

Mozek a chování, vnější prostředí neuronu

doc. MUDr. Markéta Bébarová, Ph.D.

Fyziologický ústav, Lékařská fakulta, Masarykova univerzita

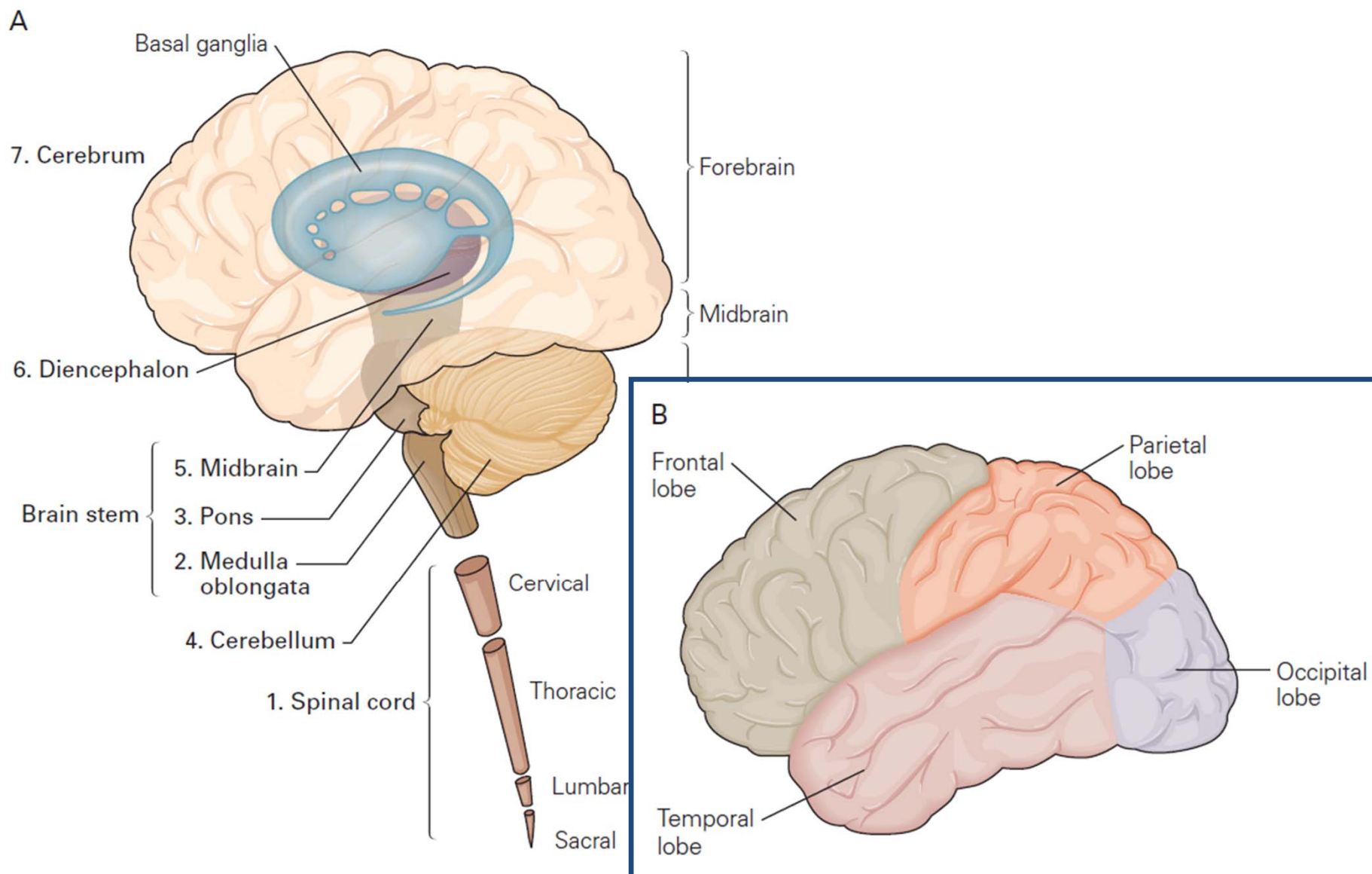


**Tato prezentace obsahuje pouze stručný
výťah nejdůležitějších pojmů a faktů. V
žádném případě není sama o sobě
dostatečným zdrojem pro studium ke
zkoušce z Neurověd.**

Obrázky a tabulky použity z:

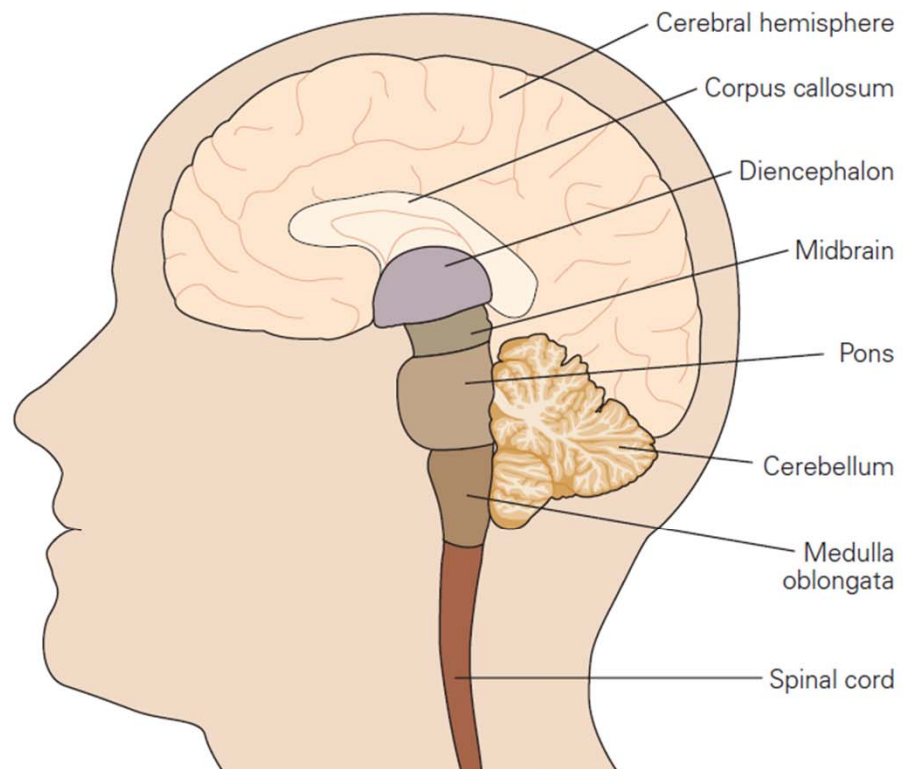
- Principles of Neural Science (5th ed.), Kandel et al. (2013)
- Medical Physiology (2nd ed.), Boron and Boulpaep (2012)
- Neuroscience (4th ed.), Purves et al. (2008)
- Medical Neurobiology (1st ed.), Mason (2011)
- Přehled lékařské fyziologie (20. vyd.), Ganong (2005)
- Atlas fyziologie člověka (6. vyd.), Silbernagl a Despopoulos (2004)

