

Neveléstudományi Doktori Iskola

2012. március 2.

Magasabb idegrendszeri működések alapjai

dr. Csifcsák Gábor

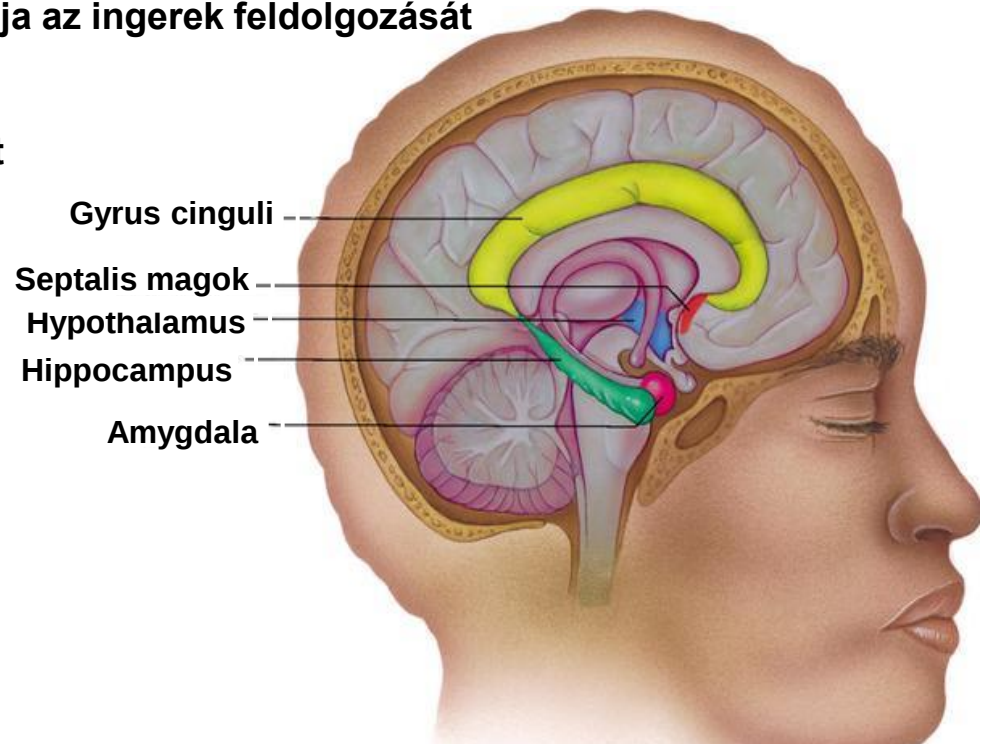


A limbikus rendszer jelentősége az érzelmek szabályzásában

A limbikus rendszer alapvető szerepet tölt be az **érzelmek (emóciók)**, **hangulat (affektus)**, **indulatok (impulzivitás)** és az **akarati élet (motivációk)** szervezésében

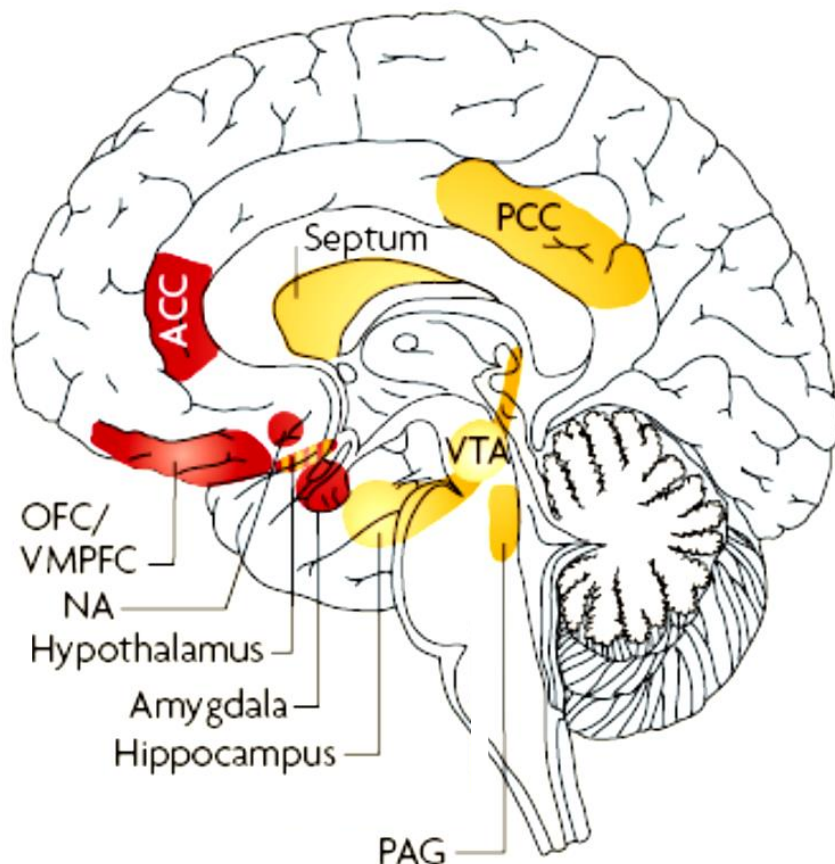
Szerepe:

- bemenetet kap mind a kéreg alatti, mind kérgi szenzoros struktúrákból a külvilági ingerekről
- összehasonlítja azokat az emléknymokkal
- a korábbi találkozás függvényében befolyásolja az ingerek feldolgozását
- elősegíti az érzelmek megélését
- és az ingerre adott vegetatív válasz létrejöttét

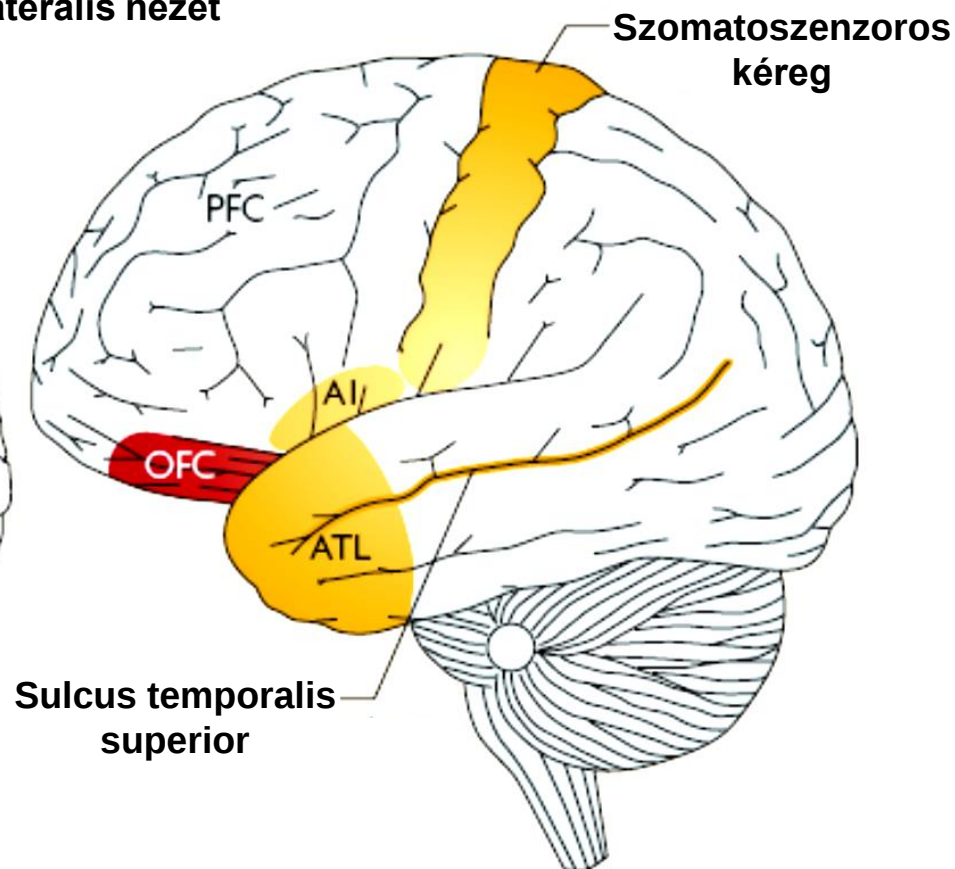


Az érzelmek kialakulásában szerepet játszó agyi területek

Mediális nézet



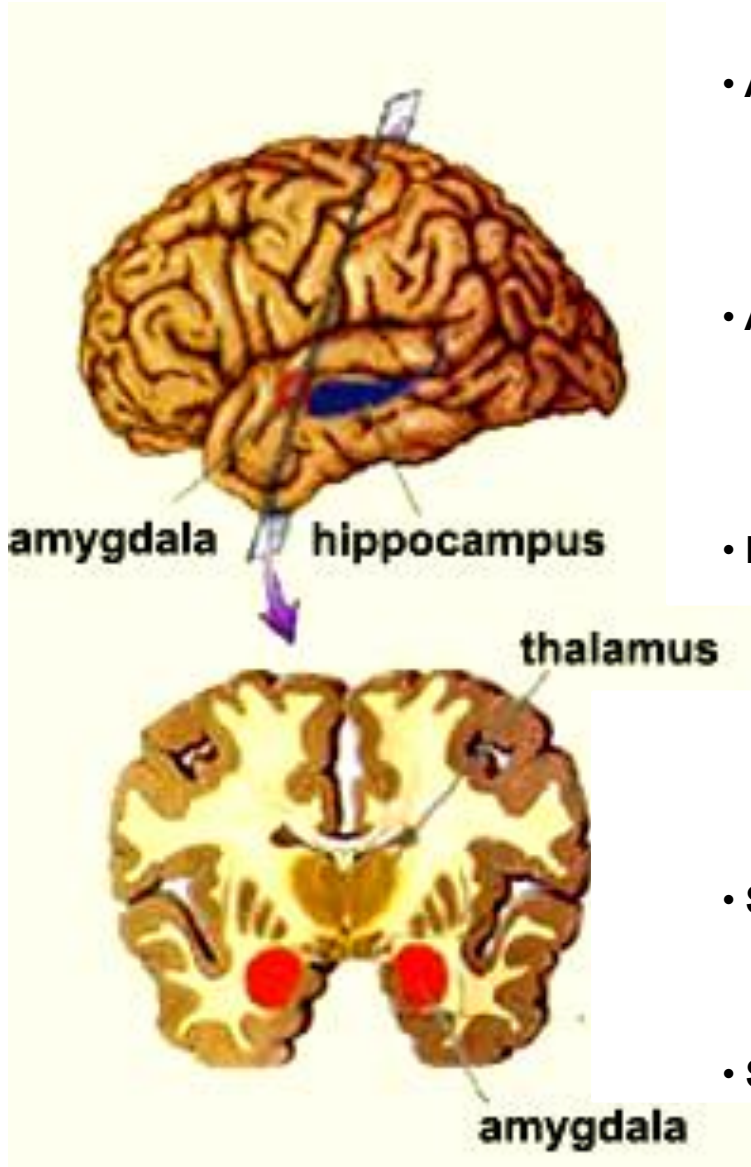
Laterális nézet



PAG: Periaqueductalis szürkeállomány
ACC: Anterior cingularis cortex
VMPC: Ventromedialis prefrontalis cortex
NA: Nucl. accumbens
VTA: Ventralis tegmentalis area

PCC: Posterior cingularis cortex
PFC: Prefrontalis cortex
OFC: Orbitofrontalis cortex
ATL: Anterior temporalis cortex
AI: Anterior insula

Az amygdala funkciói



- Az amygdala a temporális lebeny mediális-elülső-alsó részében, a fehérállományban a Hippocampus előtt elhelyezkedő mandula alakú magcsoport
- Alapvető fontosságú a **félelem, szorongás, aggódás** érzésének a kialakulásában, a **társas viselkedés** szabályozásában
- Ingerlésének hatására **szimpatikus** (vérnyomás- és szívfrekvencia-emelkedés, pupillatágulat, hyperventillatio), **paraszimpatikus** (vizeleti és székelési inger) és **hormonális** (glükokortikoidok elválasztása) aktivitással jár
- Sérülését követően a félelmi reakciók mérséklődnek, vagy megszűnnek
- Szerepe van továbbá az **érzelmi reakciókhoz kapcsolódó tanulási folyamatokban** (klasszikus és operáns kondicionálás), **figyelmi folyamatokban**, „**jutalomkereső magatartás**” kialakulásában

