

# Az emberi agy fejlődése

Az agykutatás története 4.

# Néhány érdekes adat az agyról

Átlagos tömege 1350 g, (a teljes testtömeg 2%-a).

86-90 milliárd idegsejtet tartalmaz.

10 milliárd ( $10^9$ ) piramis alakú sejt, kb. 100 billió ( $10^{12}$ ) szinaptikus kapcsolat.

Tárolókapacitása, akár 2,5 petabyte (millió gigabyte).

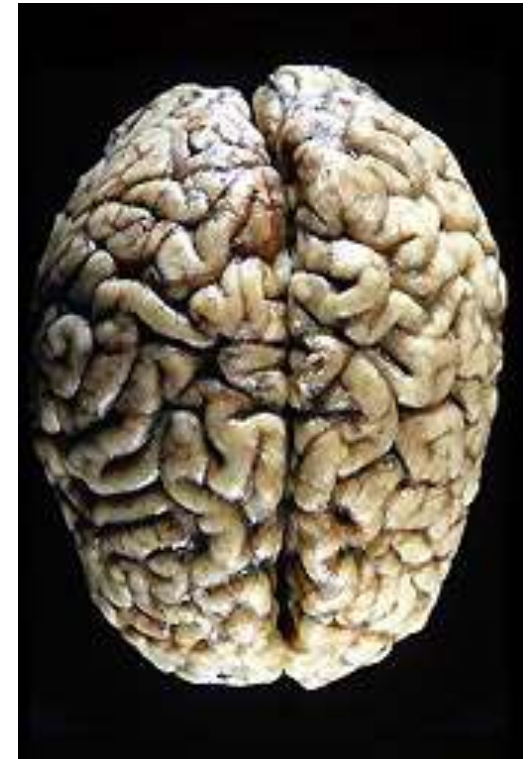
A szervezet energia- és oxigénbevitelének mintegy 20 %-át használja fel.

A test koleszterinjének 25%-a az agyban található.

Az információ terjedési sebessége 0,5-120 m/sec ( 1,8 és 430 km/h).

12-25 wattnyi elektromosságot hozhat létre.

Egyetlen másodperc alatt több, mint 100.000 kémiai reakció megy végbe az agyban



# Az agyi evolúció hajtóereje

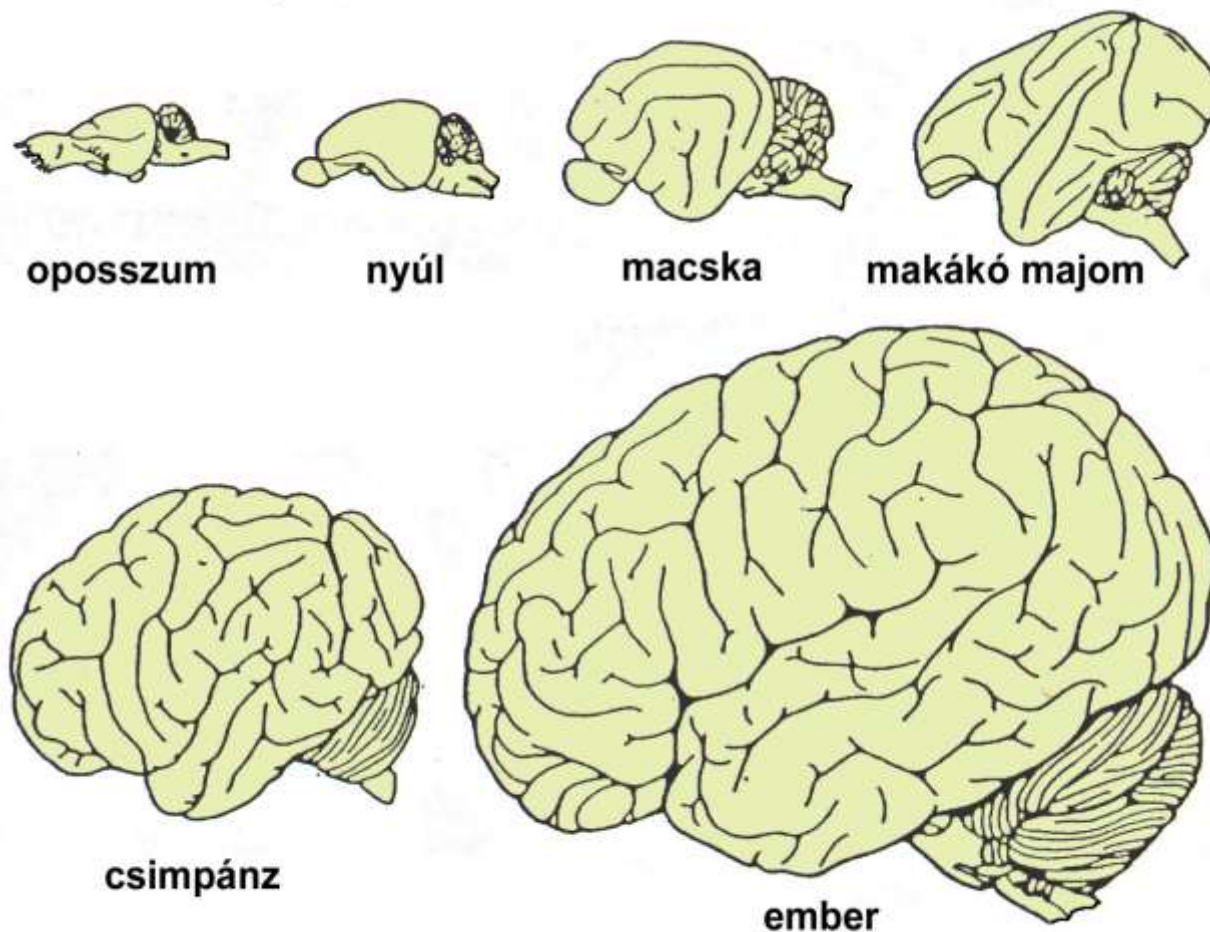
Túléléshez az élőlénynek a környezeti hatásokra gyorsan és megfelelően kell válaszolnia:

- környezeteről minél több információt gyűjt be
- képes minél gyorsabban feldolgozni.

Ez a megfelelő válasz kidolgozásának limitje.

A több információ begyűjtésének szüksége az agy, növekedése irányába hat.

A gyors feldolgozás a rövidebb inger vezetési idő, rövidebb axon méret irányába hat.



# Az intelligencia

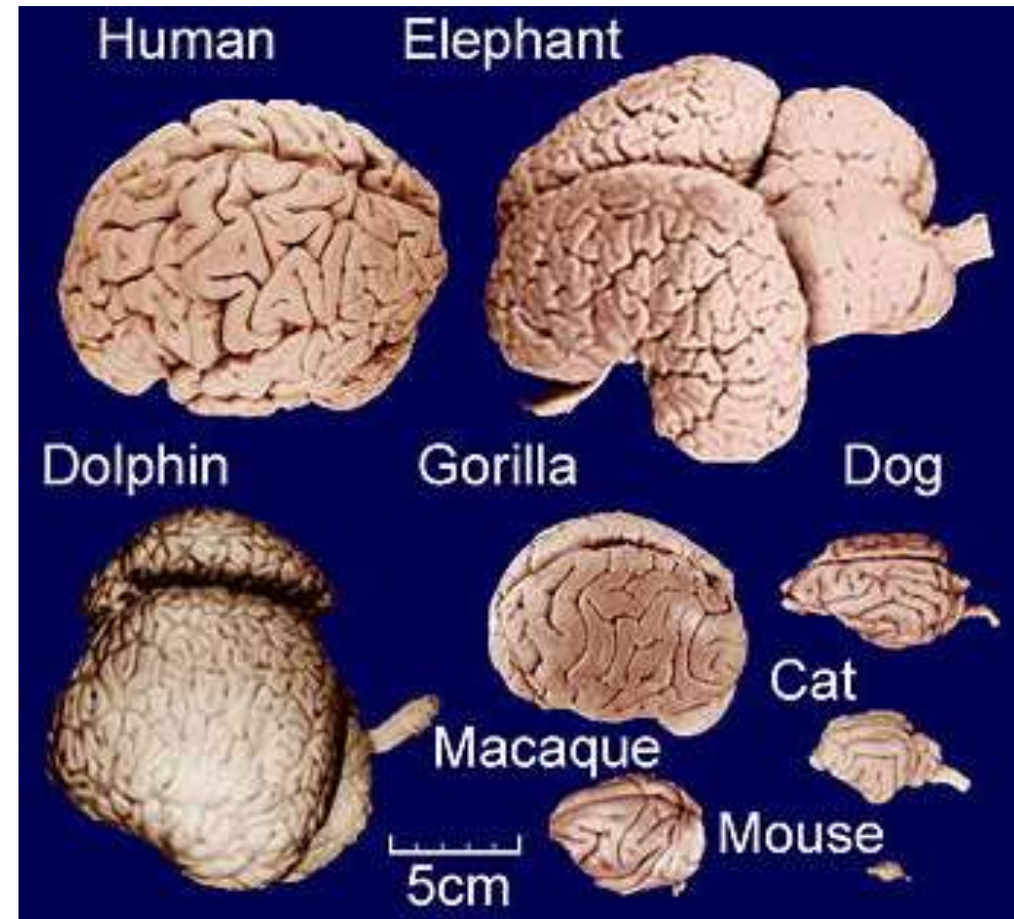
Az intelligencia komplex fogalom a logika, a megértés, a tudatosság, a tanulás, az érzelmi tudás, az érvelés, a tervezés, a kreativitás és a problémamegoldás kapacitásaira vonatkozik.

Az információ felfogásának vagy észlelésének képessége, és tudásként való elraktározása, annak érdekében, hogy a jövőbeni adaptív magatartásformák során egy adott környezetben vagy kontextusban alkalmazható legyen.

## Biológiai intelligencia:

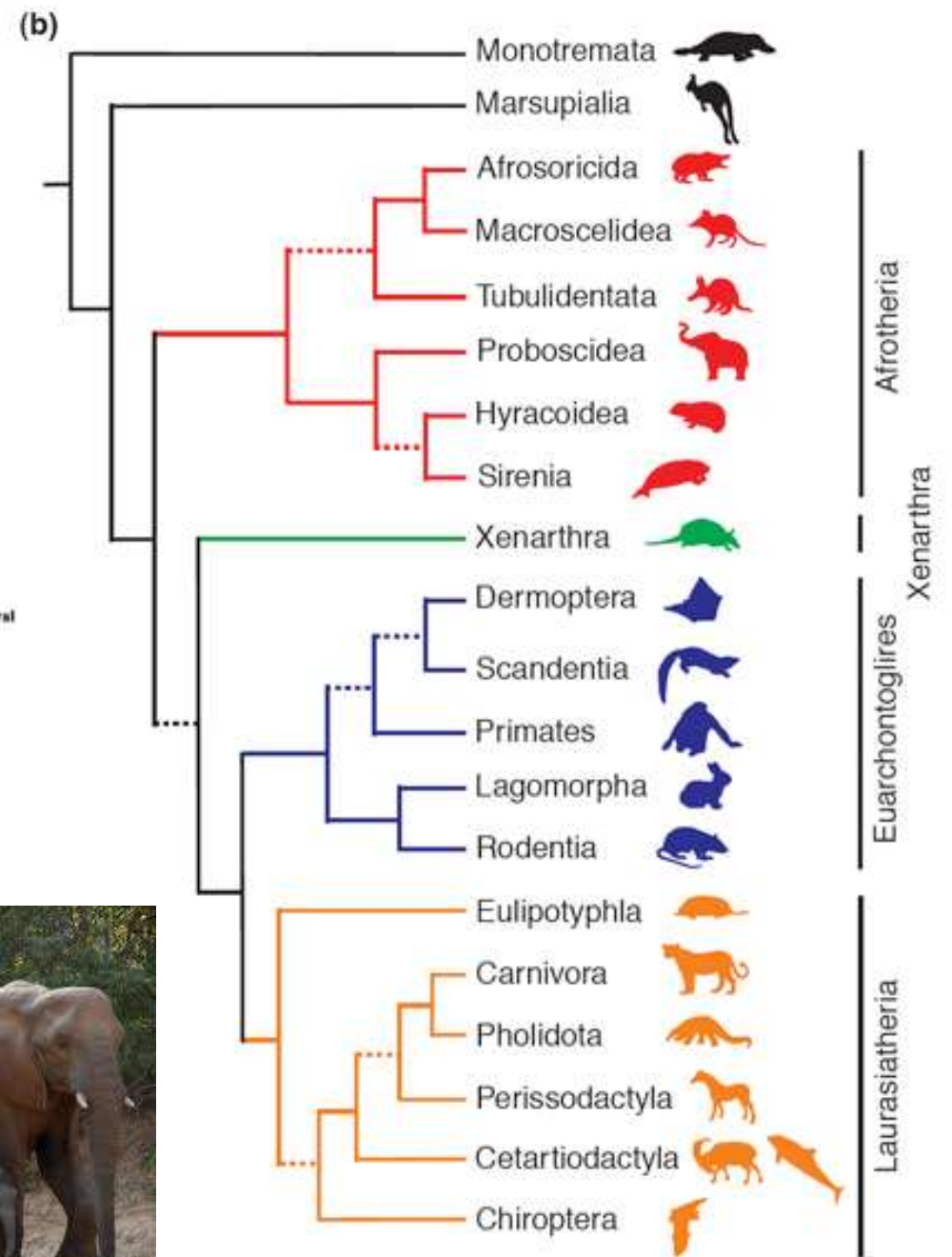
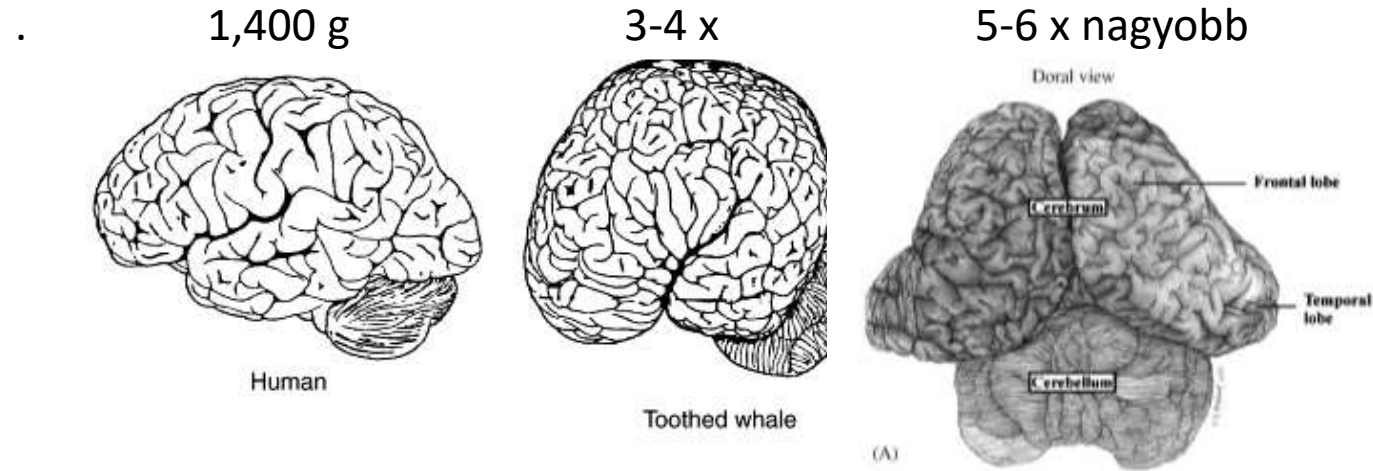
- A biológiai intelligenciában a környezethez való alkalmazkodási képesség nyilvánul meg. Megfigyelhető az állatvilágban is.
- Az egyes fajok intelligenciája tükröződik a fajok idegi strukturájában, leginkább az agykérgi neuronális körök komplexitásában.