Funkční oblasti CNS

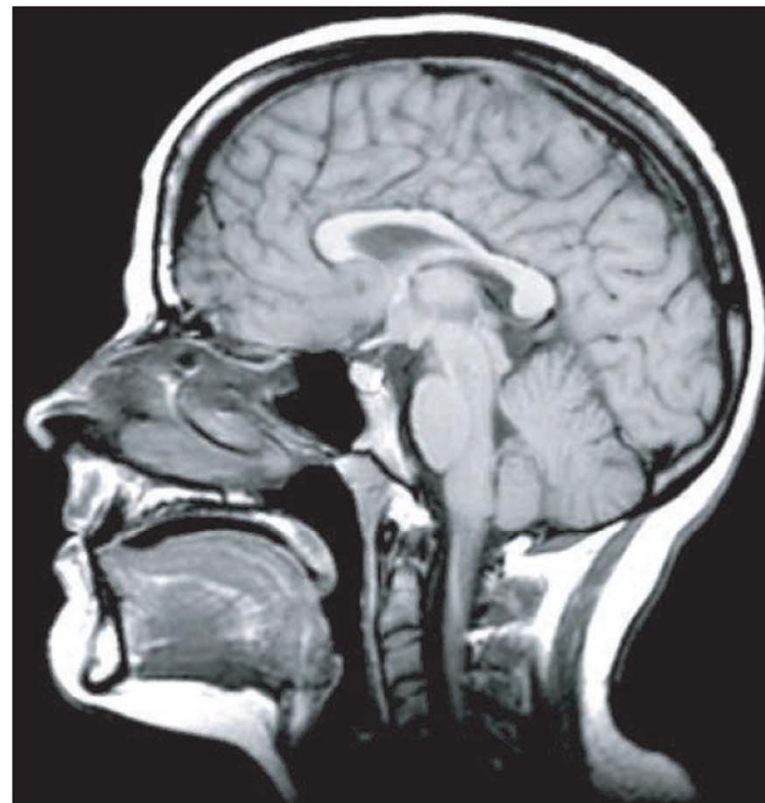


Funkční oblasti CNS

A

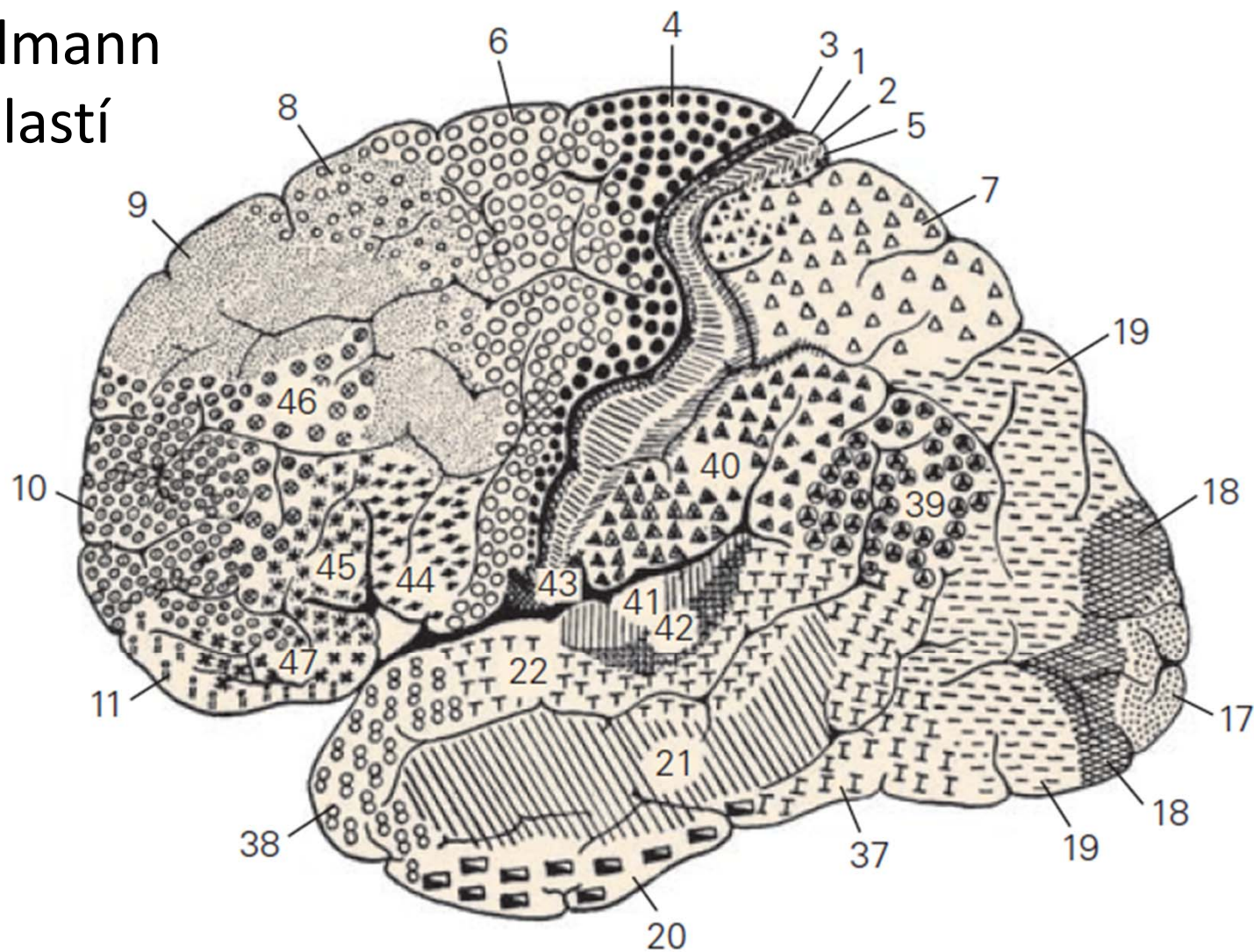


B



Funkční oblasti mozkové kůry

Broadmann
52 oblastí



Funkční oblasti mozku

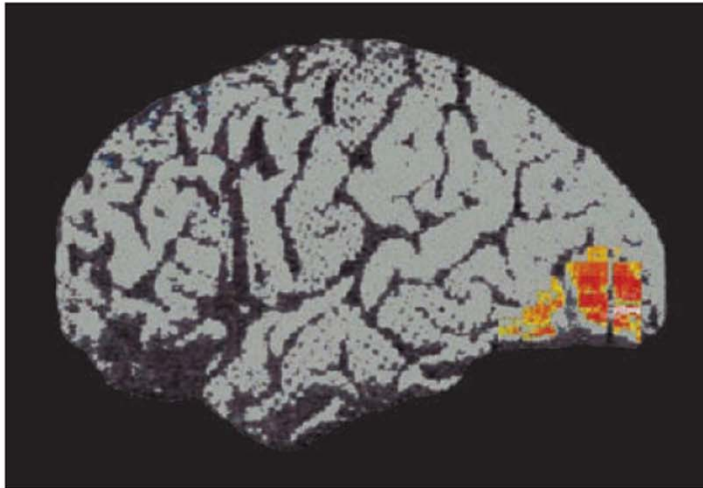
Metody měření regionálního průtoku krve mozkiem, tedy aktivity různých oblastí mozku

PET (pozitronová emisní tomografie)

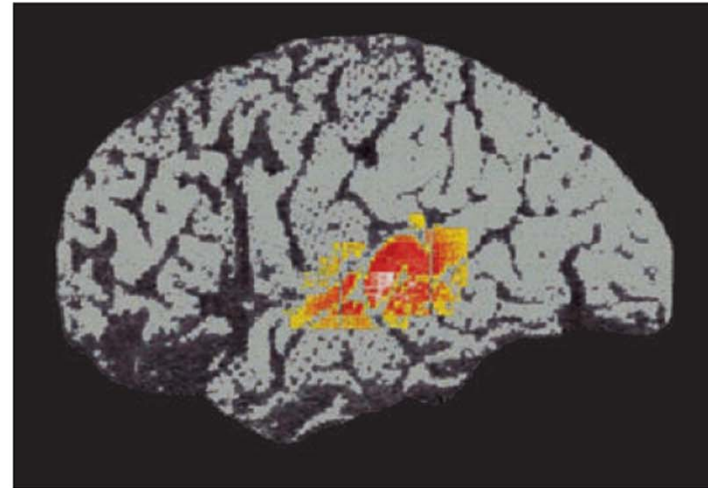
- látka označena radionuklidy s krátkou životností
- látku injikujeme, její přibývání a následné ubývání sledujeme scintilačními detektory umístěnými kolem hlavy
- např. označená 2-deoxyglukóza – spotřeba dobrým ukazatelem průtoku

Funkční oblasti mozku

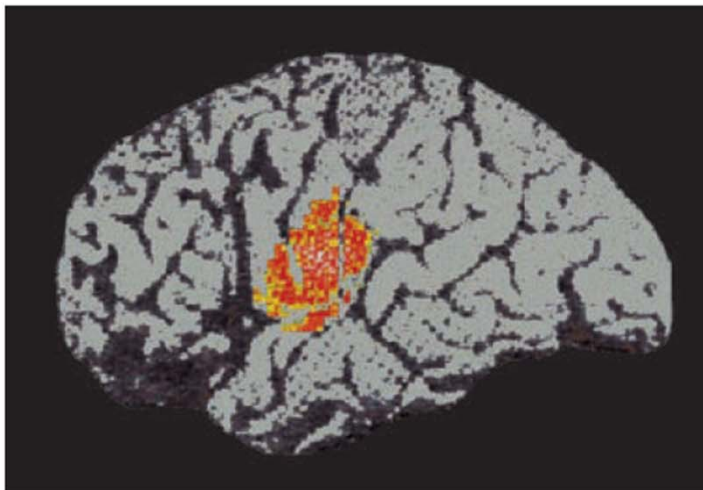
A Looking at words



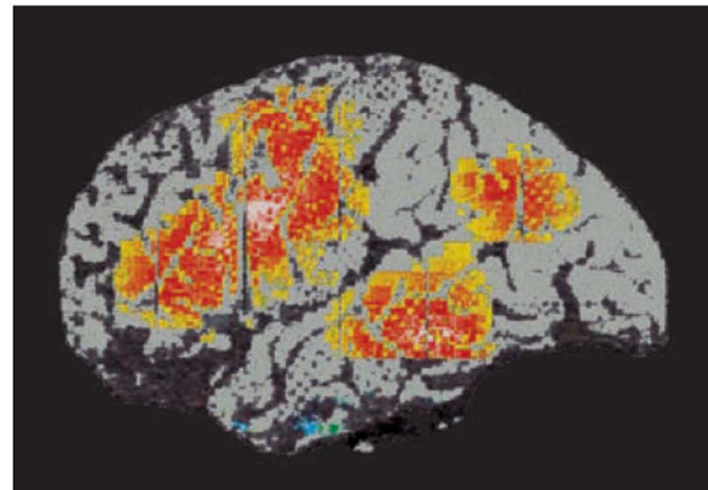
B Listening to words



C Speaking words



D Thinking of words



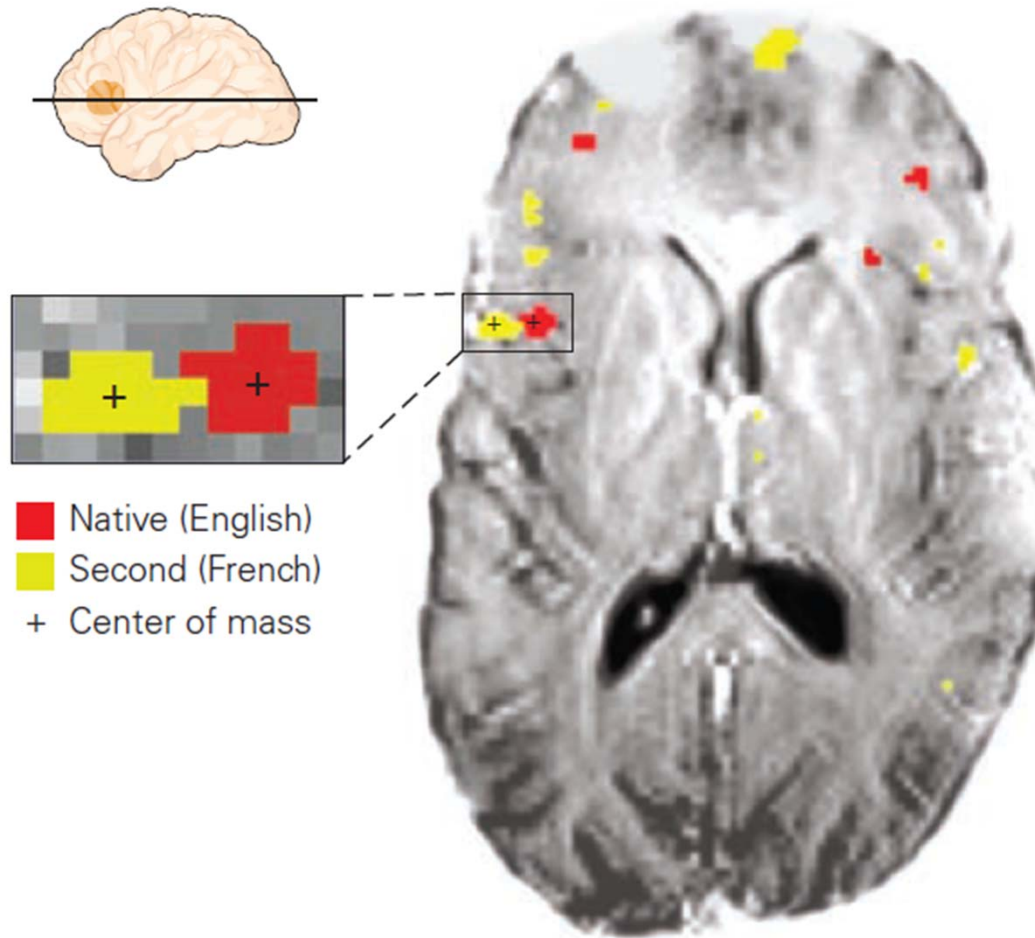
Funkční oblasti mozku

Metody měření regionálního průtoku krve mozkiem, tedy aktivity různých oblastí mozku

fMRI (funkční magnetická rezonance)

