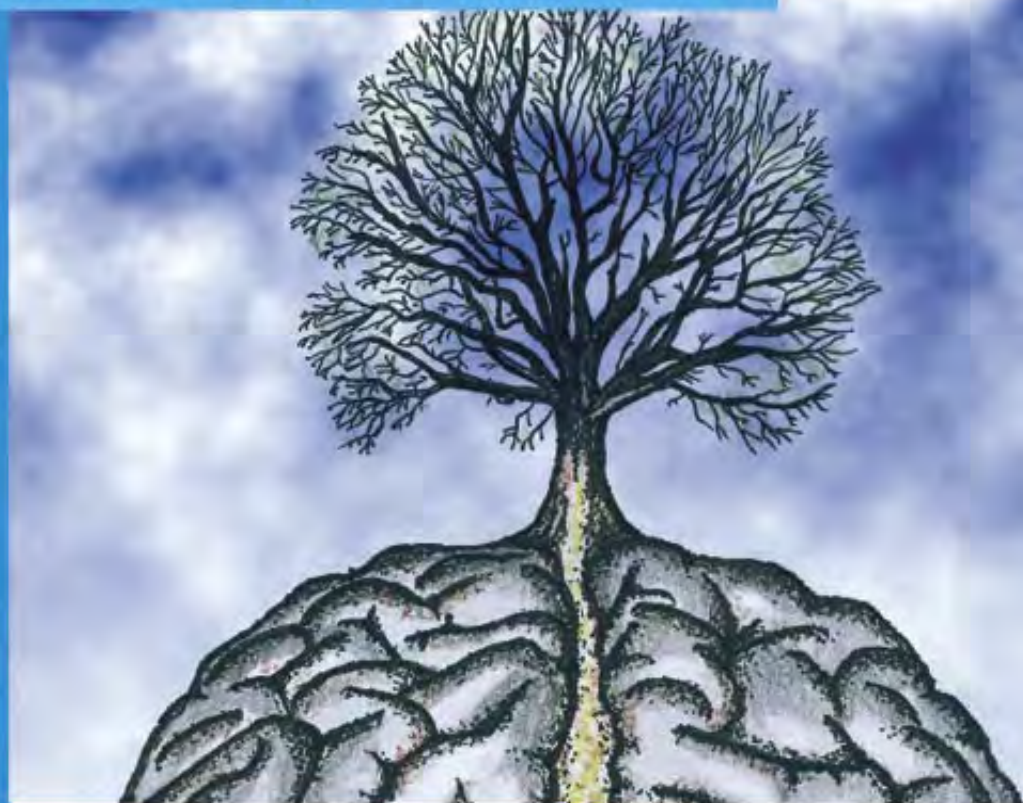


Miroslav Orel, Věra Facová a kol.



ČLOVĚK, JEHO MOZEK A SVĚT



 **GRADA®**

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 **trestně stíháno**.

Používání elektronické verze knihy je umožněno jen osobě, která ji legálně nabyla a jen pro její osobní a vnitřní potřeby v rozsahu stanoveném autorským zákonem. Elektronická kniha je datový soubor, který lze užívat pouze v takové formě, v jaké jej lze stáhnout s portálu. Jakékoliv neoprávněné užití elektronické knihy nebo její části, spočívající např. v kopírování, úpravách, prodeji, pronajímání, půjčování, sdělování veřejnosti nebo jakémkoliv druhu obchodování nebo neobchodního šíření je zakázáno! Zejména je zakázána jakákoliv konverze datového souboru nebo extrakce části nebo celého textu, umísťování textu na servery, ze kterých je možno tento soubor dále stahovat, přitom není rozhodující, kdo takovéto sdílení umožnil. Je zakázáno sdělování údajů o uživatelském účtu jiným osobám, zasahování do technických prostředků, které chrání elektronickou knihu, případně omezují rozsah jejího užití. Uživatel také není oprávněn jakkoliv testovat, zkoušet či obcházet technické zabezpečení elektronické knihy.



Copyright © Grada Publishing, a.s.

Poděkování

Chceme poděkovat všem, kteří přímo i nepřímo k napsání a vydání této knihy přispěli. Mnozí si nemusejí být svého přispění ani vědomi nebo by svůj „podíl“ nenazvali „podílem“ – třeba z jim dané skromnosti nebo proto, že ovlivnili naše životní pouti ve zcela jiné oblasti, než je psaní knih.

Miroslav Orel a Věra Facová

Můj obzvláště velký dík patří kolegyni Věře a její rodině (manželovi, synovi, mamince i zesnulému tatínkovi) a mým rodičům, bez nichž – bez jejich podpory a porozumění – by nebylo mnohé, včetně této knihy.

Miroslav Orel

MUDr. PhDr. Miroslav Orel
PaedDr. Mgr. Věra Facová a kol.

ČLOVĚK, JEHO MOZEK A SVĚT

Autorský kolektiv

prof. RNDr. Pavel Anzenbacher, DrSc. – Ústav farmakologie LF UP a FN Olomouc
prof. MUDr. Miroslav Heřman, Ph.D. – Radiologická klinika LF UP a FN Olomouc
MUDr. Martin Kaláb – Kardiologická klinika LF UP a FN Olomouc
MUDr. Bohdan Křupka, Ph.D. – Neurologické oddělení, Vsetínská nemocnice, a.s.
PhDr. Radko Obereignerů, Ph.D. – Katedra psychologie FF UP a FN Olomouc
doc. PhDr. Vladimír Řehan, CSs. – Katedra psychologie FF UP Olomouc
Jiří Šimonek – promováný jednooborový psycholog
doc. MUDr. Rostislav Večeřa, Ph.D. – Ústav farmakologie LF UP a FN Olomouc
prof. MUDr. Jaroslav Veselý, CSc. – Ústav patologické fyziologie LF UP a FN Olomouc

Vydala Grada Publishing, a.s.
U Průhonu 22, 170 00 Praha 7
tel.: +420 220 386 401, fax: +420 220 386 400
www.grada.cz
jako svou 3678. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. Drahůše Mašková
Sazba a zlom Milan Vokál
Ilustrace MUDr. PhDr. Miroslav Orel
Počet stran 256
Vydání 1., 2009

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.
Husova ulice 1881, Havlíčkův Brod

Recenzovali:

prof. PhDr. Alena Plháková, CSc.
doc. MUDr. Ján Praško, Ph.D.

© Grada Publishing, a.s., 2009
Cover Photo © MUDr. PhDr. Miroslav Orel

ISBN 978-80-247-2617-5 (tištěná verze)
ISBN 978-80-247-6979-0 (elektronická verze ve formátu)
© Grada Publishing, a.s. 2011

OBSAH

1. KRÁTKÉ SLOVO NA ÚVOD	8
2. JAK JSME TO VIDĚLI KDYSI A JAK TO VIDÍME DNES	9
<i>Martin Kaláb</i>	
3. Z ČEHO JE MOZEK POSTAVEN A JAK FUNGUJE	16
<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Jaroslav Veselý</i>	
3.1 Základní cihly stavby zvané mozek (nervové buňky)	17
<i>Miroslav Orel</i>	
3.1.1 Plazmatická membrána nervové buňky	23
3.1.2 Další součásti nervových buněk	28
3.1.3 Jak jsou nervové buňky navzájem propojeny	30
3.1.4 Chemičti poslové informací (neuromediátory, neuromodulátory a neuropeptidy)	38
3.2 Buňky, bez kterých to také nejde (podpůrné buňky)	46
<i>Miroslav Orel</i>	
3.3 Co všechno v mozku najdeme a k čemu to je	48
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
3.3.1 Bez čeho se ani nenadechneme aneb I. etáž mozku (mozkový kmen)	51
3.3.2 Bez čeho se také neobejdeme aneb II. etáž mozku (mezimozek a mozeček)	53
3.3.3 Co to celé korunuje aneb III. etáž mozku (koncový mozek)	59
3.3.4 Nervy, které patří mozku	91
3.4 Když jsme zlí (problematika agrese)	95
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
3.5 Když bdíme a když spíme	99
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
3.5.1 Poruchy spánku	103
3.6 Nervové řízení tělesných funkcí	107
<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
3.7 Vědomí z pohledu neuronálních funkcí	108
<i>Jaroslav Veselý</i>	
3.7.1 Původ vědomí a vědomí jako proces	109
3.7.2 Je vědomí pouhá abstrakce?	111
3.7.3 Vědomí individuální a kolektivní	112
3.7.4 Řeč	112
3.7.5 Povaha nervových procesů	112

