

Miroslav Orel a kolektiv

Nervový systém člověka

pro humanitní obory

KATALOGIZACE V KNIZE - NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Orel, Miroslav, 1973-

Nervový systém člověka : pro humanitní obory / Miroslav Orel a kolektiv. --

Vydání 1.. -- Praha : Grada, 2025. -- 1 online zdroj. -- (Psyché)

České a anglické resumé

Obsahuje bibliografii a rejstřík

ISBN 978-80-271-7824-7 (online ; pdf)

* 612.8 * 612 * 611.8+612.8+616.8 * (048.8:082) * (0.034.2:08)

- nervový systém
- fyziologie člověka
- neurovědy
- kolektivní monografie
- elektronické knihy

612 - Fyziologie člověka a srovnávací fyziologie [14]

Miroslav Orel a kolektiv

Nervový systém člověka

pro humanitní obory

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

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

Automatizovaná analýza textů nebo dat ve smyslu čl. 4 směrnice 2019/790/EU a použití této knihy k trénování AI jsou **bez souhlasu nositele práv zakázány**.

MUDr. PhDr. Miroslav Orel, Ph.D., a kolektiv

Nervový systém člověka pro humanitní obory

Autorský kolektiv:

PaedDr. Mgr. Věra Facová (textová část)

PhDr. Eva Aigelová, Ph.D. (textová část)

MUDr. Jakub Čivrný, Ph.D. (textová část, snímky a fotografie z vyšetření)

doc. MUDr. Pavel Koranda, Ph.D. (textová část, snímky a fotografie z vyšetření)

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, 170 00 Praha 7

tel.: +420 234 264 401

www.grada.cz

jako svou 9939. publikaci

Recenzenti:

prof. PhDr. Alena Plháková, CSc.

doc. MUDr. Jiří Nečas, CSc.

Ilustrace MUDr. PhDr. Miroslav Orel, Ph.D.

Odpovědná redaktorka Andrea Černá

Redakce a korektury PhDr. Jaroslava Hájková

Grafická úprava Antonín Plicka

Návrh a zpracování obálky Antonín Plicka

Počet stran 480

Vydání 1., 2025

Vytiskla TISKÁRNA V RÁJI, s.r.o., Pardubice

© Grada Publishing, a.s., 2025

ISBN 978-80-271-7824-7 (pdf)

ISBN 978-80-271-5297-1 (print)

Obsah

Krátké slovo na úvod	11
1. Systém neurověd – vědních oborů zabývajících se oblastí nervového systému	15
2. Chemická a buněčná úroveň stavby a funkce nervového systému	19
2.1 Chemické látky v nervovém systému	20
2.1.1 Anorganické složky	20
2.1.2 Organické složky	22
2.2 Buňky nervového systému	27
2.2.1 Obecná stavba buněk lidského těla	27
2.2.2 Nervové buňky – neurony	38
2.2.3 Podpůrné buňky – glie	43
2.3 Membránové děje nervových buněk	49
2.3.1 Vybraná specifika neuronální membrány	50
2.3.2 Elektrické potenciály neuronů	64
3. Úroveň mezibuněčné interakce	75
3.1 Stavba a základní typy synapsí	75
3.2 Neuromediátory a jejich receptory	81
3.3 Synaptické děje	95
3.4 Nervové dráhy	107
3.5 Mimořádné kvarteto sítí našeho mozku	113
4. Úroveň orgánová a systémová	127
4.1 Centrální nervový systém člověka	131
4.1.1 Mozek	134
4.1.2 Mícha	180
4.2 Periferní nervový systém člověka	184
4.2.1 Nervy hlavové (mozkové)	186
4.2.2 Nervy míšní	190
5. Vybrané dílčí funkce nervového systému	197
5.1 Řízení hybnosti	197
5.2 Řízení vnitřních orgánů a vegetativních funkcí	205

5.3	Smyslové funkce a zpracování smyslových informací	212
5.3.1	Základní charakteristika smyslového vnímání	214
5.3.2	Zrak	221
5.3.3	Sluch a rovnovážné čidlo	241
5.3.4	Čich a chuť	255
5.3.5	Kožní cití	264
5.3.6	Vnitřní receptory	270
5.3.7	Vnímání bolesti	274
5.3.8	Poznámky k poruchám vnímání	280
5.4	Psychické a psychosomatické funkce	282
5.5	Rytmicita a spánek	289
6.	Nervový systém a komplexnost lidského bytí	293
7.	Vznik, zrání a změny nervového systému	297
7.1	Obecné principy vzniku, vývoje a zániku buněk	297
7.2	Základní aspekty vývoje nervového systému před narozením (nitroděložně)	306
7.3	Základní aspekty vývoje nervového systému po narození	322
7.4	Regenerace poškozených neuronů	330
7.5	Mozková plasticita	333
8.	Možnosti a limity vyšetření nervového systému	339
8.1	Zobrazení stavby (RTG, CT, MR)	343
8.2	Vyšetření funkce (EEG, EMG, ERPS, PET, SPECT, FMR, MRS, polysomnografie)	356
8.3	Laboratorní a další speciální vyšetření	370
8.4	Psychologická diagnostika	373
9.	Možnosti a limity ovlivnění nervového systému	377
9.1	Rámcové vymezení farmakologické léčby	377
9.1.1	Vybrané lékové skupiny	383
9.2	Nefarmakologická léčba	401
9.3	Psychologická léčba	408
9.4	Látky škodlivé a jedovaté	411
9.4.1	Vybrané neurotoxiny	411
9.4.2	Vybrané návykové látky	423
9.5	Problematika návykového chování	431
10.	Smrt mozku = smrt člověka	433

Krátké slovo na závěr	441
Seznam zkratk	445
Souhrn	449
Summary	451
Barevná příloha	453
Literatura a zdroje – použité a doporučené	459
Rejstřík	471

*Tuto knihu věnuji s poděkováním a úctou těm,
kteří mě v životě něčemu učili nebo mě pořád učí.
Byli a jsou mým požehnáním a darem.*

M. O.

*Victor Hugo kdysi pronesl:
„Existuje pouze jediná podívaná velkolepější, než je širé moře
– a tou je hvězdná obloha.
A existuje pouze jediná podívaná, která je ještě velkolepější, než je hvězdná obloha
– a tou je nitro člověka...“*

*Když se díváme na rozlehlou mořskou hladinu
nebo zvedneme oči k bezmračnému nočnímu nebi,
nelze než v tichém úžasu souhlasit.
Na co však narazíme,
podíváme-li se do lidského nitra?
Možná
– v určitém smyslu –
tam najdeme i ono hluboké moře i nekonečnou oblohu.
A možná je tam
(v každém jednom z nás)
ukryto mnohem více
– včetně drahokamů a perel,
cenných a tajuplných,
jedinečných a inspirujících...*

*Podívejme se spolu na jednu mnohovrstevnou perlu lidského nitra,
nahlédněme do jedné galaxie,
ponořme se do jednoho oceánu,
neboť tím vším nervový systém člověka
obrazně bezpochyby je.
Právě k takové exkurzi vás naše kniha zve...
Kéž alespoň v něčem rozšíří obzor poznání a vědění.
Kéž podnítí zájem ptát se a hledat odpovědi.
Kéž přispěje k vaší cestě životem.*

*Jako hlavní autor bych rád ocenil a vynesl práci řady lidí z redakce,
kteří se na vzniku knihy podíleli a dali do ní svoji energii, um, čas.
Bez jejich „skrytého“ podílu by tato (ani žádná jiná) kniha nebyla.
Patří jim velký dík.*

M. O.

Krátké slovo na úvod

Začátky a konce – ať už života, příběhů, nebo knih – nesou specifický význam, neboť přinášejí ohraničení a jakési zarámování. Proto se patří na úvod zmínit, co v naší knize najdete, pro koho je určena, jak a proč vlastně vznikla.

Kniha přináší základní přehled poznatků o stavbě a funkci nervového systému člověka, který hraje stěžejní roli v řízení celého těla a zasahuje i do psychické a vztahové sféry lidského bytí. Jeho spojitost s psychickými funkcemi, duševním zdravím a kondicí i mnohými poruchami je neoddiskutovatelná a zřejmá. Poznatky týkající se lidského nervového systému tak rozhodně přesahují čistě biologický a medicínský rámec a uplatňují se v široké sféře našeho života.

Postupně se dotkneme všech jeho úrovní – začneme chemickým složením nervových buněk a pokročíme k seznámení s jejich stavbou, funkcemi a propojením. Přiblížíme si struktury a části centrálního a periferního nervového systému včetně lidského mozku, který můžeme považovat za vrchol architektury lidského těla. Zmíníme základní aspekty toho, jak nervový systém vzniká a mění se během našeho života, přičemž začneme již v době nitroděložního vývoje. Přinášíme vhled do role nervového systému v řízení hybnosti, ve smyslovém vnímání, regulaci vnitřních funkcí a dotkneme se jeho významu v genezi psychiky. Nepomineme ani komplexní (celostní) souvislosti nervového systému. Také si rámcově přiblížíme oblast lékařských vyšetřovacích metod a možnosti ovlivnění nervového systému, jež máme v současné době k dispozici.

Pro lepší představu a názornost zařazujeme do knihy jednoduchá schémata, ilustrace a také několik fotografií, které (jak věříme) vhodně doplní náš text.

Neurovědy, které se na nervový systém zaměřují, patří k velmi dynamicky se rozvíjejícím oborům s řadou dopadů nejen akademických, ale veskrze praktických. Každý den přibývá množství poznatků, které na jejich poli získáváme. Výzkumy přinášejí fascinující objevy a jdou stále dál a hlouběji.

Naším záměrem je nabídnout vám přehledný a čtivý materiál charakteru kompendia, který bude srozumitelný, nezahltí vás detailními podrobnostmi, ale přinese souhrnný přehled základních poznatků. Rozhodně tedy nesdělíme vše. To v rámci jedné knihy ani není možné. Snad ale utřídění poznatků, které vám dáváme, bude účelné a užitečné.

Naše kniha je určena především pro studenty a absolventy nelékařských humanitních oborů, jako jsou psychologie, pedagogika, speciální pedagogika, sociální práce a další, kteří se s problematikou stavby a fungování nervových buněk a nervového systému (včetně mozku) setkávají během svého studia nebo v rámci praxe a profese. Protože se snažíme o maximální srozumitelnost a sdělnost, může tato publikace posloužit i pro zájemce z řad středoškolských studentů či širší veřejnosti se zájmem o dané téma.

V prvním odstavci jsme slíbili, že odpovíme i na otázku, **jak a proč vznikla právě tato kniha**. Dovolím si být částečně osobní. Téma stavby a fungování nervových buněk, mozku a celého lidského těla, jejich vztahu k psychice a jejich role v komplexu bio-psycho-sociálně-spirituální jednoty (pojímající lidského jedince jako jednotu těla, duše, vztahovosti a ducha) mne zajímá už velmi dlouho a prochází v podstatě celým mým dosavadním studiem a profesemi, které jsem dosud vykonával. Nevím přesně, z jaké vrstvy mé *psyché* pramení moje láska k neurověděm a touha učit, ale moje povolání učitele a lektora obě spojuje. Při svých přednáškách, lekcích a seminářích chci být pro své posluchače jasný a srozumitelný a to souvisí také s mojí publikační tvorbou. Nejsem autorem vysoce ceněných, hluboce odborných vědeckých statí, snažím se jen přinést zajímavá témata snad dobře uchopitelným stylem, aby byl obsah dobře pochopitelný a případně i podnítil zájem dozvědět se víc. To mi připadá smysluplné a „moje“. Možná i proto mě těší už samotná tvorba takových knih a cesta předcházející jejich vydání. Možná proto nelituji času, energie ani prostoru, které do knihy vkládám.

A o srozumitelnou sdělnost se snažím i zde – tato kniha vzniká jako doplněné, přepracované a inovované kompendium několika předchozích textů, které byly zaměřeny na oblast nervových buněk, smyslů, mozku a jeho vývoje, vyšetření a ovlivnění. Inspirativním „postrčením“ pro vznik konkrétně této knihy byli sami studenti, které vyučuji a kteří se mě opakovaně dotazovali, jestli nebudu psát knihu, ve které bude „tak nějak všechno“. Je zřejmé, že pro studium (a plnění studijních povinností) je bezpochyby mnohem jednodušší (a určitě i pohodlnější) mít jednu knihu než muset čerpat z několika zdrojů a více knih... Zároveň mi to ale přišlo logické. A jelikož se tento nápad líbil redakci, začal jsem psát a ilustrovat. Výsledek teď máte ve svých rukou...