- lepší rozlišení
- redukovaný hemoglobin se stává paramagnetickým, mění signál emitovaný krví, lze tak měřit množství oxy- a deoxyhemoglobinu jako ukazatel průtoku krve

Funkční oblasti mozku



Homeostáza

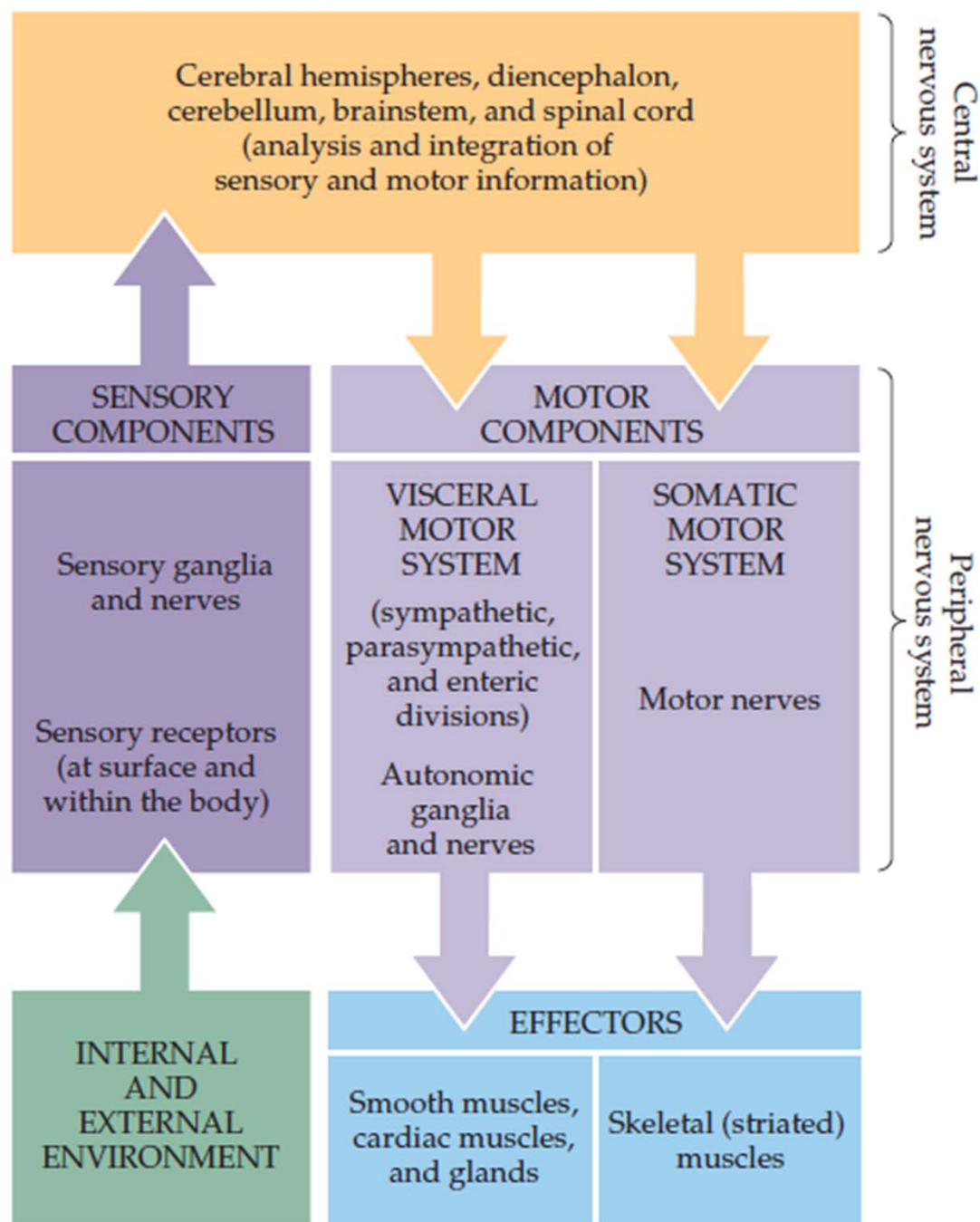
- stálost vnitřního prostředí
- endokrinní, imunitní systém, nervový systém

Homeostáza - nervový systém

- mozek je "chytrý" – když je to možné, anticipuje pravděpodobné změny v homeostáze → všechny anticipační homeostatické zásahy vyžadují funkční přední mozek (**volní reakce**)
- nečekané výchylky v homeostáze → zajišťovány většinou **nevědomými reflexy** na úrovni míchy a mozkového kmene

Nervový systém a chování

- Funkce, při kterých je nezbytná interakce se zevním prostředím, vyžadují účast **chování** a jsou projevem činnosti mozku.
- **Chování**, od jednoduchých po složité formy, vyžaduje účast tří hlavních funkčních sestav mozku: sensorických, výkonných a motivačních.

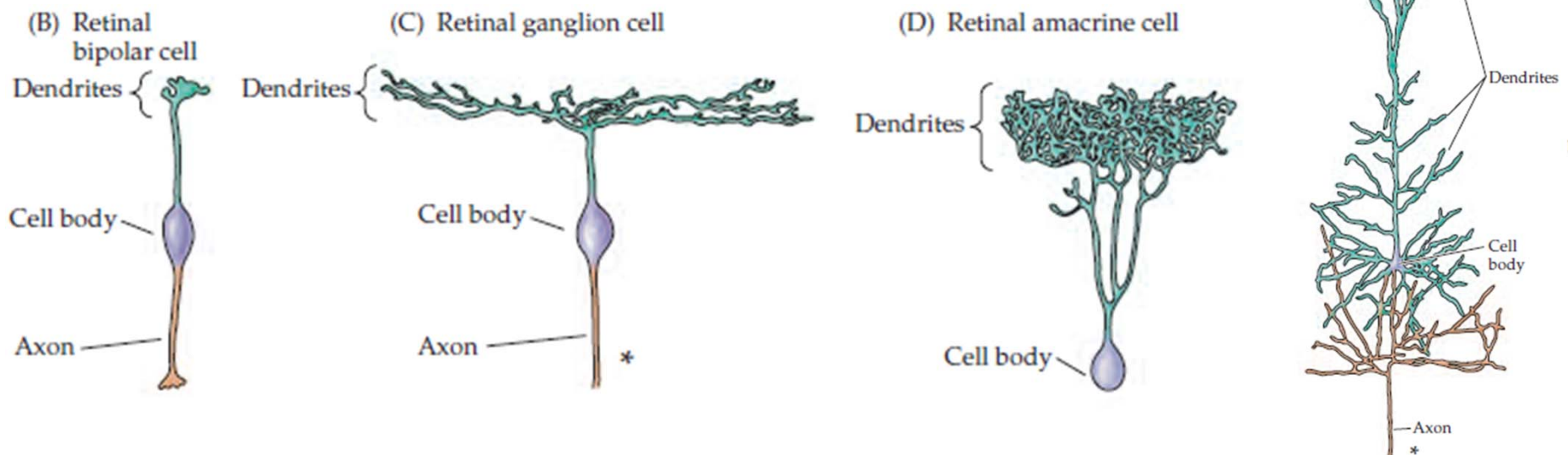


Chování podle cíle, k němuž směřuje:

- energetická rovnováha
- objem vody a osmolarita
- teplota
- dlouhodobá výkonnost
- udržení a upevnění zdraví
- reprodukční, sexuální
- obranné
-

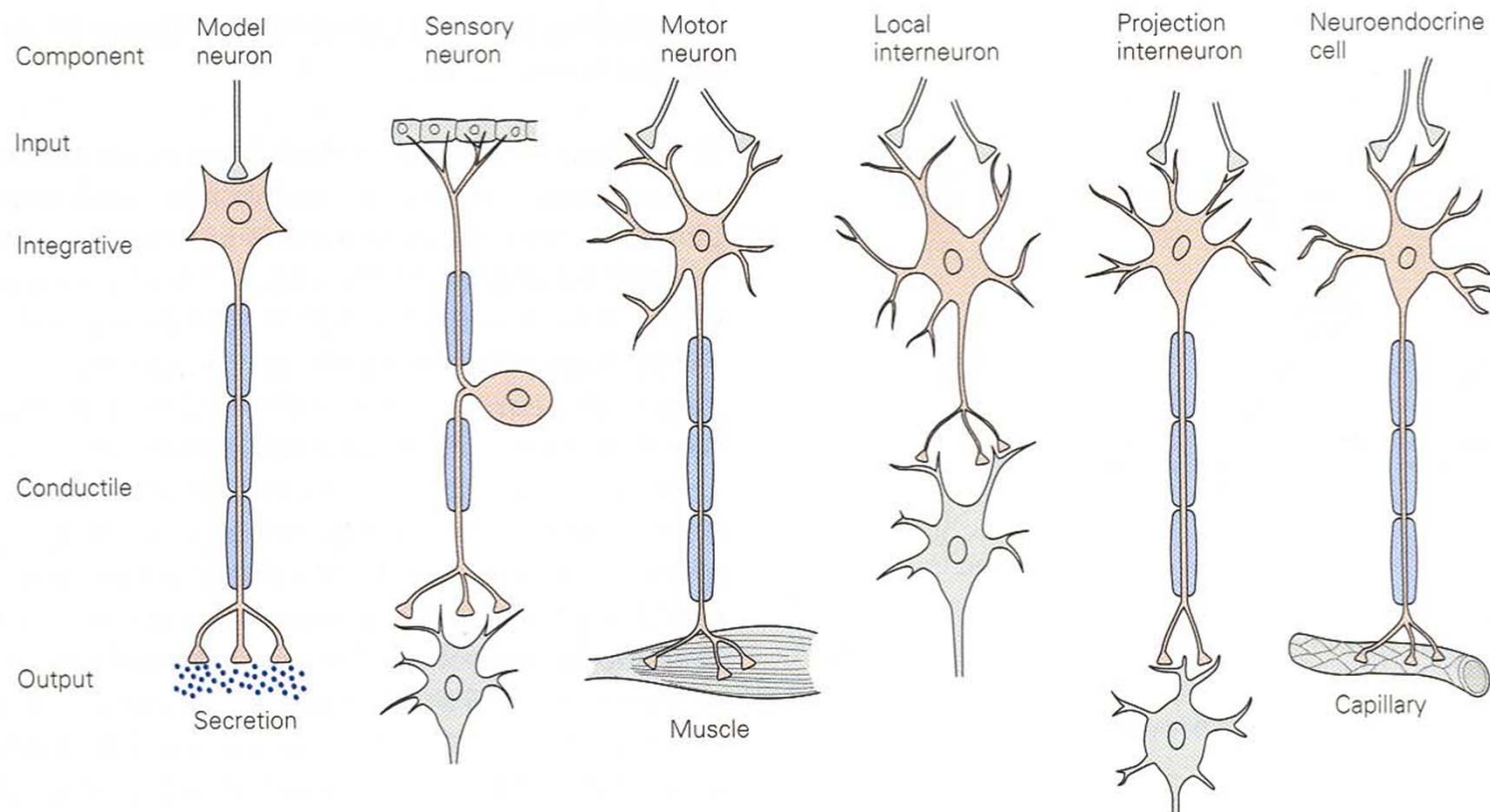
Neuron

- přibližně 10^{11} nervových buněk (glie cca 10 krát více)
- společný rys - individualita
- liší se lokalizací, stavbou, spoji, fyziologickými vlastnostmi a funkcí
- neurony tvořící shluky (jádra) nebo vrstvy mají podobné vlastnosti



