

A biológiai kor és a zenei tapasztalat eltérő szerepe serdülők finommotoros fejlődésében

The Distinct Roles of Biological Age and Musical Experience in the Fine Motor Development of Adolescents

Berencsi Andrea¹ – Fehér Lili Julia²

¹ PhD, egyetemi docens, Eötvös Loránd Tudományegyetem Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Kar Gyógypedagógiai Módszertani és Rehabilitációs Intézet, Budapest; HUN-REN-ELTE-PPKE Serdülőkori Fejlődés Kutatócsoport, Budapest
berencsi.andrea@barczy.elte.hu

² tudományos segédmunkatárs, HUN-REN-ELTE-PPKE Serdülőkori Fejlődés Kutatócsoport, Budapest
lili.j.feher@gmail.com

Absztrakt

A kéz finommozgásai mögött álló érési folyamatok a serdülőkör végéig nyúlnak mind a váz- és izomrendszer, mind az idegrendszer érését tekintve. Fontos kérdés, hogy a hosszú távú finommotoros tapasztalat és a biológiai érettség milyen súllyal alakítják az egyes mozgástípusokat. A szelektív ujjmozgások esetén az egyszerű ismétlődő mozgásokat a maximális sebesség, míg a komplex ujjmozgássorozatokat a sebesség és a pontosság egyaránt jellemzi. A gyermekkorban kezdődő hangszeres zenei képzés hosszú távú finommozgásos tapasztalatot eredményez. Serdülőkorra a hangszeres tapasztalattal nem rendelkező fiatalok esetén a biológiai érettség, míg hangszeren játszó fiatalok esetén a játékkal eltöltött évek száma határozza meg leginkább az összetett finommotoros teljesítményt. Eredményeink rávilágítanak a hosszú távú gyakorlás biológiai érettséget felülíró szerepére serdülőkörben.

Abstract

The maturation processes behind fine motor skills in the hands continue until the end of adolescence, involving the development of both the musculoskeletal and nervous systems. A key question is to what extent long-term fine motor experience and biological maturity influence specific types of movement. Simple repetitive finger movements are characterized by maximum speed, while complex sequences of finger movements are defined by both speed and accuracy. Beginning instrumental music training in childhood results in long-term fine motor experience. By adolescence, complex fine motor performance is primarily determined by biological maturity in individuals without instrumental experience. In those who play an instrument, however, the most significant factor is the number of years spent playing. Our findings emphasize the importance of long-term practice in surpassing biological maturity during adolescence.

Kulcsszavak: pubertáskori érés, finommotoros fejlődés, hangszeres tapasztalat

Keywords: pubertal maturity, fine motor development, instrumental music experience

A finommozgások fejlődése

Az emberi kézfunkció meghatározó fontosságú a mindennapos tevékenységeink és a társadalmi részvétel szempontjából. A kéz működését számos dimenzió mentén közelíthetjük meg a szenzoros működéstől indulva az erőfogásokon át a finommotoros

funkcióig, ez utóbbi egyik alapkövét a független ujjmozgások adják. A finommotoros feladatok összetettségének növekedésével a precíziós fogástól a manipuláció felé haladva, a kéz ujjainak e szelektív, nagyrészt egymástól elkülönült működése egyre nagyobb szerepet kap (Xu–Mawase–Schieber 2024). A finommozgások lehetnek egyszerűek, mindössze egy ujj repetitív működését igényelve, mint például a törlés gomb többszöri leütése, ilyenkor a mozgást például annak maximális sebessége jellemezheti. Ugyanakkor összetett mozgássorok végrehajtása során, mint a gépelés vagy a hangszeres játék, a végrehajtás sebessége mellett a mozgás pontosságával vagy a sebesség és pontosság összetett mutatójával írható le a teljesítmény (Berencsi–Gombos–Kovács 2016).

