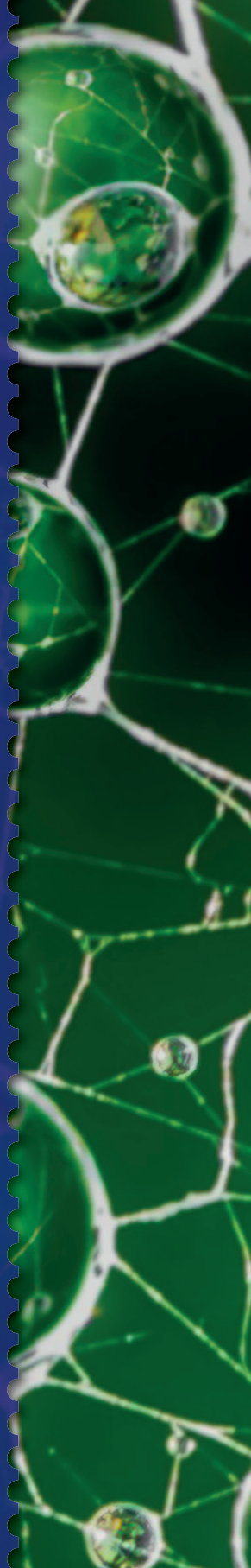


Miroslav Orel

# NERVOVÉ BUŇKY A JEJICH SVĚT

- stavba a funkce neuronu
- svět gigantické neuronální sítě
- vznik, vývoj a zánik neuronů
- možnosti ovlivnění nervových buněk



*Známa moudrost říká,  
že celek je vždycky více než součet jednotlivých částí.  
I neurony se tím řídí  
a teprve ve společenství s jinými neurony  
mohou naplno rozvinout svůj potenciál.*

*A podobně jako neurony,  
jsme i my všichni určitým způsobem spojeni s druhými.  
Všichni jsme součástí jedné ohromné sítě lidského bytí  
a každý náš čin může mít mnohem širší a hlubší dopad,  
než si většinou myslíme.*

*Možná,  
že až to pochopíme a přijmeme,  
zavládne v našich životech harmonie...*

Miroslav Orel

Miroslav Orel

# NERVOVÉ BUŇKY A JEJICH SVĚT

- stavba a funkce neuronu
- svět gigantické neuronální sítě
- vznik, vývoj a zánik neuronů
- možnosti ovlivnění nervových buněk

**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**

## **NERVOVÉ BUŇKY A JEJICH SVĚT**

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 5827. publikaci

### **Recenze:**

prof. MUDr. Ján Pavlov Praško, CSc.

Odpovědný redaktor PhDr. Milan Pokorný, Ph.D.

Ilustrace MUDr. PhDr. Miroslav Orel

Sazba a zlom Milan Vokál

Návrh a zpracování obálky Antonín Plicka

Ilustrace na obálce Jiří Románek s použitím fotografie Johna Phillipse

Počet stran 216

Vydání 1., 2015

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

© Grada Publishing, a.s., 2015

Cover Photo © Jiří Románek, John Phillips

ISBN 978-80-247-9057-2 (pdf)

ISBN 978-80-247-9058-9 (ePub)

ISBN 978-80-247-5070-5 (print)

# Obsah

<b>Krátké slovo na úvod</b>	<b>7</b>
<b>1. Význam studia stavby a funkce nervových buněk pro psychology, pedagogy a jiné profese</b>	<b>9</b>
<b>2. Něco málo z historie objevování nervových buněk a mozku</b>	<b>12</b>
<b>3. Stavba a funkce neuronu</b>	<b>16</b>
3.1 Základní druhy neuronů	22
3.2 Neuronální membrána	30
3.2.1 Membránové transportní mechanismy	32
3.2.2 Membránové kanály	36
3.2.3 Membránové receptory	42
3.2.4 Membránové potenciály	50
3.3 Další organely neuronu	62
3.4 Neurokrinie	67
3.5 Zobrazení metabolické aktivity neuronů	70
<b>4. Svět gigantické neuronální sítě</b>	<b>73</b>
4.1 Dělení synapsí	74
4.2 Stavba chemické synapse	76
4.2.1 Neuromediátory a jejich receptory	78
4.3 Děje v synapsích	86
4.3.1 Cesty synaptického přenosu informací	88
4.3.2 Synaptické zdržení a doba působení mediátoru	93
4.4 Některé formy interakce neuronů	94
4.5 Základní principy reflexní činnosti	100
4.6 Nervové systémy v živočišné říši	102
4.6.1 Mozek člověka – vrcholné dílo architektury nervového systému	107
4.6.2 Struktura versus funkce	128
<b>5. Vznik, vývoj a zánik neuronů</b>	<b>131</b>
5.1 Když neurony umírají během lidského života	139
<b>6. Podpůrné buňky a jejich role</b>	<b>143</b>
6.1 Narušení obalů nervových vláken	149

<b>7. Možnosti ovlivnění neuronů a jejich funkcí</b>	<b>150</b>
7.1 Působení na biologickou rovinu	151
7.1.1 <i>Vliv chemických látek</i>	151
7.1.2 <i>Vliv fyzikálních faktorů</i>	185
7.2 Vliv psychické a sociální roviny	187
7.2.1 <i>Psychoterapie</i>	189
7.2.2 <i>Placebo efekt</i>	191
7.2.3 <i>Kontext zrcadlových neuronů</i>	192
<b>Krátké slovo na závěr</b>	<b>196</b>
<b>Seznámení s autorem</b>	<b>197</b>
<b>Shrnutí</b>	<b>198</b>
<b>Summary</b>	<b>198</b>
<b>Seznam zkratk</b>	<b>199</b>
<b>Literatura</b>	<b>202</b>
<b>Rejstřík</b>	<b>204</b>

# Krátké slovo na úvod

Pokud bychom lidské tělo připodobnili ke stavbě, pak jednotlivé buňky jsou jako základní stavební kameny. Je všeobecně známo, že se jednotlivé buňky sdružují do tkání, tkáně formují orgány, orgány tvoří orgánové soustavy a orgánové soustavy ve svém celku vytvářejí celý organismus – lidské tělo. To spolu s psychickou, sociální a spirituální (přesahovou) oblastí tvoří neopakovatelnou jedinečnost lidského bytí.