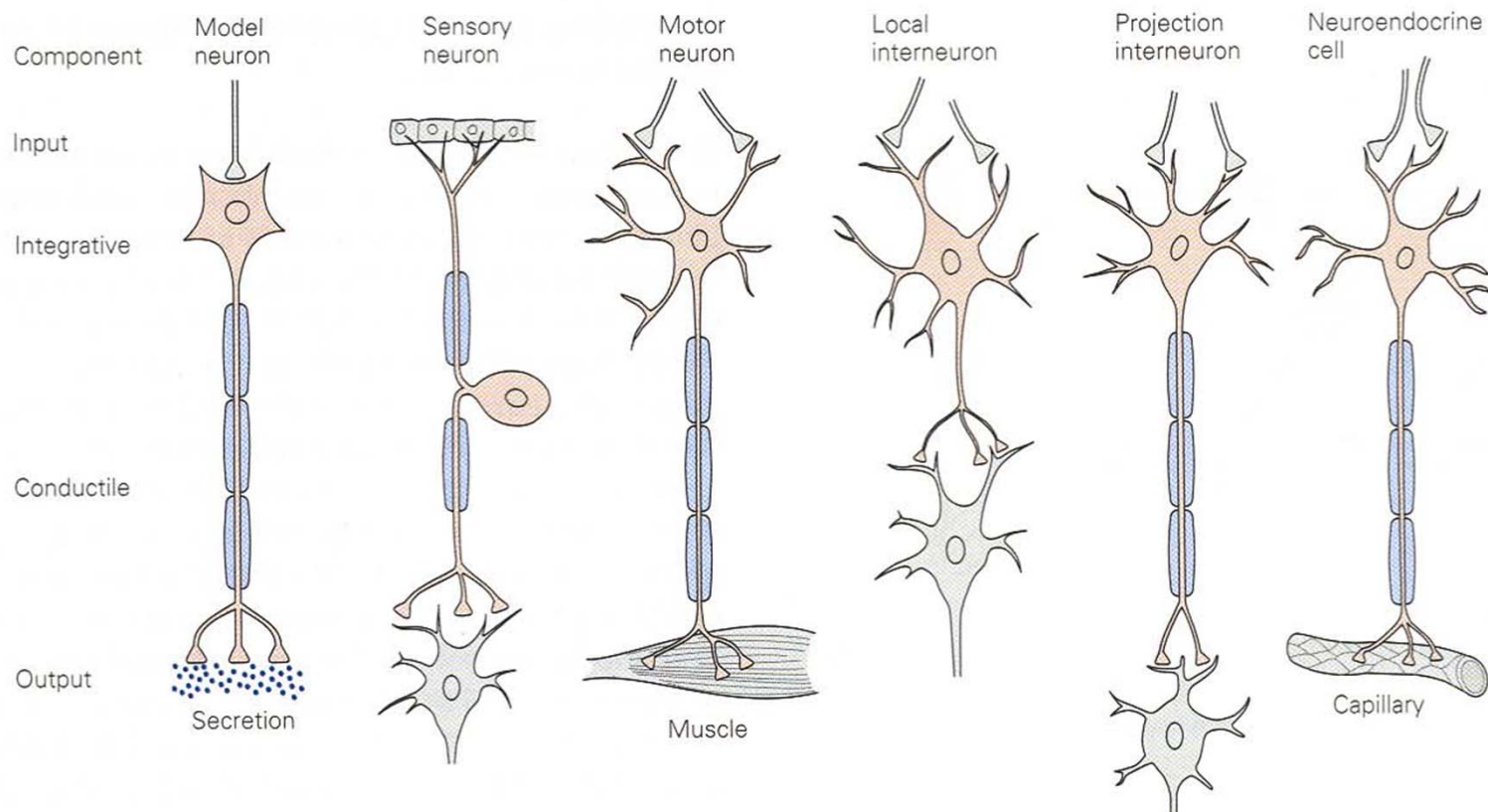
Většina neuronů sdílí následující:

- vznikají z ektodermu
- 4 morfologické oblasti – dendrity, tělo, axon, synaptické terminály



Většina neuronů sdílí následující:

- 4 funkční komponenty – vstupní, integrační, vedení vzruchu, výstupní
- generují elektrické potenciály
- komunikují s dalšími neurony



Neuron

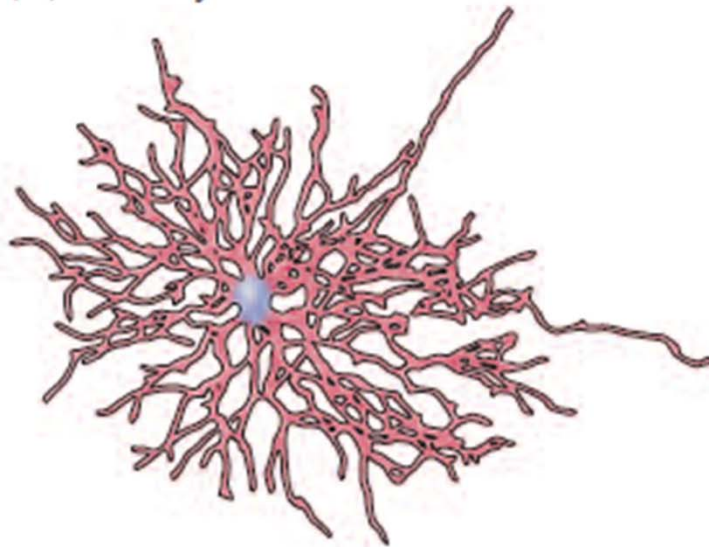
Zákon dynamické polarizace neuronů:

Nervová informace se šíří jedním směrem z dendritů a těla do axonu a synaptických zakončení. (Cajal)