3.7.6	Nervová aktivita v mozku	113
3.7.7	Změny vědomí a dostupnost vědomí	114
4.	KOMPLEXNÍ PŘÍSTUP ANEB STARONOVÁ PSYCHOSOMATIKA . . .	116
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
4.1	Somatoformní poruchy	122
5.	JAK MOZEK VZNIKÁ, ROSTE A VYVÍJÍ SE	126
	<i>Věra Facová, Miroslav Orel</i>	
5.1	Ještě než se narodíme	127
	<i>Miroslav Orel</i>	
5.2	Co je k tomu potřeba (růstové faktory aj.)	133
	<i>Miroslav Orel</i>	
5.3	Když vše neprobíhá, jak by mělo (poruchy psychického vývoje)	136
	<i>Věra Facová, Miroslav Orel</i>	
5.4	Když mozek umírá	137
	<i>Miroslav Orel</i>	
6.	JAK MŮŽEME MOZEK SLEDOVAT A ZKOUMAT	139
	<i>Miroslav Heřman, Radko Obereignerů, Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
6.1	Vyšetřovací metody v rukou lékařů	139
	<i>Miroslav Heřman</i>	
6.1.1	Vyšetření struktury mozku (ct, mr aj.)	139
6.1.2	Funkční vyšetření mozku (EEG, PET, fMRI)	147
6.2	Vyšetřovací metody v rukou psychologů	149
	<i>Radko Obereignerů, Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
6.2.1	Metody neuropsychologického a psychologického vyšetření	149
	<i>Radko Obereignerů</i>	
6.2.2	A jedna z metod nejnovějších	160
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
7.	KDYŽ NĚCO NEFUNGUJE, JAK MÁ	162
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Vladimír Řehan, Bohdan Křupka</i>	
7.1	Psychiatrie známá neznámá	162
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
7.1.1	Když nejde myslet (demence a jiné)	163
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
7.1.2	Když se leccos zdá jiné (poruchy osobnosti a schizofrenie)	174
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
7.1.3	Když se cítíme jinak (problematika poruch nálady)	189
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
7.1.4	Když bez něčeho nemůžeme být (problematika závislosti)	197
	<i>Vladimír Řehan</i>	
7.2	Neurologie známá neznámá	207
	<i>Bohdan Křupka</i>	
7.2.1	Když roste, co by růst nemělo (problematika nádorů mozku)	208

7.2.2	Když je aktivní to, co by být nemělo (problematika epilepsie a migrény)	210
7.2.3	Když krev neteče, jak má (problematika mozkových příhod)	212
7.2.4	Když nás zradí imunita (problematika roztroušené sklerózy)	215
7.2.5	Když chybí poslové (problematika Parkinsonovy nemoci aj.)	216
7.2.6	Když to bolí (problematika bolesti)	217
8.	MŮŽEME MOZEK OVLIVNIT?	219
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová, Rostislav Večeřa, Pavel Anzenbacher</i>	
8.1	Psychofarmaka – léky pro duši (?)	219
	<i>Miroslav Orel</i>	
8.2	Léky tlumící bolest a jiné	226
	<i>Rostislav Večeřa</i>	
8.3	A co drogy?	229
	<i>Rostislav Večeřa</i>	
8.4	Když se toho podá víc aneb lékové interakce	231
	<i>Pavel Anzenbacher</i>	
8.5	Jakými dalšími metodami mohou lékaři ovlivnit mozek	234
	<i>Miroslav Orel</i>	
8.5.1	Elektrokonvulzivní léčba	234
8.5.2	Léčba světlem – fototerapie	236
8.5.3	Spánková deprivace	236
8.5.4	Transkraniální magnetická stimulace	236
8.5.5	Psychochirurgie	237
8.5.6	Některé další postupy	238
8.6	Těžko na bojišti, lehký na cvičišti aneb učení a vývoj	238
	<i>Věra Facová, Jiří Šimonek, Miroslav Orel</i>	
8.6.1	Novorozenec a kojeneček	238
8.6.2	Batole	240
8.6.3	Předškolní věk	241
8.6.4	Mladší školní věk	242
8.6.5	Starší školní věk	243
8.6.6	Adolescence	243
8.6.7	Čemu se lze také naučit	244
	<i>Jiří Šimonek</i>	
8.7	A co psychoterapie?	245
	<i>Miroslav Orel, Věra Facová</i>	
9.	KRÁTKÉ SLOVO NA ZÁVĚR ANEB VYPLÝVÁ Z TOHO NĚCO?	248
	LITERATURA	249
	SEZNAM ZKRATEK	252
	REJSTŘÍK	254

1. KRÁTKÉ SLOVO NA ÚVOD

Poznání a vědění je jako širý oceán. A my stojíme na jeho břehu. Na některých místech nám voda sahá po kotníky, jinde jsme se odvážili dál. Naše lodě vzdorují mořským vlnám a větru. Ale stále zůstává nezměrná hlubina pod povrchem – prostor tak blízký a zároveň tak vzdálený, tvorové, o jejichž existenci nemáme ani ponětí a jejichž tvary a barvy bychom nedokázali sami vymyslet.

Kniha, kterou máte v rukou, přináší některé poznatky o nejkomplikovanější stavbě, kterou na Zemi máme – o lidském mozku.

Jsme si vědomi toho, že než se k vám publikace dostane, mohou být poznatky širší, přesnější, novější. Víme, že jsme spoustu věcí možná mohli napsat jinak, nicméně jsme se snažili co nejpřístupněji vám přiblížit orgán, bez kterého bychom nebyli tím, čím jsme – lidskými bytostmi.

V jednotlivých kapitolách většinou propojujeme otázky stavby, fungování a poruch, protože je úplně oddělit neumíme – a neumí to ani náš mozek. Ono totiž opravdu „všechno souvisí se vším“. I proto jsme se – kromě kapitol o poruchách z pohledu psychiatrie a neurologie, o možnostech medicínského a psychologického vyšetření a ovlivnění mozku – rozhodli zařadit také krátkou kapitolu o komplexním přístupu.

Když jsme se odhodlávali k napsání této knihy, vycházeli jsme nejen z toho, čím se profesně zabýváme a co je tématem žádaným, ale hlavně z toho, co děláme a co máme rádi. A čtenářům – ať už náhodně listujícím nebo pozorně čtoucím – přejeme následující: **dělejte to, co máte opravdu rádi**. Ať už je to cokoliv...

V Olomouci 1. září 2008

Miroslav Orel a Věra Facová

2. JAK JSME TO VIDĚLI KDYSI A JAK TO VIDÍME DNES

Martin Kaláb

Mozek je orgán, který vzbuzuje pocit lehkého mrazení a představu tajemného, doposud ne zcela probádaného. Je kontinentem lidského těla, kde lze ještě dnes najít nejedno „bílé“ místo.

I laikovi je jasné, že bez mozku není myšlení, že mozek je tím hlavním řídícím a koordinačním centrem organismu. Ne vždy to však bylo tak jednoznačně vnímáno. Trvalo dlouhou dobu, než si mozek vydobyl své postavení v tlustých knihách medicíny i filozofie.

„Mozek je hlenovitá hmota bez většího významu v lidském těle, nanejvýš určená k ochlazování krve zahřáté vrozeným teplem a k navození spánku.“ – tak pravil slavný **Aristoteles** (citace použita z Clarke, E.: Aristotelian concepts of the form and function of the brain. Bulletin of the History of Medicine, 1963, 37, 1–14).

Aristoteles (384–322 př. n. l.) sám pitval celou škálu zvířat – od mořských ježků až po slony. Na kuřecím embryu si všiml, že prvním orgánem, který jeví známky aktivity, je srdce. Považoval ho tedy za hybatele života a zdroj tělesného tepla. Právě tělesné teplo spojoval s inteligencí. Z živých bytostí nejvíce tepla vytvoří člověk a ten také potřebuje nejvýkonnější chladicí systém – v podobě mozkové tkáně. Myšlenice, že by mozek mohl být centrem myšlení, se vysmíval.

Je paradoxem, že jeho učitel **Platon** (483–348 nebo 347 př. n. l.) se stal autorem tzv. duchovní anatomie. Umístil mozek do centra kosmu. Bohové, kteří dostali za úkol stvořit člověka, začali u hlavy, která má kulatý tvar, stejně jako kosmos.

Aristoteles ani Platon nebyli první, kdo se zabýval mozkem. Nejstarší dochované zmínky o manipulaci s ním pocházejí ze starověkého Egypta z období asi 4 000 let př. n. l. Duchovní, kteří mumifikaci připravovali mrtvé na cestu do záhrobí, pomocí drátů zavedených nosem prorazili čichovou kost na spodině přední jámy lební a postupně vytahovali z útrob hlavy řidkou, kašovitou hmotu, o které neměli vůbec představu, k čemu slouží. Prázdna lebka byla poté vycpána látkou. Srdce, považované za sídlo duše a intelligence, muselo zůstat v těle. Bez něho nebyla možná cesta do záhrobí (zatímco bez mozku ano).

Vraťme se ke starověkým Řekům. Asi 500 let př. n. l. (ještě před Platonem a Aristotelem) řecký filozof **Alkmeon** vyřízl z hlavy zvířete oko a všiml si vláken procházejících do lebky. Netušil nic o existenci zrakového nervu, spatřenou strukturu považoval za kanálek. Podobné dutiny ústící do lebky objevil i při zkoumání ucha a nosu. Došel k názoru, že lidské tělo je protkáno sítí podobných kanálků, kterými proudí vzdušní duchové – tzv. *pneumata*. Pak už nebylo daleko od úvahy, že na mozek jsou

napojeny všechny smysly a že centrem vnímání není srdce, ale právě mozek. To byla vcelku revoluční myšlenka, leč bez hmatatelného podkladu.

Alkmeon ani jeho následovníci zatím nevěděli nic o nervových svazcích a vláknech. Řekové nechtěli pitvat člověka. Důvod? Duše zemřelého by nenalezla klid v posmrtném životě. Museli si tedy vystačit s teorií, že tělo je složeno z kombinace čtyř tekutin, které nazývali *humory* – krev, hlen, černá žluč a žlutá žluč. Nemoci pak vysvětlovali porušením jejich rovnováhy.