Snad se mně a všem, kdo se na knize nějak podíleli a přímo či nepřímo k ní přispěli (a kterým srdečně děkuji), alespoň zčásti povedlo naplnit **náš hlavní cíl a záměr** – podat nesmírně složité a zároveň neskonale zajímavé téma čtivou a přehlednou formou, která nezahltí, ale zaujme, obohatí a třeba i navnadí a postrčí touhu a snahu hledat dál a víc. Protože pokud se přestaneme ptát, hledat a růst (v pokoře

a skromnosti k velikosti, která nás přesahuje, a v úctě jeden k druhému), pak jsme možná na začátku konce – jako lidské bytosti i jako lidský druh. Kéž se tedy nepřestáváme ptát, hledat a růst.

Kéž vás provází dobro, láska a smysl, kéž je dáváte i dostáváte v hojnosti.

V Olomouci 20. prosince 2023

Miroslav Orel

- s úctou k těm, kdo předcházeli napsání těchto řádků
a na jejichž práci a objevech jsou postaveny;
- s podporou všem, kteří je budou číst,
nezastaví se a půjdou za ně dál;
- s vděčností a poděkováním těm,
kteří učili mne.

1. Systém neurověd – vědních oborů zabývajících se oblastí nervového systému

Miroslav Orel

V naší knize vycházíme z široké a dynamicky se rozvíjející oblasti **neurovědních disciplín**, které se zaměřují na nervový systém, pojmají jeho stavbu, funkci, poruchy, vyšetření i léčbu a zahrnují oblast výzkumnou a teoretickou i veskrze praktickou (klinickou).

Nedílnou součástí našeho nervového systému je i mozek. Pokud si uvědomíme jeho roli v psychice, řízení těla a celém našem životě (včetně pokroku a společnosti) i jeho spojení s řadou chorobných stavů, bude nám jasné, proč jsou neurovědy v centru zájmu vědy, teorie i praxe.

Neurovědy nejsou izolovaným ostrovem, jsou součástí **lékařských (medicín-
ských) oborů** preklinických, paraklinických a klinických.

Poznámka: V uvedených označeních zaznívá latinské *prae* – před, řecké *para* – vedle, *u*, *při* a řecké *kline* – lůžko.

PREKLINICKÉ (TEORETICKÉ) OBORY MEDICÍNY vytvářejí jakýsi základ, ze kterého pak vycházejí další disciplíny paraklinické a klinické. Zahrnují řadu oblastí:

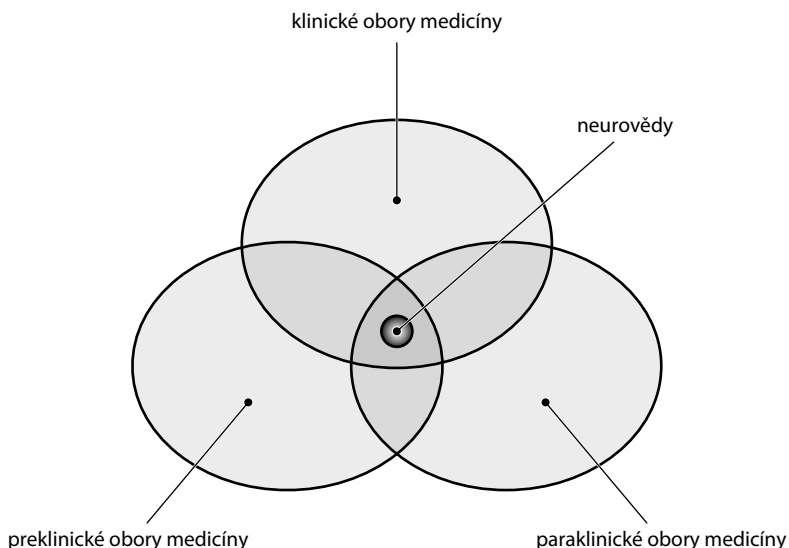
- **Anatomie** se zabývá popisem stavby těla a jeho částí – pokud se úzce zaměří na nervový systém, můžeme hovořit o neuroanatomii.
- **Lékařská fyziologie** se věnuje principům fungování našeho těla (včetně regulací) – na nervový systém se pak koncentruje neurofyziologie.
- **Patologická fyziologie** zkoumá a objasňuje chorobné procesy probíhající v těle.

- **Histologie** se zaměřuje na mikroskopickou stavbu tkání.
- **Lékařská embryologie** objasňuje vývoj v době nitroděložního života (tedy od početí do porodu).
- **Lékařská biologie** studuje obecné principy živých organismů v kontextu člověka.
- **Lékařská biofyzika** se koncentruje na fyzikální principy, které se uplatňují v našem těle a také v rámci vyšetření nebo působení vnějšího prostředí.
- **Lékařská chemie** se věnuje široké oblasti chemické struktury našich buněk, tkání a orgánů.

PARAKLINICKÉ OBORY MEDICÍNY významně přispívají především k vyšetření a diagnostice chorobných (patologických) stavů. Samozřejmě však nepomíjejí ani výzkum a pokrok. Patří sem mimo jiné:

- **Radiologie** zahrnuje pestrou paletu lékařských vyšetření, jako je výpočetní tomografie (CT), klasické rentgenové vyšetření (RTG), magnetická rezonance (MR), ultrasonografie (SONO) aj. V současné době realizuje také intervenční lékařské výkony.
- **Nukleární medicína** přináší možnosti speciálních vyšetření typu pozitronové emisní tomografie (PET) nebo jednofotonové emisní výpočetní tomografie (SPECT).
- **Klinická biochemie** poskytuje mimo jiné analýzu chemického složení a chemických procesů a dějů v našem těle.
- **Lékařská genetika** se ve shodě se svým označením věnuje genetické stránce člověka s širokou škálou možností a aplikací.
- **Farmakologie** je oborem, v jehož centru zájmu jsou všechny možné léky (farmaka), jejich formy, pozitivní i negativní účinky, cesty aplikace, možnosti a limity uplatnění v léčbě.
- **Patologie** popisuje především tělesné změny při chorobných procesech. Velkou roli hraje v rámci diagnostiky – hodnotí například vzorky tkání odebraných z živých těl pomocí biopsie, vyšetřuje tělo a jeho tkáně po smrti (hovoříme o nekropsii, která zahrnuje pitvu zemřelého a vyšetření odebraných tkání, což mimo jiné přispívá ke stanovení příčiny smrti). Možnosti patologie jdou dnes až na úroveň molekul – pak hovoříme o **molekulární patologii**.
- **Mikrobiologie** se zaměřuje na svět mikroorganismů – virů, bakterií, prionů, ale i parazitů.

Třetí pilíř lékařských věd jsou **KLINICKÉ MEDICÍNSKÉ OBORY**, které jsou zaměřeny přímo na péči o pacienty. Mezi klinické obory patří interní a chirurgické



Obr. 1.1 *Neurovědy v systému lékařských věd*

obory, oční a kožní lékařství apod. Největší vztah k nervovému systému má neurologie (zabývající se nemocemi centrální a periferní nervové soustavy) a psychiatrie (zaměřená na duševní poruchy).

Neurovědy jsou nedílnou součástí všech tří zmíněných oblastí medicíny, vycházejí z nich a zpětně do nich přispívají (viz obr. 1.1).

Přes tendenci k soudobé specializaci a superspecializaci jednotlivých lékařských disciplín, které se zaměřují na úzké oblasti lidského těla a vymezený okruh chorobných jednotek, bychom nikdy neměli zapomínat na to, že **v centru zájmu medicíny** je (nebo by být měl) vždy **celý člověk** (nikoli jen soubor tkání, orgánů a orgánových soustav). Komplexní souvislosti bio-psycho-sociálně-spirituálního pohledu na celistvost lidského bytí, kterým člověka pojmáme jako jednotu těla, duše, vztahů a ducha, se totiž vyplatí zohledňovat vždy.

Ačkoli neurovědy primárně vycházejí z medicíny, dlužno dodat, že sem významně přispívají také **další disciplíny**, které zároveň z neurověd čerpají; nezapomeňme, že dopady a souvislosti nervového systému člověka jsou dalekosáhlé. Je třeba zmínit především psychologii, psychoterapii, pedagogiku, speciální pedagogiku, logopedii, fyzioterapii, ale i výpočetní techniku, informační technologie nebo programování.

2. Chemická a buněčná úroveň stavby a funkce nervového systému

Miroslav Orel

Pokud chceme přinést ucelené kompendium, nemůžeme se vyhnout žádné z úrovní nervového systému. V této části se nejprve podíváme na základní chemické látky, které se v něm nacházejí, a následně se seznámíme se stavbou buněk. Pro některé z vás to bude zopakování nebo připomenutí známých poznatků.

Musíme podotknout, že úrovní atomů a subatomárních částic a energií se zde vyhneme. Pokud budete chtít, dozvíte se o „jejich světě“ jinde.

Nervový systém a jeho části (včetně buněk) jsou nedílnou součástí našeho těla. Základní stavba i chemické složení nervových buněk tak v mnoha ohledech odpovídají jiným buňkám lidského těla, v některých oblastech jsou však specifické.

Specifičnost či specializace nervových buněk je mimo jiné dána procesem **diferenciace a zrání**, při kterém jsou v různých buňkách zapojovány a aktivovány různé geny. Tyto principy samozřejmě neplatí pouze pro buňky nervové, ale týkají se všech buněčných populací v našem těle. Výsledkem jsou pak odlišné populace specializovaných buněk, které se více či méně liší dílčími vlastnostmi, tvarem, velikostí i funkcí, ačkoli jejich základní struktura vychází ze stejného základu.

***Poznámka:** O diferenciaci jako součásti nitroděložního vývoje se zmíníme v 7. kapitole, věnované vzniku a zrání nervového systému.*

2.1 Chemické látky v nervovém systému

Z chemického hlediska jsou tkáně a buňky našeho těla neuvěřitelně pestrým „koktejlem“ chemických látek anorganické i organické povahy.

Oborem, který studuje všechny látky našeho světa, je **chemie**. Asi nepřekvapí, že je to velmi široký obor s řadou dílčích disciplín. Příkladem může být anorganická chemie (zaměřená primárně na anorganické látky), organická chemie (studující prioritně látky organické), biochemie (zabývající se chemickým složením a chemickými pochody živých organismů včetně člověka).

Pokud bychom si chtěli jednoduše vymežit obě skupiny látek, pak lze říci, že:

- **látky anorganické** (nebo také neústrojné) mají původ v neživé přírodě;
- **látky organické** (ústrojné) vznikají v tělech živých organismů. Hlavním prvkem tvořícím organické látky je uhlík (C). Z dalších významných prvků jmenujme vodík (H), kyslík (O), dusík (N), síru (S) a fosfor (P).

Základní transformace anorganických látek na látky organické se odehrává především v tělech rostlin. Klíčovým mechanismem je zde fotosyntéza.

Podívejme se nyní na základní poznatky týkající se chemického složení buněk nervového systému. I zde platí, že vedle shody s jinými buňkami nacházíme řadu specifíků – mimo jiné je to tvorba a zapojení neuromediátorů.

Nebudeme se pouštět do žádných velkých podrobností a detailů. Na tomto místě se proto omlouváme jak zájemcům o chemii, tak samotnému oboru a také mnoha chemickým látkám, o kterých se zde ani nezmíníme (ačkoli by si to zasloužily).

2.1.1 Anorganické složky

Život, jak ho na naší planetě známe, je vázán na **VODU** (chemicky H_2O) – základní chemickou komponentu, která tvoří většinu vlastního objemu buněk a představuje také prostředí, v němž probíhají veškeré buněčné děje a biochemické reakce.

Význam vody pro život je zcela zásadní. Je všeobecně známým faktem, že bez adekvátního přísunu vody organismy strádají a jsou odsouzeni k ukončení existence – ke smrti.

Poznámka: Tvorové, kteří s námi (zatím) sdílejí planetu, se významně liší potřebou a spotřebou vody i délkou doby, po kterou jsou schopni bez vody přežít.

Nezapomínejme, že v kontextu nervového systému a jeho funkce hraje adekvátní hydratace (zavodnění) organismu důležitou roli.

