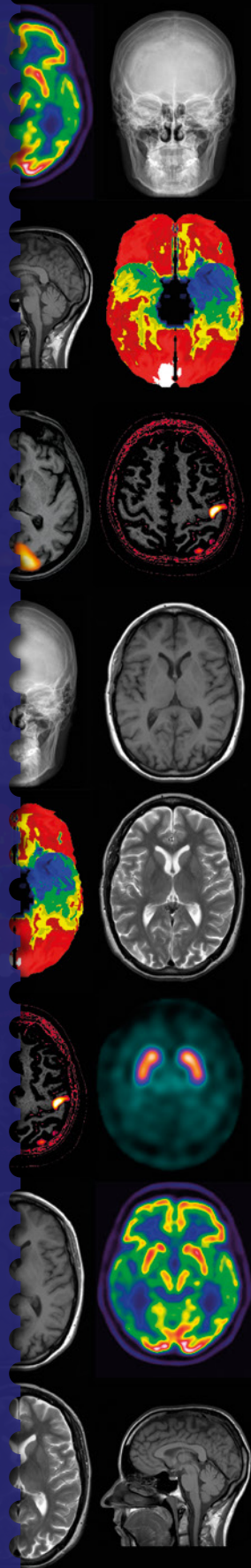


# VYŠETŘENÍ A VÝZKUM MOZKU

**PRO PSYCHOLOGY, PEDAGOGY  
A DALŠÍ NELÉKAŘSKÉ OBORY**

- základní principy stavby a funkce mozku
- zobrazovací metody – vyšetření struktury mozku
- funkční metody – vyšetření činnosti mozku
- lidský mozek a psychické procesy



*Na tomto místě chceme s úctou poděkovat  
našim blízkým,  
kteří nás podporovali či podporují,  
a našim učitelům,  
kteří nás provázeli či provázejí:  
Děkujeme vám!*

*Tuto knihu věnujeme našim studentům –  
s přáním,  
kž hledají a nalézají,  
kž se nezastavují a překračují „dané“,  
kž ve svých životech dělají to, co mají rádi,  
a mají rádi to, co dělají...*

---

## KATALOGIZACE V KNIZE - NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Orel, Miroslav

Vyšetření a výzkum mozku : pro psychology, pedagogy a další nelékařské obory / Miroslav Orel, Roman Procházka a kolektiv. -- Vydání 1. -- Praha : Grada, 2017. -- 168 stran, 16 stran obrazových příloh : barevné ilustrace. -- (Psyché)

Anglické resumé

ISBN 978-80-247-5539-7

611.81 \* 612.82 \* 616.831 \* 612.8 \* 612.821 \* 616.8-07 \* 616-073 \* 616-072.7

- mozek
- neurofyzologie
- neuropsychologie
- neurologické vyšetření
- diagnostické zobrazovací metody
- funkční diagnostika (lékařství)
- kolektivní monografie

612 - Fyziologie člověka a srovnávací fyziologie [14]

# VYŠETŘENÍ A VÝZKUM MOZKU

PRO PSYCHOLOGY, PEDAGOGY  
A DALŠÍ NELÉKAŘSKÉ OBORY

- základní principy stavby a funkce mozku
- zobrazovací metody – vyšetření struktury mozku
- funkční metody – vyšetření činnosti mozku
- lidský mozek a psychické procesy

**Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy**

*Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována ani šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.*

**MUDr. PhDr. Miroslav Orel, Ph.D.,  
PhDr. Mgr. Roman Procházka, Ph.D., a kolektiv**

**VYŠETŘENÍ A VÝZKUM MOZKU**

**Pro psychology, pedagogy a další nelékařské obory**

Vydala Grada Publishing, a.s.  
U Průhonu 22, 170 00 Praha 7  
tel.: +420 234 264 401, fax: +420 234 264 400  
www.grada.cz  
jako svou 6585. publikaci

**Spoluautoři:**

doc. MUDr. Pavel Koranda, Ph.D.  
MUDr. Zuzana Sedláčková  
MUDr. Lucie Tučková

**Recenzovali:**

prof. MUDr. Miroslav Heřman, Ph.D.  
doc. PhDr. Martin Lečbych, Ph.D.

**Ilustrace:**

MUDr. PhDr. Miroslav Orel, Ph.D. (kap. 2 a 3)  
PhDr. Mgr. Roman Procházka, Ph.D. (kap. 4 a 5)  
Ilustrace na obálce: archiv autorů

Odpovědný redaktor PhDr. Milan Pokorný, Ph.D.  
Sazba a zlom Milan Vokál  
Návrh a zpracování obálky Antonín Plicka  
Počet stran 168 + 16 stran barevné přílohy

Vydání 1., 2017

Vytiskla Tiskárna v Ráji, s.r.o., Pardubice

© Grada Publishing, a.s., 2017

ISBN 978-80-271-9773-6 (ePub)

ISBN 978-80-271-9772-9 (pdf)

ISBN 978-80-247-5539-7 (print)