V každé době se ale najdou vzbouřenci proti zažitým dogmatům. Ve starém Řecku to byli **Herofilos** a **Erasistratos**, kteří porušili tabu – prokazatelně pitvali lidská těla. Herofilos jako první popsal bledá vlákna vycházející z mozku – nervy – a odlišil velký mozek a mozeček. Erasistratos považoval objevené nervy za trubice vedoucí vzdušná *pneumata* z mozku do svalů. A aby toho nebylo málo, dokonce se odvážil tvrdit, že právě mozek je sídlem inteligence člověka.

Více snad v tehdejší době nebylo ani možné zjistit. Mozková tkáň po vyjmutí z lebky podléhala rychlému rozkladu.

Roku 150 n. l. přišel z Turecka do Alexandrie mladý **Galenos** (129–199). Začal jako lékař gladiátorů a neměl ještě ani potuchy o tom, jak výrazně ovlivní medicínu na dalších 1 500 let.

On se musel obejít bez pitev lidí. To, že nikdy neotevřel lidské tělo, se také stalo příčinou jeho největšího medicínského omylu – chybného vysvětlení systému proudění krve. V jeho podání prakticky nelze hovořit o krevním oběhu (ale o tom snad někdy v jiné knize).

Do svých třiceti let však Galenos vytvořil **nový pohled** na lidský organismus. Spojil poznatky Platona, Aristotela a Hippokrata. To vše doplnil o vlastní poznatky. Podle Galena se jídlo v těle měnilo na tkáň a dech na duši. Vitální duchové, kteří došli až do hlavy, vstoupili do zázračné spleti cév na spodině lebky – *rete mirabile* (tu Galenos popsal při pitvě volské hlavy). Zde se proměnili na duchy animální, kteří byli schopni myšlení, pohybu a vnímání. Ze zázračné spleti cév se tito animální duchové dostali do mozkových komor, odkud byli mozkiem vytlačeni do dutých nervů a byli hnáni do těla, kam přinášeli pohyb a vnímání.

Galenos tedy věřil, že inteligence dlí v hlavě, a mozek chápal jako pumpu rozhánějící animální duchy.

Nic na světě netrvá věčně. Agónie antického světa vyvrcholila rozpadem římského impéria v roce 395. Patnáct let nato byl Řím rozvrácen nájezdy Vizigótů a Vandálů. Pro západní země nastalo období společenského úpadku a jen díky překladatelské a opisovačské práci arabských pisárů zůstala pro Evropu zachována díla antických velikánů.

Evropa nabírala dech, pomalu a ztěžka, až **ve dvanáctém století**. Medicína byla v plenkách a nad lékaři drželi přísný dozor duchovní. Přesto se však objevily první snahy o **pitvy lidského těla**. Zpočátku se jednalo spíše o divadelní představení pro vyvolenou společnost, anatomové více poukazovali na „božskou prozřetelnost“, než by je zajímaly konkrétní podrobnosti. Navíc se Galénovo

učení stalo evangeliem. „Lékaři“ hloubali nad jeho spisy a špinavou práci přenechávali „nedovzdělaným chirurgům“.

Bylo jen otázkou času, kdy vyvstane podezření. V roce 1537 si **Andreas Vesalius** (1514–1564), třiaadvacetiletý anatom z univerzity v Padově, uvědomil, že Galenos nikdy nepitval člověka a že vše, co popsal v lidské anatomii, si vypůjčil od zvířat. Vesaliovy přednášky a kresby se šířily jako blesk po celé Evropě. Narazily na mrazivý chlad nesouhlasného mlčení dobových kapacit akademické obce. Kniha **O uspořádání lidského těla** (*De humani corporis fabrica*), kterou vydal v roce 1543, je dnes považována za literární klenot renesance.

Při krájení rychle se rozkládajícího lidského mozku neobjevil na jeho spodině žádnou „*zázračnou síť*“. Napadla ho však otázka, zda je možné, aby samotná mozková tkáň zodpovídala za duševní schopnosti. Ihned se této myšlenky zalekl. V době udržování čistoty víry a potírání kacířství to byla smrtelně odvážná úvaha.

Leč kamínek už vypadl, k němu se přidaly další a zeď dogmat se začala bortit. V roce 1625 se po pařížských ulicích procházel **René Descartes** (1596–1650), fenomenální matematik a fyzik, ale také pravověrný katolík s pochybnostmi o všem ostatním. Duhu – „božský úkaz“ – degradoval na lom světla v padajících dešťových kapkách. Fyziku pozdvihl na úroveň vesmíru. A co funguje ve vesmíru, musí přece fungovat i v lidském těle.

Všechny pohyby, mrkání, kašel, dýchání, to vše je možné, díky „nervovému tahu“. Dopadající částice horka z ohně na kůži nohy vyvolají počitek, který zatáhne za nervové provazce, vedoucí ke stěnám mozkových komor. Opačný konec provazce uvolní pór ve stěně mozkové komory, animální duch sestoupí nervovým provazcem do nohy a rozepne sval – noha uhne popálení. A první popis reflexního nervového oblouku byl na světě. Dnes mluvíme o **nepodmíněném (vrozeném) reflexu**.

Descarta zcela zaujala šišinka, přestože se z dnešního pohledu zmýlil v jejím umístění. Odtud podle něj dostávali animální duchové pokyny ke své pouti. Právě do šišinky lokalizoval **centrum racionální duše**, díky které se lidé odlišovali od zvířat a jejímž prostřednictvím vnímali zevní svět. Racionální duše je věčná, nikdy nespí a myšlení je definicí její existence. „*Cogito, ergo sum. – Myslím, tedy jsem.*“

Jeho kniha **Rozprava o metodě** se po uvolnění cenzury v roce 1636 stala dobovým bestsellerem.

Přes všechny svůj oslnivý intelekt však Descartes nikdy nezapochyboval o Galénovi. Věřil i v *rete mirabile* (již zmiňovanou „zázračnou síť“), jejíž existenci Vesalius spolehlivě vyvrátil.

Dostali jsme se k asi **nejdůležitější etapě** objevování mozku – k protestantské Anglii na počátku 17. století. Baštou vzdělání se stal Oxford. Studenti se třídili podle sociálního původu do pěti vrstev. Na nejnižší příčce stáli „služebníci“ (*servitores*), kteří si své studium financovali poslouháním svým movitějším kolegům. Mezi „služebníky“ se roku 1638 zařadil i **Thomas Willis** (1621–1675), původně student nábožen-

ství, který se v době náboženských sporů a nejistot ve svých 21 letech pragmaticky rozhodl přestoupit ke studiu lékařství.

Mladým mužům, kteří si kladli nové otázky, hledali na ně odpovědi a prováděli pokusy, se začalo říkat „*virtuosi*“. Založili tzv. oxfordský kroužek experimentální filozofie. Scházeli se každý čtvrtek odpoledne. Jeden obor jim většinou byl málo a Galénovo pojetí anatomie dostávalo rány ze všech stran.

A tak se mohlo stát, že geniální architekt **Christopher Wren** (1632–1723) – mimo jiné autor londýnské Katedrály sv. Pavla – poprvé svým vlastním vynálezem (injekční stříkačkou) aplikoval psovi do žíly směs vína a opia. Wren byl i fenomenálním kreslířem, zdatným mikroskopickým badatelem, konstruktérem teleskopů a autorem prvního modelu oka. Vskutku renesanční člověk.

Richard Lower (1631–1691) byl zručný mistr skalpela, který si odepřel nedělní návštěvu kostela, aby doma mohl pitvat hlavu telete. V dějinách lékařství se proslavil skutečně extravagantním kouskem – podáním první krevní transfuze člověku. „Potrhlému“ studentovi teologie, který se jmenoval Arthur Coga, podal do žíly beráncí krev s předpokladem zklidnění pacientova duševního stavu. Z dnešního pohledu je více než zajímavé, že Coga tento očištěc přežil, dokonce dvakrát za sebou.

Nad pitevním stolem se skláněl i Thomas Willis. Od počátečního chatrného lékařského vzdělání ušel značný kus cesty. Kromě jiného jako první zaznamenal klinický průběh chřipky a sladký zápach moči přisoudil příznakům cukrovky.

V lékařské praxi byl však nejvíce fascinován neurologickými a psychickými poruchami. V jeho poznámkách se setkáváme s prvními **popisy záchvatů migrény a epilepsie**. Willisova teorie křečových stavů, založená na detailním pozorování celého záchvatu, je inspirujícím pohledem i pro moderní neurologii. Stačí jen zaměnit pojmy „animální duchové“ za „elektrické výboje“. Pochopil, že **narkolepsie** (zjednodušeně se jedná o okamžité usnutí pacienta v jakékoli situaci – viz další výklad) není zlozvyk, ale nemoc. Snažil se ji léčit v té době novinkou – kávou.

K dalšímu objevování stavby mozku se od roku 1660 rozjel dokonalý **vědecko-výzkumný tým**: Willis dodával mozky svých pacientů, Lower obratně pitval a Wren pilně kreslil. Postup preparace doznal změn, mozek vyjímali z lebky vcelku a fixovali jej v alkoholu, čímž byla struktura orgánu zpevněna a vědce přestal tlačit problém rychlého rozkladu tkáně.

