtött adatot összesítve meghatároztuk a kiugróan hosszú, illetve rövid ITI értékeket. Az első kvartilisnél 3 IQR-rel (interkvartilis terjedelem) kisebb, illetve a harmadik kvartilisnél 3 IQR-rel nagyobb értékeket eltávolítottuk az elemzésből. Azokat a próbákat tekintettük érvényesnek, ahol legalább 10 valid ütés állt rendelkezésre. A feladatvégzést két mérőszámmal jellemeztük: az átlagos ITI, vagyis tempó, amelyet az SMT változóként közöltünk, illetve az ITI értékek szórása elosztva az átlagos egyéni SMT értékével, amelyet 1-ből kivonva kaptuk a 0 és 1 közötti SMT konzisztencia változót.

SMS feladat

A szenzomotoros szinkronizációs feladatok jelen vizsgálatunkban kiegészültek a metronóm ingeres próbákkal a korábban leírt módon. Az elemzés során az SMT feladattal megegyező módon, próbánként összesítve az adatokat, kiszűrtük a szélsőséges ITI értékeket. Az első 10 ütést, amely alatt feltételeztük, hogy a gyerekek képesek szinkronba kerülni az ingerrel, eltávolítottuk. Ezután minden feladat adatain elvégeztük a Rayleigh próbát. Amennyiben ennek szignifikancia szintje meghaladta a 0,05 értéket, az ütések véletlenszerűnek tekintettük és

kihagytuk az elemzésből. Ez összesen 55 próbát (12%) érintett, 35-öt (16%) első és 20-at (9%) harmadik osztályon (lsd. 3. vizsgálat).

A szinkronizációs szakasz elemzését a cirkuláris és lineáris megközelítés ötvözésével végeztük. A leütéseket egy egység sugarú kör kerületén reprezentálva az ezekre mutató vektor függőlegessel bezárt szöge jelezte az aszinkronitást. A hipotetikus tökéletes szinkront jelentő 0° -tól való negatív eltérés megelőző, míg a pozitív a referenciát követő ütést jelez. Amennyiben például a 120 bpm-es (500 ms) próbában egy ütés 125 ms-mal megelőzte a beat-et, a vektor -90° -os szöget zárt be a függőleges tengellyel. Az egyes ütésekhez tartozó vektorok eredője (R) adta a teljes próba átlagát. Ennek iránya jelezte az ütések pontosságát, míg a vektor hossza az aszinkronitások szórását, vagyis a konzisztenciát (lsd. 10. ábra). Az elemzéshez a konzisztencia mutatót használtuk, amely maximális 1 értéke jelenti a tökéletes konzisztenciát. Az átlagos aszinkronitás méréséhez megtartottuk az 1. vizsgálatban használt lineáris mutatót, vagyis az aszinkronitások abszolútértékének átlagát.



10. ábra. Egy tanuló ütéseinek kördiagramjai két próbában. A pontok az egyes ütések mutatják, míg a nyíl az eredő vektort jelöli. Az első esetben (balra) az ütések kevésbé konzisztensek, amit az eredő vektor hosszúsága jelez, míg a vektor iránya nagyobb pontosságot mutat. A második esetben (jobbra) a konzisztencia magasabb, de a vektor iránya jelzi a vsz erősebb átlagos anticipációját.

A folytatásos szakaszban is a korábban leírt módon azonosítottuk és távolítottuk el a kiugró ITI értékeket, illetve itt is a legalább 10 valid ütést tartalmazó próbákat tekintettük érvényesnek. Az átlagos ITI értékek szórásából számolt variációs együtthatót 1-ből kivonva, a szinkronizációs szakaszhoz hasonlóan 0-tól 1-ig terjedő konzisztencia értékkel jellemeztük a feladatvégzést, ahol az 1-es érték jelentette a tökéletes konzisztenciát. Az egyes próbák mutatóiból átlagot képezve létrehoztunk összesen 6 összegzett mutatót a metronómos, illetve a zenés feladatokra vonatkozóan (aszinkronitás, konzisztencia és folytatásos konzisztencia).

Általános kognitív képességek

A gyerekek általános kognitív képességeinek felmérésére a vizsgált korosztálynak megfelelő Wechsler Intelligenciatesztet, a WISC negyedik kiadását használtuk (Nagyné Réz és mtsai., 2008; Wechsler, 2003), amelynek négy szubtesztjét vettük fel a tanulókkal. A nyerspontokat a WISC-IV kézikönyvben szereplő életkori átlagok alapján sztenderd ponttá alakítottuk. A non-verbális intelligenciát és vizuo-motoros fejlettséget mérő mozaik próbában a gyerekeknek meghatározott ábrákat kellett piros-fehér színű kockákból időre előállítaniuk. Amennyiben 3 egymást követő ábránál nem sikerült pontot elérniük, a tesztfelvétel véget ért. A munkamemória vizsgálatára használt számterjedelem szubtesztben egyre hosszabb, verbálisan bemutatott számsorokat kellett az első feladatban megegyező, majd fordított sorrendben visszaismételniük. A tesztfelvétel addig folytatódott, ameddig a vizsgálati személy az egymást követő két azonos hosszúságú számsor közül legalább az egyiket helyesen tudta felidézni. A két feladat helyes válaszainak összege adta az összpontszámot. Végül a szókincs szubtesztben a gyerekeknek összesen 36 kifejezést kellett a saját szavaikkal meghatározni. A válaszokat a WISC-IV kézikönyv alapján pontoztuk. A jó minőségű válaszokért kettő, a kevésbé pontos leírásokért egy pont járt, a helytelenekért pedig nem kapott pontot a vizsgálati személy. Amennyiben nem tudott pontot érő választ adni 5 egymást követő kérdésre, a tesztfelvétel véget ért.

Nyelvi és olvasási tesztek

A tanulókkal a Dyslexia Differential Diagnosis, Maastricht, számítógépes olvasásdiagnosztikai program magyar adaptációjának (3DM-H, Blomert & Vaessen, 2009; Tóth és mtsai., 2014) négy feladatát vettük fel. Az olvasás szubtesztben a tanulóknak egyre hosszabbodó gyakori, ritka, majd álszavakat kellett függőleges oszlopokban felolvasniuk. Egy próba 30 másodpercig tartott. A feladatot a program által készített hangfelvételek alapján utólag elemeztük. Hibának tekintettük a betűtévésztesztéseket, toldásokat, kihagyásokat, illetve a helytelen hosszúságot a magán- és mássalhangzók kiejtésében (Tóth és mtsai., 2014).

A program minden szubtesztre pontosság és fluencia pontszámot, valamint egy ezeket összegző összevont változót kalkulált. A gyerekek fonológiai tudatosságát a fonémátörlés feladattal mértük fel, amelyben 27 fokozatosan növekvő hosszúságú, verbálisan prezentált álszót kellett egy-egy megadott fonéma kihagyásával visszaismételnük. A helyesírás szubtesztben a résztvevőknek a fejhallgatón keresztül és a számítógép képernyőjén vizuálisan egyidőben bemutatott szavak egy-egy hiányzó betűjét kellett kiválasztaniuk négy lehetőség közül, színkód segítségével. A helyes válaszok százalékos arányát használták a teljesítményük mérésére. A fonológiai tudatosság és a helyesírás szubtesztek értékelésére a helyes válaszok aránya alapján számolt pontossági mutatót használtuk. Végül a RAN feladatban a gyerekeknek 2×3 betű-, szám- és képsorozatot kellett a minél gyorsabban megnevezniük fentről lefelé haladva. Az elemzésekben az olvasás kivételével, ahol a fluenciát és a pontosságot külön vizsgáltuk, az összevont skálamutatókat használtuk, illetve a teszt összes változóját z-score-ként használtuk.

Statisztikai elemzés

Az elemzésben szereplő összes változó esetében eltávolítottuk azokat a kiugró értékeket, amelyek az első kvartilisnél 1,5 IQR-rel kisebbek, vagy a harmadik kvartilisnél 1,5 IQR-rel nagyobbak voltak. A zenei és metronóm ingeres próbák közötti különbségek vizsgálatához összetartozó mintás t-próbákat végeztünk. A változók normalitását a Shapiro-Wilk módszerrel teszteltük. Lineáris regressziós modellek segítségével vizsgáltuk, hogy mely változók állnak kapcsolatban az olvasás pontosságával és fluenciájával, a helyesírással és a fonológiai tudatossággal. A modelleket automatikus stepwise módszerrel hoztuk létre, amely a változókat 0,05-ös szignifikancia szint alatt szerepeltette, 0,1-es szignifikancia szint felett pedig kihagyta a modelltől. A gyerekek nemének és életkorának hatását Welch-féle t-próba és korrelációs elemzés segítségével vizsgáltuk (Izd. Melléklet). Mivel egyik változónak sem volt szignifikáns hatása a célváltozókra, nem szerepeltettük őket a lineáris modellekben. Annak meghatározására, hogy a minta elemszáma megfelelő-e az elvégzett statisztikai elemzésekhez, post-hoc erő elemzést végeztünk a GPower szoftvercsomag (Faul és mtsai., 2009) segítségével.

Eredmények

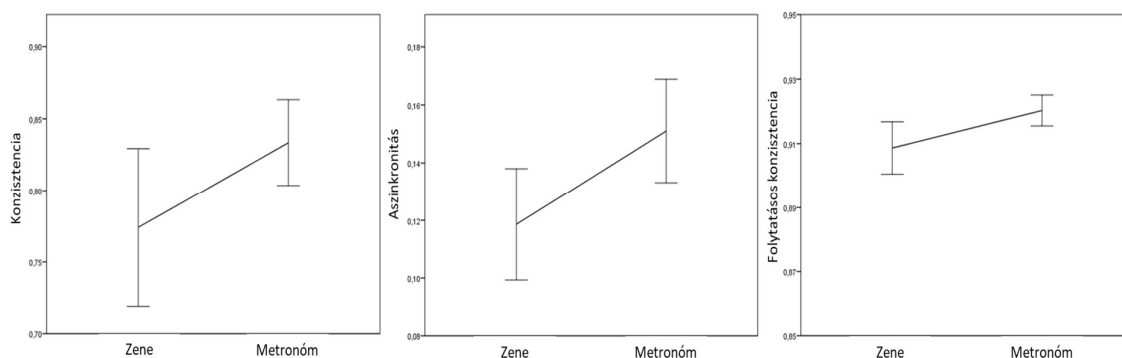
A 2. és 3. vizsgálat során felvett tesztek összes változójának leíró statisztikáit a 3. táblázatban közöltük.

3. táblázat. Az összes első és harmadik osztályban felvett teszt eredményeinek leíró statisztikái.

Változó	1. osztály				3. osztály			
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
helyesírás	48,67	10,53	23	71	47,92	10,18	31	76
fonológiai tudatosság	51,25	6,60	39	63	48,30	7,05	33	63
olvasás fluencia	2,31	1,00	0,57	4,46	3,74	1,24	1,17	6,63
olvasás pontosság	0,90	0,08	0,68	1,00	0,94	0,68	0,73	1,00
olvasás össz.	56,00	11,38	30	76	51,70	10,69	26	74
RAN	54,86	9,63	34	70	50,95	9,17	35	69
Számterjedelem	11,06	2,14	6	16	10,10	2,22	5	15
mozaik	12,03	3,48	5	19	10,76	2,64	4	16
szókincs	14,68	3,01	7	19	12,35	1,95	8	17
konzisztencia – zene	0,76	0,16	0,44	0,94	0,83	0,14	0,50	0,96
konzisztencia – metronóm	0,83	0,08	0,62	0,94	0,83	0,10	0,59	0,94
aszinkronitás – zene	0,12	0,06	0,04	0,25	0,08	0,05	0,03	0,21
aszinkronitás – metronóm	0,15	0,05	0,08	0,24	0,11	0,06	0,04	0,25
folyt. konzisztencia – zene	0,91	0,02	0,86	0,95	0,92	0,03	0,86	0,96
folyt. konzisztencia – metronóm	0,92	0,01	0,88	0,95	0,93	0,02	0,9	0,96
SMT	115,63	26,27	77,92	193,55	114,68	38,31	53,10	206,90
SMT konzisztencia	0,92	0,03	0,04	0,16	0,93	0,03	0,03	0,14

Az ingeranyag hatása a feladatvégzésre az SMS feladatban

Hogy megvizsgáljuk a metronóm és zenei ingeranyag melletti feladatvégzés közötti különbséget, a három SMS mérőszámot (konzisztencia, aszinkronitás, folytatásos konzisztencia) összetartozó mintás t-próbák segítségével hasonlítottuk össze (ld. 11. ábra). A konzisztencia mutatók között szignifikáns különbség mutatkozott $t(30) = -2,59, p = ,015; d = -0,47$. A metronómos próbákban magasabb értéket találtunk ($M = 0,83, SD = 0,09$, mint a zenésnél ($M = 0,76, SD = 0,16$). Szintén eltért egymástól az átlagos abszolút aszinkronitás is $t(33) = 3,02, p = ,005; d = -0,52$. Az aszinkronitás mértéke alacsonyabb volt a zenével ($M = 0,12, SD = 0,06$) történő kopogásnál, mint a metronómmal ($M = 0,15, SD = 0,05$). Végül a folytatásos szakasz konzisztencia mutatójánál is eltérést találtunk $t(32) = -3,47, p = 0,002; d = -0,60$ a zenés ($M = 0,91, SD = 0,02$) és metronómos próbák között ($M = 0,92, SD = 0,01$), az utóbbi javára.



11. ábra. Az inger típusának (zene, metronóm) hatása az SMS konzisztencia, az aszinkronitás és a folytatásos konzisztencia mutatókra.

A szenzomotoros szinkronizációs és az olvasási, nyelvi mutatók közötti kapcsolat

Összesen 4 többszörös lineáris regressziós modellt építettünk annak vizsgálatára, hogy az SMS feladat és az általános kognitív képességeket mérő tesztek mutatói hogyan prediktálják az olvasás pontosságát és fluenciáját, illetve a fonológiai tudatosságot és a helyesírást. A következő független változók kerültek be az elemzésbe: zenés konzisztencia, metronómos konzisztencia, zenés aszinkronitás, metronómos aszinkronitás, zenés folytatásos konzisztencia, metronómos folytatásos konzisztencia, SMT, SMT konzisztencia, mozaik próba, számterjedelem, szókincs, RAN. A végső modellek koefficienseit a 4. táblázatban közöltük,

vizuálisan pedig a 12. ábra jeleníti meg ezeket. A felállított modellek statisztikai erejét post-hoc erő elemzéssel vizsgáltuk. Az első modellünk (fonológiai tudatosság) esetében ez meghaladta az elvárt értéket (0,9), a másodikonál (helyesírás) megközelítette azt (0,74), míg a harmadik és negyedik modellnél (olvasás fluencia és pontosság) egyértelműen alatta maradt (0,62 ; 0,62), így ezek eredményei korlátozottan általánosíthatóak.

A fonológiai tudatosság pontszámot legjobban egy olyan szignifikáns modell prediktálta $F(1, 28)=11,07, p=,002, R^2=,28$, amelyben a zenés konzisztencia mutató ($t = 3,327, p = ,002$) volt az egyedüli változó. A kihagyott változók közül a mozaik próba pontszáma megközelítette a kívánt szignifikancia szintet ($p = ,066$). A standardizált reziduálisok elemzésekor nem találtunk kiugró értéket (Min = -2,12, Max = 1,91). A hibák függetlenségének előfeltétele teljesült a Durbin-Watson-érték (2,26) alapján. A standardizált reziduálisok hisztogramja alapján a hibák eloszlása megközelítőleg normális volt, amit az elfogadható illeszkedést mutató P-P ábra is megerősített. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramját vizsgálva azt találtuk, hogy az adatok megfelelnek a szóráshomogenitására és a linearitásra vonatkozó előfeltételeknek. A változók varianciájának nullától való eltérésének feltétele is teljesült (zenés konzisztencia = 0,02; fonológiai tudatosság = 0,67).

A helyesírás változó varianciáját egy olyan lineáris modell $F(1, 28)=7,07, p=,013, R^2=,20$ írta le, amelyben független változóként a zenés aszinkronitás mutató szerepelt ($t = -2,66, p = ,013$). A standard reziduálisok elemzése szerint az adatok nem tartalmaztak kiugró értékeket (Min = -2,48, Max = 2,50) és megfeleltek a független hibák előfeltételének (Durbin-Watson érték = 2,65). A standardizált reziduálisok hisztogramja alapján a hibák megközelítőleg normális eloszlásúak voltak, valamint ezek P-P ábrája is elfogadható eltérést mutatott az egyenestől. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramja szerint adatok megfeleltek a szóráshomogenitási és a linearitási feltételeknek. A változók varianciája eltért a nulla értéktől (zenés aszinkronitás = 0,003; Helyesírás = 0,39).

Szignifikáns modellt találtunk $F(1, 28) = 5,23, p = ,030, R^2= ,16$, amelyben az olvasási fluencia pontszámot a metronómos konzisztencia értéke prediktálta ($t = 2,29, p = ,030$). A standard reziduálisokat elemezve megállapítottuk, hogy az adatok nem tartalmaznak kiugró értékeket (Min = -1,80, Max = 1,97). A hibák függetlenségének feltétele teljesült (Durbin-Watson-érték = 2,35). A hibák elfogadhatóan normális eloszlását találtuk a standardizált reziduálisok hisztogramja és P-P ábrája alapján. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramja alapján szóráshomogenitására és a linearitásra vonatkozó feltételek nem

sérültek. A változók varianciái eltértek a nulla értéktől (metronómos konzisztencia = 0,007; olvasás fluencia = 0,99).