Poznámka: Řada chorobných stavů je spojena se snížením obsahu vody v těle (dehydratací). Třeba při vysoké horečce, intenzivním průjmu nebo opakovaném zvracení může docházet ke značným ztrátám vody a člověk je pak ohrožen dehydratací. V některých případech se navíc setkáváme se sníženým pocitem žízně, který posiluje nedostatečný příjem vody. Dostatečný přísun vody je pak nutné hlídat. Rizikovými skupinami jsou mimo jiné malé děti a lidé vyššího věku.

Kromě vody nacházíme v našich tělech (jak přímo v buňkách – intracelulárně, tak i mimo ně – extracelulárně) velmi širokou a pestrou paletu **ANORGANICKÝCH IONTŮ**.

Z nejhornějších a nejvýznamnějších je třeba zmínit především draslík (*kalium* – K), sodík (*natrium* – Na), vápník (*calcium* – Ca) a chlor (*chlorum* – Cl).

Draselný kationt (K^+) buňky aktivně hromadí uvnitř. Kationtů sodných (Na^+) se naopak buňky aktivně zbavují. Intracelulární a extracelulární koncentrace draslíku a sodíku se tak liší. Oba uvedené ionty hrají naprosto zásadní roli v přenosu informací nervovými vlákny, respektive v genezi elektrických potenciálů nervových buněk.

Samozřejmě že tím výčet anorganických iontů nekončí. Podstatnou roli hrají také vápenaté kationty (Ca^{2+}) a chloridové anionty (Cl^-). Velmi významné jsou bikarbonáty (HCO_3^-) a fosfáty (HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$), které se mimo jiné podstatně podílejí na stabilizaci kyselosti vnitřního prostředí (tedy pH).

Poznámka: Kyselost vnitřního prostředí (hodnota pH) v našem těle je přísně regulována řadou mechanismů. Fyziologicky je udržována v hodnotách $7,4 \pm 0,04$. Pokles pod hranici 7,36 se označuje jako acidóza, vzestup nad 7,44 je alkalóza. Významnější změny pH (ať ve smyslu acidózy, nebo alkalózy) nejsou slučitelné se životem.

Některé anorganické látky jsou rozpustné ve vodě, jiné nikoli. Z **NEROZPUSTNÝCH ANORGANICKÝCH LÁTEK** zmiňme například zejména uhličitán vápenatý – chemickým vzorcem $CaCO_3$, a fosforečnan vápenatý – $Ca_3(PO_4)_2$, které se významně podílejí především na stavbě kostí a zubů. V kontextu tématu naší knihy jsou tyto látky obsaženy v lebce a obratlích (a jsou tak součástí kostěné ochrany

mozku a míchy). Mimochodem – v případě potřeby může být z kostních zásobáren těchto solí uvolněn vápník.

Vápenaté ionty (Ca^{2+}) se zdaleka nepodílejí jen na stavbě kostí, ale v našem těle hrají celou řadu úloh. Uplatňují se například při srážení krve (hemokoagulaci), činnosti srdce nebo práci svalů. V nervovém systému hrají roli třeba v synaptickém přenosu informací mezi nervovými buňkami.

Ve více než stručném seznamu anorganických látek, které v buňkách našeho těla najdeme, nelze pominout i některé **KOVY**, jako železo (Fe), zinek (Zn), kobalt (Co), mangan (Mn), molybden (Mo) a další. Jejich celkové množství není tak vysoké (jako u výše zmíněných látek), ale pro fyziologické funkce jsou velmi podstatné.

Látky kovové povahy mohou být mimo jiné součástí enzymů a vstupovat tak do řady metabolických dějů. Role železa, které je součástí červeného krevního barviva (hemoglobinu), v přenosu kyslíku je pravděpodobně známá již žákům základní školy.

2.1.2 Organické složky

Vznik všech látek organické povahy je (mimo oblast moderních technologií) vázán na živou hmotu. Jedná se o různě složité molekuly, které podle velikosti můžeme dělit na **nízkomolekulární** a **vysokomolekulární organické látky**. Základním prvkem, který organické látky obsahují, je uhlík (C).

Z logiky vyplývá, že první skupina obsahuje látky s menšími molekulami, zatímco druhá zahrnuje velké molekuly, kterým také říkáme makromolekuly.

Vybrané nízkomolekulární organické látky

Nejjednodušší organické sloučeniny (nízkomolekulární látky) představují velmi pestrou skupinu. Není naším záměrem vás seznamovat s celou paletou těchto bezesporu zajímavých látek, uvedeme si jen vybrané zástupce.

GLYCIDY jsou **jednoduché cukry**. Na každém uhlíku své molekuly nesou navázanou hydroxylovou skupinu (-OH). Šest atomů uhlíku v řetězci obsahují **hexózy** (příkladem je pravděpodobně nejznámější cukr – glukóza). Pět uhlíků v základním řetězci mají **pentózy** (příkladem je ribóza a deoxyribóza).

Jednoduché hexózy jsou základním zdrojem energie pro všechny buňky našeho těla. Nejeфекtivněji je z nich energie uvolňována enzymatickým štěpením za přítomnosti kyslíku (aerobně). Uvedené pentózy jsou součástí struktury nukleových kyselin.

GLYKOSIDY jsou deriváty jednoduchých cukrů. Spojováním vznikají **oligosacharidy** (disacharidy obsahující dva základní cukry, trisacharidy složené ze tří základních cukrů). Spojením s necukernou složkou vznikají **heteroglykosidy**. Glykosidy jsou pestrá skupinou a zastávají mnohočetné role.

Polysacharidy obsahují větší počet vázaných jednoduchých cukrů. Díky velikosti jejich molekuly je řadíme mezi vysokomolekulární organické látky, které zmiňujeme dále v textu.

ORGANICKÉ KYSELINY obsahují vždy karboxylovou skupinu (-COOH). Pokud nesou jen jedinou karboxylovou skupinu, hovoříme o monokarboxylových kyselinách. Dvě -COOH skupiny mají dikarboxylové kyseliny, tři karboxylové skupiny jsou součástí trikarboxylových kyselin.

Nesmírně důležitou skupinu organických kyselin představují **aminokyseliny**. Mohou být podstatné samy o sobě nebo jsou součástí řady biologicky významných látek (například jsou základními stavebními kameny bílkovin). Některé aminokyseliny mohou v našem těle vznikat biologickou transformací jiných organických látek. Určité aminokyseliny (říkáme jim esenciální) naše tělo neumí vyrobit a je závislé na jejich dodání zvenčí – mimochodem i proto je třeba dbát na dostatečnou pestrost stravy.

Pokud jde o nervový systém, vězte, že některé aminokyseliny mohou mimo jiné fungovat jako **neurotransmitery**. Zapojují se přímo do přenosu informací mezi nervovými buňkami (jako příklad uveďme glycin a kyselinu glutamovou). Jiné aminokyseliny představují výchozí **substrát**, ze kterého vznikají další neurotransmitery nebo hormony (jako např. kyselina gama-aminomáselná odvozená od kyseliny glutamové, serotonin odvozený z aminokyseliny tryptofanu, acetylcholin odvozený z aminokyseliny serinu, adrenalin a tyroxin vycházející z aminokyseliny tyrosinu).

Aminokyseliny se mohou spojovat pomocí **peptidové vazby** a vytvářet tak složitější látky. Spojením dvou až dvaceti aminokyselin vznikají **oligopeptidy**, mezi které řadíme mnohé biologicky vysoce účinné látky (uveďme např. oxytocin a endorfiny). Větší počet aminokyselin (21 až 100) obsahují **polypeptidy**.

Řetězce tvořené aminokyselinami mohou být i delší – pokud obsahují více než sto aminokyselin, označujeme je jako **proteiny** (bílkoviny). Je zřejmě jasné, že díky velikosti své molekuly již patří mezi vysokomolekulární látky.

NUKLEOTIDY jsou další biologicky významné nízkomolekulární organické látky. Jsou složeny ze tří částí: dusíkaté báze (to může být adenin, guanin, cytosin, uracil nebo thymin), pentózy (konkrétně ribózy nebo deoxyribózy) a kyseliny trihydrogenfosforečné.

Nukleotidy jsou významné samy o sobě. Vedle toho představují základní stavební kameny nukleových kyselin (DNA a RNA).

Jedním z nejznámějších nukleotidů, v našich buňkách nejhojněji zastoupeným, je **adenosinmonofosfát** (AMP). Tato významná látka může být součástí adenosindifosfátu (ADP) a hlavně adenosintrifosfátu (ATP).

Molekuly ATP vznikají v mitochondriích. Vazby mezi fosfátovými skupinami v ATP nesou v sobě „zakonzervovanou“ energii, kterou mitochondrie získaly z metabolické oxidace cukrů. Takové vazby označujeme jako **makroergické**. Jejich rozkladem se uskladněná energie uvolní a může být buňkou využita k různým účelům.

UHLOVODÍKY nesou ve svých molekulách atomy uhlíku a vodíku (ve shodě se svým označením). Z mnoha uhlovodíků jmenujme pro příklad **cholesterol**, který obsahuje jednu hydroxylovou skupinu (-OH) a z chemického hlediska ho řadíme mezi steroly.

Cholesterol patří k jednomu z nejvýznamnějších uhlovodíků našich buněk – je podstatnou součástí buněčných membrán, odvozují se od něj steroidní hormony a žlučová barviva.

LIPIDY (tuky) jsou z chemického hlediska estery glycerolu s vyššími mastnými kyselinami, které nesou většinou šestnáct nebo osmnáct atomů uhlíku. V našich buňkách hrají velmi důležité role. Jsou podstatným zdrojem energie a jako membránové lipidy tvoří významnou složku buněčných membrán.

V podobě **fosfolipidů** je lipidová složka vázaná se zbytkem kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4). U **glykolipidů** se lipid spojuje s cukernou složkou.

Tuky jsou součástí všech buněk. Jako zásobárna látek tukové povahy funguje v těle tuková tkáň, která se mimo jiné podílí na tepelné izolaci organismu, poskytuje mechanickou

ochranu některých orgánů a jako metabolicky velmi aktivní tkáň hraje také další role (včetně produkce některých hormonů).

Vybrané vysokomolekulární organické látky

Všechny vysokomolekulární organické látky vznikají z nízkomolekulárních látek, které jsou spojovány specifickými typy chemických vazeb – glykosidickou, peptidovou a esterovou. Díky velkému množství základních stavebních kamenů vznikají obrovské molekuly o velké molekulární hmotnosti.

Materiál, který vysokomolekulární organické látky tvoří, je různorodé povahy. Rozmanité jsou také funkce, které tyto látky plní. Mohou hrát roli stavební, enzymatickou, zásobní a také informační (ve sledu stavebních prvků, které je tvoří, může být uložena informace).

K základním vysokomolekulárním látkám našich buněk řadíme **nukleové kyseliny, proteiny a polysacharidy**. Podívejme se ve stručnosti na jejich základní charakteristiku.

NUKLEOVÉ KYSELINY vznikají spojováním (kondenzací) **nukleotidů**.

V našich buňkách existují dva základní typy nukleových kyselin – kyselina deoxyribonukleová a kyselina ribonukleová.

- **Deoxyribonukleová kyselina (DNA)** lidských buněk tvoří dvouvláknovou šroubovici. Nukleotidy, které ji tvoří, obsahují cukr deoxyribózu a dusíkatou bázi adenin (A), guanin (G), cytosin (C) a thymin (T). Obě vlákna drží pohromadě vodíková vazba mezi komplementárními (doplňkovými) bázemi, přičemž se páruje adenin s thyminem a cytosin s guaninem (A-T, T-A, C-G, G-C).

V našich buňkách se DNA nachází v jádře (kde je součástí chromozomů) a v mitochondriích. Je nositelkou genetické informace: ve sledu dusíkatých bází je v podobě „čtyřpísmenkového kódu“ zapsána veškerá genetická informace.

- **Ribonukleová kyselina (RNA)** sestává z jednoho vlákna, jehož nukleotidy zahrnují cukr ribózu a dusíkaté báze adenin (A), guanin (G), cytosin (C) a uracil (U). Během procesu, kterému říkáme transkripce, vzniká podle vzoru DNA vlákno RNA. Také RNA plní informační roli, pořadí bází ve vláknu jedné varianty RNA (konkrétně mRNA) určuje či kóduje sled aminokyselin v molekule bílkoviny.

PROTEINY (bílkoviny) jsou tvořeny řetězci **aminokyselin**, které jsou v molekule bílkoviny navzájem spojeny peptidovými vazbami. Bílkoviny našeho těla jsou tvořeny kombinací dvaceti základních aminokyselin.

Místem vzniku bílkovin jsou ribozomy. Podle kódu mRNA jsou jednotlivé aminokyseliny, které přináší „transportér“ v podobě tRNA, řazeny do řetězce bílkoviny.