Biológiai intelligencia egymástól függetlenül több vonalon is kialakult az emlős evolúció során (főemlősök, elefántok és cetfélék).





Az emlős evolúciós fán látszik, hogy a **négy öregrendből háromban magas szintű biológiai intelligencia fejlődött ki** (cetek, emberek és elefántok).



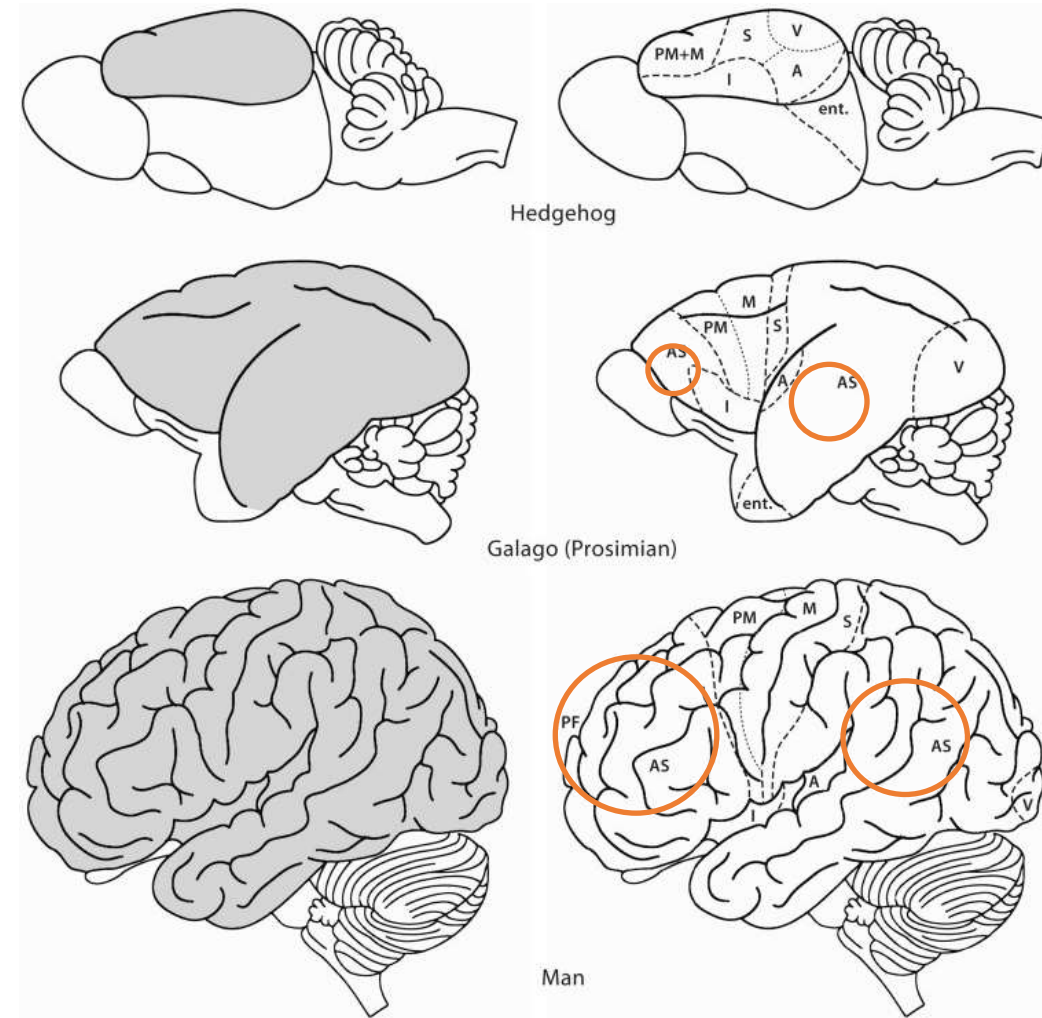
**Az agy biológiai intelligenciával összefüggő jellemzői :**

- agytömeg és testtömeg aránya,
- kortex és szubkortikális struktúrák aránya és a
- prefrontális kortex relatív mérete.

**Legjobb korrelációt a kortikális neuronok száma és az ingerületvezetés sebessége mutat az intelligenciával.**

**Emlősnél az agyi evolúció legszembetűnőbb „evolúciós trendje” a nagyagykéreg erőteljes növekedése.**

Kisagynál nincs ilyen növekedés: stabilan 10-15%-a a teljes agytömegnek



**Különböző emlősök agyának oldalnézeti képe jól mutatja a nagyagy (szürke) egyre növekvő arányát a többi struktúrához képest. Sündisznóban (hedgehog) csaknem a teljes neocortexet a szenzoros és motoros területek foglalják el. A fülesmakikban (Galago) megjelenik az asszociációs (AS) kéreg a szenzoros kéreg között és frontálisan. Emberben ezeknek a területeknek a mérete tovább nő.**

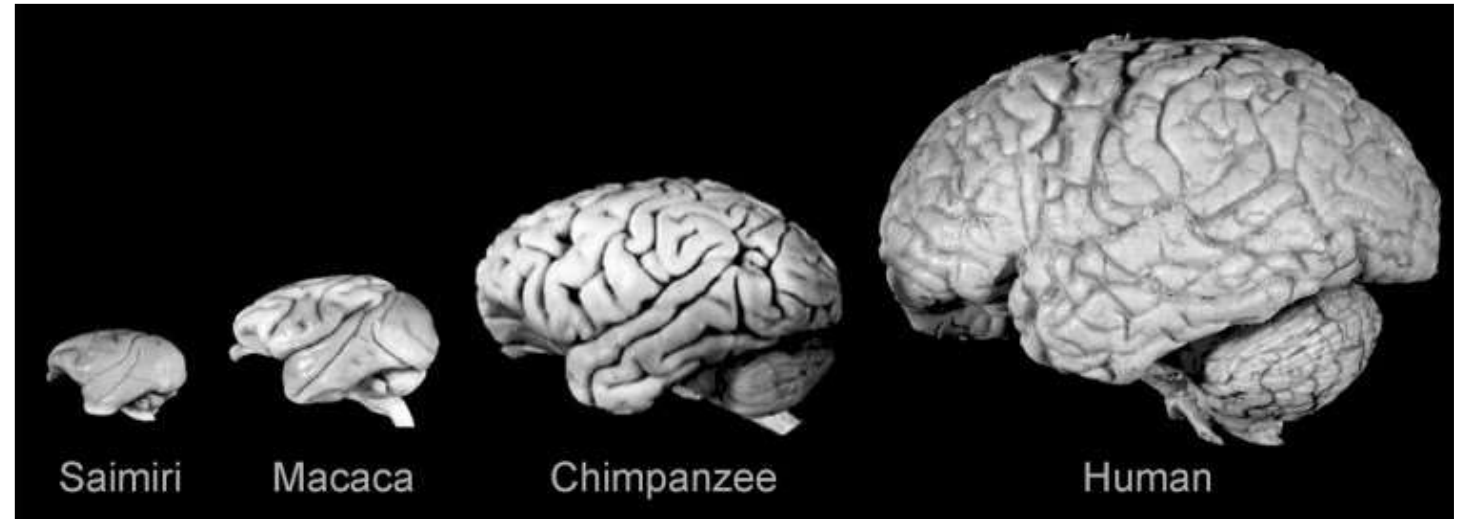


Egy bizonyos méret felett a nagyméretű neocortex csak barázdálódva fér el a koponyán belül.

A szürkeállomány térfogata lineárisan nő az agytérfogattal.

A fehérállomány relatív aránya nő.

A főemlősöknél a neocortex arányának növekedése a fehérállomány, vagyis a globális összeköttetések arányának növekedését jelenti.



Emberszábasú főemlősök (csimpánz) agyának laterális képe mutatja a neocortex cortex növekedését. Mókusmajmokban még alig barázdált az agyfelszín, csimpánznál és embernél barázdák és tekervények bonyolult rendszerét látjuk.