A kézmozgások fejlődése már a méhen belüli élet során elkezdődik, s míg a születés utáni első hónapokat a reflextevékenység és az ujjak együttes mozgása dominálja, a véletlenszerű tapasztalatszerzést fokozatosan felváltja az akaratlagos nyúlás és fogás (Berényi–Katona 2012). A cselekvés hozzájárul a testünkről alkotott kép kialakulásához (Jeannerod 2006), a kézmozgások során szerzett motoros és szenzoros tapasztalatok hozzájárulnak a motoros és a szomatoszenzoros kérgi területek és távoli agyi kapcsolataik alakításához (Schneider 2020). A finommozgások szabályozásának neuroanatómiai hátterét adó területek érését jellemzően az életkor függvényében térképezték fel. A nagyagykéregben az akaratlagos mozgások indításáért felelős mozgatókérgi területeken és a végrehajtó funkciókért felelős prefrontális területeken serdülőkorban lezajlik a szinaptikus metszegetés, azaz *pruning*, amely a hatékonyságot növeli (Huttenlocher 2002). Az elsődleges mozgatókéreg „huzalozottsága” 14 éves korra jelentőssé válik, és ez tovább fokozódik a fiatal felnőttkorig (Váša et al. 2020). A téri feldolgozásért és motoros tervezésért felelős parietális és premotoros kérgi területek közötti hosszú távú kapcsolatok kialakulása késő serdülőkorig tart egy lokális-globális hálózati mintát követve. A kéreg alatti motoros központok érése, mint a kisagy vagy a törzsdúcrendszer, a serdülőkorban folyamatos, csakúgy, mint a távoli kapcsolatrendszerek erősödése a kérgi és kéreg alatti motoros területek között (Oldham–Fornito 2019). Emellett a fehérállomány érése, a mielinizáció hozzájárul a mozgásválaszok sebességének növekedéséhez. A kézmozgások, a független ujjmozgások irányításáért, az ujjmozgások sebességéért felelős kortikospinális pályarendszer mielinizációja 7–12 éves korig intenzíven zajlik, majd a felnőttkorig fokozatosan tovább folytatódik (Yeo–Jang–Son 2014).

A serdülőkor a fejlődés érzékeny időszaka, amikor a motoros rendszer az agyi átrendeződés és a váz- és izomrendszerbeli változások (lásd Utczás Katinka és Tróznai Zsófia tanulmányát a tematikus összeállítás 157–163. oldalain) révén eléri a felnőttkori jellemzőit. A finommotoros készségeket genetikailag irányított érési folyamatok és a fejlődés során tapasztalatoktól függő változások egyaránt meghatározzák. Gyakorlati szempontból is fontos kérdés (például: pályaválasztás, mozgásfejlesztés), hogy a különböző típusú finommozgások esetén milyen szerepe van a biológiai érésnek és a tapasztalatszerzésnek.

A finommozgások műszeres mérése

A finommotoros funkciókat a funkcionális tesztek mellett kísérleti paradigmák segítségével térképezhetjük fel. A szelektív ujjmozgások vizsgálatának ismert modellje az ujj-összeérintéses (*finger tapping*) paradigma, melynek során a résztvevők a kéz ujjait meghatározott sorrendben érintik össze adatkesztyűs mérés során, a sebességet és a pontosságot egyaránt monitorozva (Gerván–Berencsi–Kovács 2011). Serdülőkorban az egyszerű repetitív ujjmozgások és az összetett ujjmozgássorok fejlődési görbéje eltérő fejlődési ívet mutat, ha az életkor függvényében ábrázoljuk őket. A repetitív ujjmozgások maximális sebessége az életkorral nő, férfiak esetén 20 éves korig, majd azon túl is kb. 38 éves korig (Bartzokis et al. 2010) folyamatos emelkedést mutat, míg nők esetén egy plató jellemző kb. 14-16 éves kortól egészen felnőttkorig. Az összetett mozgássorokat magukba foglaló, szekvenciális mozgások során mind a mozgás sebessége, mind a pontossága emelkedik az életkor előrehaladtával (Berencsi–Gombos–Kovács 2016), és mindkét jellemzőt együttesen figyelembe véve elmondható, hogy 20 éves korig nem tetőzik a teljesítmény (Gerván–Berencsi–Kovács 2011). Mind a repetitív ujjmozgások maximális sebességére, mind az összetett ujjmozgássorok végrehajtására jellemzőek a nemi különbségek, a nők fejlődési görbéje kb. 1,1 évvel megelőzi a férfiakét (Gerván et al. 2017). Míg a kronológiai kor (életkor) függvényében a teljesítményváltozás jól feltérképezettnek tekinthető, a biológiai érettség szerepét a finommozgások esetén kevésbé ismerjük.