# Obsah

<b>Krátké slovo na úvod</b>	<b>7</b>
<i>Miroslav Orel</i>	
<b>1. Lidský mozek</b>	<b>8</b>
<i>Miroslav Orel</i>	
1.1 Základní stavební kameny mozku	13
1.1.1 Nervové buňky – neurony	14
1.1.2 Spoje mezi neurony – synapse	19
1.2 Stavba a funkce jednotlivých etáží mozku	26
1.2.1 Mozkový kmen	29
1.2.2 Mozeček	30
1.2.3 Mezimozek	32
1.2.4 Koncový mozek	34
1.3 Vztah struktury a funkce mozku	37
<b>2. Možnosti zobrazovacích metod při vyšetření mozku</b>	<b>43</b>
<i>Miroslav Orel, Zuzana Sedláčková, Lucie Tučková</i>	
2.1 Využití RTG záření	45
<i>Miroslav Orel, Zuzana Sedláčková</i>	
2.1.1 Klasické RTG vyšetření	47
2.1.2 Mozková angiografie	48
2.1.3 Výpočetní tomografie (CT)	51
2.1.4 Nárýs intervenční radiologie	61
2.2 Využití magnetického pole	64
<i>Miroslav Orel, Zuzana Sedláčková</i>	
2.3 Využití ultrazvuku	73
<i>Miroslav Orel, Zuzana Sedláčková</i>	
2.4 Možnosti dalších speciálních metod	75
<i>Miroslav Orel, Lucie Tučková</i>	
2.4.1 Histologické metody	76
2.4.2 Histochemické metody	79
2.4.3 Imunohistochemické metody	80
2.4.4 Molekulárně-genetická vyšetření	83
2.4.5 Buněčné a tkáňové kultury	83
2.4.6 Frakcionace buněk	84

<b>3. Možnosti funkčních metod při vyšetření mozku</b>	<b>85</b>
<i>Roman Procházka, Pavel Koranda, Zuzana Sedláčková</i>	
3.1 Možnosti snímání elektrické aktivity (EEG, QEEG, ECoG, ERPs)	85
<i>Roman Procházka</i>	
3.1.1 Typologie mozkových vln a využití EEG	87
3.1.2 Evokované potenciály	92
3.2 Možnosti využití záření a metabolismu (PET, SPECT)	97
<i>Roman Procházka, Pavel Koranda</i>	
3.2.1 Pozitronová emisní tomografie	98
3.2.2 Jednofotonová emisní výpočetní tomografie	102
3.3 Možnosti využití dalších speciálních funkčních metod	105
3.3.1 Funkční magnetická rezonance	105
<i>Roman Procházka, Zuzana Sedláčková</i>	
3.3.2 Funkční blízká infračervená spektroskopie	109
<i>Roman Procházka</i>	
3.3.3 Magnetoencefalografie	110
<i>Roman Procházka</i>	
3.4 Limitace metod zkoumání funkce mozku	111
<i>Roman Procházka</i>	
<b>4. Vztahy mozkových, psychických a tělesných funkcí</b>	<b>113</b>
<i>Roman Procházka</i>	
4.1 Funkční členění mozkové kůry	117
4.1.1 Spánkový lalok	121
4.1.2 Temenní lalok	128
4.1.3 Čelní lalok	131
4.1.4 Týlní lalok	139
<b>5. Možnosti využití některých psychofyziologických metod při práci s klienty</b>	<b>144</b>
<i>Roman Procházka</i>	
<b>6. Další možnosti v rukou psychologa</b>	<b>150</b>
<i>Roman Procházka, Miroslav Orel</i>	
<b>Krátké slovo na závěr</b>	<b>156</b>
<b>Shrnutí</b>	<b>157</b>
<b>Summary</b>	<b>158</b>
<b>Seznam zkratk</b>	<b>159</b>
<b>Literatura</b>	<b>162</b>
<b>Rejstřík</b>	<b>164</b>

# Krátké slovo na úvod

Miroslav Orel

Neurovědy jsou vědní disciplíny, které se zabývají stavbou a funkcí nervového systému ve zdraví a nemoci. Zaměřují se také na možnosti ovlivnění a léčby poruch a nemocí nervového systému. Patří k oblastem vědy a poznání, které se nebývale rozvíjejí – věnují se jim po miliony hodin miliony lidí, investují se do nich nemalé finanční prostředky. Důvod je zřejmý: právě nervový systém stojí na pomyslném vrcholu řídicích a regulačních systémů, právě nervový systém, přesněji „jeho královská výsost – lidský mozek“, dovedl člověka tam, kde je – v pozitivním i negativním slova smyslu. To, co nám umožnil náš mozek, je na jedné straně hodno obdivu, na druhé straně však až děsí. Právě tento „orgán orgánů“ umožnil, že jsme se podívali do nitra atomu, hlubin oceánu, dalek vesmíru i to, že se člověk postavil proti člověku v míře, kterou příroda nezná. Díky němu dnes lidstvo stojí za okrajem možnosti vyhladit život na celé planetě...

Bez ohledu na filozofické či světonázorové pozadí se pravděpodobně shodneme v tom, že lidský mozek nese naprosto mimořádný význam, potenciál a možnosti. Jak se můžeme podívat na jeho stavbu a funkci v dnešní době? Jaké možnosti medicína, psychologie a jiné disciplíny mají, aby poodhalily tajemství orgánu, který více než jiné činí člověka člověkem? Právě to chceme v naší knize stručně přiblížit.

Tato publikace vznikla z potřeby poskytnout stručný přehled nejčastějších nebo nejznámějších metod, které lidský mozek zkoumají ve zdraví a nemoci. Naším záměrem je přehledně seznámit s možnostmi soudobého vyšetření mozku tak, aby si čtenář udělal jasnou představu, ale aby nebyl zahlcen technickými či medicínskými podrobnostmi a neztratil se v detailech.

O lidském mozku se dnes učíme už od základní školy. Aby byla naše kniha celistvá, věnujeme se nejprve stručnému zopakování základních poznatků o stavbě a funkci mozku a jeho částí i my. Poté se zaměříme na dvě základní linie – vyšetření morfologie (stavby) a vyšetření funkce mozku.

Jelikož je naše kniha primárně určena pro studenty a absolventy nemedicínských oborů (jako je psychologie, pedagogika apod.), akcentujeme také vztah mozku k psychice jako takové a možnosti využití výsledků vyšetření mozku při práci s klienty.

Naší snahou je přinést přehledný a čtivý text, který nabídne základ, nepobouří stručností a nezahltí podrobnostmi. Vycházíme z aktuálních zdrojů a z praxe. Text jsme doplnili ilustracemi, snímky z vyšetření a fotografiemi, aby se zvýšila názornost a sdělnost.

