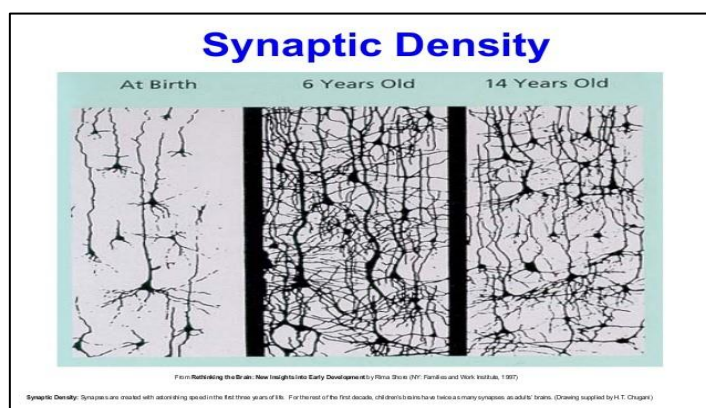


TEGZES ANDREA¹**A gyermeki agy fejlődése legújabb ismereteink tükrében, avagy hogyan lesz okos az óvodás?²**

Az agy az egyetlen olyan szervünk, amely születéskor még nem fejlődött ki teljesen. „Az agy felépül, nem születik.” (Brain Research, Jack Shonkoff, Harvard University) A sejtek többsége ugyan már jelen van, de a kapcsolatok, vagyis az „építményhez” szükséges hálózatrendszer csak később, a kisgyermekkorban fejlődik. A gyermek első néhány életéve kiemelkedően intenzív időszaka az agy, ill. a kognitív funkciók fejlődésének és érésének. Ennek az eredményeképpen válik az újszülött hamarosan a komplex mozgást, a beszédet és a gondolkodást is koordinálni képes gyermekké. Ennek az időszaknak a történései döntik el, hogy egész későbbi életünk, egészségünk és tanulási képességeink számára is milyen agy fejlődik. Az idegrendszer fejlődési folyamataink megismerése közelebb visz minket a kérdéshez, hogy vajon mitől és hogyan is lehet okos az óvodás.

Az agy az egyetlen olyan szervünk, amely születéskor még nem fejlődött ki teljesen. „Az agy felépül, nem születik.” (Brain Research, Jack Shonkoff, Harvard University). A sejtek többsége ugyan már jelen van, de a kapcsolatok, vagyis az „építményhez” szükséges hálózatrendszer csak később, a kisgyermekkorban fejlődik. Az újszülött ill. csecsemő valamennyi tapasztalata idegi kapcsolatot generál az agyban. Ezek a kapcsolatok, un. szinapszisok kezdetben rendkívül gyorsan szaporodnak, másodpercenként több mint egy millió új szinapszis képződik. (1. ábra)

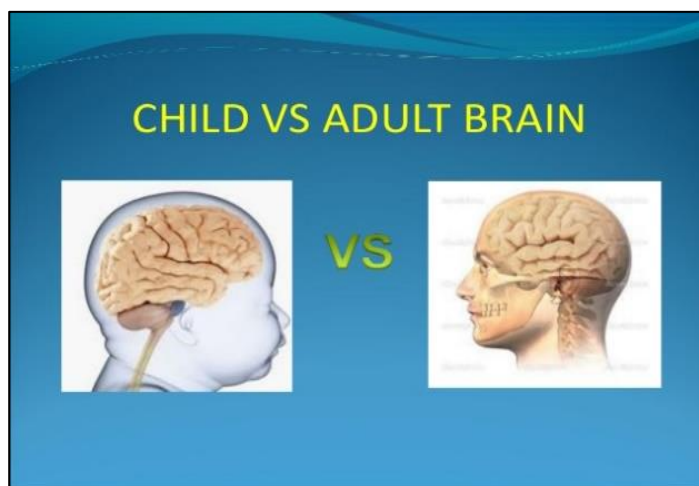
**1. ábra: A szinaptikus denzitás változása életkorok szerint**

¹ Főorvos, Csecsemő és gyermekgyógyász, gyermekneurológus, tegzesandi@gmail.com

² A tanulmány a "Soproni Egyetem Struktúraváltási Terve" - 32388-2/2017 INTFIN sz. projekt keretében az Emberi Erőforrások Minisztériuma támogatásával valósult meg.