Végül az olvasás pontosságát szintén egy egy változót tartalmazó modell prediktálta $F(1, 28) = 5,38, p = ,03, R^2 = 0,16$, amelyben a zenés konzisztencia változó ($t = 2,32, p = ,03$) jelezte azt előre. A standardizált reziduálisok elemzése során nem tartalmaznak kiugró értékeket (Min = -2,72, Max = 1,53). A hibák függetlenségén feltétele a Durbin-Watson-érték (2,50) szerint teljesült. A standardizált reziduálisok hisztogramja és P-P ábrája megközelítőleg normális eloszlású hibákat mutatott. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramja azt mutatta, hogy a szórás-homogenitási és a linearitási feltételek nem sérültek. A változók varianciája az elvárt módon eltért a nulla értéktől (zenés konzisztencia = 0,024; olvasás pontosság = 0,008).

4. táblázat. Az első osztályos fonológiai tudatosságot, helyesírást, valamint az olvasási fluenciát és pontosságot prediktáló végső modellek koeficiensei.

Változó	fonológiai tudatosság			helyesírás			olvasás fluencia			olvasás pontosság					
	B	β	SE	B	β	SE	B	β	SE	B	β	SE			
konstans	-2,88**		0,66	konstans	-0,34	0,25	konstans	-1,58	1,69	konstans	0,72**	0,08			
konz. (zene)	2,81**	0,53	0,85	aszink. (zene)	-4,96*	1,87	-0,45	konz. (metronóm)	4,66*	2,04	0,40	konz. (zene)	0,23*	0,10	0,40
R ²	0,28**			R ²	0,20*			R ²	0,16*			R ²	0,16*		

* $p < ,05$ ** $p < ,01$.

A második vizsgálat diszkussziója

A második vizsgálatban arra kerestük a választ, hogy (1) az SMS feladat bír-e magyarázó erővel az olvasás, a helyesírás és a fonológiai tudatosság mellett azok ismert kognitív prediktorai (non-verbális intelligencia, szókincs, munkamemória, RAN) mellett, illetve, hogy (2) milyen hatással van az inger komplexitása az SMS feladatban mért teljesítményre (aszinkronitás, konzisztencia).

A spontán tempó feladatban 115 bpm átlagos sebességet találtunk, ami megfelel a korábbi vizsgálatunkban mért, valamint a szakirodalomban található értékeknek (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006; Thompson és mtsai., 2015; van Noorden & Moelants, 1999), ez azonban most is nagy egyéni különbségeket mutatott a 76 és a 196 bpm-es szélső érték között.

Az inger típusának hatása az SMS feladatban

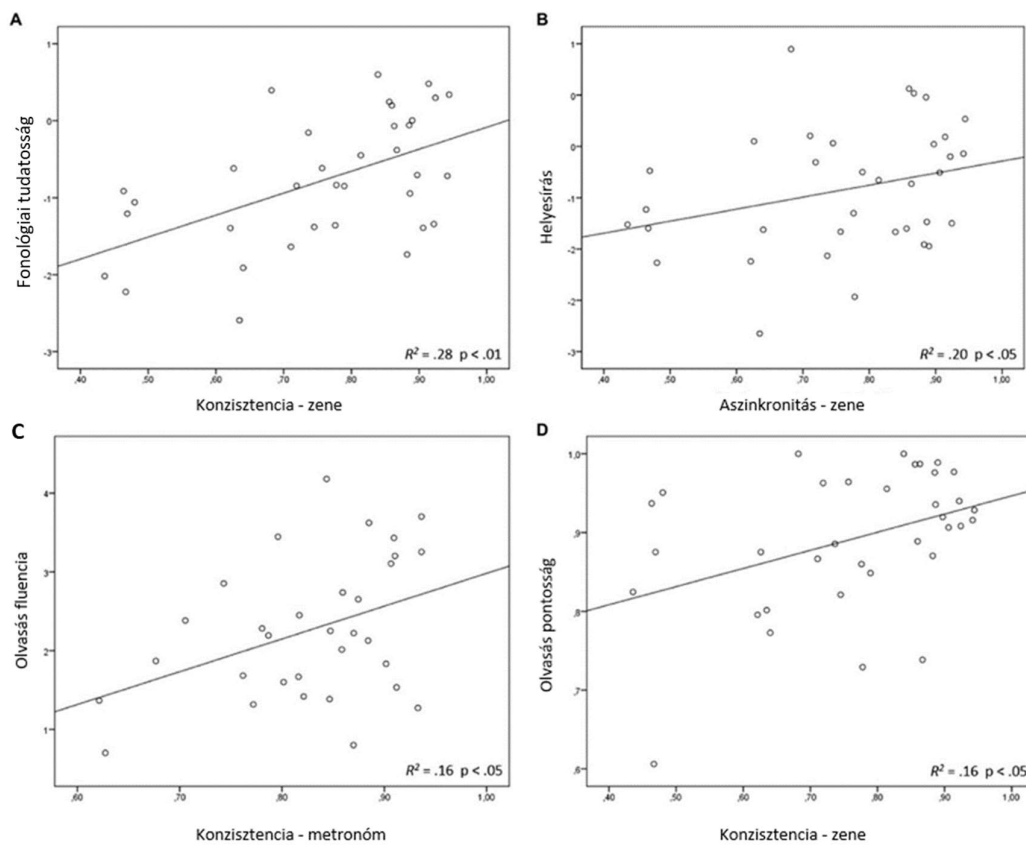
Az ingertípus hatását vizsgálva az SMS feladat mutatóira különbségeket találtunk a zenei és metronómhangos próbák között. Míg az utóbbinál magasabb volt az ütések konzisztenciája, a zenei inger mellett alacsonyabb aszinkronitás értékeket találtunk a szinkronizációs és a folytatásos szakaszban egyaránt. A konzisztencia és az aszinkronitás ellentétes irányú változása egybevág Dalla Bella és mtsai (2017) felnőttekkel, illetve Einarson (2017) óvodáskorú gyerekekkel végzett vizsgálatainak eredményeivel és jól magyarázható a hibakorrekción mechanizmusával. A zenés inger magasabb komplexitásával több ritmikai támpontot nyújt, amelyet a vizsgálati személyek a sikeres hibakorrekciónhoz felhasználhatnak, ugyanakkor az aszinkronitások csökkentése kevésbé egyenletes kopogást eredményez, vagyis csökken a konzisztencia.

Az SMS és SMT, valamint az általános kognitív képességek kapcsolata a nyelvi és olvasási teljesítménnyel

Az olvasás, a helyesírás és a fonológiai tudatosság prediktálására épített lineáris modellek tanúsága szerint a zenés ingeranyag próbák mérőszámai alkalmasabbnak bizonyultak a célra. A zenés próbák átlagából számolt konzisztencia mutató 28%-ban magyarázta a fonológiai tudatosság, és 16%-ban az olvasás pontosságának varianciáját. Szintén a zenés próbákból számolt abszolút aszinkronitási mutató volt kapcsolatban a helyesírással, amelyet 20%-ban magyarázott. Egyedül az olvasás fluenciájának varianciáját magyarázta a metronómos feladatok konzisztencia mutatója 16%-ban. Meglepő módon az általános kognitív képességeket mérő tesztek mérőszámai nem kerültek a végső modellekbe, egyedül a fonológiai tudatosság

esetében közelítette meg az elvárt szignifikancia szintet a non-verbális intelligencia változó (mozaik próba). A metronómos próbákhoz képest a zenés ingeranyaggal való erősebb összefüggés valószínű magyarázata, hogy azok a gyerekek, akik képesek voltak a komplexebb zenés ingeranyagban regularitásokat észlelni és követni a beat-et, sikeresebben észlelnek szabályosságokat a beszéd észlelésekor is, amely pontosabb fonológiai reprezentációkat eredményez (Ozernov-Palchik & Patel, 2018). Eredményeink jól illeszkednek a PATH (Tierney és mtsai., 2017) keretbe is, hiszen a fonológiai tudatosság a zenei próbák konzisztencia mutatójával állt kapcsolatban.

Az előző vizsgálatunkkal ellentétben az SMT és a folytatásos szakasz mutatói nem álltak kapcsolatban nyelvi és olvasási képességekkel. Lehetséges, hogy a módszertani változtatás következtében a nemzetközi szakirodalommal összhangban lévő szinkronizációs mutatók, az aszinkronitás és különösen a konzisztencia alkalmasabbak voltak a nyelvi és olvasási teljesítménnyel kapcsolatban álló egyéni különbségek mérésére, ezek mellett pedig a referencia nélküli mutatók már nem rendelkeztek önálló magyarázó erővel. Szintén elképzelhető, hogy az eredményeket a két típusú feladatvégzés háttérében álló különböző mechanizmusok magyarázzák. Mivel a referencia nélküli feladatvégzés (ld. SMT és folytatásos szakasz) nem igényel hibakorrekciót, az inger és a saját válaszok monitorozása, az aszinkronitások észlelése és az ezek alapján történő hibakorrekció meghatározóak lehetnek a nyelvi és olvasási területekkel való kapcsolat szempontjából.



12. ábra. Az első osztályos SMS, SMT és általános kognitív képességek változóiból épített lineáris modellek az első osztályos osztályos fonológiai tudatosság (A), helyesírás (B), olvasási fluencia (C), és olvasási pontosság (D) pontszámok prediktálására.

Harmadik vizsgálat - Az SMS és SMT feladat kapcsolata az olvasás és a fonológiai tudatosság színvonalával első és harmadik osztály között, illetve harmadik osztályban³

Harmadik vizsgálatunkban három kérdéscsoportra kerestünk választ. Az SMS feladattal mért szinkronizációs képesség fejlődéséről elsősorban keresztmetszeti adatok alapján tudunk képet alkotni, ezért indokoltnak tartottuk annak vizsgálatát, hogy a számunkra releváns időszakban ezek hogyan változnak. Fő fókuszunk azonban a szenzomotoros szinkronizáció az általános kognitív képességekkel, valamint a nyelvi és olvasási területekkel való kapcsolatának alakulása volt, ezért a 2. vizsgálatban ismertetett mintán harmadik osztályban, a tanév első felében újra felvettük a bemutatott tesztek (SMS, SMT, WISC-IV: mozaik próba, számterjedelem, szókincs; 3DM-H: szóolvasás, fonématorlás, helyesírás, RAN). A tesztek a 2. vizsgálatban részt vevő gyerekek közül mindenki újra elvégezte, lemorzsolódás nem volt.

Az adatokat két szempontból elemeztük. Egyrészt vizsgáltuk, hogy az első osztályban mért SMS és SMT teljesítmény, amely az azonos évben kapcsolatban állt az olvasással, a helyesírással és a fonológiai tudatossággal, prediktálja-e ezek harmadik osztályos szintjét. Másrészt ugyanezt az összefüggést megvizsgáltuk a harmadik osztályban felvett tesztek között. Mivel a harmadik vizsgálat módszertana (tesztbattéria, adatelemzés) szinte teljes mértékben megegyezik a másodikkal, ezt ezen a helyen nem közöljük újra. Egyedüli változásként a 3DM-H olvasás szubtesztje esetében a pontosságot és a fluenciát egyaránt megjelenítő, összevont skálapontot használtuk, mivel, a magyar gyerekek a szakirodalmi adatokkal egybevágó (Kirby és mtsai., 2010) korábbi tapasztalataink szerint a nyelv sekély ortográfiája miatt harmadik osztályban már kevés egyéni variabilitást mutatnak a pontosságában, ezért teljesítményük jellemzésére megfelelőbbnek láttuk az összevont mutatót.

³ A fejezet a Scientific Reports-ban "*First school year tapping predicts children's third-grade literacy skills*" (Kertész & Honbolygó, 2023) című cikk alapján íródott.

A szakirodalmi adatok és saját korábbi eredményeink alapján a következő feltételezéseink voltak:

1. Az SMS és SMT feladatban az első és harmadik osztályos mérések között általános fejlődés mutatkozik.
2. Az SMS feladat konzisztencia, aszinkronitás és folytatásos konzisztencia mutatóira harmadik osztályban is hatással van az inger típusa.
3. Az első osztályos SMS és SMT teljesítmény az általános kognitív tesztek eredményei mellett további magyarázóerővel bír a harmadikos olvasás, helyesírás és fonológiai tudatosság varianciájára nézve.
4. A harmadik osztályos SMS és SMT teljesítmény az általános kognitív tesztek eredményei mellett további magyarázó erővel bír a harmadikos olvasás, helyesírás és fonológiai tudatosság varianciájára nézve.

Bár vizsgálatunk elemszáma nem tette lehetővé, hogy a fonológiai tudatosság esetleges mediáló szerepéről pontos képet alkossunk, a különböző évfolyamok FT és olvasási mutatói közötti kapcsolatot korrelációs elemzéssel is megvizsgáltuk.

Eredmények

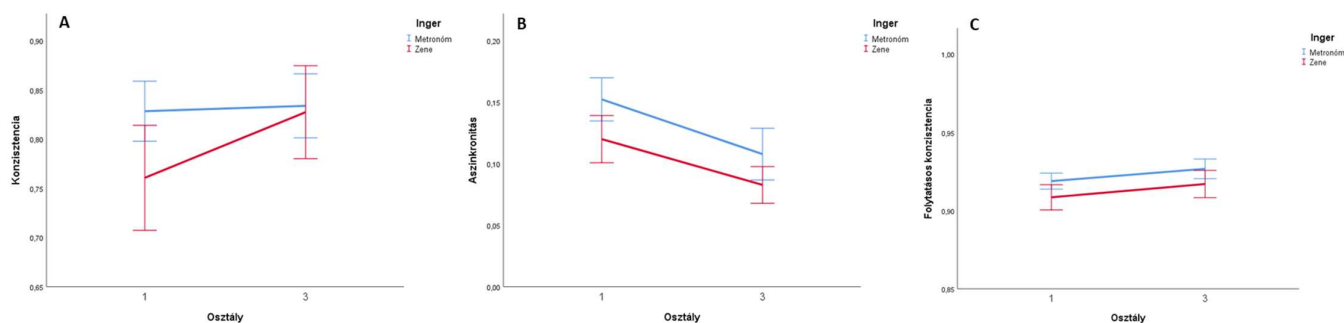
Az 1. és 3. évfolyamon megfigyelt összes mérés leíró statisztikáit a 2. vizsgálatot tárgyaló fejezetben közölt 3. táblázat tartalmazza.

Az SMS és SMT teljesítmény változása az 1. és 3. osztály között

Három 2x2-es ismételt méréses ANOVA-t végeztünk a konzisztencia, az aszinkronitás és a folytatásos konzisztencia változókra, amelyekben a faktorok az inger (zene, metronóm) és az évfolyam (első és harmadik) voltak (13. ábra).

A konzisztencia esetében az ingernek szignifikáns $F(1, 29) = 4,467, p = ,043 \eta p^2 = ,133$, az évfolyamnak pedig tendenciaszintű főhatása volt $F(1, 29) = 3,832, p = ,06 \eta p^2 = ,117$, interakció nélkül. Magasabb értéket figyeltünk meg a metronómos inger, illetve a magasabb osztály esetében.

Mind az inger típusának $F(1, 33) = 13,085, p < ,001, \eta^2 = .28$, mind az évfolyamnak $F(1, 33) = 23,106, p < ,001, \eta^2 = ,41$ szignifikáns hatása volt az aszinkronitásra, a faktorok között interakció nem mutatkozott. Végül, a folytatásos konzisztencia esetében is interakció nélküli szignifikáns hatást mutatott az inger típusa $F(1, 32) = 21,93, p < ,001, \eta^2 = ,41$ és az osztály $F(1, 32) = 7,072, p = ,012, \eta^2 = ,18$ is. Az SMT változásának vizsgálatára összetartozó mintás t-próbát végeztünk, amely nem mutatott változást a két mérés között $t(31) = -0,42, p = ,677; d = -0,07$. Hasonlóan az SMT konzisztencia értéke sem változott $t(34) = 0,95, p = 0,35; d = 0,16$.



13. ábra. Az SMS konzisztencia (A), aszinkronitás (B) és folytatásos konzisztencia (C) változása első és harmadik osztály között.

Az első osztályos SMS, SMT teljesítmény és az általános kognitív képességek kapcsolata a harmadik osztályos nyelvi és olvasási színvonallal

Annak vizsgálatára, hogy mely első évfolyamban felvett tesztek eredményei jelzik előre a gyerekek harmadik osztályos olvasási, helyesírási és fonológiai tudatosság pontszámait, többszörös lineáris regressziós modellezést alkalmaztunk (ld. 6. táblázat és 14. ábra). A modellekhez felhasznált lehetséges változók a következők voltak: mozaik próba, számterjedelem, szókincs, RAN, konzisztencia, aszinkronitás, folytatásos konzisztencia, SMT, valamint SMT konzisztencia). A változókat stepwise módszerrel léptettük a modellekbe, majd modell diagnosztikát végeztünk a 2. vizsgálatban leírt módon. Mivel a modellek több független változót is tartalmaztak, a multikollinearitás elkerülése érdekében VIF (variance inflator factor) mutatókat számoltunk, amelyek értéke minden modellben szereplő és kimaradt változó esetében az elvárt 5-ös érték alatt volt. A végleges modellek koefficienseit a 6. táblázatban közöltük. Annak vizsgálatára, hogy a végső modellek érvényességéhez megfelelő-e a minta

elemszám, post-hoc erő elemzést végeztünk. Ennek értéke az első (olvasás) modellnél 0,87 , a másodiknál (helyesírás) 0,84 , a harmadiknál (fonológiai tudatosság) pedig 0,85 volt, vagyis mindhárom esetben meghaladta az elvárt értéket.