Az amygdala aktiválódása félelmet kifejező képek hatására

Félelem

Semleges

25%

50%

75%

100%



Öröm

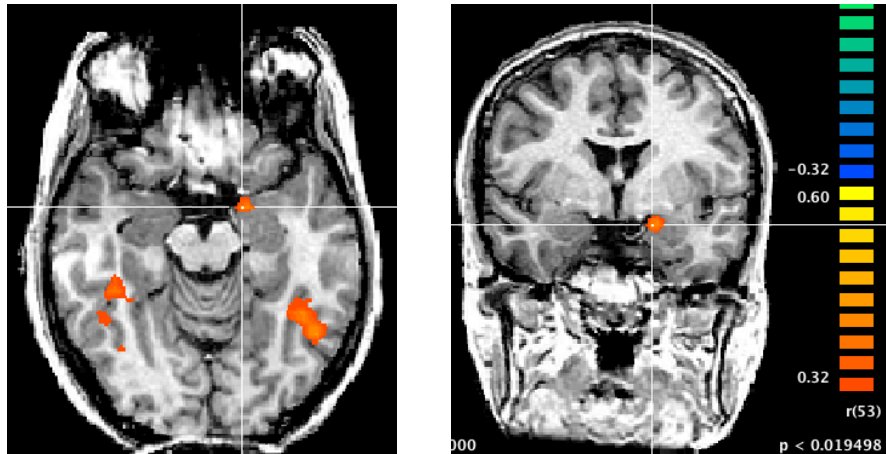
Semleges

25%

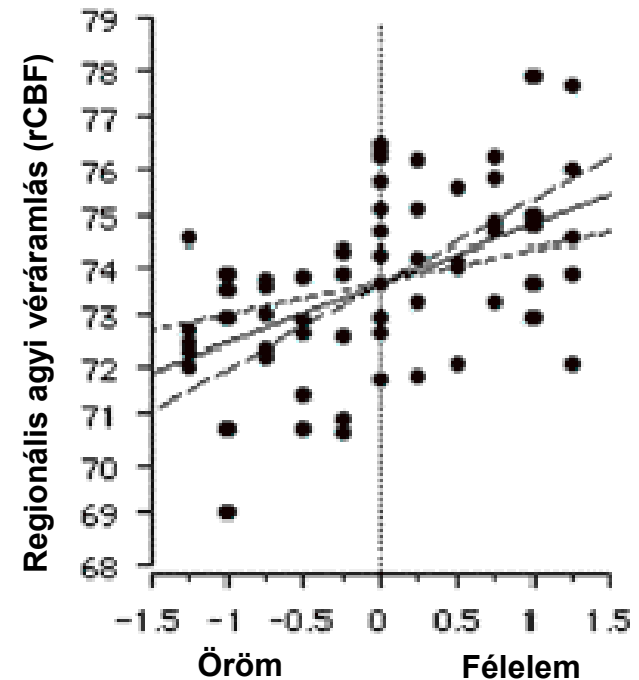
50%

75%

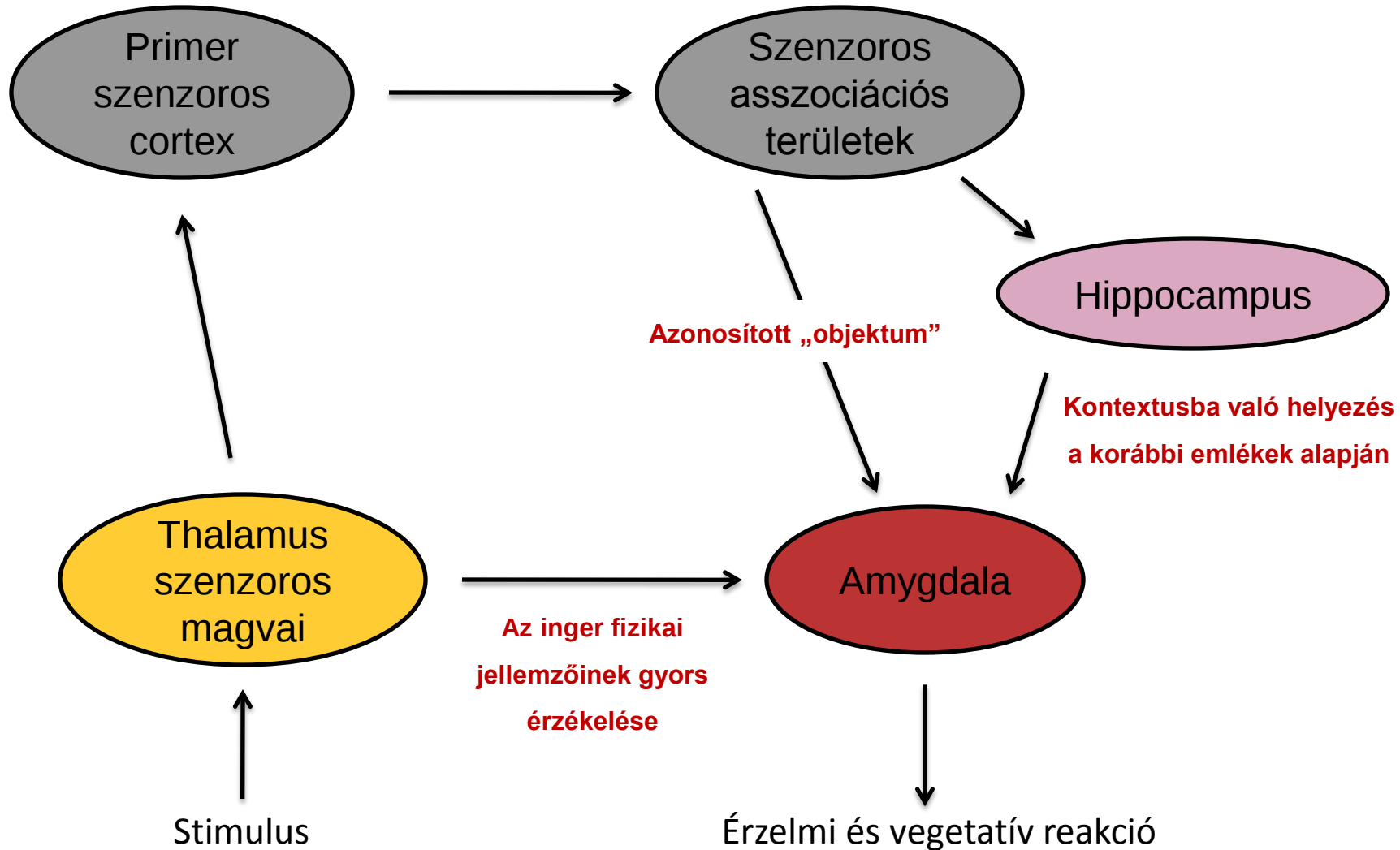
100%



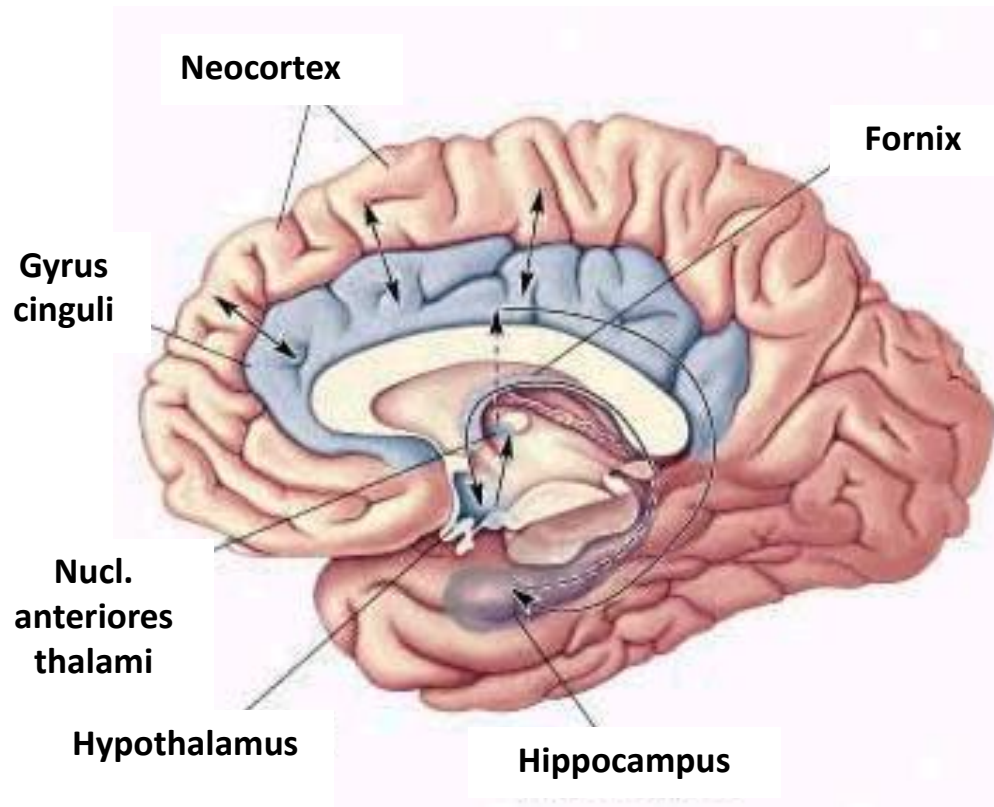
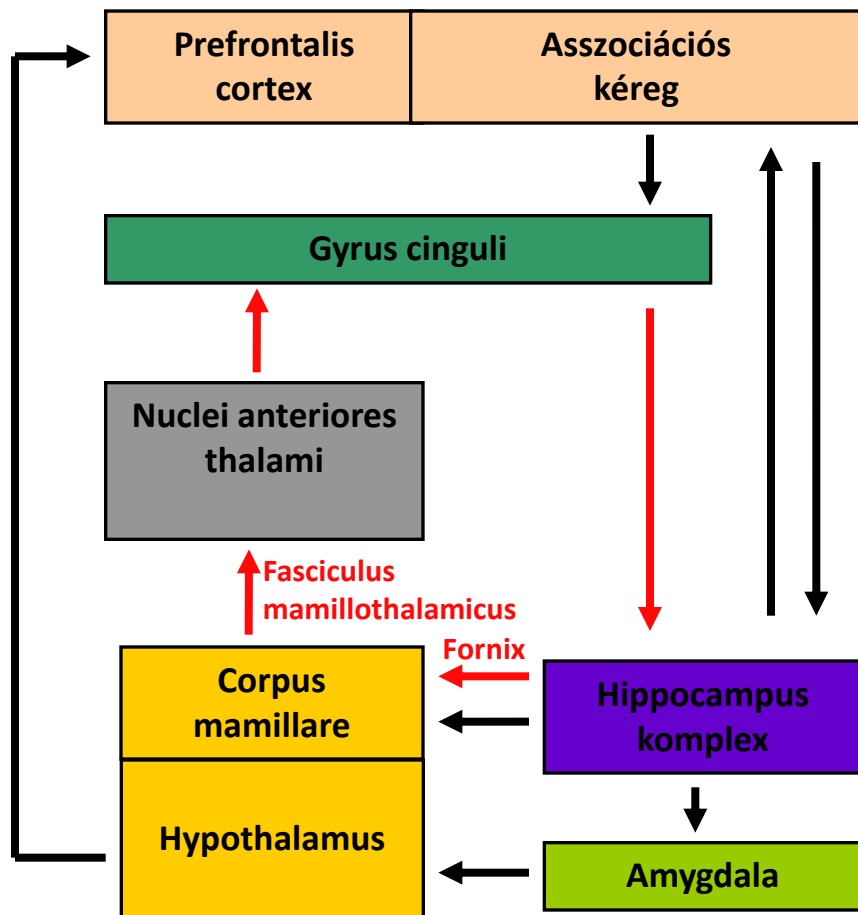
Míg gyermekkorban az amygdala leginkább semleges arckifejezésű arcok hatására aktiválódik, felnőttkorban az amygdala aktiválódása arányos a kifejezett félelem mértékével



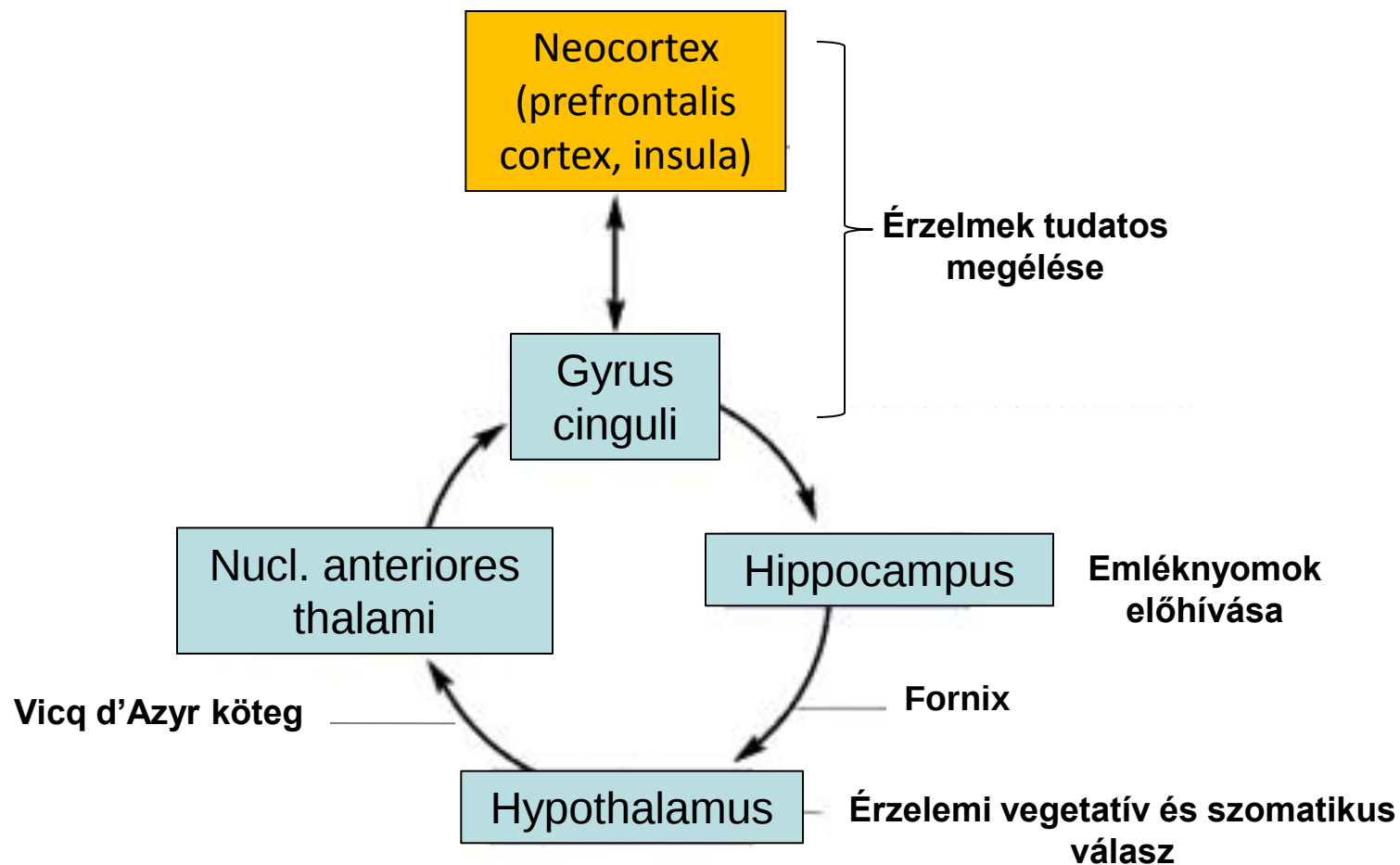
Az amygdala összeköttetései



A limbikus rendszer összeköttetései

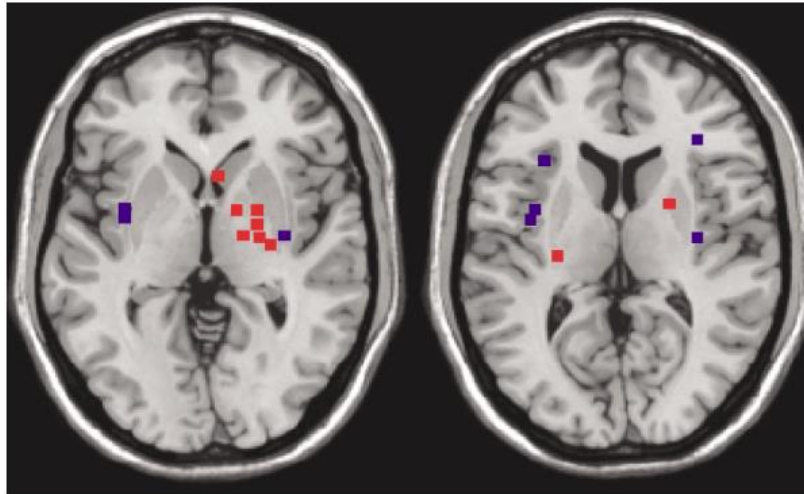


A Papez-kör szerepe az érzelmek kialakulásában



Az insula és basalis ganglionok aktiválódás undor érzésekor

Undort kifejező
arcok azonosítása



 Insula

 Basalis ganglionok

Az insula sértése megakadályozza az ízekhez kapcsolódó averzív kondicionálás kialakulását (állatoknál adott, semleges ízű anyagok émelygést, rosszullétet váltanak, amiket az állat megtanul elkerülni)

A hypothalamus motivációt befolyásoló hatásai

• **Vízfelvétel szabályzása:**

- a hypothalamus nucl. supraopticus magja AVP-t (*arginin-vazopresszint*) választ el
- az AVP csökkenti a vizelettermelést, koncentrálna a vizeletet (antidiuretikus hatás)
- AVP elválasztást fokozza:
 - a) a vér ozmotikus koncentrációjának emelkedése (a vér sűrűsödése)
 - b) vérnyomáscsökkenés
 - c) nyúltvelő (area postrema) által kiváltott hányás
- az ozmotikus nyomás emelkedése közvetlenül is szomjúságérzetet vált ki (a laterális hypothalamushoz kötött)

• **Táplálékfelvétel szabályzása:**

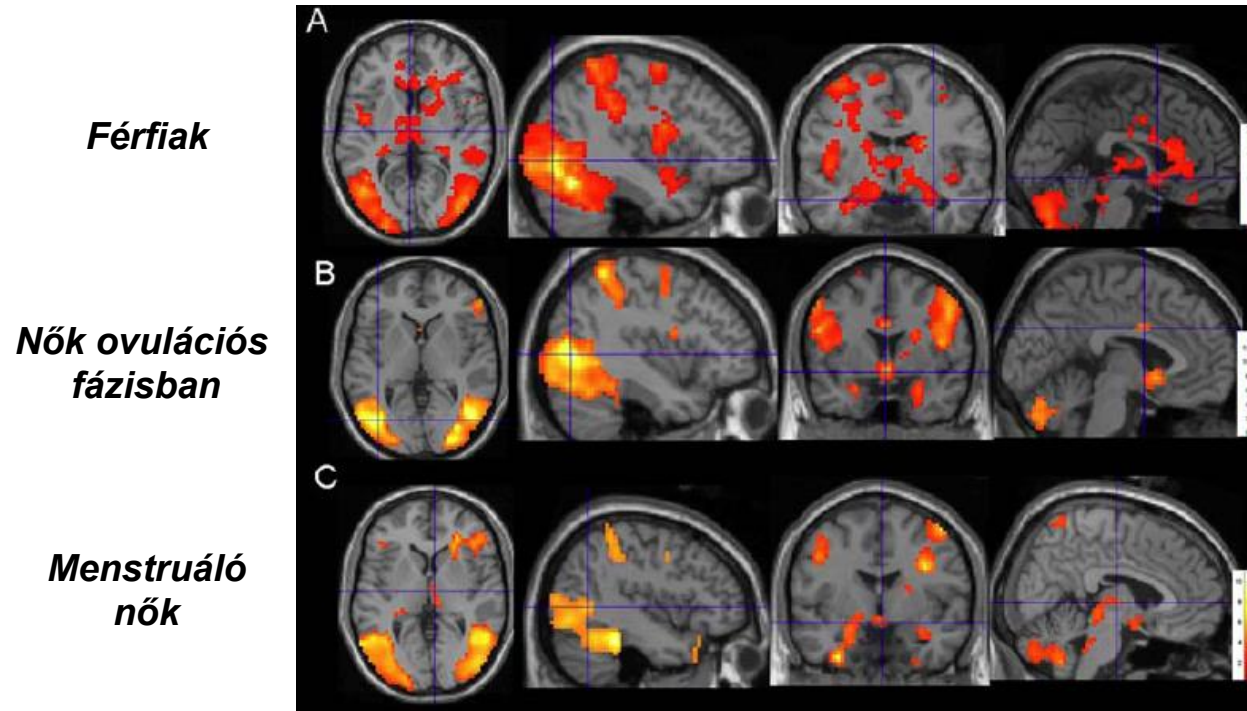
- laterális hypothalamus (*éhségközpont*) a vizuális és gusztatoros ingerekkel kapcsolatos táplálékfelvételt szabályozza, sérülése patkányban kóros soványságot okoz, az állat válogatósabb lesz
- a ventromedialis hypothalamus (*jóllakottság központ*) csökkenti a táplálékfelvételt, sérülése „hypothalamicus elhízást” okoz

• **Szexuális magatartás szabályzása**

- kasztrált hím állatokban a hypothalamus egyes régióiba injektált tesztoszteron visszaállítja a szexuális aktivitást, míg egészséges állatokban a terület sérülése kialsztja azt
- nőtény állatokban elülső hypothalamus sérülés megszünteti a párzási pozíció felvételét, míg petefészek irtást követően a területre injektált ösztrogén fokozza a szexuális aktivitást
- összességében a hypothalamus a nemi hormonok szintjétől függően befolyásolja a szexuális motivációt és ösztönös magatartást

A szexuális vágy, izgalmi állapot és kielégülés agyi háttere

Vizuális ingerekkel előidézett szexuális izgalom során aktiválódott agyterületek:



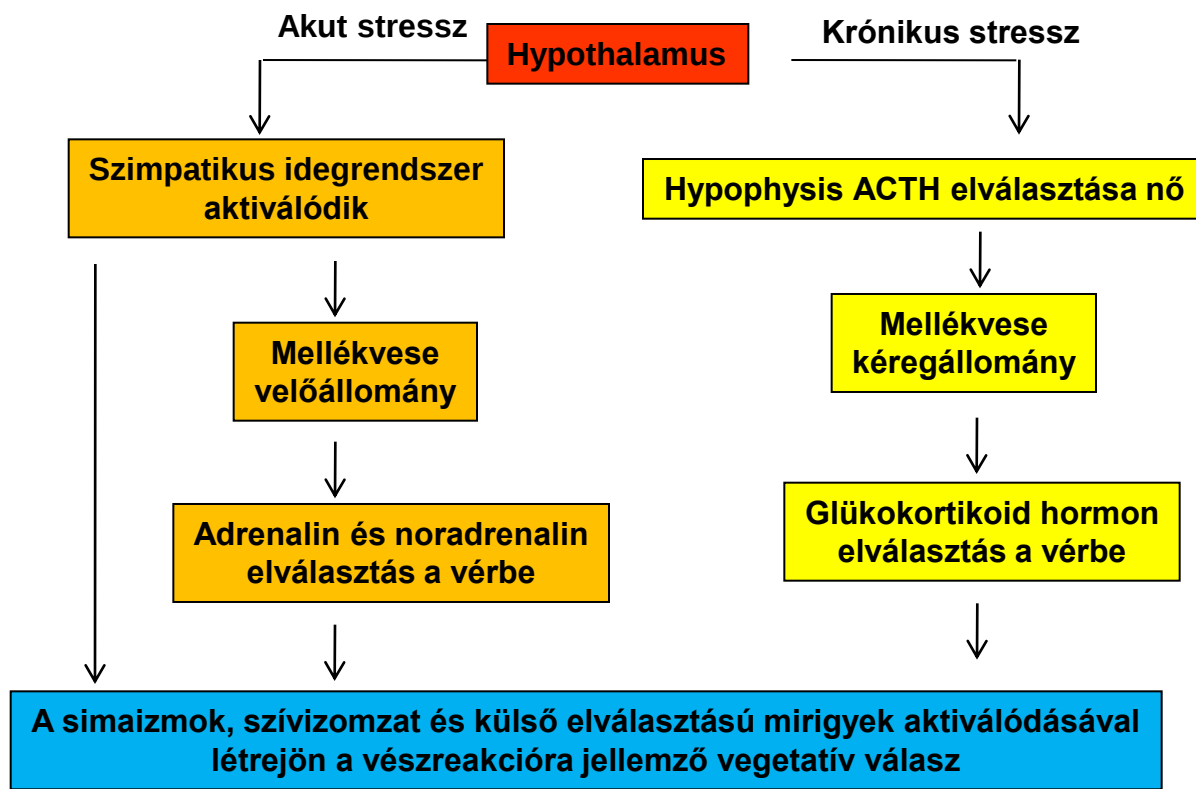
- Főbb régiók (vizuális ingerek esetén): vizuális kéreg, anterior cinguláris kéreg, orbitofrontális kéreg, insula, amygdala, thalamus, hypothalamus
- Nőkben az egyes régiók aktivitása (főként hypothalamus) függ a nemi hormonok vérszintjétől (ovuláció alatt kifejezettebb)
- Összességében az ösztönös szexuális viselkedésért és az azt kísérő elemi érzelmi reakciókért főként a limbikus rendszer felelős, de emberben a tudatos párkeresés és családtervezés kérgi területek szabályozása alatt áll

A hypothalamus szerepe a vegetatív válaszreakciók, dühreakció kialakulásában

Cannon-féle vészreakció (Fight or flight / Harcolj vagy menekülj reakció): fenyegető környezet, bekövetkezett ártalom, vagy nagy fizikai erőfeszítés során a szervezet mobilizálja az erőforrásait és felkészül a védekezésre vagy a menekülésre. A folyamat alatt szimpatikus idegrendszeri aktiválódás történik, amit a hypothalamus szabályoz.