Törpe selyemmajom

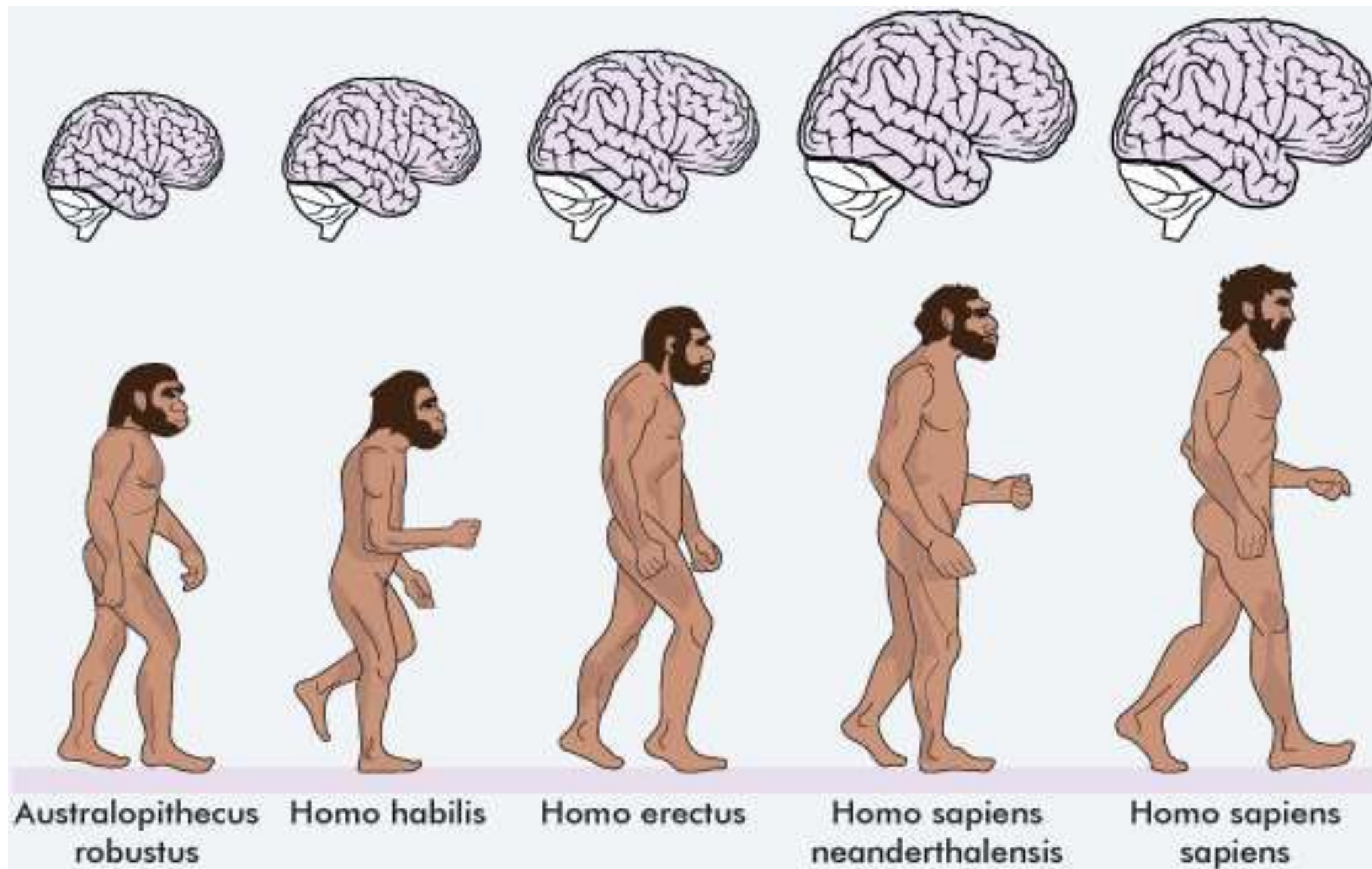


Mókusmajom



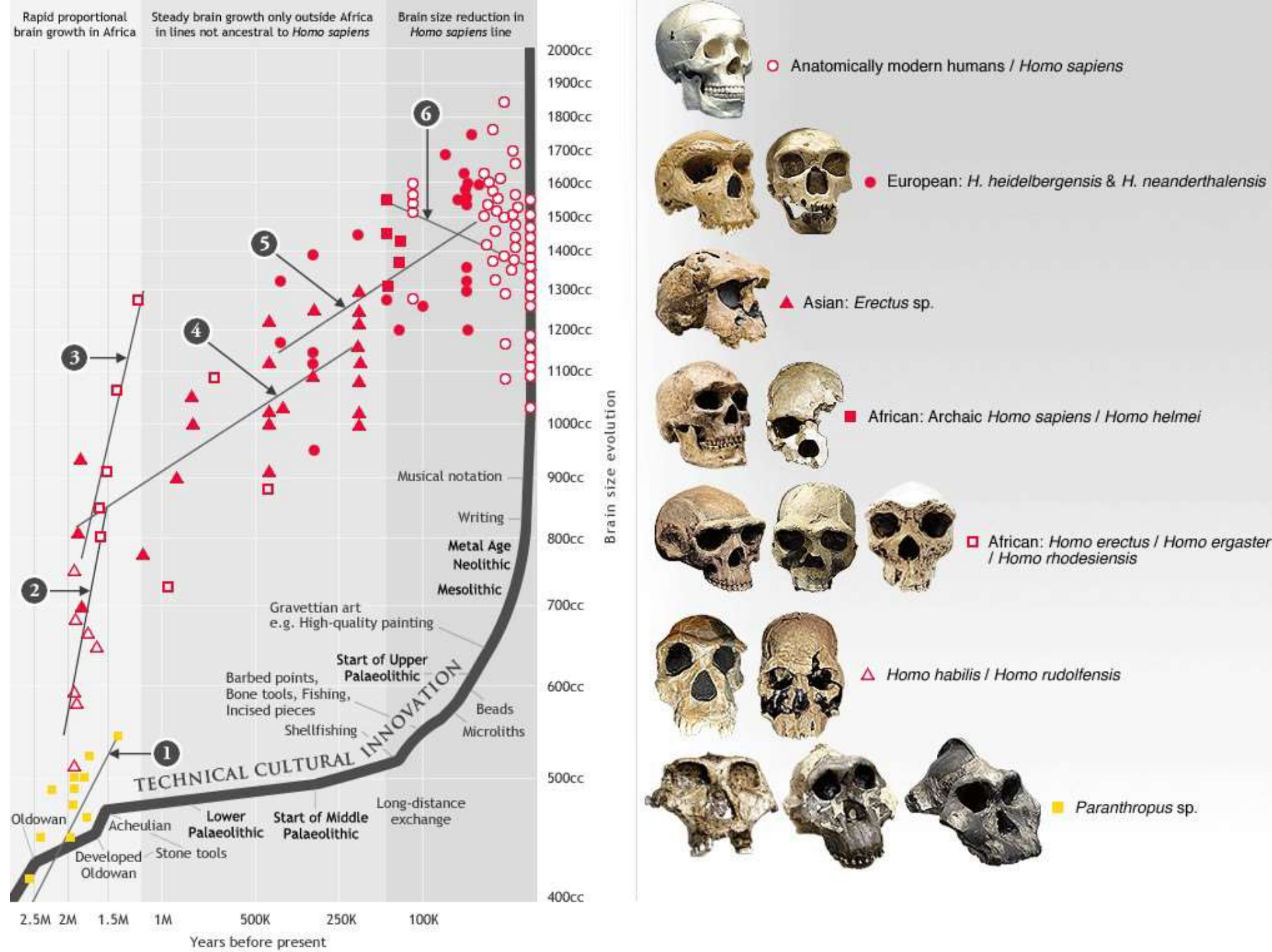
Makákó majom

## A hominid fajok agyának növekedése a törzsfejlődés során





# Az agy (koponya) méret változása az evolúció során



## Az agy tömegének a testtömeghez viszonyított változása az evolúció során

A grafikon felnőtt fossziliák adatai alapján lett összeállítva

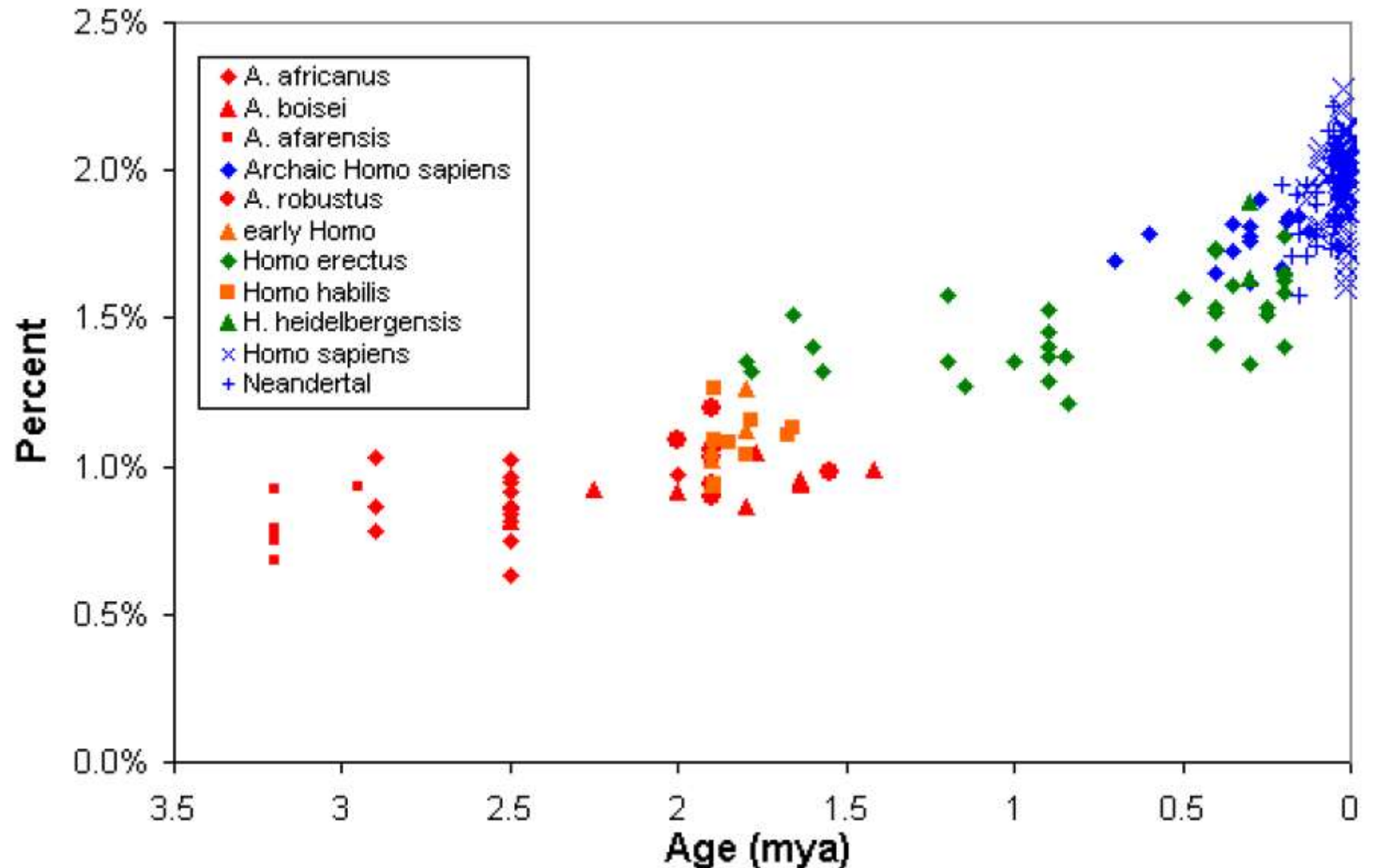


Chart by **Nick Matzke** of **NCSE** ([www.noseweb.org](http://www.noseweb.org)). Free to use for nonprofit educational use

# A humán agy ontogenezise

**Az emberszabású majmok agyának növekedési mintázata:**

- intenzíven növekszik a méhen belül,
- a születés után növekedése lényegesen lassúbb,
- fejlődése korábban befejeződik.

**Az ember agya a születés előtti és utáni is intenzíven növekszik,** (hatéves korra éri el a felnőttkori tömegének kb. 90%-át).

Ahogy az **ember elődeinek felnőttkori agytérfogata közelítette a Martin szerinti kritikus 850 cm<sup>3</sup>-t (kb.2 millió éve, Homo erectus), ettől lényegesen nagyobb felnőtt agy kialakulásához az újszülött agyának születés utáni további intenzív növekedése szükséges.**

**Az újszülött ember agyának relatív (testtömeghez viszonyított) tömege meghaladja az emberszabású majom újszülöttek relatív agytömegét (1,33-szor nagyobb).**

**Felnőttkorra tovább fokozódik a különbség (az ember és ember-szabású majmok relatív agytömege kb. 3,5-x nagyobb).**

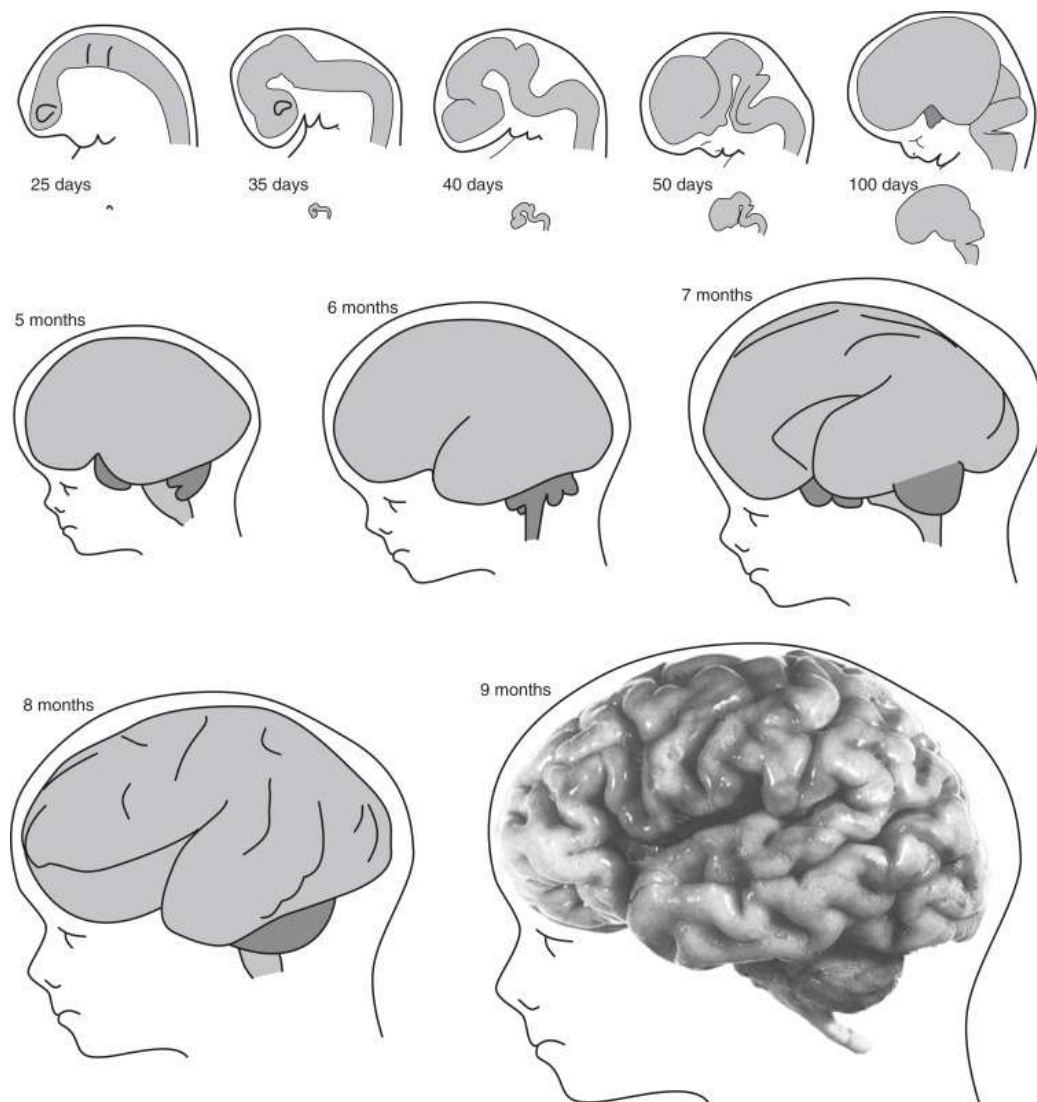
Összességében e két tényező vezet el oda, hogy **az ember enkefalizációja – agyának relatív tömege és szerkezete, funkciójának komplexitása – az ember esetében a legkifejezettebb az élővilágban.**



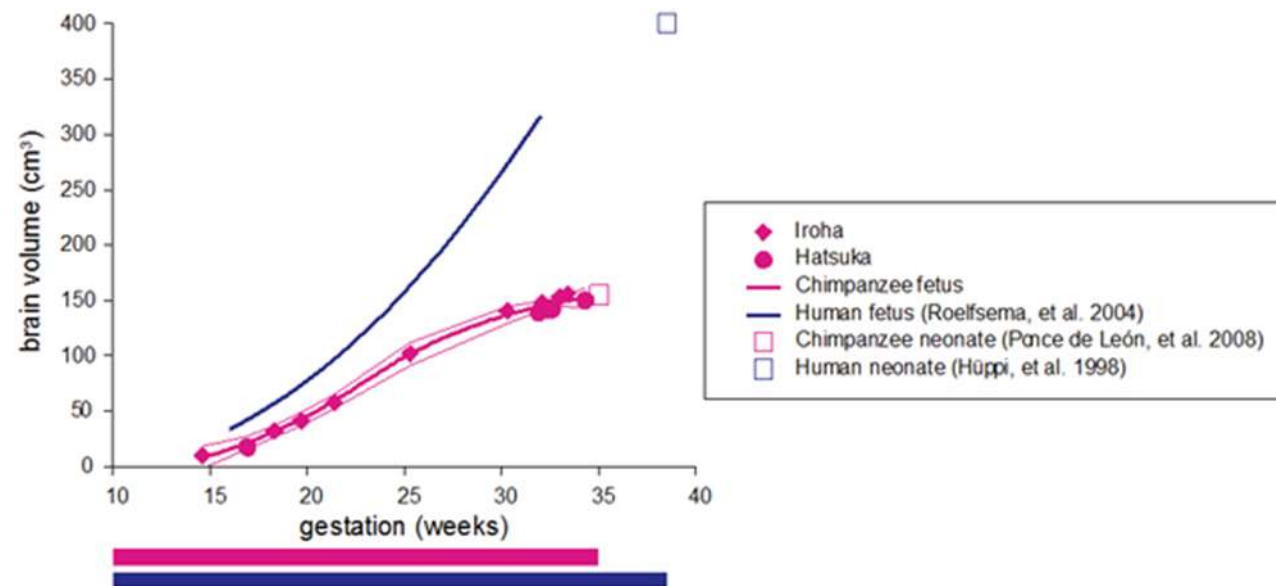
Példa a koponya (agy) születés utáni intenzív növekedésére. A bal oldalon látható kislány 3 éves és két hónapos, a jobb oldalon látható csecsemő 1 hetes.