Na spodině mozku si Willis všiml zvláštního cévního okruhu vzniklého z větví krčních tepen. Hypotézu, že mozek je zásobován krví ze systému cév na jeho bázi, ihned potvrdil pokusem na psovi, kterému na krku podvázali všechny přírodní tepny mimo jedné. Chování psa se nikterak nezměnilo. Všechny učebnice anatomie dnes popisují **Willisův cévní okruh** (*circulus arteriosus Willisii*).

Množství odpitvaných těl přineslo další poznatek – základní stavba mozků různých zvířat i člověka je obdobná. Avšak v porovnání se zvířaty je poměrná velikost lidského mozku výrazně větší a na povrchu je hojně zvrásněn závitاً a rýhami. Odtud už byl jen krůček k Willisově přesvědčení, že mozková kůra je místem vytváření myšlenek, představ a tužeb. Willis také poukázal na značnou vzájemnou odlišnost obou mozkových polokoulí – hemisfér.

V roce 1663 skupina svou práci ukončila. Christopher Wren vytvořil nádherné ilustrace. Následující rok byla vydána **Anatomie mozku a nervů** (*Cerebri anatome*). Ještě téhož roku se kniha dočkala dalších čtyř vydání (a poté ještě třiadvaceti). Do 19. století se jednalo o základní text problematiky nervového systému. Wrenovy kresby vynikají takovou přesností a dokonalostí, že jsou stále k vidění i v dnešních moderních učebnicích. Willis byl již za svého života postaven na piedestal uznání. Zmatečné studium mozku změnil v přísně experimentální vědu a vytvořil **základy neurologie**.

19. století přineslo nové technologie zpracování tkání, v roce 1838 spatřila světlo světa *buněčná teorie* **Theodora Schwanna** a **Mathiase Schleidena**. **Carl Zeiss** z Jeny zdokonalil mikroskop. To byly základní kameny pro začínající debaty o mikrostruktuře mozku.

Prvním, kdo v roce 1832 začal systematicky zkoumat mozkovou tkáň pod mikroskopem, byl pražský profesor fyziologie **Jan Evangelista Purkyně** (1787–1869). Použil speciálního nože pro přípravu tenkých řezů tkání – **mikrotom**.

Ital **Camillo Golgi** (1843–1926) a Španěl **Santiago Ramón y Cajal** (1852–1934), dva histologové přelomu 19. a 20. století, jsou dnes považováni za zakladatele moderní neuroanatomie. V roce 1906 byli oba za svou práci oceněni Nobelovou cenou.

Golgi barvením preparátů mozkové tkáně sloučeninami chromu a stříbra získal tmavé obrazy nervových buněk. Objev nervové buňky (neuronu) se stal dalším základním kamenem vědecké mozaiky. Golgi byl zastáncem **retikulární teorie** – za základní strukturu nervového systému považoval neurony propojené do sítě.

Naproti tomu Ramón y Cajal, který dále zdokonalil Golgiho techniky, definoval neuron jako naprosto samostatnou jednotku. Tok informace byl určen jedním směrem – od dendritu cestou těla neuronu do axonu, který směřuje k dendritu dalšího neuronu. Kontakt probíhá v mikroskopických nervových zakončeních, která sir **Charles Sherrington** (1857–1952) nazval v roce 1897 **synapsemi**. **Neuronová teorie** zahájila vítězné tažení.

Poznávání mozku otvíralo další otázky, jako např.: Za co konkrétně odpovídá mozková kůra? Jak vlastně mozek funguje?

V roce 1824 přetínal francouzský fyziolog a průkopník použití chloroformu v anestezii **Marie Jean-Pierre Flourens** (1794–1867) nervové svazky v mozcích holubů. Poté pozoroval důsledky – zhoršování nervových funkcí.

Po odebrání obou mozkových polokoulí holub oslepnul zcela. Při odstranění pouze jedné oslepnul jen na druhostranné oko. Odstraněním mozečku sice holub nepřišel o zrak ani o sluch, leč ztratil rovnováhu.

Ke slovu pozvolna přicházela elektrofyziologie a mapování elektrické aktivity mozku. **Eduard Hitzig** (1838–1907), berlínský vojenský chirurg, zaváděl u vojáků s otevřeným poraněním lebky elektrody až k povrchu mozkové kůry, stimuloval její okrsky elektrickým proudem z připojené baterie a sledoval odezvu na těle. Společně s dalším lékařem, **Gustavem Theodorem Fritschem** (1838–1898), prováděli experimenty i na psech a došli k definitivnímu závěru, že podrážděním určitých oblastí

mozkové kůry dojde ke svalové odpovědi na kontralaterální (opačné) straně těla. Po-
dařilo se jim objevit a popsat motorickou reakci.

Richard Caton (1842–1926) z Liverpoolu celý postup obrátil. Elektrodami umístěnými přímo na povrchu mozků králíků a opic zaznamenával elektrickou aktivitu po zevních stimulech, krmení nebo při pohybu míčkem. Při osvětlení zornic ostrým světlem zaznamenal salvu impulsů v týlní oblasti mozkové kůry. Po propracování postupu začal snímat impulsy z povrchu lebky zvířat, což se dá považovat za první krok k nové vyšetřovací metodě, zvané **elektroencefalografie – EEG**.

Na základě Catonových závěrů úspěšně zaznamenal německý psychiatr **Hans Berger** (1873–1941) dne 6. června 1924 spontánní elektrickou aktivitu mozku člověka. Pokus provedl pomocí strunového galvanometru a jako elektrody zavedl pod kůži hlavy tenké platinové drátky.

Díky EEG prokázal **Abraham Adolph Beck** (1863–1942), že mozek vykazuje nepřetržitou aktivitu, tedy i ve spánku.

Komerční výroba EEG přístrojů se rozjela od 30. let 20. století.

V roce 1863 definoval **John Hughlings Jackson** (1835–1911) – „stydlivý otec anglické neurologie“ – existenci křečových záchvatů ohraničeně začínajících a s narůstající intenzitou se šířících po zbytku těla. Souběžně s počátkem záchvatu zjistil výraznou elektrickou aktivitu specifických motorických oblastí mozkové kůry. Do té doby byla za původce epilepsie označována prodloužená mícha. Křeč začal považovat nikoli za vlastní nemoc, ale pouze za příznak. Dnes se v neurologické terminologii používá pojem **jacksonský záchvat** (jackson's mal). A byl to právě J. H. Jackson, kdo přinesl poznatek, že praváctví má vztah k činnosti levé mozkové polokoule.

Je smutným paradoxem, že těžkou epilepsií trpěla i jeho žena, která zemřela v mladém věku v důsledku cévní mozkové příhody.

Jacksonova zjištění potvrdil také objev **Pierra Paula Brocy** (1824–1880), francouzského anatoma a obdivovatele Charlese Darwina. Broca se zabýval vztahem řeči, vnímání mluveného slova a jeho registrací v příslušném okrsku mozkové kůry. Všiml si, že u praváků byla v řadě případů afázie (porucha řeči) spojená s onemocněním nebo poraněním levostranné mozkové hemisféry. Byl to jeden z dalších důkazů specializace mozkových polokoulí.

Ačkoli dnes řeč chápeme jako funkci více oblastí mozku, je dominantní úloha Brocova řečového centra (nazvaného po svém objeviteli) pro expresi řeči nepopíratelná.

A přicházejí další otázky. Co v mozku určuje to, jací jsme? Kde vzniká dobro a zlo? Kde se rodí osobnost člověka?

Velkou pozornost medicínského světa vzbudil případ **Phinease Gatea**, lamače kamene, publikovaný v roce 1868 (a od té doby mnohokrát). V roce 1848 mu železná tyč projela skrze levou čelist, prorazila lebeční spodinu a rozdrtila přední oblasti čelních mozkových laloků, levý více. I na dnešní

dobu značně devastující poranění. Prodělal v podstatě neplánovaně **frontální lobotomii** (odstranění přední části čelních laloků). Byl zázrak, že přežil – bez infekčních komplikací, bez ochrnutí, dobře mluvil a mluvené řeči rozuměl... Ale! Naprosto se změnila jeho **osobnost**. Ze vzorného otce dětí se stal jedinec s nevyzpytatelným chováním, libující si ve sprostotách, intelektově na úrovni dítěte s živočišnými touhami dospělého muže.

Léčebnou lobotomii provedl poprvé v roce 1936 **Egas Moniz** (1874–1955) z lisabonské univerzity. Vůbec první Portugalec, který za ni v roce 1949 (poněkud nešťastně) získal Nobelovu cenu. Z malých návrhů v lebce se za použití speciálního nože, tzv. leukotomu, protínaly vzájemné spoje obou mozkových hemisfér a odstraňoval části čelních laloků.

Výsledky prvních lobotomií vypadaly až zázračně – zvláště agresivní jedinci se naprosto zklidnili. Procedura se velmi rozšířila a byl zaveden pojem **psychochirurgie**. Velkým popularizátorem se stal americký psychiatr **Walter Freeman** (1895–1972), který ji předváděl i v přímých televizních přenosech. Při plném vědomí pacienta, pouze v lokálním umrtvení kůže.