Snad naše kniha ukáže, jak úžasný lidský mozek je.

A snad podnítl zájem a chuť dozvědět se více – ostatně i to je podmíněno mozkiem samotným.

# 1. Lidský mozek

*Miroslav Orel*

Hlavním tématem naší knihy jsou základní možnosti vyšetření a zkoumání mozku, které máme v současné době k dispozici. Než se k tomu dostaneme, považujeme za vhodné a účelné se alespoň krátce zastavit u shrnutí poznatků, které o jeho stavbě a funkci máme.

V této kapitole přinášíme opravdu základ základu, abychom uvedli podstavu poznatků, na které budeme v dalších částech naší knihy dále stavět.

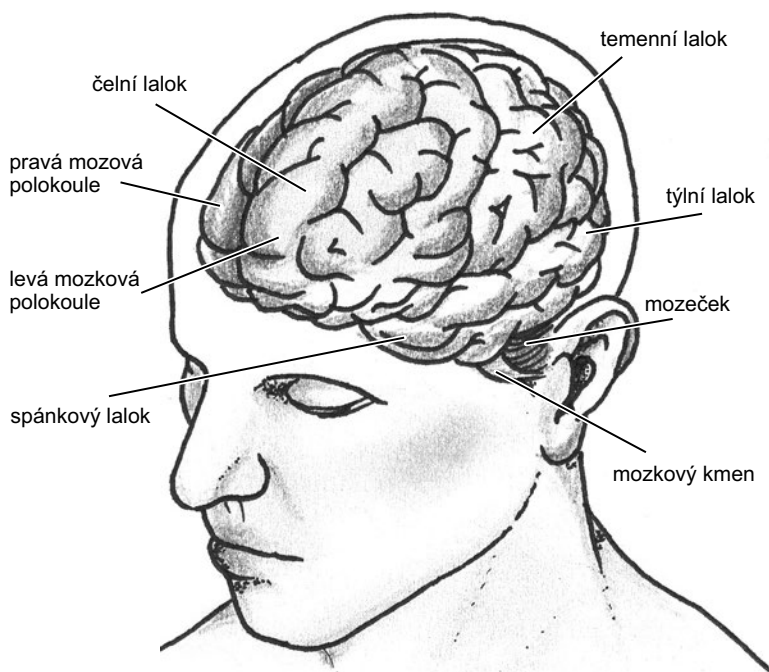
Z hlediska stavby a funkce je lidský mozek mimořádný svou složitostí. Je tvořen řádově miliardami nervových buněk, které jsou vzájemně propojeny biliardami vzájemných spojení (synapsí). Mozek člověka tak lze beze sporu označit za vskutku výjimečný orgán, za jakéhosi „krále mezi orgány“. Nezůstává nicméně izolovaný, ale je (jako jiné orgány) **nedílnou a integrovanou součástí hierarchie** lidského bytí, tvořenou řadou úrovní:

1. úroveň subatomárních částic;
2. úroveň atomů;
3. úroveň molekul a makromolekul;
4. úroveň buněčných organel;
5. úroveň buněk (nervové a podpůrné buňky);
6. úroveň tkání (nervová tkáň);
7. úroveň orgánů (mozek);
8. úroveň orgánových soustav (nervová soustava, která je členěna na centrální a periferní nervovou soustavu);
9. úroveň organismu jako biologické entity;
10. úroveň lidského bytí jako komplexu bio-psycho-sociálně-spirituálního.

Pokud bychom pokračovali dál, dostali bychom se až na úroveň ekosystémů a života na planetě Zemi, na úroveň Sluneční soustavy, Mléčné dráhy a Vesmíru jako takového – jsme jeho součástí.

Mozek je uložen v ochranném pouzdře mozkové části lebky (*neurocrania*).