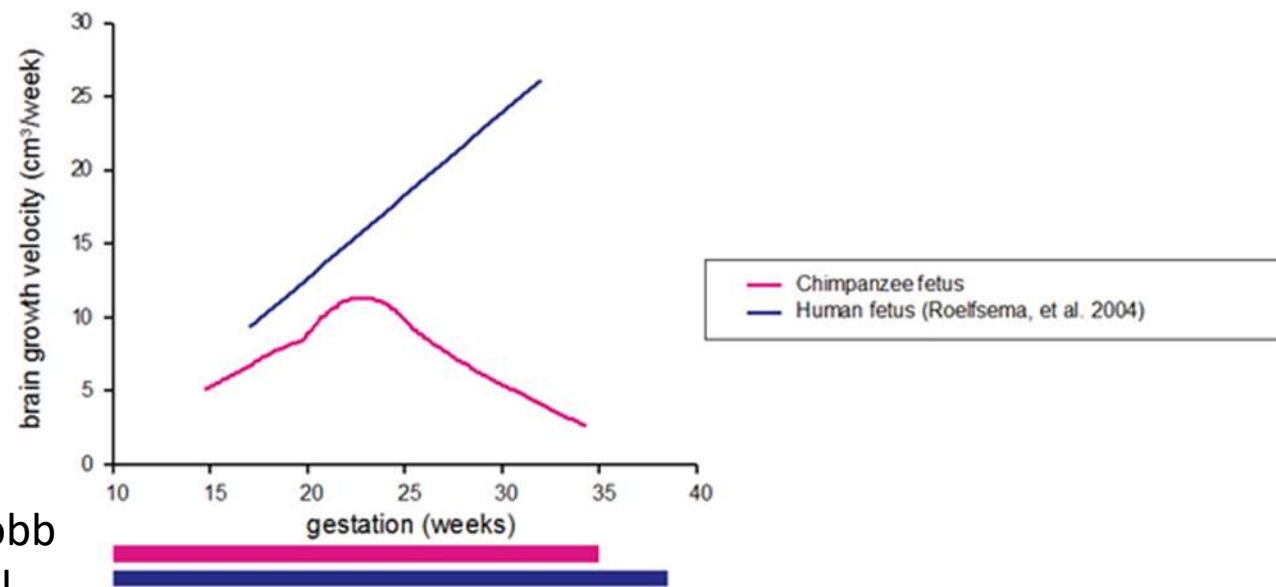
## Az embergyerek agyának méhen belüli fejlődése



Az emberi agy mérete már a magzati 16. héten közel 2x nagyobb mint a csimpánzé. A 24. héttől csimpánzagy növekedése lassul, emberi agy növekedése továbbra is gyorsabb.



## Az agytérfogat változása a terhesség alatt emberben és csimpánzban



## Az agynövekedés intrauterin sebessége (ember és csimpánz)

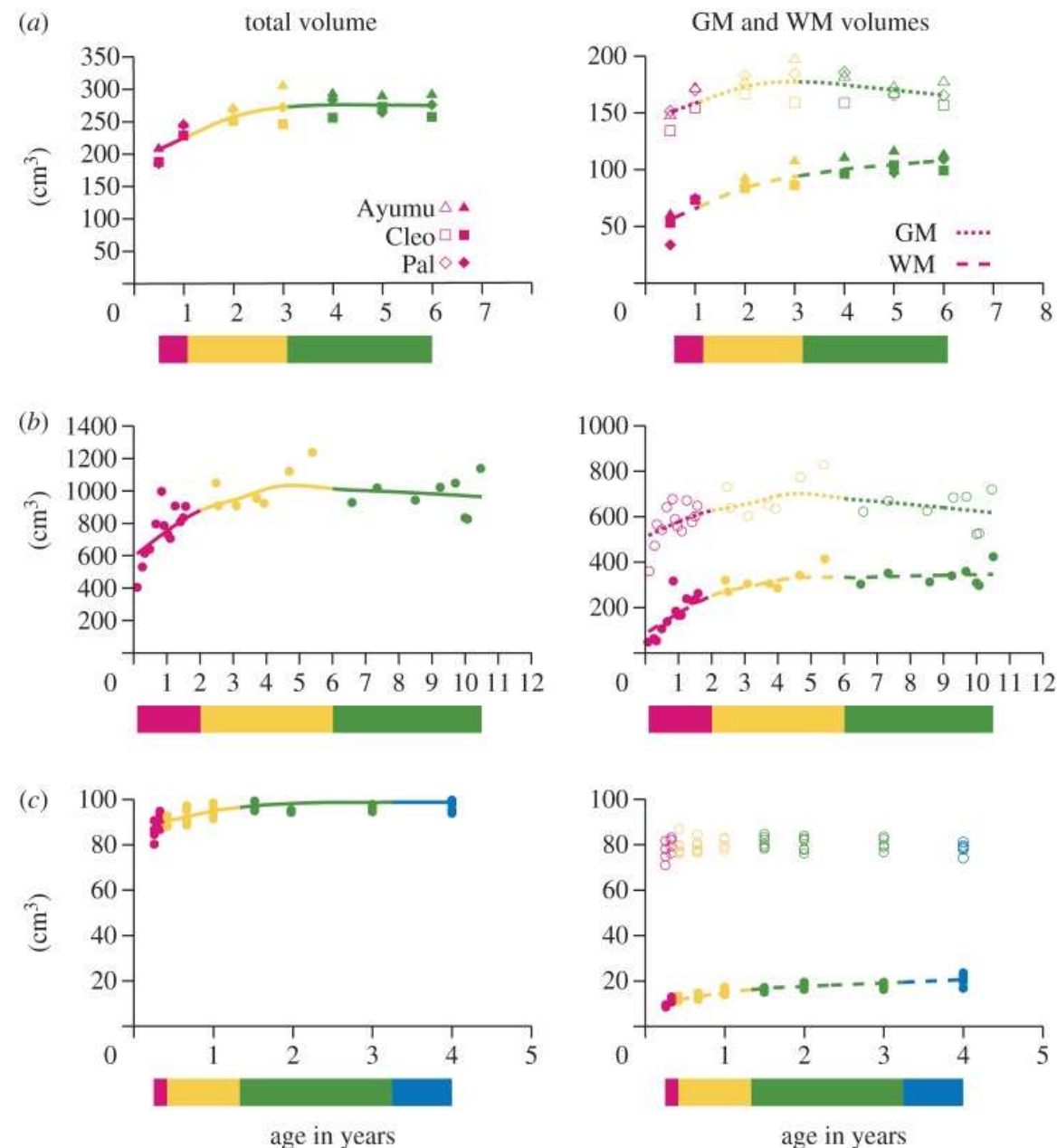
# Szürkeállomány (GM) és fehérállomány (WM) arányának változása az egyedfejlődés során

a) csimpánzokban, b) emberben, c) rhesusmajomban.  
Magenta: csecsemőkor, sárga: kisgyermekkor, zöld: kölyökkor, kék: serdülőkor.

Legnagyobb mértékű fehérállomány növekedés az embernél figyelhető meg.

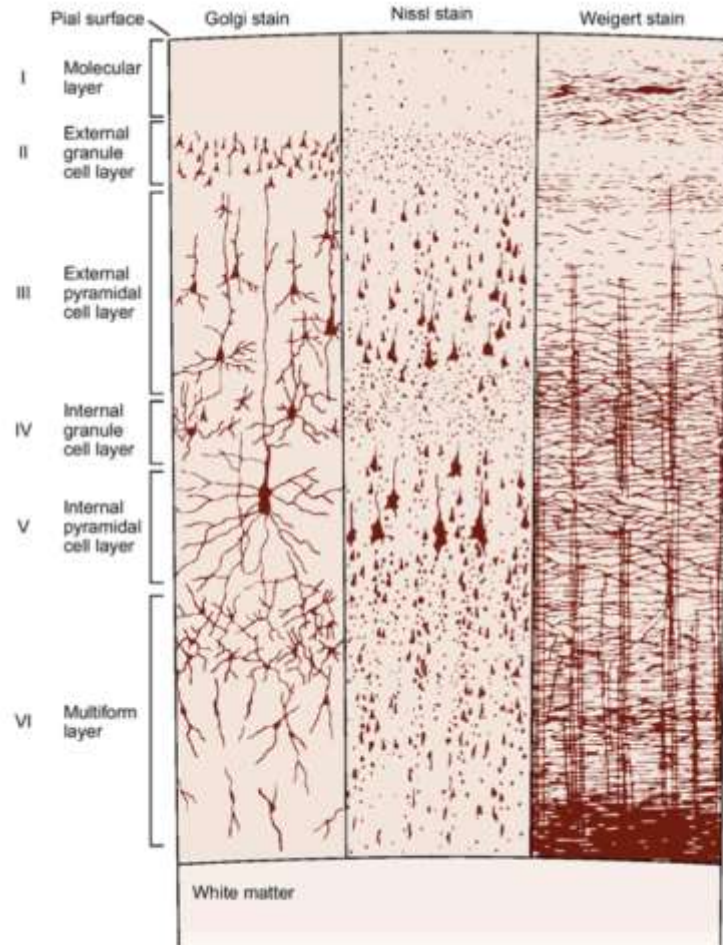
Az ember egyedfejlődésének életkori szakaszai között újak jelentek meg, illetve a már meglévők hossza megváltozott:

- az intrauterin életszakasz meghosszabbodott,
- a csecsemőkori függőség életszakasza meghosszabbodott,
- a gyermekkor meghosszabbodott,
- az elnyújtott, lassú gyermekkori növekedést egy intenzív, felgyorsult növekedés jellemzi serdülőkorban,
- a nemi érés késleltetve jelentkezik

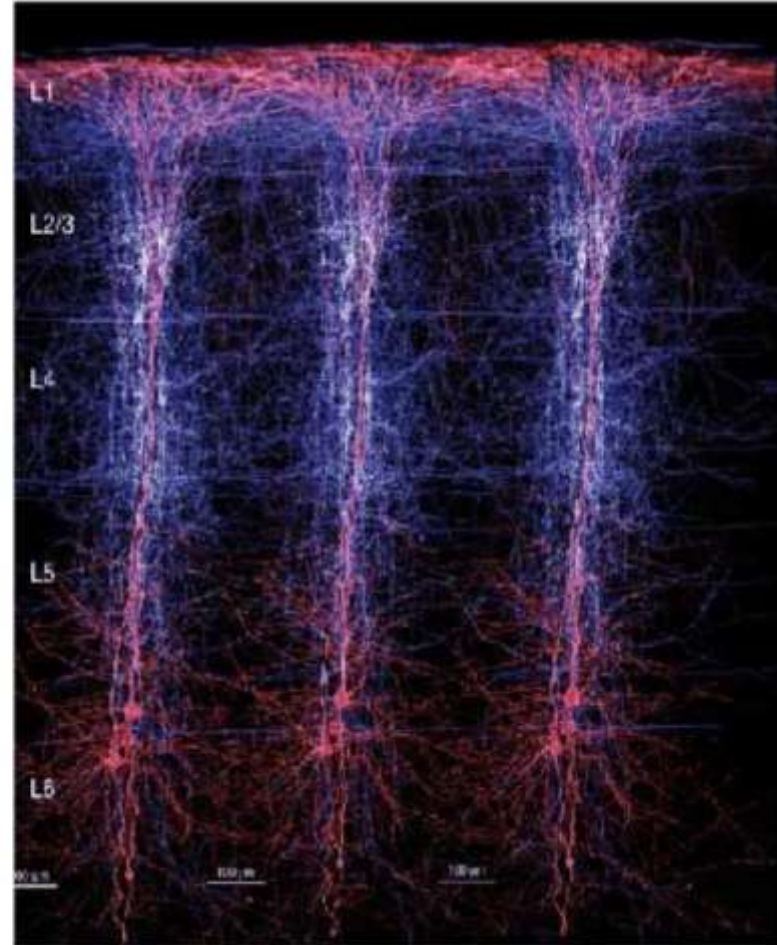


Evaluation of total, GM and WM volumes in the cerebrum during early infancy and the juvenile stage. Age-related changes in the total, GM and WM volumes in the cerebrum are shown for (a) chimpanzees (Ayumu, Cleo and Pal), (b) humans (n = 28) and (c) rhesus macaques

# Az emberi agykéreg szerkezete



source: Kandel, Principles of Neural Science



source: lafayette.edu

## Neocortikális oszlopok felépítése:

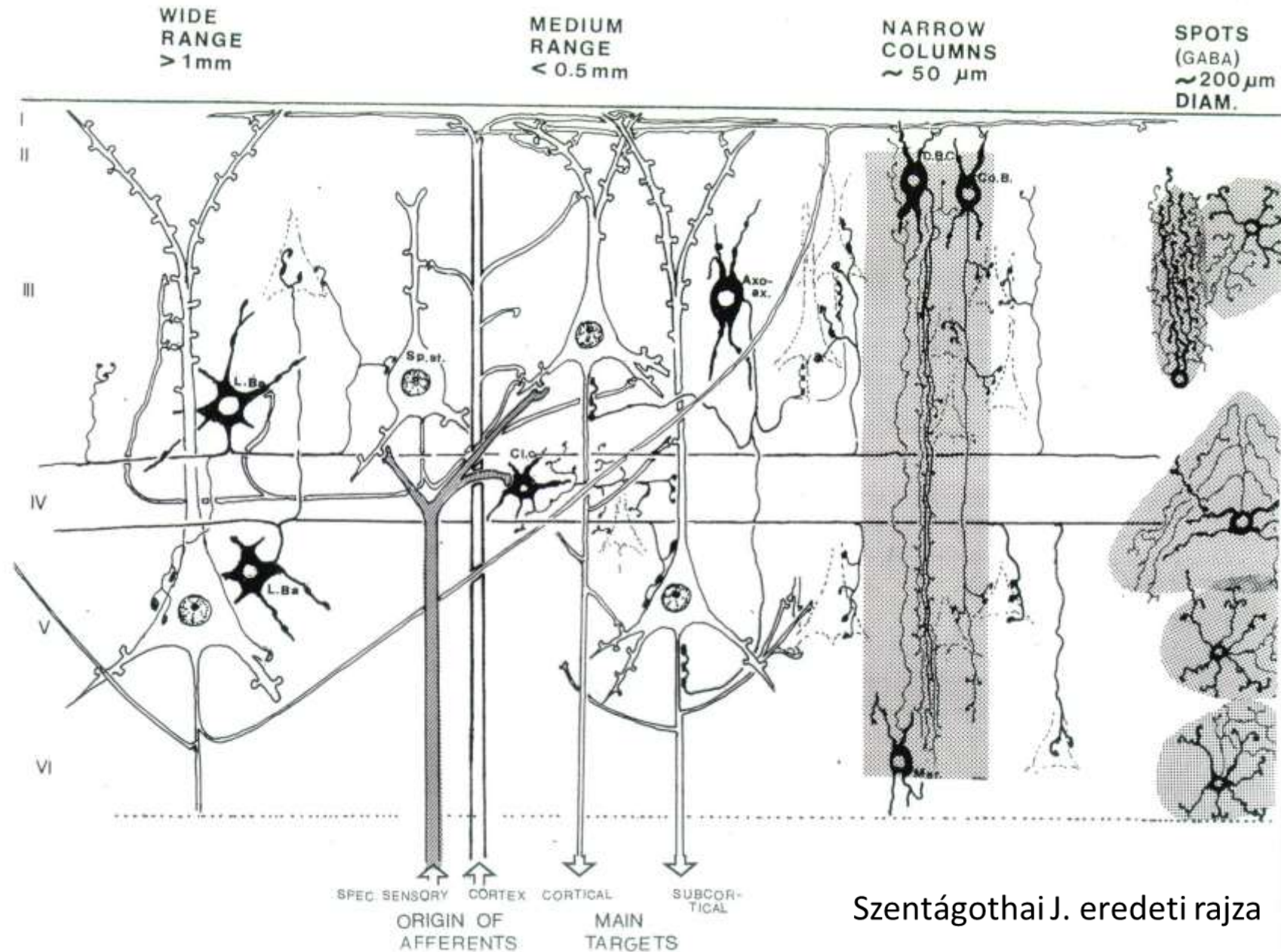
- Az interneuron típusok fajokként eltérnek.
- Emberben különösen a prefrontális kérgi oszlopok szélesebbek mint a csimpánzoké.
- A humán evolúció egyik iránya a neocortikális oszlopok összeköttetéseinek komplexebbé válása.
- Különösen a prefrontális kéregben szembetűnő a kapcsolati hálózat bővülése.
- Az evolúció során az oszlopok száma is jelentősen emelkedett.