Dnes se již klasická lobotomie nepoužívá (pro četné „doprovodné“ účinky), nicméně neurochirurgické zásahy do mozku patří k biologickým metodám léčby (viz další výklad).

Rychlost **výzkumu mozku** akcelerovala zejména ve 2. polovině 20. století. Moderní elektronové mikroskopy s několikasettisícovým zvětšením umožnily nahlédnout do dějů v neuronových synapsích. Biologové odhalili biologický podklad paměťové stopy. Neuroendokrinologové spojili pocit štěstí s vylučováním dopaminu a endogenních opiátů z mozkových neuronů atd. Nástup popularity a rozvoj zažila i **psychologie**.

Zdánlivě snadnou cestu nabídla po 2. světové válce **psychofarmakologie**. Nadšení a velké naděje vzbudilo zejména zavedení antidepresiv. Ale ani ta svět nezměnila.

Přes léčebný efekt moderních preparátů se sníženým množstvím vedlejších účinků nejsou ani ony účinné a vhodné pro všechny pacienty. Přesto dnes zaujímají psychofarmaka prvenství v celosvětovém obchodu s léčivy. V „ekonomickém“ západním světě nás to nepřekvapí. Zisky mezinárodních farmaceutických koncernů se pohybují v řádech desítek miliard dolarů ročně.

Co bude dál? Objevily se nové teorie a postupy využití **kmenových buněk**. Nápad nahradit poškozenou nervovou tkáň zárodečnými buňkami lidského embrya zní možná jako příběh z říše sci-fi, ale Pandořina skříňka **medicínské a vědecké etiky** již byla otevřena.

Dosavadní pokrok vědy je ohromný. Ale čím více tajemství se odhalí, tím více nových otázek se vynoří. Hledíme do temných hlubin vesmíru, zkoumáme procesy v nitru neuronu. A přitom možná stále jen stojíme na prahu otevřených dveří...

3. Z ČEHO JE MOZEK POSTAVEN A JAK FUNGUJE

Miroslav Orel, Věra Facová, Jaroslav Veselý

Z hlediska vědy můžeme ke zkoumání lidského mozku (a pochopitelně nejen lidského a nejen mozku) přistupovat z různých úrovní.

Každá z dále zmíněných úrovní má rozsáhlý repertoár vlastních metod a postupů získávání poznatků i databázi informací. **Neurovědy** patří k nejdynamičtěji rozvíjeným oblastem soudobého vědeckého výzkumu.

Stručně nastiňme zmíněné úrovně, ke kterým se dostaneme v dalších kapitolách:

- **úroveň molekulárně-biochemická** je zaměřena na jednotlivé stavební a regulační bílkoviny, enzymy, neuropřenašeče, neuromodulátory, růstové faktory, hormony, ale např. i farmaka;
- **úroveň genetická** se zabývá studiem stavby a funkce genů i jejich produktů (poznámka: vědní obor, zabývající se geny, se jmenuje **genomika**; stavbě a funkci jejich produktů – bílkovin – se věnuje obor zvaný **proteomika**);
- **úroveň buněčná** sleduje jednotlivé části buněk, jejich organely i buňky jako celek;
- **úroveň stavební (anatomicko-histologická)** studuje trojrozměrné uspořádání jednotlivých částí mozku a také mozku jako celku;
- **úroveň funkční (fyziologická)** řeší především funkce a činnost jednotlivých oblastí a jejich vzájemné uspořádání a propojení (ve zdravém mozku);
- **úroveň psycho-sociální** přistupuje k mozku z hlediska psychických funkcí a také interakce jedince ve společnosti (včetně prožívání a chování).

Ve všech zmíněných úrovních je většinou možné rozlišovat **zaměření na**:

- „to, co je zdravé a funguje, jak má“ (a to včetně pohledu **vývojového**, který má za cíl objasňovat zákonitosti vývoje mozku a jeho funkcí v průběhu individuálního života i „života druhu“);
- „to, co zdravé není a nefunguje, jak by mělo – tj. to nemocné“ (tedy **patologicko-terapeutický pohled**, který se zaměřuje na morfologické a funkční **poruchy mozku** a možnosti **léčebného ovlivnění**).

Ve výše uvedených úrovních si můžete všimnout jak biologického, tak psycho-sociálního směru. Jen zmiňme, že **komplexní pohled**, kterému se věnujeme v jiné části této knihy, se snaží všechny tyto směry integrovat.

Představíme-li si jakoukoli stavbu – dům, chrám nebo egyptské pyramidu – je každá z nich složena z nějakých základních stavebních prvků – cihel, trámů, kamenů apod. Náš mozek je jako nesmírně složitá a komplexní stavba také složen ze základních stavebních jednotek. Jsou jimi dva druhy buněk: **nervové** (neboli neurony) a **podpůrné** (neboli glie).

Platí, že zásadní a klíčovou roli ve funkcích mozku (a nervového systému jako celku) hrají neurony. Jejich činnost a samotná existence je však vázána na podpůrné buňky, které navíc mohou činnost nervových buněk modifikovat. A glie navíc početně převažují nad neurony. Proto za základní sice považujeme neurony, ale bez podpůrných buněk by tyto fungovat nemohly.

Neurony společně vytvářejí **složitě propojenou síť** a s podpůrnými buňkami formují jednotlivé **části mozku**.

3.1 ZÁKLADNÍ CIHLY STAVBY ZVANÉ MOZEK (NERVOVÉ BUŇKY)

Miroslav Orel

Nervové buňky – neurony – jsou jedny z nejspecializovanějších buněk lidského těla. A přesto, že patří k buňkám „běžným“, vynikají mnoha mimořádnými vlastnostmi. Vytvářejí nesmírně složitou mnohostranně propojenou trojrozměrnou funkční síť, která zasahuje prakticky do všech částí těla. Neurony pracují s **informacemi**, které prostřednictvím **elektrických potenciálů a chemických látek** umí rozvádět a přepojovat, ale i vytvářet a modifikovat.

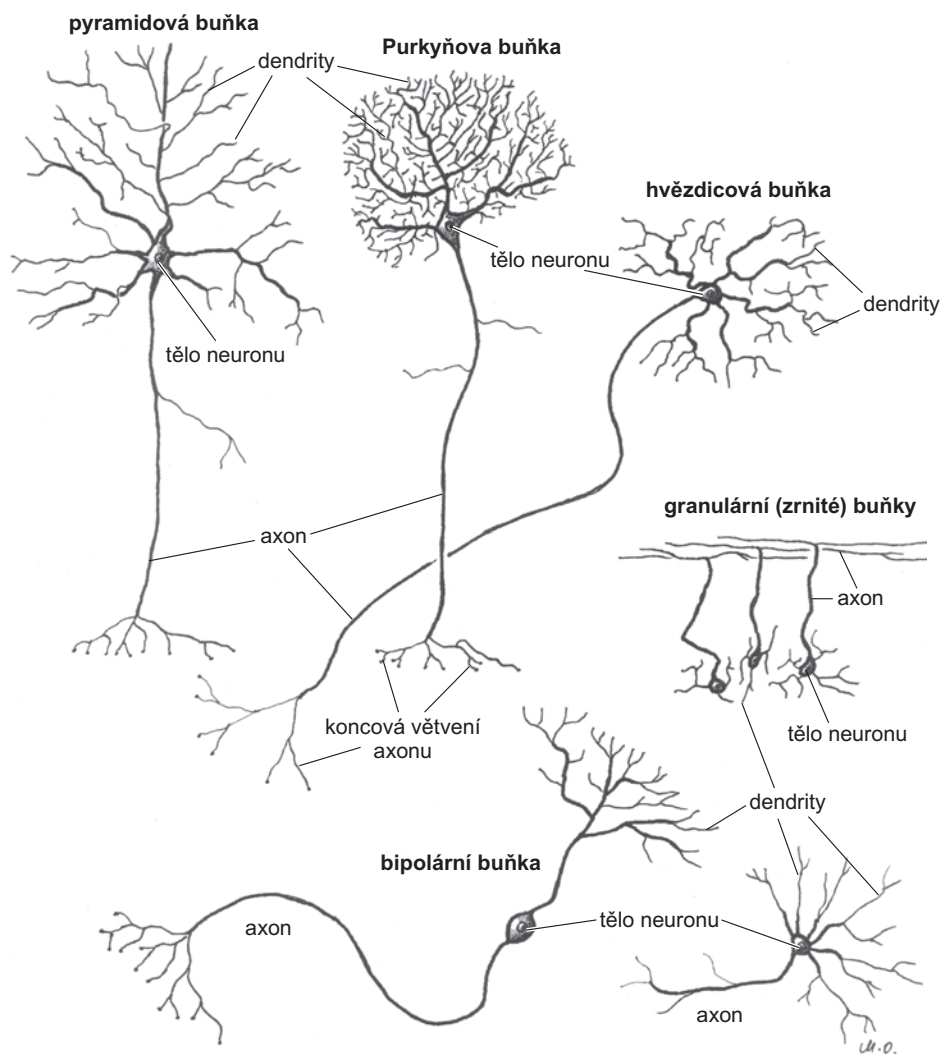
Bez informačního toku by nemohl existovat žádný živý organismus – ani lidská společnost.

