

# A serdülők kognitív fejlettsége nemcsak az életkor, hanem a biológiai kor függvénye is

## Adolescent Cognitive Development Depends Not Only on Chronological but Also on Biological Age

Oláh Gyöngyi<sup>1</sup> – Gerván Patrícia<sup>2</sup> – Kovács Kristóf<sup>3</sup>

<sup>1</sup> doktorjelölt, Semmelweis Egyetem Doktori Iskola Mentális Egészségtudományi Tagozat, Budapest;  
HUN-REN-ELTE-PPKE Serdülőkori Fejlődés Kutatócsoport, Budapest  
olah.gyongyi@btk.ppke.hu

<sup>2</sup> PhD, tudományos munkatárs, HUN-REN-ELTE-PPKE Serdülőkori Fejlődés Kutatócsoport, Budapest;  
Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar Pszichológiai Intézet, Budapest  
gervan.patricia@ppk.elte.hu

<sup>3</sup> PhD, tudományos főmunkatárs, Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Pedagógiai és Pszichológiai Kar Pszichológiai Intézet, Budapest  
kovacs.kristof@ppk.elte.hu

### Absztrakt

A serdülőkori kognitív funkciók fejlődésének kiemelten fontos időszaka. Ebben az időszakban az agyi struktúrák közötti kapcsolatok jelentős változásokon mennek keresztül, mely folyamatokra az életkoron és tapasztalaton túl a hormonális változásokkal összefüggő pubertáskori érettség szintje is jelentős hatást gyakorol. Cikkünk a magas szintű kognitív és végrehajtó funkciók fejlődésére összpontosít, bemutatva az eltérő érési tempó kognitív következményeit, valamint a korai érés lehetséges negatív hatásait. A serdülőkori kognitív fejlődés mélyebb megértése támogathatja a kognitív és végrehajtó funkciók célzott fejlesztését, valamint nagy jelentősége van az oktatás, a pedagógia és a mentális egészség területén.

### Abstract

Adolescence is a critical period for the development of cognitive functions. During this time, significant changes occur in the neural connections between different areas of the brain. Beyond age and experience, the level of pubertal maturation – which is closely tied to hormonal changes – substantially influences these processes. This article focuses on the development of cognitive and executive functions, presenting the cognitive consequences of different maturational tempos and highlighting the potential negative impacts of early maturation. A deeper understanding of the complexity of adolescent cognitive development could inform targeted interventions to enhance executive functions, emphasizing their importance in educational, pedagogical, and mental health applications.

**Kulcsszavak:** kognitív fejlődés, pubertáskori érés, kognitív képességek, végrehajtó funkciók

**Keywords:** cognitive development, pubertal maturation, cognitive abilities, executive functions

## A serdülőkör mint a magasabb rendű kognitív funkciók fejlődésének kritikus szakasza

A serdülőkör nem csupán átmeneti időszak a gyermekkor és a felnőttkor között, hanem kritikus periódus a magasabb rendű kognitív funkciók fejlődése szempontjából (Fuhrmann–Knoll–Blakemore 2015; Larsen–Luna 2018). Életünk második évtizedében az agy jelentős neurobiológiai változásokon megy keresztül, és az érési, fejlődési és újraszerveződési folyamatokat az érés, a tapasztalat és a környezeti hatások együttesen befolyásolják.

A serdülő agy nem tekinthető „fejlett” gyermekagynak vagy „éretlen” felnőtt agynak; strukturális és funkcionális változásaiban kifejezetten az élet e szakaszának igényeihez igazodik (Giedd 2015). Érdemes kiemelni két kulcsfontosságú agyi fejlődési folyamatot. Egyrészt a prefrontális kéreg (PFC) érési folyamatait, amelyek a végrehajtó funkciókért, valamint a kognitív és impulzuskontrollért felelősek, a tervezést és a döntéshozatalt támogatják (Crone–Steinbeis 2017; Steinberg 2005). A prefrontális területek érése serdülőkörben még javában zajlik, ami hatással van az agyi hierarchiában felülről lefelé irányuló kognitív képességek hatékonyságára. Másrészt az agykérgi és szubkortikális területeken belüli, valamint az agykérgi területek közötti kapcsolatok mennyiségi és minőségi változásokon esnek át. Mind a kortikális, mind a szubkortikális régiókban életkorral és hormonokkal összefüggő változások figyelhetők meg az idegi aktivitásban és struktúrában (Gogtay et al. 2004).