# Szentágothai János rajza az agykéreg idegsejtjeiről, kapcsolataikról és a kérgi modulokról

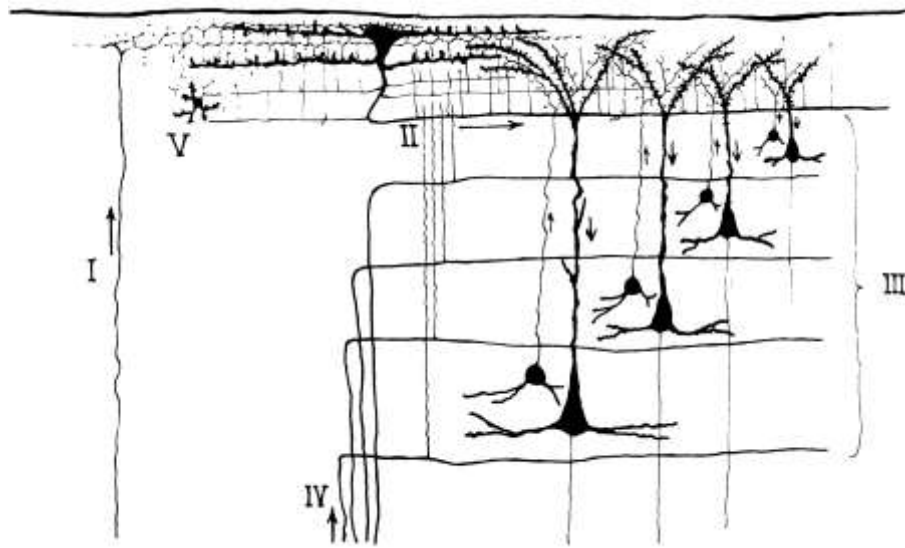
**Neocortikális oszlopok: (mini-kolumnák) alapvető szerveződési egység emlősökben.** Az információfeldolgozás magasabb szintjét hordozó egységek megengedik a környezetről származó információ különböző aspektusainak kombinálását.

**Az agy egyre növekvő komplexitását a hasonló szerveződésű egységek hierarchikus szerveződése adja, ebben az elrendezésben az elemek kapcsolatát kisebb mennyiségű axonnal lehet biztosítani.**



Szentágothai J. eredeti rajza

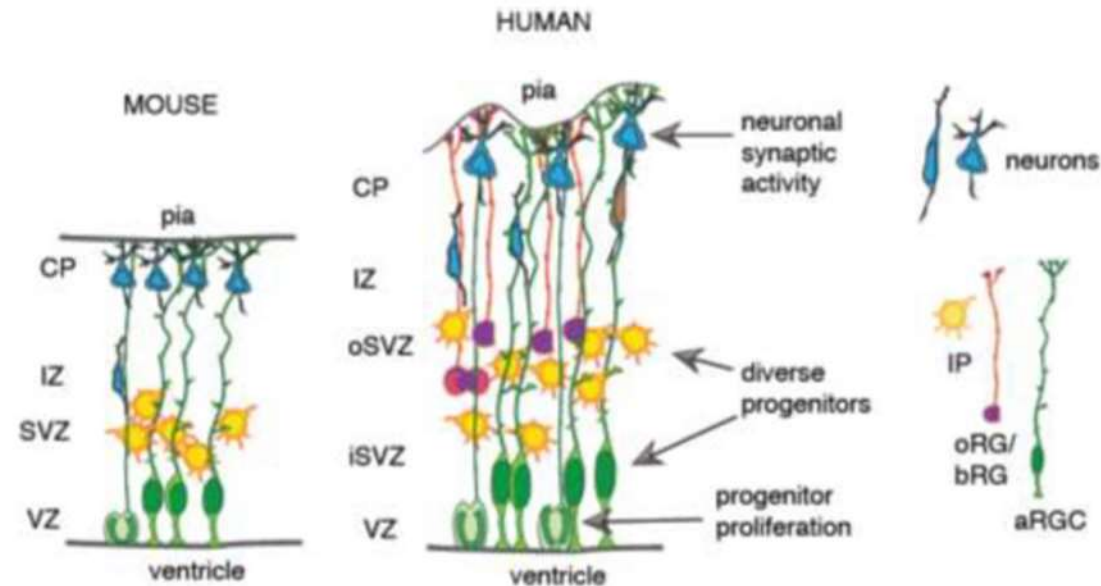
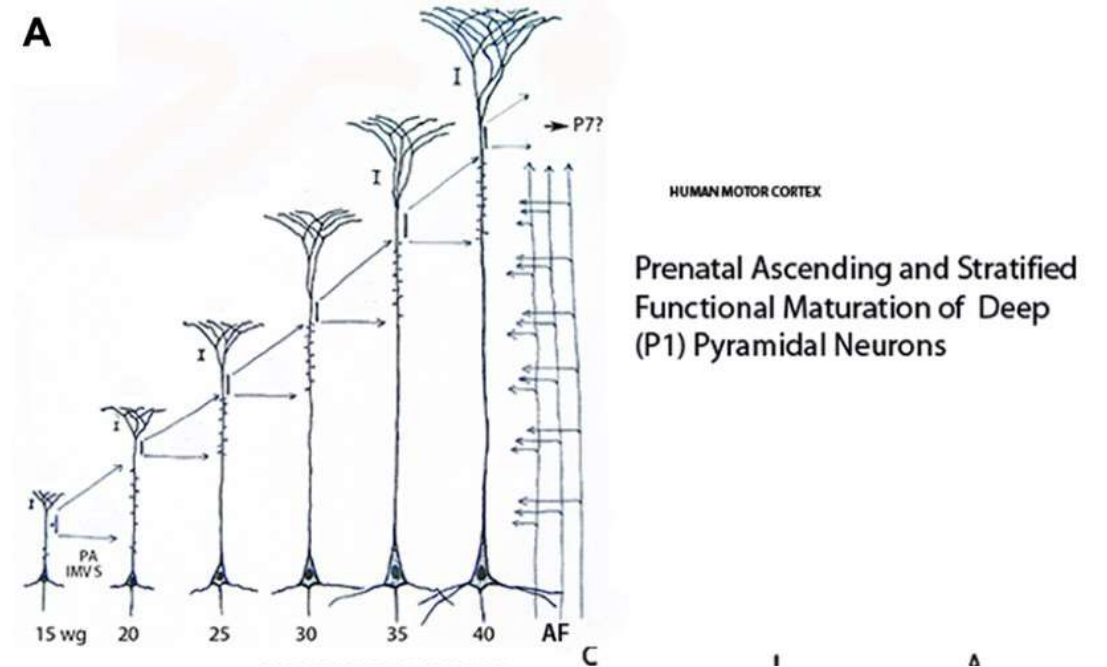
# Fejlődő agykéreg



Ramon Y Cajal eredeti rajza

A fejlődő humán neocortex különféle neuronális progenitor sejtpopulációkat tartalmaz, úgy mint a

- neuroepitheliális progenitor sejtek (ventricularis zónában)
- apikális radiál glia sejteket (aRGC) és
- basalis progenitor sejtpopulációkat
- bazalis vagy külső radiális glia sejtek (bRG vagy oRG) és
- intermediate progenitor sejteket (IP)



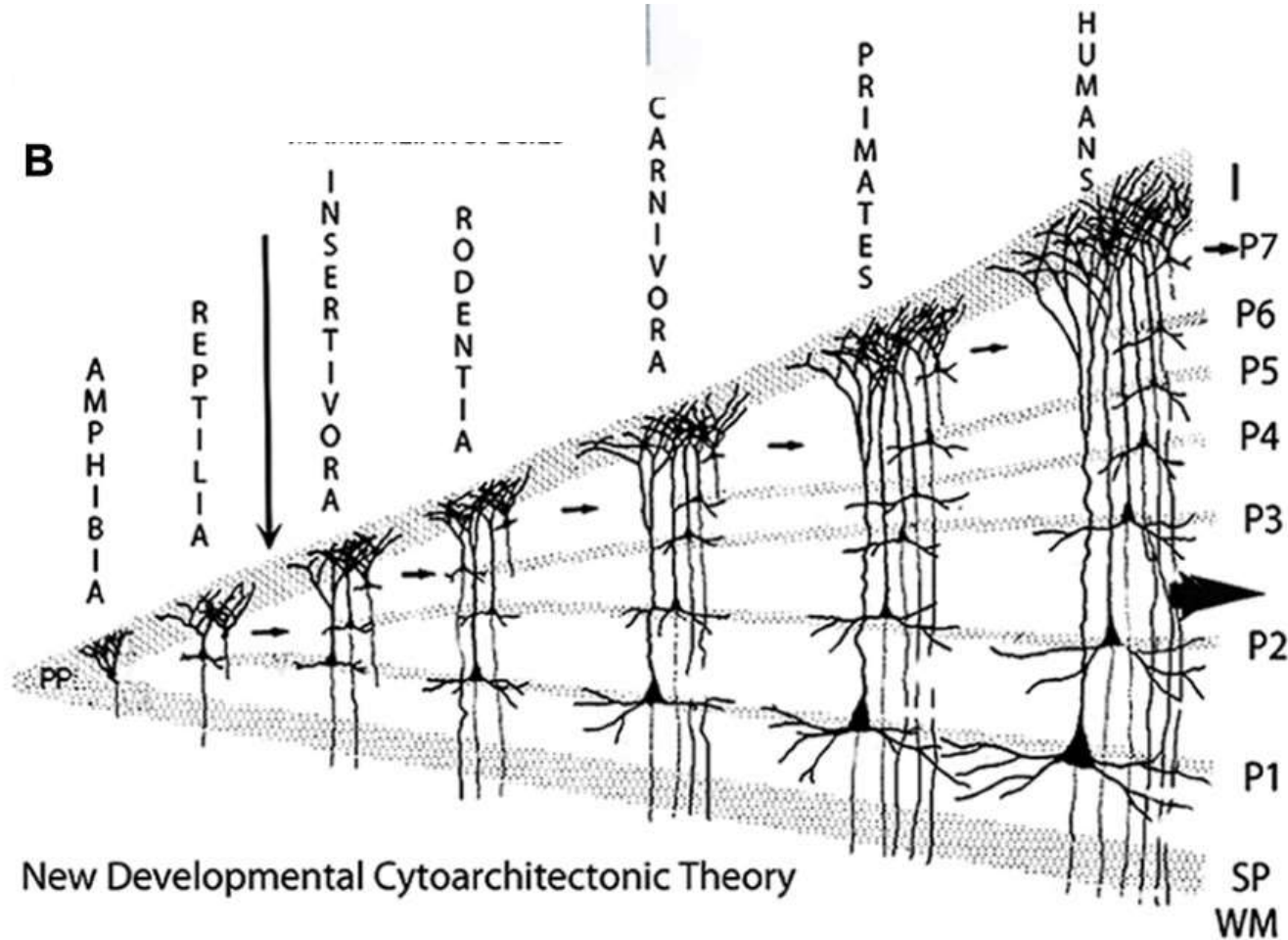
## Fejlődő agykéreg

### Motoros kéreg szerveződése:

Embrionális 8-15. héten új endimális eredetű piramis-sejtek jelennek meg, és különböző új rétegeket hoznak létre.

Születéskor is maradnak differenciálatlan sejtek, ezek új környezeti igények esetén újabb réteget és újabb mozgás-formát alakíthatnak ki.

A piramissejt rétegek száma a motoros kéregben az emlős-faj motoros képességeire utal: sündisznónak 2 réteg, egér 3, macska 4 primataknak 5 ember 6: (beszéd, írás, és elvont mozgástervezés alapja).



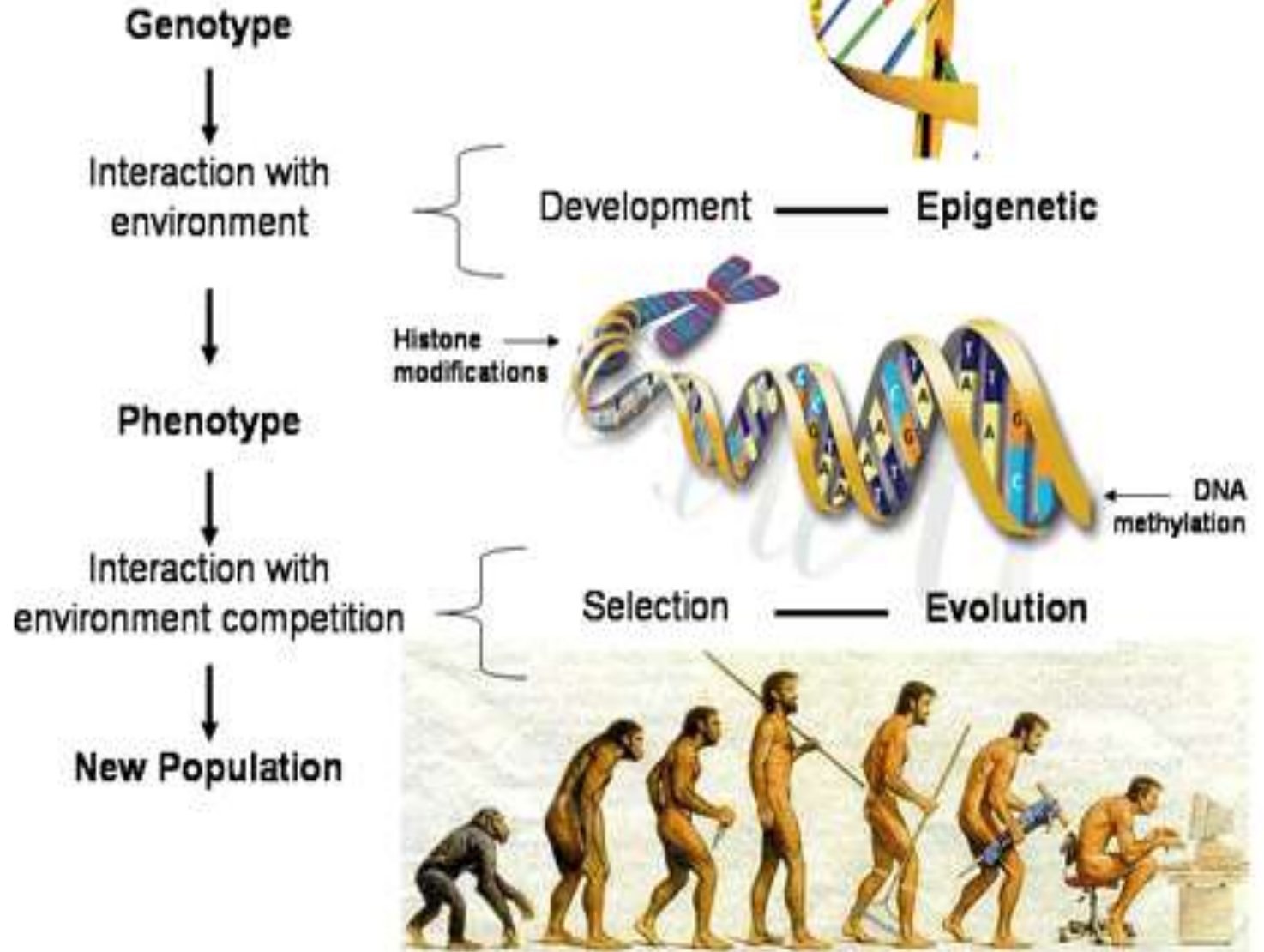


# Molekuláris evolúció:

- Protein evolúció
- RNS evolúció
- Gén vesztesség
- Gén reguláció

Az epigenetika a modern biológiában a gének olyan öröklődési formájának vizsgálata, amely nem jár együtt a DNS szekvenciájának megváltozásával. Az epigenetika arra a kérdésre keres választ, hogy a környezeti tényezőknek a szülőkre gyakorolt hatása milyen változásokat okoz az utódok génkifejeződését tekintve.