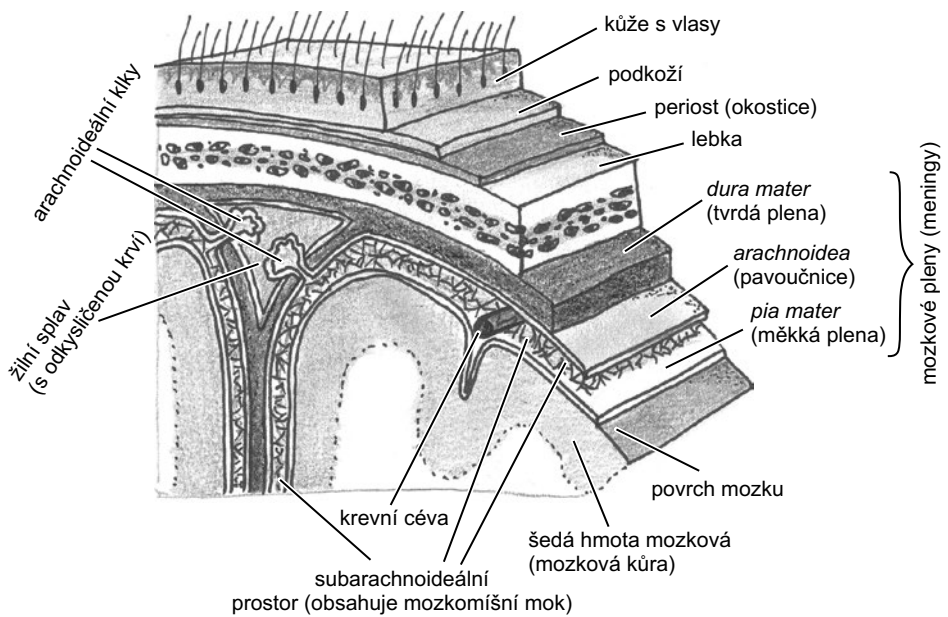




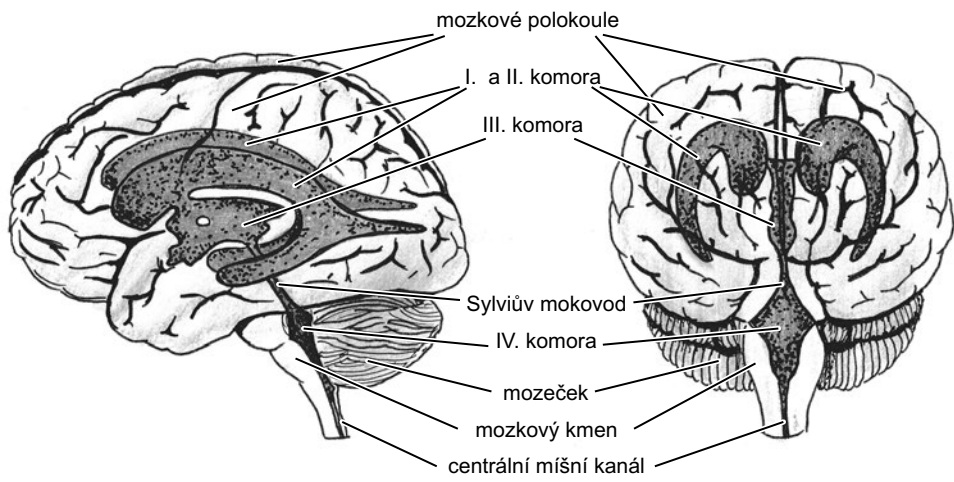
**Obr. 1.1** Uložení mozku v hlavě

Pod kostěným obalem nacházíme tři **SPECIFICKÉ MOZKOVÉ OBALY**. Říkáme jim pleny či meningy:

1. **Tvrdá plena mozková** (*dura mater encephali*) je nejsvrchnější obal. Má podobu tuhé vazivové blány, která naléhá na vnitřní plochu lebky. Svým výběžkem zasahuje do prostoru mezi mozkové polokoule a mimo jiné tvoří stěny žilních splavů, které odvádějí z mozku odkysličenou krev.
2. **Mozková pavučnice** (*arachnoidea encephali*) představuje střední mozkovou plenu. Směrem k mozku z ní vybíhají tenká vazivová vlákna. Prostor pod touto plenou – subarachnoideální prostor – je vyplněn mozkomíšním mokem. Kapalné prostředí mozkomíšního moku vytváří ochranný vodní plášť a poskytuje mozku ochranu před otřesy a nárazy.
3. **Měkká plena mozková** (*pia mater encephali*) jako tenká vazivová blána naléhá přímo na povrch mozku.



**Obr. 1.2** Mozkové obaly



**Obr. 1.3** Mozkové komory

**MOZKOMÍŠNÍ MOK** je tekutina vznikající v hloubi mozkových komor v **choroideálních plexech** (*plexus chorioideus*). Nachází se tak nejen kolem mozku (ve zmíněném subarachnoideálním prostoru), ale rovněž v nitru hmoty mozku, přesněji v komorovém systému. Ten představují čtyři vzájemně propojené **mozkové komory** (*ventriculi cerebrales*).

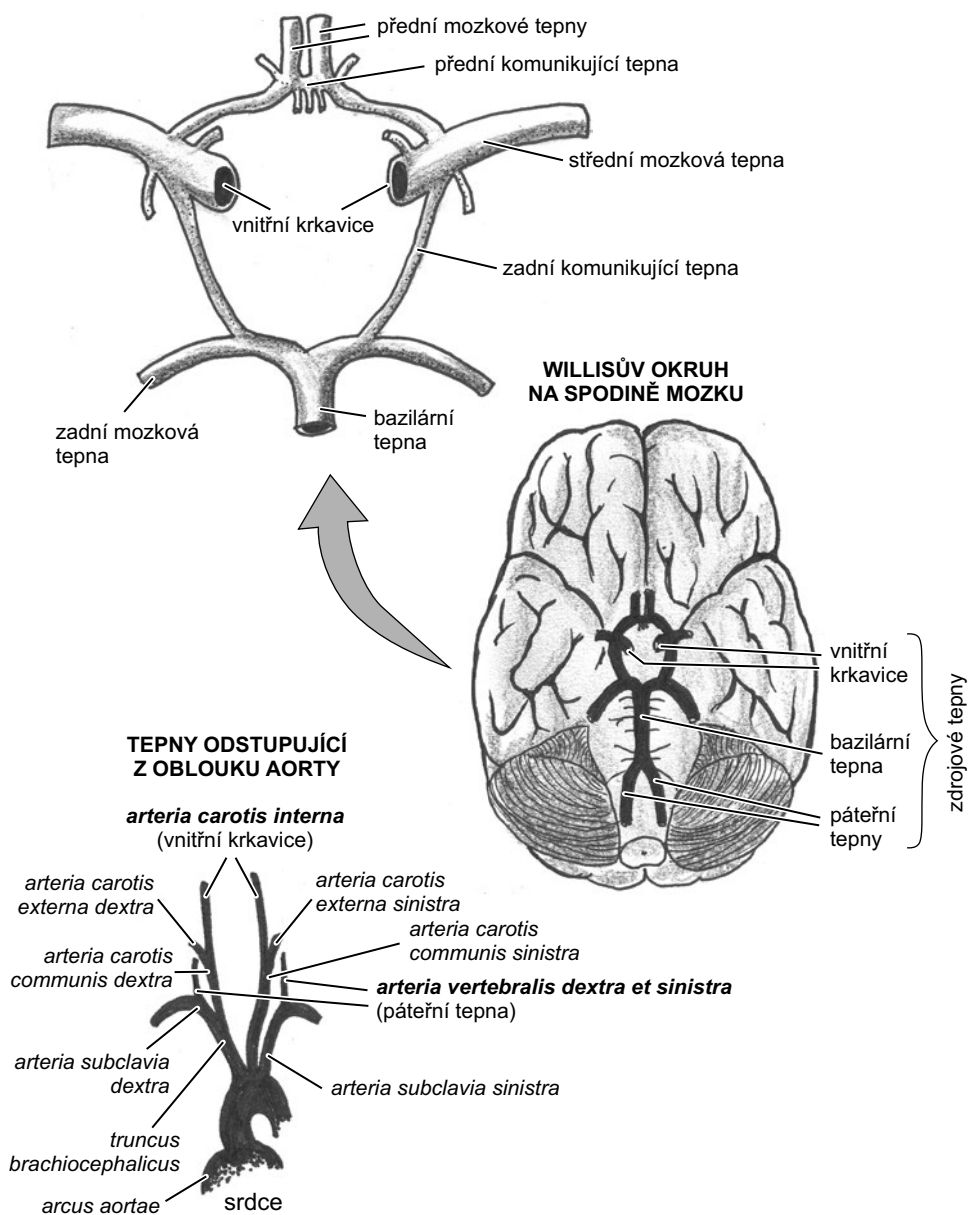
Mozkomíšní mok vzniká, neustále se doplňuje a opět vstřebává. Proudí komorovým systémem a dostává se do subarachnoideálního prostoru. Jeho přebytky se vstřebávají prostřednictvím výběžků pavučnice – arachnoideálních klků (*granulationes arachnoideales*).