Az érésben lévő mozgatórendszerben a rövid távú finommotoros tréning hatását vizsgálva a szekvenciális ujjmozgássorok egyhetes gyakorlása során a gyermekkortól felnőttkorig (7–21 év) minden életkori sávban nő a teljesítmény a pontosságot és a sebességet tekintve egyaránt (Gerván–Berencsi–Kovács 2011). Míg a serdülőkor előtt a mozgás pontossága a gyakorlás kezdetén alacsony, a gyakorlás előrehaladtával a pontosság jelentősen nő. A serdülőkorban lezajló *pruning* következtében a kiindulási teljesítmény pontossága emelkedik az életkor előrehaladtával, így a gyakorlás során a teljesítmény javulása inkább a mozgássorok végrehajtásának sebességében mutatkozik meg. Genetikai eredetű fejlődési zavarral élő személyek esetén a mozgástanulás viselkedéses jellemzői eltérhetnek e mintázattól (Berencsi–Gombos–Kovács 2016), s a viselkedéses jellemzők mellett a memóriakonzolidáció neurofiziológiai hátterében megbúvó folyamatok feltérképezése is fontos szempont (Berencsi et al. 2017).

A tapasztalat hatása a finommozgásokra

A hosszú távú finommotoros tapasztalatszerzés hatását ugyanakkor hónapok, évek feladat- vagy eszközspecifikus gyakorlásának nyomán ismerhetjük meg, mint például a hangszeres játék vagy a konzolos videójátékok használata, amelyek mozdulatok rendszeres gyakorlását, ismétlését facilitálják. Serdülő lányok és fiúk esetén például a zenei tapasztalat nagyobb hatással van a komplexebb finommotoros teljesítményre, mint az érés vagy az életkor. A sebesség tekintetében azonban ez a hatás kizárólag

a nem domináns kézen jelenik meg (Berencsi et al. 2024). Ez felvet azonban egy további kutatásra irányuló kérdést azzal kapcsolatban, hogy a különböző hangszertípusoknak eltérő hatásuk van-e. A vonós hangszereken például a bal kézen történik a komplexebb ujjmozgás, és a jobb kéz, kar és váll nagyobb mozdulatai együttesen felelősek az ehhez tökéletesen illeszkedő vonókezelésért (Baader–Kazennikov–Wiesendanger 2005). Ezzel szemben a fúvós vagy billentyűs hangszereken mindkét kézre egyaránt az ujjak komplex mozgása jellemző.

A számítógépes játékok esetén is megjelenhet eltérő hatás a játéktípusok közt. A billentyűzeten történő aktív játékok jellemzően minden ujj összetett, összehangolt és gyors mozgását igénylik, míg a kontrollerrel irányított játékok többnyire csupán a hüvelyk- és mutatóujjakat veszik igénybe, a többi ujj egyidejűleg mozdulatlan. Lukasz Borecki és munkatársai azt találták, hogy a billentyűzet által irányított aktív játékot rendszeresen használó fiatal felnőttek szignifikánsan jobban teljesítettek minden finommotoros paraméterben, mint azok, akik sosem játszanak számítógépes játékokat (Borecki–Tolstych–Pokorski 2013). Serdülők esetén a játékidőnek szignifikáns pozitív hatása lehet a motoros teljesítményre, azonban a játék gyakoriságának magának nem volt hatása (Ahn–Won 2023).