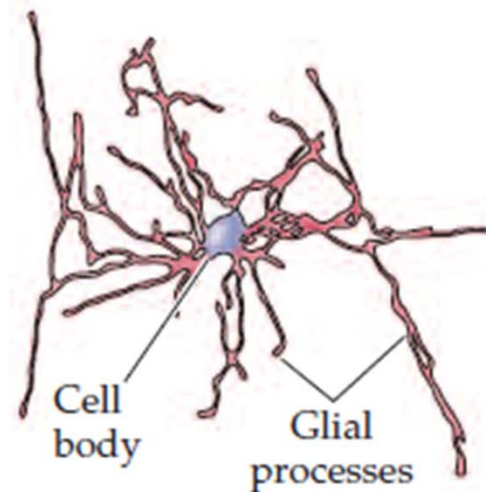
Glie

- CNS - oligodendrocyty, astrocyty, mikroglie
- PNS – Schwannovy buňky

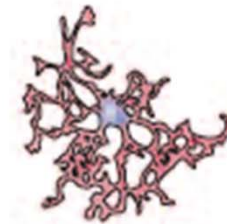
(A) Astrocyte



(B) Oligodendrocyte

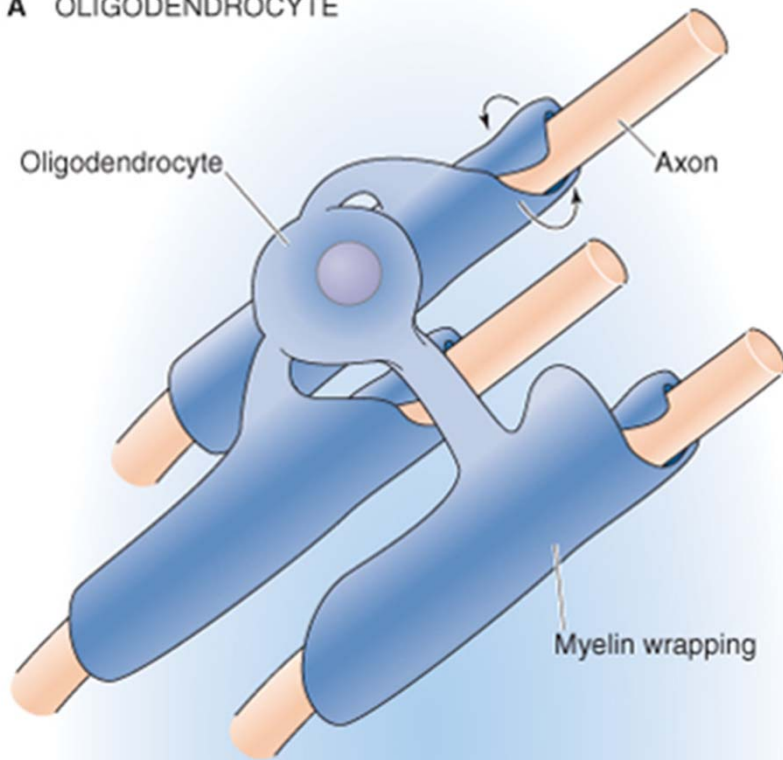


(C) Microglial cell



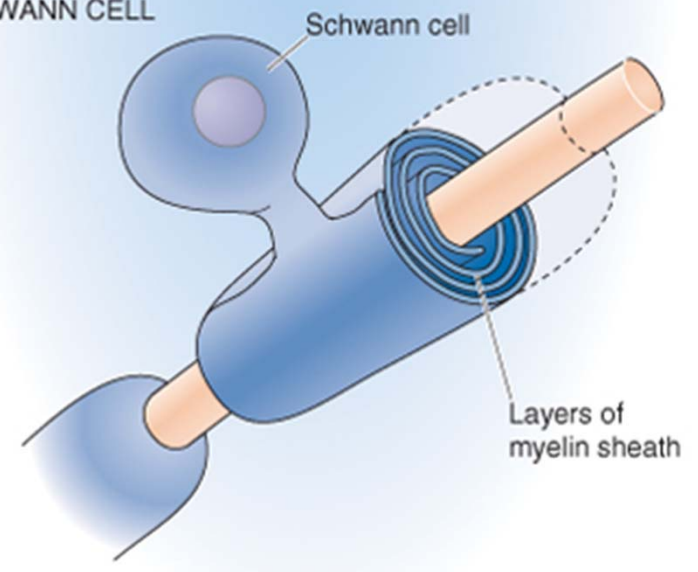
CNS

A OLIGODENDROCYTE



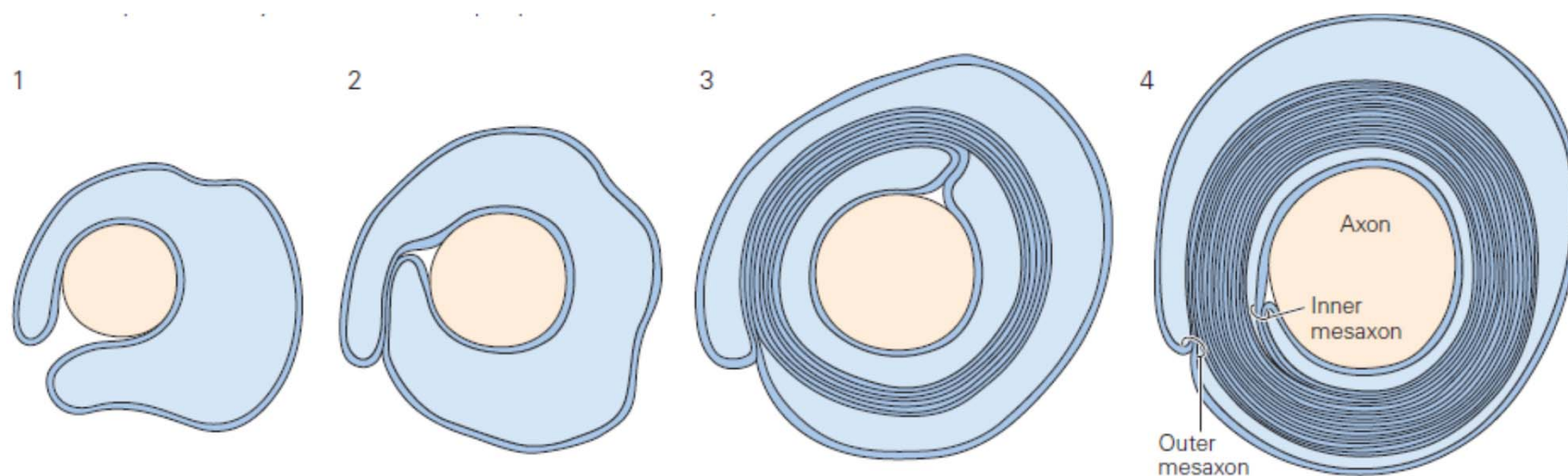
PNS

B SCHWANN CELL



Myelin

- zrychluje vedení AP

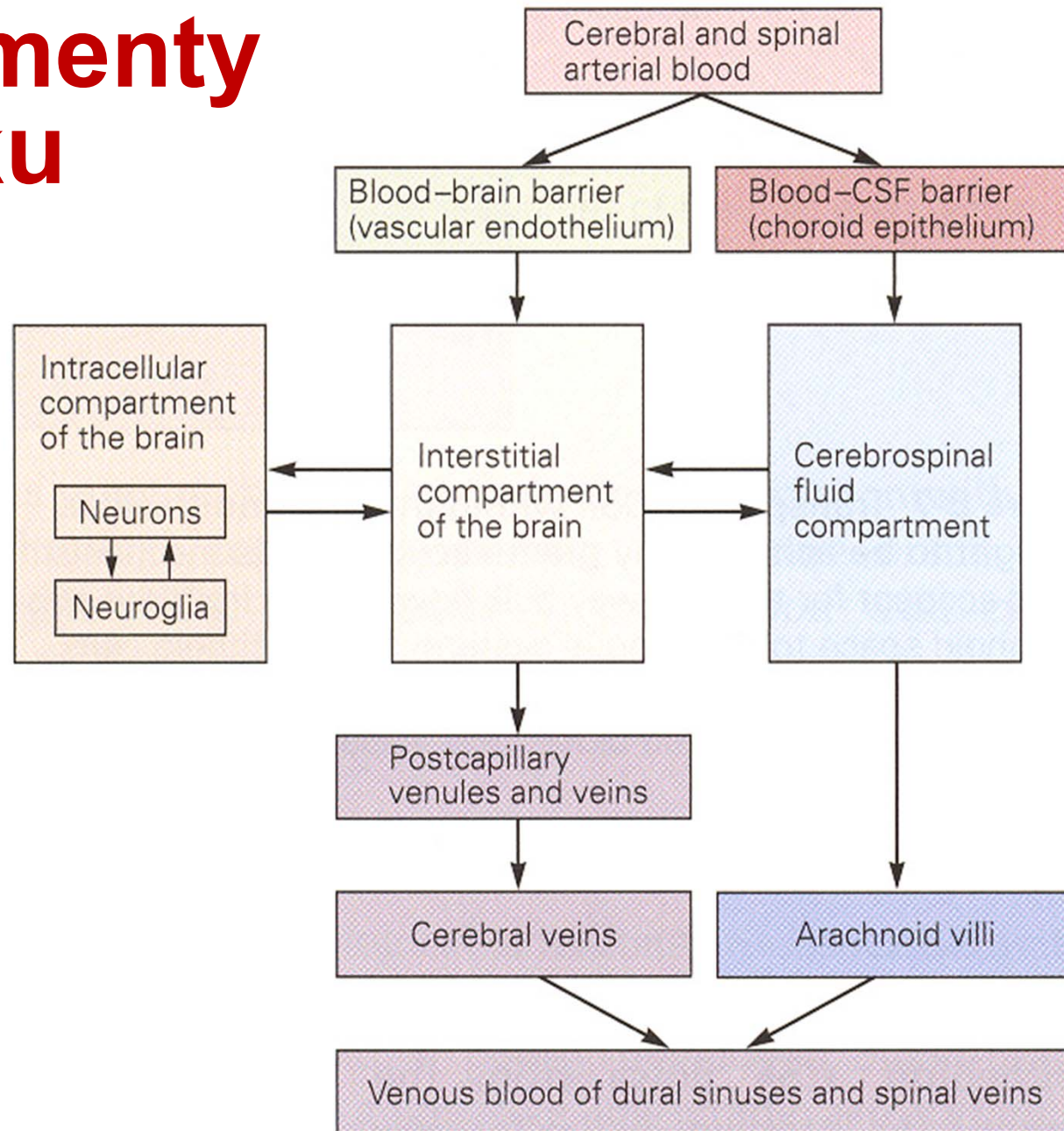


- demyelinizační onemocnění

Astrocyty

- metabolické funkce: K^+ , pH, oxidativní stress (GSH), zásoba energie (glykogen), glutamát-glutamin
- modulace synaptické aktivity, reparace tkáně

Kompartmenty mozku



Mozková cirkulace

TABLE 34–1 Resting blood flow and O₂ consumption of various organs in a 63-kg adult man with a mean arterial blood pressure of 90 mm Hg and an O₂ consumption of 250 mL/min.

Region	Mass (kg)	Blood Flow		Arteriovenous Oxygen Difference (mL/L)	Oxygen Consumption		Resistance (R units) ^a		Percentage of Total	
		mL/min	mL/100 g/min		mL/min	mL/100 g/min	Absolute	per kg	Cardiac Output	Oxygen Consumption
Liver	2.6	1500	57.7	34	51	2.0	3.6	9.4	27.8	20.4
Kidneys	0.3	1260	420.0	14	18	6.0	4.3	1.3	23.3	7.2
Brain	1.4	750	54.0	62	46	3.3	7.2	10.1	13.9	18.4
Skin	3.6	462	12.8	25	12	0.3	11.7	42.1	8.6	4.8
Skeletal muscle	31.0	840	2.7	60	50	0.2	6.4	198.4	15.6	20.0
Heart muscle	0.3	250	84.0	114	29	9.7	21.4	6.4	4.7	11.6
Rest of body	23.8	336	1.4	129	44	0.2	16.1	383.2	6.2	17.6
Whole body	63.0	5400	8.6	46	250	0.4	1.0	63.0	100.0	100.0

^aR units are pressure (mm Hg) divided by blood flow (mL/s).

Reproduced with permission from Bard P (editor): *Medical Physiology*, 11th ed. Mosby, 1961.

Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition.



Mozková cirkulace

- musí zajistit:
 - 1) **konstantní dostatečný přísun krve**
(ztráta vědomí během několika sekund mozkové ischemie, ireverzibilní poškození během několika minut)
 - 2) **dynamickou redistribuci krve**
(metabolická hyperémie)

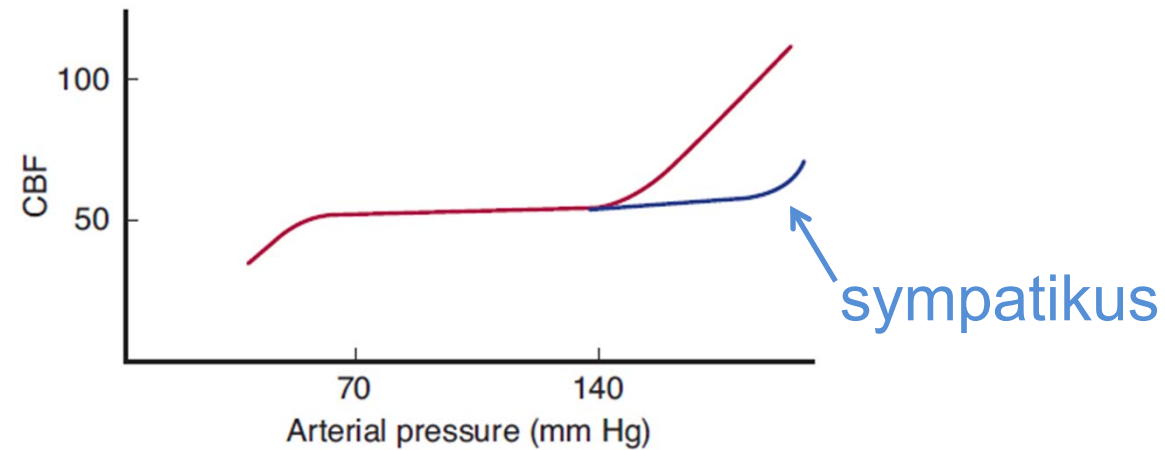
Mozková cirkulace

- Anatomické zvláštnosti mozkové cirkulace:
 - 1) *circulus arteriosus cerebri*
(propojení hlavních mozkových tepen anastomózami)
 - 2) **velmi vysoká kapilarizace**
(3000 – 4000 kapilár / mm² šedé hmoty)
~ minimalizace difúzní dráhy pro plyny i jiné látky
 - 3) **velmi krátké arterioly**
(téměř 1/2 cévního odporu připadá na artérie, které jsou bohatě inervovány)

Mozková cirkulace

- Funkční adaptace mozkové cirkulace:
 - 1) vysoký a stabilní průtok krve
 - 2) vysoká extrakce kyslíku
 - 3) dobře vyvinutá autoregulace (myogenní i metabolická)
 - 4) vysoká reaktivita na změny koncentrace CO_2
 - 5) lokální vs. celková hypoxie
 - 6) inervace

Mozková cirkulace



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition.