Struktura většiny proteinů je poměrně složitá. Pořadí aminokyselin v řetězci bílkoviny (určené a nesené genetickou informací) představuje **primární strukturu** proteinu. Základní vlákno se následně stáčí nebo skládá (hovoříme o **sekundární struktuře** proteinu). Prostorové uspořádání bílkoviny se označuje jako **terciární struktura**. K jejímu udržení přispívá více mechanismů, díky nimž bílkovina zaujímá určitý tvar.

Terciární struktura bílkovin závisí především na primární a sekundární struktuře proteinu. Pomocnou roli v konečném prostorovém uspořádání bílkoviny hrají také speciální proteiny (chaperony).

Některé proteiny jsou následně ještě složitěji organizovány nebo spojovány s jinými látkami organické i anorganické povahy – v takových případech hovoříme o **kvartérní struktuře**.

Konečné prostorové uspořádání bílkoviny má vliv na **celkovou podobu** a zejména **funkci** daného proteinu. Mohou tak vznikat např. vazebná místa schopná vázat na sebe specifické ligandy (mediátory, hormony, antigeny apod.) nebo aktivní centra enzymů (kde jsou realizovány biochemické reakce).

POLYSACHARIDY vznikají spojováním jednoduchých sacharidů pomocí glykosidické vazby. Základním polysacharidem našich buněk je **glykogen**, který vzniká kondenzací molekul glukózy a je jejím zásobním rezervoárem.

Proces vzniku glykogenu se označuje jako **glykogeneze**. Jeho rozklad (který uvolňuje glukózu) je **glykogenolýza**.

Náš stručný výčet organických látek zde končí. Vězte však, že v našich buňkách a tělech je jich mnohonásobně více.

2.2 Buňky nervového systému

Jak dobře víme, vše složité a komplikované (ať se to týká přírody, lidských děl a produktů, nebo celého nám známého vesmíru) je složeno z určitých dílčích stavebních prvků. I lidský nervový systém je tvořen dílčími komponentami (chcete-li stavebními kameny). K základním buňkám, které nervovou tkáň tvoří, patří **buňky nervové** (neurony) a **buňky podpůrné** (glie).

Než se s neurony a gliemi seznámíme, považujeme za vhodné přiblížit (a mnohým spíše připomenout nebo osvěžit) poznatky buněčné biologie o obecné stavbě buněk našeho těla, neboť se týkají i obou zmíněných typů buněk.

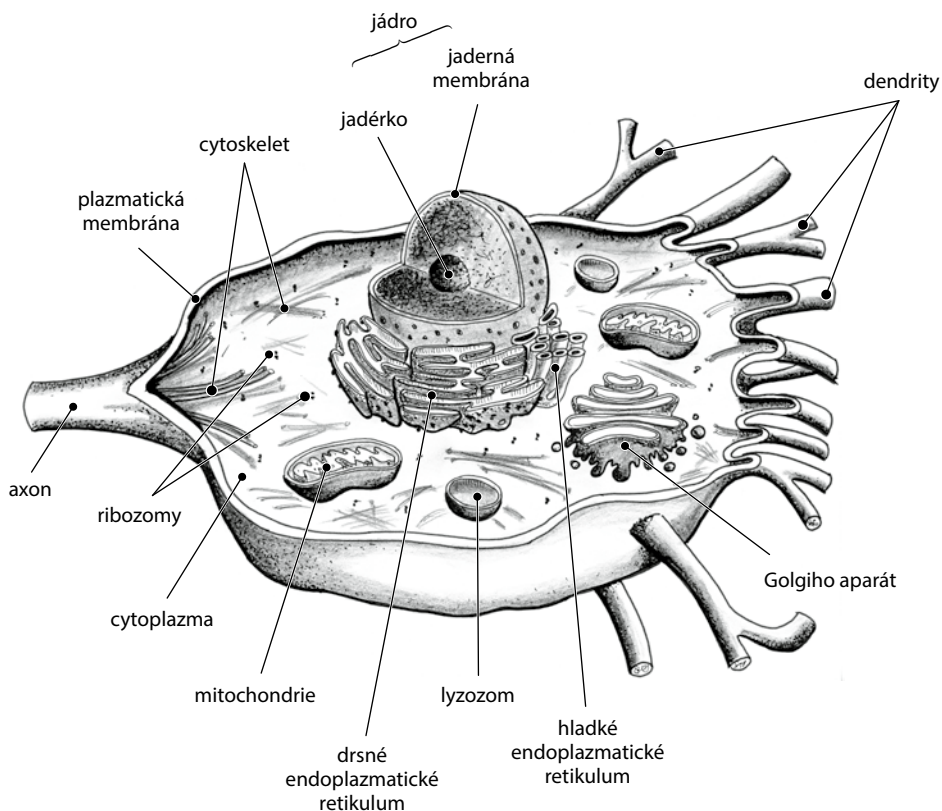
2.2.1 Obecná stavba buněk lidského těla

Jednotlivé typy buněk našeho těla se navzájem liší velikostí, tvarem, barvou a řadou specifických vlastností a funkcí. Základní stavba všech je však obdobná – vychází totiž ze stejného principu.

Z biologického hlediska tvoří naše tělo eukaryotické živočišné buňky.

Buňky, které zajišťují určitou funkci, se seskupují do tkání. Ty vytvářejí jednotlivé orgány, které se sdružují do jednotlivých orgánových soustav. Organismus jako takový je pak z biologického hlediska komplexem orgánových soustav a zahrnuje v sobě všechny nižší úrovně (tedy všechny orgány, tkáně a buňky).

Poznámka: V naší knize se zaměřujeme na struktury nervového systému tvořeného nervovou tkání. S nervovým systémem pochopitelně souvisejí i **další tkáně** (nebo jsou v něm přímo přítomny). Jedná se například o vazivovou tkáň (součást obalů mozku a míchy), epitelovou tkáň (vystýlající mozkové komory), hladkou svalovinu (součást cév zásobujících nervový systém krví), kostní tkáň (základ lebky a páteře chránící struktury centrálního nervového systému) nebo tekutou tkáň – krev (dodávající kyslík, živiny a všechny potřebné látky a odvádějící produkty a zplodiny metabolismu). Těmto tkáním se však nebudeme v našem kompendiu věnovat. Můžete se s nimi seznámit v jiných publikacích (mimo jiné například v knize Anatomie a fyziologie lidského těla vydané v nakladatelství Grada).



Obr. 2.1 *Orgány nervové buňky*

Vraťme se však k buněčné úrovni. Proti svému okolí je každá buňka lidského těla ohraničena plazmatickou membránou. Ta vymezuje objem buňky a odděluje buněčné nitro, **intracelulární prostor**, od zevního prostředí, **extracelulárního prostoru**.

Nitro buňky tvoří cytoplazma, která obsahuje jednotlivé **buněčné orgány** – části buňky uzpůsobené a specializované k vykonávání určité funkce. Právě těm se budeme nyní věnovat.

Plazmatická membrána

Plazmatická membrána tvoří **hranice** buňky a podílí se na udržování jejího **tvaru**. Zároveň je prostorem, který umožňuje a limituje **výměnu** látek, energií a informací mezi buňkou a jejím okolím.

Základem **struktury plazmatické membrány** je dvojvrstva fosfolipidů, ve které jsou usazeny bílkoviny (proteiny), přičemž některé z nich procházejí celou šířkou plazmatické membrány, jiné jsou kotveny ze zevní nebo vnitřní strany.

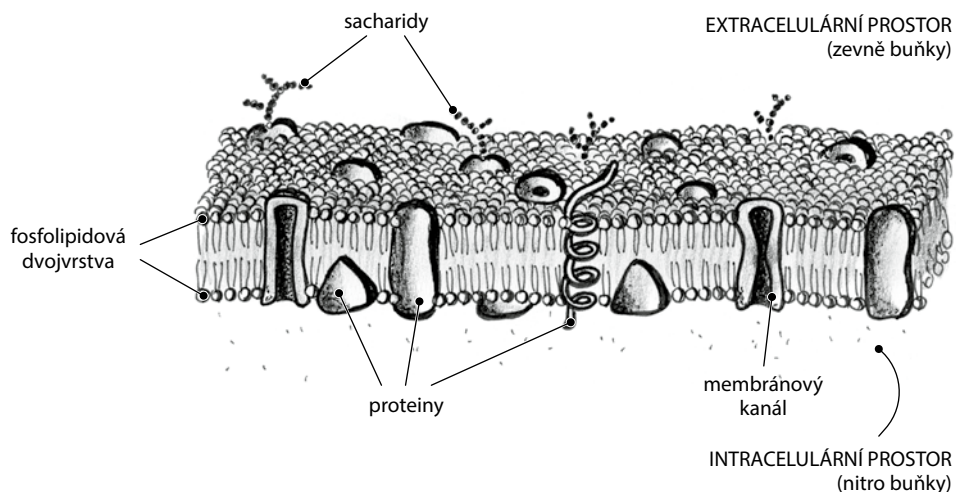
Na proteiny plazmatické membrány mohou být navázány další látky (například cukry vytvářejí glykoproteiny) – viz názorná ilustrace 2.2.

K zachycení a příjmu informací z okolního prostředí slouží **receptory** plazmatické membrány.

Membránový receptor si představte jako jakýsi přijímač či detektor, který je schopen identifikovat určité signály a reagovat na ně v podobě chemických látek (říkáme jim také ligandy). Pokud se receptor setká se „svým“ ligandem, na který je citlivý, dojde k interakci. Pokud se setká s „cizím“ ligandem, nestane se nic – receptor není schopen s ním interagovat.

Antigeny plazmatické membrány jsou struktury, které „trčí a informují směrem ven“ a vstupují do imunitních reakcí.

Základní antigeny, které určují **specifickou identitu** buněk jednoho těla, jsou antigeny **hlavního histokompatibilního komplexu** (MHC – z anglického *major histocompatibility complex*). MHC I. třídy najdeme na všech jaderných buňkách. MHC II. třídy jsou



Obr. 2.2 Plazmatická membrána

součástí membrány vybraných bílých krvinek (leukocytů). Každý člověk vykazuje jedinečnou a originální kombinaci MHC. Výjimkou jsou jednovaječná dvojčata a teoreticky i klonovaní jedinci, kteří mají zcela identický genetický materiál.

Plazmatická membrána se neustále účelně **dynamicky mění** – některé části se nově objevují, jiné se přesunují nebo mizí. Proto se často označuje jako tekutá mozaika.

Pružné změny plazmatické membrány jsou nanejvýš účelné. Představte si, že by bylo třeba např. zvýšit nebo snížit citlivost určité buňky na nějakou látku (kupříkladu hormon nebo mediátor). V prvním případě buňka vytvoří a na povrchu vystaví více receptorů specificky citlivých na danou látku. Ve druhém případě tyto receptory „stáhne“ z povrchu buňky a bez příslušného receptoru (tedy přijímače informací) nemůže daná látka (v našem příkladu hormon nebo mediátor) na buňku vůbec působit.

Plazmatická membrána je označována jako **polopropustná (semipermeabilní)**. Látky, které procházejí přes plazmatickou membránu, jsou přemísťovány pasivním nebo aktivním transportem. Některé látky mohou přes plazmatickou membránu procházet relativně volně, jiné k průniku potřebují speciální bílkovinné kanály nebo transportní systémy.

- **Pasivní transport** nevyžaduje energii a probíhá vždy z místa s vyšší koncentrací do místa s nižší koncentrací dané látky (tedy po směru koncentračního gradientu). V zásadě je pasivní transport realizován dvěma mechanismy – prostou a facilitovanou difuzí:
 - **Prostou difuzí** volně pronikají přes dvouvrstvu fosfolipidů látky rozpustné v tucích a některé malé molekuly (např. dýchací plyny CO_2 , O_2).
 - **Facilitovaná difuze** využívá speciální **transportní bílkoviny** (bílkovinné nosiče), které na jedné straně membrány navážou difundující látku a změnou svého prostorového uspořádání (neboli konformací) ji přenesou na druhou stranu membrány. Oproti prosté difuzi je facilitovaná difuze rychlejší, její kapacita ale závisí na množství bílkovinných nosičů.
 - **Membránové kanály** umožňují přesun menších látek, zejména iontů. Vesměš bývají specifické, to znamená, že určitý kanál propouští pouze určité ionty.

Iontové kanály jsou zásadní pro šíření informací nervovými vlákny. Budeme se k nim proto v našem textu vracet.