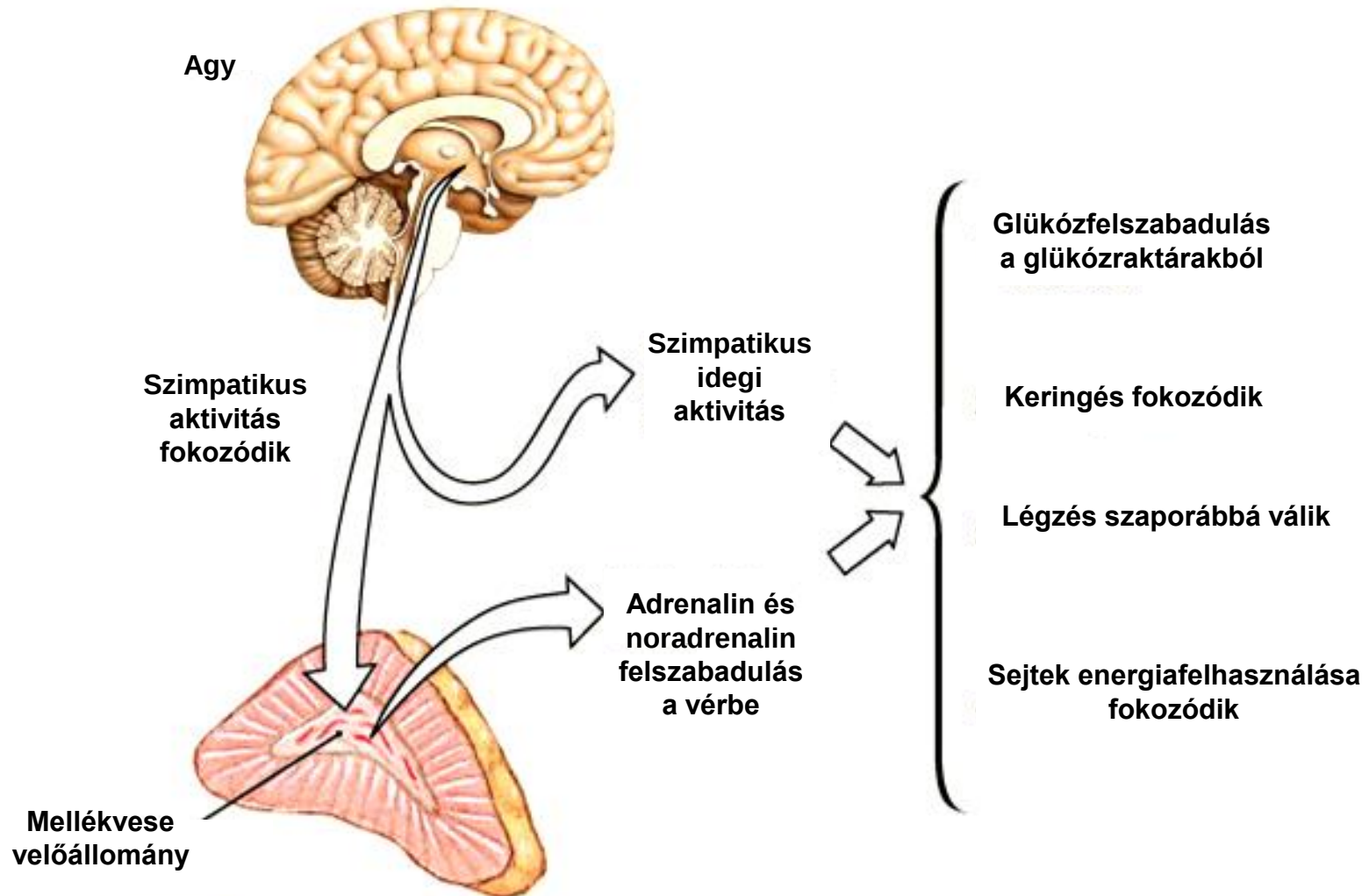


Selye János
1907-1982

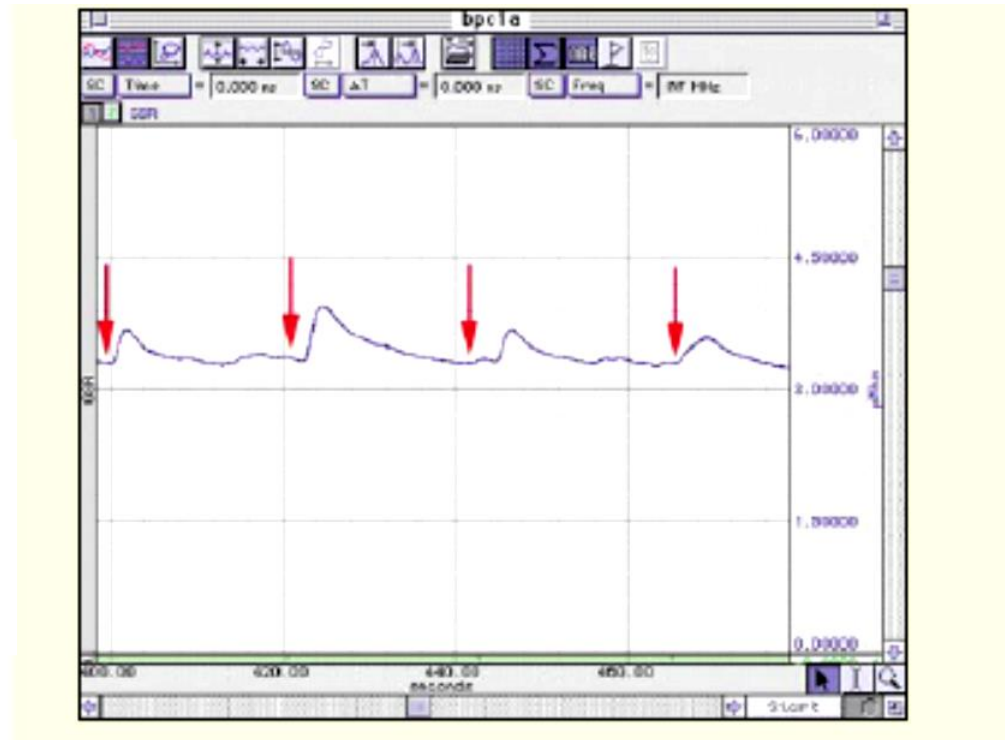
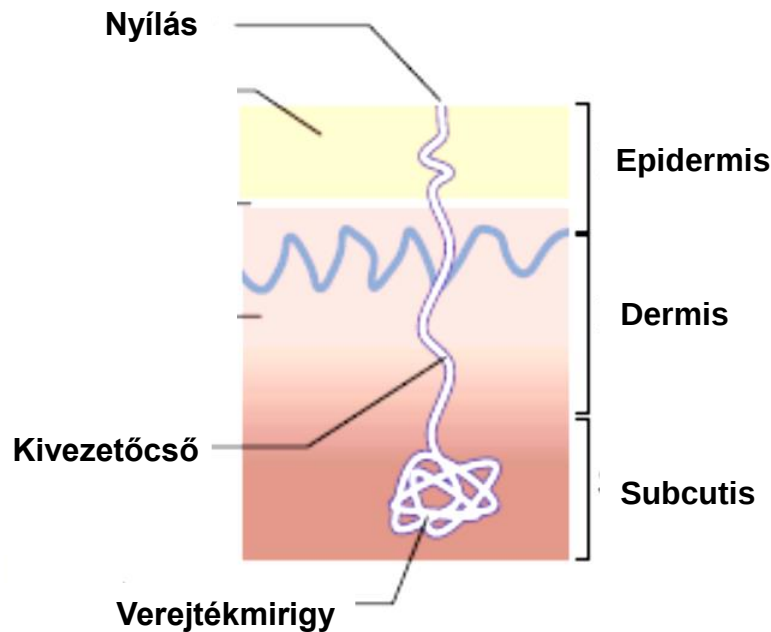


Állatokban az agykéreg egyes részeinek eltávolítását követően a hypothalamus ingerlése a dühreakcióhoz hasonló vegetatív és emocionális változást indukál (ezt nevezték régebben áldühnek)

Akut stresszhelyzet élettani hatásai (Cannon-féle vészreakció)



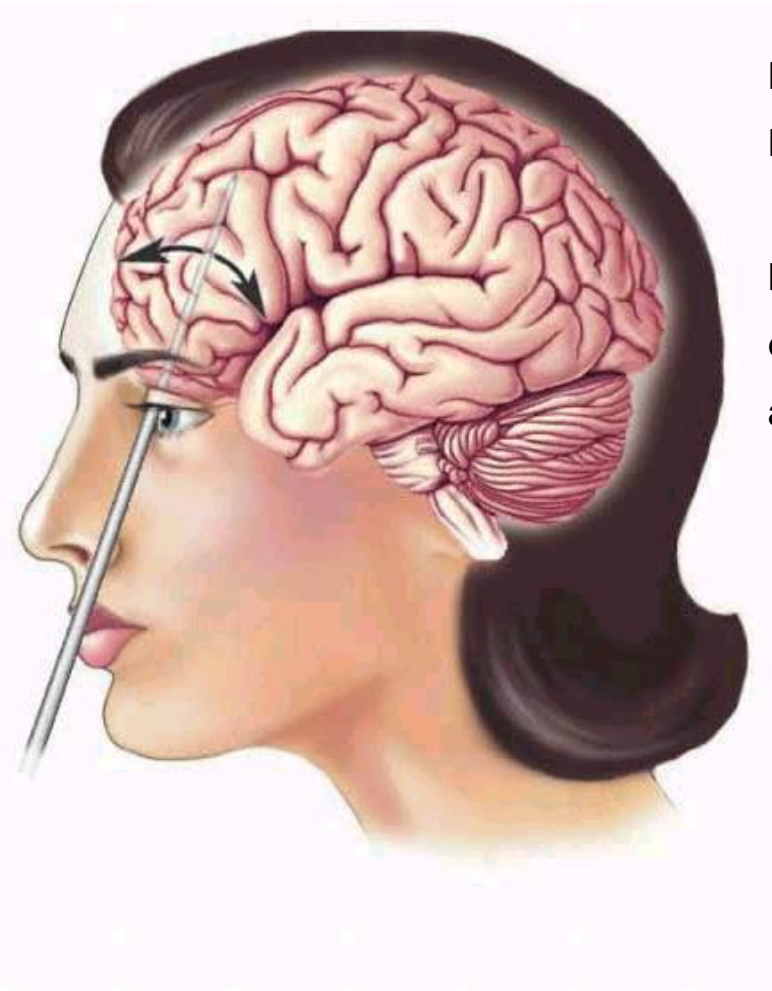
Érzelmek hatására kialakult vegetatív válasz vizsgálata: a bőrellenállás mérés



Galvános bőrreakció (GBR) mérése: az érzelmi állapothoz társuló automatikus szimpatikus aktivitásfokozódás meghatározására alkalmas egyik mérőeljárás

Elve: szimpatikus hatásra az érzelmeket kiváltó események után pár másodperccel a fokozott verejtékezés miatt csökken a bőr elektromos ellenállása

A frontális lobotómia és leukotómia hatása az indulatokra és az érzelmekre



Lobotómia: lebeny/lebenyrész eltávolítás

Leukotómia: fehérállomány átvágása

Mindkét módszerrel a frontális lebeny (elsősorban az orbitofrontális régió) kapcsolatát szakították meg egyéb agyterületekkel (többek között a limbikus rendszerrel)

Hatások:

- csökkent/megszűnt a betegek agresszivitása, nyugtalansága
- csökkent a pszichés tünetek (pl. paranoid téveszmék) által okozott érzelmi töltet
- a sértés mértékétől függően sérült a tervező-problémamegoldó képesség
- párhuzamosan több tevékenység végzésének képessége csökkent
- megváltozott a társas viselkedés, sokszor kritikátlanság, erkölcstelenség alakult ki

A Klüver-Bucy szindróma

Majmok bilaterális mediális temporális lebeny (amygdalát is érintő) sértésének tünetei:

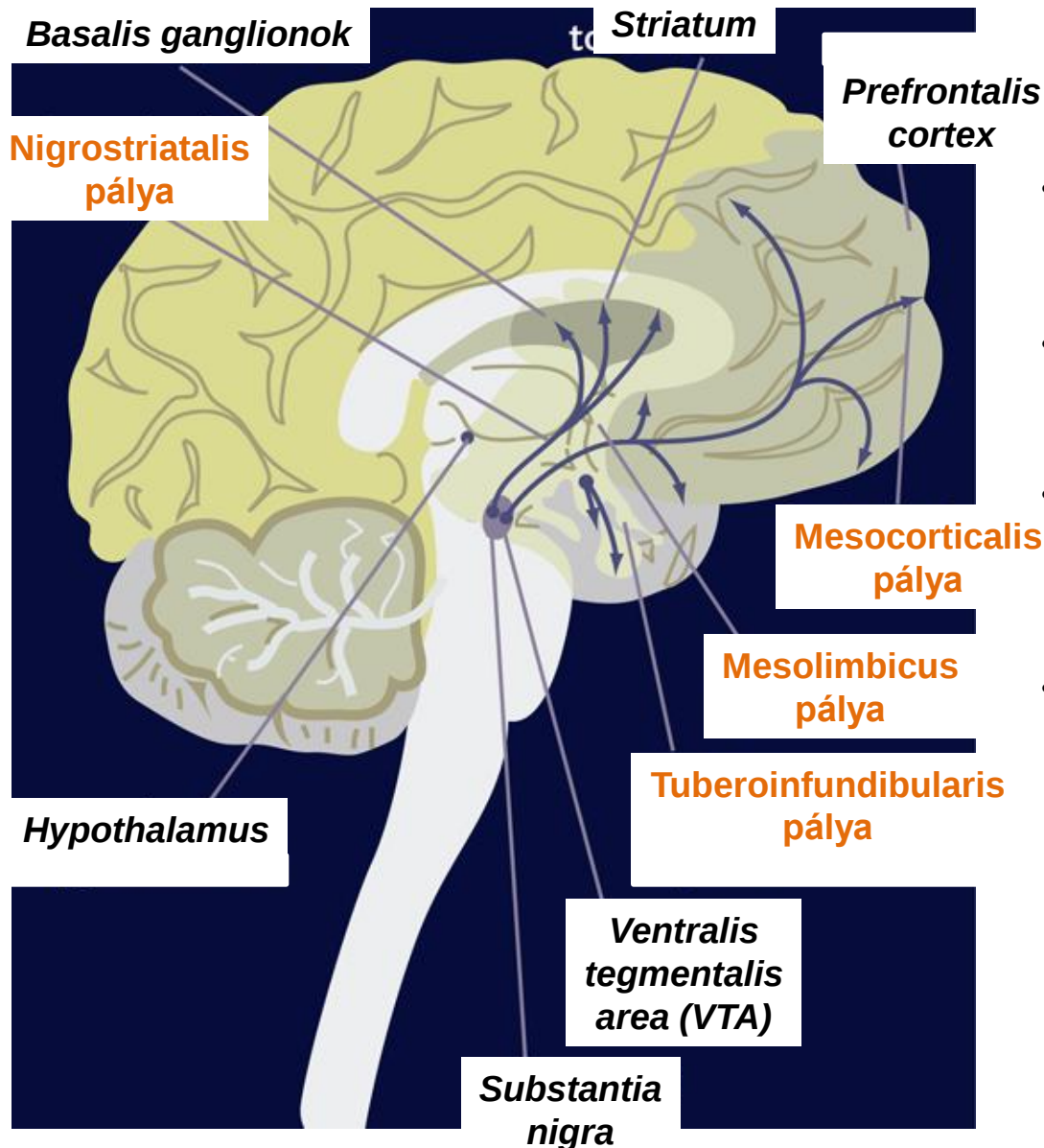
- a fajra jellemző menekülési és félelmi reakciók megszűnnek
- fokozott kíváncsiság
- félelmi kondicionálás zavara
- elsivárosodott érzelmi reakciók („lelki vakság”), passzivitás
- orális tendencia (mindent a szájába vesz) és fokozott étvágy
- hiperszexualitás

Kényszernevetés és kényszersírás

Az adott helyzetben inadekvát érzelmi reakciók, amiket a beteg nem tud megmagyarázni, vagy gátolni. Általában a prefrontális lebeny sérüléséhez köthető



Dopaminerg pályák a központi idegrendszerben



- **Nigrostriatalis pálya:**

- subst. nigra → striatum
- mozgások szervezése

- **Tuberoinfundibularis pálya:**

- hypothalamus → hypophysis
- prolactin-szekréció szabályzása

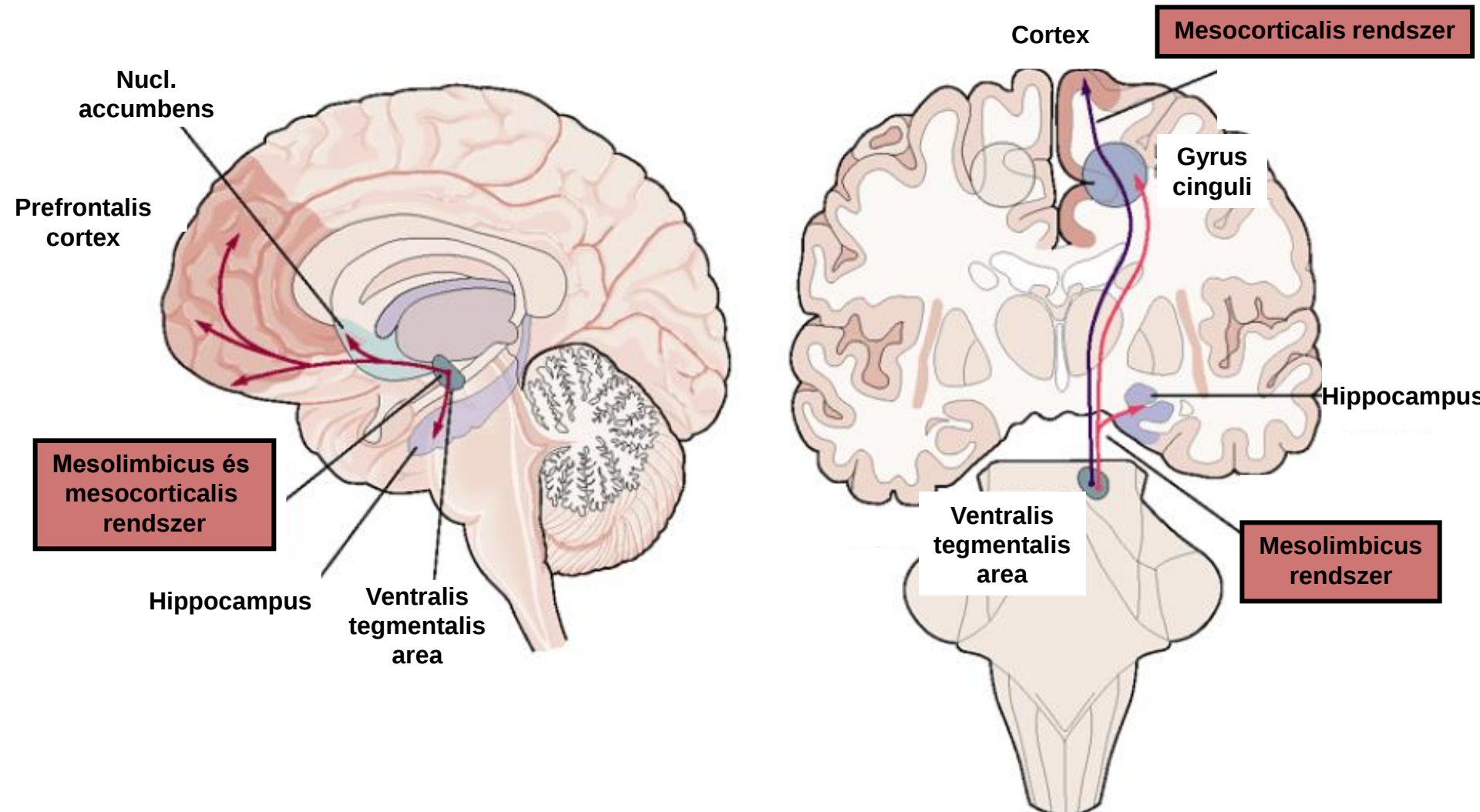
- **Mesolimbicus pálya:**

- VTA → limbikus területek
- percepció, érzelmek, jutalmazás, kognitív funkciók

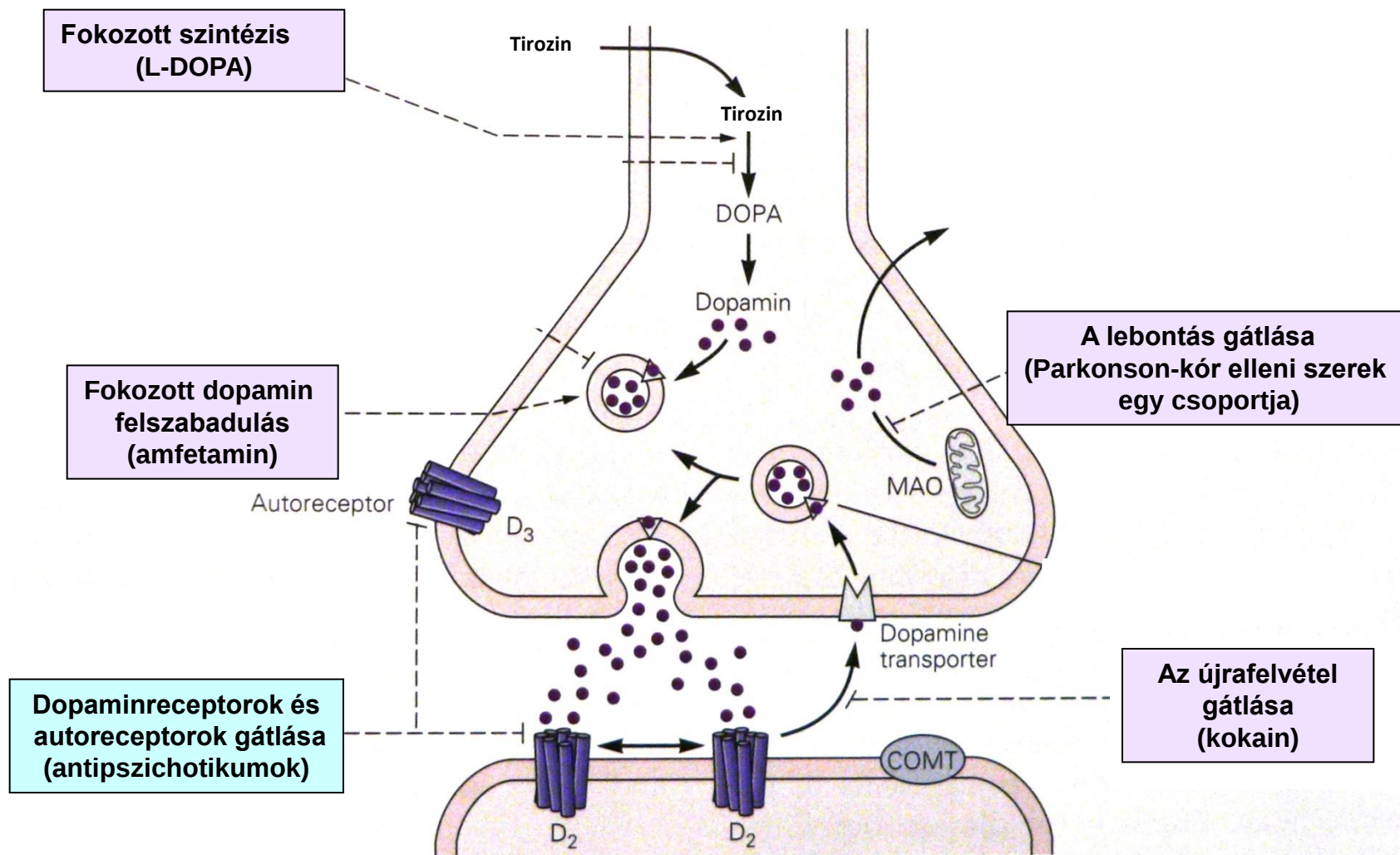
- **Mesocorticalis pálya:**

- VTA → prefrontalis cortex
- viselkedés szervezése, motiváció, tervezés, figyelem, szociális funkciók