A végrehajtó funkciók, amelyek a gondolkodást, a cselekvést és az érzelmeket modulálják, még a korai felnőttkorban is fejlődés alatt állnak (Luna et al. 2015), különös tekintettel a frissítésre (a munkamemória tartalmának gyors hozzáadása, törlése és folyamatos figyelemmel kísérése), a gátlásra (a prepotens válaszok szándékos felülbírálása), valamint a váltásra (a feladatok vagy mentális készletek között) (Miyake–Friedman 2012). Ezek a funkciók leginkább a laterális frontoparietális agyi hálózattól függenek, amely elhúzódó fejlődést mutat mind a hálózaton belüli, mind más hálózatokkal való összeköttetések, valamint a struktúra és a funkció tekintetében (Crone–Dahl 2012).

Számos tanulmány jellemzi a serdülőkort az élmény- és kockázatkeresés, valamint az önkontroll szempontjából is kritikus időszakként. Ennek neurobiológiai hátterét például a Laurence Steinberg (2010) által javasolt „kettősrendszer-modell” (*Dual System Model*) adhatja. A modell szerint a kockázatkereső és impulzív készletek gátlásának nehézsége a limbikus rendszer és a PFC érésbeli aszinkronjának eredménye. A PFC lassabb fejlődése és a limbikus rendszerrel való kapcsolata olyan egyensúlyhiányt okoz, amelynek eredményeképpen az impulzív készletek dominálnak a kognitív kontroll felett. Az elmélet inkább a kockázatos viselkedés maladaptív következményeire összpontosít, mint például az impulzivitásból fakadó fizikai sérülésekre, a kábítószer-használatra, a nem kívánt terhességre vagy a nemi úton terjedő betegségek veszélyére.

Ezzel szemben Daniel Romer és munkatársai szerint a kockázatkereső viselkedést érdemes a fejlődés adaptív részeként tekinteni, amelyben a felfedezés biológiailag

vezérelt igénye nyilvánul meg (Romer–Reyna–Satterthwaite 2017). Az „élethosszi bölcsességmodell” (*Lifespan Wisdom Model*) szerint a rizikókeresés célja a tapasztalatszerzés és a tizenévesek felkészítése azokra az összetett döntésekre, amelyeket felnőttként kell majd meghozniuk. Ez a fajta nyitottság és kíváncsiság kiaknázható akár az iskolai tanulás során is, mivel ösztönözheti a kreatív gondolkodást és a probléma-megoldó képességek fejlesztését.

### Az eltérő tempójú pubertáskori érés hatásai a kognitív funkciókra

A pubertás időzítésével foglalkozó szakirodalomban számos hipotézis született az eltérő pubertáskori érési tempó fejlődési trajektóriákra gyakorolt hatásairól. Fontos megjegyezni, hogy az eltérő érési tempó mérésére többféle módszert is alkalmaznak (például: hormonszint, kérdőíves vizsgálatok, Tanner-skála), így az eredmények összehasonlítására csak korlátozottan van lehetőség. (A módszerekről bővebben lásd Utczás Katinka és Tróznai Zsófia tanulmányát a tematikus összeállítás 157–163. oldalain.)

A korai éréssel foglalkozó elméleteket Corinna Laube és Delia Fuhrmann összefoglaló munkájukban (2020) három csoportra bontják, melyek között nagyobb hangsúlyt kapnak a korai érés negatív hatásait leíró hipotézisek. Az egyik elméleti keret szerint a korai pubertás súlyosbíthatja a meglévő érzelmi és viselkedési problémákat, és több nehézséghez vezethet a később érő társakhoz képest. A második elméleti keret szerint a korai érés alapjaiban változtatja meg a fejlődési pályákat, így például a hormonális hatások hipotézise alapján a pubertáskori hormonok korai megjelenése hozzájárul az agyi plaszticitás mértékének korábbi csökkenéséhez és így a kognitív fejlődés érzékeny időszakainak korábbi lezáródásához. Idetartozik még az érési egyenlőtlenségi hipotézis, mely a korai érés társas hatásait hangsúlyozva kiemeli, hogy a korábban érő kamaszoknak fizikai megjelenésük társas percepciója miatt kevesebb lehetőségük lehet arra, hogy kognitív és szociális szempontból felkészüljenek a serdülőkor kihívásaira. A harmadik elméleti csoport szerint pedig a korai pubertás hatása kontextusfüggő, tehát csak az egyén teljes bio-pszicho-szociális környezetét figyelembe véve értelmezhető.

