

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 neurovědám 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. Kež se tedy nepřestáváme ptát, hledat a růst.

Kež vás provází dobro, láska a smysl, kež 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:

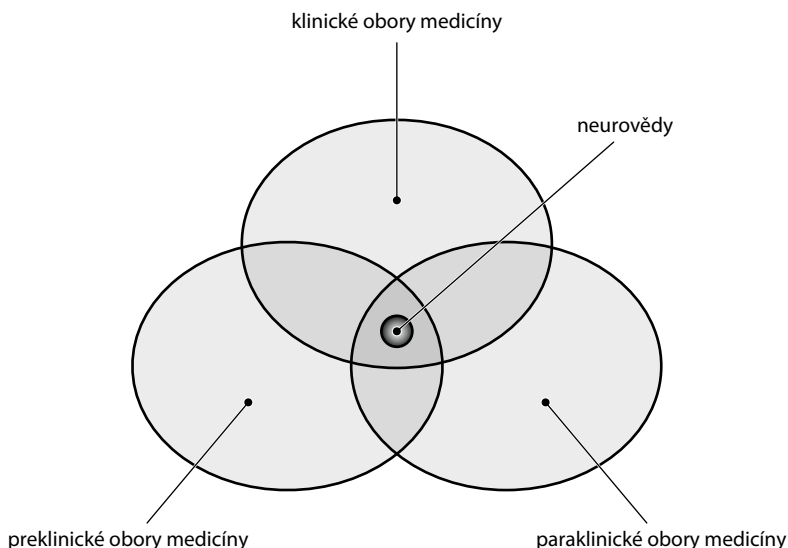
- **Anatomie** se zabývá popisem stavby těla a jeho částí – pokud se úzce zaměří na nervový systém, můžeme hovořit o neuroanatomii.
- **Lékařská fyziologie** se věnuje principům fungování našeho těla (včetně regulací) – na nervový systém se pak koncentruje neurofyziologie.
- **Patologická fyziologie**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