Průchod vody přes plazmatickou membránu je realizován prostřednictvím speciálních vodních pórů – **akvaporinů**.

Poznámka: Pojem *akvaporin* vychází z latinských slov *aqua* – voda a *porus* – pór, otvor, skulina, průchod.

- **Aktivní transport** umožňuje přemístit látky proti koncentračnímu gradientu (tedy z místa o nižší koncentraci do místa s vyšší koncentrací). To vždy vyžaduje energii, kterou přináší ATP (adenosintrifosfát), respektive jeho štěpení, při kterém je energie uvolňována. Aktivní transport existuje ve dvou základních možnostech – jako primární a sekundární:
 - **Primární aktivní transport** umožňují speciální membránové **proteinové pumpy**. Jako příklad můžeme uvést Na^+/K^+ pumpu (Na^+/K^+ ATP-ázu). Vytváří a posiluje koncentrační gradient sodných a draselných iontů. Energetické nároky na její činnost jsou značné.
 - **Sekundárně aktivní transport** využívá energeticky náročného aktivního transportu jiné látky, ke kterému se „připojuje“, takže sám o sobě nevyžaduje energii. Spřažený přesun dvou látek ve stejném směru (tedy obě dovnitř neuronu nebo obě ven) se obecně nazývá **symport**. Je možný i opačný směr (tedy jedna látka dovnitř a druhá ven) – v takovém případě hovoříme o **antiportu**.

Poznámka: Princip pasivního a aktivního transportu v kontextu energetických potřeb je snad jasný. Pro ilustraci rozdílu mezi pasivním a aktivním transportem si představte zaprvé vodu, která teče z kopce dolů (pasivně – není k tomu třeba žádná energie), a zadruhé vodu, kterou čerpáme ze studny nahoru (aktivně – bez energie to nepůjde). Nebo si představte situaci, kdy zaprvé chcete v zimě vyvětrat přetopenou místnost (stačí otevřít okno a uvnitř nahromaděné teplo unikne pasivně ven), nebo kdy zadruhé chcete stejnou místnost vychladit v horkém létě (bez klimatizace spotřebovávající energii se vám to nepodaří, a pokud budete jen větrat, bude uvnitř rychle stejně horko jako venku).

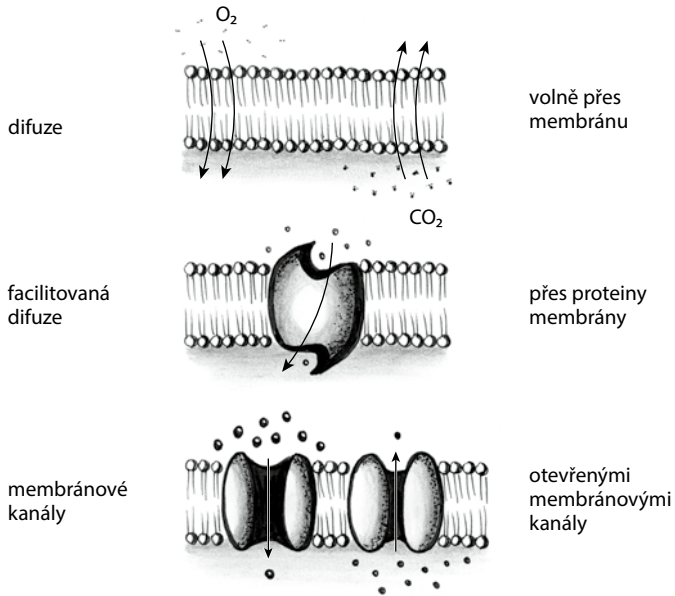
Řadu látek plazmatická membrána nepropouští a například makromolekuly nebo velké částičky přes membránu procházet nemohou pro svoji velikost. Pokud je buňka potřebuje přijmout nebo vyloučit, existují pro to dvě možnosti – endocytóza a exocytóza.

- **Endocytóza** (z řeckých slov *endon* – dovnitř, v, uvnitř a *kytos* – buňka) umožňuje pohltit i částice většího objemu. Přijímaný materiál je nejprve obklopen výběžky plazmatické membrány, které postupně obalí pohlcovanou strukturu a uzavřou ji do jakéhosi měchýřku. Ten se následně oddělí od plazmatické membrány a přenesení svého obsahu do nitra buňky. Tento mechanismus mimo jiné uplatňují podpůrné buňky (glie) nebo bílé krvinky (leukocyty), které pohlcují například zbytky odumřelých buněk nebo bakterie a čistí tak nervovou tkáň. Měchýřek

PASIVNÍ TRANSPORT



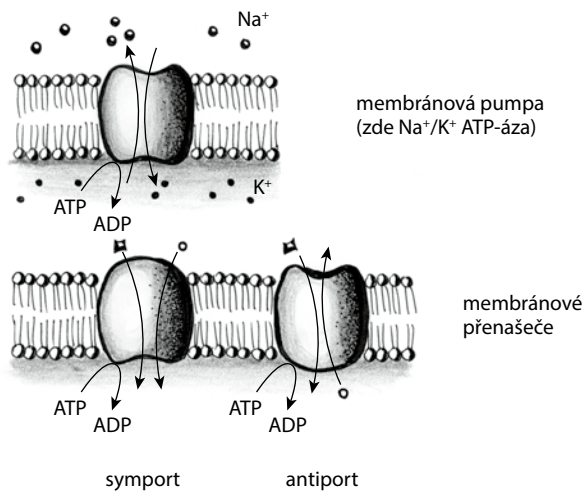
Vždy ve směru koncentračního gradientu,
bez nároku na energii.

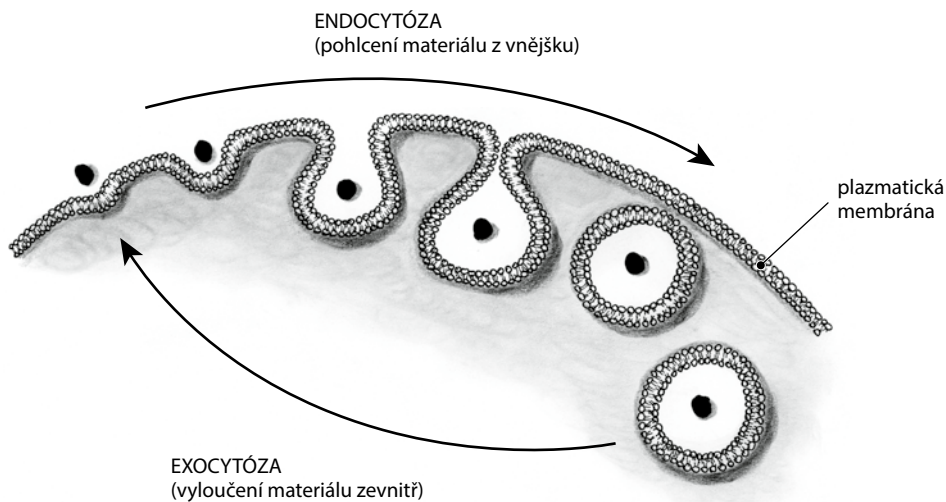


AKTIVNÍ TRANSPORT



Proti směru koncentračního gradientu,
vyžaduje energii.





◀ ▲ **Obr. 2.3** *Formy přenosu látek přes plazmatickou membránu*

uzavírající materiál přijatý endocytózou většinou splývá s lyzozomy (což jsou váčky v buněčné cytoplazmě, které obsahují řadu enzymů). Přijatý materiál je tak rozložen/natráven/likvidován.

Pokud buňka přijímá části bakterií a buněk nebo celé bakterie či odumřelé buňky, hovoříme o **fagocytóze**. Týká se zejména bílých krvinek (např. makrofágů, neutrofilních granulocytů) nebo některých glií (Hortegových glií a Schwannových buněk). Příjem tekutých kapének se někdy označuje pojmem **pinocytóza**.

- **Exocytóza** (z řeckých slov *exo* – ven, z, vně a *kytos* – buňka) slouží naopak k vylučování látek, které buňka produkuje nebo se jich zbavuje. Měchýřek obklopující danou látku (nejčastěji odštěpen z Golgiho aparátu) se přiblíží k plazmatické membráně a splyne s ní. Tak se jeho obsah uvolní a „vyleje“ do zevního prostředí. Tímto mechanismem se například vylévá mediátor do synaptické štěrbině.

Pro funkci neuronu v přenosu informací hraje neuronální membrána zásadní roli – lze říci, že všechny kroky informačního přenosu souvisí s plazmatickou membránou. Zde jsme se seznámili se základními aspekty stavby buněčné membrány, ale membránovým dějům se budeme věnovat ještě v podkapitole 2.3.

Buněčné jádro

Buněčné jádro (*nucleus*) najdeme ve všech buňkách našeho těla až na výjimky superspecializovaných buněk, které nejsou schopné dělení (jako jsou např. červené krvinky, buňky povrchové vrstvy kůže). Na povrchu je jádro obaleno dvojitou **jadernou membránou**, která obsahuje drobné otvůrky (jaderné póry). Zevní list této membrány přechází do endoplazmatického retikula. Jádro je jakýmsi **informačním centrem** buňky, neboť obsahuje jadernou DNA, která nese **genetickou informaci**.

Jaderná DNA je složitě prostorově organizovaná a spojená s molekulami bílkovin, se kterými tvoří chromatin. Při dělení se chromatin uskupuje do podoby chromozomů.

Pohlavní buňky (ženská vajíčka a mužské spermie) vznikající redukčním dělením (meiózou) obsahují jednu sadu chromozomů (22 autozomů a 1 gonozom) – jsou haploidní. Když splynutím spermie a vajíčka vznikne oplozené vajíčko (zygota), obsahuje dvě sady chromozomů (22 + 22 autozomů a 1 + 1 gonozom) – říkáme, že je diploidní.

***Poznámka:** Gonozomy (pohlavní chromozomy) existují ve dvou verzích označovaných jako chromozom X a chromozom Y. Kombinace XX představuje genetické pohlaví ženské, kombinace XY genetické pohlaví mužské.*

Jelikož všechny buňky našeho těla (mimo spermie a vajíčka) vznikají mitotickým dělením, při kterém se zdvojí a následně rozdělí chromozomy, nesou všechny buňky (včetně neuronů a glií) stejnou genetickou informaci a diploidní sadu chromozomů.

V buňkách různých tkání se v rámci diferenciacce postupně aktivují odlišné geny – to je důvod, proč se buňky nesoucí totožný genetický materiál mohou tak lišit velikostí, tvarem i vlastnostmi. K tomuto procesu se ještě vrátíme v části věnované vývoji nervového systému.

Určitý úsek vlákna DNA, který má jasně definovaný začátek a konec, se nazývá **gen**. Varianty určitého genu se nazývají **alely**. Soubor všech genů je **genom**.

- **Strukturní geny** kódují specifické pořadí aminokyselin v molekule bílkovin, které zastávají stavební, transportní nebo enzymatické funkce.
- **Regulační geny** se podílejí na různých úrovních regulačních dějů například tím, že kódují informační a regulační proteiny.

Role a účel některých genů přítomných v lidském genomu nám nejsou stále jasné. Vedle strukturních a regulačních genů tak existuje třetí skupina – **geny s dosud nejasnou funkcí**.

Poznatky na poli lékařské genetiky se neustále zpřesňují. Možnosti molekulárně genetické diagnostiky i genetického inženýrství se nebývale zvyšují a v některých ohledech (jako je například možnost úpravy genů) přinášejí řadu otázek a dostávají se až na hranici etiky.

***Poznámka:** Vyšetřit například genetický profil související s identifikací, určením příbuznosti nebo vyšetřením nějaké genetické poruchy asi nijak sporně nevnímáme. Ale co úprava a modifikace genů? Co vnášení nových genů a vytváření geneticky modifikovaných organismů? Co možnost ovlivnit a měnit genetické vlastnosti nenarozených potomků? Co využití genetického materiálu a vytváření klonů nebo hybridních organismů? Je to stále úplně „čisté“? Je to všechno O. K.? Neexistuje hranice, jejíž překročení se nám může krutě vymstít? A pokud ano – kde přesně je ta hranice? Jsme od ní daleko? Nebo jsme ji už překročili? Co myslíte?*

Ribozomy

Ribozomy jsou drobné **hrudkovité organely**, které leží volně v cytoplazmě nebo nasedají na vnější stranu membrány endoplazmatického retikula. Každý ribozom se skládá z menší a větší podjednotky. Nezastupitelnou funkcí ribozomů je **tvorba bílkovinného řetězce** podle kódu mRNA (proteosyntéza).