Saját kutatásaink szerint a korai érés pozitív hatással is járhat a kognitív funkciókra nézve. Magas szocioökonómiai státuszú (SES) serdülőkorú lányok kognitív teljesítményét egy komplex intelligenciatesztrel (WISC-IV) vizsgálva megállapítottuk, hogy az ultrahangos csontkorméréssel meghatározott biológiai kor befolyásolja az általános IQ-t és a specifikus kognitív képességeket (Kovács et al. 2022). Míg a verbális képességeket nem az érés befolyásolja, hanem – a szakirodalommal összhangban – a kronológiai kor, azaz a tapasztalat, tehát az idősebb kamaszok verbális képességei meghaladják a fiatalabbakét, addig az azonos életkorú, de biológiailag érettebb egyéneknek magasabb a munkamemória-kapacitásuk, és gyorsabb a feldolgozási sebességük. A munkamemória kritikus szerepet játszik a megismerési funkciók működésében, a folyamatos információfeldolgozás mellett az információ aktív fenntartásának

képessége alapvető jelentőségű a mindennapi kognitív funkciók, például a tanulás, az érvelés és a problémamegoldás során, illetve ahogyan azt korábban említettük, a végrehajtó funkciók egyik fontos alrendszeré is (Miyake–Friedman 2012).

Egy másik vizsgálatban, a numerikus Stroop-teszten mutatott teljesítményeket elemezve, kutatócsoportunk további végrehajtó funkció alkomponensek esetében is bizonyítékot talált a relatív érettség hatására (Gerván et al. 2024). Eredményeink rámutattak, hogy a gátlás és a váltás alkomponensek is magasabb szinten működnek a 13–14 éves korosztályban a biológiailag érettebb serdülők esetében. Natasha Chaku és Lindsay T. Hoyt (2019) nagy mintán végzett kérdőíves kutatása szintén alátámasztotta, hogy a korai érés a végrehajtó funkciók gyorsabb fejlődésével jár mindkét nem esetében a serdülőkor során. Ugyanakkor a korai éréshez kapcsolódóan a lányoknál gyengébb önkontroll is megfigyelhető volt a szülői beszámolók alapján.

A késői érés lassabb kognitív fejlődéssel társulhat, ami hosszú távon negatívan befolyásolhatja az iskolai teljesítményt és akár a későbbi életpályát is. Egy brit kohorszadatokon alapuló kutatásban azt találták, hogy a későn érő serdülők kognitív képességeinek növekedése lassabb, ami gyengébb tanulmányi eredményekhez és alacsonyabb keresethez vezet felnőttkorban (Koerselman–Pekkarinen 2017). Vizsgálatuk szerint ugyanakkor a késői pubertásnak nincs kimutatható hatása az önfegyelemre vagy más viselkedési eredményekre, ami azt sugallja, hogy a kognitív és viselkedési fejlődés különböző mechanizmusok mentén zajlik. Paulyn Jean Acacio-Claro és munkatársai (2019) szintén megerősítették, hogy a későbbi érés alacsonyabb iskolai teljesítménnyel áll összefüggésben serdülő fiúk körében, bár ez a hatás felnőttkorban megszűnt.

Az eltérő érési tempó hatásait vizsgálva – összhangban a kontextusfüggő elméletekkel – fontos tényező a SES szerepe. Az alacsony SES-családokban élő gyermekeknél a pubertás időzítése korábban következik be, és a felgyorsult fejlődés rosszabb teljesítménnyel járt együtt a figyelem és a végrehajtó funkciók feladataiban (Stumper et al. 2020). Oláh Ágnes szakdolgozatában (2024) alacsony és magas SES-kamaszfiúk kognitív teljesítményét vizsgálva kimutatta, hogy a SES és a csontkor együttesen jósolják be a kognitív teljesítményt. A magasabb SES magasabb intelligenciával járt együtt, a késői érés pedig hátrányt okozott a verbális képességek és a feldolgozási sebesség területén.