Zaměříme-li se na tělesnou schránku, nervové buňky (neurony) vytvářejí ve svém celku nejsložitější objekt v nám známé části vesmíru – lidský mozek a lidskou nervovou soustavu. Všechny činnosti od pozdravu na uvítání, sledování televize, dovednosti mluvit nebo číst až po řešení složité matematické rovnice či hru na hudební nástroj se neobejdou bez činnosti nervových buněk a jejich propojení.

Neurovědy, zabývající se souvislostmi nervových pochodů, patří k jedněm z nejjintenzivněji se rozvíjejících oborů lidského poznání. Množství poznatků je obrovské a každým dnem narůstá. Význam, dopady a aplikační pole objevů neurověd na člověka a jeho život jsou nezpochybnitelné.

Cílem této knihy je především přinést stručný přehled tak, aby byly osvětleny základní principy stavby a funkce nervových buněk. Nepomineme otázky propojení, organizace a fungování gigantické sítě, kterou nervové buňky vytvářejí. Naše kniha je věnována lidským neuronům, nicméně pro zpestření si krátce přiblížíme také formy uspořádání neuronů jiných tvorů živočišné říše, a konečně se rámcově podíváme také na naše možnosti fungování neuronů ovlivňovat.

Publikace nemá ambice sdělit vše. Vychází ze snahy přehledně přiblížit široké téma a přinést základní poznatky. Bude užitečná zejména pro studenty i absolventy humanitních oborů, jako je například psychologie nebo pedagogika. Může být přínosná i pro zájemce z řad jiných oborů a profesí nebo širší veřejnosti. Měla by přinést bazální informace, na které je pak možno navázat a které je možné dále rozvíjet studiem dalších témat a oborů.

Snad tato krátká prezentace obsáhlé oblasti nepobouří svou stručností, ale podnítlí zájem a touhu dozvědět se více.

Vzhledem ke stanovenému cíli a rozsahu se k mnohým tématům, které s činností sítě lidských nervových buněk nepochybně souvisejí, žet nedostaneme. Jde například o otázky vědomí, sebeuvědomování, myšlení a dalších psychických funkcí. Chceme však přinést základ, který umožní pochopení a vhled do témat složitějších i nadstavbových.

Vývoj je nepřetržitý proces, který se nikdy nezastaví. Kéž se stejně tak nezastavuje ani naše touha po poznání a vědění.

## **Poděkování**

*Na tomto místě bych chtěl s hlubokou úctou poděkovat mým rodičům a celé linii mých předků,  
bez kterých bych zde nebyl.*

Miroslav Orel



# 1. Význam studia stavby a funkce nervových buněk pro psychology, pedagogy a jiné profese

Zakladatel jednoho z psychoterapeutických směrů (logoterapie) Viktor Emil Frankl kdysi vyjádřil moudrou myšlenku: „Kdo ví proč, zvládne každé jak.“

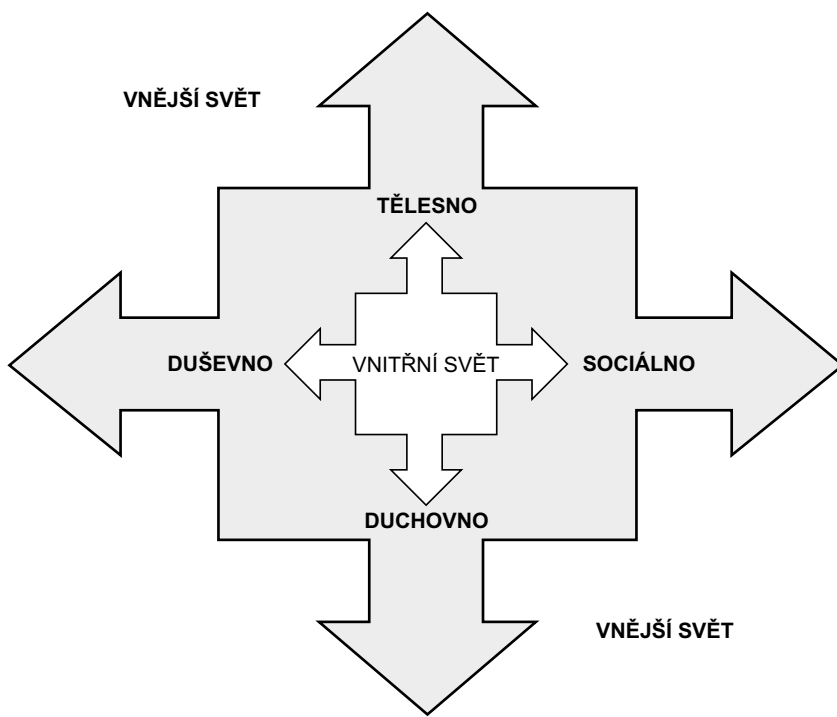
Na začátku si tedy řekněme, proč by student nebo absolvent psychologie (studující na filozofické fakultě), pedagogiky (studující na pedagogické fakultě) nebo pracovník v jiné „nelékařské“ profesi pečující o jiné lidi měl mít základní povědomí o biologickém základě fungování nervových buněk? Není to zcela bezdůvodné a zbytečné? Proč by se měl vůbec zajímat o tělesnou stránku člověka, kam neurony nepochybně patří?