Mozková cirkulace

- Zvláštní fyzikální podmínky mozkové cirkulace:

1) pevný obal mozku lebkou

Monro-Kelliova teorie

→ zvýšení průtoku se může uskutečnit pouze zrychlením krevního toku, nikoliv zvětšením kapacity řečiště

→ Cushingův reflex (nádor, krvácení)

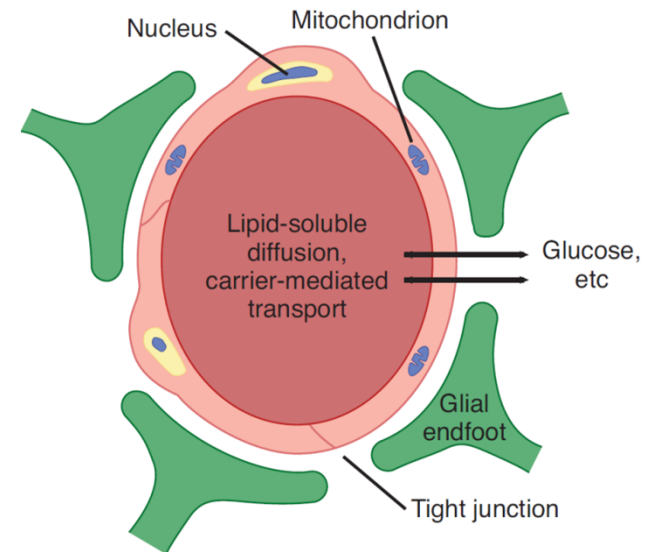
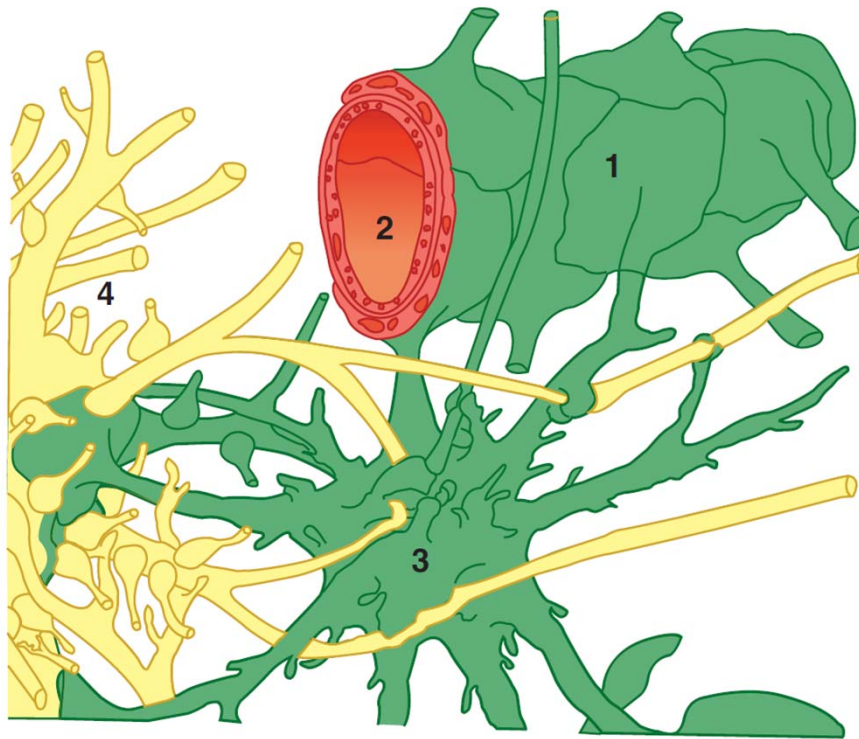
2) gravitace

ortostáza (posturální synkopa)

Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra

mozkové kapiláry – těsné interendotelové spoje



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition

Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra

Volně difundují:

→ **látky rozpustné v tucích** (O_2 , CO_2 , xenon; nevázané formy steroidních hormonů)

→ **voda** (aquaporiny; osmolalita krve a mozkomíšního moku je stejná!)

→ **glukóza** – hlavní zdroj energie pro nervové buňky (volná difúze pomalá - urychleno díky GLUT)

Transcelulárním transportem (regulovaně):

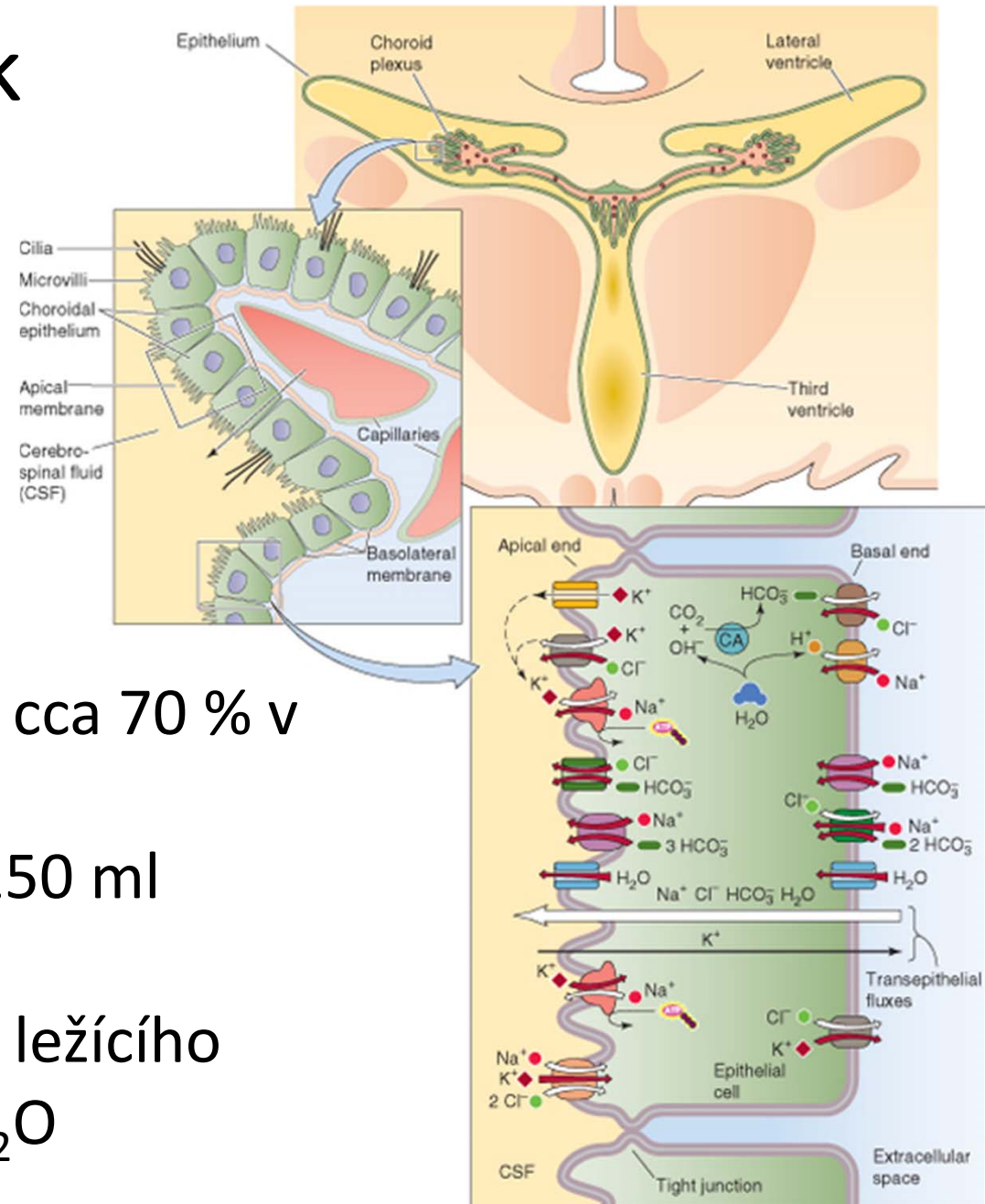
→ **ionty** (např. H^+ , HCO_3^- vs. CO_2 !)