Az érés ütemének kognitív fejlődésre gyakorolt hatásaiban nemi eltéréseket is várhatunk. Cheryl L. Sisk és Julia L. Zehr (2005) szakirodalmi összefoglalójukban bizonyítékokat gyűjtöttek arra vonatkozóan, hogy a serdülőkor különösen érzékeny időszak a hormonfüggő agyi szerveződés szempontjából. Későbbi munkájukban a szerzők állatokon végzett vizsgálatok alapján azt feltételezik, hogy a felnőttkor felé haladva, a pubertáskori átmenet során csökken a nemi hormonokkal szembeni érzékenység. Ebből következően a korai pubertás kezdete esetén a hormonok nagyobb hatékonysággal szervezhetik át az agyi hálózatokat (Schulz et al. 2009a; 2009b). Bár erre a megállapításra közvetlen bizonyítékként állatkísérletek állnak rendelkezésre, mégis feltételezhetünk hasonló jelenséget embereknél is. Ennek értelmében

a pubertáskori fejlődés időzítésének hosszú távú viselkedésbeli és kognitív hatásait várhatjuk: a korai időzítéssel rendelkező egyének esetében jobban megfigyelhető lehet a nemi típusosság, mint a késői időzítéssel rendelkezőknél. A kognitív területek közül a térbeli feladatok azok, ahol a férfiak és nők közötti különbségek mértéke gyakran jelentős (összefoglalót lásd Lauer–Yhang–Lourenco 2019). Adriene M. Beltz és Sheri A. Berenbaum (2013) nagyszámú fiatal felnőttet kérdeztek a pubertás kezdetének idejéről, majd különböző kognitív területekkel összefüggő feladatokban mérték fel teljesítményüket. A férfiak körében a pubertás időzítésének hatása volt a háromdimenziós mentális rotációs tesztekben nyújtott teljesítményre: a korai érésűek jobban teljesítettek, mint a késői érésűek, míg a nők esetében nem találtak szignifikáns kapcsolatot a pubertás időzítése és a mentális rotációs pontszámok között. Ez az eredmény megerősíteni látszik azt a hipotézist, hogy a pubertáskori hormonoknak való kitettség időzítése hozzájárul a felnőttkori kogníció egyéni különbségeihez.

### Alkalmazási területek

A pubertás időzítése és a hormonális változások hatásai különösen összetetté teszik a serdülőkori kognitív fejlődési folyamatokat, így az ezekkel kapcsolatos ismeretek kulcsfontosságúak lehetnek a megfelelő beavatkozási stratégiák kialakításában. A kognitív funkciók pubertás körüli érzékenységének és fejlődési ablakainak feltérképezése új lehetőségeket nyit a pedagógia és a mentális egészség területén, hiszen az agy plaszticitásának változásai szorosan összefüggenek a tanulási képességekkel.

A serdülőkori komplex fejlődés sajátosságainak kihasználásával hosszú távon pozitívan befolyásolható az egyén életpályája az egészség, az oktatás, valamint a társadalmi és gazdasági sikeresség szempontjából. Több ígéretes publikáció született már arról, hogyan lehet hatékonyan kihasználni a serdülőkor-specifikus ismereteket, illetve a különböző képességek fejlődési ablakait (például Dahl et al. 2018). A serdülőkori kognitív készségek fejlesztésére irányuló tréningek hatékonyságát illetően ugyanakkor egyes eredményekről számolnak be a tréning típusa, a fejlesztett kognitív funkciók és a vizsgált korcsoportok függvényében (Laube–van den Bos–Fandakova 2020). Az összehasonlítások alapján igyekeztek meghatározni, hogy mely kognitív képességek fejleszthetők a leghatékonyabban a különböző korcsoportokban, és hogy ezek közül melyek esetében aknázható ki a neuroplaszticitás. Az eredmények szerint a végrehajtó funkciók közül a váltási képesség korai serdülőkorban, míg az összetett információkon alapuló viszonyító következtetés késő serdülőkorban mutatott jelentős tréninghatást. A komplex kognitív készségek, amelyek a matematikaoktatás szempontjából is fontosak, késői serdülőkorban, azaz 15–18 éves korban fejlődnek a legjobban, szemben a serdülőkor korábbi szakaszaival (Knoll et al. 2016). Egy húsznapos online tréning után a 15–18 évesek profitáltak leginkább az összetett információkon alapuló következtetés és a számosságbeli különbségek felismerésének fejlesztéséből.