Mozek váží zhruba 1,3–1,4 kg. Nároky mozku na dodávku kyslíku a živin jsou vysoké: mozek, který u průměrného člověka představuje asi 2 % hmotnosti těla, spotřebuje až 20 % veškerého kyslíku.

**DODÁVKU OKYSLIČENÉ KRVE** do mozku zajišťují celkem tři tepny:

1. **pravá vnitřní krkavice** (*arteria carotis interna dextra*);
2. **levá vnitřní krkavice** (*arteria carotis interna sinistra*);
3. **bazilární tepna** (*arteria basilaris*), která vzniká spojením pravé a levé páteřní tepny (*arteria vertebralis dextra et sinistra*).

Tři uvedené zdroje jsou propojeny **Willisovým arteriálním okruhem** (*circulus arteriosus Willisii*), ze kterého pak odstupují cévy zásobující jednotlivé oblasti mozku, zejména přední, střední a zadní mozková tepna (*arteria cerebri anterior, media et posterior*).



**Obr. 1.4** Cévní zásobení mozku

## 1.1 Základní stavební kameny mozku

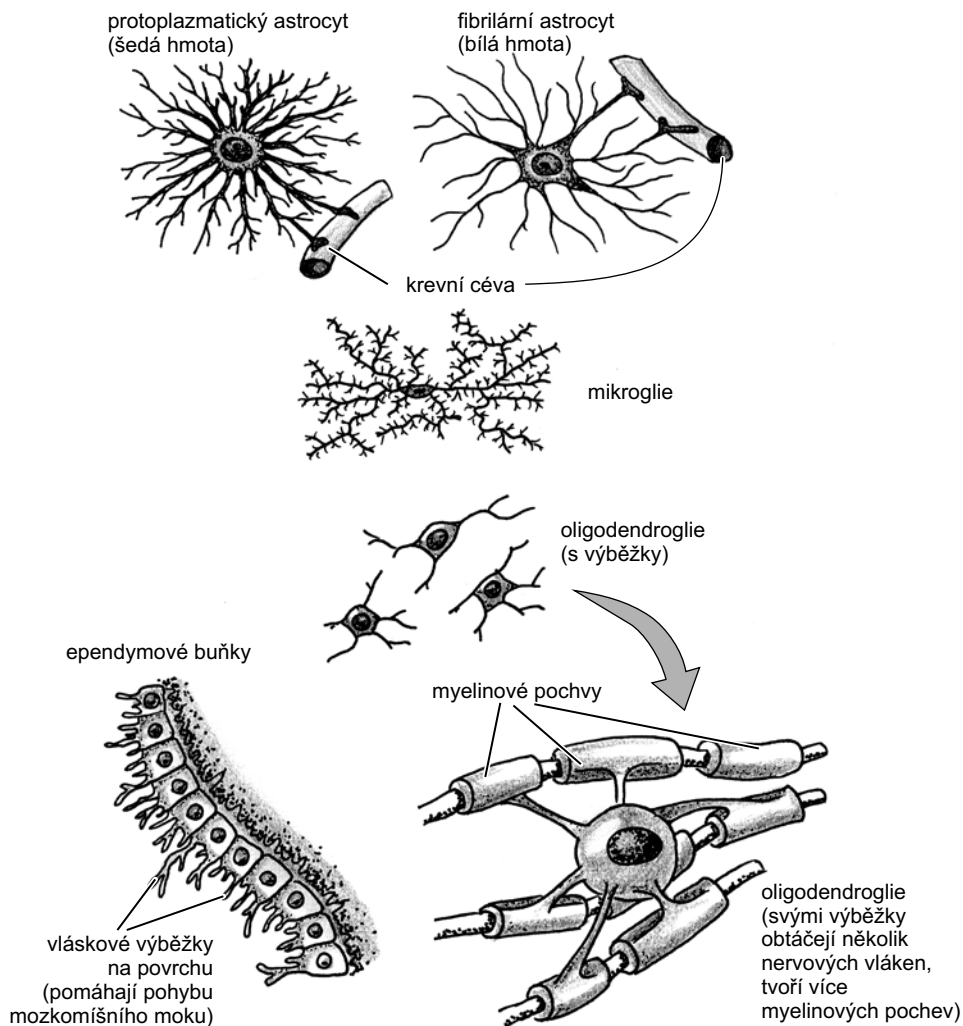
Každý objekt je složen z určitých dílčích součástí. Základními buňkami nervové tkáně (a tedy i našeho mozku) jsou **buňky nervové** a **podpůrné**:

- **NERVOVÉ BUŇKY (NEURONY)** jsou vlastními stavebními kameny. Pro jejich kardinální význam jim dále věnujeme samostatnou podkapitolu.
- **PODPŮRNÉ BUŇKY (GLIE)** jsou pro činnost všech nervových buněk nezbytné. Početně dokonce převažují nad neurony. Glie zastávají funkce stavební, ochranné i metabolické. Vytvářejí obaly nervových vláken, zprostředkovávají výživu, imunitní dohled či odklizení odumřelých struktur. Mnohé glie jsou zdrojem látek nezbytných pro funkci neuronů. Podpůrné buňky sice informace prostřednictvím elektrických potenciálů samy nevedou, pro vznik a šíření vzruchu jsou však nezbytné. Ukazuje se, že v přenosu informací hrají glie nezanedbatelnou roli.