Domníváme se, že odpověď je jednoznačná. Kdokoli se zajímá o člověka a pracuje s ním, měl by zohlednit **všechny aspekty lidského bytí**. Jeho podstatou je především **neoddělitelné propojení** oblasti biologické (tělesné), psychické (duševní), sociální (mezilidské – vztahové) a duchovní (přesahové – spirituální – transcendentální). Všechny tyto oblasti se ovlivňují a působí interakčně na sebe **navzájem**.

Pokud si zlomíte nohu, jde sice o změnu na úrovni tělesna, nicméně bude tím nepochybně ovlivněno vaše myšlení, prožívání, cítění, ale i aktuální nebo potenciální systém vašich vztahů. Mnozí mohou hlubší smysl hledat nebo naopak ztratit. Propojení je však oboustranné – změny a stavy psychické působí na rovinu vztahů, přesahu i těla.

Zmíněné roviny lidského bytí zprostředkovávají rovněž interakce s vnějším světem, což bychom mohli znázornit jednoduchým schématem (viz obrázek 1.1).

Postoj, zohledňující propojení uvedených oblastí, se označuje jako **komplexní** či **celostní** nebo také **bio-psycho-sociálně-spirituální přístup**. Člověka pojímá jako bio-psycho-sociálně-spirituální komplex existující v určitém prostoru a čase, udržující stálost vnitřního prostředí a interakčně provázaný s jeho okolím.



**Obr. 1.1** Schéma interakcí vnitřního a vnějšího světa

Stále vžitý a užívaný je poněkud nepřesný pojem „psychosomatika“. Mnohými je považován za synonymum. Můžete to brát jako hru se slovíčky, ale ve slovech „psychosomatika – psychosomatický“ zaznívají pouze řecké kořeny *psychē* (duše) a *sōma/sōmatos* (tělo). Pojem tak v sobě zahrnuje propojení psychické a tělesné oblasti. Součástí člověka je však také vztahová a přesahová rovina. Proto není označení „psychosomatika“ úplně přesné.

Nezpochybnitelnou hlavní roli „**zprostředkovatele complexity**“ na tělesné úrovni hraje **mozek a jeho neuronální síť**. Právě mozek je hmotným korelátem, na který je vázáno řízení těla, ale i prožívání a chování, učení, vnímání či myšlení, fantazie a další psychické atributy, stejně jako projevy a vazby vůči druhým lidem (včetně schopnosti empatie) nebo úvahy o smyslu a transcendentnu.

Lidské tělo s mrtvým mozkem může být díky moderním přístrojům zachováváno „při životě“. Je možno udržovat krevní oběh a dýchání, tělo vyživovat a odvádět zplodiny metabolismu. Člověk jako lidská bytost schopná interakce s okolím však umírá v okamžiku smrti mozku.

Můžeme tedy říci, že za všemi psychickými funkcemi i navazováním vztahů s druhými lidmi „stojí“ činnost mozku a nervových buněk, a také že uvedené funkce „stojí“ na činnosti mozku a jeho neuronů.

A tím se dostáváme k odpovědi na úvodní otázku – proč se vůbec zabývat stavbou a funkcí nervových buněk a jejich propojení? Pokud bychom tuto oblast zanedbali či pominuli, přišli bychom o podstatnou složku a nedílnou součást lidské existence.

Bylo by to stejné, jako bychom pomýjeli například to, že člověka tvoří také duševní stránka zahrnující mimo jiné prožívání a chování, a dívali se na něj jako na pouhý biologicky fungující organismus – pravděpodobně uznáte, že to by bylo naprosto zavádějící.

## 2. Něco málo z historie objevování nervových buněk a mozku

Touha člověka hledat, objevovat, poznávat a vysvětlovat (i samotná historie celého lidského rodu) jsou nesmírně zajímavé a také široké. Než se podíváme, co víme dnes, ohlédněme se krátce zpět na to, jak se v minulosti vyvíjelo lidské poznání nervových buněk. Bude to opravdu jen rychlá a krátká miniekurze nazpět časem. Vzhledem k množství objevů, odhalených poznatků a souvislostí i jmen, které historie objevování nervových buněk a jejich funkcí přinesla, není možné (a ani účelné) uvádět vše. Nečekejte tedy kompletní historický přehled – s úctou ke všem větším i menším objevitelům minulosti uvedme jen některé.

Nutno poznamenat, že existence neuronů nebyla lidstvu vůbec známa po celé dlouhé epochy. Dokonce ani význam samotného mozku a nervové soustavy nebyl dlouho vůbec jasný. Například ve starém Egyptě považovali za centrum inteligence a osobnosti srdce.

Kolem roku 500 př. n. l. sice řecký filozof **Alkmeon** vyjádřil myšlenku, že na mozek jsou napojeny všechny smysly, ale ani on, ani jeho následovníci nevěděli o existenci nervů a jeho myšlenka na dlouhou dobu zapadla.

Slavný řecký filozof a autorita poznání **Aristoteles** (384–322 př. n. l.) se nedomníval, že by mozek mohl mít pro lidské tělo větší význam. Souvislost mezi mozkiem a myšlením nepřipouštěl a byl přesvědčen, že mozek slouží toliko k ochlazení krve.

Roku 322 př. n. l. objevili řečtí anatomové **Herofilus** a **Erasistratus** nervová vlákna, která vytvářejí v těle síť. Jejich objev dlouhou dobu nebyl rozvíjen a principy stavby a funkce nervového systému i samotná existence neuronů zůstávala dlouhou dobu neodhalena.

Podstatný mezník na cestě k objevování stavby a funkce nervových buněk přineslo až využití mikroskopu. Připomeňme, že jej zkonstruovali tři nizozemští optici – Hans Lippershey a Hans Jansen se svým synem Zachariasem.