A biológiai érés hatása a finommozgásokra

A serdülőkori finommotoros teljesítményt meghatározó tényezők közül a biológiai érés és a hosszú távú tapasztalat szerepét vizsgálva a biológiai érettséget a csontkor (lásd Utczás és Tróznai tanulmányát), míg a finommotoros tapasztalat szerepét a hangszeres játékkal töltött idő függvényében vizsgáltuk (Berencsi et al. 2024). A hangszeres zenei képzés általában gyermekkorban kezdődik, évekig tartó rendszeres napi gyakorlással jár (Szűcs–Hejja 2017), és a kézmozgások szempontjából is specifikus tapasztalatszerzést jelent, így a hosszú távú finommotoros gyakorlás modelljeként alkalmazható (Berencsi et al. 2022). A kérdésünk az volt, hogy a finommotoros teljesítmény két aspektusát (1) a mielinizáció által jelentősen meghatározott maximális motoros sebességet és (2) a kiterjedt agykérgi és agykéreg alatti hálózatok együttes működését feltételező komplex mozgássorokban nyújtott teljesítményt milyen mértékben határozza meg a biológiai érettség és a tapasztalat. A maximális motoros sebességet a mutatóujj repetitív ujj-összeérintéses feladatával (összeérintések száma / s), míg a komplex mozgássorokban nyújtott teljesítményt szekvenciális ujj-összeérintéses paradigmával vizsgáltuk, amelyben a végrehajtás sebességét és pontosságát egyaránt figyelembe vettük (teljesítményráta: a helyes sorozatokban részt vett összeérintések száma / s). A vizsgálat résztvevőinek egy csoportja hangszeres tapasztalattal rendelkezett (1–8 év), míg a résztvevők másik csoportja nem vett részt hangszeres zenei képzésben. Eredményeink azt mutatták, hogy a hangszeres tapasztalattal nem rendelkezők körében a komplex mozgássorokban nyújtott teljesítményt leginkább meghatározó faktor a biológiai érettség szintje mind a domináns, mind a nem domináns kézen. Hangszeres tapasztalat jelenlétében ugyanakkor a hangszeres játékkal töltött

évek száma vált a komplex teljesítményt legjelentősebben meghatározó faktorrá a kézdominanciától függetlenül. Ezen eredmények először világítottak rá az összetett finommotoros teljesítményt meghatározó faktorként a biológiai érettségre az életkorhoz képest, valamint arra, hogy az érettség hatását felülírja a specifikus hosszú távú tapasztalat tipikus fejlődésű serdülők esetén. A maximális motoros sebesség prediktora hangszeres képzés hiányában az életkor volt, ami megegyezik korábbi eredményeinkkel (Berencsi et al. 2022). Hangszeres játék mellett ugyanakkor az azzal eltöltött idő is a maximális sebesség előrejelzőjévé vált a nem domináns kézen.

A finommotoros maximális sebesség életkor által való meghatározottsága – hangszeres tapasztalat hiányában – tükrözheti a fehérállomány érésének elhúzódozó, életkorfüggő folyamatait, mint a leszálló pályarendszerek mielinizációja és axonátmérő-növekedése (Yeo–Jang–Son 2014), illetve az agyi motoros pályarendszerek érését (Rowley et al. 2017). Az összetett, független ujjmozgássorok csontkor által való meghatározottsága pedig a serdülőkorai agykérgi érési folyamatokra utal, mint a primer mozgatókéregben késő serdülőkorig zajló *pruning* (Huttenlocher 2002), mely hozzájárul a hatékony agykérgi hálózatok kialakulásához (Sakai 2020).

Összefoglalás

A fenti eredmények kiemelik a biológiai érettség hatását az összetett ujjmozgássorok végrehajtása során, és rávilágítanak a hosszú távú gyakorlás biológiai érettséget felülíró szerepére serdülőkorban a komplex mozgásokat illetően. Ezen eredmények hozzájárulhatnak a fiatalok pályaválasztásra való felkészüléséhez. További vizsgálatok tárgyát képezi ugyanakkor, hogy sajátos nevelési igényű tanulók esetén a hosszú távú gyakorlás hatása hogyan érvényesül a különböző típusú kézmozgások esetén a háttérben álló okok, neuroanatómiai jellemzők, motoros és kognitív képességek szerzetegző volta mellett.

Köszönetnyilvánítás

A munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal K-134370 számú OTKA-témapályázata (vezető kutató: Kovács Ilona), a HUN-REN-ELTE-PPKE Serdülőkorai Fejlődés Kutatócsoport, valamint a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Bölcsész- és Társadalomtudományi Karának PPKE-BTK-KUT-23-1 számú kutatócsoporti pályázata támogatta.

Irodalomjegyzék

- Ahn, Hyoyeon – Won, Jongeun (2023). „The Effects of Adolescents’ Participation in Video Games on Cognitive Function and Motor Control Skills”. *Healthcare (Basel)* 11/20, 2740. <https://doi.org/10.3390/healthcare11202740>.
- Baader, Andreas P. – Kazennikov, Oleg – Wiesendanger, Mario (2005). „Coordination of Bowing and Fingering in Violin Playing”. *Cognitive Brain Research* 23/2–3, 436–443. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.11.008>.