Převod informací prostřednictvím glií se nazývá **gliotransmise**. Z aktuálních výzkumů vyplývá, že astrocyty mohou významně ovlivňovat neuronální synapse a také se účastnit přenosu signálu. Bylo prokázáno, že přibližně 75 % synapsí v hipokampu v mozku je doslova obaleno výběžky astrocytů. Astrocyty mají podobně jako neurony receptory a iontové kanály, a mohou proto reagovat na přítomnost neuropřenašečů. Bývají mezi sebou hojně propojeny strukturami podobným elektrickým a vytvářejí mezi sebou funkční síť (synticia). Aktivace astrocytů v blízkosti synapse vyvolá uvnitř jejich funkční sítě přenosy signálů díky krátkodobému zvýšení koncentrace vápníkových iontů (vápníkové vlny). Tyto vápníkové vlny se po ve funkční síti (synticiu) mohou šířit i ke vzdálenějším synapsím a tím ovlivnit i jiné synapse.

V lidském mozku nacházíme především astrocyty, oligodendroglie, ependymové buňky a mikroglie.

- **Astrocyty** (glie hvězdicovitého tvaru) jsou v kontaktu s krevními kapilárami a zajišťují mozkovým neuronům výživu.
- **Oligodendroglie** svými výběžky omotávají nervová vlákna. Vytvářejí tak obaly, které jednotlivá vlákna navzájem elektricky izolují a významně zvyšují rychlost šíření informací nervovým vláknem (v podobě elektrických potenciálů).
- **Ependymové buňky** vystylají komorový systém. Jako součást choroidálního plexu se podílejí na vzniku mozkomíšního moku. Kmitáním svých pohyblivých řasinek přispívají k pohybu mozkomíšního moku.
- **Mikroglie** jsou podpůrné buňky s čistící a imunitní funkcí.



**Obr. 1.5** Podpůrné buňky mozku

## 1.1.1 Nervové buňky – neurony

Nervové buňky (neurony) jsou vysoce specializované buňky, které zpracovávají, rozvádějí, převádějí, upravují i tvoří **informace v podobě elektrických potenciálů**.

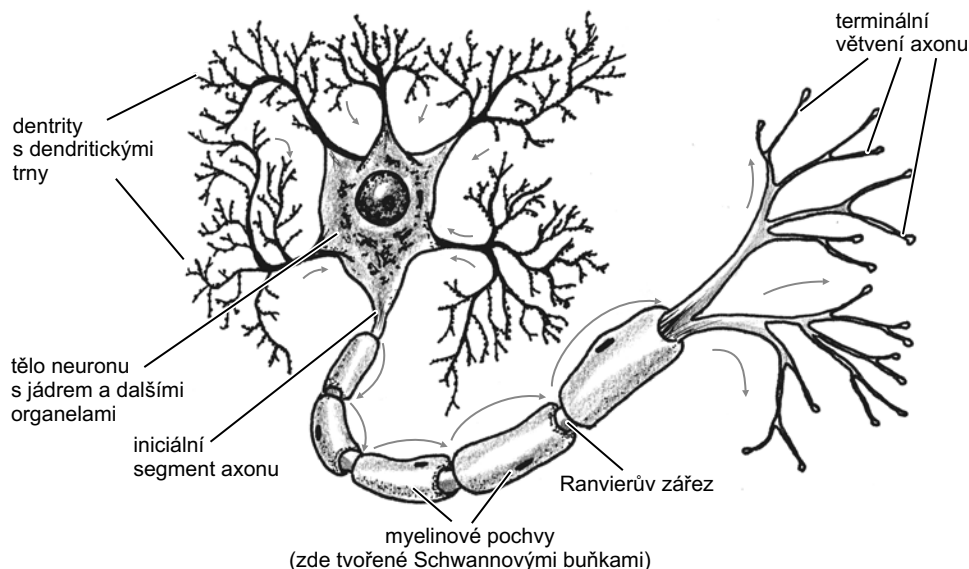
Celkový počet neuronů v lidském mozku je odhadován na stovky miliard. Ačkoli mohou nové neurony v omezeném počtu vznikat z kmenových buněk i v dospělosti,

zralé neurony ztratily schopnost se množit. Vznikají tak primárně během nitroděložního života ze svých předchůdců (neuroblastů) a jejich počet v průběhu života klesá.

K významným **změnám v počtu neuronů** (ve smyslu úbytku) dochází v důsledku řady chorobných procesů. Ty mohou mít původ přímo v mozku, jako jsou atroficko-degenerativní onemocnění (například demence Alzheimerova typu). Mohou však vycházet také z působení neurotoxických látek (například alkoholu) nebo z onemocnění jiných systémů, jako například důsledky poruch prokrvení ve smyslu ischemie (čili nedokrvení) nebo krvácení u cévních mozkových příhod (neboli iktů či mozkových mrtvic) nebo ischemicko-vaskulárních forem demencí.