Nervová zakončení a nervová vlákna jako jeden z prvních popsal čínorodý badatel **Marcello Malpighi** (1628–1694), který působil na univerzitě v Pise. Ve svém díle *De cerebro* (O mozku) z roku 1665 popsal mimo jiné nervová vlákna propojující mozek a míchu.

Základní kámen reflexní teorie položil **René Descartes** (1596–1650), podle nějž byly veškeré stimuly z periferie těla přenášeny do centrálního nervového systému. Odsud pak putovaly

k příslušným orgánům a podmiňovaly jejich reakce. Jeho názory radikálně ovlivnily a změnily fyziologii a medicínu.

***Poznámka:** Filozof René Descartes pocházel z Normandie. Měl velmi široký okruh zájmů. Mimo jiné se věnoval i matematice a fyzice, sloužil dobrovolně v armádě. Na dobu dvou desetiletí se usadil v Amsterdamu, kde se věnoval pitvám zvířat. Mohli bychom říci, že svůj život zasvětil hledání pravdy, pochybování a objevování. Všeobecně známý je jeho výrok „Cogito, ergo sum“ (Myslím, tedy jsem). Přišel s mechanistickou teorií. Tělo a duše, hmota a vědomí byly podle něho oddělené a nesouměřitelné. Za sídlo lidské duše považoval šišinku (neboli epifýzu) – malou žlázu velikosti menšího hrachu v zadní části středního mozku.*

K úrovni poznání významně přispěl **Thomas Willis** (1621–1675), který je považován za zakladatele neuroanatomie a neurofyziologie (oborů neurověd zabývajících se stavbou a funkcí nervového systému). Velkou pozornost a popularitu získala zejména jeho díla z roku 1664 – *Cerebri anatome: cui accessit nervorum descriptio et usus* (Anatomie mozku, k níž bylo přidáno popsání a používání nervů) a 1667 – *Pathologiae cerebri et nervosi generis speciment* (Patologie mozku a přirozená podoba nervů). Navzdory důkladnosti anatoma vycházel Willis z představy, že spojení těla a duše je zprostředkováno nějakými živočišnými látkami, které právě nervový systém rozvádí po těle.

U zrodu neurofyziologie, zaměřující se na poznání podstaty fungování neuronů a nervového systému jako takového, stáli především **Charles Bell** (1774–1842), autor díla *Idea of a New Anatomy of the Brain* (Nová anatomie mozku), a **François Magendie** (1783–1855), který vynikl především řadou neurofyziologických experimentů. Bell mimo jiné prokázal existenci motorických a senzorických nervů.

K významným objevitelům, kteří později navázali na Malpighiho a šli dál, patřili především známý **Jan Evangelista Purkyně** (1787–1869) a **Robert Remak** (1815–1865). Purkyně popsal základní části nervové buňky. Pozornost soustředil také na nervová vlákna. Nesou po něm jméno velké neurony mozečkové kůry – Purkyňovy neurony. Remak mimo jiné popsal obaly nervových vláken či vrstevnaté uspořádání neuronů mozkové kůry. O funkci a činnosti nervových vláken či o propojení neuronů se však v jejich době ještě nevědělo. Panovala řada teorií – například retikulární teorie předpokládala existenci jakési sítě vláken, které přenášejí impulzy a propojují navzájem nervové buňky.

Velikánem na poli mikroskopického poznání neuronů se nepochybně stal španělský histolog **Santiago Ramon y Cajal** (1852–1934). Jeho (na svou dobu převratné) poznatky se staly základem tzv. neuronové teorie. Podle ní je každá nervová buňka samostatným celkem, přičemž kontakt mezi neurony je realizován pouze pomocí zakončení nervových vláken. Kontakty mezi nervovými zakončeními pojmenoval až následně **Charles Sherrington** (1857–1952) – označil je pojmem „synapse“.

V centru zájmu po dlouhou dobu stálo poznání funkce jednotlivých částí mozku a míchy. Objevitelé vycházeli z četných experimentů, například s dekapitovanými zvířaty (tedy s těly zvířat, kterým byla odstraněna hlava), z pozorování důsledků přerušení různých částí mozku, míchy a nervů, ale také z klinických pozorování lidí s různými chorobami či úrazy mozku a míchy.

Změřit rychlost vedení elektrických impulzů šířících se v nervových vláknech se jako prvnímú podařilo **Hermannu von Helmholtzovi** (1821–1894). Zjistil tehdy, že nervová vlákna vedou informace rychlostí 25–40 m/s.

Ne všechny experimenty, které přispěly k poznání funkce neuronů, bychom dnes považovali za humánní. Např. německý vojenský chirurg **Eduard Hitzing** (1837–1907) vojákům s poraněnou lebku v rámci péče zaváděl do mozku elektrody a pozoroval, jaký účinek má elektrický proud z připojené baterie. Věnoval se pak i podobným experimentům na zvířatech a jejich mozcích. Spolu s **Gustavem Theodorem Fritschem** (1837–1827) zavedli metodu elektrofyziologického mapování mozkové elektrické aktivity (dnes ji známe jako EEG – elektroencefalografii).

Rovněž zkoumání podstaty reflexů a způsobu vedení informací neurony stálo po dlouhou dobu v centru zájmu řady vědců. Proslulý ruský fyziolog **Ivan Petrovič Pavlov** (1849–1936) však rozhodně nebyl jediný, kdo se reflexy zabýval. Svými experimenty se psy a rozlišením dvou základních typů reflexů na nepodmíněné čili vrozené a podmíněné neboli získané se nicméně stal jedním z nejznámějších.

V průběhu 20. století dosáhl vědecký pokrok nevídaného rozmachu. Pochopení principu přenosu informací mezi neurony prostřednictvím chemických látek znamenalo obrovský krok vpřed. Jedním z prvních neuropřenašečů, které byly prokázány, byl acetylcholin.