Je popsáno **několik tisíc různých typů** nervových buněk. Vezmeme-li v úvahu odhadovaný celkový počet desítek až stovek miliard neuronů lidského mozku, je počet vzájemných interakcí mezi nimi astronomický.

Právě díky neuvěřitelně složitě síti propojení mezi neurony má jen malá část mozkových center a struktur přesně vymezené hranice.

Důsledky zmíněného jsou dlouhou dobu známy v praxi – „**stejně**“ **postižení mozku** může u různých pacientů vyvolat **odlišné klinické projevy**. Rozsáhlá poškození se mohou odrazit v minimálním klinickém nálezu, a naopak relativně malé poškození mozku může mít drtivé následky.

Jaké komplikace to může navíc přinést neurochirurgickým operacím mozku, si lze snadno domyslet.



Obr. 3.1 Různé tvary nervových buněk

Jednotlivé neurony se navzájem značně liší svými parametry strukturálními (např. tvarem a velikostí) i funkcí či chemickými látkami, které produkují. Přes řadu odlišností je ale **základní stavba** každé nervové buňky obdobná. Popisujeme na ní tělo a výběžky.

TĚLO (*soma*) je centrální část neuronu. Může mít různý tvar: oválný, kulatý, pyramidový, vřetenitý apod. Obsahuje jádro a další „klasické“ buněčné organely, které si stručně také popíšeme.

DENDRITY (z řeckého *dendron* – strom) jsou stromečkovitě se větvící výběžky, které vedou elektrické impulsy směrem k buněčnému tělu – tzn. **dostředivě**. Mohou být hladké, ale většinou je plocha jejich povrchu zvětšena drobnými výčnělky – **dendritickými trny**. Rozloha, podoba a orientace dendritického stromu jsou jedním ze základních rozlišovacích znaků neuronů a pro jednotlivé typy nervových buněk jsou typické.

AXON (neurit) je jediný, různě dlouhý výběžek neuronu. Odstupuje z tzv. **axonového hrbolku** na těle neuronu. První oddíl axonu se nazývá **iniciální segment**. Elektrické impulsy vede axon směrem od těla neuronu – tj. **odstředivě**. Větví se zpravidla až na svém konci a terminální (koncové) části axonu vstupují do synapsí (viz další výklad).

Tělo neuronu si lze představit jako jedno malé ústředí, kam přicházejí informace mnoha vstupními kabelemi (dendrity) a odcházejí výstupním axonem. Nervový systém jako celek se skládá z miliard takových ústředí.

Neurony jsme sice nazvali „běžnými“ buňkami lidského těla, nicméně mají mnoho pozoruhodných vlastností. K nim patří také jejich **velikost** a **proporce** jednotlivých částí. Pokud bychom např. tělo motorického neuronu, který leží v míše a řídí svaly nohy, zvětšili do velikosti tenisového míčku, pak by ekvivalentně zvětšené dendrity vyplnily obývací pokoj a axon dendritu by přesáhl délku 1,5 km (při průměru kolem 13 mm)!

V embryonálním období vznikají nervové buňky ze svých prekurzorů – **neuroblastů**, které se mohou množit a vyzrávat v dospělé neurony.

Množící se neuroblasty a rozvíjející se neurony vysílají výběžky (kterými propojují jednotlivé části mozku) a samy migrují do jiných míst.

Zralé lidské neurony schopnost množení ztrácejí. Jejich počet s postupujícím věkem zpravidla klesá.

V živočišné říši může být situace jiná. Např. určitým druhům ryb a obojživelníků se neurony množí po celý jejich život. V mozkové kůře pěvců vznikají nové neurony pravidelně v ročních cyklech atd.

Nicméně i v lidském mozku existuje určitá možnost obnovy neuronů. Byly zde objeveny **kmenové buňky**, které se i ve stáří mohou dělit a diferencovat ve zralé neurony. Nové nervové buňky tak mohou vznikat i v mozku dospělého člověka.

Připomeňme, že kmenové buňky byly objeveny na mnoha místech těla. Umožňují obnovu buněk a tkání.

Všechny buňky našeho těla – tedy i neurony – nesou stejný genetický materiál. Během zrání se ale u jednotlivých neuronálních typů aktivují pouze určité geny a jiné zůstávají inaktivní. Výsledkem je **funkční specializace** neboli **diferenciace**.

Diferenciace je základem vývoje všech buněk našeho těla, které je výsledkem dělení a diferenciace jediné prvotní buňky – oplodněného vajíčka (zygoty).

Zralé neurony **funkčně** dělíme do čtyř skupin:

- **motorické neurony (motoneurony)** vedou informace z mozku nebo páteřní míchy ke kosterním svalům, tedy z centra do periferie; říkáme, že jsou **eferentní**;
- **senzitivní neurony** převádějí smyslové informace do centrálního nervového systému (z periferie do centra) – jsou **aferentní**;

Poznámky k pojmosloví:

Pojem „**senzitivní neurony**“ většinou označuje nervové buňky spojené s kožním a hlubokým čítím. Jako „**senzorické neurony**“ většinou označujeme nervové buňky, které jsou spojeny s ohraničenými smyslovými orgány, jako je zrak, sluch, čich atd.

Pojmy „**senzorika/senzorický**“ pocházejí z latinského *sensorium* – vědomí, vnímání, smyslový aparát; *sensorius* – senzorický, vnímatelný. Vztahujeme je k definovaným smyslovým orgánům (zrak, sluch, chuť, čich, vestibulární systém).

Širší pojmy „**senzitivita/senzitivní**“ jsou odvozené z latinského *sensitivitas* – senzitivita, citlivost, schopnost vnímat a zhodnotit různé podněty a reagovat na ně; *sensitivus* – senzitivní, vnímavý, citlivý. Vztahují se k vnímání jako celku (zahrnují kožní čítí, propriocepci, ale také „oblast senzoriky“).

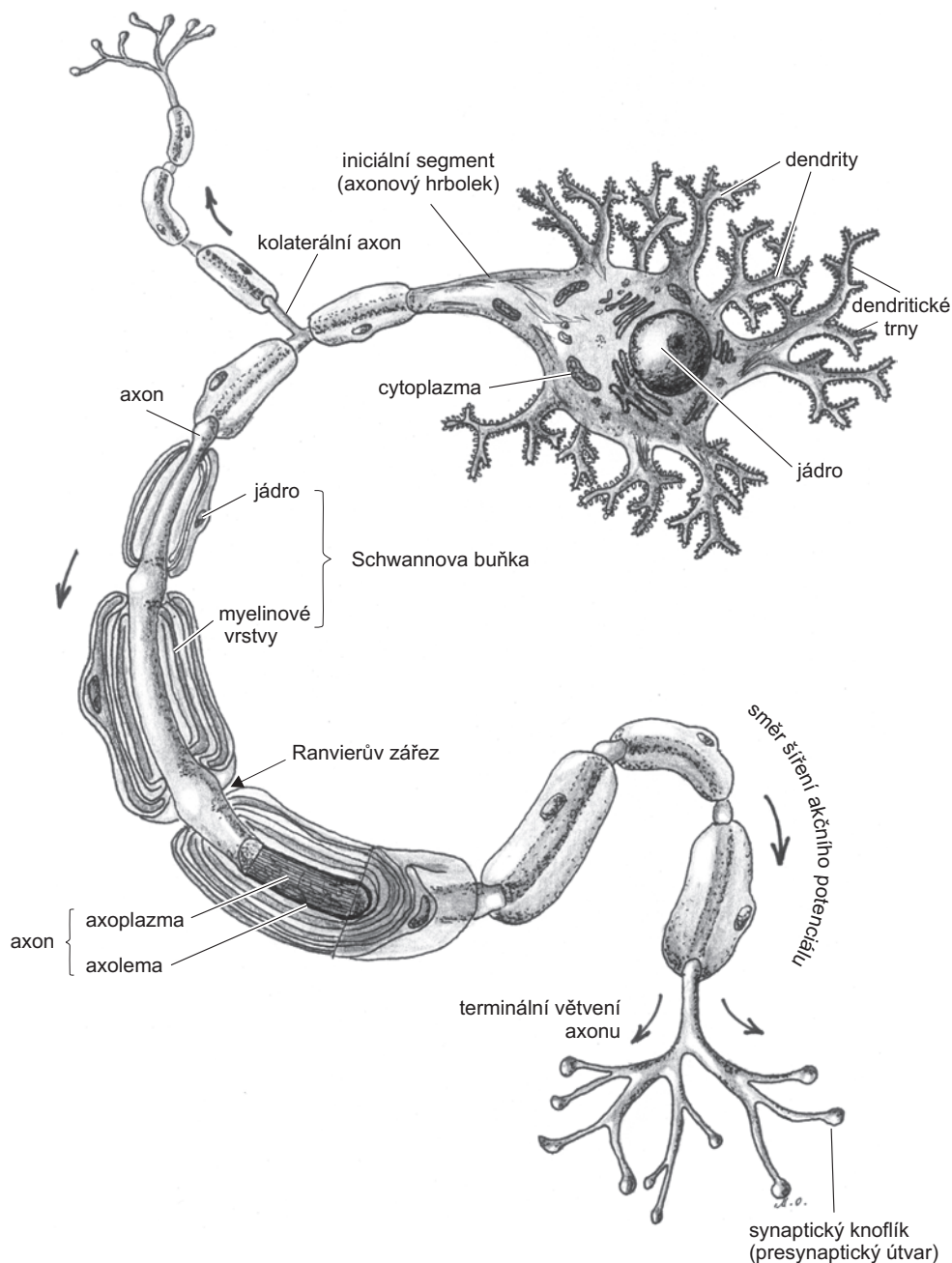
- **autonomní (vegetativní) neurony** vedou k vnitřním orgánům a tkáním (jako např. plíce, srdce, žaludek, střeva, cévy), jejich činnost nemůžeme ovládat vůlí;

Autonomní neurony jsou jak **aferentní** (dostředivé), tak **eferentní** (odstředivé):

- aferentní autonomní neurony označujeme jako **viscerosenzitivní neurony**; vedou informace z vnitřních orgánů do mozku a míchy;
- eferentní autonomní neurony existují ve dvou podtypech: jako **sekreční neurony** řídí činnost žláz (např. produkci slz slznými žlázami, pankreatické šťávy slinivky břišní) a jako **visceromotorické neurony** ovládají hladkou a srdeční svalovinu (tedy pohyb útrobu – žaludku, střev, srdce, cév atd.).
- **interneurony** se nacházejí v hojném počtu v mozku, hřbetní míše i v nervových uzlinách. Propojují jednotlivé neurony navzájem. Mají funkce spojovací a integrační.