Neurony jsou buňky rozmanitých tvarů a velikostí. Jejich **základní stavba** je však obdobná. Obsahují vždy tělo a systém výběžků:

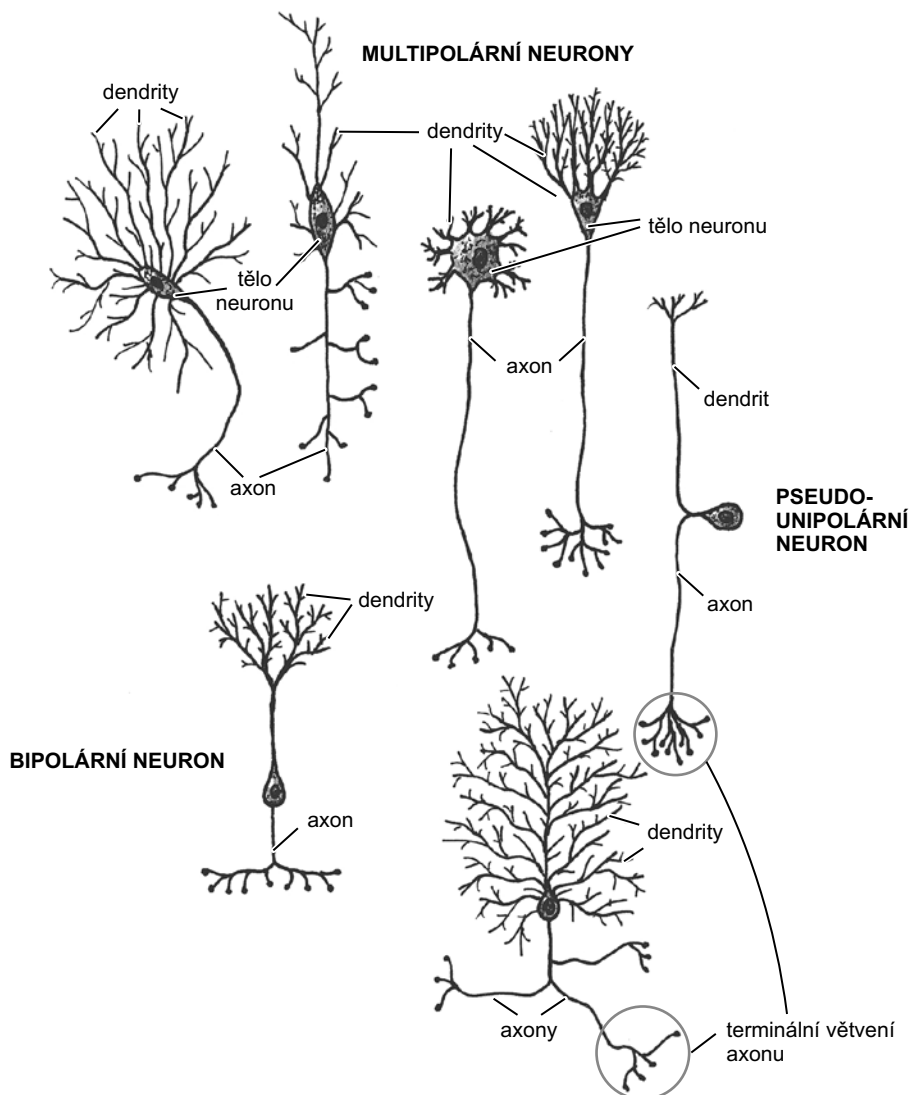
- **Tělo (soma)** je ústřední částí každého neuronu. Obsahuje jádro, endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, mitochondrie, ribozomy a další buněčné organely. Tvarem může tělo neuronu připomínat pyramidu, ovál, kouli, kapku, hvězdicu apod.
- **Dendrity** jsou vesměs početné dostředivé výběžky, které přivádějí informace vždy k tělu nervové buňky.
- **Axon (neurit)** je různě dlouhý výběžek, který vede informace vždy směrem od těla nervové buňky. Větví se zpravidla až na konci.



**Obr. 1.6** Stavba nervové buňky (šipky označují směr šíření informace)

Z funkčního hlediska rozeznáváme neurony:

- **motorické** – ovládající hybnost kosterního svalstva;
- **senzitivní** – přenášející smyslové informace;
- **vegetativní** (neboli autonomní) – řídící vnitřní orgány a funkce bez účasti vůle;
- **propojovací** (neboli interneurony) – propojující a integrující informace.