A látást és hallást formáló szinapszisok képződésének csúcsa négy hónapos, a beszédé kilenc hónapos, míg a magasabb kognitív funkcióké egy éves korban van. A korai tapasztalatok és a környezeti hatások eredményeként egyes kapcsolatok gyakrabban használtak, ezáltal erősebbek. Azok, amelyek kevésbé használtak, gyengülnek. Ily módon a gyermek és a külvilág kapcsolatai, interakciói határozzák meg azt, hogy milyen hálózat képződik, vagyis ekkor dől el, hogy az egyén egész későbbi életében az egészség és a tanulás számára erős vagy épp gyenge alap formálódik.

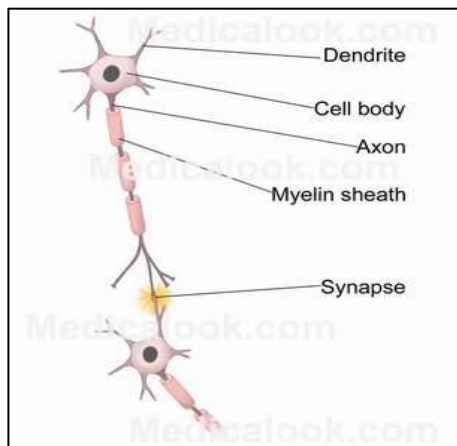
A gyermek első néhány életéve kiemelkedően intenzív időszaka az agy, ill. a kognitív funkciók fejlődésének és érésének. Ennek az eredményeképpen válik az újszülött hamarosan a komplex mozgást, a beszédet és a gondolkodást is koordinálni képes gyermekké. Az agy fejlődése egy jól szervezett, dinamikus, meghatározott lépésekből álló folyamat, amely a fogantatástól a magzati időszakon és a születésen át egészen a felnőttkorba nyúlva folytatódik. Az agy az első két életévben rohamosan növekszik, ekkorra felnőttkori súlyának 80%-át eléri. Ezt követően a növekedés lassul, a hat éves gyermekagy súlya a felnőttkori súlyának 90%-a. Ezzel párhuzamosan az agykéreg magzati életkorban még sima felszíne fokozatosan eléri a felnőttre jellemző „tekervényes” felszínt. (2. ábra)



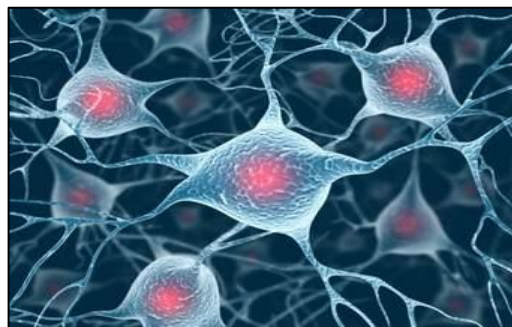
2 ábra: A gyermek- és felnőtt agy

Az agykéreg fejlődése méhen belül genetikailag meghatározott események sorozata, amelyet mind a magzati idegrendszer közvetlen környezete, mind az anyai környezet befolyásolhat, módosíthat. A peri- ill. posztnatális (születéskor ill. születés után) időszakban az agykéreg kapcsolatrendszerének kialakulása zajlik, a szinapszisok száma sebesen növekszik, ez az. un. proliferációs fázis, melyet egy un. eliminációs (csökkenő) fázis követ.

A neuralis aktivitás mellett fontos szerepe van az un. gliasejteknek, vagy támasztósejteknek is, amelyek támogatják az idegsejtek proliferációját, differenciálódását, majd az axonok körül az un. mielinhüvely kialakulását is. (3–4. ábra)



3 ábra: Neuron



4 ábra: Neural network.
(Sony open sources learning)

A humán agykéreg fejlődésében un. heterokronicitás figyelhető meg. A kéreg egyes területei eltérő ütemben fejlődnek; a prefrontalis kéreg szinaptikus denzitása nem éri el az auditoros kortextét négy éves korig és ugyanez megfigyelhető az idegsejtek dendritképződésének, a regionális metabolizmus és a mielinizáció ütemében is.