Az olvasás esetében szignifikáns modellt találtunk $F(2, 21) = 6,23, p = ,008, R^2 = ,37$, amelyben az SMS konzisztencia (metronóm) ($t = 2,71, p = ,013$) és a RAN ($t = 2,4, p = ,026$) szerepeltek prediktorként, illetve az SMT konzisztencia mutató mint kimaradt változó szignifikancia értéke érte el a tendencia szintet ($p = ,089$). A standard reziduálisok elemzése azt mutatta, hogy az adatok nem tartalmaztak kiugró értékeket (Min = -1,9, Max = 1,88), és teljesült a hibák függetlenségének előfeltétele (Durbin-Watson érték = 1,83). A modellben szereplő összes változó esetében teljesült a nullától eltérő variancia előfeltétele (olvasás = 114,33; RAN = 92,69; konzisztencia (metronóm) = 0,007). A standardizált reziduálisok hisztogramja a hibák normális eloszlását jelezte, amit a P-P ábra is alátámasztott, amely csak enyhe eltérést mutatott az egyenestől. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramja szerint a szóráshomogenitás és a linearitás előfeltételei is teljesültek.

A helyesírás esetében szignifikáns modellt kaptunk $F(1, 22) = 9,24, p = ,006, R^2 = 0,3$, amelyben az SMS konzisztencia (zene) változó ($t = 3,52, p = ,002$) volt az egyetlen prediktor. A standard reziduálisok elemzése azt mutatta, hogy az adatok nem tartalmaznak kiugró értékeket (Min = -1,69, Max = 3,98). A hibák függetlenségének feltétele a Durbin-Watson-érték (2,51) alapján teljesült. A változók varianciája eltért a nullától (helyesírás = 103,52; SMS konzisztencia (zene) = 0,24). A standard reziduálisok hisztogramja alapján a hibák megközelítőleg normális eloszlásúak voltak, ezek P-P ábrája pedig elfogadható eltérést jelzett az egyenestől. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramja azt mutatta, hogy a szóráshomogenitására és a linearitásra vonatkozó előfeltételek nem sérültek.

A fonológiai tudatosságot legjobban egy olyan szignifikáns modell $F(1, 22) = 9,33, p = ,006, R^2 = 0,3$ jelezte előre, amelyben az SMS konzisztencia (zene) ($t = 3,05, p = ,006$) mint egyedüli független változó szerepelt. A hibák függetlenségét jelző 2,52-es Durbin-Watson-értéket elfogadhatónak tartottuk. A standard reziduálisok vizsgálata (Min = -2,56, Max = 2,64) azt mutatta, hogy az adatok nem tartalmaznak kiugró értékeket. A változók varianciája eltért a nullától (fonológiai tudatosság = 49,66; SMS konzisztencia (zene) = 0,024). A standardizált reziduálisok hisztogramját vizsgálva megközelítőleg normális hibaeloszlást találtunk, ezek P-P ábrája pedig elfogadható eltérést mutatott az egyenestől. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramja azt mutatta, hogy a szóráshomogenitására és a linearitásra vonatkozó feltételek is teljesültek.

5. táblázat. A fonológiai tudatosságot, helyesírást és az olvasást prediktáló végső modellek koeficiensei.

Változó	olvasás			helyesírás			fonológiai tudatosság				
	B	β	SE	B	β	SE	B	β	SE		
konstans	-20,17		20,85	konstans	20,77*	9,38	konstans	28,3**	6,57		
RAN	0,46*	0,42	0,19	SMS konzisztencia (zene)	35,36**	0,54	11,63	SMS konzisztencia (zene)	24,89**	0,55	8,15
SMS konzisztencia (metronóm)	55,61*	0,47	20,48								
R ²	0,37**			R ²	0,3**		R ²	0,3**			

* $p < ,05$ ** $p < ,01$

Az 3. osztályos SMS, SMT és általános kognitív tesztek kapcsolata a nyelvi és olvasási teljesítménnyel

Az előző résszel azonos módon, lineáris modellek építésével vizsgáltuk a harmadik osztályos SMS és SMT teljesítmény, valamint az általános kognitív képességek kapcsolatát a nyelvi és olvasási feladatok eredményeivel (7. táblázat és 15. ábra). A modellek érvényességét a minta elemszámának tekintetében post-hoc erő elemzéssel vizsgáltuk. A statisztikai erő az első (olvasás) és második (helyesírás) modellnél meghaladta az elvárt értéket ($,82$, $,87$), a harmadik esetében (fonológiai tudatosság) azonban alatta maradt ($,56$), így a feltárt összefüggések korlátozottan érvényesek.

Az olvasás varianciáját legjobban egy olyan szignifikáns modell írta le $F(1, 34) = 8.49$, $p = ,006$, $R^2 = ,19$, amelyben egyedüli változóként a RAN szerepelt ($t = 2,91$, $p = ,006$). A standard reziduálisok elemzése nem mutatott kiugró értékeket (Min = -2.61 , Max = $1,45$). A hibák függetlenségének feltétele a Durbin-Watson-érték ($2,31$) alapján teljesült. A változók

varianciája eltért a nullától (olvasás = 114,33; RAN = 84,05). A standard reziduálisok hisztogramján a hibák megközelítőleg normális eloszlást mutattak, amelyet a P-P ábrán megfigyelt illeszkedés is megerősített. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramja alapján a szóráshomogenitási és a linearitási előfeltételek nem sérültek.

A helyesírás változóra olyan szignifikáns modellt találtunk $F(1, 34) = 5,98, p = ,006, R^2 = ,27$, amelyben két változó, a számterjedelem ($t = 2,19, p = ,035$) és az SMT konzisztencia ($t = 2,33, p = ,026$) magyarázták a függő változót, a modellből kimaradt változók közül pedig a Szókincs közelítette meg az elvárt szignifikancia szintet ($p = ,077$). A standardizált reziduálisok elemzése során nem mutatkoztak kiugró értékek (Min = -2,01, Max = 1,45). A hibák függetlenségének feltétele a Durbin-Watson-érték (2,31) alapján teljesült. A változók varianciája eltért a nullától (helyesírás = 103,52; SMT konzisztencia = 0,001; számterjedelem = 4,91). A standard reziduálisok hisztogramja alapján a hibák normál eloszlásúak voltak, ezek P-P ábrája pedig elfogadható eltérést jelzett az egyenestől. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramja szerint a szóráshomogenitás és a linearitás előfeltételei teljesültek.

A fonológiai tudatosság esetében szignifikáns modellt találtunk $F(1, 34) = 4,560, p = ,040, R^2 = .12$, amelyben az SMT ($t = 2,14, p = ,040$) szerepelt prediktorként, valamint a RAN mint a végső modellből kimaradt változó érte el tendencia szintű szignifikancia értéket ($p = ,089$). A standard reziduálisok elemzése azt mutatta, hogy az adatok nem tartalmaztak kiugró értékeket (Min = -2,06, Max = 2,40), és teljesült a hibák függetlenségének előfeltétele (Durbin-Watson érték = 2,58). A modellben szereplő összes változó esetében teljesült a nullától eltérő variancia előfeltétele (fonológiai tudatosság = 49,66; SMT = ,04). A standardizált reziduálisok hisztogramja a hibák normális eloszlását jelezte, amit P-P ábra is alátámasztott, amely csak enyhe eltérést mutatott az egyenestől. A standardizált prediktált értékek szórásdiagramja alapján a szóráshomogenitási és a linearitási feltétel is teljesült.

6. táblázat. A fonológiai tudatosságot, és az olvasást prediktáló végső modellek koeficiensei.

Változó	olvasás			helyesírás			fonológiai tudatosság				
	B	β	SE	B	β	SE	B	β	SE		
konstans	24,07*		19,64	konstans	41,5**	9,2	konstans	41,35**	3,46		
RAN	0,54**	0,45	0,19	szerűterjedelem	1,61*	0,33	0,73	SMT	11,93**	0,344	5,59
				SMT konzisztencia	139,31*	0,35	59,83				
R ²	0,20**			R ²	0,27**			R ²	0,12*		

* $p < ,05$ ** $p < ,01$

A fonológiai tudatosság kapcsolata az olvasással első és harmadik osztályban

Annak vizsgálatára, hogy az első és harmadik osztályban mért fonológiai tudatosság kapcsolatban áll-e az első és harmadik osztályos olvasás szintjével, korrelációs elemzést végeztünk. A változók közötti kapcsolatot Kendall tau-b együtthatókkal jellemeztük, amelyek értékeit a 7. táblázat tartalmazza. A fonológiai tudatosság közepes erősségű kapcsolatban állt az olvasás fluenciájával és pontosságával (első évfolyam), valamint az összevont olvasási mutatóval (3. évfolyam), illetve az első osztályos FT is a harmadikos olvasással.

7. táblázat. A fonológiai tudatosság és az olvasás kapcsolata első és harmadik évfolyamban.

Változók	FT (1.)	olv. flu (1.)	olv. pont. (3.)	FT (3.)	olv. össz.(3.)
FT (1.)		,41**	,34**	,60**	,49**
olv. flu (1.)	,41**		,62**	,42**	,68**
olv. pont. (3.)	,34**	,62**		,38**	,41**
FT (3.)	,60**	,42**	,38**		,47**
olv. össz. (3.)	,49**	,68**	,41**	,47**	

* $p < ,05$ ** $p < ,01$

A harmadik vizsgálat diszkussziója

Jelen részben a 2. vizsgálatban ismertetett csoportot mértük fel újra a teljes tesztbatteria segítségével harmadik osztályban, vagyis két évvel az első méréseket követően. Eredményeiket összehasonlítva négy kérdésre összpontosítottunk: (1) hogyan változott az SMT és SMS feladatokban a teljesítményük a két év alatt? (2) Milyen hatással van az inger típusa az SMS feladatvégzésre? (3) Az első osztályos SMS, SMT és általános kognitív teljesítményeik kapcsolatban állnak-e a harmadik osztályos nyelvi és olvasási tesztek eredményeivel, illetve, hogy (4) ugyanezen változók között keresztmetszeti nézetben, harmadik osztályban felfedezhető-e kapcsolat.

A kor és az inger típus hatása az SMS és SMT feladatokban

Az SMS teljesítmény változását vizsgálva a gyerekek feladatvégzésében általános fejlődési hatás volt megfigyelhető mindhárom mutató esetében, amelyet a konzisztencia mutató – bár tendencia szintű - növekedése, az aszinkronitás csökkenése, valamint a folytatásos konzisztencia növekedése jelzett (lsd. 13 ábra).

A gyerekek két év elteltével pontosabb hibakorrekcióra és összességében egyenletesebb kopogásra voltak képesek, mint az első évfolyamban, függetlenül az inger típusától. Az aszinkronitás csökkenése ebben az időszakban ellentmond Carrer és munkatársai (2022) eredményeinek, akik keresztmetszeti vizsgálatukban csupán a variabilitás esetében találtak fejlődési hatást 6-11 éves kor között. Elképzelhető, hogy jelen vizsgálatunk longitudinális

elrendezése tette lehetővé a gyerekek szinkronizációs képességében megjelenő változások pontosabb megfigyelését.

Az inger típusának az SMS teljesítményben betöltött szerepét vizsgálva eredményeink jól értelmezhetőek a rendelkezésünkre álló szakirodalmi adatok keretében (Dalla Bella és mtsai., 2017; Einarson, 2017; Semjen & Ivry, 2001; Wohlschläger & Koch, 2000), illetve megerősítik a saját korábbi eredményeinket is (lsd. 2. vizsgálat). Az inger komplexitása az évfolyamtól független, általános hatással volt mindhárom SMS mutatóra. Míg a zenés inger pozitívan hatott az aszinkronitásra, vagyis alacsonyabb értéket találtunk, a konzisztencia a metronómos próbáknál volt magasabb, beleértve a folytatásos szakasz konzisztencia mutatóját is. A gyerekek képesek voltak a komplex, hierarchikus inger feldolgozása révén hatékonyabb hibakorrekcióval csökkenteni az aszinkronitásaikat mint a metronóm esetében, ahol kevesebb „támpont” állt rendelkezésükre. A hibakorrekció során az aszinkronitás csökkenésével párhuzamosan romlik, vagyis csökken a konzisztencia, ez magyarázza az ingertípus hatását a konzisztencia mutatóra. A folytatásos konzisztencia esetében a metronómos próbáknál megfigyelt magasabb értéket nyilvánvalóan nem magyarázza a fenti összefüggés, hiszen referencia hiányában nem beszélhetünk aszinkronitásokról. Feltehetően a szinkronizációs szakaszban kialakult egyenletesebb kopogás maradt meg ebben az esetben egyfajta beállítódásként.

A gyerekek spontán motoros tempójában nem volt szignifikáns változás a két mérés között. Az első osztályosok 115 bpm-es tempójától minimálisan eltérő 116 bpm átlagos SMT-t találtunk. Hasonlóan az SMT konzisztencia mutatója sem változott. Eredményeink alátámasztják a gyerekek spontán tempójára vonatkozó korábbi megállapításokat, mivel mindkettő a közölt értékek körül van (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006), illetve azt is mutatják, hogy az SMT-ben általánosan leírt 6 éves kor körül fejlődési változás, vagyis tempó csökkenés az általunk vizsgált gyerekeknél, akik kb. 7 évesek voltak az első méréskor, már az ugrás utáni, konszolidált SMT-t mutatták, a következő két évben pedig nem volt szignifikáns változás. Az SMT változatlanlansága a vizsgált időszakban összevetve az SMS mutatóknál megfigyelt általános fejlődéssel jelzi, hogy a szinkronizációs teljesítmény nem csupán a spontán tempó csökkenésének függvénye, feltételezhetően a szinkronizációs régió szélesedése állhat a változás háttérében mint a fejlődés másik komponense (McAuley és mtsai., 2006; van Noorden & Moelants, 1999).

Az 1. osztályos SMS, SMT teljesítmény és általános kognitív képességek kapcsolata a 3. osztályos olvasás, helyesírás és fonológiai tudatosság szintjével

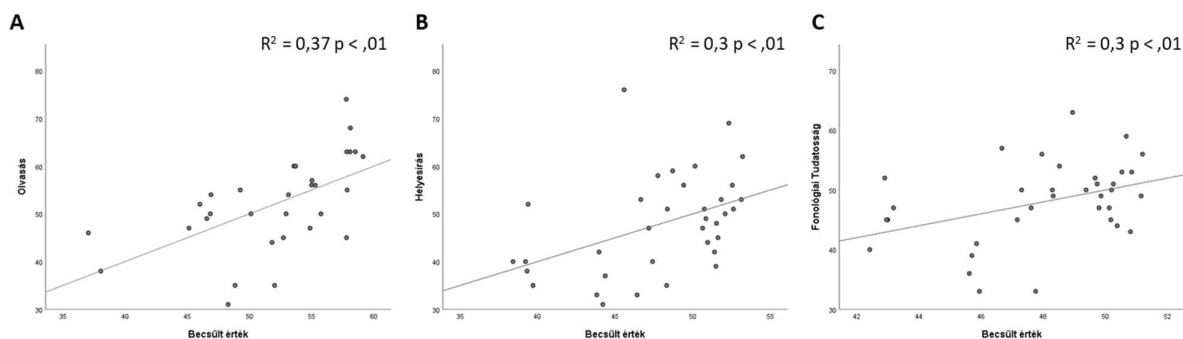
Annak vizsgálatára, hogy az első éves SMS és SMT teljesítmény kapcsolatban áll-e a harmadik évfolyamos nyelvi és olvasási eredményekkel, többszörös lineáris regressziós modelleket építettünk, amelyekben az SMS és SMT feladatok mutatói, valamint az általános kognitív képességeket mérő tesztek (mozaik próba, számterjedelem, szókincs, RAN) eredményei kerültek be független változóként.

A gyerekek szóolvasását legjobban egy olyan modell jósolta meg, amelyben a metronómos SMS próbák konzisztenciája és a RAN a variancia 37%-át magyarázták. Bár a RAN a szakirodalomban az olvasás jól ismert előrejelzője, a konzisztencia változó hozzájárulása a modellhez valamivel nagyobb volt ($\beta = 0,47$ és $0,42$). Ez az eredmény nem csak a szakirodalmi adatokkal (Flaugnacco és mtsai., 2014; Lundetræ & Thomson, 2018) áll összhangban, hanem a saját korábbi eredményeinkkel is (lsd. 1. vizsgálat), amennyiben az olvasás fluenciájával ugyanez a mutató állt kapcsolatban. A RAN megjelenése mint a szóolvasás prediktora a 2. vizsgálatához képest feltehetően azt jelzi, hogy a tanulók ekkor már bizonyos mértékben támaszkodtak az ortográfiai reprezentációkra.

A harmadik osztályos helyesírási teljesítményt prediktáló második modellünkben a zenés próbákból számolt SMS konzisztencia mutató egyedüli független változóként a helyesírás varianciájának 30%-át magyarázta, hasonlóan az első évfolyamos eredményekhez, ahol szintén a zenés próbák aszinkronitás változója állt kapcsolatban a helyesírással.

Végül szintén az SMS konzisztencia (zene) változó jelezte előre a fonológiai tudatosságot, a variancia 30%-át magyarázva a harmadik modellünkben. Ez összhangban áll az első éves eredményeinkkel, amikor ugyanez a változó prediktálta a FT-ot. Ez az eredmény jól magyarázható a neurális időzítés és a fonológiai tudatosság közötti kapcsolatot, illetve a predikció képességét hangsúlyozó elméletek keretében (Fiveash és mtsai., 2021; Goswami, 2011; Ozernov-Palchik & Patel, 2018; Tierney & Kraus, 2014). Mivel az audio-motoros entrainment és a fonológiai feldolgozás egyaránt a hallási rendszer idői feldolgozására és predikcióira támaszkodik, a szinkronizációban előnyt mutató gyerekek pontosabb fonológiai reprezentációkat hozhatnak létre. Érdeemes azt is megjegyezni, hogy éppen a konzisztencia változók, amelyek időbeli stabilitást mutattak, jelezték előre az olvasási, helyesírási és fonológiai készségeket. Lehetséges magyarázat, hogy mivel a gyerekek konzisztenciája a fejlődés során előrébb jár, mint a pontosságuk (Drewing és mtsai., 2006; McAuley és mtsai.,

2006; Thompson és mtsai., 2015), a feladatvégzésnek ez az aspektusa jobb prediktora a későbbi nyelvi és olvasási teljesítménynek.