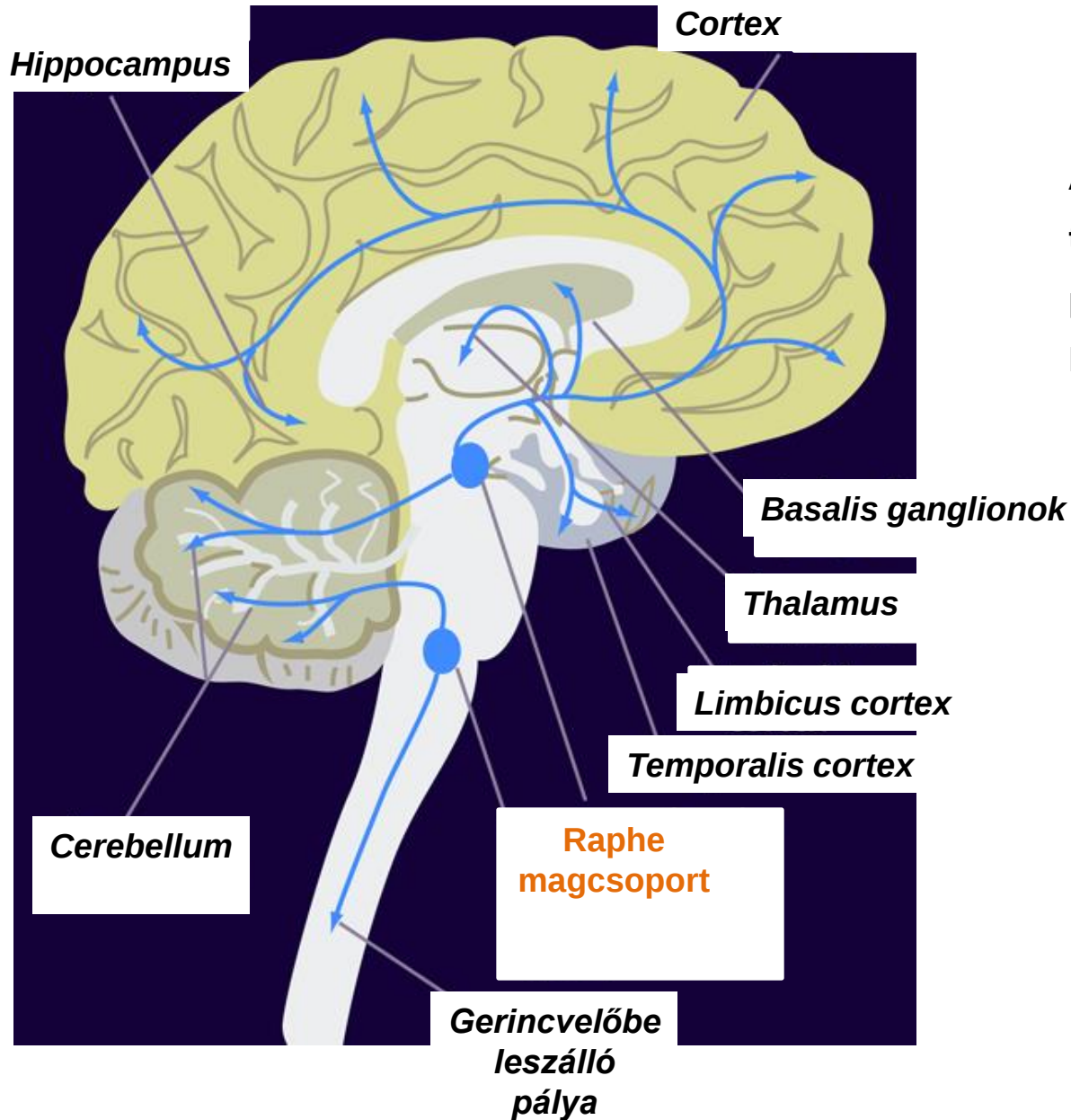
A mesolimbicus és a mesocorticalis dopaminerg pályák



A dopaminerg receptor működésének befolyásolása



Szerotoninerg pályák a központi idegrendszerben

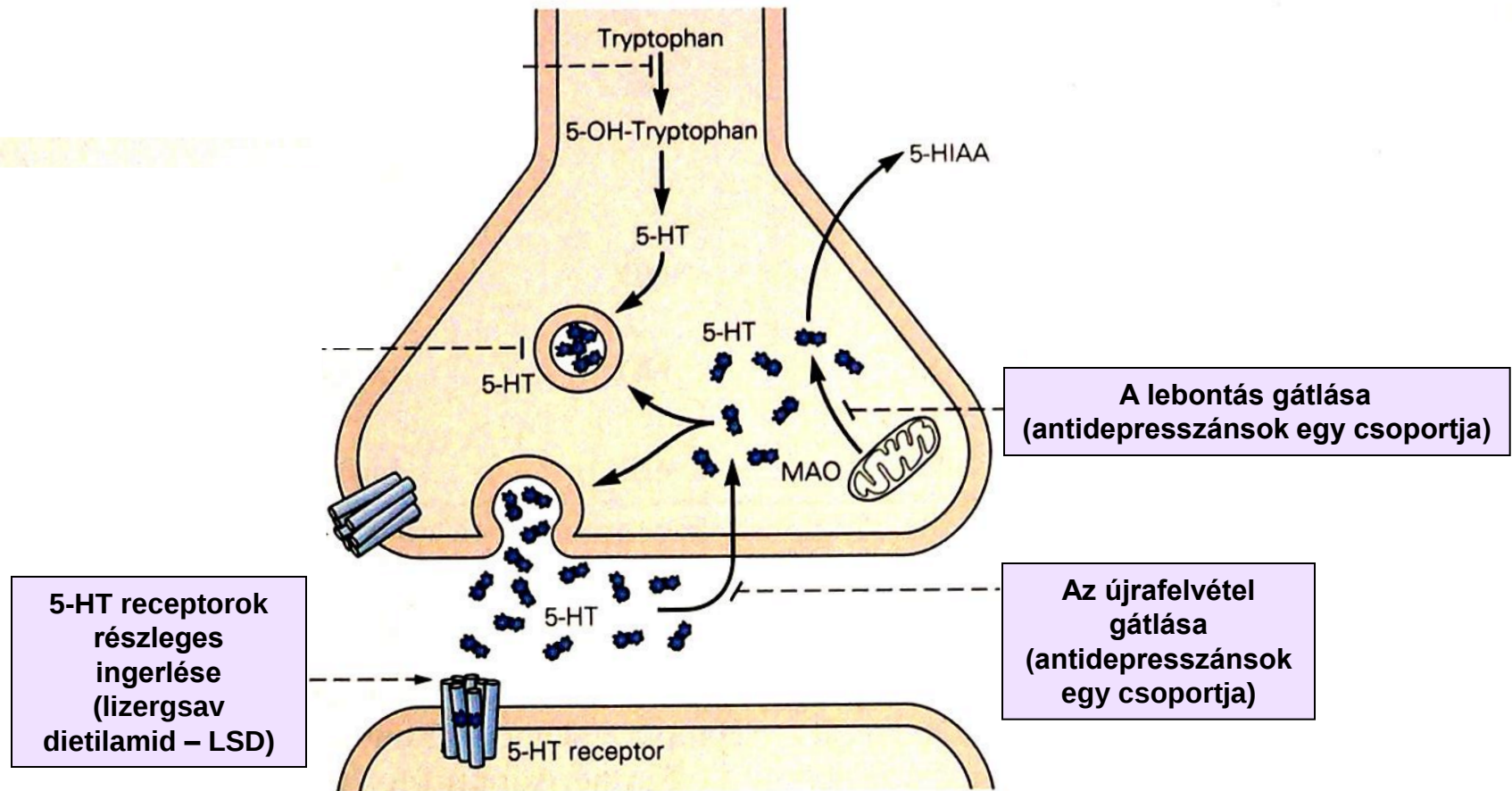


A raphe magokból az agy számos területére projiciálnak szerotoninerg pályák

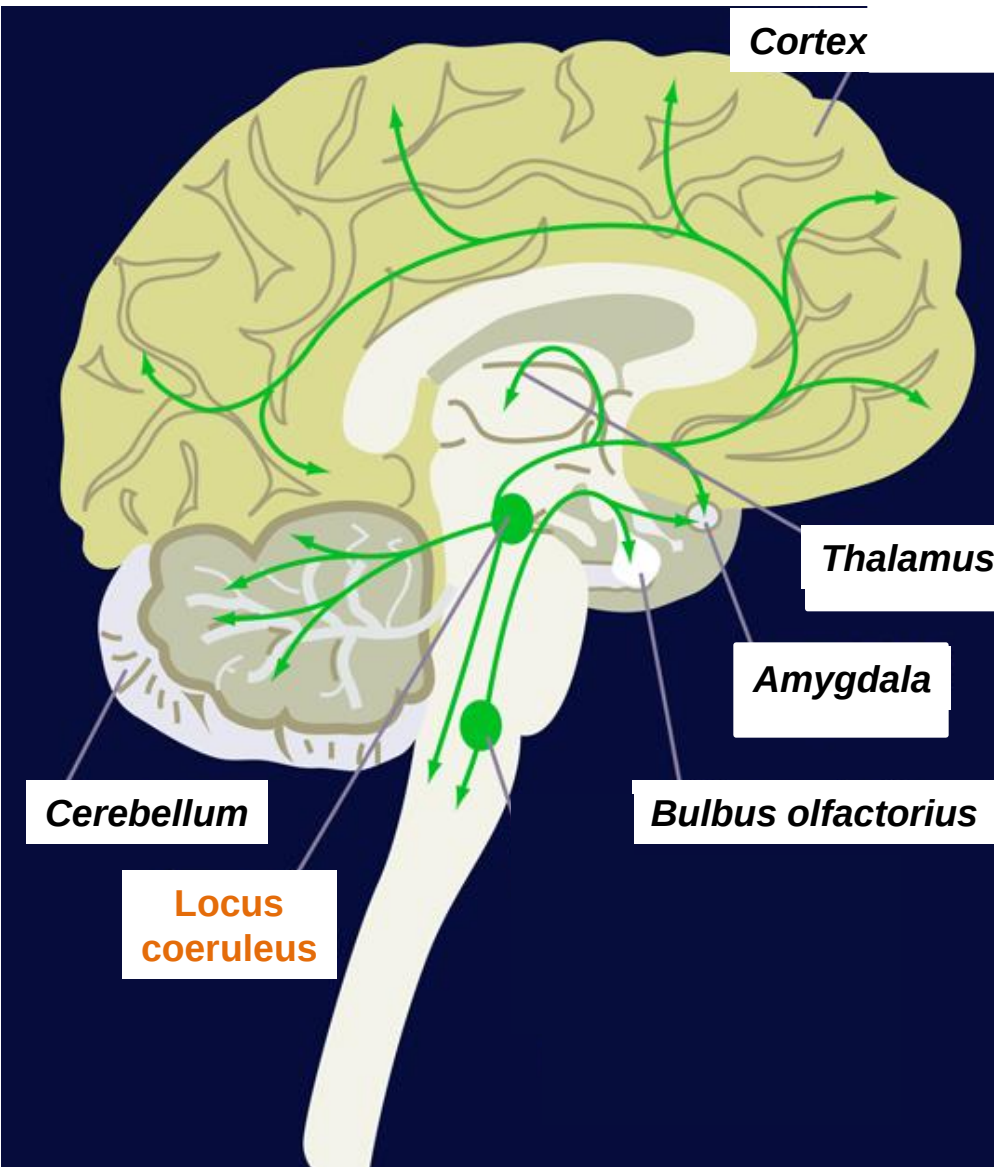
Funkciójuk:

- hangulat,
- indulatok,
- agresszivitás,
- szorongás,
- fájdalom feldolgozása,
- alvás,
- étvágy,
- szexualitás szabályzása

A szerotoninerg receptor működésének befolyásolása



Noradrenerg pályák a központi idegrendszerben

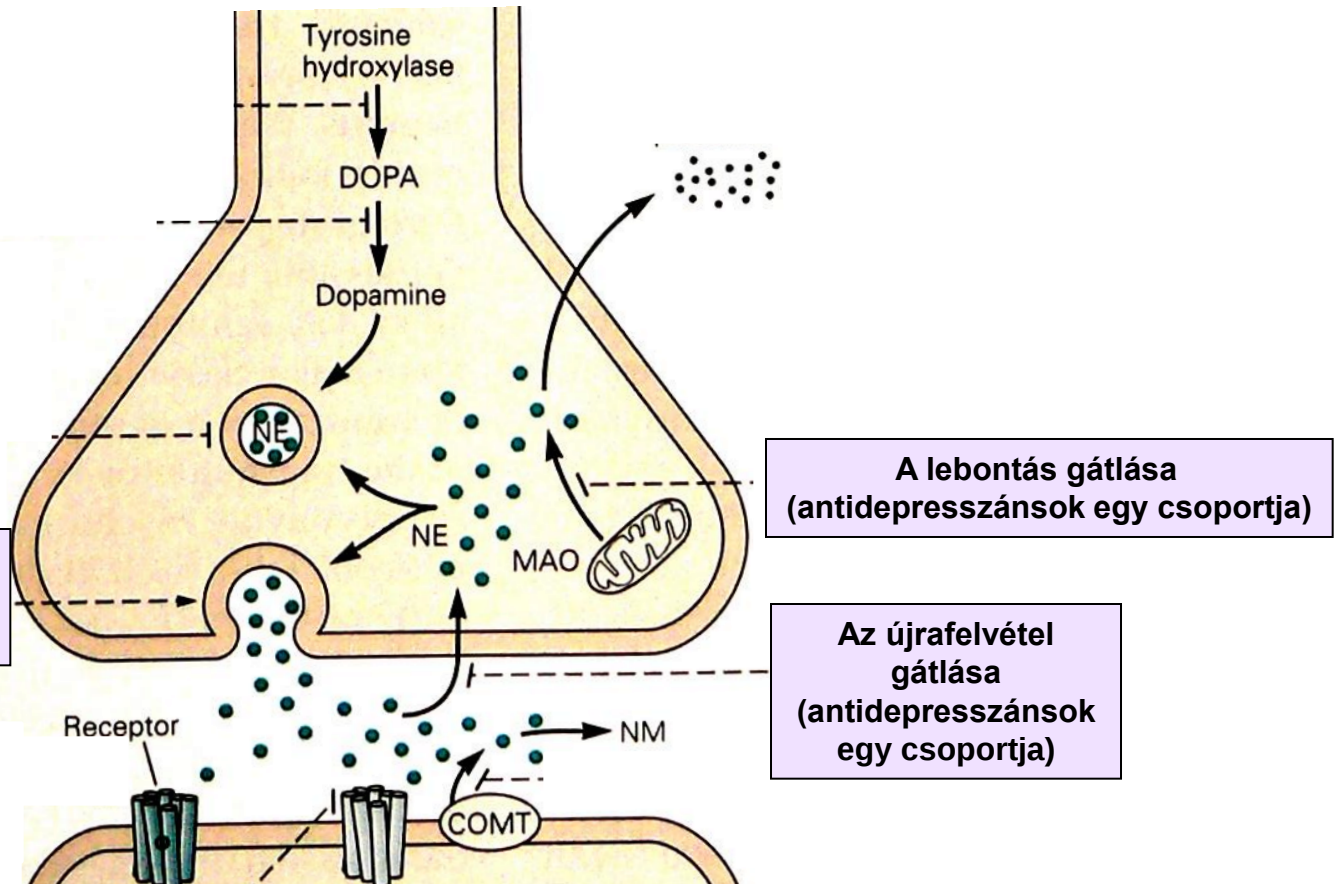


Az agy noradrenerg pályái főként a locus coeruleusból indulnak

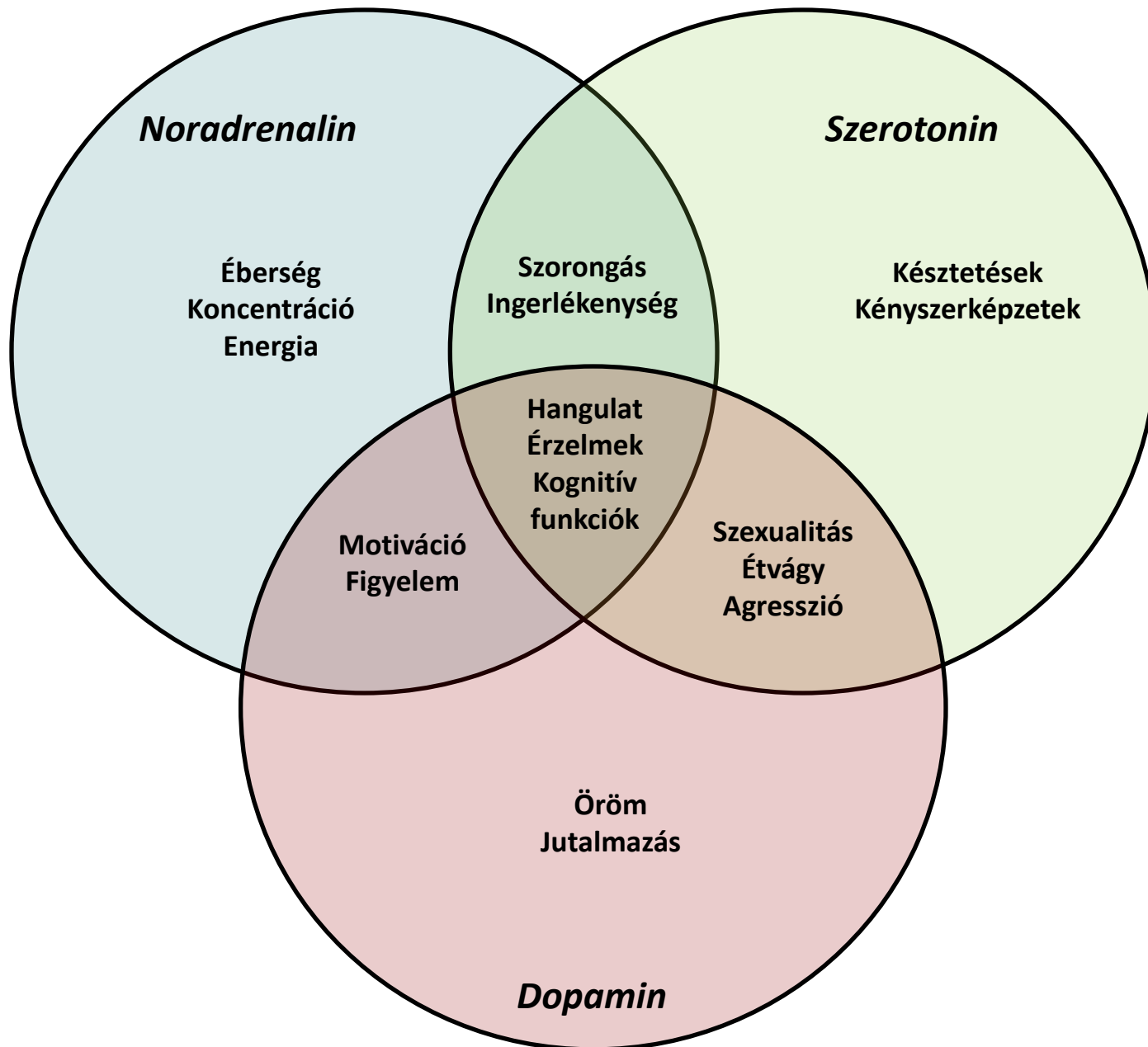
Funkciójuk:

- éberség,
- szorongás,
- figyelem,
- hangulat,
- motiváció,
- öröm szabályzása

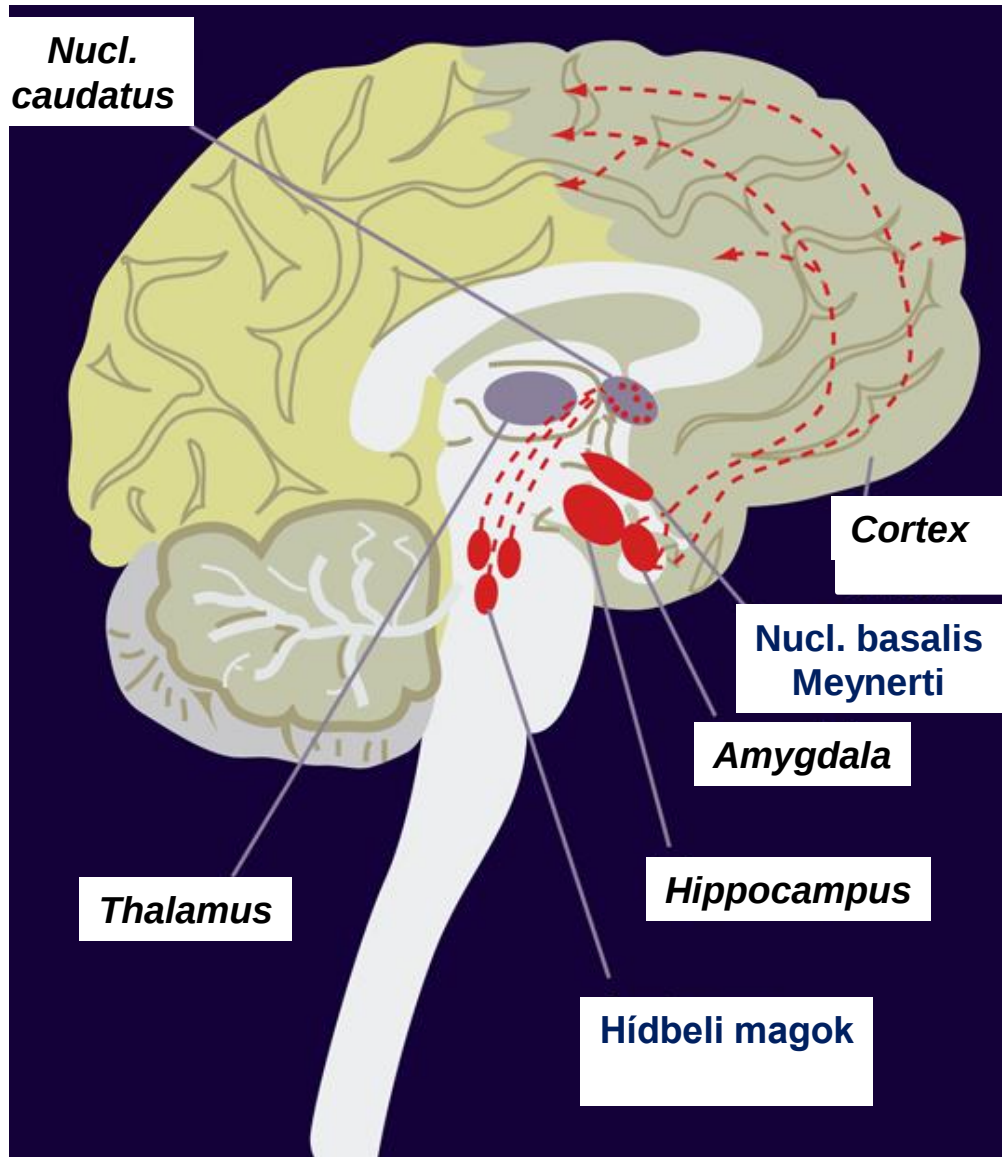
A noradrenerg receptor működésének befolyásolása



A monoaminok hatása a mentális folyamatokra



Kolinerg pályák a központi idegrendszerben



Az agy kolinerg pályái a hídbeli kolinerg magokból és a Meynert-féle magból indulnak ki

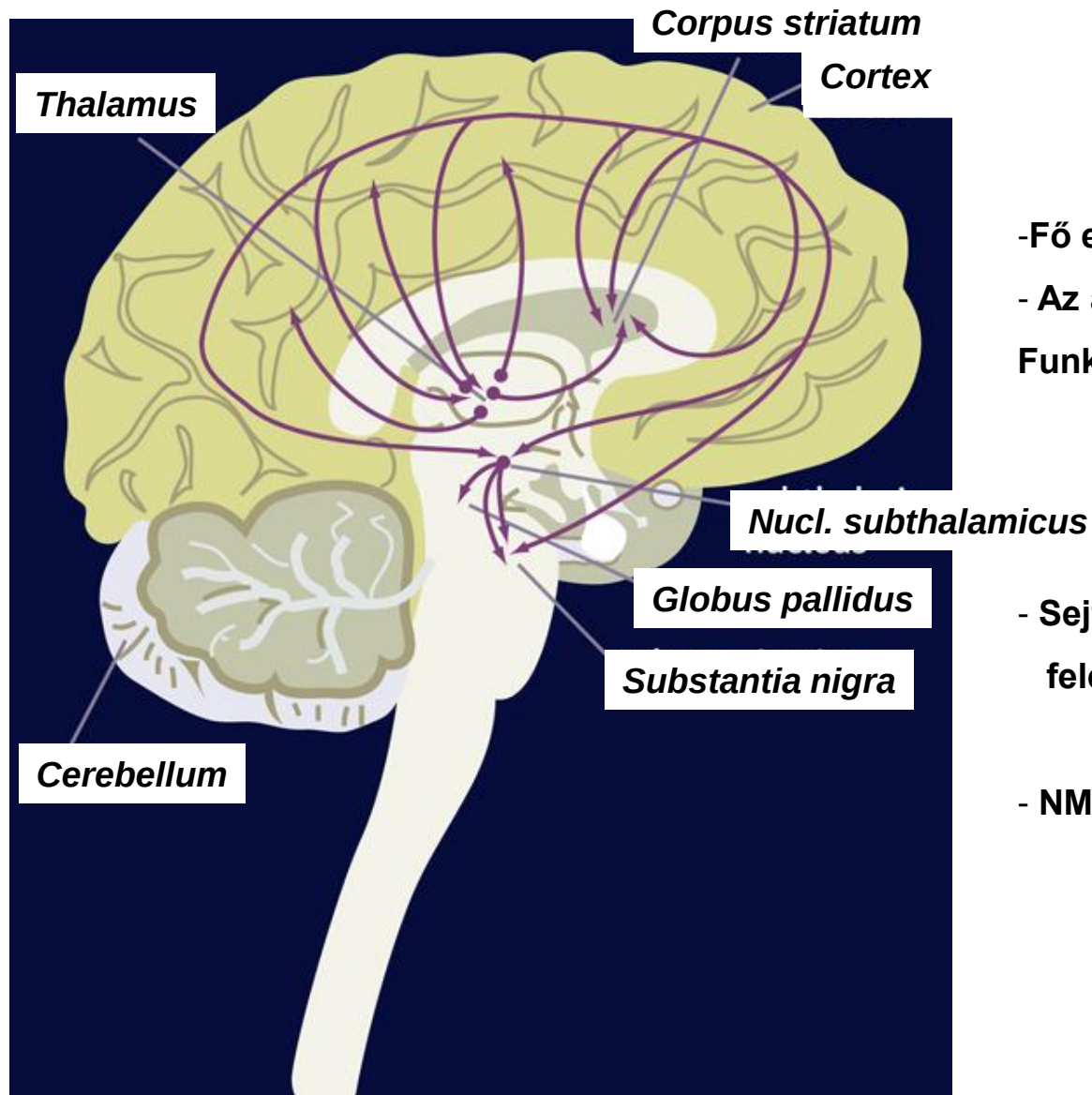
Funkciójuk:

- alvás-ébrenlét (híd, thalamus),
- tanulási folyamatok (hippocampus)
- motoros funkciók (basalis ggl) szabályzása.

Alzheimer-kórban kimutatott az alacsonyabb ACh szint egyes régiókban

Parkinson-kórban kórosan magas az ACh szint a basalis ganglionok területén

Glutamáterg pályák a központi idegrendszerben



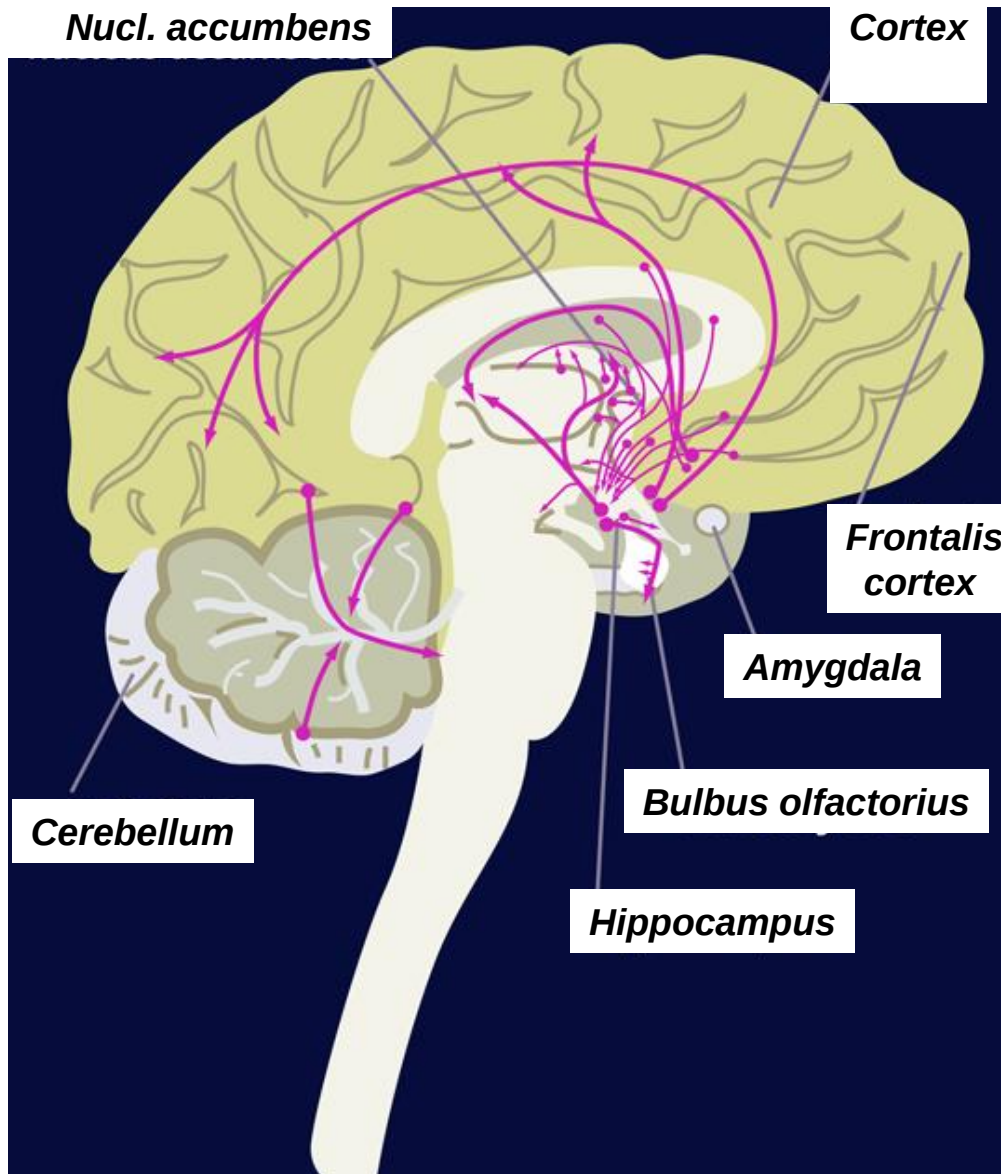
- Fő excitátoros neurotranszmitter

- Az agy egész területén megtalálható

Funkció:

- kérgi neuronok működéséhez elengedhetetlen, minden folyamatban szerepet játszik
- Sejtszintű tanulási folyamatok létrejöttéért felelős (Hippocampus: hosszú távú potenciáció)
- NMDA receptor gátlása (phencyclidin – PCP, angyalpor) pszichotikus állapotot idéz elő

GABA-erg pályák a központi idegrendszerben



-Fő inhibitoros neurotranszmitter

- Az agy egész területén megtalálható

Funkció:

- kérgi neuronok működésének szinkronizálása,
- alvás-ébrenlét,
- kognitív funkciók,
- motoros funkciók szabályozása.
- Agonistái (pl. benzodiazepin származékok) szorongásoldó, nyugtató, altató hatásúak, izomrelaxációt idéznek elő

Pszichoaktív szerek hatása az idegrendszer működésére

A pszichoaktív szerek felosztása:

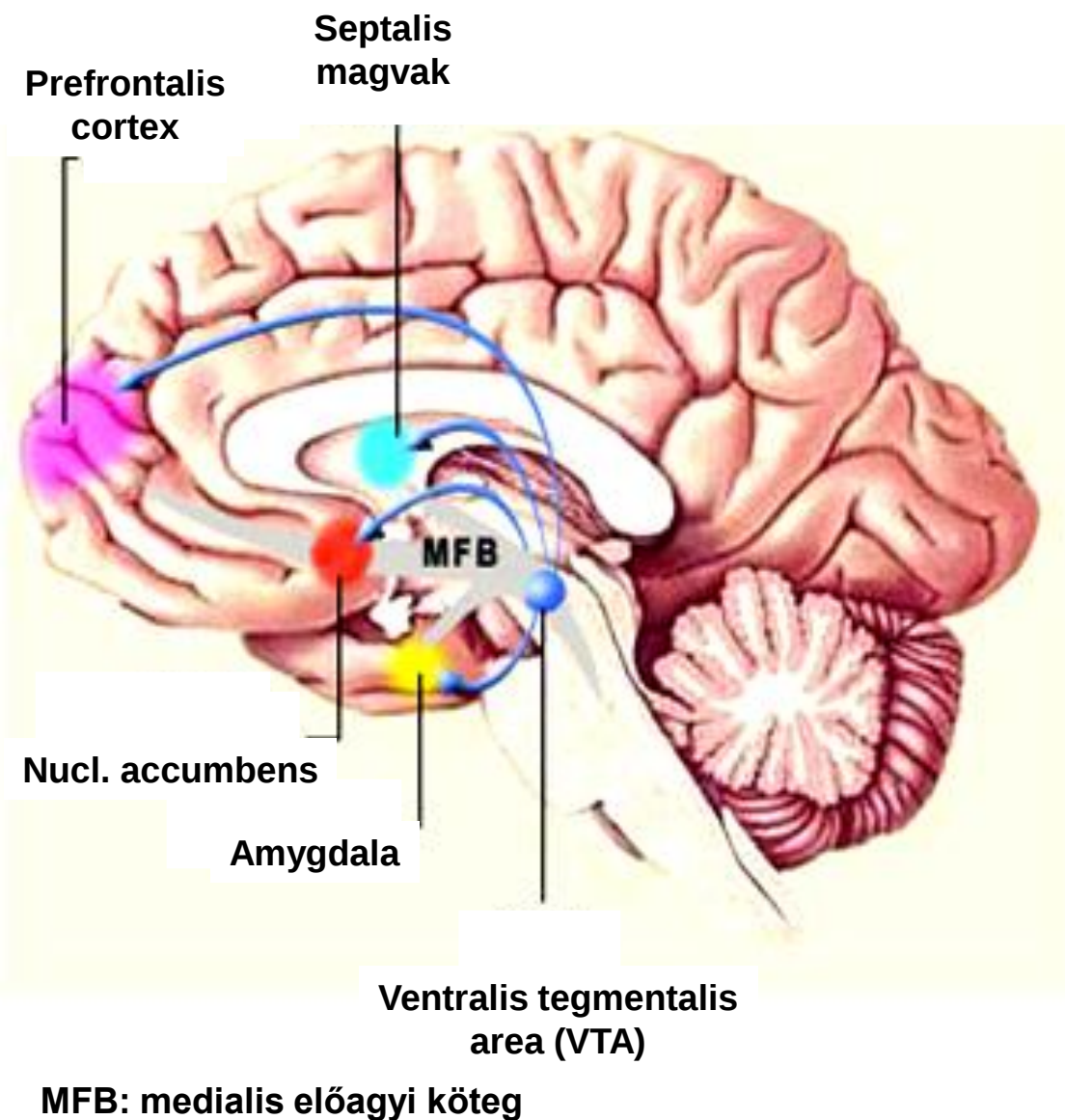
- **Ópiátok** (*morfin, heroin*)
- **Depresszánsok** (*nyugtatók, alkohol*)
- **Pszichostimulánsok**
(*kokain, amfetamin, koffein, nikotin*)
- **Kannaboidok** (*cannabis*)
- **Hallucinogén szerek**
(*LSD, PCP, mescaline, psilocybin*)
- **Inhalánsok** (*oldószerek*)



Tolerancia (hózzászokás): a kívánt hatás eléréséhez egyre nagyobb adagok szükségesek

Dependencia (függőség): a szer megvonása pszichés és/vagy testi tüneteket okoz

Az agy jutalmazásra érzékeny struktúrái



Orbitofrontalis prefrontalis cortex: a jutalmazás/büntetés átéléséért felelős kérgi struktúra

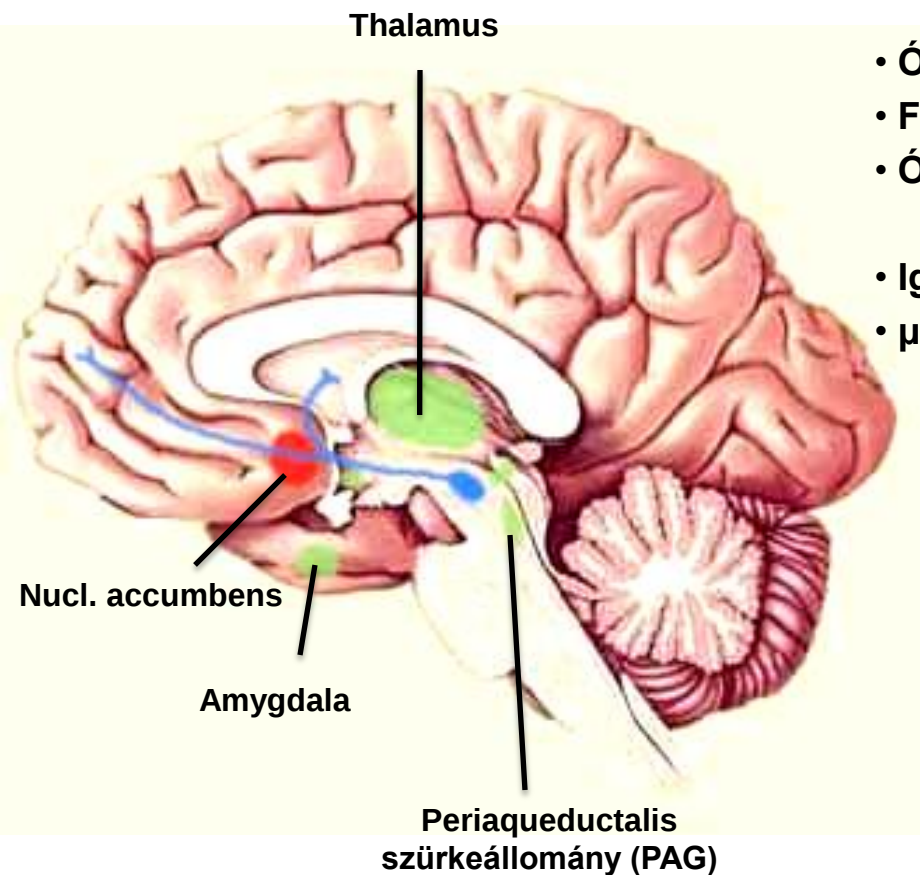
Ventromedialis prefrontalis cortex: bizonytalan kimenetű események megjósolása, jutalomra vagy büntetésre való érzékenység szabályozása