Jedním z vědců, kteří stáli za potvrzením teorie chemického přenosu informací mezi neurony a osvětlením role acetylcholinu jako mediátoru, byl **Otto Loewi** (1893–1961), profesor farmakologie ve Štýrském Hradci. Zmiňujeme jej pro zajímavost proto, že dle jeho vlastního sdělení realizoval jeden z klíčových experimentů prokazujících efekt chemické transmise přesně podle svého vlastního nočního snu. Jak je z uvedeného (a zdaleka ne ojedinělého) příkladu vidět, sny, které se nám zdají, mohou mít mnohem větší význam, než se nám může na první pohled zdát.

Postupně byly objevovány **další neuropřenašeče** – adrenalin, dopamin, serotonin a desítky jiných. Na poznání principů neurotransmise navázalo porozumění účinku řady látek blokujících receptory přenašečů (např. atropinu, který blokuje reakci acetylcholinových receptorů, šípového jedu kurare, který blokuje účinky acetylcholinu, apod.).

Objev různých chemických látek působících na neurony a rozvoj farmakologie a toxikologie přinesly obrovský průlom v **možnostech ovlivnění** neuronů, mozku a psychického stavu. Mnohé z těchto látek byly nebo stále jsou používány v léčbě nebo zneužívány jako legální i nelegální drogy. Některé sloužily a stále slouží také jako prostředek k setkání s transcendentnem (např. v rámci šamanské tradice).

V roce 1943 sám na sobě ověřil účinky kyseliny lysergové (LSD – halucinogenu) švédský biochemik **Albert Hofmann** (1906–2008). Použití LSD (dnes nelegální drogy) stálo mimo jiné za vznikem transpersonální psychologie profesora Stanislava Grofa.

V roce 1949 bylo k léčbě deprese použito lithium. Později přicházejí první antipsychotika a antidepresiva. **Psychofarmaka** se postupně stávala jedněmi z nejčastěji předepisovaných léků.

V roce 1961 byl použit chemický analog mediátoru dopaminu (L-DOPA) a o šest let později byl tento lék zaveden do klinického použití při léčbě Parkinsonovy nemoci.

Naše poznatky na poli neurověd významně obohatil rozvoj moderních zobrazovacích, funkčních i laboratorních metod.

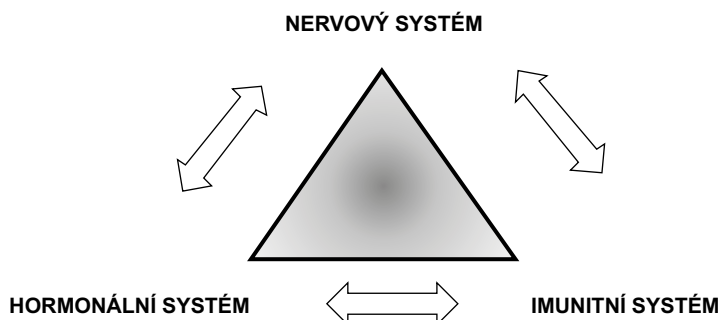
Za jeden z nejvýznamnějších příspěvků vědy 20. století je považován objev **zrcadlových neuronů** (*mirror neurons*). Začátkem devadesátých let je v mozkové kůře opic poprvé identifikoval vědecký tým italského neurofyziologa **Giacoma Rizzolattiho**. U člověka byla jejich existence prokázána následně.

Jde o specifické neurony mozkové kůry, které se aktivují v případech, kdy dotyčný jedinec pozoruje určitou činnost, kterou vykonává někdo jiný. Objev zrcadlových neuronů vedl ke vzniku řady hypotéz. Dnes jsou zrcadlové neurony pokládány za klíč k pochopení sociální interakce, řeči, ale i empatie. Porucha jejich vývoje bývá dávána do souvislosti např. s poruchami autistického spektra.

Současnost i navazující budoucnost půjde v bádání a objevování nepochybně stále dál. Významný je zejména rozvoj na poli biochemie, imunologie, ale i genetiky, molekulární biologie či molekulární patologie. Budoucnost nám nepochybně přinese další významné objevy.

# 3. Stavba a funkce neuronu

Nervové buňky jsou základním stavebním kamenem nervového systému. Připomeňme, že ten stojí na pomyslném vrcholu řídicích a integračních systémů lidského těla (spolu se systémem hormonálním a imunitním, se kterými je ve vzájemných oboustranných vazbách).



*Obr. 3.1 Schéma regulačně-integračního trojúhelníku*

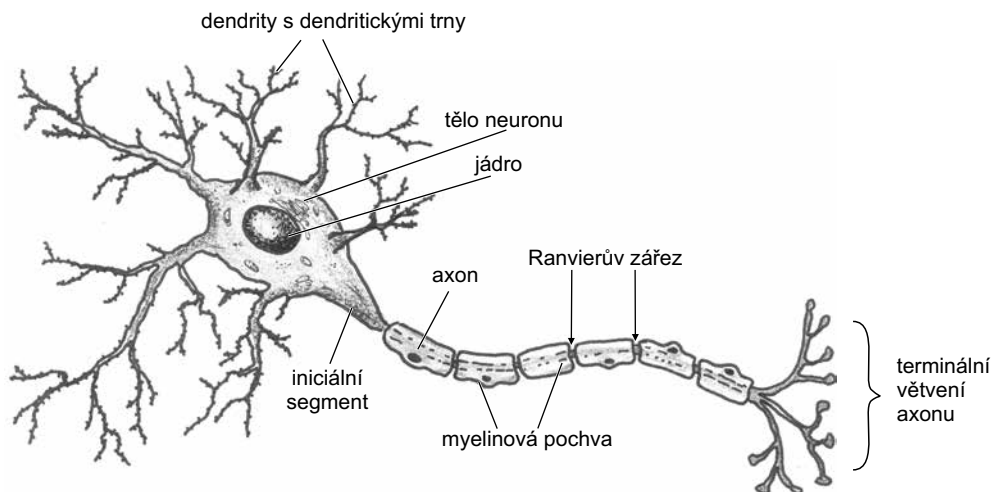
Nervové buňky (neurony) jsou vysoce specializované buňky lidského těla, které procházejí složitým vývojem a zráním. Výsledkem je velké množství různých typů nervových buněk, jejichž celkový počet v lidském těle je odhadován v řádu trilionů ( $10^{12}$ , tj. 1 000 000 000 000 buněk). Jsou jedním z mnoha typů buněk, které tvoří lidské tělo, v mnoha ohledech jsou však buňkami vskutku výjimečnými.