A prefrontalis kéreg fejlődésének e hosszú időszaka során pld. nagyobb eséllyel alakulhat ki a magatartás és a kognitív kontroll zavara is.

A magzati élet első nyolc hete az un. embrionális periódus; megkezdődik a későbbi szervek, szervrendszerek és szövetek képződése, differenciálódása. Az ebben az időszakban érvényesülő káros hatások szerkezeti vagy rendszerhibát eredményezhetnek.

A 17 – 20. terhességi napra kialakul a primitív embrió, majd az un. velőlemez ill. a velőcső, amelyből később az idegrendszer fejlődik.

A 23. napra vagy a 3. hétre az un. idegi barázda (embrionális agyszerkezet) is láthatóvá válik.

Két nappal később kialakul a velőcső, amely az idegrendszer fejlődésének alapját képezi.

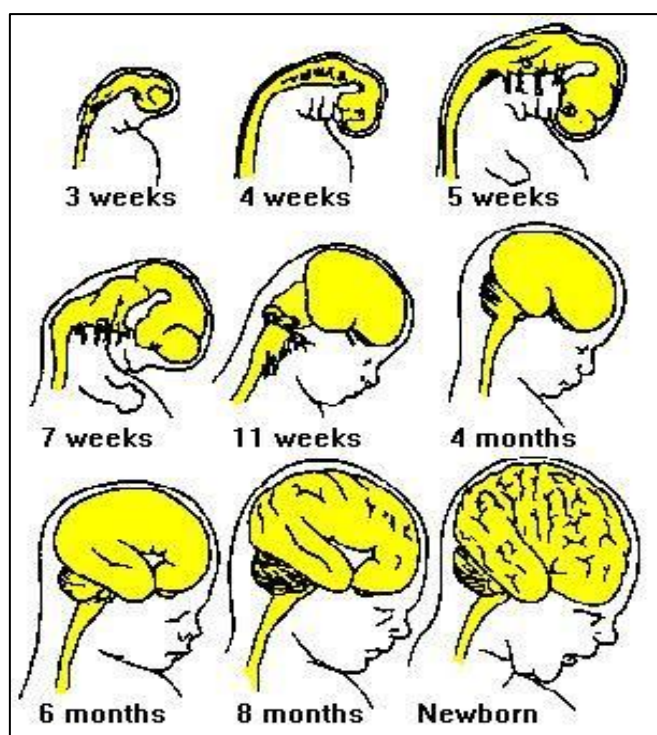
A változások mértékét jól érzékeltetik a számok; a fejlődés ezen kezdeti időszakában a velőcső kb. 125 000 sejtet tartalmaz, míg születéskor az emberi agy mintegy 100 billió idegsejtből áll; a kilenc terhességi hónap során percenként kb. 250 000 új idegsejt képződik (Cowan, 1979). A 27. napra a velőcső végei záródnak.

A velőcső záródásának hibái súlyos idegrendszeri fejlődési rendellenességekhez

vezethetnek; pld. spina bifida (a gerinccsatorna záródási hibái), meningokele (az agyhártya záródási hibái), myelokele (a gerincvelő kitüremkedése a záródási hibán keresztül), anenkefália (az agyfejlődés súlyos rendellenessége)

Ismereteink szerint ebben az időszakban meghatározó szerepe van az anya táplálkozásának; néhány fontos, esszenciális tápanyag nem megfelelő bevitele vagy a felszívódás zavara a velőcső záródásának rendellenességeit okozhatja.

Ebben az időszakban kialakul a 3 agyhólyag; elő-, közép- és utóagy, majd a migráció és proliferáció révén a szerkezet további differenciálódása zajlik. (5. ábra)



5. Az agy prenatalis fejlődése
(*biological development.com*)

Az idegsejtek migrációjának (vándorlásának) zavara az agyszerkezet és a magatartás rendellenességeit okozhatja. Jó példa erre, hogy néhány dyslexiás egyénnél rendellenes helyzetű idegsejtcsoportokat találtak a beszédértésért felelős bal félteke régióiban. (Geshwind, Galaburda, 1985)

A 3. – 4. héten kialakul a gerincvelő, a 4. hét végére az idegrostok kialakulása is elkezdődik. Az agyféltekék az 5. hét környékén differenciálódnak.