A génekben, a DNS szekvenciában bekövetkező változásokat, a környezeti, szelekciós hatásokat amelyek az evolúció „motorjai”, és új populációk kialakulásához vezetnek, a fejlődésgenetika vizsgálja



# Fejlődésgenetika

**Azok a gének, amelyek kontrollálják az agy fejlődését, komplexitását és nagyságát, sokkal gyorsabb evolúción mentek keresztül az emberelődökben és az emberben, mint a nem emberi főemlősökben és más emlősökben.**

**A „speciális” fejlődés elmélete (Bruce Lahn, 2004 Cell doi: 10.1016/j.cell.2004.11.040.).**

**214, agyhoz kapcsolódó gént vizsgáltak, amelyek az agy fejlődését és működését kontrollálják.**

**Megvizsgálták, hogy ezen gének DNS-szekvenciája hogyan változott 4 fajban az evolúció során (emberben, a makimajomban, patkányban és az egérben).**

**Az embereknek és a makimajmoknak volt egy közös elődjük 20-25 millió évvel ezelőtt, míg a patkány és az egér 16-23 millió évvel ezelőtt vált szét. Mind a négy fajnak volt egy közös elődje, kb. 80 millió évvel ezelőtt.**

**Megszámolták a DNS-szekvenciában található változásokat, és meghatározták az adott gén evolúciós sebességét.**

**Az agyhoz kapcsolódó gének sokkal gyorsabban terjedtek el az embereknél, mint a makákóban, az egérben és a patkányban.**

**Az evolúciós sebesség sokkal nagyobb volt az emberekhez vezető vonalban.**

A fejlődéssel kapcsolatos gének az elmúlt néhány millió év során sokkal nagyobb arányú változásoknak voltak kitéve, mint a későbbi, normális agy működéséhez szükséges gének.

Számos gént sikerült azonosítani, amelyek az emberi agy fejlődésében szerepet játszhattak (humanness gének).

Van 17 gén, amelyek jelentős „evolúciós sebességgel” rendelkeznek az emberi vonalban (az agy nagyságának és komplexitásának szabályozása).

Azt is feltételezik, hogy ezek közül a két gén, az **ASPM** és a **Mikrokephalin** specifikusan vett részt az emberi agy evolúciós megnagyobbodásában.



Bruce Lahn (1969 - )

**Accelerated Evolution of Nervous System Genes in the Origin of Homo sapiens**

CELL Vol.:119, ISSUE 7, P1027-1040, DECEMBER 29, 2004



# ASPM- kisfejűség (Abnormal Spindle-like Microcephaly Associated) gén

ASPM (és a Mikrokephalin gén is) **aberráns** esetben **mikrokephaliát okoznak**.

Ezek a gének normális esetben a neuronok számát szabályozzák, és így az agy **nagyságának speciális szabályozói**.



# Microcephalin MCPH1 gén

Az ASPM és a MCPH1 gén hasonló fejlődési, evolúciós tulajdonságokkal rendelkeznek:

- főemlősökben a két gén szignifikánsabb, felgyorsított evolúciót mutat,
- főemlősökön belül ez a gyorsulás abban a vonalban a legkiemelkedőbb, amely az emberekhez vezet,
- a felgyorsított evolúció valószínűleg pozitív szelekció következménye,
- a gyorsult evolúció ezeknek a géneknek egy speciális régiójában található változás következménye

Az ASPM és a Mikrocephalin egy nagyon erős pozitív szelekció célgénjei voltak a főemlősfejlődésben, ami az emberhez vezető vonalban a leghatározottabb.

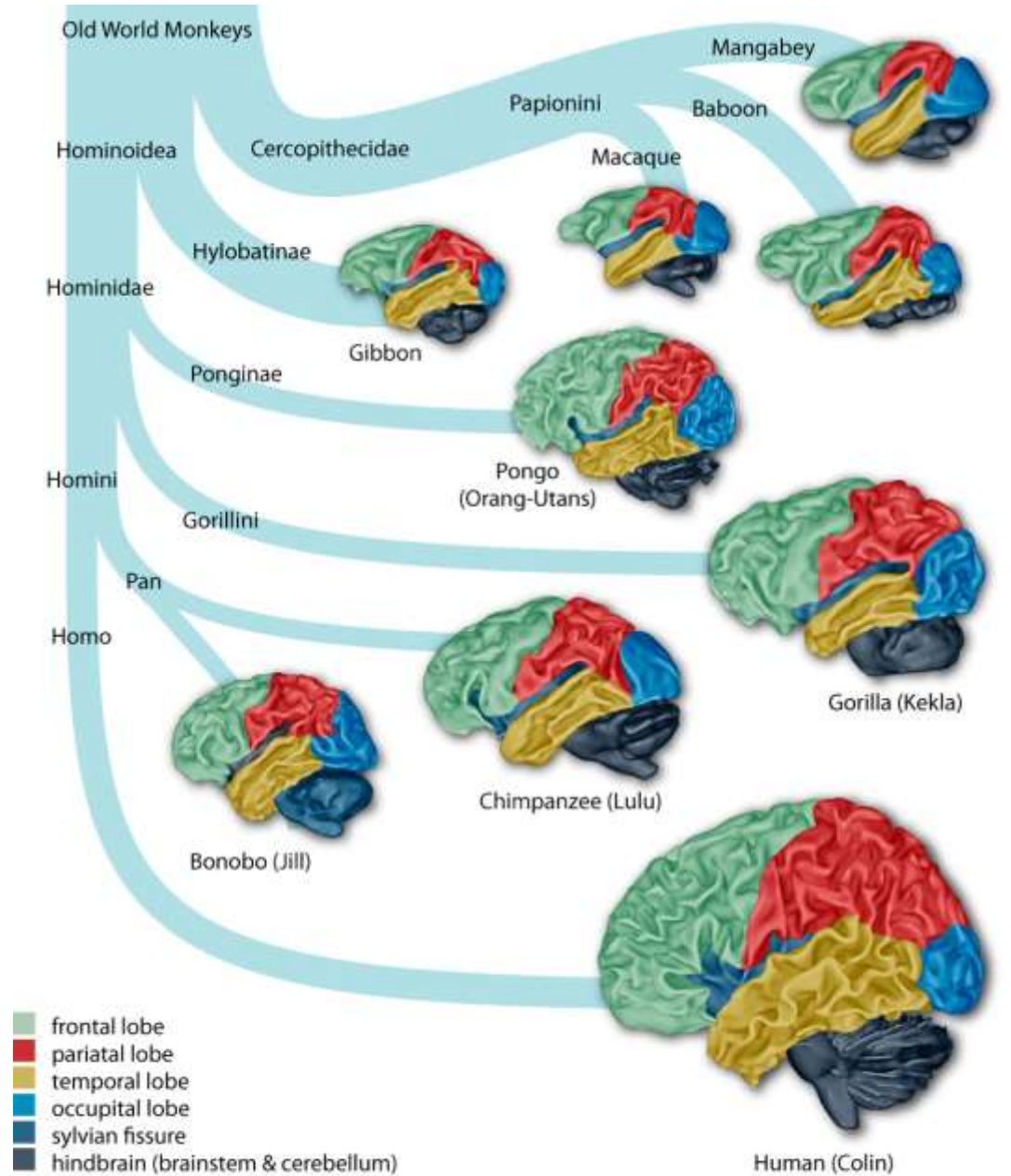


Fig. HE: Visualization of evolution of brains in primates based on the inner surface. The lobes, the sylvian fissure and the hindbrain (brainstem and cerebellum) are colorized for better orientation.

# MYH16 - rágóizom myozin gén

Egy másik, ugyancsak fontos génmutáció az úgynevezett rágóizom myozin génnel kapcsolatos (emberben az MYH16 géneknek két DNS-bázisa hiányzik).

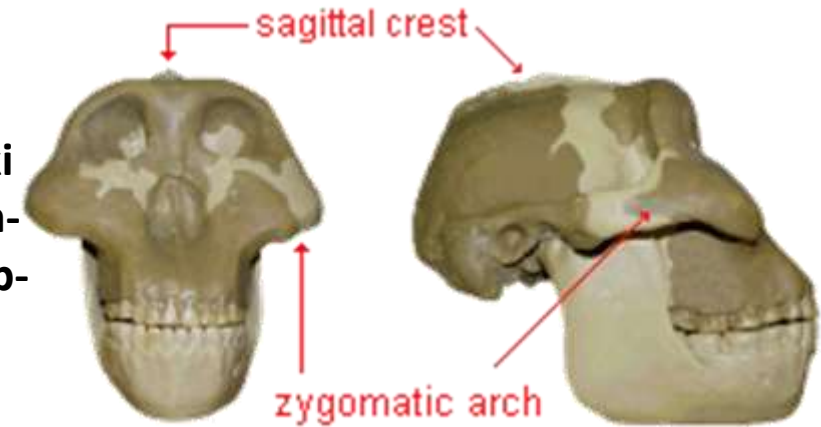
A főemlősökben található MYH16 gén hatására erős rágóizom fejlődött/fejlődik ki (ez a nagy izom a csimpánznál is megtalálható), amely a koponyán, a halántékcsonton található nagy csontkiemelkedéshez kapcsolódik. Ez az extra csontmagnagyobbodás valamilyen módon gátolja az agykoponya fejlődését, (és az agy fejlődését is).

A mutáció során kialakuló (emberi) MYH16 két bázissal rövidített gén:

- jóval kevesebb rágóizomproteint tud legyártatni,
- jelentősen csökken a rágóizom nagysága is,
- nem szükséges extra csontkiemelkedés,
- ez felszabadítja a koponyát azon gátló tényezők alól, amelyek a koponya növekedését gátolták eddig.

Ez a mutáció, amelyet nagyon szellemesen a „gondolat szobájának” nevezték el, kb. 2,4 millió évvel ezelőtt jött létre.

Rágóizom törzs- (vissza) fejlődés



Australopithecus boisei



Modern human



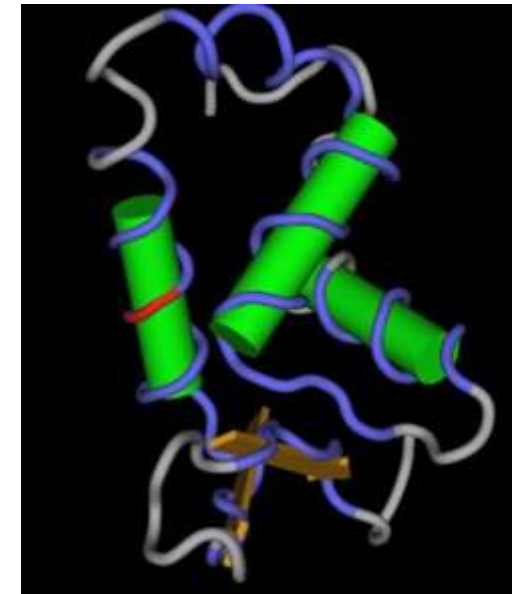
## FOXP2 = „a beszéd génje”

**Fontos gén az emberi evolúció szempontjából, amelyet szellemesen a „beszéd génjének” is neveznek. (Az a protein, amelyet a FOXP2 termeltet, 715 aminosavból áll, és csak két aminosavban különbözik a csimpánz és az ember között.)**

**A FOXP2 gén humánspecifikus mutációja kb. 50-100 000 évvel ezelőtt jött létre, lehetővé téve azokat a finom orofaciális mozgásokat, (a nyelvhez és a beszédhez kapcsolódó izmok szabályozott mozgásait), amelyek szükségesek ahhoz, hogy motorikusan egyáltalán létrejöjjön a beszéd.**

**A beszéd kialakulása nem csak a beszédizmok megfelelő differenciálódásától, megjelenésétől függ, hanem kapcsolatos az aszimmetrikus agy (és a két félteke „munkamegosztásának”) kialakulásával (részletek a 11. előadásban).**

**Van egy gén az emberi genomban (LMO4), amely általában egyformán expresszálódik a leendő két féltekében (fetális agyakban), kivéve a beszédkérget a bal oldalon, ahol jelentősen csökkent volt az LMO4 gén expressziója!**

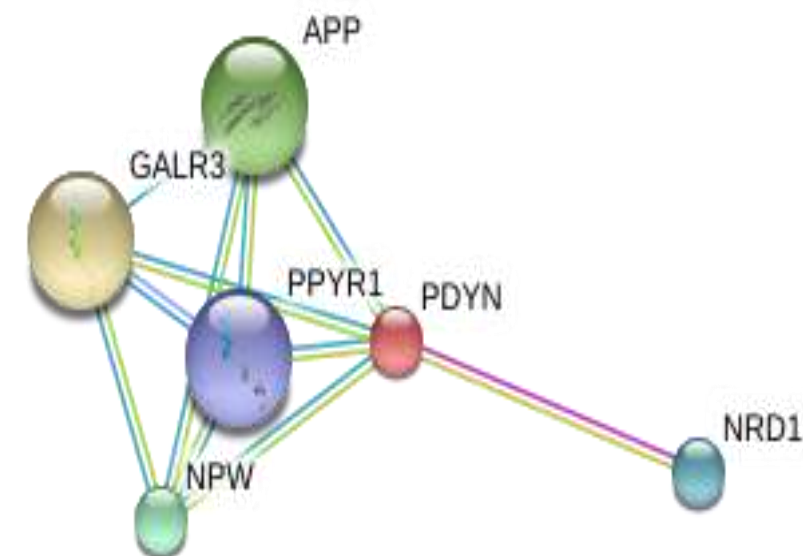


## PDYN (prodynorphin) gén

Ez a gén az emberi agy fejlődése során különleges szerepet játszott, mivel közvetlenül vett részt a fejlettebb érzékelés, a magatartás és a memória kialakulásának a szabályozásában.