Nucl. accumbens és VTA: a prefrontalis cortexhez futó dopaminerg struktúrák, addikciók kialakulásában van központi szerepe (függőséggel járó állapotokban túlérzékenység)

Hypothalamus: vegetatív központ, jóllakottság, éhség, szomjúság, szexuális aktivitás szabályozása

Amygdala: elemi érzelmi reakciók kialakulása

Az ópiátok hatásai



- Ópium: máknövény gubójának koncentrátuma
- Fő alkotóelemei a morfin és a kodein
- Ópiátok: az ópiumban lévő hatóanyagokhoz hasonló hatású molekulák
- Igen gyors pszichés és fizikai dependenciát okoz
- μ (mú), δ (delta) és κ (kappa) típusú ópiatreceptorok

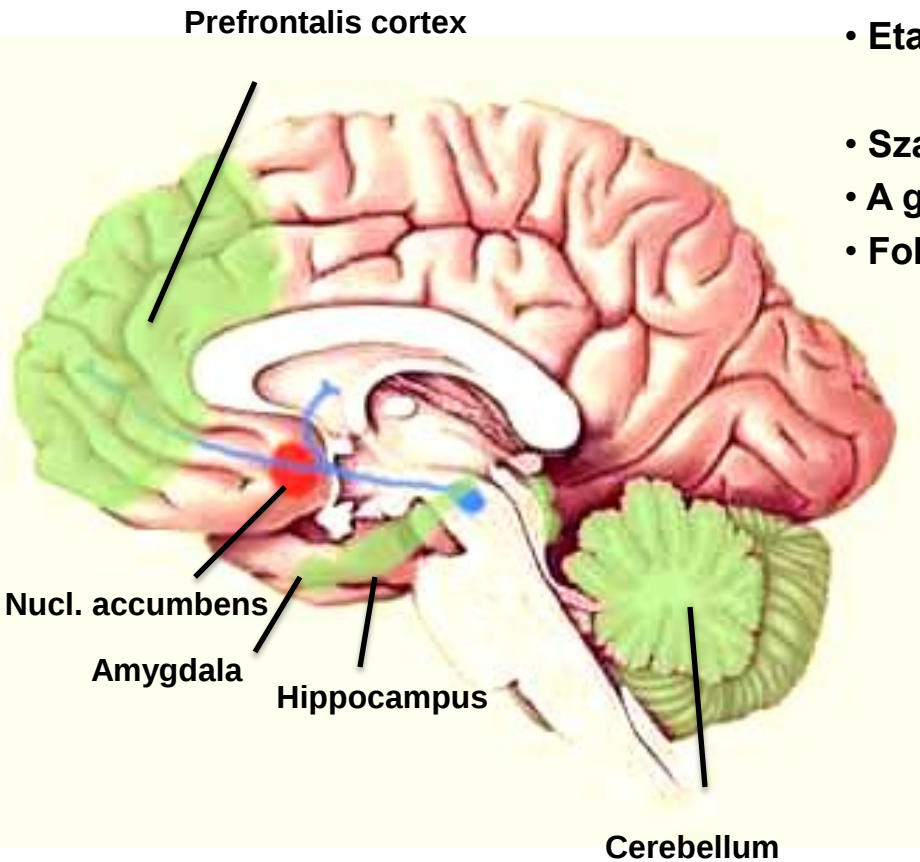
Idegrendszeri hatások:

- euforizál (limbikus rendszer)
- kábít, nyugtat
- fájdalomcsillapítás (Thalamus, PAG)
- légzésdepresszió (agytörzs)
- pupillaszűkülés

Perifériás hatások:

- köhögéscsillapító hatás
- székrekedés

Az alkohol hatása



- Etanol: a szőlő vagy más növények erjesztésével keletkező molekula
- Szabadon átdiffundál a sejtmembránon
- A glutamáterg transzmissziót gátolja
- Fokozza a GABA inhibitoros hatását

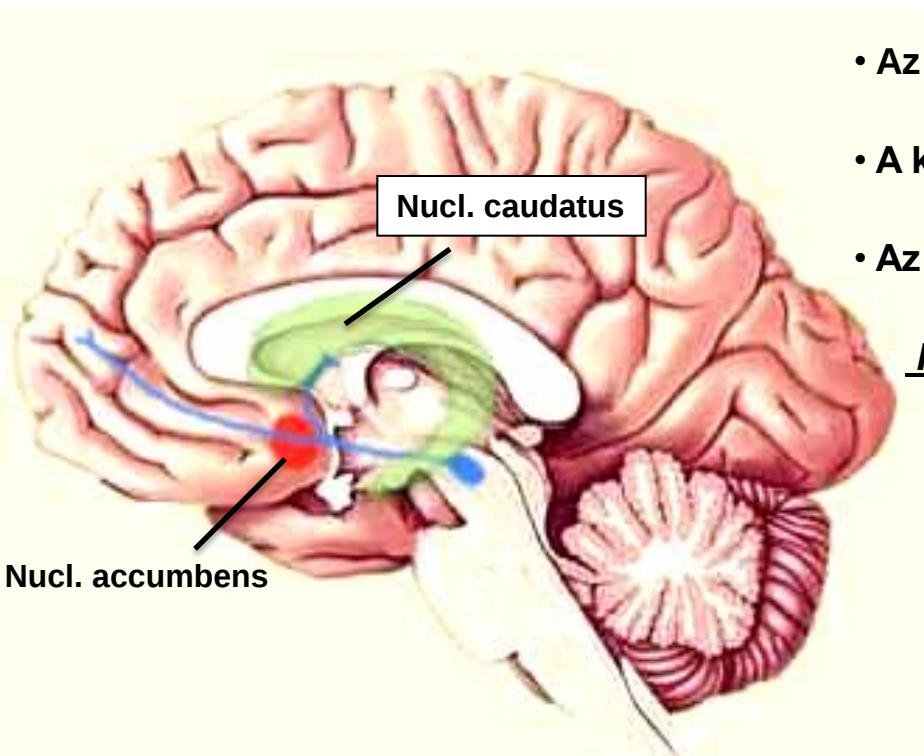
Akut hatások:

- felhangoltság, gátlások oldódása
- szorongáscsökkentő, majd kábító hatás
- motoros koordinációs zavar (kisagy)
- beszédzavar
- koncentrációs zavarok
- látászavar
- anterográd amnézia (hippocampus)

Krónikus hatások:

- memóriazavarok
- kisagyi degeneráció
- személyiségváltozás
- gyomor- és nyombélfekély
- májelváltozás (zsírmáj, májzsugor)
- tüdőrák, impotencia, stb.

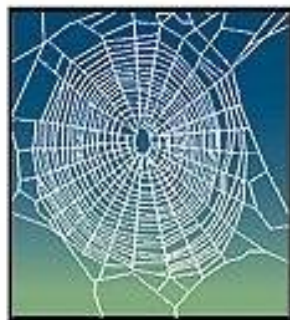
Az amfetamin és a kokain hatásai



- Mindkét szer ún. pszichostimuláns, fokozzák a katekolaminok transzmisszióját
- Az amfetamin-szerű hatású efedrin több növényben megtalálható, a kokaint a kokacserjéből nyerik
- A kokain blokkolja a dopamin visszavételét a szinaptikus részből a nucl. accumbens-ben
- Az amfetamin fokozza a dopamin és a noradrenalin felszabadulását

Hatások:

- euforizál
- éberség fokozódás (Form. reticularis - narcolepsiában alkalmazható)
- csökkent alvásigény
- étvágytalanság (korábban túlsúlyosság csökkentésére alkalmazták)
- koncentrálókéesség fokozódás (figyelemhiányos állapotokban alkalmazzák)
- nagyobb adagban paranoiditás, hallucinációk, tudatzavar
- hatás lecsengésekor kiégettség, depresszió
- szimpatikus idegrendszer aktiválódása:
(magas pulzusszám, vérnyomás, pupillatágulat, verejtékezés)
- ritmuszavarok, keringés összeomlása

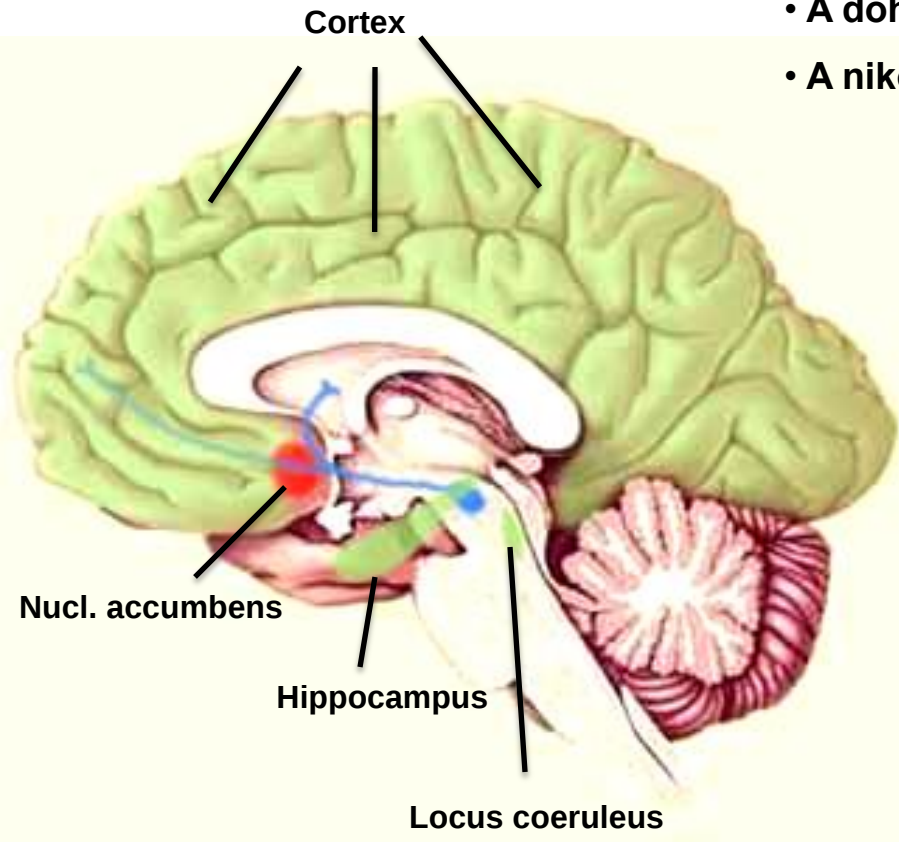


Normal
(no chemical)



Benzedrine

A nikotin hatása



- A dohánynövény alkaloidja
- A nikotinergerg acetilkolin receptorokat stimulálja

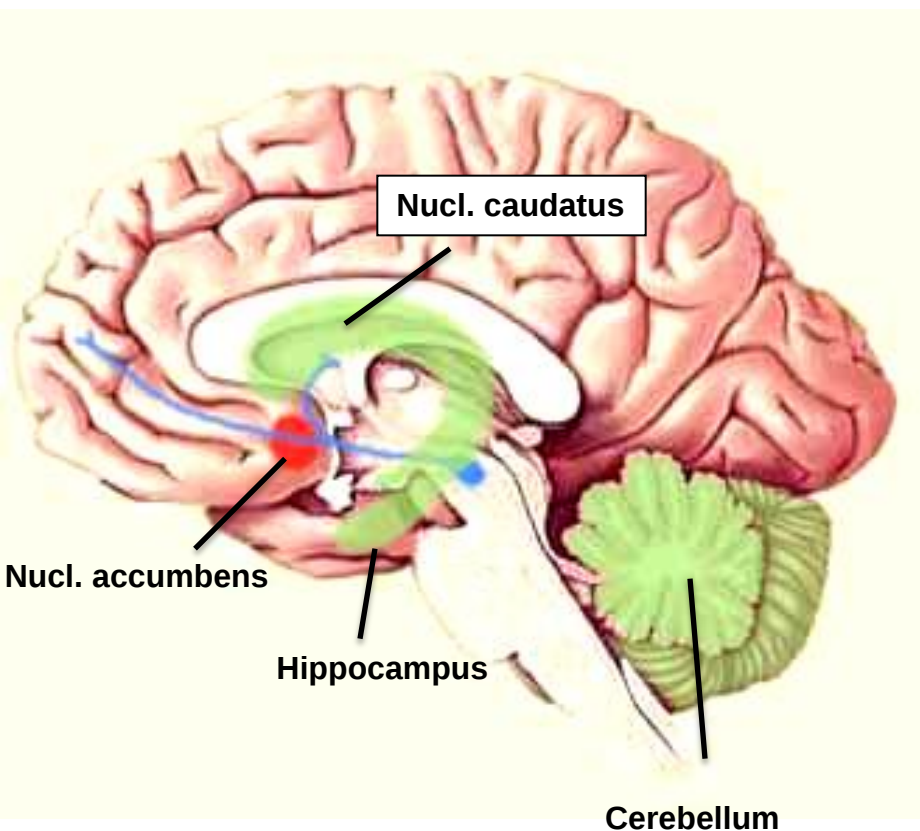
Akut hatások:

- fokozza az éberséget
- szorongásoldó, majd szorongást növelő
- dopamint szabadít fel
- emeli a pulzust, fokozza a szív összehúzódását
- elősegíti a gyomor-bélrendszer mozgását
- nagy adagban izomremegést okoz

Krónikus perifériás hatások (főként nikotin mellett felszabaduló anyagok okozzák):

- érelmeszesedés
- agyi és szív keringési rendellenességek
- rákos betegségek

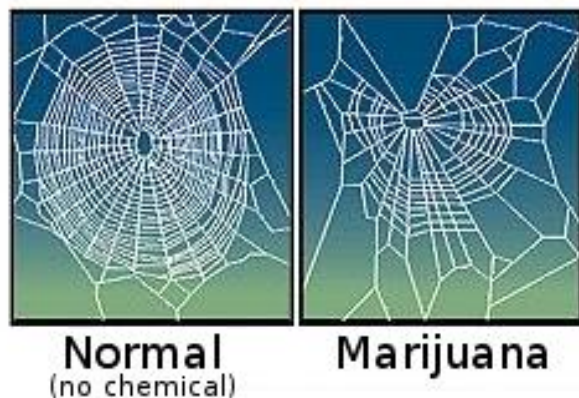
A cannabis hatásai



- Az indiai kenderben található
- Hatóanyaga a tetrahydrocannabinol (THC)
- Speciális receptora van (endogén ligand: anandamid)
- Növeli a dopamin felszabadulást

Hatásai:

- euforizál
- szenzoros élmények, akár hallucinációk
- megváltozott időérzékelés
- később szedatív (kábító) hatás
- fájdalomcsökkentő hatás
- szorongás, pánikroham
- motoros ataxia (cerebellum)
- szapora pulzus
- szembelövelltség
- száraz nyálkahártyák
- fokozott étvágy
- tartós használat: rövid távú memória zavarai, motivátlanság

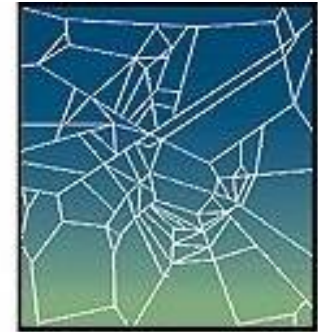


A coffein hatásai

- Az ún. metilxantinok csoportjába tartozó molekula, hasonlóan a teában található **teofillinhez** és a kakaóbabban található **teobrominhoz**
- Főként a kávébabból nyerik, de megtalálható számos növényben, így a kóladióban, kakaóbabban és teában is
- Átjut a vér-agy gáton, adenzin-receptorokhoz kötődik, a szervezet összes sejtjére hat
- Fokozza a fizikális és mentális teljesítőképességet
- Hatással van a dopamin felszabadulásra, fokozza az éberséget és a figyelmi funkciókat
- Szimpatikus hatású: emeli a vérnyomást, tágítja a hörgőket és a pupillát
- Túladagolva álmatlanságot, szorongást, ingerlékenységet, szívdobogásérzést okoz



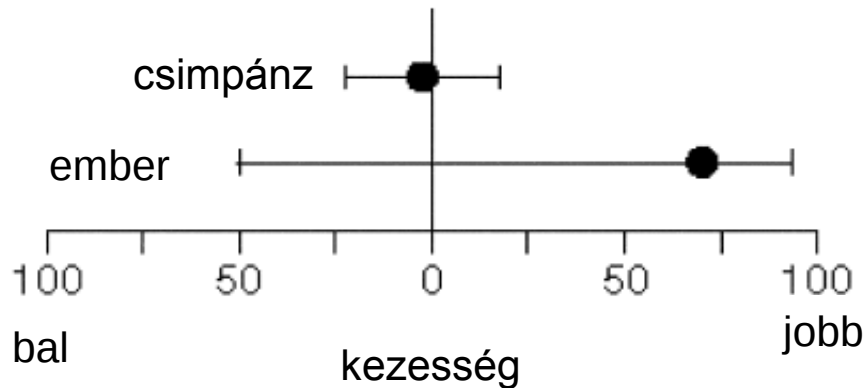
Normal
(no chemical)



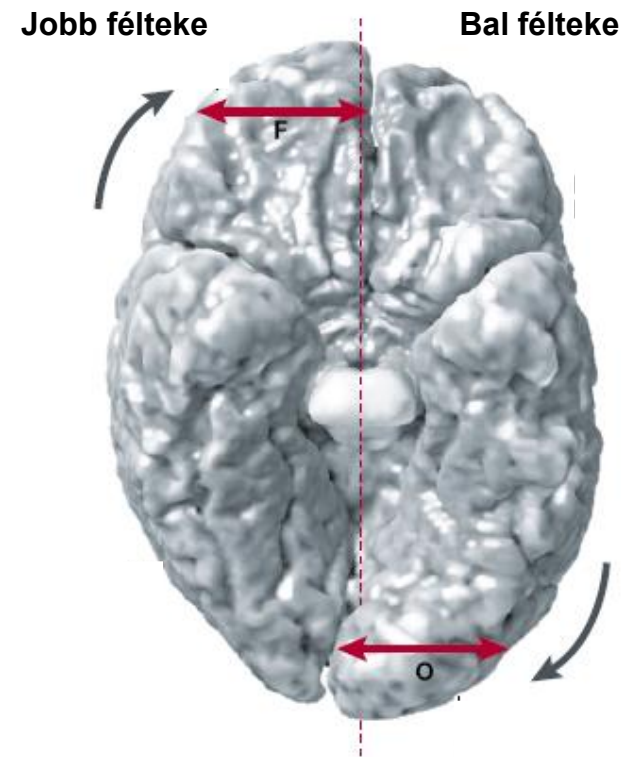
Caffeine

A féltekei aszimmetria

Féltekei lateralizáció: a két hemiszférium anatómiailag és funkció szempontjából is különbözik. A kezesség és a nyelvi funkciók féltekei lateralizációja humánspecifikus, az emberek kb. 90%-a jobbkezes.