A 6. hét végére mind az öt agyhólyag kialakult. Az agyféltekék növekednek, befedik a középagyat és a kisagyat, később kialakul az agyhártya rendszer, majd láthatóvá válnak a koponyacsontok, bordák, lapockák és a végtagok is.

A 7. héten fokozatosan kialakul a kamrarendszer, az agyvíz termelődése. Ennek zavarát okozó folyamatok pld. ún. hidrokefaluszhoz (vízfejűséghez) vezethetnek, fokozott fejkörfogatnövekedéssel, agyi nyomásfokozódással és ennek minden következményével.

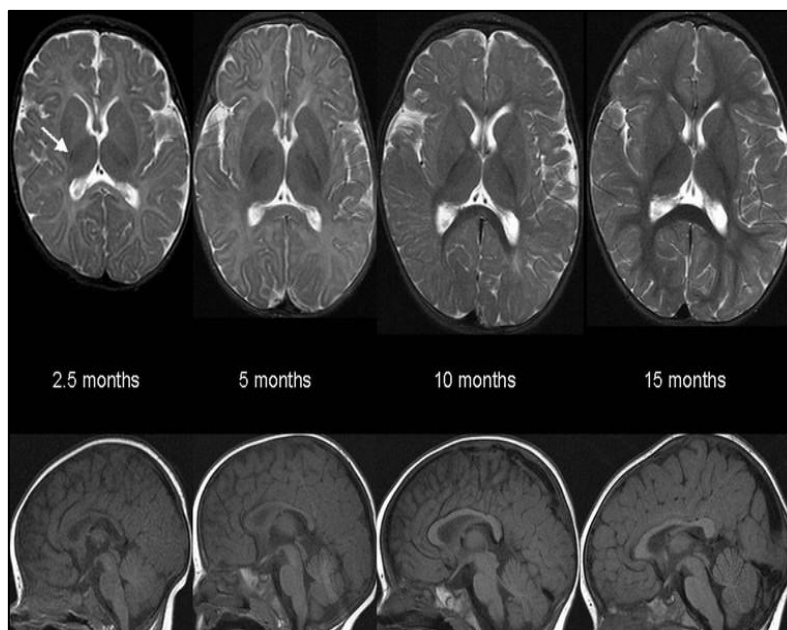
A 8. hétre befejeződik az embrionális periódus, valamennyi szervrendszer alapja kialakult. Ettől az időszaktól kezdve a szervrendszerek tovább fejlődnek, differenciálódnak.

Nagyon gyorsan fejlődnek az agy és a test perifériás részei közötti kapcsolatok, az ún. kortiko-spinális pályák, többségük a 7. terhességi hónapra kialakul.

Kifejlődik a szaglás, a két agyi félteke komplett kapcsolatrendszere és integrációja.

A 3. hónapban elkezdődik az idegrostok, elsőként az agyidegek mielinizációja, melynek során az idegsejtek axonjait zsírsejtek burkolják be és ez az ún. mielinhüvely szigetelő funkciójával javítja a neuronális aktivitást és kommunikációt, az elektromos jelek gyorsabb továbbítása révén.

A különböző agyi területek eltérő ütemben mielinizálódnak. A magasabb kognitív képességekért felelős prefrontális cortex fejlődése a korai felnőttkorig is eltarthat. (Nelson, de Haan, & Thomas, 2006; Nelson & Jeste, 2008). (6. ábra)



6. ábra: A normál mielinizáció alakulása MR képeken

A 2. trimeszter (4. - 6. hónap) során nagy sebességgel fejlődik tovább az agy és a gerinccsatorna, kialakulnak a csigolyák, a két félteke közötti összeköttetés, az ún. korpusz kallózum is felismerhetővé válik. A 18. hét környékén megjelenik az ún. aszimmetrikus tónusos nyaki reflex is.

Elkezdődik a kisagy fejlődése, amely a születés után két éves korig húzódik.

A 6. hónap végére már a központi idegrendszer csaknem valamennyi sejtje jelen van és az idegi hálózat tovább fejlődik.