## Összefoglalás

Az érettség- és tapasztalatfüggő funkciók megkülönböztetése kulcsszerepet játszhat a tantervek kialakításában, valamint a tehetséggondozásban. Bár jelenleg még viszonylag kevés információ áll rendelkezésünkre az eltérő fejlődési ütemek hosszú távú hatásairól, a serdülőkori neurokognitív fejlődés mélyebb megértése hozzájárulhat olyan oktatási módszerek kidolgozásához, amelyek jobban igazodnak a diákok egyéni érettségi szintjéhez és tapasztalataihoz.

Az oktatási rendszerek tervezésekor elengedhetetlenül figyelembe kell venni a serdülők eltérő fejlődési ütemét, valamint olyan lehetőségeket kell teremteni számukra, amelyek lehetővé teszik az érett gondolkodási és önszabályozási stratégiák kialakulását. Ronald E. Dahl és munkatársai (2018) azt is hangsúlyozzák, hogy a serdülőkorra jellemző kockázatkereső magatartás lehetőséget kínál arra, hogy az iskolai tanulás keretein belül, biztonságos környezetben a fiatalok olyan pozitív kockázatvállalási helyzetekkel találkozzanak, amelyek egészséges, produktív tanulási élményeket eredményeznek. Az oktatás során fontos a serdülők társas kapcsolódás iránti megnövekedett igényére is alapozni. A kollaboratív társas tanulás megerősítése lehetőséget biztosít arra, hogy a serdülők egymástól tanuljanak, és közösen fejlődjenek, így társas tapasztalataik értékes tanulási forrássá válhatnak. A serdülőkor sajátosságaira adaptált tanítási módszer a pedagógusoktól is nagyfokú rugalmasságot kíván, elérve azt, hogy a diákok eltérő tapasztalataira és érdeklődési köreire alapozva alakuljanak ki a tanítási stratégiáik.

## Köszönetnyilvánítás

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

## Irodalomjegyzék

- Acacio-Claro, Paulyn Jean et al. (2019). „Timing of Puberty and Reserve Capacity in Adolescence as Pathways to Educational Level in Adulthood – A Longitudinal Study”. *Annals of Human Biology* 46/1, 35–45. <https://doi.org/10.1080/03014460.2019.1596311>.
- Beltz, Adriene M. – Berenbaum, Sheri A. (2013). „Cognitive Effects of Variations in Pubertal Timing: Is Puberty a Period of Brain Organization for Human Sex-Typed Cognition?” *Hormones and Behavior* 63/5, 823–828. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2013.04.002>.
- Chaku, Natasha – Hoyt, Lindsay T. (2019). „Developmental Trajectories of Executive Functioning and Puberty in Boys and Girls”. *Journal of Youth and Adolescence* 48/7, 1365–1378. <https://doi.org/10.1007/s10964-019-01021-2>.
- Crone, Eveline A. – Dahl, Ronald E. (2012). „Understanding Adolescence as a Period of Social-Affective Engagement and Goal Flexibility”. *Nature Reviews Neuroscience* 13/9, 636–650. <https://doi.org/10.1038/nrn3313>.