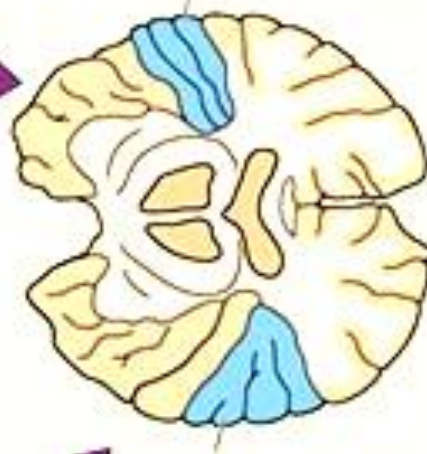
„Agyi csavar” (Cerebral torque)



Embernél a jobb frontális és a bal temporooccipitális korikális területek tömege nagyobb

A féltekei aszimmetria

Jobb oldali
planum temporale



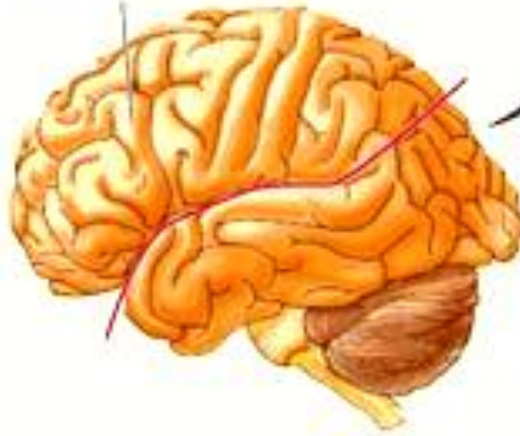
Bal oldali
planum temporale



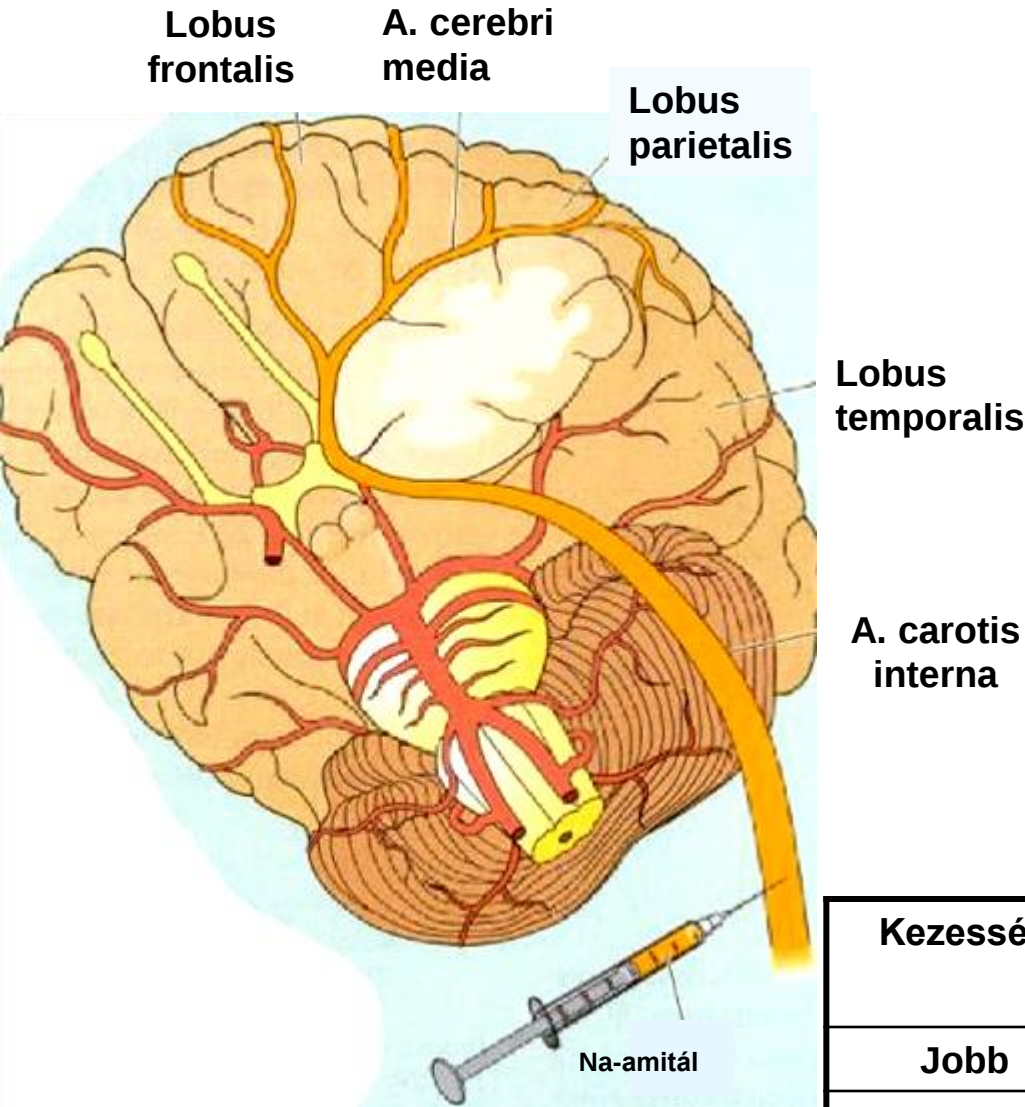
Planum temporale:

- a Wernicke areát is magába foglaló háromszög alakú terület a temporális lebeny felső részének mélyén
- ez a terület az emberek 65%-ában a bal féltekében, míg 10%-ánál a jobb féltekében nagyobb
- az aszimmetria magzati korban is kimutatható

Frontális és parietális kérgi
területek eltávolítása



Féltekei dominancia vizsgálata: a Wada-teszt (Na-amitál interjú)



Juhn A. Wada

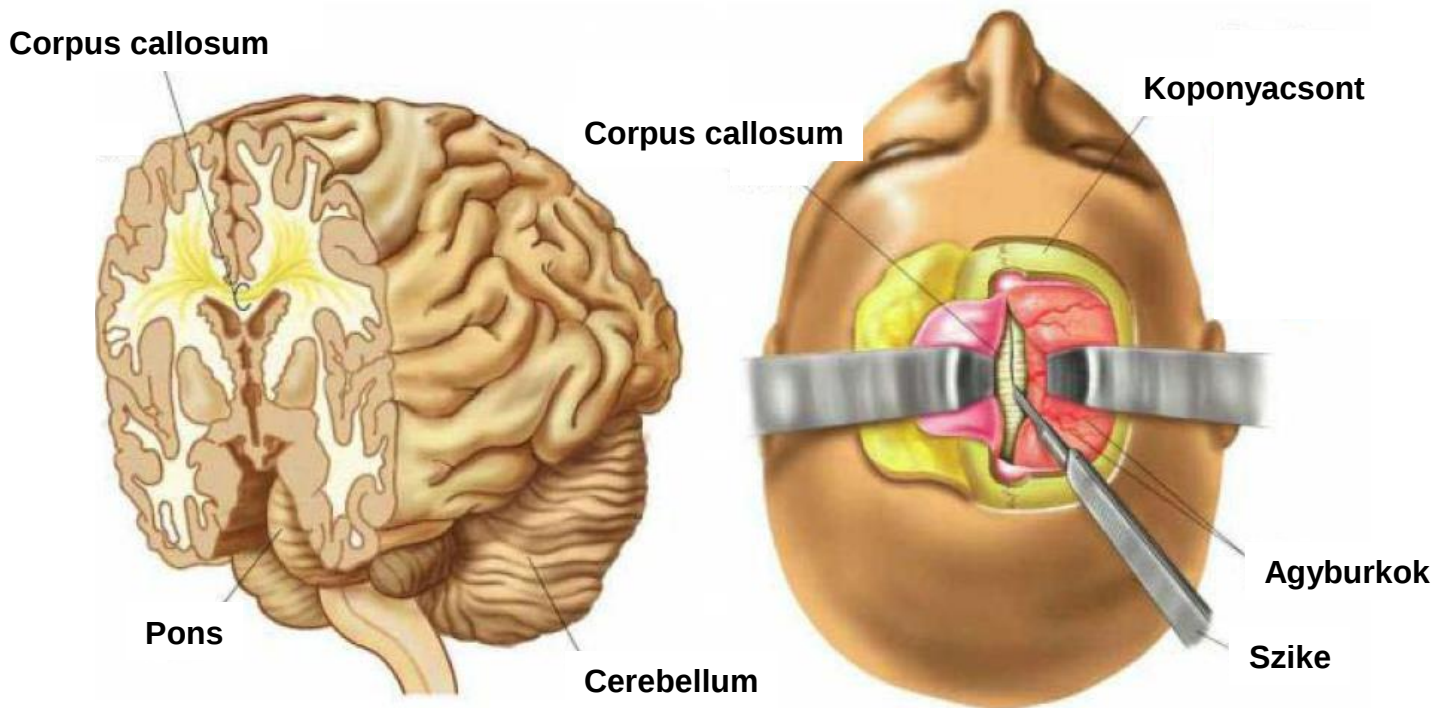
Elv: az egyik A. carotis internába adott Na-amitál átmenetileg „elaltatja” az azonos oldali hemiszfériumot.

- Segítségével megállapítható a nyelvi félteke dominancia

Kezesség	Beszéd félteke dominanciája (%)		
	Bal	Kétoldali	Jobb
Jobb	96	0	4
Bal	70	15	15

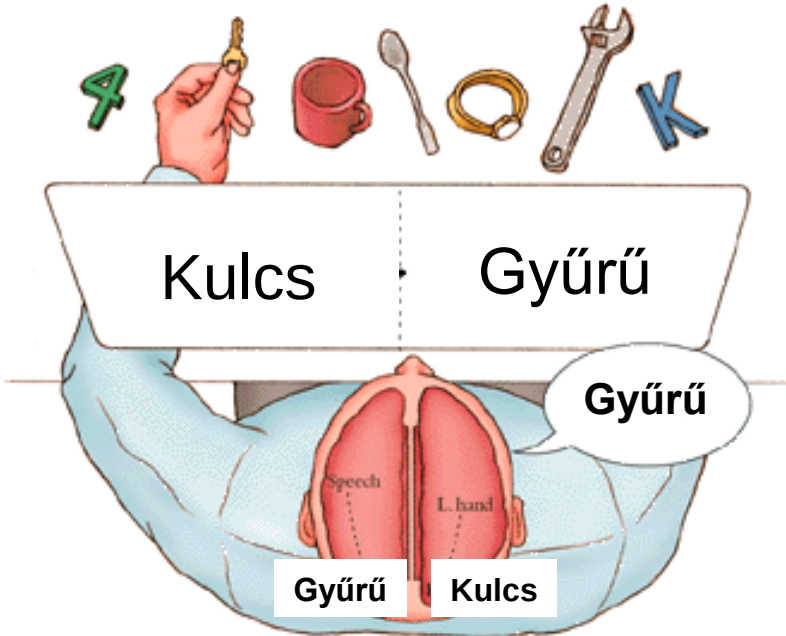
Funcionális különbségek a két agyfélteke között: a „hasított agyú” (split brain) betegek vizsgálata

- Epilepsziás betegek egy részénél a görcsroham másik hemiszfériumra való terjedésének megakadályozása céljából sebészileg átmetszették a corpus callosumot és a commissura anterior egy részét
- Ezen a betegeknél nem tapasztaltak szembetűnő viselkedésváltozást, intellektusuk megtartott volt
- Roger Sperry (Nobel díj-1981) majd Michael Gazzaniga kísérletei azonban jelentős funkcióbeli különbségeket talált



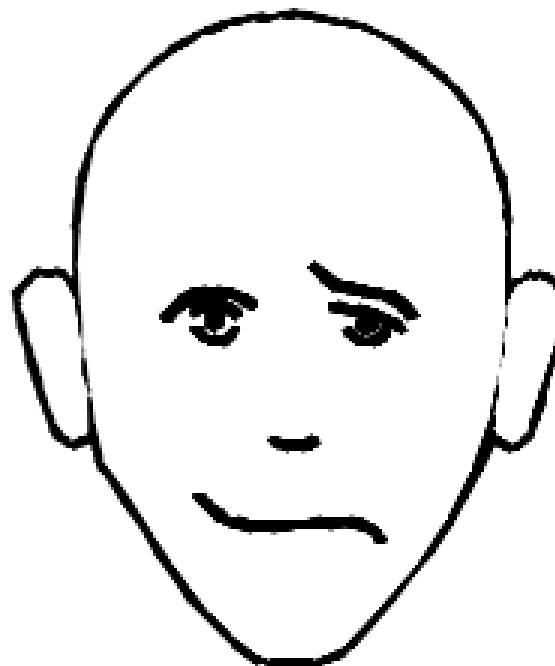
Vizuális ingerek eltérő azonosítása

Nézzétek meg, tanulságos! http://nobelprize.org/educational_games/medicine/split-brain/splitbrainexp.html



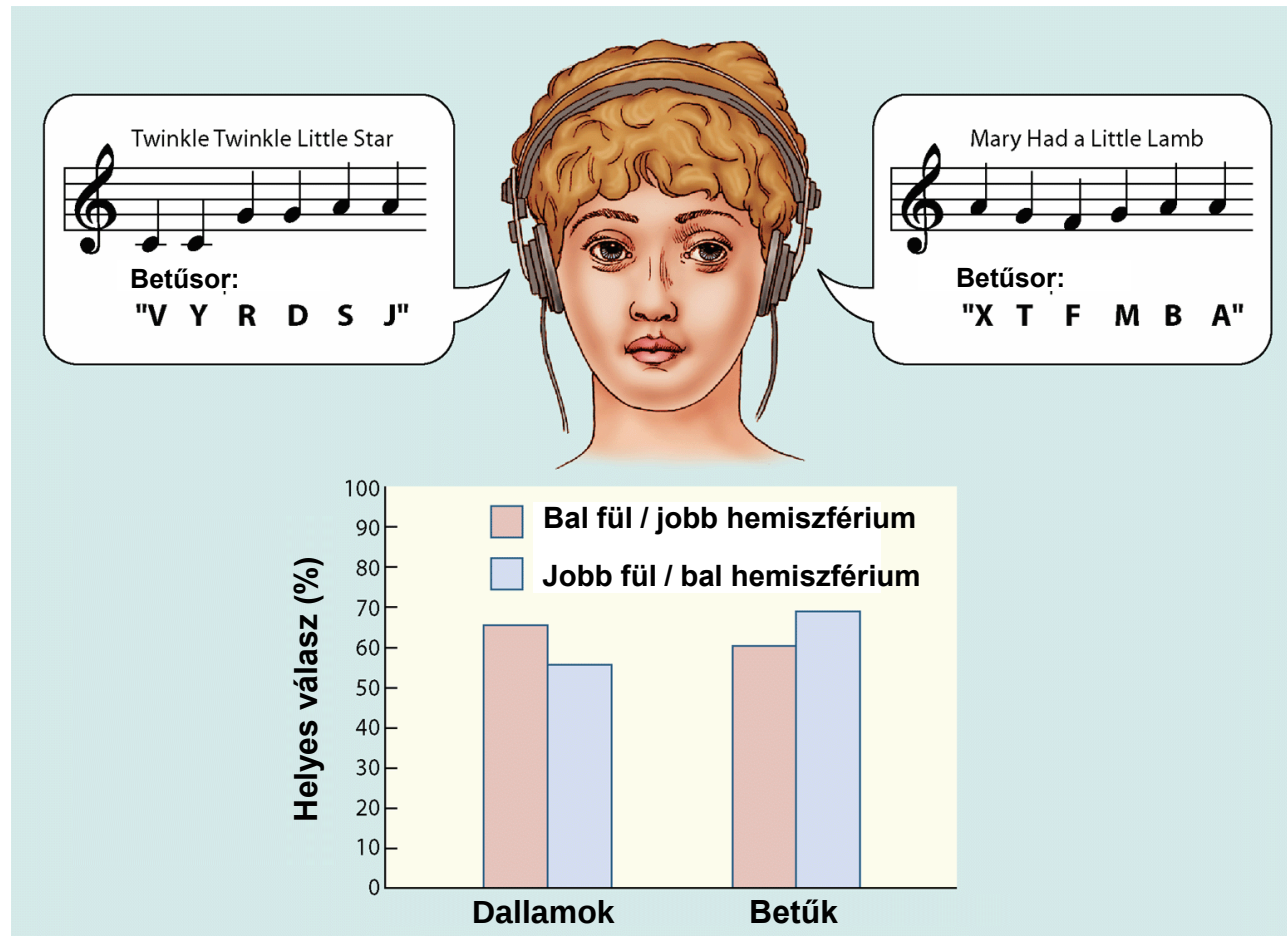
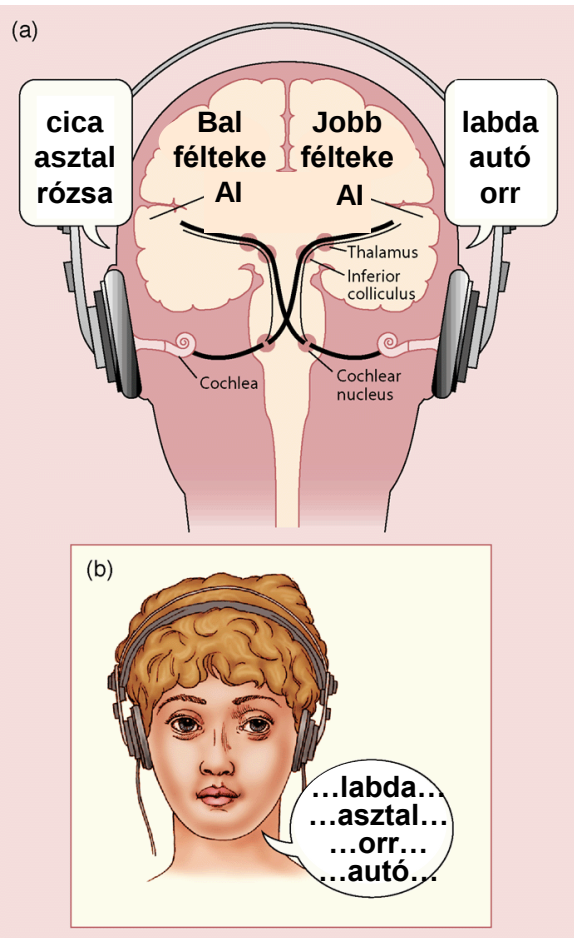
- A kísérletek során tárgyak neveit vagy képeit vetítették fel, amelyek kizárólag a jobb vagy bal hemiszférumba (nem szembe!) jutottak
 - A betegek a bal féltekébe vetített képeket tudták megnevezni, míg a jobb hemiszférumba vetítetteket nem
 - Ezzel szemben a jobb féltekébe vetített képeket (is) ki tudták választani több tárgy közül az azonos (jobb) félteke által vezérelt bal kezükkel, de nem tudták megmondani, hogy ezt miért tették
 - Mindez arra utal, hogy a szubdomináns (jobb) félteke képes ingereket azonosítani, tapintás alapján kiválasztani, de nem képes megnevezni őket (ezáltal úgy tűnhet, hogy a betegek annak nincsenek tudatában, pedig nem így van)
-
- Míg a bal féltekébe vetített szavakat a beteg meg tudja nevezni, és a jobb kezével ki is tudja választani több tárgy közül, a jobb félteke csak egyszerű tárgyneveket (pl. cica) ismeri fel, a bonyolultakat nem
 - Ezzel ellentétben, jobbkezes betegek bal kezükkel ügyesebben raktak össze bonyolult térbeli mintázatokat (hisz a téri-vizuális felismerés inkább a jobb féltekéhez kötött)
 - A beteg a bal hemiszférumba vetített matematikai műveleteket meg tudja oldani, és meg is tudja mondani az eredményt
 - A jobb féltekébe vetített matematikai műveletek közül csak az egyszerűeket oldja meg, nem tudja megmondani az eredményt, de az eredménynek megfelelő számú tárgyat el tud venni az asztalról (de nem tudja, miért tette)

Arcok és arckifejezések azonosítása



Kiméra arcok (pl. kevert nem vagy érzelmi reakció) azonosítása: jobbkezesek általában a jobb (szubdomináns) féltekébe vetített (azaz bal oldali) arcot (pl. nőt) vagy kifejezést (vidám) észlelik erőteljesebbnek, és ezt választják ki vizuális azonosításnál (több bemutatott arc közül), de ha meg kell gyorsan nevezni, akkor a bal (domináns) féltekében vetítettet (férfi/szomorú) nevezik meg

Hangingerek azonosítása



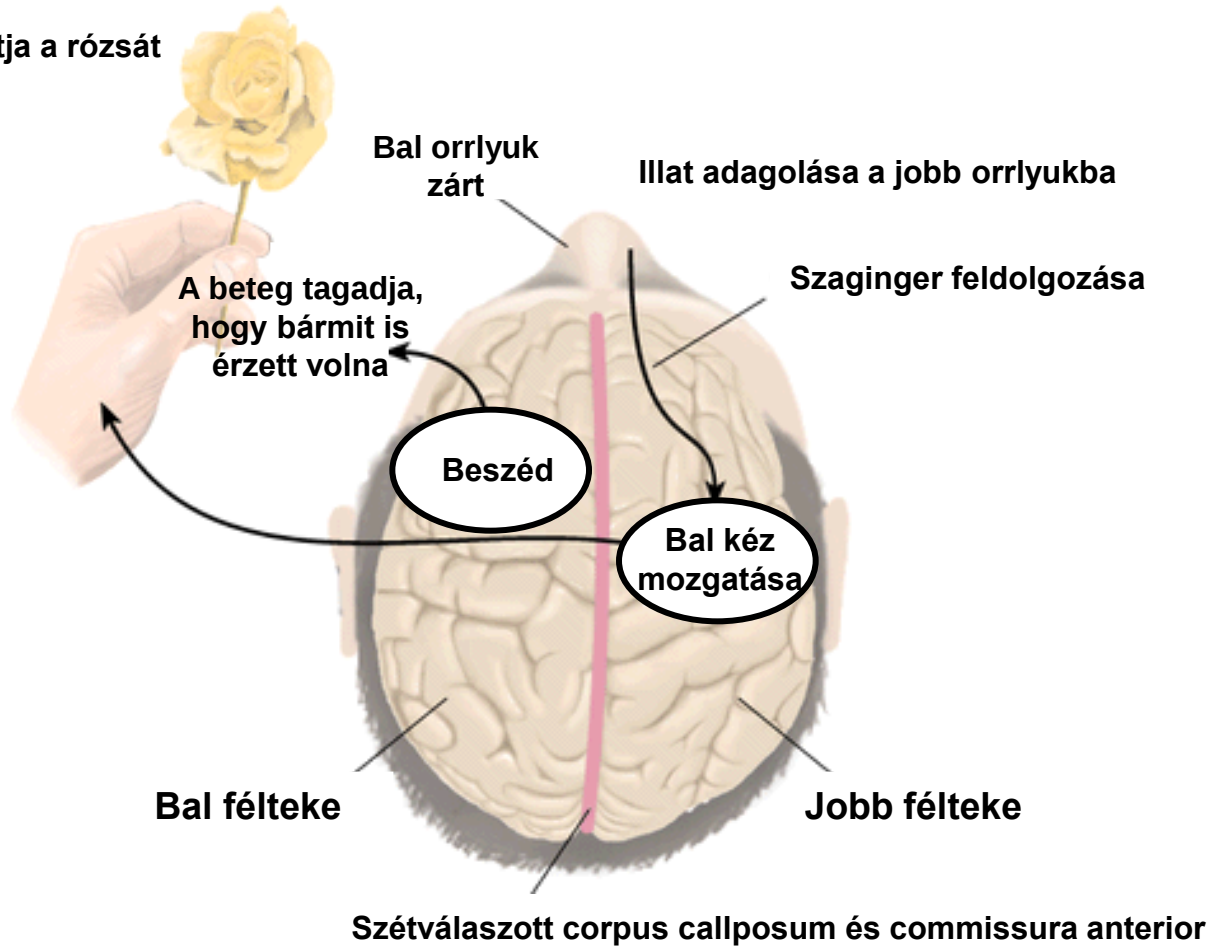
Dichotikus hallási helyzet: a jobb fülbe prezentált számok, betűk vagy szavak felidézése, míg a bal fül által érzékelt dallamok felidézése jobb.