Základní funkcí neuronů je **příjem, vedení, přenos a zpracování informací**. Při tom jsou spolu navzájem propojeny do kolosální trojrozměrné sítě a jsou spojeny také s dalšími buňkami a tkáněmi lidského těla. Jde o buňky s **vysokou úrovní látkové přeměny** – metabolismu (vysoká je zejména tvorba proteinů – proteosyntéza). Z toho důvodu mají neurony velké nároky na dodávku živin – hlavním a naprosto klíčovým zdrojem energie pro nervové buňky je glukóza. Vysoké jsou rovněž nároky na přísun kyslíku.

Jak stavba, tak rozměry neuronů nepřestávají udivovat. Jak píše např. profesor Wiliam Francis Ganong, bylo spočítáno, že kdybychom tělo míšního neuronu zásobujícího sval nohy zvětšili do velikosti tenisového míčku, pak by jeho dendrity (dostředivé výběžky) vyplnily průměrně velký obývací pokoj a axon (odstředivý výběžek) by byl dlouhý přes 1,5 km, přičemž jeho průměr by byl jen něco málo přes 10 mm!



Přes odlišnosti ve velikosti, tvaru, chemickém složení či specializované funkci je **základní stavební princip** všech neuronů podobný: rozlišujeme tělo a systém výběžků (dendritů a axonů). Než se pustíme do dalších podrobností, seznámíme se se základními částmi nervových buněk.



Obr. 3.2 Stavba neuronu

## Tělo neuronu

Tělo nervové buňky se nazývá také **perikaryon** (z řeckých slov *peri* – okolo, kolem a *karyon* – buněčné jádro). Obsahuje jádro, endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, mitochondrie a další buněčné organely.

U jednotlivých neuronů má tělo různorodý tvar: kulatý, oválný, větvenitý, pyramidový apod. Rozmanitá je také jeho velikost.

Mezi tělem neuronu a jeho výběžky probíhá neustálý oboustranný tok a výměna látek a organel. **Anterográdní transport** látek je realizován směrem z těla nervové buňky do periferie výběžků. Týká se především bílkovin, neurotransmiterů a receptorů. **Retrográdní transport** (opačným směrem) je určen pro odpadní a degradační produkty metabolismu, toxiny apod.

Z hlediska jeho rychlosti rozeznáváme:

- Rychlý transport** probíhající nejčastěji rychlostí kolem 400 mm/den (s intervalem 40–700 mm/den).
- Pomalý transport** postupující rychlostí do 10 mm/den, často i méně než 1 mm/den.

## Dendrity

Dendrity (z řeckého slova *dendron* – strom) představují zpravidla početné stroměčkovitě se větvcí výběžky neuronálního těla. Struktura, tvar a rozsah dendritického stromu je pro mnohé neurony

typický – možná obdobně, jako je pro určité druhy stromů větvení jejich korun. Dendrity mohou být hladké. Pro zvětšení jejich plochy se na nich běžně vyskytují drobné výčnělky – **dendritické trny**.

Informace v podobě sérií elektrických potenciálů vedou dendrity vždy směrem k buněčnému tělu (dostředivě).

## Axon

Axon (z řeckého *axōn* – osa) neboli neurit je výběžek neuronu odstupující z **axonového hrbolku** na těle neuronu. Jeho počáteční úsek se nazývá **iniciální segment**.

Na rozdíl od dendritů vede axon elektrické impulzy vždy odstředivě – směrem od těla neuronu. Axony dosahují různé délky (řádově od zlomků milimetru po více než metr). Větví se většinou až v terminální (koncové) části. Konečné větvení se nazývá **telodendrie**. Kromě elektrických potenciálů probíhá v axonu rovněž velmi intenzivní transport řady látek.

Neurony se liší nejen svými těly a dendritickým větvením, ale i rozlohou, tvarem a orientací axonu. I zde platí, že konkrétní podoba axonu je pro jednotlivé typy nervových buněk vesměs charakteristická a typická.

Pokud axony nejsou obaleny, hovoříme o **šedých nervových vláknech**.

Většina axonů však je obalena – pak se označují jako **bílá** neboli **myelinizovaná nervová vlákna**. Obalen bývá zpravidla celý axon kromě iniciálního segmentu a terminálního větvení. Obaly nervového vlákna se nazývají **myelinové pochvy**:

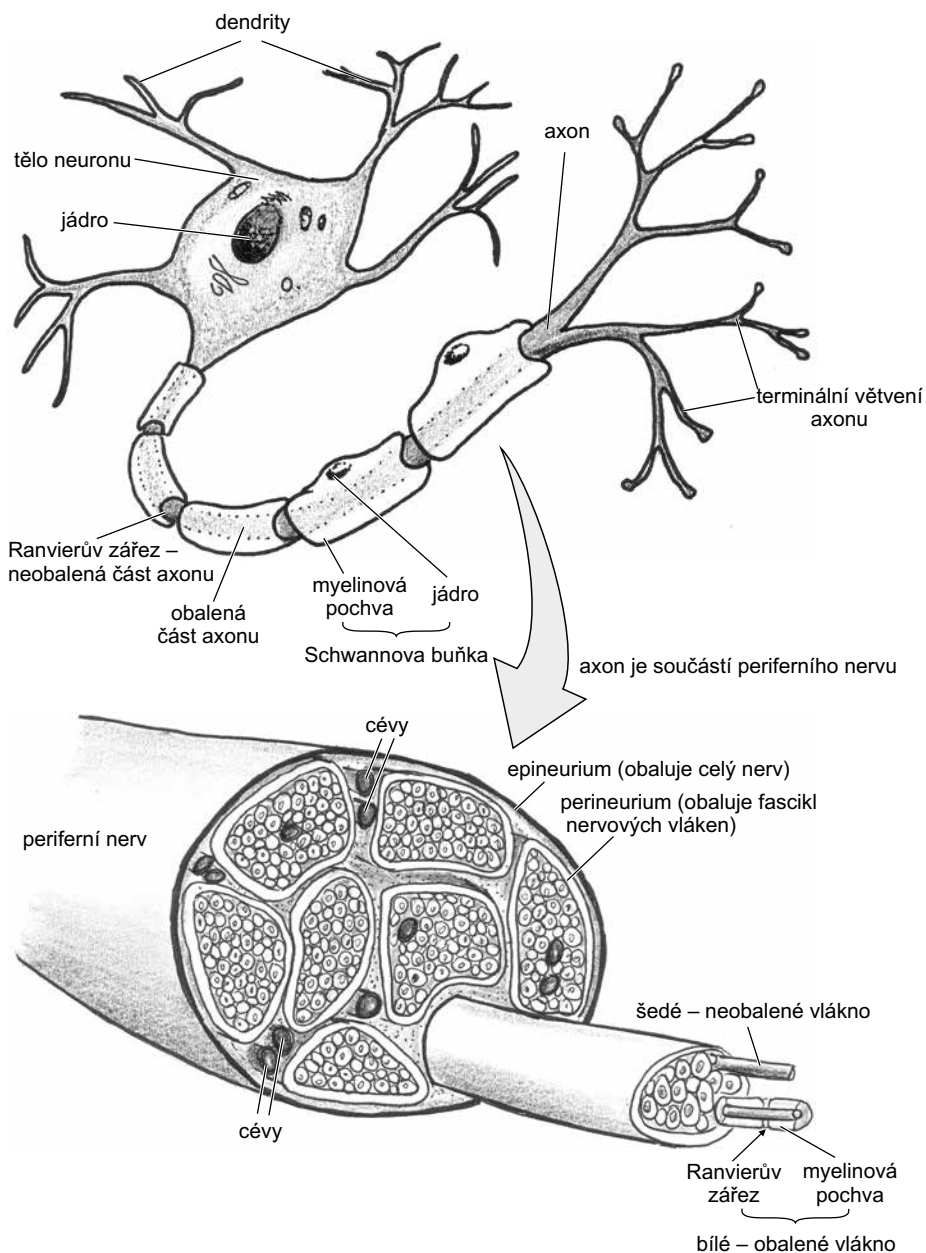
- a) V centrálním nervovém systému (tedy v mozku a míše) vzniká myelinová pochva tak, že výběžky **oligodendroglie** (typ gliové buňky – viz dále) obtáčí jednotlivé axony. Jediná oligodendroglie svými výběžky obaluje řadu axonů.
- b) V periferním nervovém systému (tedy v mozkových a míšních nervech) jsou myelinové pochvy tvořeny **Schwannovými buňkami** (další typ glií). Jedna Schwannova buňka přitom 10–150 vrstvami obtáčí vždy jen jeden axon.

Myelinová pochva netvoří souvislý obal axonu, ale je přerušována volnými prostory mezi dvěma gliovými buňkami. Tyto štěrbinovité prostory jsou široké zhruba 1  $\mu\text{m}$  a nazývají se **Ranvierovy zářezy**. Pro vedení informací nervovými vlákny mají obrovský význam.

Část axonu mezi dvěma Ranvierovými zářezy je pokryta myelinovou pochvou a označuje se jako **internodium**.

Kontakt membrán gliové buňky a axonu je velmi intimní. Jde o těsné spojení, které zabraňuje prostupu řady látek (včetně iontů) a zvyšuje tak účinnost elektrické i chemické izolace.

Hlavní význam myelinové pochvy spočívá v **izolaci** jednotlivých nervových vláken. Zároveň významně **zvysuje rychlost** vedení akčních potenciálů.



Obr. 3.3 Obaly nervových vláken

Na celkovou rychlost vedení elektrických potenciálů má vliv jak typ a tloušťka nervového vlákna, tak kvalita jeho obalů. Pro většinu neuronů platí, že čím větší je průměr daného nervového vlákna, tím vyšší rychlostí vede elektrické potenciály. Rychlost vedení vzruchu nervovým vláknem je většinou přímo úměrná délce internodia (tedy vzdálenosti mezi dvěma sousedními Ranvierovými zářezy).

Podle průměru a rychlosti vedení akčních potenciálů dělíme nervová vlákna na tři základní typy:

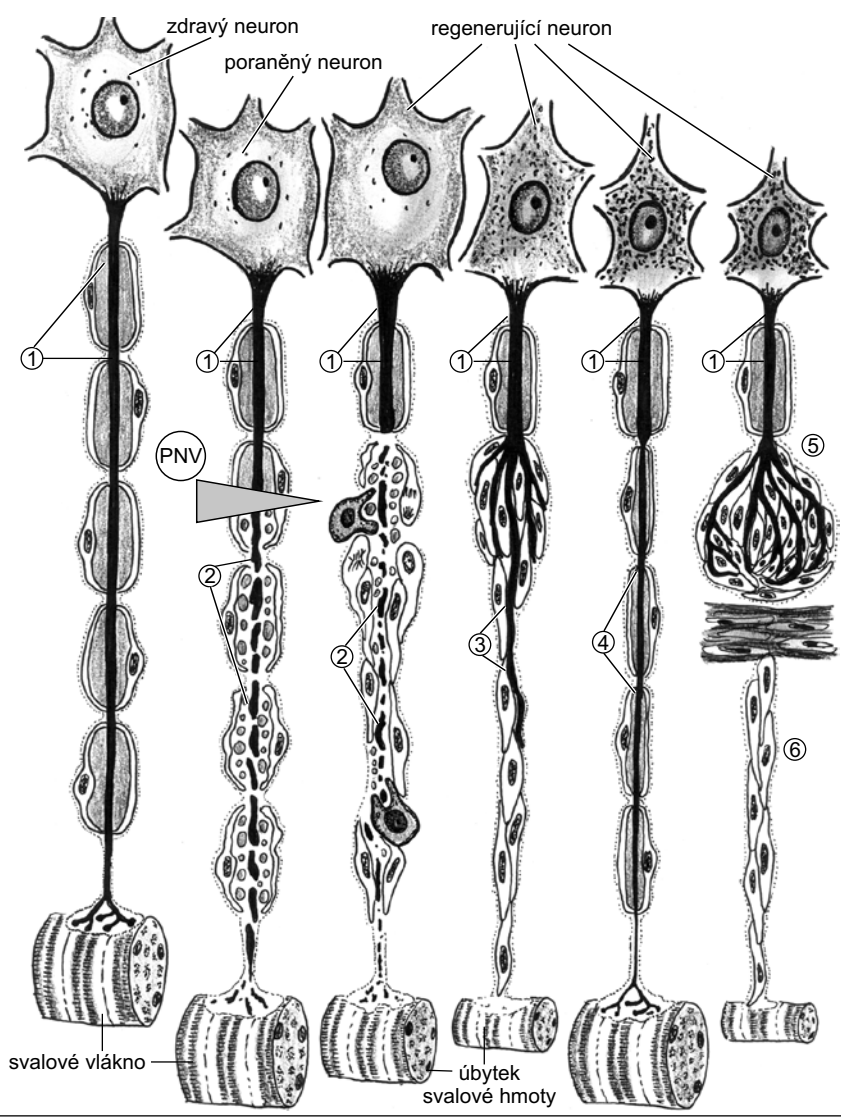
1. **Vlákna typu A** jsou myelinizovaná. Mají největší průměr a elektrické potenciály vedou nejrychleji. Členíme je dále do čtyř podtypů označovaných písmeny řecké abecedy:
  - Vlákna **A $\alpha$**  dosahují průměru 12–20  $\mu\text{m}$ . Rychlostí 70–120 m/s vedou informace pro hluboké čítí a motoriku.
  - Vlákna **A $\beta$**  mají průměru 5–12  $\mu\text{m}$ . Rychlostí 30–70 m/s vedou senzitivní informace o dotyku a tlaku.
  - Vlákna **A $\gamma$**  s průměrem 3–6  $\mu\text{m}$  jsou speciální vlákna  $\gamma$ -motoneuronů určená pro svalová vřetenka. Informace vedou rychlostí 15–30 m/s.
  - Vlákna **A $\delta$**  mají průměr 2–5  $\mu\text{m}$ . Rychlostí 12–30 m/s přenášejí senzitivní informace o bolesti, chladu a dotyku.
2. **Vlákna typu B** jsou rovněž myelinizovaná. Jedná se o výběžky pregangliových autonomních neuronů. Jejich průměr je menší než 3  $\mu\text{m}$ . Elektrické impulzy vedou rychlostí 3–15 m/s.
3. **Vlákna typu C** jsou nemyelinizovaná vlákna s průměrem je cca 0,3–1,3  $\mu\text{m}$  a rychlostí vedení nepřesahující 2 m/s. Jsou to postgangliová autonomní vlákna a senzitivní vlákna, která vedou informace o bolesti a teplotě. Částečně se podílejí také na registraci mechanických podnětů.

***Poznámka:** Pregangliová a postgangliová vlákna se vztahují k autonomnímu nervovému systému, o kterém se zmiňujeme v další části knihy.*

Pokud dojde k přerušení axonu v periferním nervovém systému, ztrácí periferní pahýl během dvou až tří dnů schopnost vést vzruchy a postupně se rozpadá. Daný proces se označuje jako **Wallerova degenerace**.

Centrální pahýl, který zůstává spojen s tělem neuronu, naopak regeneruje (hovoříme o **Wallerově regeneraci**). Rozbíhá se zde intenzivní proteosyntéza (tvorba bílkovin), pahýl roste a také se větví. Postupně vznikají i nové myelinové obaly.

V rámci Wallerovy regenerace může rostoucí nervové vlákno rovněž „prorůst“ do starých myelinových pochev a využít tak periferní části poškozeného nervu jako jakýsi preformovaný kanál. To je mimo jiné důvodem, proč má smysl sešít k sobě konce přerušovaných nervů – přerušené části nervových vláken se znovu nespojí, ale rostoucí centrální část nervových vláken vrostle do části periferní. Postupně tak může dojít k obnově funkce přerušovaného nervu – např. v případě regenerace senzitivního nervu se člověku vrátí citlivost kůže.



- ① centrální část axonu
- ② periferní – oddělená část axonu podléhá rozpadu
- ③ rostoucí – regenerující centrální část axonu
- ④ regenerovaný axon
- ⑤ pahýl centrální části axonu (po nekompletní regeneraci)
- ⑥ vazivo místo nervového vlákna

**PNV** přerušení nervového vlákna

Všimněte si rozpadu a novotvorby myelinových obalů a změny objemu svalového vlákna (zachycen motorický  $\alpha$ -motoneuron).

**Obr. 3.4** Wallerova degenerace a regenerace