14. ábra. Az első osztályos SMS, SMT és általános kognitív képességek mutatóiból épített lineáris modellek a harmadik osztályos olvasás (A), helyesírás (B) és fonológiai tudatosság (C) pontszámok prediktálására.

A vízszintes tengelyen a nem standardizált becült értékek, a függőlegesen az adott változó látható.

Az 3. osztályos SMS, SMT teljesítmény és általános kognitív képességek kapcsolata a 3. osztályos olvasás, helyesírás és fonológiai tudatosság szintjével

Szintén a lineáris modellezés módszerével vizsgáltuk a harmadik osztályos SMT, SMS és általános kognitív teljesítmények kapcsolatát az olvasás, a helyesírás és a fonológiai tudatosság azonos évben mért szintjével (7. táblázat és 15. ábra). Első modellünkben a RAN egyedüli változóként írta le az olvasás változó varianciájának 20%-át. Ahogy az előző elemzésben láttuk, a RAN szerepe nő az olvasás tanulása során, ugyanakkor fontos eredmény, hogy az SMS és SMT változók közül már egyik sem állt vele kapcsolatban. Elképzelhető, hogy az aszinkronitás és a konzisztencia szintje a vizsgálatunkban használt feladatokban elérte a felső határát, így ezek a mutatók már nem alkalmasak az egyéni különbségek mérésére ebben a korosztályban.

A helyesírás változóval a számterjedelem ($\beta = ,33$) és az SMT konzisztencia mutató állt kapcsolatban ($\beta = ,35$), illetve a Szókincs szignifikancia szintje közelítette meg a modellbe bekerüléshez szükséges értéket. Együttesen a helyesírás változó varianciájának 27%-át írták le. Bár a szókincs változó mindössze tendencia szintű hatása miatt nem került be a végső modellbe, könnyű belátni, hogy minél nagyobb szókinccsel rendelkezik egy gyerek, annál nagyobb az esélye, hogy tisztában van egy-egy szó helyes írott alakjával.

Végül a fonológiai tudatosságot egy olyan modell írta le, amelyben egyedüli függő változóként az SMT magyarázta a variancia mindössze 12%-át, a RAN pedig tendencia szintű szignifikancia értéket elérve maradt ki. A végső modell gyengeségét az alacsony magyarázó erő mellett a post-hoc erő elemzés is megerősítette, valamint az SMT érték pozitív kapcsolata a fonológiai tudatossággal nem csak ellentétes a szakirodalmi adatokkal és saját korábbi eredményeinkkel (lsd. 1. vizsgálat), de nehezen magyarázható, hiszen azok a gyerekek értek el magasabb FT pontszámot, akiknek magasabb volt a spontán tempójuk, amelyet az idegrendszeri érés indikátorának tekintünk (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006; Thompson és mtsai., 2015).

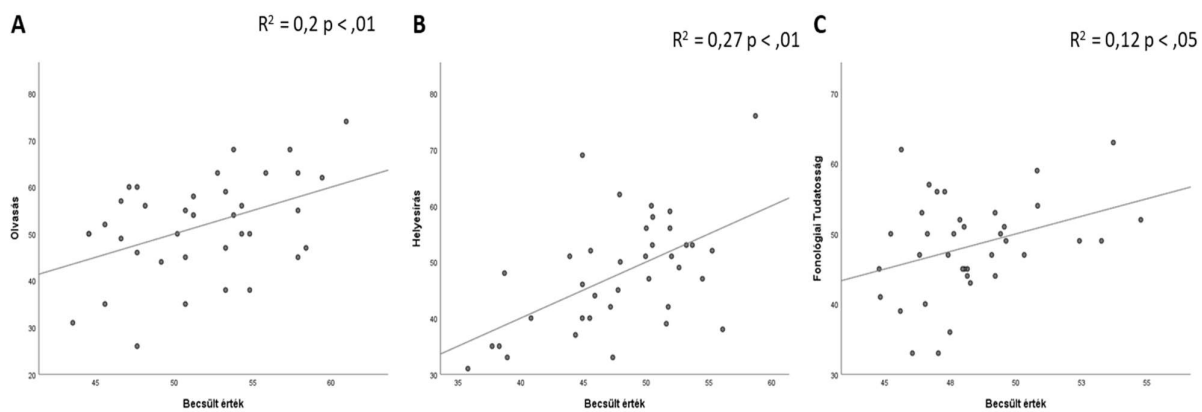
Az SMT konzisztencia változó megjelenése a prediktorok között meglepő, hiszen ezen a mintán sem első osztályban, sem az első és harmadik osztályos eredmények közti elemzésben nem találtunk vele kapcsolatot. Feltehetően ahogy az SMS mutatók elérték plafonértéküket a harmadik osztályra, az önálló, referencia nélküli feladatvégzés még alkalmas volt bizonyos egyéni különbségek megragadására.

Eredményeink alapján a szenzomotoros szinkronizációs teljesítmény kapcsolata a nyelvi és olvasási teljesítményekkel, amelyet a második vizsgálatban iskolakezdő gyerekek körében írtunk le, a harmadik tanévben is részben fennmarad a helyesírás esetében. Ugyanakkor az SMS és SMT mutatók már nem állnak kapcsolatban az olvasással, amely kutatásunk fő fókusza. Az SMT és SMT konzisztencia mutatók megjelenése a helyesírás és a fonológiai tudatosság prediktorai között felveti annak a lehetőségét, hogy a szinkronizációs képesség még a harmadik osztályban is kapcsolatban van bizonyos nyelvi, olvasási teljesítményekkel, de ennek megragadására más típusú, például komplexebb, nehezebben prediktálható, esetleg változó tempójú ingerrel használt feladatok lehetnek alkalmasak.

A fonológiai tudatosság kapcsolata az olvasással első és harmadik osztályban

A fonológiai tudatosság mind első, mind harmadik osztályban közepes erősségű kapcsolatot mutatott az olvasással, valamint az első osztályos értéke előrejelezte a harmadikos olvasási színvonalat is. Bár ezek az eredmények nem alkalmasak a FT mediáló hatásának megerősítésére, vagy kizárására, kiegészítik a lineáris modellekből származó eredményeket. Az első évfolyamban (lsd. 2. vizsgálat) és az első és harmadik évfolyam közötti predikcióban direkt és indirekt, vagyis a fonológia által mediált kapcsolat is lehetséges, harmadik évfolyamban pedig nem találtunk kapcsolatot, ezért jelen adataink alapján mindkét út léte kizárható. További vizsgálatok szükségesek nagyobb elemszámmal a mediáció kérdésének

feltárására olyan szinkronizációs feladatok segítségével, amelyek az idősebb korosztály körében is alkalmasak az egyéni különbségek megfigyelésére.



15. ábra. A harmadik osztályos SMS, SMT és általános kognitív képességek mutatóiból épített lineáris modellek a harmadik osztályos olvasás (A), helyesírás (B) és fonológiai tudatosság (C) pontszámok prediktálására. A vízszintes tengelyen a nem standardizált becült értékek, a függőlegesen az adott változó látható.

Általános diszkusszió

A következőkben a három vizsgálat eredményeit a „Kutatási kérdések” c. alfejezetben megfogalmazott témakörök és kutatási kérdések szerint összegzem, az egyes részek végén rövid tézispontok formájában összefoglalva az eredményeket.

A tempó és az ingertípus hatása az SMS feladatban

Milyen hatással van az SMS feladat mutatóira az inger tempója?

Az inger tempójának hatását az SMS feladat mutatóira az 1. vizsgálatban jártuk körül. A feladatvégzés pontosságát az átlagos aszinkronitás, az átlagos abszolút aszinkronitás, az eltávolodás, valamint a folytatásos inkonzisztencia mutatókkal jellemeztük.

A két aszinkronitás mutató a feladatvégzés különböző aspektusait írják le. Ahogy azt a módszertani részben láttuk, az átlagos aszinkronitás esetében az egyedi ütések aszinkronitásai lehetnek pozitív és negatív előjelűek egyaránt, vagyis „kiolthatják” egymást, amelynek következtében egy egyaránt nagy pozitív és negatív előjelű aszinkronitásokat tartalmazó feladatvégzés átlaga megközelítheti a 0 értéket. Ez a mutató nem alkalmas a pontosság jellemzésére, ugyanakkor jól leírja a vizsgálati személyek válaszadási tendenciáját, amely a korábban ismertetett NMA jelenség vizsgálatát teszi lehetővé. Ezzel szemben az átlagos abszolút aszinkronitás mutató, amely nem veszi figyelembe az aszinkronitások irányát, megfelelő mérőszám a válaszok pontosságának leírására.

Az inger tempója egyértelműen hatással volt a gyerekek átlagos aszinkronitására. Az alacsony tempó esetében találtuk a legerősebb anticipációt, míg a 120 bpm-es próbáknál enyhébbet. A gyors (150 bpm) próbák esetében az anticipáció megszűnt, 0 közeli, enyhén pozitív értéket találtunk. Amennyiben a széles körben megfigyelt (Repp, 2005; Repp & Su, 2013) enyhe anticipációs tendenciát (NMA) tekintjük az optimális feladatvégzés indikátorának, megállapíthatjuk, hogy ez a korosztályra a szakirodalmi adatok (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006) és saját eredményeink alapján is jellemző spontán tempó (120 bpm) értéke körüli próbákban valósult meg. Ugyan érvelhetnénk amellett, hogy a 150 bpm-es tempónál tapasztalt 0 körüli érték pontosabb feladatvégzést jelent, mint az említett SMT körüli, azonban az abszolút aszinkronitási mutató figyelembevételével ez az értelmezés helytelennek

látszik. Bár a tempók között csupán tendencia szintű eltérés mutatkozott, éppen a 150 bpm-es próbáknál volt a legmagasabb az abszolút érték, vagyis a 0 közeli átlagos érték a pontosság helyett az aszinkronitások véletlenszerűségét tükrözte.

Az abszolút aszinkronitási mutató átlagos értéke a 120 bpm-es próbáknál volt a legalacsonyabb, amely eredmény illeszkedik a Rezonancia Elmélet (van Noorden & Moelants, 1999) keretébe. A szinkronizációs képesség fejlődése során eleinte a gyerekek csak saját spontán tempójuk környékén képesek alkalmazkodni a külső referenciához, majd az SMT csökkenésével párhuzamosan az ettől egyre távolabbi tempókban is képessé válnak a szinkronizációra.

Az SMT hatása a folytatásos szakasz eltávolodás mutatójában is megmutatkozott. Az NMA jelenséggel összefüggésbe hozható gyorsulós tendencia minden tempóban jelen volt, de mértéke a 80 bpm-es próbáknál volt a legmagasabb, vagyis az inger megszűnése után a gyerekek a spontán tempójuk irányába kezdtek elmozdulni. Ez a mechanizmus még a 120 bpm-es próbáknál tapasztalt akcelerációt is magyarázhatja, hiszen a jelen vizsgálatban mért átlagos spontán tempó (122 bpm) enyhén magasabb volt a referencia tempónál, ugyanakkor csupán az SMT hatásával nem írható le a 150 bpm-nél mért 5% körüli gyorsulás.

Feltételezésünk szerint a Dinamikus Rendszer (Drake és mtsai., 2000; Jones, 2018; Large & Jones, 1999) szemlélet által megfogalmazott oszcillatorikus mechanizmus mellett más kognitív folyamat is szerepet kaphat a folytatásos szakaszban. Elképzelhető, hogy az IOI-ok hosszának alulbecslése áll a gyorsulás hátterében, ahogy azt az NMA jelenségét magyarázó perceptuális elmélet megfogalmazza (Wohlschläger & Koch, 2000). Ebben az esetben az akcelerációs tendenciát feltehetően magasabb rendű kognitív funkciók segítségével képesek mérsékelni a vizsgálati személyek, amely felveti a gátló funkció esetleges szerepét (Moreno & Farzan, 2015).

A folytatásos szakasz másik mutatójára, az inkonzisztenciára nem volt hatással az inger tempója. Ennek lehetséges magyarázata, hogy amíg a szinkronizációs szakaszban a vizsgálati személyek törekednek az aszinkronitások csökkentésére, ezáltal pedig nő az ütések inkonzisztenciája, a folytatásos szakaszban, mivel nincsen külső referencia, nem történik hibakorrekción sem, így a konzisztencia független a tempótól.

A folytatásos szakasz mutatói arra is engednek következtetni, hogy a feladatvégzés az első évfolyamosok körében nem ütközött a motoros kivitelezhetőség korlátjába, hiszen ebben az

esetben a magas tempójú próbáknál vagy magas inkonzisztencia, vagy az SMT felé történő elmozdulás, vagyis lassulás jelentkezett volna.

1. Tézispont

A negatív átlagos aszinkronitás (NMA) az alacsony tempójó referenciánál a legmagasabb, az abszolút értéke pedig az SMT-hez közelinél a legalacsonyabb. Az inger megszűnése utáni akceleráció mértékét is jól magyarázza az SMT-től való távolság. A folytatásos szakaszban a feladatvégzés konzisztenciája független a kezdőtempótól, feltehetően azért, mert nem igényel hibakorrekción.

Milyen hatással van az SMS feladat mutatóira az inger komplexitása?

Az inger típusának hatását a 2. és 3. kutatásban vizsgáltuk. Bár egyes esetekben, például ADHD-ban érintett gyerekeknél az inger komplexitása rontja a feladatvégzés pontosságát (Puyjarinet és mtsai., 2017), a sűrűbb metrikai beosztás, ezáltal a hozzáférhető idői támpontok nagyobb száma általában pontosabb szinkronizációt tesz lehetővé (Dalla Bella és mtsai., 2017; Repp, 2005; Repp & Su, 2013), ugyanakkor az általunk vizsgált korú, tipikusan fejlődő gyerekekről elenyésző számú empirikus kutatás áll rendelkezésünkre (Carrer és mtsai., 2022; Einarson, 2017) amely az inger típusok összehasonlítására vállalkozott.

Az első és harmadik osztályos mérések eredményei alapján egyértelmű hatással volt az inger az SMS feladat mutatóira. Míg a zenei próbák esetében alacsonyabb aszinkronitást és konzisztenciát találtunk, a metronóm ingernél éppen ellenkezőt tapasztaltuk, magasabb aszinkronitás mellett magasabb konzisztencia jelentkezett. A folytatásos szakaszt a 2. és 3. vizsgálatban csak a konzisztenciával jellemeztük, ennek értéke a szinkronizációs szakaszhoz hasonlóan a metronómos próbákban volt magasabb. Emlékeztetőül megjegyezzük, hogy az aszinkronitás esetében az alacsony érték jelzi a pontosabb feladatvégzést, a konzisztenciánál azonban a magasabb jelenti a jobb teljesítményt. A fenti eredmények egybevágóak a felnőtt (Dalla Bella és mtsai., 2017), valamint a hasonló korú gyerekek (Einarson, 2017) körében korábban megfigyelttel, és ismét a hibakorrekción mechanizmusára vezethetőek vissza. A komplexebb inger, vagyis a zene több lehetőséget kínál a beat észlelésére, ezáltal a predikciók

létrehozására. A tipikusan fejlődő első osztályosok a nagyobb feldolgozási kapacitás igény ellenére már képesek ezt az előnyt kiaknázni, így a zenés próbákban hatékonyabb hibakorrekciót figyeltünk meg a feladatvégzésükben, amelyet az alacsonyabb aszinkronitás értékek jeleznek, ugyanakkor a hibakorrekció korábban leírt mechanizmusa miatt ezzel párhuzamosan csökken a konzisztenciájuk is. Feltehetően az ADHD-ban érintett vizsgálati személyek figyelmi kapacitását meghaladja a komplexebb zenei inger feldolgozása, ezért ők abból nem profitálnak. A folytatásos szakaszban azonban a hibakorrekció működése nem magyarázza a kétféle inger közti különbséget. Ebben az esetben lehetséges, hogy a szinkronizációs szakasz konzisztensebb feladatvégzése egyfajta beállítódásként marad meg az inger megszűnését követően is. Az is elképzelhető ugyanakkor, hogy a metronóm inger kevésbé komplex reprezentációjának fenntartása kisebb erőfeszítést igényel a vizsgálati személyektől, ezért képesek magasabb konzisztenciát fenntartani ezekben a próbákban.

2. Tézispont

Az SMS feladatban a komplexebb inger, vagyis a zene mellett pontosabb, de kevésbé konzisztens, a metronómmal kevésbé pontos, de egyenletesebb a feladatvégzés, amely azt jelzi, hogy a tipikusan fejlődő első és harmadik osztályosok képesek a komplex inger sűrűbb ritmikai beosztását feldolgozni és a hatékonyabb hibakorrekció érdekében felhasználni.

Az SMS és SMT feladat mutatóinak longitudinális változása

Változnak-e az SMS feladat különböző aspektusait megjelenítő mutatók (konzisztencia, aszinkronitás, folytatásos konzisztencia) a vizsgált időszakban?

A 2. és a 3. vizsgálat adatfelvételeinek longitudinális elrendezése lehetővé tette, hogy egyazon csoport követésével alkothassunk képet az SMS mutatók (aszinkronitás, konzisztencia) változásáról, amelyről ez idáig tudomásunk szerint csupán keresztmetszeti adatok álltak rendelkezésünkre (Carrer és mtsai., 2022).