A 3. trimeszter (7. - 9. hónap), különösen a 7. hónap során jellemző az igen gyors növekedés, fejlődés. A 8. hónapra a magzat már kb. 405 milliméteres, rohamosan erősödik és növekszik az idegrendszer kapcsolatrendszere.

Születés után az újszülött agy súlya megközelítőleg 300 gramm (kb. a testsúly 10%-a), míg a felnőtt agy 1400 gramm súlyú (a testsúly mindössze 2%-a), amelyet kb. 6 és 14 éves kor között ér el.

Az agy posztnatális növekedése az idegsejtek méretének növekedésének, a támasztósejtek, gliasejtek fokozatos szaporodásának, valamint az idegi folyamatok és szinapszisok fejlődésének az eredménye.

Funkcionális agyi képalkotó vizsgálatok demonstrálták, hogy a korai stimuláció javítja az agy működését, míg ennek hiánya a funkció elvesztéséhez vezethet.

Fejlődéstani kutatások bizonyították, hogy a különböző agyi funkciók számára un. „a lehetőség fejlődési ablakai” (developmental windows of opportunity) állnak rendelkezésre.

Az emocionális fejlődés számára pld. a lehetőség ablaka 0-2 éves kor, a matematikai és logikai készségek számára 0-4 éves kor, a nyelvi fejlődés számára 0-10 éves kor és a zenei készségek fejlődése számára 3- 10 éves kor között nyitott. Amennyiben a „lehetőség ezen ablakait” a szülők, a gondviselők és nevelők nem megfelelő súlyozottsággal tréningezik, stimulálják, a gyermek potenciális lehetősége egy adott funkcióra csökken vagy teljesen elvész.

Az elmúlt 30 év kutatásai lehetővé tették az agy és annak pszichés funkcióiban játszott szerepének mélyebb megértését. A kutatóknak mára pontosabb ismereteik vannak arról is, hogyan befolyásolja az agy fejlődése a viselkedés fejlődését. Különböző mérési technikákkal - mint pld. az elektroencefalogram (EEG), valamint a kiváltott válasz vizsgálatok (elsősorban ívizuális, ill. auditoros) – csecsemők, gyermekek és felnőttek is vizsgálhatók és ez számos fejlődési folyamat tanulmányozását tette lehetővé a kutatók számára.

A fejlődő agy ezen vizsgáló módszereivel a gyermeki fejlődés természetének számos bizonytalanságára derült fény, lehetővé vált a fejlődés kritikus periódusainak, valamint a gének és a környezet kapcsolati jelentőségének meghatározása.

Az elmúlt három évtizedben a humán agykutatás a magatartás agyi bázisának kutatására fókuszált.

A tapasztalásra irányuló újabb fókusz tovább segítette a fejlődési folyamatok finomabb megértését.

A leírt anatómiai változások alapvetően fontosak az agy fejlődésének és érésének folyamatában. Ezek a folyamatok felelősek az első életevek magatartásformáinak fejlődéséért. A motoros fejlődés során az érzékelés és a mozgáskoordináció javulásáért a szinaptikus kapcsolatrendszer és a mielinizáció egyaránt felelős, de a kognitív készségek fejlődésében is jelentős szerepük van.

Bár a fejlődés a kora felnőttkorig folytatódik, a kisgyermekkor az egészséges agy fejlődésében különösen jelentős időszakot képvisel. Az érzékelő és felismerő rendszer alapjai rendkívül fontosak a korai gyermekévek nyelvi, szociális magatartási és érzelmi fejlődéséhez, amelyeket ezen időszak tapasztalatai jelentősen befolyásolhatnak. Természetesen a későbbi tapasztalatok is befolyásolhatják az agyi funkciókat, de a korai gyermekévek tapasztalatai az agy szerkezetének fejlődésére lehetnek jelentős hatással.

Agyi képalkotó vizsgálatok bizonyították, hogy a negatív tapasztalat, korai pszichotrauma agyi strukturális hibákat eredményezhet; gyermekkorban a korpusz kallózum tömege csökken (felnőttkorban elsősorban a hippokampusz szerkezete változik meg (European Child & Adolescent Psychiatry, December 2013, Volume 22, Issue 12, pp 745–755 | Neuroimaging in children, adolescents and young adults with psychological trauma).