Během vývoje řada nervových buněk **cíleně zaniká**. Aktivací určitých genů je řízen fyziologický proces programované smrti buňky (jakási naplánovaná a realizovaná buněčná autodestrukce – sebevražda buňky), kterému říkáme **apoptóza**. Je také podkladem hynutí buněk „stářím“. Apoptóza samozřejmě není jediným způsobem, jak buňky zanikají.

Pokud se například uhodíte kladivem do ruky, buňky vašeho těla, které tím zlikvidujete, pochopitelně nehynou plánovanou smrtí. A to navzdory tomu, že jste mohli úder kladivem velmi pečlivě plánovat...



Obr. 3.2 Multipolární neuron

Působením nepříznivého prostředí (chemickým, tepelným, mechanickým působením, hypoxií apod.) může dojít k rozvratu vnitřního prostředí buňky. Jeho důsledkem

je také narušení plazmatické membrány, vylití lyzozomálních enzymů a smrt buňky. V tomto případě hovoříme o tzv. **nekróze**.

Vraťme se ale zpět k popisu neuronu.

Axony neuronů mohou být **nahé** (tedy bez obalů) – mluvíme o nich jako o **šedých nervových vláknech**. Mohou ale být i **obaleny**. Pak se označují jako **bílá** (myelinizovaná) **nervová vlákna**.

Obaly axonů (**myelinové pochvy**) vznikají v nervovém systému savců (tedy i člověka) tak, že výběžek oligodendroglie (v mozku a míše) nebo Schwannovy buňky (v periférii) spirálovitě obtáčí axon 10–150 vrstvami.

Myelinová pochva tvoří souvislý obal axonu. Je pravidelně přerušována volnými prostory mezi dvěma gliovými buňkami (širokými cca 1 μm) – tzv. **Ranvierovými zářezy**. Pojmem **internodium** označujeme část axonu pokrytou myelinovou pochvou (tj. mezi dvěma Ranvierovými zářezy).

Pro většinu nervových vláken platí, že **rychlost vedení** vzruchu je **přímo úměrná délce internodia** (tedy vzdálenosti mezi dvěma sousedními Ranvierovými zářezy).

Myelinové pochvy jednotlivá nervová vlákna navzájem **izolují** a zároveň **zvyšují rychlost** vedení elektrických impulsů v obaleném nervovém vlákně. Mezi axonem a gliovými buňkami dochází navíc k dalším **interakcím**, které ovlivňují funkci nervového systému.

Zatímco **nemyelinizovanými** nervovými vlákny se nervové vzruchy šíří **kontinuálně** – tj. plynule, **myelinizovanými** vlákny **saltatorně** – tj. skokem z jednoho Ranvierova zárezu na druhý. Ranvierovy zářezy jsou totiž jediným místem obalených axonů, kde napětově řízené iontové kanály dosahují takového počtu, který je dostatečný pro vznik akčního potenciálu (viz další výklad).

Poznámka: Pojem „saltatorně“ je odvozeno z latinských slov *saltum* – skok, *saltire* – skákat, *saltare* – tančit.

Různá nervová vlákna vedou elektrické impulsy **různou rychlostí**, která závisí na typu, tloušťce a obalech nervového vlákna. Obecně platí, že čím větší je průměr daného nervového vlákna, tím vyšší rychlostí elektrické impulsy vede.

Podle průměru a rychlosti vedení rozlišujeme **vlákna typu A, B, C**, přičemž vlákna typu A dělíme dále na čtyři podtypy ($A\alpha$, $A\beta$, $A\gamma$, $A\delta$). Vlákna typu A, B jsou myelinizovaná (obalená), vlákna typu C jsou nahá.

Vlákna typu A jsou nejsilnější a nejrychlejší. Vlákna **$A\alpha$** jsou určena pro hluboké čítí a motoriku. Nervové impulsy vedou rychlostí 70–120 m/s a dosahují průměru 12–20 μm . Vlákna **$A\beta$** vedou informace o dotyku a tlaku rychlostí 30–70 m/s (při průměru 5–12 μm). Vlákna **$A\gamma$** jsou speciální vlákna γ -motoneuronů, určená pro svalová vřetenka s rychlostí vedení 15–30 m/s a průměrem 3–6 μm . A konečně vlákna **$A\delta$** přenášejí senzitivní informace o bolesti, chladu a dotyku rychlostí 12–30 m/s; jejich průměr činí 2–5 μm .

Vlákna typu B jsou výběžky pregangliových autonomních neuronů vedoucí impulsy rychlostí 3–15 m/s. Jejich průměr je menší než 3 μm .

Vlákna typu C jsou jednak postgangliová autonomní vlákna a dále vlákna, která vedou informace o bolesti a teplotě. Částečně se podílejí i na mechanoreceptci (tj. registraci mechanického podráždění). Rychlost vedení u nich nepřesahuje 2 m/s a průměr je cca 0,3–1,3 μm .

Různé druhy vláken v periferních nervech se liší nejen průměrem, rychlostí vedení a typem vláken, ale také např. **citlivostí k hypoxii** (tj. nedostatku kyslíku), odolností k působení vnějšího **tlaku** či lokálních **anestetik**. To vše má nejen teoretický význam, ale také praktické dopady.

Na **hypoxii** jsou nejcitlivější vlákna typu B, středně citlivá vlákna typu A, a naopak nejméně citlivá jsou vlákna typu C.

Na **vnější tlak** reagují nejcitlivěji vlákna typu A, středně vlákna typu B a nejodolnější jsou vlákna typu C. Z toho např. vyplývá, že pokud bude člověk ležet nehybně celou noc na jedné paži, a hlavou tak tlačí na její nervy, může dojít až k poškození nervových vláken pro hybnost, dotyk a tlak, zatímco vnímání bolesti zůstane neporušeno. Reálně se s tímto stavem můžeme setkat např. po hlubokém spánku podnapilé osoby.

Lokální anestetika působí nejprve na vlákna typu C, poté na vlákna typu B a jako poslední ovlivňují vlákna typu A.

Neurony jsme označili jako jedny z nejspecializovanějších buněk. Nicméně základní buněčné organely (obrazně „buněčné orgány“) mají obdobné jako ostatní buňky našeho těla.

Každá buňka funguje jako celek, který se skládá z **buněčné (plazmatické) membrány**, která ohraničuje buňku proti okolí a obklopuje vlastní vnitřní prostředí buňky – **cytoplazmu**, ve které nacházíme mimo jiné specializované **buněčné organely** (nositele konkrétních funkcí).

V případě nervové buňky užíváme pro plazmatickou membránu axonu také pojmu **axolema** a pro její cytoplazmu pojem **axoplazma**.

3.1.1 PLAZMATICKÁ MEMBRÁNA NERVOVÉ BUŇKY

Plazmatická (buněčná) membrána především **ohraničuje** buňku a **odděluje** ji od vnějšího prostředí. Udržuje **celistvost** a do určité míry i tvar buňky (je propojena se strukturami cytoskeletu – viz další výklad). Zajišťuje **kontakt s** mimobuněčným prostředím a chrání buňku před zevními vlivy. Slouží k **rozpoznávání informačních molekul** (mediátorů, hormonů aj.). Umožňuje vzájemné mechanické **spojení** buněk, podílí se na aktivní regulaci a udržování složení nitrobuněčného prostředí, **příjmu** a **výdeji** látek atd.

Membrána nejen ohraničuje celou buňku a její výběžky, ale také vymezuje **membránové organely** buňky – jádro, mitochondrie, lyzosomy, endoplazmatické retikulum, Golgiho komplex, synaptické váčky s mediátorem atd.

Morfologickým podkladem plazmatické membrány je **dvojvrstva fosfolipidů** (s podílem cholesterolu a dalších lipidů). Do ní jsou vnořeny **proteiny** a **cukry** (vázané s tuky ve formě glykolipidů nebo s proteiny v podobě glykoproteinů).