- Bartzokis, George et al. (2010). „Lifespan Trajectory of Myelin Integrity and Maximum Motor Speed”. *Neurobiology of Aging* 31/9, 1554–1562. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2008.08.015>.
- Berencsi, Andrea et al. (2017). „Sigma Frequency Dependent Motor Learning in Williams Syndrome”. *Scientific Reports* 7, 16759. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12489-y>.
- Berencsi, Andrea et al. (2022). „Musical Training Improves Fine Motor Function in Adolescents”. *Trends in Neuroscience and Education* 27/6, 100176. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2022.100176>.
- Berencsi, Andrea et al. (2024). „The Contributions of Biological Maturity and Experience to Fine Motor Development in Adolescence”. *BioRxiv – The Preprint Server for Biology*. <https://doi.org/10.1101/2024.09.02.610814>.
- Berencsi, Andrea – Gombos, Ferenc – Kovács, Ilona (2016). „Capacity to Improve Fine Motor Skills in Williams Syndrome”. *Journal of Intellectual Disability Research* 60/10, 956–968. <https://doi.org/10.1111/jir.12317>.
- Berényi Marianne – Katona Ferenc (2012). *Fejlődésneurológia*. Budapest: Medicina Kiadó.
- Borecki, Lukasz – Tolstych, Katarzyna – Pokorski, Mieczyslaw (2013). „Computer Games and Fine Motor Skills”. In: Pokorski, Mieczyslaw, szerk. *Respiratory Regulation – Clinical Advances. Advances in Experimental Medicine and Biology* 755. Dordrecht: Springer, 343–348. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4546-9_43.
- Gerván, Patrícia – Berencsi, Andrea – Kovács, Ilona (2011). „Vision First? The Development of Primary Visual Cortical Networks Is More Rapid Than the Development of Primary Motor Networks in Humans”. *PLOS ONE* 6/9, e25572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025572>.
- Gerván, Patrícia et al. (2017). „Posterior–Anterior Brain Maturation Reflected in Perceptual, Motor and Cognitive Performance”. *Frontiers in Psychology* 8, 674. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00674>.
- Huttenlocher, Peter R. (2002). *Neural Plasticity*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jeannerod, Marc (2006). *Motor Cognition*. Oxford: Oxford University Press.
- Oldham, Stuart – Fornito, Alex (2019). „The Development of Brain Network Hubs”. *Developmental Cognitive Neuroscience* 36, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.12.005>.
- Rowley, Christopher D. et al. (2017). „Age-Related Mapping of Intracortical Myelin from Late Adolescence to Middle Adulthood Using T₁-Weighted MRI”. *Human Brain Mapping* 38/7, 3691–3703. <https://doi.org/10.1002/hbm.23624>.
- Sakai, Jill (2020). „How Synaptic Pruning Shapes Neural Wiring During Development and, Possibly, in Disease”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 117/28, 16096–16099. <https://doi.org/10.1073/pnas.2010281117>.
- Schneider, David M. (2020). „Reflections of Action in Sensory Cortex”. *Current Opinion in Neurobiology* 64, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2020.02.004>.
- Szűcs, Tímea – Hejja, Emerencia Bella (2017). „The Institutional Network and State of Music Education in Hungary”. *Hungarian Educational Research Journal* 7, 39–54.
- Váša, František et al. (2020). „Conservative and Disruptive Modes of Adolescent Change in Human Brain Functional Connectivity”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 117/6, 3248–3253. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906144117>.
- Xu, Jing – Mawase, Firas – Schieber, Marc H. (2024). „Evolution, Biomechanics, and Neurobiology Converge to Explain Selective Finger Motor Control”. *Physiological Reviews* 104/3, 983–1020. <https://doi.org/10.1152/physrev.00030.2023>.
- Yeo, Sang Seko – Jang, Sung Ho – Son, Su Mi (2014). „The Different Maturation of the Corticospinal Tract and Corticoreticular Pathway in Normal Brain Development: Diffusion Tensor Imaging Study”. *Frontiers in Human Neuroscience* 8, 573. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00573>.