A gyermekagy fejlődésében jelentős szerepet játszik az agy plaszticitása, amely régóta kutatott terület. Neuroplaszticitás vagy agyi plaszticitás az agynak a változásra való képessége, mégpedig az egyén egész élete során; pld. Egy adott funkció más agyi területre helyeződhet át, megváltozhat a szürkeállomány eloszlása, idővel a szinapszisok erősödhetnek vagy gyengülhetnek.

A 20. század második felének kutatásai megmutattak számos olyan agyi funkciót, amely változhat, tehát plasztikus, felnőttkorban is és ez jelentős változás a korábbi feltételezésekhez képest (az agy felnőttkorban „statikus”).

Az agyi plaszticitás széles skálán megfigyelhető. A magatartás, környezeti ingerek, gondolkodás és az érzelmek is neuroplasztikus változásokat okozhatnak, az ún. aktivitás – dependens plaszticitás révén, amely jelentős hatást gyakorolhat az egészséges fejlődésre, tanulásra, memóriára és az agysérülés gyógyulására is.

Összefoglalás

A prenatalis fejlődést többségében genetikai folyamatok vezérik, a posztnatális fejlődés során azonban a környezetnek kritikus szerepe van. A fejlődés kimenetelét a genetikai faktorok és a szerzett tapasztalatok közötti interakciók szabják meg.

Az agy kutatás azt sugallja, hogy a fejlődés egy hierarchikus folyamat, amelyben a magasabb szintű folyamatok az alacsonyabb szintű folyamatokra épülnek. A csecsemőket és gyermekeket érő stimulusok segítik az agy és a magatartás formálódását. Olyan tapasztalatok hiánya, amelyek alapvetően fontosak a későbbi fejlődéshez, súlyos következményekhez vezethet mind az agy szerkezetének, mind funkciójának alakulásában. Intézeti gyermekek vizsgálatait azt mutatják, hogy a pszichoszociális tapasztalatok minősége szükséges az egészséges agy fejlődéséhez.

Az agy fejlődése tehát egy komplex, dinamikus folyamat, melynek során genetikai és empirikus faktorok egymásra hatása, ösztönzés formálja folyamatosan az agyat.

Ezen folyamatok ismeretében könnyebben találhatjuk meg a legalkalmasabb, még nyitott „fejlődési ablakokat”, melyeken át tehetünk arról, hogy okos legyen az óvodás.

BIBLIOGRÁFIA

- Kolb, B., Harker, A., & Gibb, R. (2017). Principles of plasticity in the developing brain. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 59(12), 1218–1223. DOI: [10.1111/dmcn.13546](https://doi.org/10.1111/dmcn.13546)
- Molnár, Z., & Price, D. J. (2016). Brain Development. *Kaufman's Atlas of Mouse Development Supplement*, pp. 239–252. DOI: [10.1016/b978-0-12-800043-4.00019-1](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800043-4.00019-1)
- Rapp, P. R., & Bachevalier, J. (2013). Cognitive Development and Aging. *Fundamental Neuroscience (Fourth Edition)*, pp. 919–945. DOI: [10.1016/b978-0-12-385870-2.00043-3](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385870-2.00043-3)
- Richards, J. E., & Xie, W. (2015). Brains for All the Ages. *Advances in Child Development and Behavior*, pp. 1–52. DOI: [10.1016/bs.acdb.2014.11.001](https://doi.org/10.1016/bs.acdb.2014.11.001)
- Taki, Y., & Kawashima, R. (2012). Brain Development in Childhood. *The Open Neuroimaging Journal*, 6, pp. 103–110. DOI: [10.2174/1874440001206010103](https://doi.org/10.2174/1874440001206010103)
- Kolb, B., & Gibb, R. (2011). Brain plasticity and behaviour in the developing brain. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry = Journal de l'Académie canadienne de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent*, 20(4), pp. 265-76.
- Stiles, J., & Jernigan, T. L. (2010). The Basics of Brain Development. *Neuropsychology Review*, 20(4), pp. 327–348. DOI: [10.1007/s11065-010-9148-4](https://doi.org/10.1007/s11065-010-9148-4)