Při tvorbě bílkoviny se ribozom nejprve oběma jednotkami připojí k vlákně mRNA a postupně se po něm posunuje. Víme, že RNA je tvořena z jednotlivých nukleotidů. Pokaždé, když ribozom „přečte“ trojici nukleotidů (triplet), přiřadí určitou aminokyselinu do vznikajícího řetězce bílkoviny a posune se dál. Přečte další triplet a přiřadí další aminokyselinu. To dělá, dokud nepřečte „ukončovací triplet“, který proces tvorby řetězce aminokyselin zakončí.

***Poznámka:** Připomeňme, že proces překladu informace RNA do primární struktury bílkoviny (tedy pořadí aminokyselin v bílkovinném řetězci) se označuje jako **translace**.*

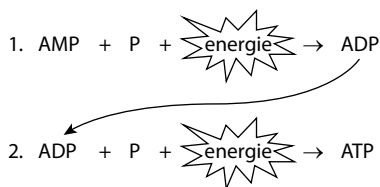
Mitochondrie

Mitochondrie má tyčinkovitý tvar se zakulacenými konci. Její stěnu tvoří dvojí membrána – vnější list je hladký a ohraničuje mitochondrii. Vnitřní list je zřasen do záhybů (mitochondriálních krist). Toto zřasení zvětšuje účelně plochu, do které jsou ukotveny enzymy nezbytné pro funkčnost mitochondrie jako **energetického centra buňky**.

Vnitřní prostor mitochondrie se označuje jako mitochondriální matrix.

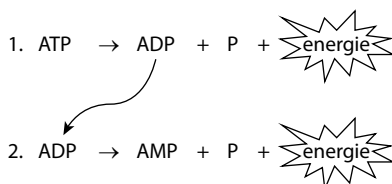
Díky oxidačně-redukčním enzymům dochází v mitochondrii k oxidaci živin (především glukózy). Energie, která se tímto biologickým spalováním za přítomnosti kyslíku uvolňuje, je následně uložena do makroergických vazeb v molekule **adenosintrifosfátu (ATP)**.

Ukladnění energie do molekuly ATP probíhá v návazných krocích, kdy z AMP (adenosinmonofosfátu) vzniká nejprve ADP (adenosindifosfát) a následně ATP (adenosintrifosfát):



ATP je vcelku malá molekula, a může tak snadno pronikat do různých částí buňky, kam přináší „mobilní“ zdroj energie. Rozštěpením ATP za pomoci enzymů, kterým obecně říkáme ATP-ázy, dojde k uvolnění konzervované energie.

Uvolnění energie z molekuly ATP probíhá podle opačné chemické reakce:



Mitochondrie jsou organelou velmi citlivou na poškození. Obsahují svoji vlastní nukleovou kyselinu – **mitochondriální DNA (mtDNA)**. Mitochondriální DNA má kruhový tvar a nese mimojadernou genetickou informaci.

Mimořádně mtDNA dědíme od matky, protože při oplození se z otcovské spermie uplatňuje pouze jádro. Ostatní organely zygoty (včetně mitochondrií) mají svůj původ ve vajíčku.

Endoplazmatické retikulum

Endoplazmatické retikulum je membránová organela představující systém navzájem propojených **měchýřků** a **váček**. Membrána endoplazmatického retikula navazuje

na vnější list jaderné membrány ohraničující buněčné jádro. Endoplazmatické retikulum existuje ve dvou formách:

- **Hladké endoplazmatické retikulum** (bez navázaných ribozomů) funguje jako významná buněčná zásobárna vápenatých iontů (Ca^{2+}). Mimoto slouží k detoxikaci (tedy neutralizaci toxických látek) a jeho enzymy jsou zapojeny do metabolismu cukrů, mastných kyselin, steroidních látek apod.
- **Drsné endoplazmatické retikulum** nese na svém povrchu navázané ribozomy, plní roli hlavní „chemické továrny“ buňky. Biochemické reakce, ke kterým zde dochází, některé látky vytvářejí nově a jiné jsou zde upravovány a modifikovány (mimo jiné zde dochází k úpravě surových proteinů vytvořených na ribozomech nebo zde vznikají některé mediátory). Vzhledem k tomu, že neurony produkují řadu rozličných látek, je jejich drsné endoplazmatické retikulum silně vyvinuté. Označuje se také jako Nisslova substance.

***Poznámka:** Nisslova substance nese jméno Franze Alexandra Nissla (1860–1919), německého lékaře a vědce, který mimo jiné proslul jako autor metody barvení, která endoplazmatické retikulum zvýrazní.*

Golgiho aparát

Golgiho [čti goldžiho] aparát je tvořen systémem vzájemně oddělených váčků a měchýřků, které funkčně navazují na endoplazmatické retikulum. Probíhá v nich finální úprava látek.

Z vnějšího okraje Golgiho aparátu (směřujícího k povrchu buňky) se oddělují malé **transportní měchýřky**, které jako sekreční granula přenášejí řadu látek a pomocí exocytózy je vylučují z buňky ven – týká se to například hormonů a mediátorů.

Z Golgiho aparátu jsou odvozeny také další membránové organely buňky – lyzozomy.

Lyzozomy

Lyzozomy mají podobu malých měchýřků vznikajících po odštěpení z Golgiho aparátu. Obsahují velké množství hydrolytických **enzymů**, které štěpí rozličné látky – plní úlohu **nitrobuněčného trávicího aparátu**.

Měchýřek obsahující materiál přijatý endocytózou splyne s lyzozomy, jejichž enzymy se postarají o štěpení (tedy rozložení či natrávení) přijatého materiálu.

Cytoskelet

Cytoskelet je dynamicky proměnlivou **kostrou buňky**, která podléhá neustálé přestavbě a změnám. K základním částem cytoskeletu řadíme:

- **mikrotubuly** – dutá vlákna;
- **mikrofilamenta** – tenká, plná vlákna;
- **intermediární filamenta** – prostorově větvená vlákna.

Cytoskelet v buňce vytváří **prostorovou síť**, která je kotvena k plazmatické membráně a prochází všemi částmi buňky (včetně výběžků neuronů). Udržuje **tvár** buňky, vytváří **oporu a kotvení** jednotlivých organel, umožňuje **pohyb** organel (mimo jiné transportních měchýřků s mediátory), částí buněk i celých buněk (například mikroglíí nebo bílých krvinek) a uplatňuje se rovněž při **dělení buňky**.

2.2.2 Nervové buňky – neurony

Nervové buňky neboli neurony jsou vysoce diferencované a specializované buňky, které jsou určeny k **příjmu, vedení, přenosu a zpracování informací**. Některé neurony jsou zaměřené na určitý typ informací, jiné zpracovávají informace globálně. Významná je rovněž **role sekreční** – neurony mohou produkovat řadu látek včetně hormonů.

Základní složení a organely nervových buněk vycházejí z obecné stavby jaderných buněk našeho těla – na povrchu najdeme plazmatickou membránu a v cytoplasmě všechny základní známé buněčné organely (jádro, mitochondrie, ribozomy, endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, lysozomy, struktury cytoskeletu). Proto jsme se o podobě a významu organel zmínili v předchozí části textu.

Neurony jsou metabolicky vysoce aktivní a spotřebovávají velké množství energie. Nepřekvapí proto, že mají vysoké nároky na dodávku živin (zejména glukózy) a kyslíku.

Jednotlivé neurony představují základní **stavební a funkční jednotky** nervové tkáně, ale nefungují izolovaně, jsou navzájem propojeny synaptickými spoji a vytvářejí tak **gigantickou 3D síť** s nesmírně vysokou kapacitou a efektivitou.

Velikost, tvar i funkční specifčnost se u jednotlivých neuronů sice liší, nicméně u každé nervové buňky najdeme tři základní části – tělo neuronu a dva typy výběžků.

Mezi tělem a výběžky probíhá neustálý tok a oboustranný přesun (transport) látek – anterográdní transport probíhá z těla neuronu do periferie, retrográdní transport opačně.

- **Tělo neuronu** je ústřední částí každé nervové buňky. Obsahuje jádro a všechny zmíněné buněčné organely. Označujeme ho proto také pojmem **perikaryon** (ve kterém zaznívají slova řeckého původu *peri* – kolem, okolo a *karyon* – buněčné jádro). Jednotlivé neurony se odlišují velikostí i tvarem těla a pestrost je zde značná – některé neurony mají tělo pyramidového tvaru, jiné připomínají drobná zrníčka, vřeteno, ovál, kapku nebo hvězdu.
- **Dendrity** jsou vesměs bohatě větvené početné výběžky, které připomínají větve listnatého stromu (jejich název je odvozen z řeckého slova *dendron* – strom). Délka i košatost dendritických větví se liší (některé výběžky jsou menší než milimetr, jiné mohou mít i více než jeden metr). Na mnoha dendritech nacházíme drobné výčnělky – **dendritické trny**. Všechny dendrity jsou **dostředivé** – znamená to, že informace v podobě elektrických potenciálů vedou směrem k tělu nervové buňky.
- **Axon** je jediný výběžek, který odstupuje z **axonového hrbolku** (odstupového konusu) na těle nervové buňky. Počínající úsek označujeme jako iniciální segment. V cytoplazmě axonu (označuje se jako axoplazma) probíhají podélně orientovaná vlákna (neurofilamenta) vyztužující axon. Axony dosahují různé délky, přičemž se zpravidla větví až ve své koncové (terminální) části. Koncové výběžky (telodendrie či axonové terminály) jsou knoflíkovitě rozšířeny a zapojují se v synapsích. Všechny axony vedou informace **odstředivě** – tedy od těla nervové buňky.

Některé axony jsou obaleny myelinovou pochvou (kterou tvoří oligodendroglie a Schwannovy buňky) – v tomto případě mluvíme o **bílých, myelinizovaných vláknech**. Pokud myelinovou pochvu nenajdeme, hovoříme o **vláknech šedých, nemyelinizovaných**.

Myelinové obaly chrání, izolují a několikanásobně zvyšují rychlost přenosu informací nervovým vláknem.

Podle tloušťky obalu a rychlosti vedení elektrických potenciálů rozlišujeme tři základní typy nervových vláken. V zásadě lze říci, že čím je obal vlákna silnější, tím rychlejší je vedení vzruchů daným vláknem.

1. **Nervová vlákna typu A** jsou nejsilnější myelinizovaná vlákna. U tohoto typu nervových vláken rozlišujeme varianty, které označujeme písmeny řecké abecedy –

A α , A β , A γ , A δ . Jejich tloušťka se pohybuje v rozmezí 2–20 μm a rychlost vedení činí více než 12 m/s. Rekordmanem skupiny jsou vlákna A α motorických neuronů řídících pohyby kosterních svalů (jejich tloušťka může dosahovat až 20 μm a rychlost vedení elektrických vzruchů je až 120 m/s).

2. **Nervová vlákna typu B** jsou rovněž myelinizovaná, ale jejich šířka dosahuje maximálně 3 μm a rychlost vedení 3–15 m/s.
3. **Nervová vlákna typu C** jsou nemyelinizovaná vlákna s tloušťkou 0,3–1,3 μm . Informace vedou rychlostí 0,2–2 m/s.

Neurony jsou vcelku **pestrou skupinou buněk**, které se vzájemně liší morfologií (vzhledem, velikostí, počtem a tvarem výběžků a buněčných těl), funkcí (specifickostí rolí, které plní), chemickým složením, respektive produkcí mediátorů, ale i nervovými drahami a okruhy, do kterých jsou zapojeny.

Z **morfologického hlediska** (tedy podle stavby) rozlišujeme například:

- **Neurony multipolární** s větším množstvím větvících se dendritů.
- **Neurony bipolární** s jediným dendritem, který se větví až na periferii a odstupuje na opačném konci než axon.
- **Neurony pseudounipolární** typické tím, že axon a dendrit odstupuje těsně u sebe, nebo dokonce částečně splývají.

V uvedených pojmech zaznívají slova latinského a řeckého původu: *multus* – mnohý, hojný, početný; *bis* – dvakrát; *pseudes* – nepravý, falešný; *unus* – jeden, jediný a *polus* – pól, okraj.