→ dále transportéry pro **hormony štítné žlázy, některé organické kys., cholin, prekurzory nukleových kys., aminokyseliny, ...**

Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra
 - Funkce:
 - udržení konstantního složení prostředí obklopujícího neurony
 - ochrana mozku před endogenními i exogenními toxiny
 - prevence úniku neurotransmitterů do cirkulace

Mozkomíšní mok - tvorba -



450-550 ml/den (z toho cca 70 % v
plexus choriodei)
cirkulující objem: 130-150 ml

tlak v lumbální oblasti u ležícího
pacienta: 70-180 mmH₂O

Mozkomíšní mok - složení -

Substance		CSF	Plasma	Ratio CSF/Plasma
Na ⁺	(meq/kg H ₂ O)	147.0	150.0	0.98
K ⁺	(meq/kg H ₂ O)	2.9	4.6	0.62
Mg ²⁺	(meq/kg H ₂ O)	2.2	1.6	1.39
Ca ²⁺	(meq/kg H ₂ O)	2.3	4.7	0.49
Cl ⁻	(meq/kg H ₂ O)	113.0	99.0	1.14
HCO ₃ ⁻	(meq/L)	25.1	24.8	1.01
PCO ₂	(mm Hg)	50.2	39.5	1.28
pH		7.33	7.40	...
Osmolality	(mosm/kg H ₂ O)	289.0	289.0	1.00
Protein	(mg/dL)	20.0	6000.0	0.003
Glucose	(mg/dL)	64.0	100.0	0.64
Inorganic P	(mg/dL)	3.4	4.7	0.73
Urea	(mg/dL)	12.0	15.0	0.80
Creatinine	(mg/dL)	1.5	1.2	1.25
Uric acid	(mg/dL)	1.5	5.0	0.30
Cholesterol	(mg/dL)	0.2	175.0	0.001

Mozkomíšní mok - cirkulace

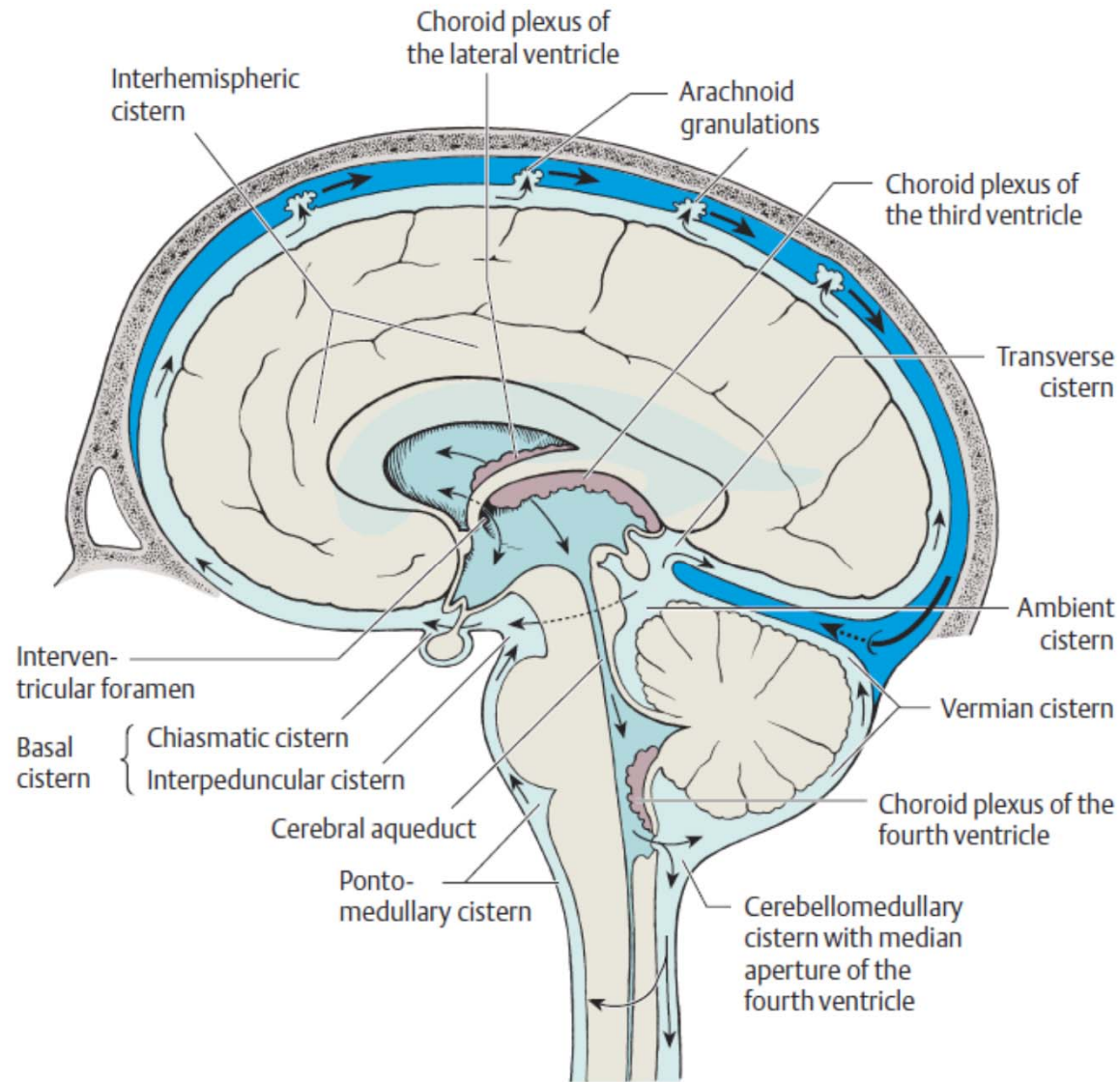
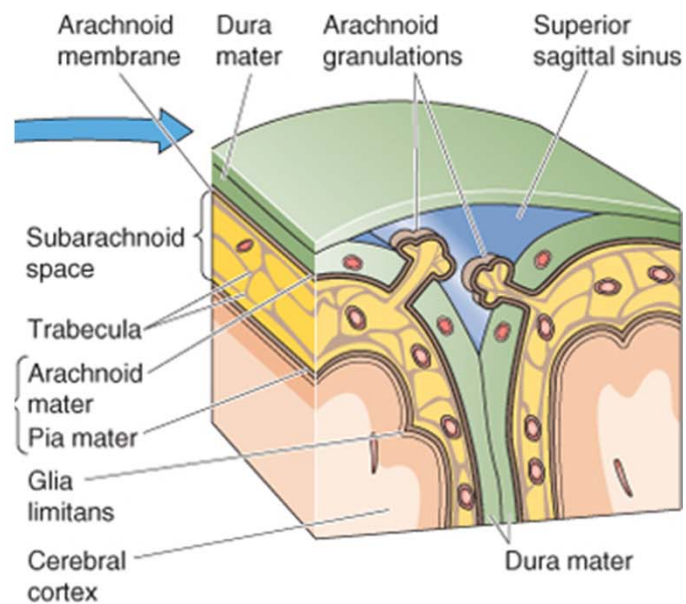
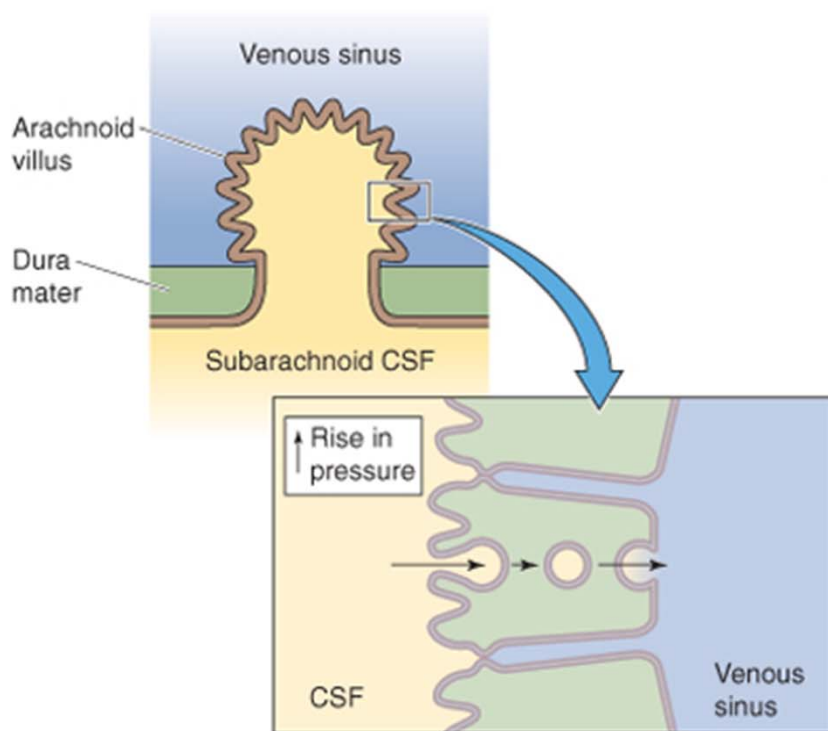


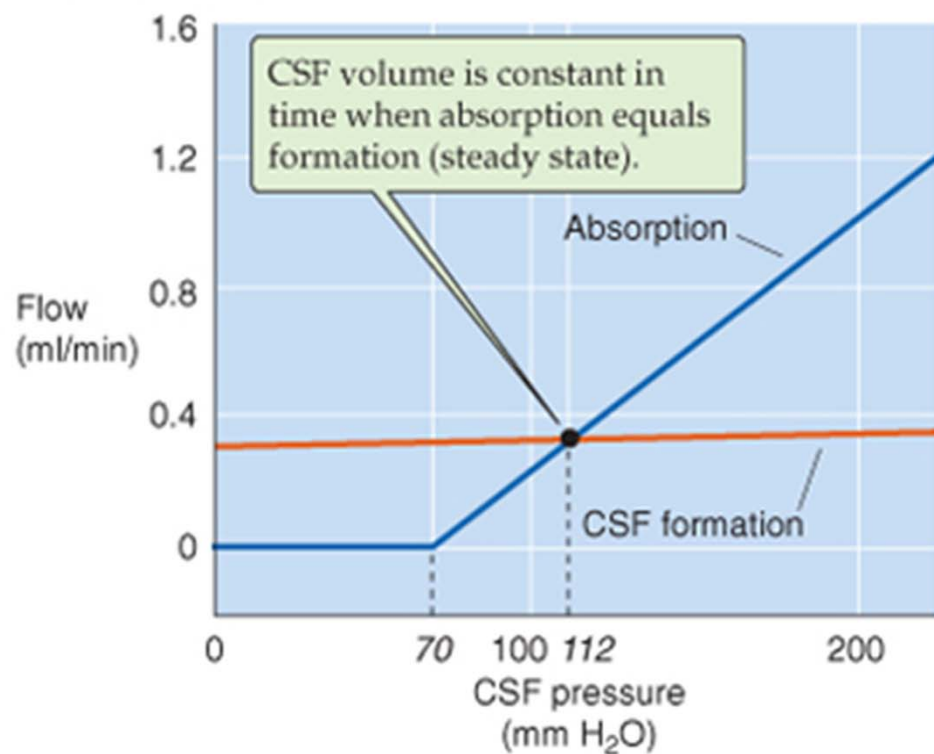
Fig. 10.4 Circulation of the cerebrospinal fluid