Az SMS feladat aszinkronitás, konzisztencia és folytatásos konzisztencia mutatóiban az inger típusától független általános fejlődési hatást figyeltünk meg első és harmadik osztály között, amely tükrözhet a gyerekek auditív feldolgozásában, az ingerhez történő agyi entrainment-ben, illetve szenzomotoros érettségében végbemenő változásokat egyaránt (Fiveash és mtsai., 2021). A fejlődés általánosságban illeszkedik a szakirodalmi adatokhoz (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006; Thompson és mtsai., 2015), kiegészítve azokat a hosszmetzeti nézőponttal, illetve a vizsgált szűk időszakban bekövetkező változások pontosabb képével. A saját módszertanunkkal leginkább összhangban lévő tanulmánnyal (Carrer és mtsai., 2022) összevetve eredményeink részben különböznek az általuk vizsgált 6-11 évesek adataitól. Míg a konzisztencia javulása egybevágh, az aszinkronitás fejlődése ellentétes a keresztmetszeti vizsgálatukból származó eredményeikkel, amelyek szerint csupán az ütések variabilitásában találtak fejlődési hatást. Az összehasonlítását ebben az esetben is nehezíti a módszertanok különbözősége: az általuk használt variabilitási mutató nem teljes mértékben felel meg az általunk alkalmazott konzisztenciának, illetve a zenés ingeranyag is különböző.

3. Tézispont

A vizsgált időszakban a szinkronizáció pontossága (aszinkronitás), és a feladatvégzés konzisztenciája, valamint a folytatásos szakaszban mért konzisztencia is általános fejlődést mutatott.

Változnak-e az SMT feladat mutatói (spontán tempó, konzisztencia) a vizsgált időszakban?

A gyerekek spontán tempóját mindhárom vizsgálatban felmértük, ennek értéke az első vizsgálatban, amelyben első osztályosokkal végeztük el a feladatot, 122,8 bpm, a második és harmadik vizsgálatokban pedig 115,6 első, illetve 114,7 bpm harmadik osztályban. Egyik érték sem tér el jelentősen a szakirodalomban található adatoktól (Carrer és mtsai., 2022; Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006; Thompson és mtsai., 2015; van Noorden & Moelants, 1999), ugyanakkor a fejlődési aspektus szempontjából lényeges longitudinális elrendezés itt újdonságot jelent. A megegyező minta mellett a módszertani egyezés miatt is a 2. és 3. vizsgálat adatainak összehasonlítását tartjuk relevánsnak. Eszerint az SMT értéke a vizsgált időszakban, vagyis első és harmadik osztály között nem változott szignifikánsan, ahogy a konzisztencia mutatója sem. Mivel első osztályban már az SMT értékében a többek által leírt (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006; Thompson és mtsai., 2015; van Noorden & Moelants, 1999), 6 éves kor körül bekövetkező csökkenést követő átlagos tempót figyeltük meg, feltételezhetjük, hogy az első osztályos mérésünk idejében, amikor a gyerekek átlagos életkora 7,2 év volt, már lezajlott az említett fejlődési ugrás, ezért nem találtunk további szignifikáns csökkenést két évvel később. Annak ellenére azonban, hogy csoport szinten nem változtak az átlagok, az SMT-ben továbbra is szélsőséges minimum és maximum értékeket találunk, vagyis jelentős egyéni eltéréseket mutat.

4. Tézispont

Az SMT feladatban sem a gyerekek átlagos spontán tempója, sem az ütések konzisztenciája nem változott. Az SMT-ben történő fejlődési ugrás valószínűsíthetően az általunk vizsgált gyerekek körében már korábban, 6 éves kor körül lezajlott, a vizsgált időszakban pedig stabil maradt.

Az SMS és SMT feladat kapcsolata az olvasással, a helyesírással és a fonológiai tudatossággal

Kutatásunkban különösen nagy hangsúlyt fektettünk az SMS és SMT feladatok kapcsolatára az olvasással és a fonológiai tudatossággal, valamint a 2. és 3. vizsgálatban kiegészítve a helyesírással és az olvasás általános prediktoraival (RAN, szókincs, verbális munkamemória, nonverbális intelligencia). Célunk az volt, hogy feltérképezzük az SMS és SMT feladat különböző mutatóinak keresztmetszeti és longitudinális kapcsolatát az olvasással, a fonológiai tudatossággal és a helyesírással azok ismert kognitív prediktoraival együtt vizsgálva.

Kapcsolatban áll az SMS és SMT teljesítmény az olvasás, a helyesírás és a fonológiai tudatosság szintjével első osztályban?

Az 1. és 2. vizsgálatban első osztályos tanulókkal vettünk fel SMS, SMT és ritmusdiszkriminációs feladatokat, általános kognitív képességeket, valamint olvasási és nyelvi területeket mérő feladatokat. A két vizsgálat tesztbateriája és módszertana több ponton különbözött, ahogy azt az általános módszertant bemutató fejezetben leírtuk. A szakirodalmi adatok alapján arra számítottunk, hogy azok az első osztályos gyerekek, akik jobban teljesítenek az SMS és SMT feladatokban, előnyt mutatnak majd az nyelvi és olvasási feladatokban is.

Az 1. vizsgálat eredményei alapján megerősítve láttuk azt a feltételezésünket, miszerint a magyar anyanyelvű iskolakezdő gyerekek körében az SMS és SMT feladatok olyan egyéni különbségek megragadásra alkalmasak, amelyek kapcsolatban állnak a nyelvi és olvasási területekkel. Bár a vizsgálatban még nem kontrolláltuk az általános kognitív képességeket, valamint a korrelációs elemzés nem tette lehetővé az egyes szinkronizációs mutatók közötti esetleges együttjárások kiszűrését, néhány fontos következtetés levonására alkalmas volt.

Az eltávolodás és az SMT mutató sikeressége a fonológiai tudatosság és az olvasás színvonalának prediktálásában felhívja a figyelmünket referencia nélküli feladatvégzés fontosságára, ahogy arra a vizsgálat időpontjában rendelkezésünkre álló egyetlen magyar anyanyelvű gyerekekkel folytatott hasonló kutatás (Maróti és mtsai., 2019) alapján számíthatunk. A két mutató szerepe feltehetően nem független egymástól. Az alacsonyabb spontán tempó mellett, hogy egyes szerzők szerint az idegrendszeri éréssel állhat kapcsolatban (Drake és mtsai., 2000; McAuley és mtsai., 2006; Thompson és mtsai., 2015), az inger megszűnése után a vizsgálati személy tempóját az alacsony érték felé „vonzza”, így kevésbé, vagy egyáltalán nem érvényesül a korábban leírt akcelerációs tendencia. A szakirodalmi

adatoknak részben ellentmondva ebben a vizsgálatban a szinkronizációs szakasz teljesítménye nem állt kapcsolatban a nyelvi és olvasási tesztek eredményeivel.

Hogy részletesebb és pontosabb képet kapjunk a szinkronizációs teljesítmény szerepéről, a 2. vizsgálatunkban bemutatott módon a nemzetközi szakirodalommal összhangban a lineáris és cirkuláris elemzés ötvözetét használtuk, beemelve az elemzésbe a szinkronizációs szakaszt jellemző konzisztencia mutatót. További változás, hogy az összehasonlíthatóság kedvéért a zenés ingeranyag mellett azonos tempójú és hosszúságú metronóm ingeres próbákkal egészítettük ki az SMS feladatot. Ezen kívül a tesztbattéria kiegészült általános kognitív képességeket mérő tesztekkel (nonverbális intelligencia, munkamemória, szókincs, RAN), valamint a korábbi papír-ceruza alapú nyelvi és olvasási feladatok helyett a 3DM-H digitális, magyar anyanyelvű mintán validált mérőeszközt használtuk, a szóolvasás és a fonológiai tudatosság mellett a gyerekek helyesírását is felmérve.

Lineáris regressziós elemzés segítségével építettünk modelleket, amelyek a fonológiai tudatosság, a helyesírás, az olvasás fluencia és az olvasás pontosság változókat prediktálták. A végső modellekben mind egy-egy SMS magyarázta jól a függő változó varianciáját. Az eredmények meggyőzően támasztották alá a tapping feladat és a nyelvi, olvasási teljesítmény kapcsolatát, ugyanakkor feltehetően a módszertani változtatások miatt részben más képet festettek. A szinkronizációs szakasz konzisztencia mutatói sikeresen prediktálták a FT, az olvasás fluencia és pontosság változókat, az abszolút aszinkronitás (zene) egyedül a helyesírás változóval állt kapcsolatban. A zenés próbák konzisztencia mutatója a fonológia tudatossággal és az olvasás pontosságával járt együtt, míg a metronómosoké az olvasás fluenciájával.

A zenés ingeranyagot használó feladatok mutatóinak erősebb kapcsolata a nyelvi és olvasási változókkal nem csupán azt jelzi, hogy a magasabb ökológiai validitású megközelítés alkalmazható, de valószínűsíthetően azt is, hogy a komplex inger hierarchikus feldolgozása és regularitásainak észlelése kulcsfontosságú eleme a szenzomotoros szinkronizáció és a nyelvi, olvasási területek közötti kapcsolatnak. Azok a gyerekek, akik sikeresebbek a beat észlelésében, illetve az ez alapján történő predikcióban, a beszédészlelés során pontosabb fonológiai reprezentációkat hoznak létre, amely megmutatkozik a magasabb FT pontszámaikban (Ozernov-Palchik & Patel, 2018).

Az 1. vizsgálatához képest feltűnő különbség, hogy kizárólag a szinkronizációs szakasz mutatói kerültek be a végső modellekbe, míg korábban a referencia nélküli feladatvégzéshez köthető

mutatók. Ez nem jelenti azt, hogy a 2. vizsgálatban ezek nem álltak volna kapcsolatban a nyelvi és olvasási teljesítménnyel, azonban a lineáris regressziós modellekben ezeknek nem volt a végső prediktorokhoz képest saját magyarázó erejük. Ugyanez igaz az általános kognitív képességekre, amelyek bizonyára kapcsolatban állnak a FT és az olvasás változókkal, ám az SMS változók együttesen jobban magyarázták ezek varianciáját. Fontos kérdés a jövő kutatásaira nézve, hogy az egyes SMS és SMT, valamint kognitív változók milyen kapcsolatban állnak a nyelvi és olvasási területekkel, ám ennek megválaszolása jelen kutatásunk keretein túlmutat.

5. Tézispont

Az SMS és SMT feladatok mutatói első osztályban jelentős magyarázó erővel bírtak a szóolvasás, a helyesírás és a fonológiai tudatosság szintjének tekintetében. A területek közti kapcsolat abban az esetben is megmaradt, mikor a gyerekek általános kognitív teljesítményei (verbális munkamemória, RAN, nonverbális intelligencia, szókincs) is bekerültek a modellekbe.

Fennmarad az SMS és SMT teljesítmény kapcsolata az olvasással, a helyesírással és a fonológiai tudatossággal két évvel később is, harmadik osztályban?

A második vizsgálatunk eredményeihez képest a harmadik osztályos eredmények fontos tanulságokkal szolgáltak. A FT, a helyesírás és az olvasás változókra ismét lineáris modelleket hoztunk létre. Az olvasás színvonalát egyedül a RAN prediktálta a variancia 20%-át magyarázva. A helyesírás mutatóra alkotott modell két prediktor, a munkamemória és az SMT konzisztencia segítségével írta le a variancia 27%-át. Végül a fonológiai tudatosságra alacsony magyarázóerejű modell született (12%), amelyben az SMT szerepelt egyedüli szignifikáns prediktorként, a várthoz képest ellentétes, pozitív irányú kapcsolatban a fonológiai tudatossággal, illetve a végső modellből kimaradt változók közül szintén a RAN érte el a tendencia szintű szignifikancia szintet. Az utolsó modellel kapcsolatban fontos megjegyeznünk, hogy a post-hoc erő elemzés alapján ennek érvényessége megkérdőjelezhető.

Összességében elmondható, hogy a harmadik évfolyamra az SMS és SMT változók magyarázóereje erősen csökkent, míg az olvasás hagyományos kognitív prediktorai, mint a RAN és a munkamemória teret nyertek. Bár a munkamemória nem a leggyakoribb prediktora a helyesírásnak, több kutatás talált összefüggést közöttük (Binamé & Poncelet, 2016; Kroese és mtsai., 2000; Padraginé Csaba & Domján-Koncz, 2017), illetve megjegyzendő, hogy az általunk használt feladatban a verbálisan bemutatott szavakról a szótövek elemzésével tudtak a gyerekek helyes ítéletet hozni, amely könnyen belátható, hogy igénybe vette a verbális munkamemóriájukat. A RAN megjelenése feltehetően az olvasás, nevezetesen az ortográfiai út fejlődését jelzi (Ziegler és mtsai., 2010). Ahogy a gyerekek nagyobb mértékben támaszkodnak az ortográfiai reprezentációkra, a gyors megnevezés fokozatosan jobb prediktorrá válik, mint a FT. Adatainkból arra a következtetésre is juthatnánk, hogy az SMS és SMT változók korábbi magyarázóereje legalább részben a FT-on keresztül érvényesült, ahogy azt Goswami Temporal Sampling Framework (2018), illetve Ozernov-Paltchik és Patel elmélete (2018) prediktálja, majd a FT szerepe a harmadik osztályra csökkent. A FT első évfolyamos, illetve első és harmadik osztály közötti predikcióban játszott mediáló szerepét eredményeink alapján sem megerősíteni, sem kizárni nem tudjuk, a harmadik évfolyamban feltételezett háttérbe szorulásának azonban ellentmond a FT és az olvasás közötti együttjárás, amelyet megfigyeltünk minden évfolyam esetében. A FT mediáló szerepe, illetve annak időbeli változása továbbra is megválaszolandó kérdés marad, amely nagyobb mintát igénylő, kifinomultabb statisztikai elemzés segítségével lesz megválaszolható.

A nyelvi és olvasási teljesítményt első osztályban sikeresen prediktáló SMS változók háttérbe szorulása két, egymást nem kizáró módon is magyarázható. Az olvasás tanulásának kezdetén nagyobb hangsúlyt kapnak a tanulók képességei, ekkor még kiegyenlítettebb a verseny, míg később a család által biztosított háttér, az otthoni olvasás, illetve a szabadidős programok minősége nagyobb szerepet kapnak (Csépe, 2006). Későbbi kutatásokban a szülők szocioökonómiai státuszának feltérképezése is indokolt lenne. Az SMS és SMT mutatókkal való lényegesen gyengébb kapcsolat arra is engedhet következtetni, hogy a ritmikai fejlesztés hatékonysága a harmadik évfolyamra már csökken, így a ritmikai elemeket tartalmazó, vagy akár ritmikai fókuszú tréningek, intervenciók hatékonysága feltehetően magasabb korábbi évfolyamokban, illetve óvodáskorban.

Továbbá felmerül annak a lehetősége, hogy az SMS feladatok ingeranyaga, elrendezése, már a harmadik osztályosok körében nem volt alkalmas arra, hogy releváns egyéni különbségeket tudjunk ezekkel kimutatni, ami magyarázhatja, hogy a referencia nélkül feladatvégzést jellemző

mutatók jelentek meg a modellekben. Az idősebb korosztály számára feltehetően komplexebb, akár változó tempójú inger bemutatása lenne indokolt a későbbi vizsgálatok során.

6. Tézispont

A harmadik évfolyamos SMS és SMT változók az olvasás színvonalával nem álltak kapcsolatban, a helyesírással kisebb mértékben, a fonológiai tudatossággal pedig gyenge és ellentmondásos összefüggést találtunk. Megjelent azonban szignifikáns prediktorként a RAN és a verbális munkamemória.

Alkalmask az első osztályban felvett SMS és SMT tesztek mutatói a harmadik évfolyamos olvasás, helyesírás és fonológiai tudatosság prediktálására?

A 2. és 3. vizsgálatunk adatait az alapján is elemeztük, hogy az első osztályos SMS, SMT és általános kognitív tesztek eredményei képesek-e előrejelezni a két évvel későbbi nyelvi, olvasási színvonalat. A kutatás ezen részét különösen lényegesnek gondoljuk, mivel az olvasási nehézségek korai felismerése, előrejelzése jelentős gyakorlati haszonnal járhat.

Az olvasás színvonalát a RAN és a metronómos próbák SMS konzisztencia mutatója prediktálta. A helyesírás és a fonológiai tudatosság pontszámait is egyaránt a zenés próbák konzisztencia mutatója magyarázta legjobban a végső modellekben. Az olvasás fejlődése során, ahogy a harmadikos adatok összehasonlításakor is láttuk, feltehetően az ortográfiai út megjelenésével a gyors megnevezési teljesítmény szerepe nő, ugyanakkor mindhárom nyelvi, olvasási mutató esetében jelentős magyarázó erővel bírnak az SMS konzisztencia mutatók. Összességében megállapítható, hogy az első osztályos SMS mutatók jelentős mértékben magyarázták a két évvel későbbi olvasási, helyesírási és fonológiai tudatosság teljesítmények varianciáját.

A három kutatás eredményeit tekintve az aszinkronitás mutatók kevésbé mutattak kapcsolatot a nyelvi, olvasási változókkal, mint a referencia nélküli feladatvégzést jellemző, illetve az SMS konzisztencia változók. A konzisztencia mutatók sikeressége jól illeszkedik Tierney és Kraus PATH elméletébe (Tierney & Kraus, 2014) amely szerint a beat észlelésekor mért agyi válaszok konzisztenciája jelenik meg a mozgásos válaszok (tapping) alacsony variabilitásában

– amely hasonló az általunk használt konzisztencia mutatóhoz – és a pontosabb hallási észlelésben egyaránt, amely a fonológiai tudatosságon keresztül hat az olvasásra. Bár a FT mediáló szerepének tisztázására a jelen munkában bemutatott vizsgálataink nem adtak lehetőséget, a konzisztencia és a fonológiai tudatosság közti kapcsolat könnyen értelmezhető a PATH keretében.