- Crone, Eveline A. – Steinbeis, Nikolaus (2017). „Neural Perspectives on Cognitive Control Development During Childhood and Adolescence”. *Trends in Cognitive Sciences* 21/3, 205–15. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.01.003>.
- Dahl, Ronald E. et al. (2018). „Importance of Investing in Adolescence from a Developmental Science Perspective”. *Nature* 554, 441–450. <https://doi.org/10.1038/nature25770>.
- Fuhrmann, Delia – Knoll, Lisa J. – Blakemore, Sarah-Jayne (2015). „Adolescence as a Sensitive Period of Brain Development”. *Trends in Cognitive Sciences* 19/10, 558–566. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.07.008>.
- Gerván, Patrícia et al. (2024). „The Influence of Relative Pubertal Maturity on Executive Function Development in Adolescent Girls”. *Scientific Reports* 14/1, 28140. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71768-7>.
- Giedd, Jay N. (2015). „Risky Teen Behavior Is Driven by an Imbalance in Brain Development”. *Scientific American* (2015. jún. 15.). <https://www.scientificamerican.com/article/risky-teen-behavior-is-driven-by-an-imbalance-in-brain-development/>.
- Gogtay, Nitin et al. (2004). „Dynamic Mapping of Human Cortical Development During Childhood Through Early Adulthood”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 101/21, 8174–8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>.
- Knoll, Lisa, J. et al. (2016). „A Window of Opportunity for Cognitive Training in Adolescence”. *Psychological Science* 27/12, 1620–1631. <https://doi.org/10.1177/0956797616671327>.
- Koerselman, Kristian – Pekkarinen, Tuomas (2017). *The Timing of Puberty and Gender Differences in Educational Achievement*. IZA Discussion Paper. Bonn: Institute of Labor Economics (IZA).
- Kovács, Ilona et al. (2022). „Ultrasonic Bone Age Fractionates Cognitive Abilities in Adolescence”. *Scientific Reports* 12/1, 5311. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09329-z>.
- Larsen, Bart – Luna, Beatriz (2018). „Adolescence as a Neurobiological Critical Period for the Development of Higher-Order Cognition”. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 94/11, 179–195. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.09.005>.
- Laube, Corinna – Fuhrmann, Delia (2020). „Is Early Good or Bad? Early Puberty Onset and Its Consequences for Learning”. *Current Opinion in Behavioral Sciences* 36/12, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.10.005>.
- Laube, Corinna – van den Bos, Wouter – Fandakova, Yana (2020). „The Relationship Between Pubertal Hormones and Brain Plasticity: Implications for Cognitive Training in Adolescence”. *Developmental Cognitive Neuroscience* 42/4, 100753. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2020.100753>.
- Lauer, Jillian E. – Yhang, Eukyung – Lourenco, Stella F. (2019). „The Development of Gender Differences in Spatial Reasoning: A Meta-Analytic Review”. *Psychological Bulletin* 145/6, 537–565. <https://doi.org/10.1037/bul0000191>.
- Luna, Beatriz et al. (2015). „An Integrative Model of the Maturation of Cognitive Control”. *Annual Review of Neuroscience* 38, 151–170. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-071714-034054>.
- Miyake, Akira – Friedman, Naomi P. (2012). „The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions”. *Current Directions in Psychological Science* 21/1, 8–14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>.
- Oláh Ágnes (2024). *A serdülőkorúak intelligenciájának vizsgálata a szocioökonómiai státusz és a csontkor függvényében*. Szakdolgozat. ELTE Pedagógiai és Pszichológiai Kar.
- Romer, Daniel – Reyna, Valerie F. – Satterthwaite, Theodore D. (2017). „Beyond Stereotypes of Adolescent Risk Taking: Placing the Adolescent Brain in Developmental Context”. *Developmental Cognitive Neuroscience* 27/10, 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.07.007>.
- Schulz, Kalynn M. et al. (2009a). „Back to the Future: The Organizational-Activational Hypothesis Adapted to Puberty and Adolescence”. *Hormones and Behavior* 55/5, 597–604. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2009.03.010>.
- Schulz, Kalynn M. et al. (2009b). „Testosterone Programs Adult Social Behavior Before and During, But Not After, Adolescence”. *Endocrinology* 150/8, 3690–3698. <https://doi.org/10.1210/en.2008-1708>.

- Sisk, Cheryl L. – Zehr, Julia L. (2005). „Pubertal Hormones Organize the Adolescent Brain and Behavior”. *Frontiers in Neuroendocrinology* 26/3, 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2005.10.003>.
- Steinberg, Laurence (2005). „Cognitive and Affective Development in Adolescence”. *Trends in Cognitive Sciences* 9/2, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.12.005>.
- Steinberg, Laurence (2010). „A Dual Systems Model of Adolescent Risk-Taking”. *Developmental Psychobiology* 52/3, 216–224. <https://doi.org/10.1002/dev.20445>.
- Stumper, Allison et al. (2020). „Early Pubertal Timing Mediates the Association Between Low Socioeconomic Status and Poor Attention and Executive Functioning in a Diverse Community Sample of Adolescents”. *Journal of Youth and Adolescence* 49/7, 1420–1432. <https://doi.org/10.1007/s10964-020-01198-x>.