Oka: bár a hallási ingerek szubkortikális továbbítása nem kizárólagosan ellenoldali (mint a látásnál), de az adott fülbe juttatott hangingernek szorosabb kapcsolata van az ellenoldali auditoros kérgi területekkel.

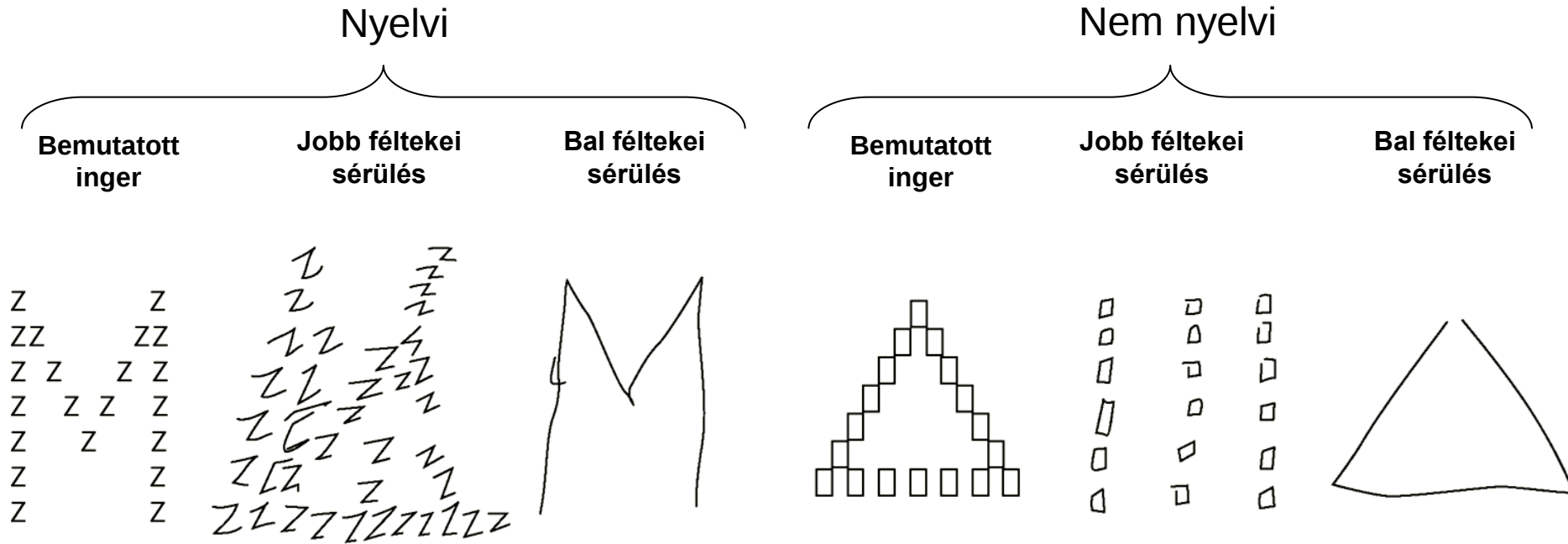
Illatok azonosítása

Hasított agyú betegnek a jobb orrlyukba juttatott illat alapján kell a bal kezével a megfelelő tárgyat kiválasztani

A beteg kiválasztja a rózsát



Ingerek lokális vagy globális jellemzőinek felismerése



A bal (domináns) félteke elemzőbb, az ingert részleteire bontja, míg a jobb (szubdomináns) félteke holisztikusan, az összbenyomás alapján dolgozza fel az információt

A két hemiszférium működése közti különbség

Bal hemiszférium:

Gondolkodás:

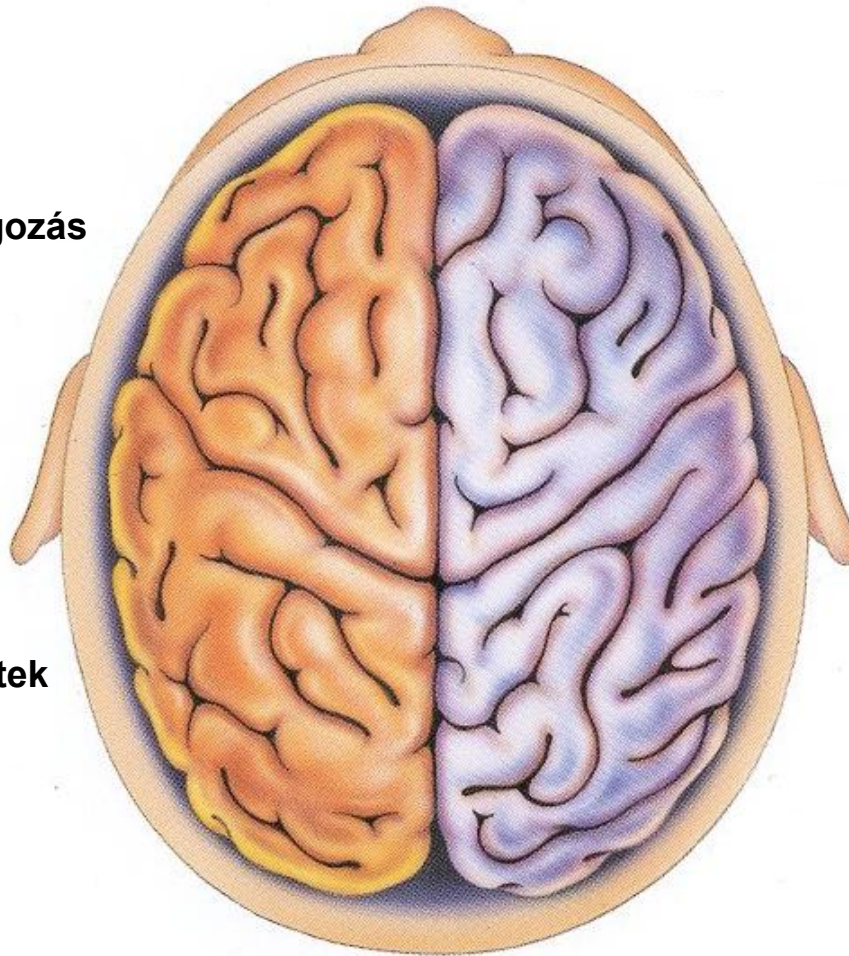
- elemző
- logikus
- verbális memória
- sorrendbeli feldolgozás

Nyelv:

- szókincs
- nyelvtan
- beszédértés
- olvasás
- írás

Egyéb:

- aritmetikai műveletek



Jobb hemiszférium:

Gondolkodás:

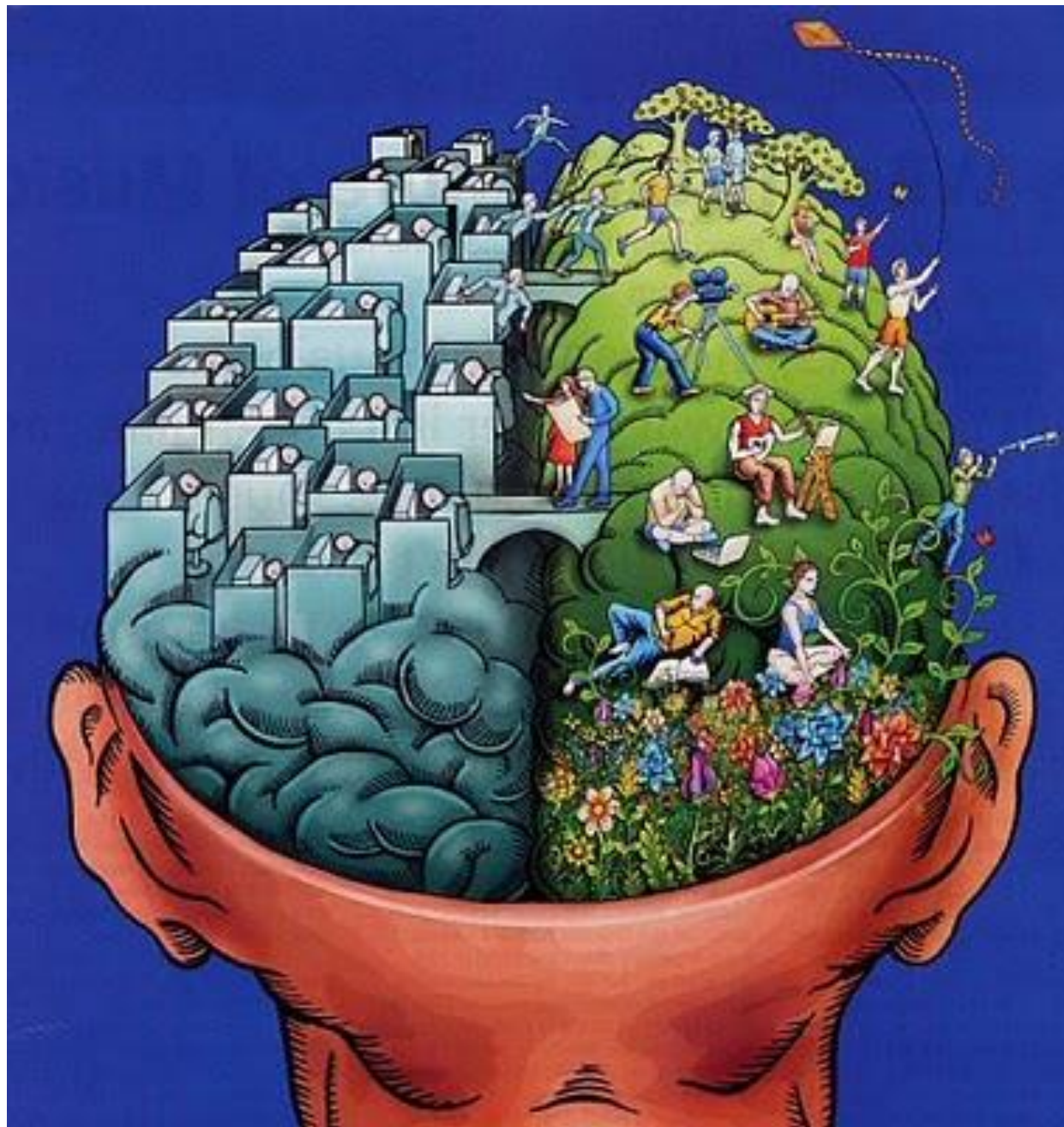
- holisztikus megközelítés
- intuitív
- kreativitás
- párhuzamos feldolgozás

Nyelv:

- hangsúly, dallam felismerése

Egyéb:

- zene
- térbeli tájékozódás
- testérzékelés
- mintázat- és arcfelismerés
- jelbeszéd
- tapintás alapján felismerés
- érzelmek felismerése
- érzelmek kifejezése



Nemi különbségek az agy felépítésében és működésében

Struktúra:

- ***Férfiaknál nagyobb:***
 - az agy tömege
 - hypothalamus több régiója
 - nagyobb mértékű planum temporale aszimmetria
 - nagyobb amygdala
 - több fehérállomány
 - nagyobb agykamrák
- ***Nőknél nagyobb:***
 - több a szürkeállomány relatív térfogata (az agy össztérfogatához viszonyítva)
 - corpus callosum
 - nagyobb Broca area és planum temporale
 - beszédért felelős területek inkább bilaterális elhelyezkedése
 - nagyobb hippocampus

Összefoglalva:

- a férfiak agya erőteljesebb lateralizációt mutat, mint a női agy
- nőknél nagyobbak a nyelvi területek
- férfiaknál nagyobb több limbikus terület (kivéve a hippocampust)

Nemi különbségek az agy működésében

Nők jobbak

Számolási feladatok

65	$13 \times 4 - 21 + 34$
73	$2(13 + 17) + 18 - \frac{20}{4}$

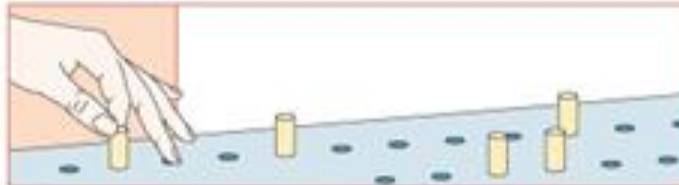
Szöveg felidézése

Story...	Run, flower, casserole, water, explosion, pencil, horse, newspaper, book, pliers, bath, dancer...
----------	---

Tárgyak helyének megtalálása



Precíziós mozgások



Perceptuális azonosítás



Férfiak jobbak

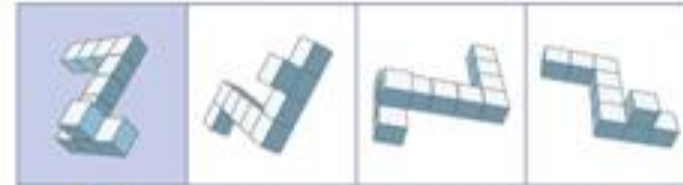
Matematikai szöveges feladatok megoldása

1650	If only 40% of seedlings will survive, how many must be planted to obtain 660 trees?
------	--

Geometriai alakzatok megtalálása



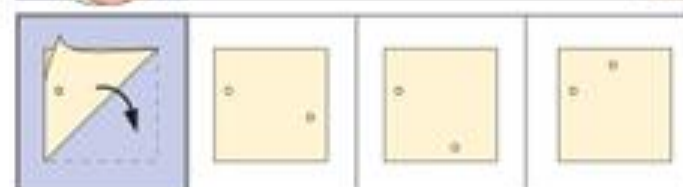
Mentális rotáció



Célirányos mozgás

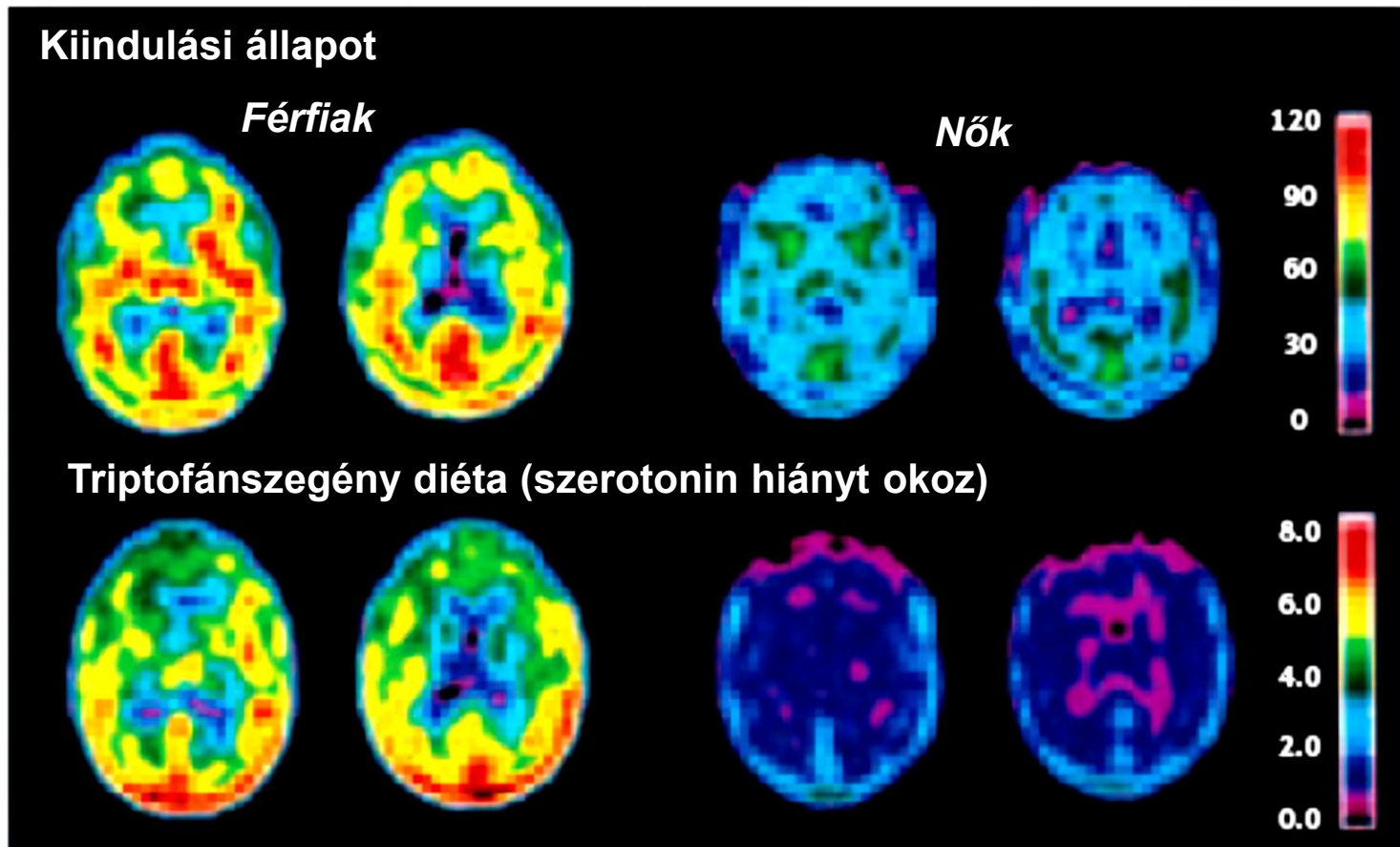


Térbeli helyzet azonosítása



Neurokémiai különbségek

Szerotoninreceptorok eloszlása az agyban (PET vizsgálat):



A nők érzékenyebbek a szerotoninszint csökkenésére, ami egybevág azzal, hogy nőknél gyakoribb a szorongásos kórképek, hangulatzavarok előfordulása