Patel és Ozernov-Paltchik (2018) elmélete ugyancsak a fonológiai tudatosságon keresztül magyarázza a két terület kapcsolatát, azonban a hangsúlyt az auditív inger prediktálásának képességére helyezik, amely mérésére a beat-alapú feladatok alkalmasak. Ebben a keretben könnyen értelmezhető a predikciót jobban támogató zenei szinkronizációs mutatók kapcsolata a nyelvi és olvasási területekkel, ugyanakkor nehezen magyarázható a referencia nélküli feladatvégzés mutatóinak sikeressége az első és harmadik vizsgálatunkban, hiszen a spontán tempó feladatban és az SMS feladat folytatásos szakaszában nincsen hallható beat, amely alapján predikciókat tehetne a vizsgálati személy.

Szintén a FT-on keresztül képzeli el az SMS teljesítmény és az olvasás színvonalának kapcsolatát Goswami TSF elmélete (Goswami, 2018), azonban az auditív inger idői észlelésben a 2Hz-es frekvencián feltételezett specifikus deficit miatt konkrétabb előrejelzést is tesz: a 120 bpm tempójú SMS feladatban jelenne meg a gyengén olvasók hátránya. A fonológiai tudatossággal való összefüggések az elmélet ezen részének nem mondanak ellent, ugyanakkor vizsgálatainkban a nyelvi és olvasási tesztek eredményeivel összefüggésben nem elemeztük az inger tempójának szerepét, amely lehetőséget nyújtana a predikció ellenőrzésére. Későbbi kutatásokban az inger típusának hatása mellett indokolt a tempó mint faktor figyelembe vétele.

Az SMS konzisztencia és a referencia nélküli mutatók sikeressége a nyelvi és olvasási teljesítmény prediktálásában Fiveash és mtsai (2021) PRISM elméleti keretében úgy értelmezhető, hogy a „szenzomotoros coupling” mint mechanizmus a meghatározó a két terület kapcsolatában, bár a szerzők is megjegyzik, hogy a komponensek szétválasztása egyelőre módszertani kihívást jelent. Továbbá annak a lehetősége is fennáll, hogy a kapcsolat háttérben területáltalános mechanizmusok állnak, például a figyelemirányítás, statisztikai tanulás, vagy a végrehajtó funkciók, különös tekintettel a gátlásra. Az utóbbi összhangban állna az akcelerációs mutatóval talált összefüggésekkel.

Eredményeink alapján nem látszik kirajzolódni egyértelmű mintázat a különböző típusú mutatók és az ezekkel kapcsolatban álló kognitív területek között. Ennek feltételezhető módszertani oka, hogy a választott statisztikai elemzés (lineáris modellezés) elfedi az azonos

magyarozott variancián „osztó” mutatókkal való kapcsolatot. A metronómos és zenés ingeranyag között azonban bizonyos szabályszerűség mégis megfigyelhető, amely – bár csupán a spekuláció szintjén – értelmezhető a PRISM modell keretében. A zenés próbák, amelyek inkább jelentenek kihívást a precíz, hierarchikus feldolgozás szempontjából a komplexebb kognitív teljesítményt feltételező nyelvi és olvasási mutatókkal (olvasás pontosság, fonológiai tudatosság, helyesírás) álltak kapcsolatban, míg a metronómosak az olvasás fluenciájával, amely feltehetően alacsonyabb szintű, a szenzomotoros érettségre jobban támaszkodó teljesítmény. A gondolatmenetet folytatva az első esetben a ritmus és az olvasás közötti indirekt, fonológia által mediált, míg az utóbbiban direkt kapcsolatot feltételezhetünk. Ennek felderítése is ígéretes jövőbeli kutatási irány.

7. Tézispont

Az első osztályos SMS és SMT változók sikeresen prediktálták a harmadik évfolyamos szóolvasás, helyesírás és fonológiai tudatosság szintjét. A zenés ingert használó próbák mutatóinak sikeressége az elterjedtebb metronóm hangos feladatokhoz képest megerősíti a korosztály számára adekvátabb mérési módszer validitását.

Konklúzió

Kutatásunkban az első és harmadik évfolyam között követtük tipikus fejlődésű gyerekek SMS és SMT feladatvégzésének változását, valamint ezek kapcsolatát a nyelvi és olvasási teljesítményükkel. Saját mérési módszertanunk kialakításával igyekeztünk hozzájárulni az eljárások hazai adaptációjához. Sikerült új eredményekkel gazdagítani a longitudinális adatokban szűkölködő nemzetközi szakirodalmat, valamint magyar anyanyelvű gyerekek körében is kimutatni a szinkronizációs teljesítmény kapcsolatát a nyelvi és olvasási területekkel. A gyakrabban alkalmazott metronóm hangos ingeranyag mellett magasabb ökológiai validitású, a vizsgált korosztály számára élvezetesebb, motiválóbb komplex zenei anyagot is alkalmaztunk, amely eredményeink szerint megfelelőnek bizonyult a további kutatásokban való használatra.

Mivel a szenzomotoros szinkronizáció már az olvasás tanulásának megkezdése előtt mérhető, a jövőben hasznos diagnosztikai eszközzé válhat az olvasási nehézségek korai felismerésében. Jelen munkánk keretein túlmutatnak olyan fontos megválaszolandó kérdések, mint az inger típusának és tempójának pontos szerepe a predikcióban, a ritmus és nyelv közötti kapcsolat területspecifikus, vagy területáltalános volta, illetve olyan lehetséges mediátorok szerepe, mint a fonológiai tudatosság, a végrehajtó funkciók, vagy a statisztikai tanulás. Ezek megválaszolása a jövőben számos vizsgálatot igényel majd, melyekhez jelen munkánkkal igyekeztünk megteremteni az alapot.

Irodalomjegyzék

- Allan, L. G. (1998). The influence of the scalar timing model on human timing research. *Behavioural Processes*, 44(2), 101–117. [https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(98\)00043-6](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(98)00043-6)
- Allan, L. G., & Kristofferson, A. B. (1974). Psychophysical theories of duration discrimination. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 26–34. <https://doi.org/10.3758/BF03203244>
- Anvari, S. H., Trainor, L. J., Woodside, J., & Levy, B. A. (2002). Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of experimental child psychology*, 83(2), 111–130.
- Aschersleben, G. (2002). Temporal Control of Movements in Sensorimotor Synchronization. *Brain and Cognition*, 48(1), 66–79. <https://doi.org/10.1006/brcg.2001.1304>
- Aschersleben, G., Gehrke, J., & Prinz, W. (2001). Tapping with peripheral nerve block. *Experimental Brain Research*, 136(3), 331–339. <https://doi.org/10.1007/s002210000562>
- Asztalos, K., & Csapó, B. (2017). Development of musical abilities: Cross-sectional computer-based assessments in educational contexts. *Psychology of Music*, 45(5), 682–698.
- Barrett, K. C., Ashley, R., Strait, D. L., & Kraus, N. (2013). Art and science: how musical training shapes the brain. *Frontiers in Psychology*, 713.
- Bengtsson, S. L., Ullén, F., Henrik Ehrsson, H., Hashimoto, T., Kito, T., Naito, E., Forssberg, H., & Sadato, N. (2009). Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex*, 45(1), 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.07.002>
- Besson, M., Chobert, J., & Marie, C. (2011). Transfer of training between music and speech: common processing, attention, and memory. *Frontiers in psychology*, 2, 94.
- Besson, M., Schön, D., Moreno, S., Santos, A., & Magne, C. (2007). Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restorative neurology and neuroscience*, 25(3–4), 399–410.
- Bigand, E., & Tillmann, B. (2022). Near and far transfer: Is music special? *Memory & Cognition*, 50(2), 339–347.

- Binamé, F., & Poncelet, M. (2016). Order short-term memory capacity predicts nonword reading and spelling in first and second grade. *Reading and Writing, 29*(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11145-015-9577-9>
- Blomert, L., & Vaessen, A. (2009). *Differentiaal Diagnostiek van Dyslexie: Cognitieve analyse van lezen en spellen [Dyslexia Differential Diagnosis: Cognitive analysis of reading and spelling]*. Amsterdam, Netherlands: Boom Test.
- Boetsch, E. A. (1996). *A longitudinal study of the relationship between dyslexia and socioemotional functioning in young children*. University of Denver.
- Bonacina, S., Cancer, A., Lanzi, P. L., Lorusso, M. L., & Antonietti, A. (2015). Improving reading skills in students with dyslexia: the efficacy of a sublexical training with rhythmic background. *Frontiers in Psychology, 6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01510>
- Bonacina, S., Huang, S., White-Schwoch, T., Krizman, J., Nicol, T., & Kraus, N. (2021). Rhythm, reading, and sound processing in the brain in preschool children. *npj Science of Learning, 6*(1), 20. <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00097-5>
- Bonacina, S., Krizman, J., White-Schwoch, T., & Kraus, N. (2018). Clapping in time parallels literacy and calls upon overlapping neural mechanisms in early readers. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1423*(1), 338–348. <https://doi.org/10.1111/nyas.13704>
- Bonacina, S., Krizman, J., White-Schwoch, T., Nicol, T., & Kraus, N. (2020). Distinct rhythmic abilities align with phonological awareness and rapid naming in school-age children. *Cognitive Processing, 21*(4), 575–581. <https://doi.org/10.1007/s10339-020-00984-6>
- Bressler, S. L., & Kelso, J. A. S. (2016). Coordination Dynamics in Cognitive Neuroscience. *Frontiers in Neuroscience, 10*. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00397>
- Brunner, D., Kacelnik, A., & Gibbon, J. (1992). Optimal foraging and timing processes in the starling, *Sturnus vulgaris*: effect of inter-capture interval. *Animal Behaviour, 44*(4), 597–613. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80289-1](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80289-1)
- Buccino, G., Binkofski, F., & Riggio, L. (2004). The mirror neuron system and action recognition. *Brain and Language, 89*(2), 370–376. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00356-0](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00356-0)

- Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 755–765. <https://doi.org/10.1038/nrn1764>
- Buzsáki, G., & Draguhn, A. (2004). Neuronal Oscillations in Cortical Networks. *Science*, 304(5679), 1926–1929. <https://doi.org/10.1126/science.1099745>
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action Observation and Acquired Motor Skills: An fMRI Study with Expert Dancers. *Cerebral Cortex*, 15(8), 1243–1249. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi007>
- Cannon, J. J., & Patel, A. D. (2021). How Beat Perception Co-opts Motor Neurophysiology. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(2), 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.11.002>
- Carrer, L. R. J., Pompéia, S., & Miranda, M. C. (2022). Sensorimotor synchronization with music and metronome in school-aged children. *Psychology of Music*. <https://doi.org/10.1177/03057356221100286>
- Chapin, H. L., Zanto, T., Jantzen, K. J., Kelso, S. J. A., Steinberg, F., & Large, E. W. (2010). Neural Responses to Complex Auditory Rhythms: The Role of Attending. *Frontiers in Psychology*, 1. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2010.00224>
- Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Listening to Musical Rhythms Recruits Motor Regions of the Brain. *Cerebral Cortex*, 18(12), 2844–2854. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn042>
- Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2009). The Role of Auditory and Premotor Cortex in Sensorimotor Transformations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 15–34. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04556.x>
- Chobert, J., François, C., Velay, J. L., & Besson, M. (2014). Twelve months of active musical training in 8-to 10-year-old children enhances the preattentive processing of syllabic duration and voice onset time. *Cerebral Cortex*, 24(4), 956–967. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs377>
- Cirelli, L. K., Einarson, K. M., & Trainor, L. J. (2014). Interpersonal synchrony increases prosocial behavior in infants. *Developmental Science*, 17(6), 1003–1011. <https://doi.org/10.1111/desc.12193>

- Cirelli, L. K., & Trehub, S. E. (2019). Dancing to Metallica and Dora: Case Study of a 19-Month-Old. *Frontiers in Psychology, 10*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01073>
- Colling, L. J., Noble, H. L., & Goswami, U. (2017). Neural Entrainment and Sensorimotor Synchronization to the Beat in Children with Developmental Dyslexia: An EEG Study. *Frontiers in Neuroscience, 11*, 360. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00360>
- Cook, P., Rouse, A., Wilson, M., & Reichmuth, C. (2013). A California sea lion (*Zalophus californianus*) can keep the beat: Motor entrainment to rhythmic auditory stimuli in a non vocal mimic. *Journal of Comparative Psychology, 127*(4), 412–427. <https://doi.org/10.1037/a0032345>
- Corriveau, K. H., & Goswami, U. (2009). Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: Tapping to the beat. *Cortex, 45*(1), 119–130. <https://doi.org/10.1016/J.CORTEX.2007.09.008>
- Corriveau, K. H., Goswami, U., & Thomson, J. M. (2010). Auditory processing and early literacy skills in a preschool and kindergarten population. *Journal of Learning Disabilities, 43*(4), 369–382. <https://doi.org/10.1177/0022219410369071>
- Coull, J. T., Cheng, R.-K., & Meck, W. H. (2011). Neuroanatomical and Neurochemical Substrates of Timing. *Neuropsychopharmacology, 36*(1), 3–25. <https://doi.org/10.1038/npp.2010.113>
- Crystal, J. D. (2001). Circadian time perception. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 27*(1), 68–78. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.27.1.68>
- Cumming, R., Wilson, A., Leong, V., Colling, L. J., & Goswami, U. (2015). Awareness of Rhythm Patterns in Speech and Music in Children with Specific Language Impairments. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 672. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00672>
- Csépe, V. (2006). *Az olvasó agy*. Akadémiai Kiadó Zrt.
- Csépe, V. (2013). Olvasás, olvasási zavar és a fejlődő agy. In memoriam Leo Blomert. *Pszichológia, 33*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1556/Pszicho.33.2013.1.1>
- Dalla Bella, S., Farrugia, N., Benoit, C. E., Begel, V., Verga, L., Harding, E., & Kotz, S. A. (2017). BAASTA: Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities. *Behavior Research Methods, 49*(3), 1128–1145. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0773-6>

- D'Ausilio, A., Altenmüller, E., Olivetti Belardinelli, M., & Lotze, M. (2006). Cross-modal plasticity of the motor cortex while listening to a rehearsed musical piece. *European Journal of Neuroscience*, 24(3), 955–958. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04960.x>
- David, D., Wade-Woolley, L., Kirby, J. R., & Smithrim, K. (2007). Rhythm and reading development in school-age children: A longitudinal study. *Journal of Research in Reading*, 30(2), 169–183. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2006.00323.x>
- Dean, R. T., Byron, T., & Bailes, F. A. (2009). The pulse of symmetry: on the possible co-evolution of rhythm in music and dance. *Musicae Scientiae*, 13(2_suppl), 341–367.
- Degé, F., & Schwarzer, G. (2011). The Effect of a Music Program on Phonological Awareness in Preschoolers. *Frontiers in Psychology*, 2, 124. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00124>
- Dellatolas, G., Watier, L., Le Normand, M. T., Lubart, T., & Chevrie-Muller, C. (2009). Rhythm reproduction in kindergarten, reading performance at second grade, and developmental dyslexia theories. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 24(6), 555–563. <https://doi.org/10.1093/arclin/acp044>
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91(1), 176–180. <https://doi.org/10.1007/BF00230027>
- Dissanayake, E., Wallin, N. L., Merker, B., & Brown, S. (1999). *Antecedents of the temporal arts in early mother infant interaction, in origins of music*. Cambridge, Mass.: MIT press.
- Doelling, K. B., Florencia Assaneo, M., Bevilacqua, D., Pesaran, B., & Poeppel, D. (2019). An oscillator model better predicts cortical entrainment to music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(20), 10113–10121. <https://doi.org/10.1073/pnas.1816414116>
- Drake, C., Jones, M. R., & Baruch, C. (2000). The development of rhythmic attending in auditory sequences: Attunement, referent period, focal attending. In *Cognition* (Köt. 77, Szám 3). [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(00\)00106-2](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(00)00106-2)

- Drewing, K., Aschersleben, G., & Li, S.-C. (2006). Sensorimotor synchronization across the life span. *International Journal of Behavioral Development*, 30(3), 280–287. <https://doi.org/10.1177/0165025406066764>
- Duff, D., Tomblin, J. B., & Catts, H. (2015). The Influence of Reading on Vocabulary Growth: A Case for a Matthew Effect. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(3), 853–864. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-L-13-0310
- Ehri, L. C. (1997). Learning to read and learning to spell are one and the same, almost. *Learning to spell: Research, theory, and practice across languages*, 13, 237–268.
- Ehri, L. C. (2000). Learning to read and learning to spell: Two sides of a coin. *Topics in language disorders*, 20(3), 19–36.
- Einarson, K. M. (2017). *Beat perception and synchronization abilities in young children (Doctoral dissertation)*.
- Falk, S., Müller, T., & Dalla Bella, S. (2015). Non-verbal sensorimotor timing deficits in children and adolescents who stutter. *Frontiers in Psychology*, 6(July), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00847>
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior research methods*, 41(4), 1149–1160.
- Ferrer, E., Shaywitz, B. A., Holahan, J. M., Marchione, K., & Shaywitz, S. E. (2010). Uncoupling of Reading and IQ Over Time. *Psychological Science*, 21(1), 93–101. <https://doi.org/10.1177/0956797609354084>
- Fisher, N. I. (1993). *Statistical Analysis of Circular Data*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511564345>
- Fiveash, A., Bedoin, N., Gordon, R. L., & Tillmann, B. (2021). Processing Rhythm In Speech And Music: Shared Mechanisms And Implications For Developmental Speech And Language Disorders. *Neuropsychology*, 35(8), 771–791. <https://doi.org/10.1037/neu0000766>
- Flaugnacco, E., Lopez, L., Terribili, C., Montico, M., Zoia, S., & Schön, D. (2015). Music Training Increases Phonological Awareness and Reading Skills in Developmental