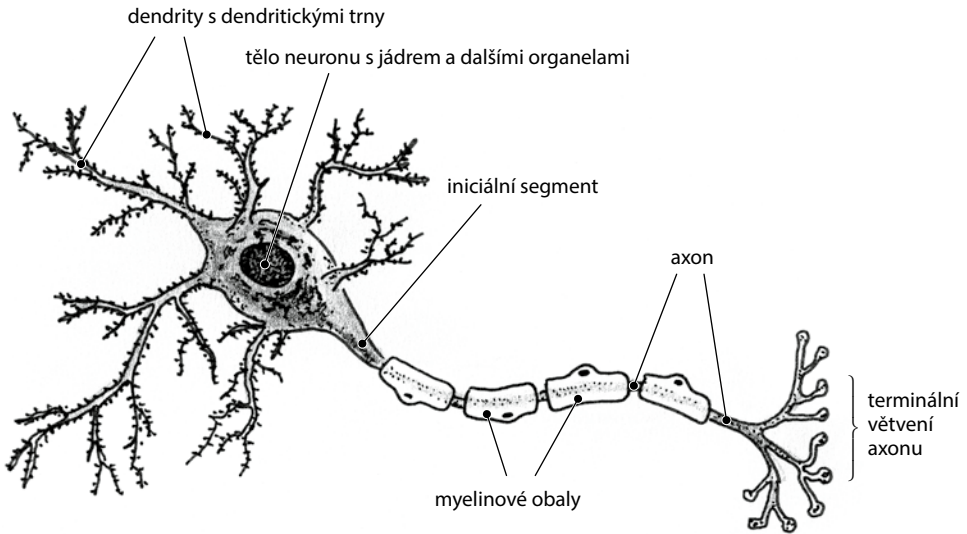
Neurony jsou zapojeny do nervových drah a okruhů.

Nervové dráhy (neboli trakty) jsou soubory nervových buněk (respektive jejich vláken), které vedou a přepojují určitý druh informací – souvisí tak s určitou specifickou funkcí. Existují dráhy motorické, senzitivní a autonomní. Jednotlivé nervové dráhy našeho nervového systému mají charakteristický průběh.

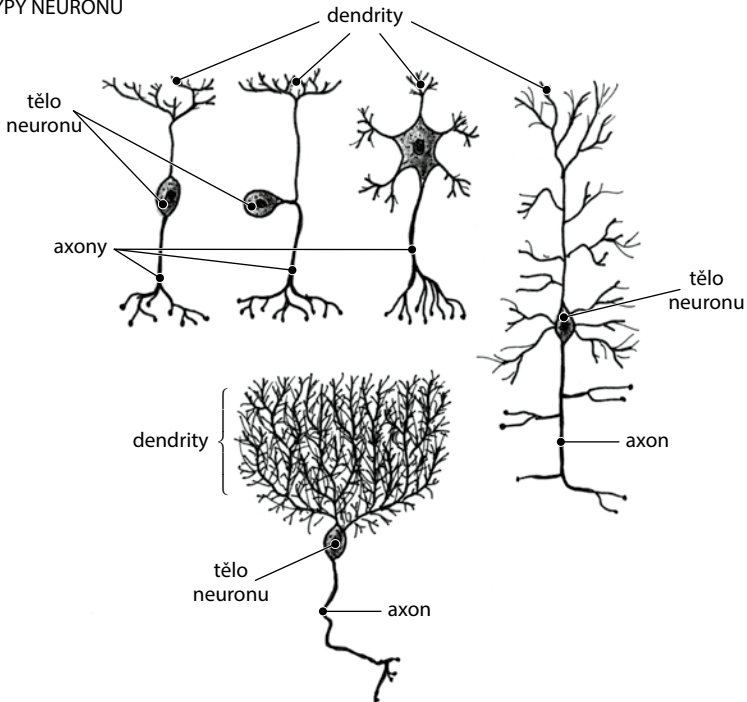
Nervové dráhy si lze představit jako preformované koleje, po kterých se šíří informace určitou vymezenou cestou. Stejně jako vlak v krajině ani informace v našem nervovém systému nemohou „jet kudykoli“.

Dráhy aferentní směřují z periferie do centra, dráhy eferentní naopak z centra do periferie. Na úrovni CNS rozlišujeme dráhy ascendentní (vzestupné) a dráhy descendentní (sestupné).

NEURON



RŮZNÉ TYPY NEURONŮ



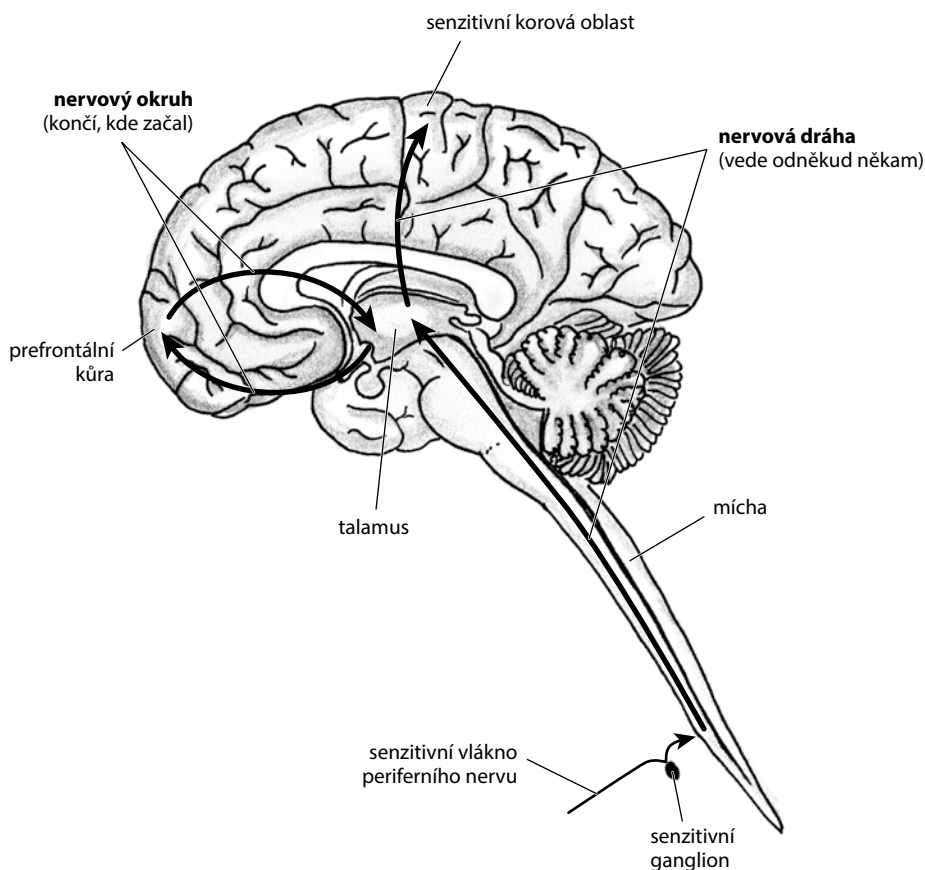
Obr. 2.4 Stavba neuronů a jejich různé typy

Poznámka: V současné době je možné nervové dráhy zobrazit s využitím moderních vyšetřovacích metod – hovoříme o traktografii. Příklad traktografie najdete v barevné příloze.

Nervové okruhy propojují určité oblasti nervového systému (nacházíme je zejména v mozku), přičemž koncová vlákna se nakonec vrací zpět.

V rámci nervových drah i okruhů dochází k propojování neuronů a přenosu informací mezi nimi. K tomuto tématu se vrátíme v pasáži věnované mezibuněčné interakci.

Poznámka: Vzhledem k obrovskému významu nervových drah se jim věnujeme i v podkapitole 3.4.



Obr. 2.5 Ilustrativní znázornění nervové dráhy a nervového okruhu

Podle funkce, respektive **typu informací**, které neurony vedou a zpracovávají, popisujeme čtyři základní typy:

- **Neurony motorické** jsou určené k řízení příčně pruhovaných svalů, tedy k řízení vůlí ovládaných pohybů těla. Jsou součástí motorických drah, které jsou eferentní – z mozku a míchy vedou informace do periferie k nervosvalovým ploténkám, jejichž prostřednictvím se kontaktují s řízenými příčně pruhovanými svaly.
- **Neurony senzitivní** vedou a zpracovávají informace z kůže a smyslů do míchy a mozku. Jsou součástí senzitivních drah, které vedou z periferie do míchy a mozku (tedy aferentně).

Neurony a nervové dráhy vedoucí informace ze smyslových orgánů (zrak, sluch, čich, chuť) se také označují jako **senzorické**.

- **Neurony vegetativní (autonomní)** se podílejí na nervovém řízení vnitřních orgánů a tkání, přičemž jejich regulace tělesných funkcí nepodléhá volnému řízení. Zahrnují vlákna probíhající jak eferentně (z centra do periferie), tak aferentně (z periferie do centra).
- **Neurony propojovací (interneurony)** ve shodě se svým označením zajišťují propojení a integraci činnosti nervových buněk. Vstupují do všech funkčních systémů.

2.2.3 Podpůrné buňky – glie

Podpůrné či gliové buňky (glie) jsou vedle neuronů dalším typem základních buněk tvořících nervovou tkáň. Jednotlivé glie se liší svou lokalizací, tvarem a funkcemi, které vykonávají. Obecně zajišťují výživu a ochranu nervových buněk, vytvářejí obaly nervových vláken, hrají roli při migraci neuronů, odstraňují zplodiny metabolismu i zbytky rozpadlých buněk. Jsou ve velmi těsném funkčním vztahu s neurony a produkují rovněž řadu látek podstatných až nezbytných pro funkci neuronů. Celkový počet glií převažuje nad celkovým počtem neuronů.

- **Glie centrální nervové soustavy** zahrnují astrocyty, oligodendroglie, polydendrocyty, mikroglie a ependymové buňky. Vývojově se uplatňují radiální glie.
- **Glie periferního nervového systému** jsou Schwannovy buňky a buňky satelitní.

ASTROCYTY (astroglie) jsou buňky hvězdicovitého tvaru s řadou výběžků, kterými se kontaktují s cévami a s nervovými buňkami. Díky tomu zabezpečují neuronům přísun živin a dalších potřebných látek z krve a opačně z neuronů odvádějí odpadní látky. Zajišťují oddělení mozkových nervových buněk a krve – tvoří hematoencefalickou bariéru. Mohou ovlivňovat průtok krve mozkovou tkání. Jsou zdrojem řady látek ovlivňujících neurony.

Astrocyty neurony „krmí, ale nepřekrmují“ – poskytují jim přesně to, co potřebují. Pokud má neuron potřebu živin (mohli bychom říci, že „má hlad“), vyšle signály astrocytu. Ten následně začne zásobovat neuron živinami (zejména glukózou), dokud neuron není „nasyčen“ (jinými slovy dokud nemá dost).

OLIGODENDROGLIE (či oligodendrocyty) tvoří obaly (myelinové pochvy) mozkových a míšních nervových buněk. Z jedné oligodendroglie vybíhá několik výběžků, které obtáčí několik nervových vláken. Jedna oligodendroglie tak vytváří obaly pro více nervových vláken najednou.

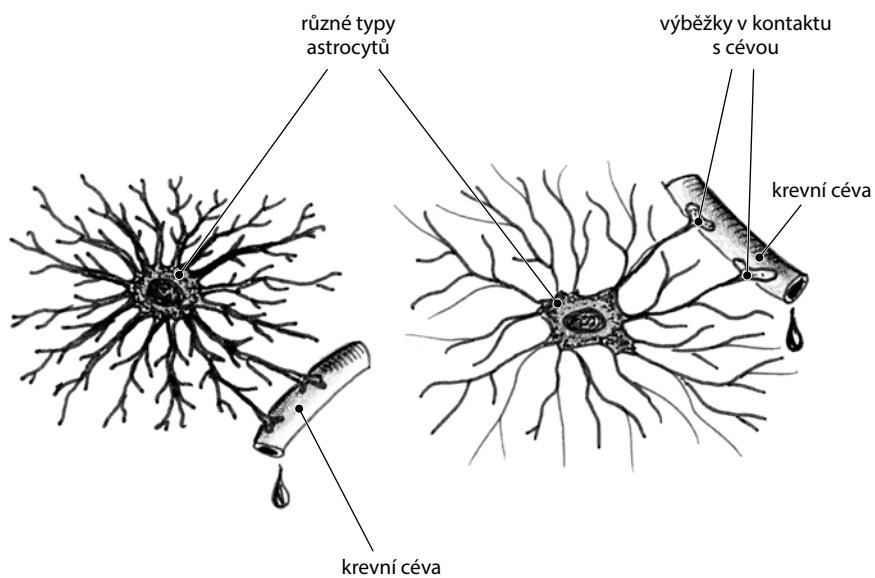
Obaly nervových vláken tvořené oligodendroglie zajišťují **stabilizaci a izolaci** jednotlivých nervových vláken mozku a míchy. Významně **zvyšují rychlost** vedení elektrických impulzů a přispívají také k celkové **ochraně a vitalitě** výběžků, které obalují.