Nagyon fontos, hogy ez a gén, amely a prodynorphin proteint indukálja, az **emberi populációban semmiféle variációt nem mutat**, tehát ugyanúgy néz ki embereknél, **sőt a nagymajmoknál is**.

Éppen ezért ha van valami különbség, az **nem annyira a génben, mint inkább annak a szabályozásában kell hogy legyen**, és valóban úgy találták, hogy a **gén expressziójának sokfélesége igazából egy szabályozó transzmissziós mechanizmus következtében alakult ki**, amely felgyorsította a gén produkciójának az emberi agy fejlődése közben tapasztalt változásait.



- Cognitio-memória
- Dynorphin opioid peptid kódolja
- Percepció és magatartás szabályozása

## HAR1 (Human Accelerated Region) gén

Ennek egy változata a HAR1F, különösképpen aktív az úgynevezett Cajal–Retzius-idegsejtekben az agyfejlődés korai szakaszában. (A Cajal–Retzius-neuronok reelin fehérjét termelnek, ami fontos a réteges szerkezet kialakulásához.)

A HAR1F gén nagyon aktív a 7. és 19. embrionális hetek alatt (a reelintermő gén szabályozásával) azon a területen, amelyből a nagyagykéreg fejlődik ki.

Az emberi nagyagykéreg éppenséggel e gének működésének következtében háromszor olyan nagy, mint elődeinkben volt.

A HAR1 lényegében ugyanaz minden emlősben, kivéve az embereket. Ez a DNS-szekvencia tulajdonképpen változatlan maradt százmillió éveken keresztül az evolúció során, ami egyben azt is jelzi, hogy egy biológiailag rendkívül fontos funkciót lát el

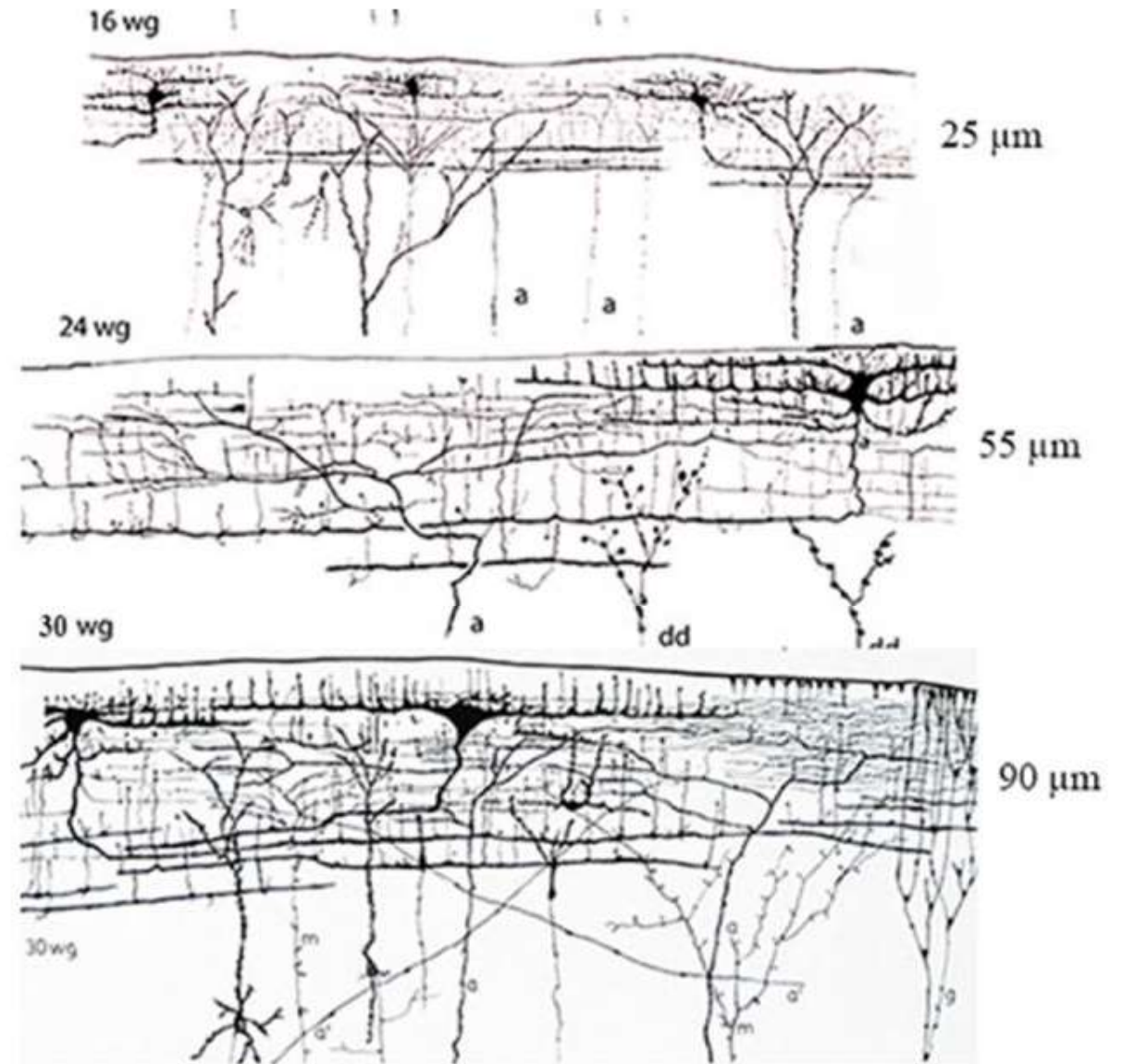
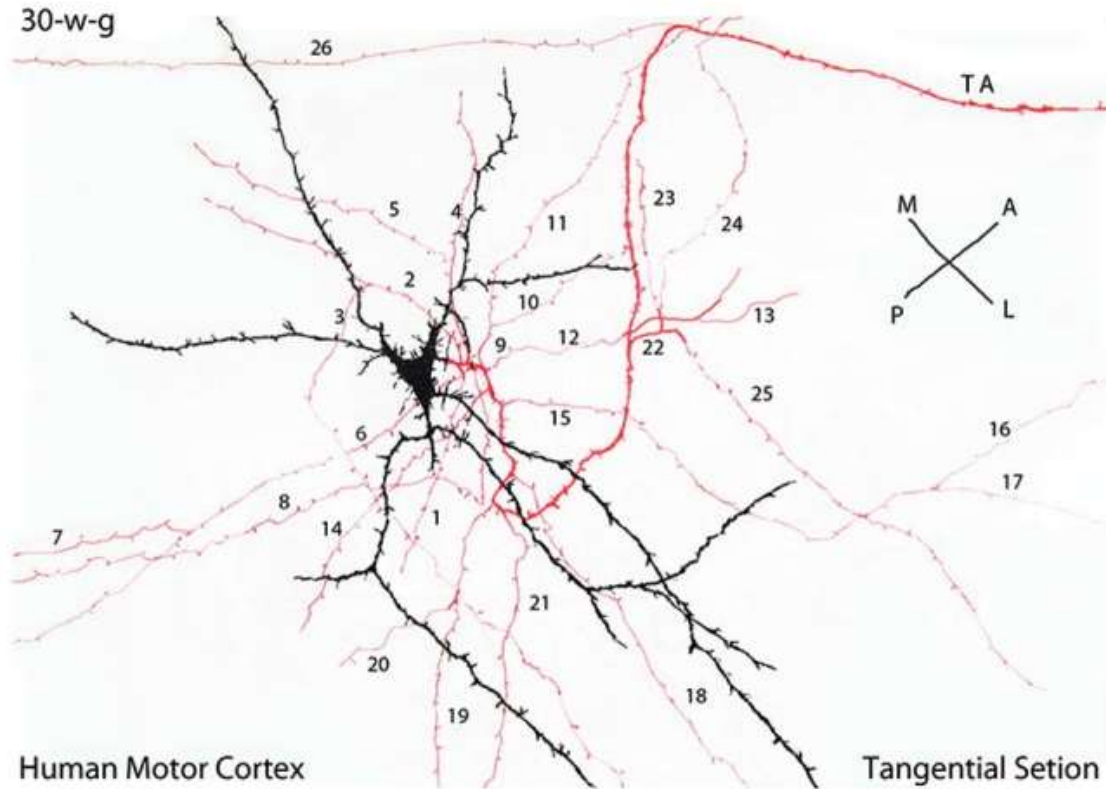


Vándorló idegi prekursor  
sejt fejlődő agykéregben



## A Cajal–Retzius-neuronok fejlődő humán motoros kéregben

- HAR1F gén ezekben a sejtekben expresszálódik
- Kéreg megnagyobbodás
- A szerkezet kialakítása

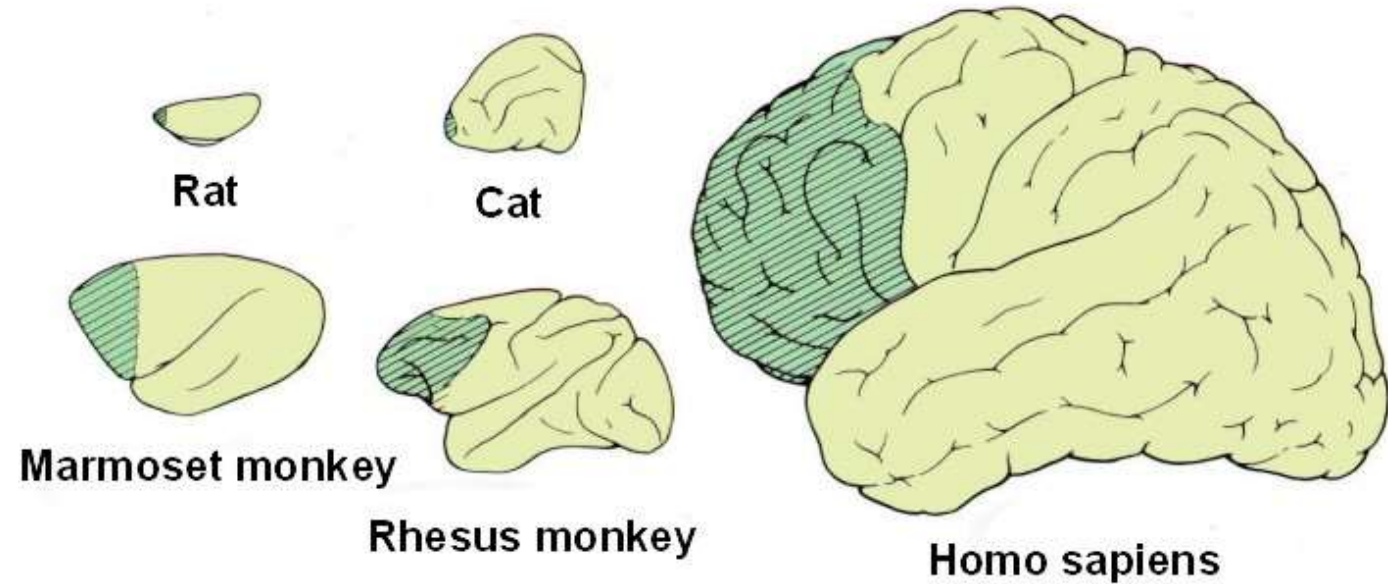


C-R neuronok fejlődő motoros kéregben a 16, 24, és 30. gesztációs héten

## A prefrontális kéreg emlősökben

Kb. öt-hétmillió évvel ezelőtt, a HAR1 rendkívüli módon változott: 18 különbséget találtak a csimpánz és a humán HAR1 DNS-e között, ami fantasztikusan gyors és nagy változás.

Különösen fontos e tekintetben az, hogy a neokortexnek az első része a prefrontális, vagyis előhomloki lebeny, hatalmasra fejlődött a hominid evolúcióban, az ember fejlődése során.



A prefrontális kéreg megnagyobbodása a *Homo sapiensben* kulminál. (Changaux a civilizáció szervének nevezte el, hiszen minden érzékszervtől állandóan információkat kap, (általában) hasznos következtetésekre is jut.

(Tartalmazza a munkamemória aktív reprezentációját; a céloknak és a célokkal kapcsolatos kontextusoknak a reprezentációját, az agy intellektuális és emocionális aktivitása is itt kapcsolódik egymáshoz.)

Az emberi fejlődés hárommillió éve során a prefrontális kéreg nagysága hatszorosára nőtt, míg az agy és a neokortex nagy része tulajdonképpen csak háromszorosára.

Ez is jelzi a prefrontális kéreg különleges és kiemelkedő jelentőségét az emberré válásban..