A MECHANISM OF CSF ABSORPTION



B RATE OF CSF ABSORPTION



Mozkomíšní mok - funkce

- mechanická a ochranná
- drenážní
- homeostatická
- přenos informací

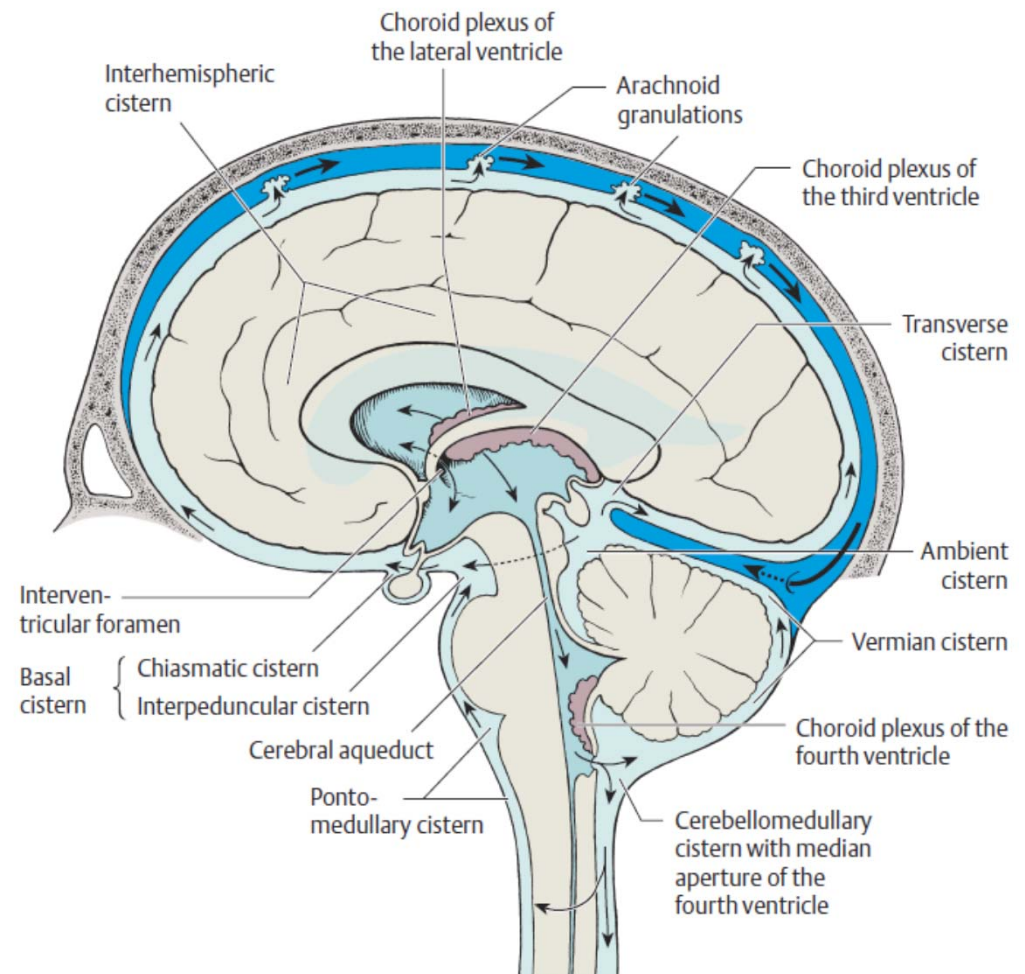
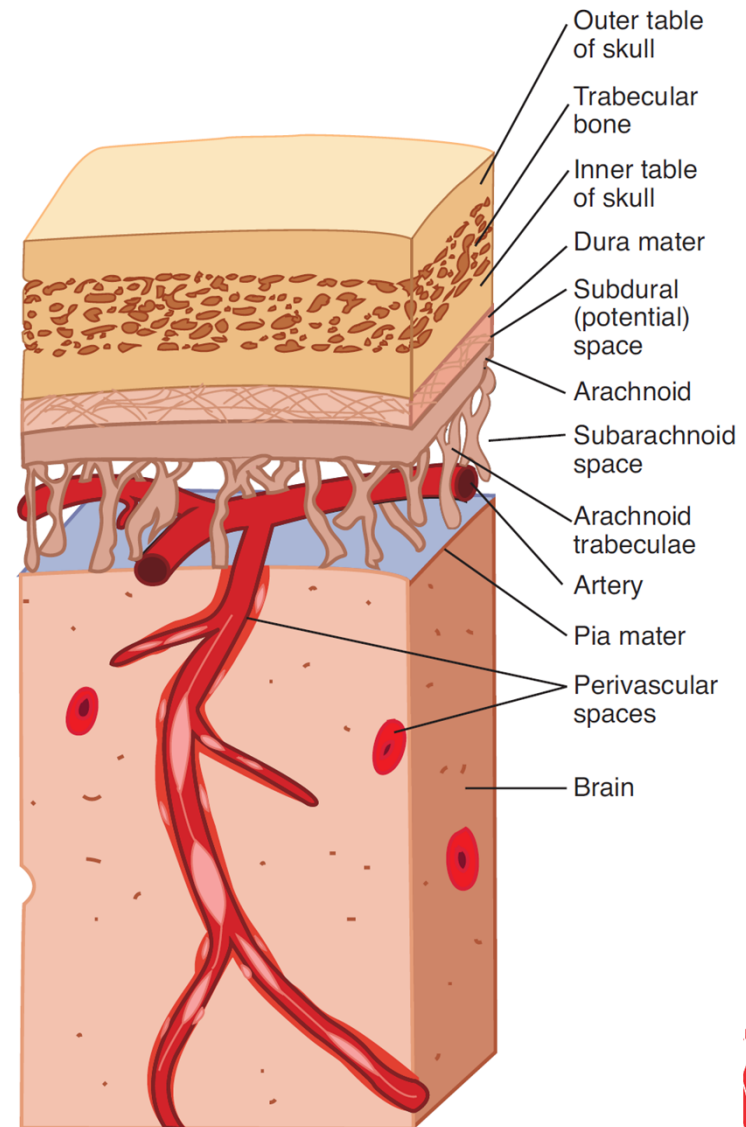


Fig. 10.4 Circulation of the cerebrospinal fluid

Mozkomíšní mok - funkce

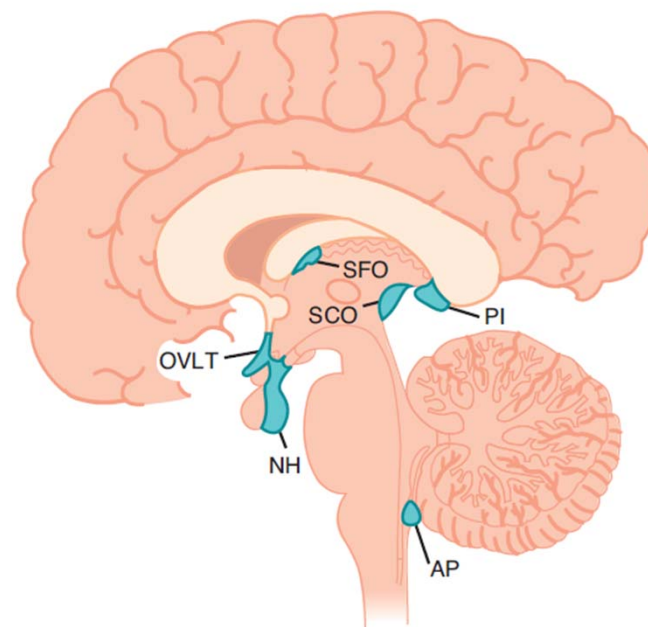
- mechanická a ochranná
- drenážní
- homeostatická
- přenos informací



Ganong's Review of Medical Physiology,
23rd edition

Mozková cirkulace

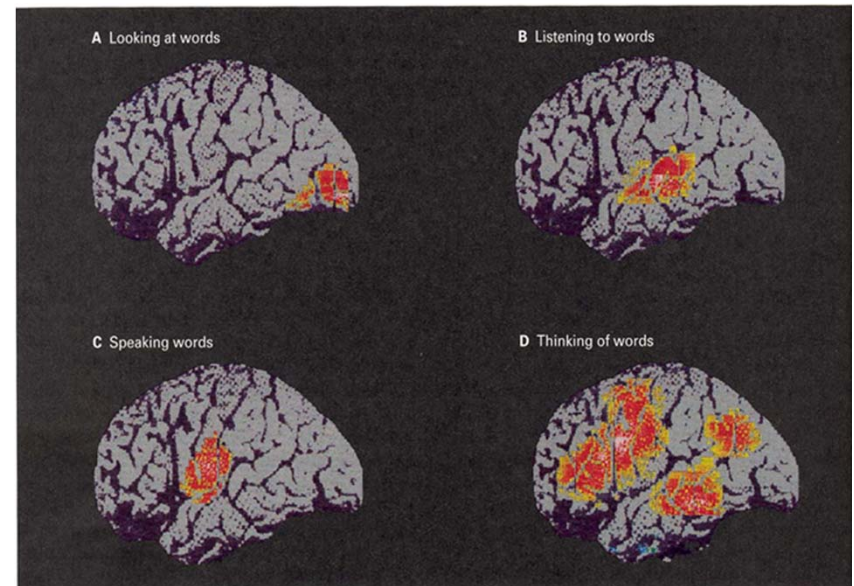
- **Paraventriculární orgány**
 - ~ oblasti mozku, kde **chybí hematoencefalická bariéra** (fenestrované kapiláry)
 - sekrece **polypeptidů** do oběhu (oxytocin, vazopresin, ...),
 - **chemorecepční zóny** (AP)
 - **osmorecepční zóny** (OVLT)



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition.

Průtok krve mozkiem

- celkový: Fickův princip - Ketyho metoda inhalace N_2O
- perfúzní CT
- invazivní metody (lokální monitoring na neurochirurgii):
 - průtok: sonda s termistory
 - pO_2
- ultrazvuk magistrálních tepen
- transkraniální dopplerovská ultrasonografie
- PET, fMRI



Zdroje energie

- glukóza (není zapotřebí inzulín)
 - astrocyty GLUT 1 přenašeče (→ laktát)
 - neurony GLUT 3 přenašeče
- za určitých podmínek:
 - ketolátky: hladovění, cukrovka
- mozek novorozence taky volné mastné kyseliny

Využití energie

- většina energie v neuronech se spotřebuje na udržení membránových gradientů a přenos elektrických signálů
- část glukózy v neuronech je přeměněna na aminokyseliny a tuky
- část z celkové spotřeby glukózy mozkiem využívá glie

Amoniak

- nadbytečný amoniak v nervové tkáni se váže na glutamát a opouští mozek ve formě glutaminu, (v ledvinách je opačná reakce)
- amoniak je pro nervovou tkáň toxický
 - hepatická encefalopatie