- Dyslexia: A Randomized Control Trial. *PLOS ONE*, *10*(9), e0138715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138715>
- Flaugnacco, E., Lopez, L., Terribili, C., Zoia, S., Buda, S., Tilli, S., Monasta, L., Montico, M., Sila, A., Ronfani, L., & Schön, D. (2014). Rhythm perception and production predict reading abilities in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 392. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00392>
- Forgeard, M., SCHLAUG, G., NORTON, A., ROSAM, C., IYENGAR, U., & WINNER, E. (2008). THE RELATION BETWEEN MUSIC AND PHONOLOGICAL PROCESSING IN NORMAL-READING CHILDREN AND CHILDREN WITH DYSLEXIA. *Music Perception*, *25*(4), 383–390. <https://doi.org/10.1525/mp.2008.25.4.383>
- Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., & Schlaug, G. (2008). Practicing a musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning. *PloS one*, *3*(10), e3566.
- Fraisse, P. (1963). *The psychology of time*.
- Fraisse, P. (1982). Rhythm and tempo. *The psychology of music*, *1*, 149–180.
- Fraisse, P. (1984). Perception and Estimation of Time. *Annual Review of Psychology*, *35*(1), 1–37. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.35.020184.000245>
- François, C., Chobert, J., Besson, M., & Schön, D. (2013). Music training for the development of speech segmentation. *Cerebral Cortex*, *23*(9), 2038–2043. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs180>
- Friston, K., & Kiebel, S. (2009). Predictive coding under the free-energy principle. *Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological sciences*, *364*(1521), 1211–1221.
- Fujii, S., & Wan, C. Y. (2014). The role of rhythm in speech and language rehabilitation: the SEP hypothesis. *Frontiers in human neuroscience*, *8*, 777.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, *84*(3), 279–325. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.3.279>

- Giraud, A. L., & Poeppel, D. (2012). Cortical oscillations and speech processing: Emerging computational principles and operations. *Nature Neuroscience*, *15*(4), 511–517. <https://doi.org/10.1038/nn.3063>
- Gordon, R. L., Shivers, C. M., Wieland, E. A., Kotz, S. A., Yoder, P. J., & Devin McAuley, J. (2015). Musical rhythm discrimination explains individual differences in grammar skills in children. *Developmental science*, *18*(4), 635–644.
- Goswami, U. (2011). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(1), 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.10.001>
- Goswami, U. (2018a). A Neural Basis for Phonological Awareness? An Oscillatory Temporal-Sampling Perspective. *Current Directions in Psychological Science*, *27*(1), 56–63. <https://doi.org/10.1177/0963721417727520>
- Goswami, U. (2018b). A Neural Basis for Phonological Awareness? An Oscillatory Temporal-Sampling Perspective. *Current Directions in Psychological Science*, *27*(1), 56–63. <https://doi.org/10.1177/0963721417727520>
- Goswami, U., Huss, M., Mead, N., Fosker, T., & Verney, J. P. (2013). Perception of patterns of musical beat distribution in phonological developmental dyslexia: Significant longitudinal relations with word reading and reading comprehension. *Cortex*, *49*(5), 1363–1376. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.005>
- Grahn, J. A., & Brett, M. (2007). Rhythm and Beat Perception in Motor Areas of the Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*(5), 893–906. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.5.893>
- Grahn, J. A., & McAuley, J. D. (2009). Neural bases of individual differences in beat perception. *NeuroImage*, *47*(4), 1894–1903. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.04.039>
- Grahn, J. A., & Rowe, J. B. (2009). Feeling the beat: premotor and striatal interactions in musicians and nonmusicians during beat perception. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, *29*(23), 7540–7548. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2018-08.2009>

- Grahn, J. A., & Schuit, D. (2012). Individual differences in rhythmic ability: Behavioral and neuroimaging investigations. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 22(2), 105–121. <https://doi.org/10.1037/a0031188>
- Grube, M., Cooper, F. E., Chinnery, P. F., & Griffiths, T. D. (2010). Dissociation of duration-based and beat-based auditory timing in cerebellar degeneration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(25), 11597–11601. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910473107>
- Habib, M., Lardy, C., Desiles, T., Commeiras, C., Chobert, J., & Besson, M. (2016). Music and dyslexia: A new musical training method to improve reading and related disorders. *Frontiers in Psychology*, 7(JAN). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00026>
- Háden, G. P., Honing, H., Török, M., & Winkler, I. (2015). Detecting the temporal structure of sound sequences in newborn infants. *International Journal of Psychophysiology*, 96(1), 23–28. <https://doi.org/10.1016/J.IJPSYCHO.2015.02.024>
- Hannon, E. E., & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(11), 466–472. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.08.008>
- Hausen, M., Torppa, R., Salmela, V. R., Vainio, M., & Särkämö, T. (2013). Music and speech prosody: a common rhythm. *Frontiers in psychology*, 4, 566.
- Hetland, L. (2000). Learning to make music enhances spatial reasoning. *Journal of aesthetic education*, 34(3/4), 179–238.
- Hirst, D., & Di Cristo, A. (1998). Intonation systems. *Cambridge: CUP*.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 849–878. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000103>
- Huron, D. (2008). *Sweet anticipation: Music and the psychology of expectation*. MIT press.
- Huss, M., Verney, J. P., Fosker, T., Mead, N., & Goswami, U. (2011). Music, rhythm, rise time perception and developmental dyslexia: Perception of musical meter predicts reading and phonology. *Cortex*, 47(6), 674–689. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.07.010>

- Hyde, K. L., & Peretz, I. (2004). Brains That Are out of Tune but in Time. *Psychological Science*, *15*(5), 356–360. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00683.x>
- Iversen, J. R., & Patel, A. D. (2010). The Beat Alignment Test (BAT). *International Conference for Music Perception and Cognition, Sapporo, Japan*.
- Janata, P., Tomic, S. T., & Haberman, J. M. (2012). Sensorimotor coupling in music and the psychology of the groove. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(1), 54–75. <https://doi.org/10.1037/a0024208>
- Jeannerod, M., & Frak, V. (1999). Mental imaging of motor activity in humans. *Current Opinion in Neurobiology*, *9*(6), 735–739. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(99\)00038-0](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(99)00038-0)
- Jones, M. R. (2018). *Time will tell: A theory of dynamic attending*. Oxford University Press.
- Jordanidisz, Á. (2009). A fonológiai tudatosság fejlődése az olvasástanulás időszakában. *Anyanyelv Pedagógia*, *4*.
- Katz, L., & Frost, R. (1992). Chapter 4 The Reading Process is Different for Different Orthographies: The Orthographic Depth Hypothesis. *Advances in Psychology*, *94*(C), 67–84. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62789-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62789-2)
- Kertész, C., Földi, R., & Honbolygó, F. (2020). A Ritmikai Szinkronizáció Kapcsolata a Fonológiai Tudatossággal És Az Olvasással Iskolakezdő Gyerekeknél. *Magyar Pszichológiai Szemle*, *75*(3), 455–476.
- Kertész, C., & Honbolygó, F. (2021). Tapping to Music Predicts Literacy Skills of First-Grade Children. *Frontiers in Psychology*, *12*(October). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.741540>
- Kertész, C., & Honbolygó, F. (2023). First school year tapping predicts children’s third-grade literacy skills. *Scientific Reports*, *13*(1), 2298.
- Keysers, C., & Gazzola, V. (2009). Expanding the mirror: vicarious activity for actions, emotions, and sensations. *Current Opinion in Neurobiology*, *19*(6), 666–671. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2009.10.006>

- Kirby, J. R., Georgiou, G. K., Martinussen, R., Parrila, R., Bowers, P., & Landerl, K. (2010). Naming Speed and Reading: From Prediction to Instruction. *Reading Research Quarterly*, 45(3), 341–362. <https://doi.org/10.1598/RRQ.45.3.4>
- Kirschner, S., & Tomasello, M. (2009). Joint drumming: social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of experimental child psychology*, 102(3), 299–314.
- Kirschner, S., & Tomasello, M. (2010). Joint music making promotes prosocial behavior in 4-year-old children☆☆☆. *Evolution and Human Behavior*, 31(5), 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2010.04.004>
- Koban, L., Ramamoorthy, A., & Konvalinka, I. (2019). Why do we fall into sync with others? Interpersonal synchronization and the brain’s optimization principle. *Social Neuroscience*, 14(1), 1–9. <https://doi.org/10.1080/17470919.2017.1400463>
- Kraskov, A., Dancause, N., Quallo, M. M., Shepherd, S., & Lemon, R. N. (2009). Corticospinal Neurons in Macaque Ventral Premotor Cortex with Mirror Properties: A Potential Mechanism for Action Suppression? *Neuron*, 64(6), 922–930. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.12.010>
- Kroese, J. M., Hynd, G. W., Knight, D. F., Hiemenz, J. R., & Hall, J. (2000). Clinical appraisal of spelling ability and its relationship to phonemic awareness (blending, segmenting, elision, and reversal), phonological memory, and reading in reading disabled, ADHD, and normal children. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 13(1–2), 105–131.
- Ladányi, E., Persici, V., Fiveash, A., Tillmann, B., & Gordon, R. L. (2020). Is atypical rhythm a risk factor for developmental speech and language disorders? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 11(5), 1–32. <https://doi.org/10.1002/wcs.1528>
- Lahav, A., Saltzman, E., & Schlaug, G. (2007). Action Representation of Sound: Audiomotor Recognition Network While Listening to Newly Acquired Actions. *The Journal of Neuroscience*, 27(2), 308–314. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4822-06.2007>
- Landerl, K., Castles, A., & Parrila, R. (2022). Cognitive Precursors of Reading: A Cross-Linguistic Perspective. *Scientific Studies of Reading*, 26(2), 111–124. <https://doi.org/10.1080/10888438.2021.1983820>

- Large, E., & Snyder, J. (2009). Pulse and meter as neural resonance. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 46–57.
- Large, E. W., Herrera, J. A., & Velasco, M. J. (2015). Neural networks for beat perception in musical rhythm. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 9(November), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00159>
- Large, E. W., & Jones, M. R. (1999). The dynamics of attending: How people track time-varying events. *Psychological review*, 106(1), 119.
- Lê, M., Quémart, P., Potocki, A., Gimenes, M., Chesnet, D., & Lambert, E. (2020). Rhythm in the blood: The influence of rhythm skills on literacy development in third graders. *Journal of Experimental Child Psychology*, 198, 104880.
- Lee, Y. S., Ahn, S., Holt, R. F., & Schellenberg, E. G. (2020). Rhythm and syntax processing in school-age children. *Developmental Psychology*, 56(9), 1632.
- Leong, V., & Goswami, U. (2014). Assessment of rhythmic entrainment at multiple timescales in dyslexia: Evidence for disruption to syllable timing. *Hearing Research*, 308, 141–161. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.07.015>
- Leong, V., Hämäläinen, J., Soltész, F., & Goswami, U. (2011). Rise time perception and detection of syllable stress in adults with developmental dyslexia. *Journal of Memory and Language*, 64(1), 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2010.09.003>
- Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). An Overview of Hierarchical Structure in Music. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 1(2), 229–252. <https://doi.org/10.2307/40285257>
- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003). Brain activation patterns during measurement of sub- and supra-second intervals. *Neuropsychologia*, 41(12), 1583–1592. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00118-0](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00118-0)
- Li, M., & Kirby, J. R. (2014). The Effects of Vocabulary Breadth and Depth on English Reading. *Applied Linguistics*, amu007. <https://doi.org/10.1093/applin/amu007>
- London, J. (2004). *Hearing in Time*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195160819.001.0001>

- Lundetræ, K., & Thomson, J. M. (2018). Rhythm production at school entry as a predictor of poor reading and spelling at the end of first grade. *Reading and Writing, 31*(1), 215–237. <https://doi.org/10.1007/s11145-017-9782-9>
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of dyslexia, 1*–14.
- Madison, G. (2001). Variability in isochronous tapping: Higher order dependencies as a function of intertap interval. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27*(2), 411–422. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.2.411>
- Madison, G., Forsman, L., Blom, Ö., Karabanov, A., & Ullén, F. (2009). Correlations between intelligence and components of serial timing variability. *Intelligence, 37*(1), 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.07.006>
- Magne, C., Schön, D., & Besson, M. (2006). Musician children detect pitch violations in both music and language better than nonmusician children: behavioral and electrophysiological approaches. *Journal of cognitive neuroscience, 18*(2), 199–211.
- Maróti, E., Barabás, E., Deszpot, G., Farnadi, T., Norbert Nemes, L., Szirányi, B., & Honbolygó, F. (2019). Does moving to the music make you smarter? The relation of sensorimotor entrainment to cognitive, linguistic, musical, and social skills. *Psychology of Music, 47*(5), 663–679. <https://doi.org/10.1177/0305735618778765>
- Mates, J. (1994). A model of synchronization of motor acts to a stimulus sequence. *Biological Cybernetics, 70*(5), 475–484. <https://doi.org/10.1007/BF00203240>
- McAuley, J. D., Jones, M. R., Holub, S., Johnston, H. M., & Miller, N. S. (2006). The time of our lives: Life span development of timing and event tracking. *Journal of Experimental Psychology: General, 135*(3), 348–367. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.3.348>
- Merchant, H., & de Lafuente, V. (2014). *Introduction to the Neurobiology of Interval Timing* (o. 1–13). https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1782-2_1
- Miendlarzewska, E. A., & Trost, W. J. (2014). How musical training affects cognitive development: Rhythm, reward and other modulating variables. *Frontiers in Neuroscience, 7*(8 JAN), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00279>
- Miyake, I. (1902). Researches on rhythmic action. *Studies from the Yale Psychology Laboratory, 10*, 1–48.

- Moelants, D. (2002). Preferred tempo reconsidered. *Proceedings of the 7th international conference on music perception and cognition, 2002*, 1–4.
- Molinaro, N., Lizarazu, M., Lallier, M., Bourguignon, M., & Carreiras, M. (2016). Out-of-synchrony speech entrainment in developmental dyslexia. *Human Brain Mapping, 37*(8), 2767–2783. <https://doi.org/10.1002/hbm.23206>
- Monier, F., & Droit-Volet, S. (2019). Development of sensorimotor synchronization abilities: Motor and cognitive components. *Child Neuropsychology, 25*(8), 1043–1062. <https://doi.org/10.1080/09297049.2019.1569607>
- Moreno, S., & Bidelman, G. M. (2014). Examining neural plasticity and cognitive benefit through the unique lens of musical training. *Hearing Research, 308*, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.09.012>
- Moreno, S., & Farzan, F. (2015). Music training and inhibitory control: A multidimensional model. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1337*(1), 147–152. <https://doi.org/10.1111/nyas.12674>
- Moritz, C., Yampolsky, S., Papadelis, G., Thomson, J., & Wolf, M. (2013). Links between early rhythm skills, musical training, and phonological awareness. *Reading and Writing, 26*(5), 739–769. <https://doi.org/10.1007/s11145-012-9389-0>
- Morrill, T. H., McAuley, J. D., Dilley, L. C., & Hambrick, D. Z. (2015). Individual differences in the perception of melodic contours and pitch-accent timing in speech: Support for domain-generalty of pitch processing. *Journal of Experimental Psychology: General, 144*(4), 730.
- Nagyné Réz, I., Lányiné Engelmayer, Á., Kuncz, E., Mészáros, A., Mlinkó, R., Bass, L., & Kő, N. (2008). WISC-IV: A Wechsler Gyermek Intelligenciateszt Legújabb Változata (Hungarian Version of the Wechsler Intelligence Scale for Children—Fourth Edition, WISC-IV). *Budapest: OS Hungary Tesztfelkészítő.*
- Nave, K., Snyder, J. S., & Hannon, E. (2022). *Sustained musical beat perception develops into late childhood and predicts phonological abilities.*
- Nayak, S., Coleman, P. L., Ladányi, E., Nitin, R., Gustavson, D. E., Fisher, S. E., Magne, C. L., & Gordon, R. L. (2021). The Musical Abilities, Pleiotropy, Language, and

Environment (MAPLE) Framework for Understanding Musicality-Language Links Across the Lifespan. In *Under Review*.