## A DUF1220 protein domén és az agytérfogot összefüggései

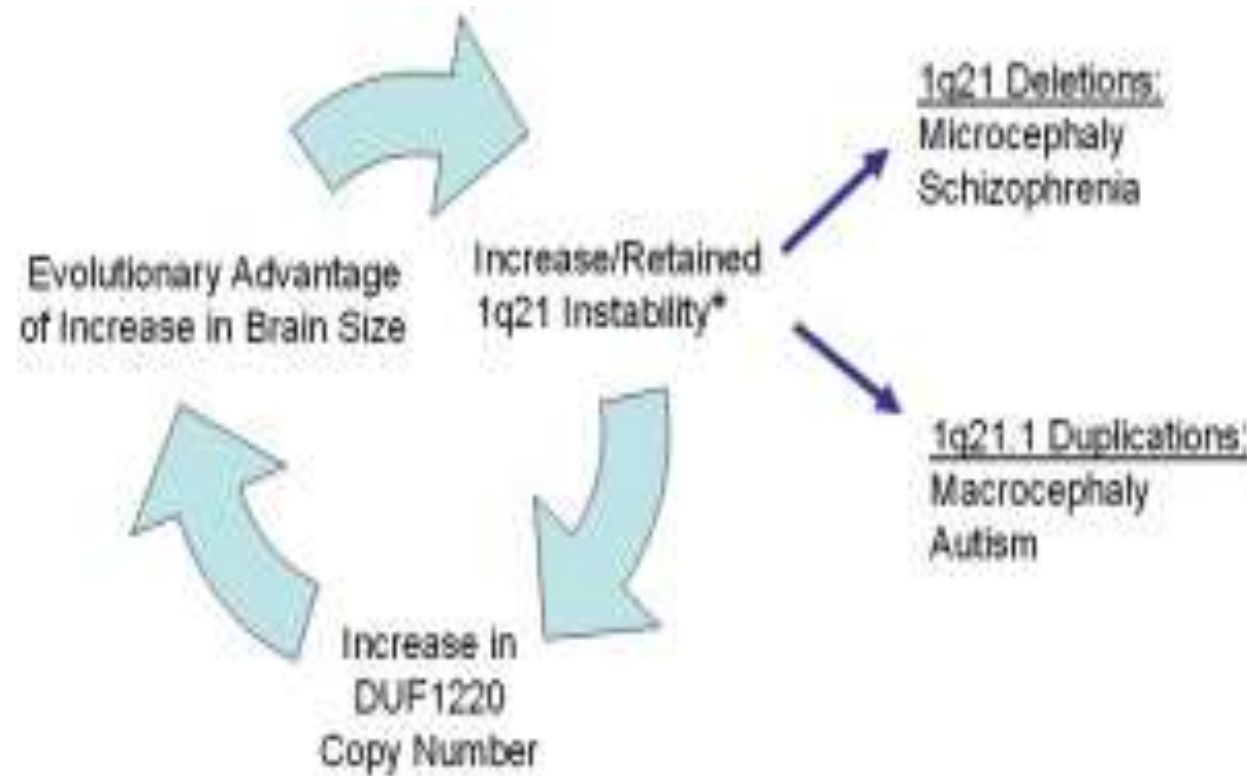
- Génduplikáció
- Cognito
- Összefüggés a pszichiátriai kórképekkel, mint a mikrokefália, skizofrénia, vagy az autizmus

Ezek a mutációk, tulajdonképpen a kérgi areáknak a duplikációját hozták létre

A duplikáció lehetséges előnye itt az lenne, hogy egy adott kérgi régió, példának okáért a prefrontális kéreg sokkal gyorsabban fejlődik, és nagyobbra tud fejlődni,

Az erős szelekció, amely lehetővé teszi a „jobb”, mennyiségileg és minőségileg jobb agyakat, még ma is lényegében folytatódik.

DUF1220 : domain of unknown function 1220



DUF1220 gén képes a humán genom bármely fehérje kódoló régiójának a megduplázódását kiváltani, elsődlegesen például az 1q21 génszakaszt (I-es kromoszómán), amelynek a lehetséges deléciói a mikrokefáliával, a megduplázódása pedig a makrokefáliával kapcsolatosak, de szerepe van olyan **neurogenetikai betegségek** kialakulásában is, mint a **skizofrénia** vagy az **autizmus**



# A DNS „kódoldó” és „nem kódoló” szakaszain megfigyelt genetikai változások, melyek szerepet játszottak az agy evolúciójában

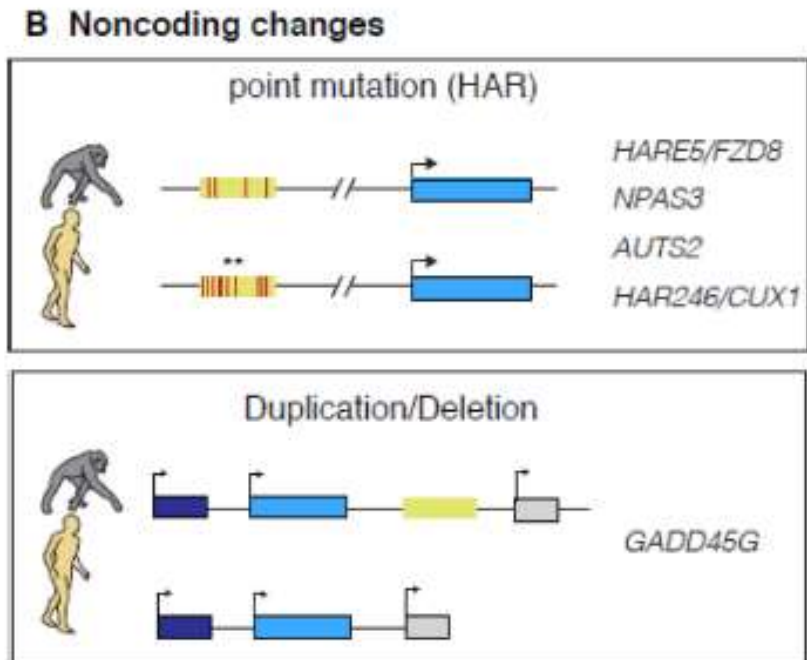
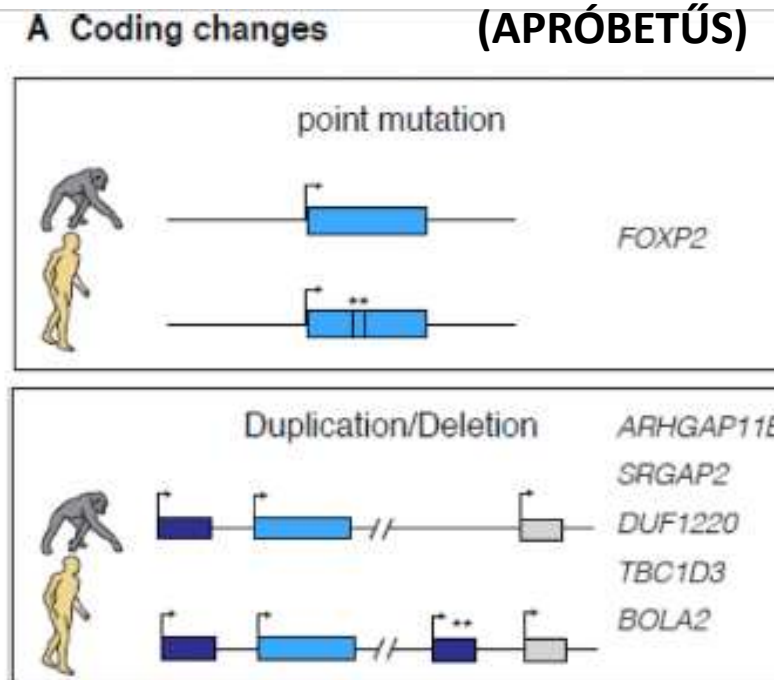
## (A) Copy number changes and point mutations in human protein coding genes

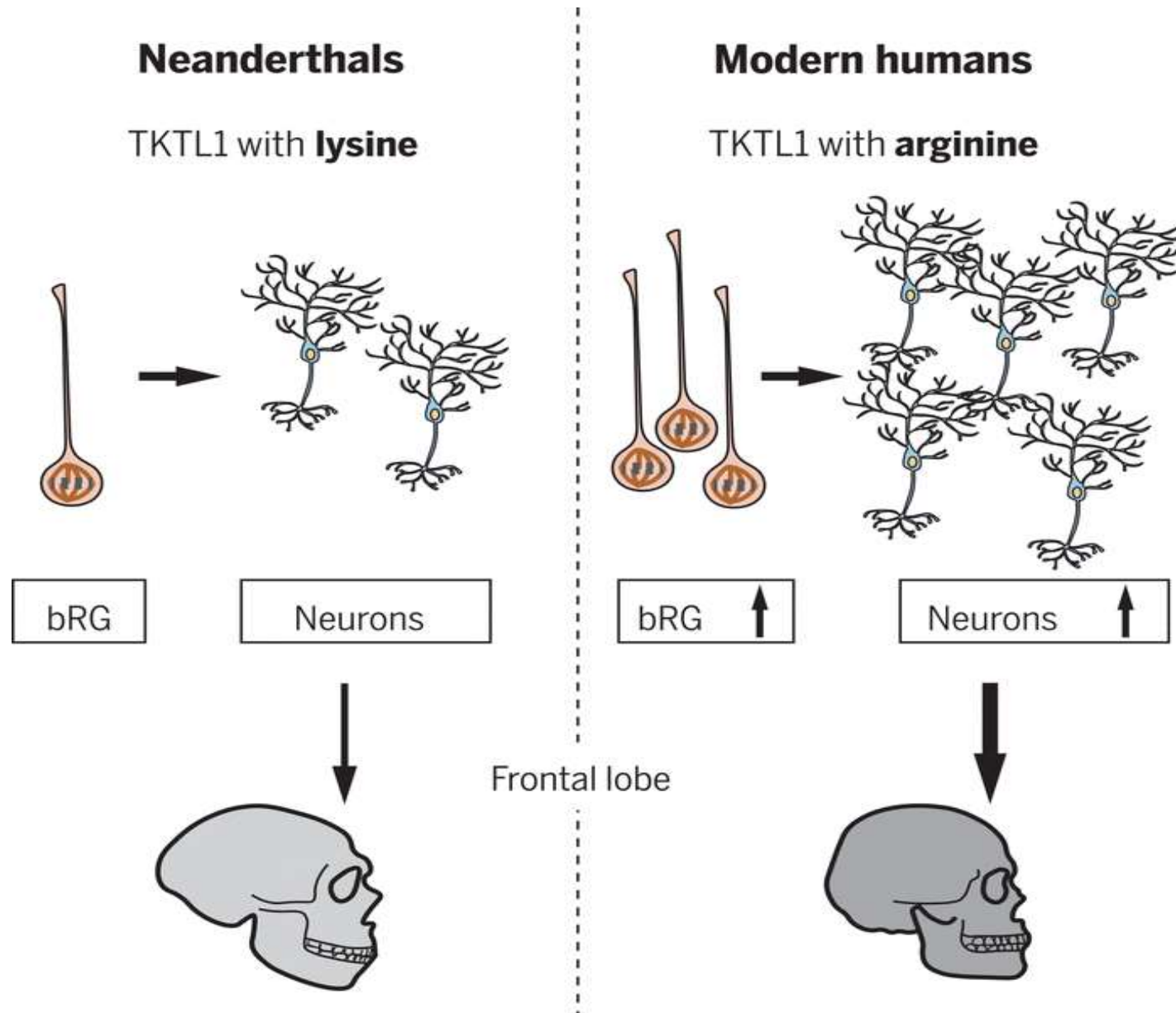
- FOXP2: controls transcription of genes important for language
- DUF1220 (NBPF genes): increased brain size, (microcephaly and autism)
- SRGAP2: increased neuronal migration, denser dendritic spines, circuit formation
- ARHGAP11B: increased basal progenitor cell proliferation
- TBC1D3: increases bRG number and cortical folding

## (B) Non-coding regulatory modifications linked to human brain evolution

- GADD45g: enabled increased progenitor proliferation in the brain
- GPR56: influence progenitor proliferation and patterning in the lateral neo-ctx
- HARE5: promotes faster progenitor proliferation and ultimately a larger neo-ctx
- HAR246 (CUX1): influences cortical neuron morphology and synaptic spines
- NPAS3: a gene involved in neural development and implicated in schizophrenia

Enhancing our brains: Genomic mechanisms underlying cortical evolution. Caitlyn Mitchell and Debra L. Silver (Authors MS) Semin Cell Dev Biol. PMC 2019 April 01.





### TKTL1 and hominin cortical neurogenesis.

The single lysine-to-arginine substitution in modern human TKTL1 leads to greater bRG numbers than in Neanderthals. These bRG in turn generate more neocortical neurons in modern humans. Because TKTL1 expression in fetal human neocortex is particularly high in the developing frontal lobe, these findings imply that the frontal lobe of modern humans contains more neurons than that of Neanderthals.

TKTL : transketolase-like 1 (TKTL1) protein  
bRG : basal radial glia

**Human TKTL1 implies greater neurogenesis in frontal neocortex of modern humans than Neanderthals**

ANNELINE PINSON et al. SCIENCE 9 Sep 2022 Vol 377, Issue 6611 DOI: 10.1126/science.abl6422

## Lélek – psziché – tudat - éntudat

Az embert a többi főemlőstől megkülönböztető anatómiai különbségeken, képességeken kívül talán a legfontosabb „*differentia specifica*” az, hogy az ember „*lelke*” a törzs- és egyedfejlődés során kialakulhatott.

A lélek vallásos és spirituális értelemben is a halhatatlan részt, az ember örök és elpusztíthatatlan eszenciáját jelenti. Filozófiai, vagy tudományos szempontból a *lélek* jelentése változó, és nehezen lehet körülhatárolni. (közelítő fogalmak a psziché, az érzelem a tudat és az éntudat).

A lélek „Az emberben az életnek és a személyiségnek a testtől független (anyagtalan) létezőként képzelt hordozója”, csak az emberre jellemző összetett rendszere .

A „*tudat*” kialakulásának egyik legfontosabb feltétele az ember törzsfejlődése során az agy megfelelő fejlettségi fokának kialakulása. A tudat kialakulása a folyamatosan változó környezethez való alkalmazkodást nagymértékben segítette.

Az emberi agy az emberszabásúak agyától számos tényezőben is különbözik, amelyek összességében magyarázhatják pszichés képességeink, az emberszabásúak viselkedési mintázatához viszonyított lényegesen összetettebb viselkedési mintázatunk, az emberi kultúrák kialakulását.



Hogy az emberi vonal fejlődésében **miért volt ilyen fantasztikusan felerősített az a szelekció, ami „jobb” és nagyobb agyakat hozott létre, míg más fajoknál ez nem következett be, továbbra is nyitott kérdés.** Más szóval, hogy az emberi agynak ez a fejlődése **miért volt és még ma is folytatódóan miért egy „speciális” esemény, ma még nem lehet pontosan megmondani.**

**Az emberi agynak ez a nagyon gyors, rendkívüli fejlődése, amely Ecclesszel szólva létrehozta az Univerzum legkomplexebb és legszebb szerkezetét, vagyis az emberi agyat - a jelenleg élő mintegy 7,7 milliárd *Homo sapiens* agyát - egy olyan bonyolult folyamat lévén jöhetett létre, amelyben szerepelnek a szociális - társadalmi háttér, a kulturális magatartásformák és a felgyorsult agyspecifikus génmutációk.**

**A végső kérdésre, tudniillik, hogy mi hozta létre az emberi agy s így az ember felgyorsult evolúcióját, valamint ennek következtében primates rokonainktól történt markáns elkülönülését – egyelőre csak hipotézisekkel lehetne válaszolni.**



**Sir John C. Eccles**  
(Melbourne, 1903 – Tenero-Contra  
Svájc, 1997, Nobel díj 1963)