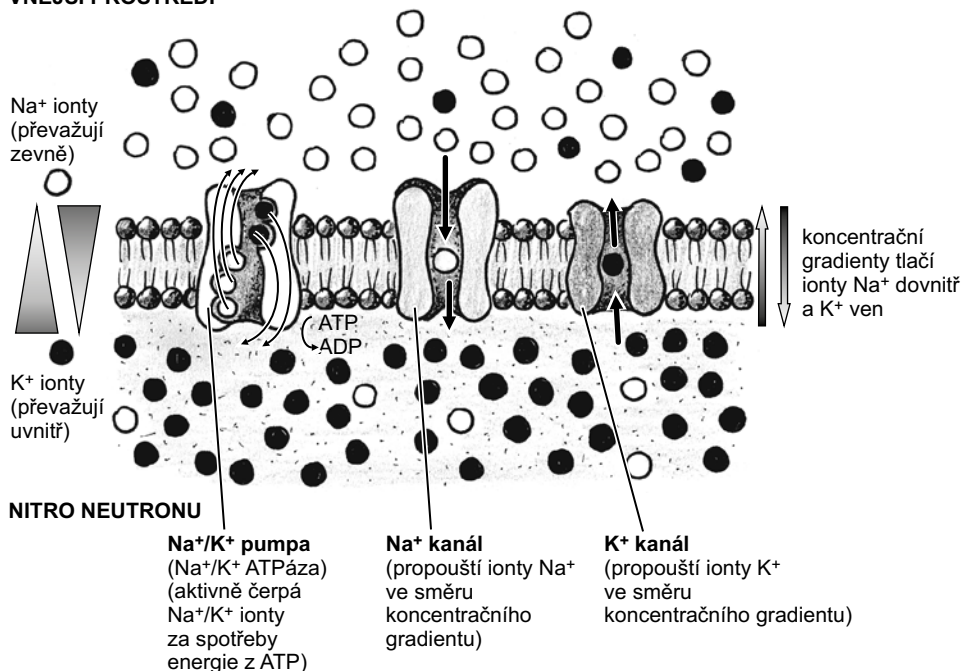
Obr. 1.7 Různé typy nervových buněk



**Plazmatická membrána** neuronu je v klidu **polarizovaná**: z její vnitřní strany převažuje náboj záporný (podmíněný zejména bílkovinami) a z vnější strany převažuje náboj kladný (podmíněný především unikajícími draselnými ionty). Klidový proud draselných iontů z buňky je podmíněn především propustností membrány pro tyto ionty. Hnací silou je **koncentrační gradient**. Velikost klidového potenciálu je  $-60$  až  $-90$  mV.

Díky činnosti **sodíko-draslíkových pump** ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPázy) je uvnitř neuronu udržována převaha draselných ( $\text{K}^+$ ) iontů a vně neuronu převaha sodných ( $\text{Na}^+$ ) iontů. Pokud mají tyto pumpy dostatek energie (je dodávána v podobě adenosintrifosfátu – ATP), čerpají uvedené ionty a vytvářejí koncentrační gradient. Ten tlačí ionty draslíku ven a ionty sodíku dovnitř. Stačí pak změnit propustnost membrány pro dané ionty a koncentrační gradient podmíní jejich proud z místa o větší koncentraci do místa o nižší koncentraci. Jelikož ionty nesou náboj, je jejich přesun spojen se změnami polarizace. Právě to je základním principem změn potenciálu na membráně nervové buňky, a tedy vedení informací nervovými vlákny.

#### VNĚJŠÍ PROSTŘEDÍ

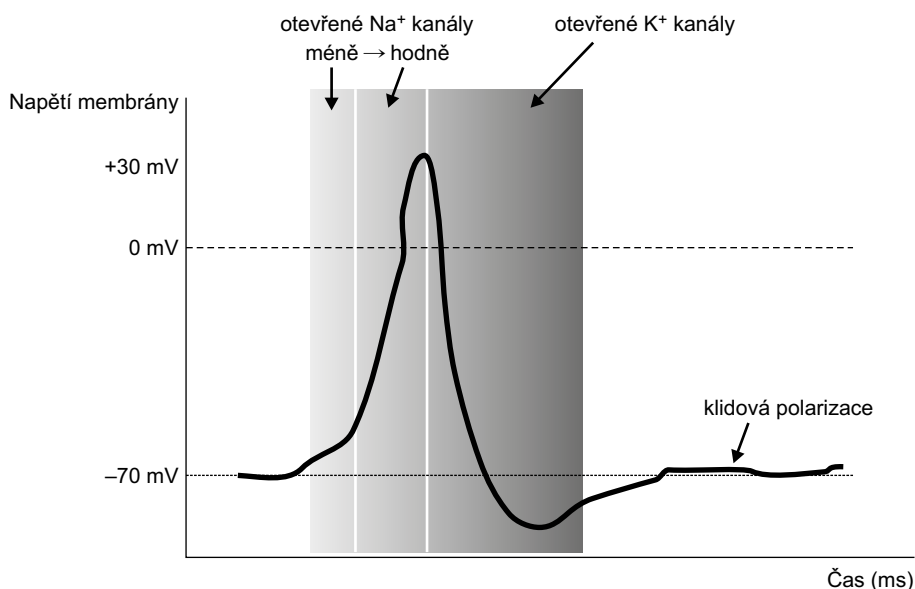


**Obr. 1.8** Sodíko-draslíková pumpa a koncentrační gradienty  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  iontů

Neurony přenášejí informace v podobě **AKČNÍCH POTENCIÁLŮ** (AP). Pro tento potenciál platí zákon „vše nebo nic“ – akční potenciál je, nebo není: pokud je, má vždy stejný průběh.

Akční potenciál má charakteristické **fáze a průběh**. Skládá se z depolarizace, transpolarizace, repolarizace a hyperpolarizace. Jednotlivé fáze jsou podmíněny změnami iontových toků přes membránu nervové buňky. Hnací silou těchto toků je již zmíněný koncentrační gradient.

- **Depolarizace** je vyvolána otevřením rychlých  $\text{Na}^+$  kanálů, kterými  $\text{Na}^+$  ionty proudí dovnitř neuronu a vnášejí sem kladný náboj (*de facto* ruší klidovou polarizaci membrány). Vrcholem depolarizace je úplné přepólování membrány – **transpolarizace**, kdy uvnitř je kladný náboj (vnesený sem  $\text{Na}^+$  ionty) a zevně náboj záporný. Jelikož jsou  $\text{Na}^+$  kanály otevřeny pouze velmi krátkou dobu, je depolarizace rychlá.
- **Repolarizace** je způsobena otevřením  $\text{K}^+$  kanálů a proudem  $\text{K}^+$  iontů. Víme, že ionty se pohybují vždy ve směru svého koncentračního gradientu:  $\text{K}^+$  ionty proto unikají ven z neuronu a vynášejí kladný náboj. Můžeme říci, že vracejí potenciál zpět do klidových podmínek.
- Jelikož jsou  $\text{K}^+$  kanály otevřeny delší dobu, uniká jimi více  $\text{K}^+$  iontů, než přiteklo  $\text{Na}^+$  iontů. Polarizace je tak na konci akčního potenciálu dočasně ještě vyšší než v klidu. To se nazývá **hyperpolarizace**.



**Obr. 1.9** Akční potenciál