- Nettl, B. (2000). An ethnomusicologist contemplates universals in musical sound and musical culture. *The origins of music*, 463–472.
- Nitin, R., Gustavson, D. E., Aaron, A. S., Boorom, O. A., Bush, C. T., Wiens, N., Vaughan, C., Persici, V., Blain, S. D., Soman, U., Hambrick, D. Z., Camarata, S. M., McAuley, J. D., & Gordon, R. L. (2023). Exploring individual differences in musical rhythm and grammar skills in school-aged children with typically developing language. *Scientific Reports*, 13(1), 2201. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21902-0>
- Nozaradan, S., Peretz, I., Missal, M., & Mouraux, A. (2011). Tagging the Neuronal Entrainment to Beat and Meter. *Journal of Neuroscience*, 31(28), 10234–10240. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0411-11.2011>
- Nozaradan, S., Peretz, I., & Mouraux, A. (2012). Steady-state evoked potentials as an index of multisensory temporal binding. *NeuroImage*, 60(1), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.11.065>
- Overy, K., Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Clarke, E. F. (2003). Dyslexia and music: measuring musical timing skills. *Dyslexia*, 9(1), 18–36. <https://doi.org/10.1002/dys.233>
- Ozernov-Palchik, O., & Patel, A. D. (2018). Musical rhythm and reading development: does beat processing matter. *Ann. NY Acad. Sci*, 1423, 166–175.
- Ozernov-Palchik, O., Wolf, M., & Patel, A. D. (2018). Relationships between early literacy and nonlinguistic rhythmic processes in kindergarteners. *Journal of Experimental Child Psychology*, 167, 354–368. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.11.009>
- Padraginé Csaba, M., & Domján-Koncz, E. (2017). Munkamemória és helyesírás. *ANYANYELV-PEDAGÓGIA*, 10(2), 16–27.
- Pagliarini, E., Scocchia, L., Granocchio, E., Sarti, D., Stucchi, N., & Guasti, M. T. (2020). Timing anticipation in adults and children with Developmental Dyslexia: evidence of an inefficient mechanism. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73435-z>

- Parbery-Clark, A., Skoe, E., & Kraus, N. (2009). Musical experience limits the degradative effects of background noise on the neural processing of sound. *Journal of Neuroscience*, 29(45), 14100–14107.
- Parbery-Clark, A., Strait, D. L., Anderson, S., Hittner, E., & Kraus, N. (2011). Musical experience and the aging auditory system: implications for cognitive abilities and hearing speech in noise. *PloS one*, 6(5), e18082.
- Parbery-Clark, A., Strait, D. L., & Kraus, N. (2011). Context-dependent encoding in the auditory brainstem subserves enhanced speech-in-noise perception in musicians. *Neuropsychologia*, 49(12), 3338–3345.
- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 6(7), 674–681. <https://doi.org/10.1038/nn1082>
- Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. *Frontiers in Psychology*, 2(JUN), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00142>
- Patel, A. D. (2014). Can nonlinguistic musical training change the way the brain processes speech? The expanded OPERA hypothesis. *Hearing Research*, 308, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.08.011>
- Patel, A. D. (2023). Human Musicality and Gene-Culture Coevolution: Ten Concepts to Guide Productive Exploration. In *The Science-Music Borderlands* (o. 15–38). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/14186.003.0006>
- Patel, A. D., & Iversen, J. R. (2014). The evolutionary neuroscience of musical beat perception: the Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00057>
- Patel, A. D., Iversen, J. R., Bregman, M. R., & Schulz, I. (2009). Studying synchronization to a musical beat in nonhuman animals. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 459–469. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04581.x>
- Peng, P., Barnes, M., Wang, C., Wang, W., Li, S., Swanson, H. L., Dardick, W., & Tao, S. (2018). A meta-analysis on the relation between reading and working memory. *Psychological bulletin*, 144(1), 48.

- Perie, M., Grigg, W., & Donahue, P. (2005). The Nation's Report Card [TM]: Reading, 2005. NCEES 2006-451. *National Center for Education Statistics*.
- Persici, V., Blain, S., Iversen, J. R., Key, A. P., Kotz, S. A., McAuley, J. D., & Gordon, R. L. (2021). *Individual differences in neural entrainment to rhythm predict spoken grammar skills in six-year-old children*.
- Phillips-Silver, J., Aktipis, C. A., & Bryant, G. (2010). The Ecology of Entrainment: Foundations of Coordinated Rhythmic Movement. *Music Perception*, 28(1), 3–14. <https://doi.org/10.1525/mp.2010.28.1.3>
- Pinker, S. (1999). How the Mind Works. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 882(1 GREAT ISSUES), 119–127. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1999.tb08538.x>
- Politimou, N., Dalla Bella, S., Farrugia, N., & Franco, F. (2019). Born to speak and sing: Musical predictors of language development in pre-schoolers. *Frontiers in Psychology*, 10(APR), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00948>
- Power, A. J., Colling, L. J., Mead, N., Barnes, L., & Goswami, U. (2016). Neural encoding of the speech envelope by children with developmental dyslexia. *Brain and Language*, 160, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.06.006>
- Provasi, J., Anderson, D. I., & Barbu-Roth, M. (2014). Rhythm perception, production, and synchronization during the perinatal period. *Frontiers in Psychology*, 5(SEP), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01048>
- Provasi, J., & Bobin-Bègue, A. (2003). Spontaneous motor tempo and rhythmical synchronisation in 2½- and 4-year-old children. *International Journal of Behavioral Development*, 27(3), 220–231. <https://doi.org/10.1080/01650250244000290>
- Provasi, J., & Bobin-Bègue, A. (2008). Régulation rythmique avant 4 ans: effet d'un tempo auditif sur le tempo moteur. *L'Année psychologique*, 108(4), 631–658.
- Pujjarinet, F., Bégel, V., Lopez, R., Dellacherie, D., & Dalla Bella, S. (2017). Children and adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder cannot move to the beat. *Scientific Reports*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11295-w>
- Repp, B. H. (2003). Rate Limits in Sensorimotor Synchronization With Auditory and Visual Sequences: The Synchronization Threshold and the Benefits and Costs of Interval

- Subdivision. *Journal of Motor Behavior*, 35(4), 355–370.
<https://doi.org/10.1080/00222890309603156>
- Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 969–992. <https://doi.org/10.3758/BF03206433>
- Repp, B. H. (2006). Rate Limits of Sensorimotor Synchronization. *Advances in Cognitive Psychology*, 2(2), 163–181. <https://doi.org/10.2478/v10053-008-0053-9>
- Repp, B. H., & Penel, A. (2002). Auditory dominance in temporal processing: New evidence from synchronization with simultaneous visual and auditory sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(5), 1085–1099. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.28.5.1085>
- Repp, B. H., & Su, Y.-H. (2013). Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(3), 403–452. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0371-2>
- Richards, S. M. (2017). *Rhythmic Sensitivity and Developmental Language Disorder in Children*. University of Cambridge.
- Ríos-López, P., Molinaro, N., & Lallier, M. (2019). Tapping to a beat in synchrony predicts brain print sensitivity in pre-readers. *Brain and Language*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2019.104693>
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3(2), 131–141. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00038-0)
- Rocha, S., Southgate, V., & Mareschal, D. (2021). Infant Spontaneous Motor Tempo. *Developmental Science*, 24(2). <https://doi.org/10.1111/desc.13032>
- Rocha-Thomas, S.-E. (2018). *Do we dance because we walk? The impact of regular vestibular experience on the early development of beat production and perception*.
- Rose, D., Ott, L., Guérin, S. M. R., Annett, L. E., Lovatt, P., & Delevoeye-Turrell, Y. N. (2021). A general procedure to measure the pacing of body movements timed to music and metronome in younger and older adults. *Scientific reports*, 11(1), 3264.

- Ross, J. M., Iversen, J. R., & Balasubramaniam, R. (2018). The Role of Posterior Parietal Cortex in Beat-based Timing Perception: A Continuous Theta Burst Stimulation Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *30*(5), 634–643. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01237
- Sala, G., & Gobet, F. (2020). Cognitive and academic benefits of music training with children: A multilevel meta-analysis. *Memory & cognition*, *48*(8), 1429–1441.
- Schellenberg, E. G. (2011). Examining the association between music lessons and intelligence. *British Journal of Psychology*, *102*(3), 283–302. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.2010.02000.x>
- Schwartz, M., & Kotz, S. A. (2013). A dual-pathway neural architecture for specific temporal prediction. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *37*(10), 2587–2596. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.08.005>
- Semjen, A., & Ivry, R. B. (2001). The coupled oscillator model of between-hand coordination in alternate-hand tapping: A reappraisal. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*(2), 251–265. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.2.251>
- Semjen, A., Schulze, H.-H., & Vorberg, D. (2000). Timing precision in continuation and synchronization tapping. *Psychological Research Psychologische Forschung*, *63*(2), 137–147. <https://doi.org/10.1007/PL00008172>
- Sipos, Z. (2018, június 18). *Az első évfolyam végén alkalmazott a Meixner olvasólapok sztenderdizálásának tapasztalatai.* .
- Slater, J., Kraus, N., Woodruff Carr, K., Tierney, A., Azem, A., & Ashley, R. (2018). Speech-in-noise perception is linked to rhythm production skills in adult percussionists and non-musicians. *Language, cognition and neuroscience*, *33*(6), 710–717.
- Sousa, J., Martins, M., Torres, N., Castro, S. L., & Silva, S. (2022). Rhythm but not melody processing helps reading via phonological awareness and phonological memory. *Scientific Reports*, *12*(1), 13224. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15596-7>
- Spencer, R. M. C., Zelaznik, H. N., Diedrichsen, J., & Ivry, R. B. (2003). Disrupted Timing of Discontinuous But Not Continuous Movements by Cerebellar Lesions. *Science*, *300*(5624), 1437–1439. <https://doi.org/10.1126/science.1083661>

- Steinbrink, C., Knigge, J., Mannhaupt, G., Sallat, S., & Werkle, A. (2019). Are temporal and tonal musical skills related to phonological awareness and literacy skills? - Evidence from two cross-sectional studies with children from different age groups. *Frontiers in Psychology, 10*(MAR), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00805>
- Stevens, L. T. (1886). On the time-sense. *Mind, 11*(43), 393–404.
- Strait, D. L., Hornickel, J., & Kraus, N. (2011). Subcortical processing of speech regularities underlies reading and music aptitude in children. *Behavioral and Brain Functions, 7*, 1–11.
- Strait, D. L., Parbery-Clark, A., Hittner, E., & Kraus, N. (2012). Musical training during early childhood enhances the neural encoding of speech in noise. *Brain and Language, 123*(3), 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.09.001>
- Surányi, Z., Csépe, V., Richardson, U., Thomson, J. M., Honbolygó, F., & Goswami, U. (2009). Sensitivity to rhythmic parameters in dyslexic children: A comparison of Hungarian and English. *Reading and Writing, 22*(1), 41–56. <https://doi.org/10.1007/s11145-007-9102-x>
- Swaminathan, S., & Schellenberg, E. G. (2019). Music Training and Cognitive Abilities: Associations, Causes, and Consequences. In *The Oxford Handbook of Music and the Brain* (o. 644–670). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198804123.013.26>
- Tal, I., Large, E. W., Rabinovitch, E., Wei, Y., Schroeder, C. E., Poeppel, D., & Golumbic, E. Z. (2017). Neural entrainment to the beat: The “missing-pulse” phenomenon. *Journal of Neuroscience, 37*(26), 6331–6341. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2500-16.2017>
- Teki, S., Grube, M., Kumar, S., & Griffiths, T. D. (2011). Distinct Neural Substrates of Duration-Based and Beat-Based Auditory Timing. *The Journal of Neuroscience, 31*(10), 3805–3812. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5561-10.2011>
- Thiessen, E. D., Hill, E. A., & Saffran, J. R. (2005). Infant-Directed Speech Facilitates Word Segmentation. *Infancy, 7*(1), 53–71. https://doi.org/10.1207/s15327078in0701_5
- Thompson, E. C., White-Schwoch, T., Tierney, A., & Kraus, N. (2015). Beat Synchronization across the Lifespan: Intersection of Development and Musical Experience. *PLOS ONE, 10*(6), e0128839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128839>

- Thomson, J. M., Fryer, B., Maltby, J., & Goswami, U. (2006). Auditory and motor rhythm awareness in adults with dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 29(3), 334–348. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2006.00312.x>
- Thomson, J. M., & Goswami, U. (2008). Rhythmic processing in children with developmental dyslexia: Auditory and motor rhythms link to reading and spelling. *Journal of Physiology Paris*, 102(1–3), 120–129. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2008.03.007>
- Thomson, J. M., Leong, V., & Goswami, U. (2013). Auditory processing interventions and developmental dyslexia: A comparison of phonemic and rhythmic approaches. *Reading and Writing*, 26(2), 139–161. <https://doi.org/10.1007/s11145-012-9359-6>
- Tierney, A., & Kraus, N. (2013a). Music training for the development of reading skills. In *Progress in Brain Research* (Köt. 207, o. 209–241). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63327-9.00008-4>
- Tierney, A., & Kraus, N. (2013b). The Ability to Move to a Beat Is Linked to the Consistency of Neural Responses to Sound. *The Journal of Neuroscience*, 33(38), 14981–14988. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0612-13.2013>
- Tierney, A., & Kraus, N. (2014). Auditory-motor entrainment and phonological skills: precise auditory timing hypothesis (PATH). *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 949. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00949>
- Tierney, A., White-Schwoch, T., MacLean, J., & Kraus, N. (2017a). Individual differences in rhythm skills: Links with neural consistency and linguistic ability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(5), 855–868. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01092
- Tierney, A., White-Schwoch, T., MacLean, J., & Kraus, N. (2017b). Individual Differences in Rhythm Skills: Links with Neural Consistency and Linguistic Ability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(5), 855–868. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01092
- Todd, N. P. M., & Lee, C. S. (2015). The sensory-motor theory of rhythm and beat induction 20 years on: a new synthesis and future perspectives. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 444. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00444>
- Tóth, D., Csépe, V., Vaessen, A., & Blomert, L. (2014). 3DM-H: A dyslexia differenciáldiagnózisa: Az olvasás és helyesírás kognitív elemzése. *Technikai kézikönyv*.

- Trainor, L. J., Shahin, A. J., & Roberts, L. E. (2009). Understanding the benefits of musical training: effects on oscillatory brain activity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*(1), 133–142.
- Tranchant, P., Vuvar, D. T., & Peretz, I. (2016). Keeping the Beat: A Large Sample Study of Bouncing and Clapping to Music. *PLOS ONE*, *11*(7), e0160178. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160178>
- Ullman, M. T., & Pierpont, E. I. (2005). Specific Language Impairment is Not Specific to Language. *Cortex*, *41*(399), 433.
- Valdesolo, P., & DeSteno, D. (2011). Synchrony and the social tuning of compassion. *Emotion*, *11*(2), 262–266. <https://doi.org/10.1037/a0021302>
- Valdesolo, P., Ouyang, J., & DeSteno, D. (2010). The rhythm of joint action: Synchrony promotes cooperative ability. *Journal of Experimental Social Psychology*, *46*(4), 693–695. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2010.03.004>
- van Noorden, L., & Moelants, D. (1999). Resonance in the perception of musical pulse. *International Journal of Phytoremediation*, *21*(1), 43–66. <https://doi.org/10.1076/jnmr.28.1.43.3122>
- Varga, V., Tóth, D., & Csépe, V. (2022). Lexical Competition Without Phonology: Masked Orthographic Neighbor Priming With Deaf Readers. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, *27*(2), 151–165. <https://doi.org/10.1093/deafed/enab040>
- Wearden, J. H. (2003). Applying the scalar timing model to human time psychology: Progress and challenges. *Time and mind II: Information processing perspectives*, 21–39.
- Wechsler, D. (2003). Wechsler intelligence scale for children—Fourth Edition (WISC-IV). *San Antonio, TX: The Psychological Corporation*.
- Wing, A. M., & Kristofferson, A. B. (1973). Response delays and the timing of discrete motor responses. *Perception & Psychophysics*, *14*(1), 5–12. <https://doi.org/10.3758/BF03198607>
- Winkler, I., Haden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(7), 2468–2471. <https://doi.org/10.1073/pnas.0809035106>

- Wohlschläger, A., & Koch, R. (2000). *Synchronization error: An error in time perception*. In P. Desain & L. Windsor, *Rhythm perception and performance* (pp. 115-127). Lisse, The Netherlands: Swets and Zeitlinger.
- Wolff, P. H. (2002). Timing precision and rhythm in developmental dyslexia. *Reading and Writing, 15*(1/2), 179–206. <https://doi.org/10.1023/A:1013880723925>
- Wolpert, D. M., Doya, K., & Kawato, M. (2003). A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 358*(1431), 593–602. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1238>
- Woodrow, H. (1932). The effect of rate of sequence upon the accuracy of synchronization. *Journal of Experimental Psychology, 15*(4), 357–379. <https://doi.org/10.1037/h0071256>
- Woodruff Carr, K., White-Schwoch, T., Tierney, A. T., Strait, D. L., & Kraus, N. (2014). Beat synchronization predicts neural speech encoding and reading readiness in preschoolers. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111*(40), 14559–14564.
- Yates, K. M., Moore, D. R., Amitay, S., & Barry, J. G. (2019). Sensitivity to melody, rhythm, and beat in supporting speech-in-noise perception in young adults. *Ear and hearing, 40*(2), 358.
- Yu, L., & Myowa, M. (2021). The early development of tempo adjustment and synchronization during joint drumming: A study of 18- to 42-month-old children. *Infancy, 26*(4), 635–646. <https://doi.org/10.1111/infa.12403>
- Zacks, J. M., & Tversky, B. (2001). Event structure in perception and conception. *Psychological Bulletin, 127*(1), 3–21. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.1.3>
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience, 8*(7), 547–558. <https://doi.org/10.1038/nrn2152>
- Zentner, M., & Eerola, T. (2010). Rhythmic engagement with music in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107*(13), 5768–5773. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000121107>
- Ziegler, J. C., Bertrand, D., Tóth, D., Csépe, V., Reis, A., Faisca, L., Saine, N., Lyytinen, H., Vaessen, A., & Blomert, L. (2010). Orthographic Depth and Its Impact on Universal

Predictors of Reading. *Psychological Science*, 21(4), 551–559.
<https://doi.org/10.1177/0956797610363406>

Melléklet

8. táblázat. Nemi különbségek a nyelvi és olvasási változók között.

Változó	t	df	p	Cohen d
olvasás fluencia (1.)	1.135	34.490	0.264	0.374
olvasás pontosság (1.)	1.646	33.706	0.109	0.544
helyesírás (1.)	-0.522	33.422	0.605	-0.174
fonológiai tudatosság (1.)	0.062	30.380	0.951	0.021
olvasás (3.)	0.667	32.857	0.509	0.221
helyesírás (3.)	-0.238	34.731	0.814	-0.078
fonológiai tudatosság (3.)	0.275	30.800	0.785	0.091

Welch-féle t-próba. * $p < ,05$ ** $p < ,01$

9. táblázat. Az nyelvi és olvasási változók kapcsolata a korrall.

Változó	Életkor
olvasás fluencia (1.)	-0.011
olvasás pontosság (1.)	-0.009
helyesírás (1.)	-0.084
fonológiai tudatosság (1.)	-0.166
olvasás (3.)	-0.052
helyesírás (3.)	-0.138
fonológiai tudatosság (3.)	-0.152

Kendall-féle tau-b. * $p < ,05$ ** $p < ,01$