Integrované proteiny procházejí skrz fosfolipidovou dvojvrstvu nebo jsou do ní zařazeny z vnější či vnitřní strany. **Periferní proteiny** se vážou k povrchu membrány. Obecně fungují membránové proteiny jako iontové kanály, receptory, pumpy, nosiče, enzymy apod.

Buněčná membrána není statická, nýbrž **dynamicky se měnící** struktura. Podléhá neustálé přestavbě, kdy se její části přesouvají, zanikají a znovu se obnovují. Proto se o plazmatické membráně mluví jako o **tekuté mozaice**.

V plazmatické membráně nacházíme mimo jiné speciální útvary bílkovinné povahy – iontové kanály a transportní systémy (přenašeče).

Speciální **iontové membránové kanály** (jakési buněčné póry tvořené bílkoviny) umožňují přechod vybraných iontů přes plazmatickou membránu. Pro funkci nervových buněk mají význam zcela zásadní.

Některé jsou otevřené víceméně stále, jiné jsou řízeny určitými řídícími mechanismy: otevírají se působením elektrického impulsu (tzv. **napětově řízené** iontové kanály), účinkem chemických látek – neuromediátorů, hormonů, druhých posílů (tzv. **chemicky řízené** iontové kanály) nebo jsou regulovány mechanicky – ohnutím, napnutím části buňky apod. (tzv. **mechanicky řízené** iontové kanály). Existují i kanály, které mohou být **řízeny** kombinovaně – tj. **napětím i chemicky**.

Průchod iontů membránovými kanály zahrnujeme do tzv. **pasivních transportních mechanismů**. Jejich základem je **difuze** – přesun látky z místa o vyšší koncentraci do místa s nižší koncentrací dané látky (tedy **ve směru koncentračního gradientu**). Probíhá bez nároků na energii.

Řadu látek je ale v buňce nutno přenášet **proti směru koncentračního gradientu** (tedy např. transport iontů z místa s nižší koncentrací do místa s jejich vyšší koncentrací). To je umožněno **aktivními transportními mechanismy** za spotřeby energie.

Aktivní přenos látek přes plazmatickou membránu (transmembránově) i proti elektrochemickému gradientu umožňují speciální **proteinové přenašeče** (transportní bílkoviny – pumpy). Jejich činnost je **energeticky** velmi **náročná**. Spotřebovává značné množství energie rozkladem makroergních vazeb ATP (adenozintrifosfátu) – proto je obecně řadíme mezi ATP-ázy (látky štěpící ATP).

Potenciály plazmatické membrány neuronu

Elektrické potenciály, které označujeme jako „řeč neuronů“, se týkají plazmatické membrány nervových buněk.

I v klidových podmínkách, kdy neuron není aktivní, je axolema neuronu **polarizovaná**. Hovoříme o **KLIDOVÉM MEMBRÁNOVÉM POTENCIÁLU** (neboli klidové polarizaci membrány), při kterém na zevní straně membrány převažuje kladný náboj a na vnitřní straně náboj záporný.

Klidový membránový potenciál je měřitelný. Citlivé mikroelektrody umístěné mezi povrchem a nitrem neuronu naměří v klidu napětí o velikosti -60 až -90 mV.

Jak klidová polarizace vzniká? Uvnitř neuronu a v jeho okolí nemají elektricky nabití ionty – zejména draslík (K^+), sodík (Na^+) a vápník (Ca^{2+}) – stejnou koncentraci. Uvnitř neuronu (intracelulárně) převažují ionty draselné a zevně (extracelulárně) ionty sodné a vápenaté. Toto **nerovnoměrné rozložení iontů** uvnitř a vně neuronu je zajištěno činností vysoce aktivních transmembránových pump: **sodíko-draslíkové pumpy** (Na^+/K^+ pumpy) přečerpávají draselné ionty (K^+) do cytoplazmy neuronu (axoplazmy), a sodné ionty (Na^+) naopak z neuronu ven. To způsobuje zmíněné koncentrační gradienty mezi nitrem nervové buňky a jejím okolím.

Dominantní vliv na vznik klidové polarizace mají **kationty draslíku**, které v klidu snadno procházejí membránou. (Zatímco propustnost membrány pro sodík je v klidu takřka nulová.) A jelikož je jeho koncentrace draslíku větší intracelulárně, přechází z místa o vyšší koncentraci (tedy **po směru svého koncentračního gradientu**) a **vy-náší** ven z neuronu **kladný náboj**.

Působením mechanického, elektrického či chemického podnětu (a u některých neuronů i automaticky) lze vyvolat **změnu** membránového potenciálu. Vzniká potenciál generátorový nebo akční.

GENERÁTOROVÝ POTENCIÁL je prostorově ohraničen – z místa, kde vzniká, se nešíří. Může dosahovat různých hodnot, proto se mu také říká **spojitá stupňovitá odpověď**. Vzniká i působením malých podnětů podprahové úrovně.

Na rozdíl od generátorového potenciálu lze **POTENCIÁL AKČNÍ** vyvolat pouze působením dostatečně velkého podnětu minimálně prahové úrovně. (Podnět o nižší intenzitě akční potenciál nevyvolá.) Akční potenciál nezůstává prostorově ohraničen, ale z místa svého vzniku se šíří po membráně neuronu.

Tento typ membránového potenciálu je způsoben **změnami propustnosti membrány** pro různé ionty. Dochází během nich doslova k „převratu“ polarizace membrány, který má typický průběh.

Pro akční potenciál platí zákon „**vše, nebo nic**“ – jinými slovy: je, nebo není. A pokud je vyvolán, má vždy totožný průběh.

Jednotlivé **fáze akčního potenciálu** nazýváme: **depolarizace, repolarizace a hyperpolarizace**. Bez zabíhání do podrobností si je stručně přiblížíme.

S určitým zpožděním (**latenci**) po podráždění se na krátkou dobu otevírají tzv. **rychlé sodíkové kanály**. Jimi do buňky masivně proudí Na^+ ionty (po směru svého koncentračního gradientu). Díky masivnímu vtoku kladných iontů do buňky dochází nejprve ke zrušení klidové polarizace, kdy se elektrický náboj uvnitř a vně buňky vyrovnává, a polarizace je nulová. Změna membránového napětí pokračuje a dospívá až do přepólování, kdy vnitřní strana membrány je nabitá kladně a zevní záporně. Hovoříme o **depolarizaci**.

Na vrcholu depolarizace naměříme na membráně krátkodobě napětí až **+30 mV**.

Změna polarizace membrány z klidového stavu otevírá také **pomalé draslíkové kanály**. Proud K^+ iontů těmito kanály vynáší z buňky kladný náboj. To způsobuje návrat membrány do klidové polarizace. Jedná se o **repolarizaci** (z latinského *re* – opět, znovu, zpět).

Pomalé iontové kanály pro draslík jsou otevřené delší dobu, takže jimi z nitra neuronu odchází více kladných nábojů, než do neuronu vstoupilo během depolarizace. To vysvětluje poslední fázi akčního potenciálu – **hyperpolarizaci** –, při které je polarizace membrány po určitou dobu vyšší než v klidu.

V průběhu akčního potenciálu neuron ztrácí K^+ ionty, a naopak získává Na^+ ionty. Klidové rozmístění iontů (s převahou Na^+ extracelulárně a K^+ intracelulárně) obnovuje činnost transmembránových iontových přenašečů (Na^+/K^+ pump).

Pro funkci neuronů (a všech jiných buněk) mají velký význam také **vápenaté (Ca^{2+}) ionty**. Koncentrace Ca^{2+} iontů v buňce (intracelulárně) je cca stotisíckrát menší než koncentrace vápníku mimo buňku. Koncentrační gradient Ca^{2+} iontů tedy nasměrně silně „tlačí vápník do buňky“. Drobné změny jeho koncentrace významně ovlivňují nejen polarizaci membrány, ale přímo či nepřímo ovlivňují mnoho buněčných dějů. Ca^{2+} ionty tak představují jakýsi **centrální regulátor** buněčných dějů.

Nízká nitrobuňčná koncentrace Ca^{2+} iontů je udržována jednak činností výkonných vápníkových pump v plazmatické membráně, jednak jeho skladováním v buněčných zásobárnách (např. v hladkém endoplazmatickém retikulu), odkud může být v případě potřeby uvolněn. Zmíněné děje jsou pochopitelně náročné na energii.

Schopnost neuronu odpovídat na podněty neboli **excitabilita** (dráždivost) se v průběhu akčního potenciálu mění podle aktuálního stavu neuronální membrány. Doba, během které je excitabilita membrány nižší až zcela nulová, se nazývá **refrakterní fáze**.

- **Absolutní refrakterní fáze** začíná depolarizací a končí zhruba v jedné třetině repolarizace. V této době není neuron drážditelný žádným podnětem.
- **Relativní refrakterní fáze** bezprostředně navazuje a trvá až do začátku hyperpolarizace. Nový akční potenciál mohou vyvolat pouze podněty mnohem silnější než běžné (tedy vysoce nadpráhové).

Na excitabilitu neuronů, průběh klidového, generátorového i akčního potenciálu má vliv řada faktorů a chemických látek. Mnoho tzv. **psychoaktivních látek** (léků, drog, průmyslových jedů apod.) působí změny dráždivosti a ovlivňují průběh membránových potenciálů. Přitom některé mohou excitabilitu neuronů zvyšovat, jiné ji naopak snižují.