Myelinové pochvy nikdy neobalují vlákno kontinuálně. Volné prostory mezi nimi (Ranvierovy zářezy) jsou podstatné pro šíření informací.

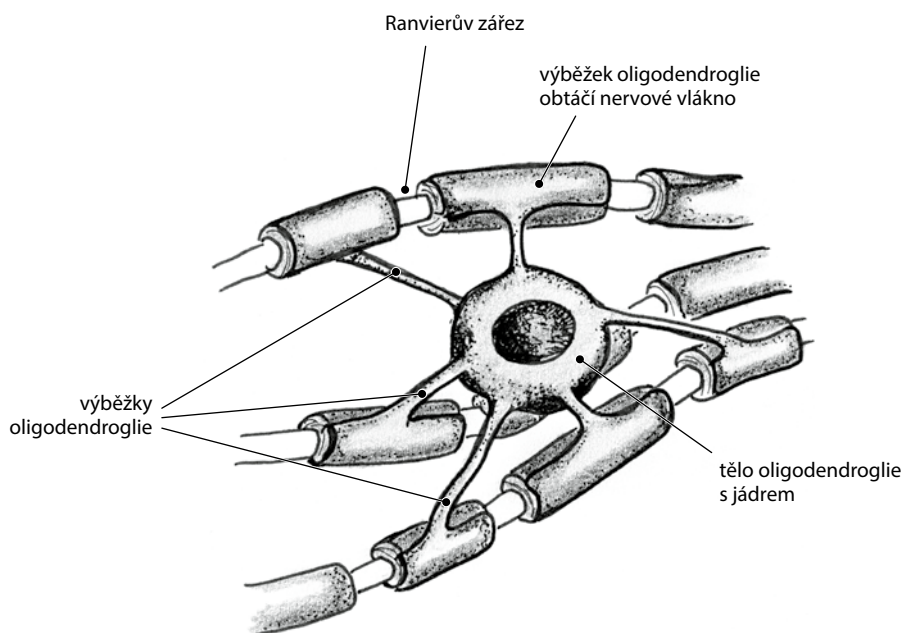
POLYDENDROCYTY (nebo také NG2 glie či synantocyty) jsou buňky hvězdicovitého tvaru přítomné v šedé i bílé hmotě. Mohou se přetvářet v oligodendroglie (aktivují se a migrují mimo jiné při zvýšené potřebě myelinizace) nebo také v astrocyty. Zasahují do synaptických dějů a produkují řadu látek ovlivňujících neurony.

Synantocyty patří k nejméně probádaným gliím. Byly popsány teprve nedávno. Ukazuje se, že porucha jejich diferenciací a migrace může souviset s roztroušenou sklerózou – neurologickým autoimunitním onemocněním, při kterém dochází k rozpadu myelinu.

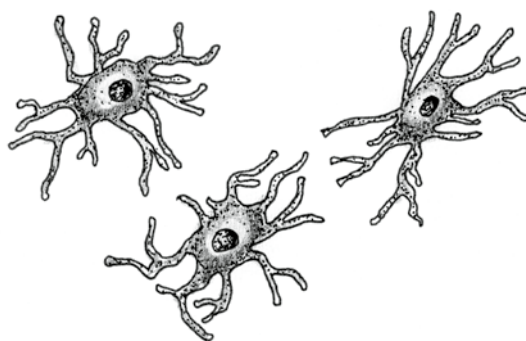
MIKROGLIE (Hortegovy glie) jsou malé buňky s výběžky, které mají schopnost aktivního pohybu. Vcelku rychle pronikají tam, kde je jich třeba. Jsou schopné fagocytózy a díky tomu mohou odstraňovat rozpadlé části neuronů nebo cizorodé částice. Můžeme říci, že spolu s bílými krvinkami (leukocyty) vykonávají „uklízecí a čisticí práce“ – jinými slovy zajišťují bezpečnost, pořádek a imunitní dohled.



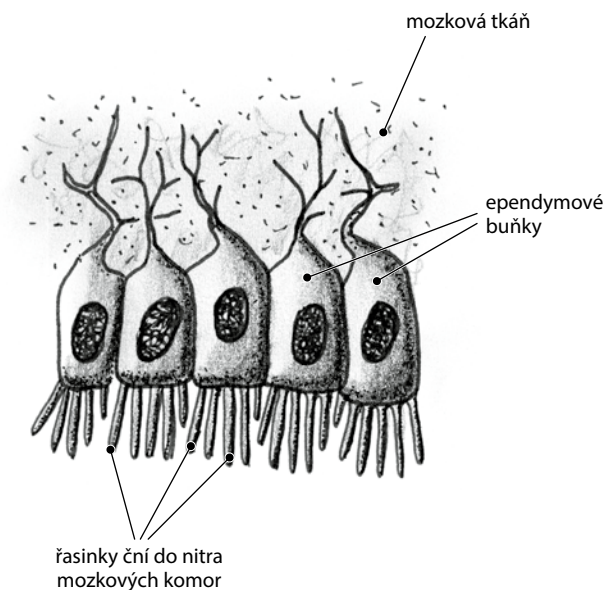
Obr. 2.6 Astrocyt



Obr. 2.7 Oligodendroglie



Obr. 2.8 Mikroglie



Obr. 2.9 Ependymové buňky

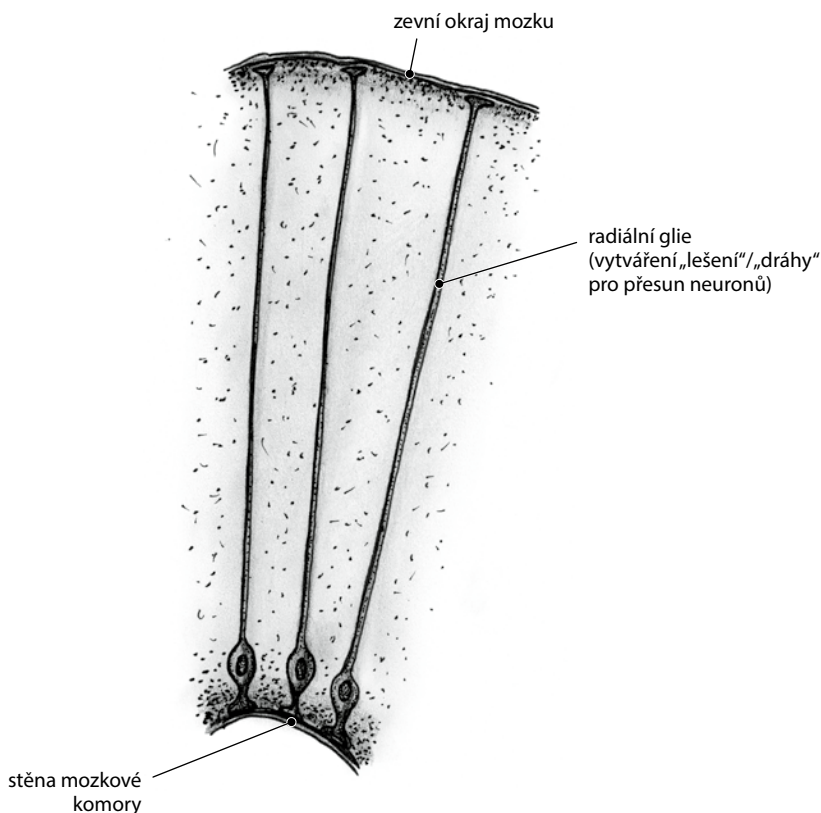
EPENDYMOVÉ BUŇKY jsou epitelové buňky cylindrického tvaru, které tvoří **ependym** – výstelku komorového systému mozku a centrálního míšního kanálu. Na jejich zevním okraji (který ční do dutin mozku) se nacházejí pohyblivé řasinky, jejichž pohyb napomáhá proudění mozkomíšního moku komorovým systémem.

Spolu s vlásečnicemi tvoří ependymové buňky **choroidální plexus** (*plexus choroideus*) – speciální tkáň čnící do nitra mozkových komor (především bočních), jež produkuje mozkomíšni mok.

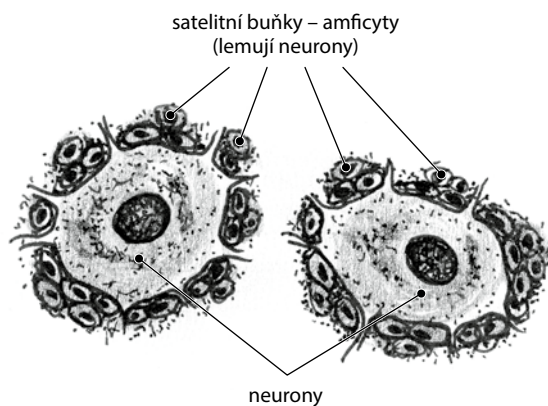
Mozkomíšni mok je tekutina, která vyplňuje dutiny uvnitř mozku a míchy a vytváří tekutý plášť kolem struktur CNS.

RADIÁLNÍ GLIE mají přechodné uplatnění, slouží během nitroděložního vývoje. Z jejich těla vybíhají proti sobě dva dlouhé výběžky, které jsou ukotveny do okrajů nervové trubice. Vzniká tak určité „vodící lano“, po kterém může neuron migrovat (obrazně „šplhat“) z místa svého vzniku na jiné místo, které je mu určeno.

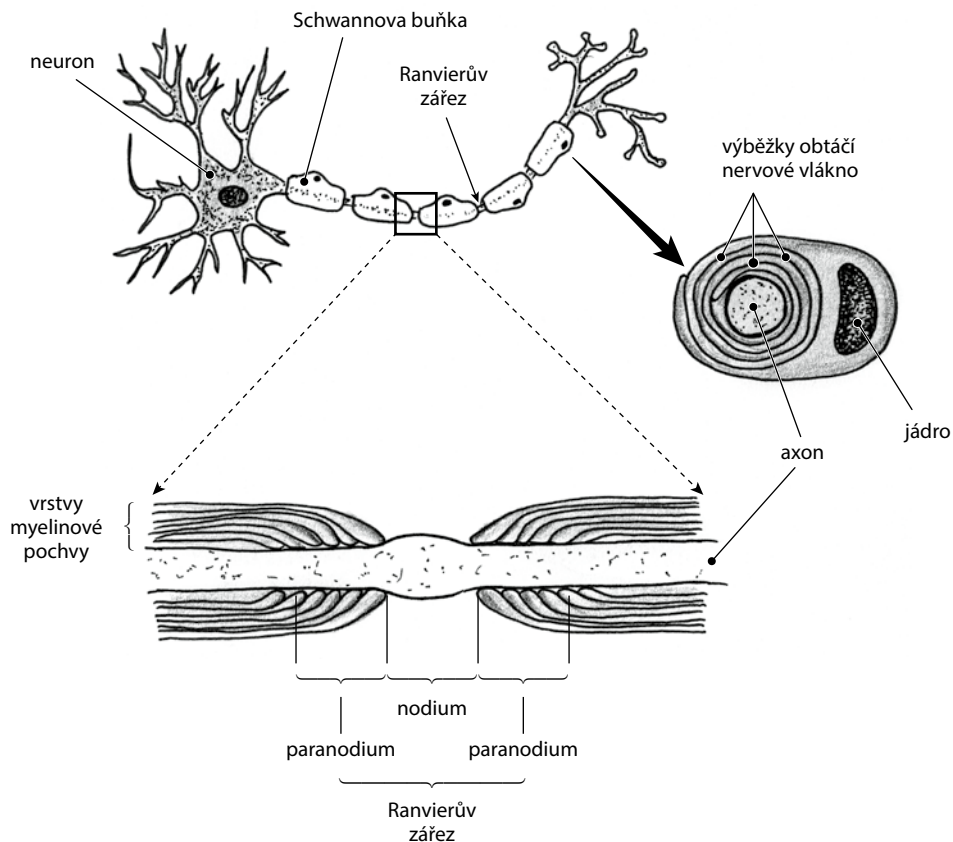
Jakmile radiální glie splní své vývojové funkce, zanikají.



Obr. 2.10 Radiální glie



Obr. 2.11 Amficyty



Obr. 2.12 Schwannova buňka