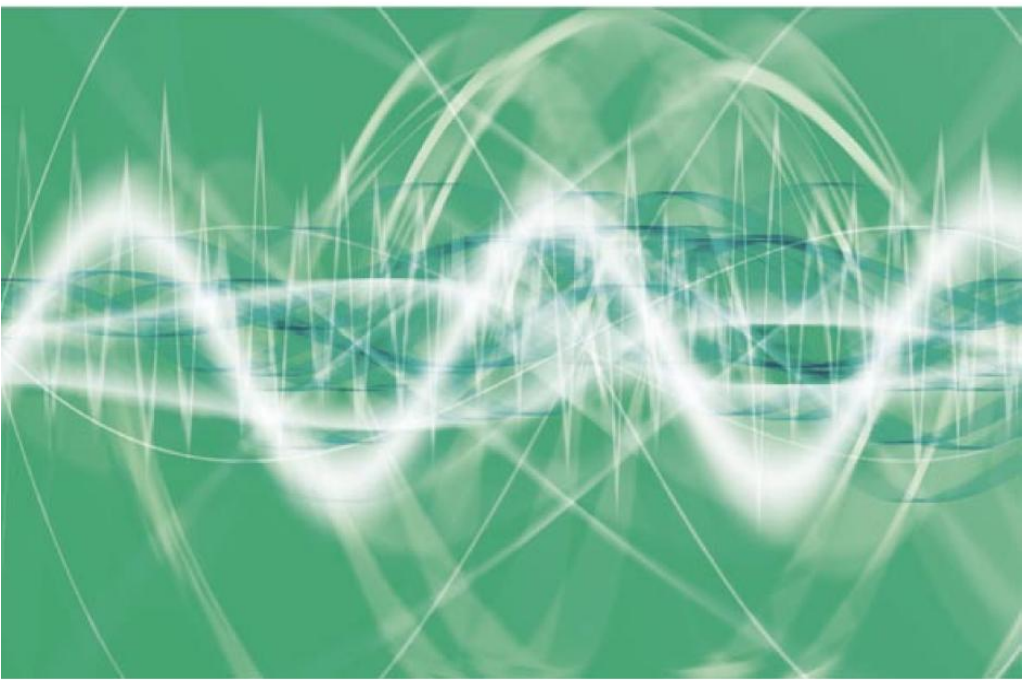


Michael Houdek a kolektiv

Neuromodulace



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 **restně 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, umístování 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.

NEUROMODULACE

Hlavní autoři:

Prof. MUDr. Michael Houdek, CSc.
Prof. MUDr. Pavel Ševčík, CSc.
MUDr. Jiří Kozák
MUDr. Ivan Vrba

Autorský kolektiv:

MUDr. Radomír Čumlivski, CSc.	MUDr. Jan Lejčko, CSc.
MUDr. Jan Doležel, Ph.D.	MUDr. Václav Masopust
MUDr. Martin Gabryš	MUDr. Pavel Michálek, Ph.D.
Doc. MUDr. Lubomír Hakl, CSc.	Doc. MUDr. Zdeněk Novák, CSc.
MUDr. Marek Hakl, Ph.D.	MUDr. Ivana Rešková
Prof. MUDr. Michael Houdek, CSc.	Prof. MUDr. Richard Rokyta, DrSc.
Doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.	MUDr. Martin Sutoryý, CSc.
Doc. MUDr. Miroslav Kala, CSc.	Prof. MUDr. Pavel Ševčík, CSc.
MUDr. Ján Kočiš, Ph.D.	MUDr. Dušan Urgošik, CSc.
PhDr. Martin Kořán, CSc.	MUDr. Ivan Vrba
MUDr. Jiří Kozák	

© Grada Publishing, a.s., 2007

Obrázky 1.1, 1.2, 1.4–1.8, 4.2, 4.4, 8.9, 10.9, 10.10–10.12, 10.22 podle podkladů autorů překreslila Jana Nejtková.

Obrázky 8.1–8.11, 8.13–8.21, 10.5–10.16, 10.22 poskytla firma Medtronic.

Ostani obrázky dodali autoři.

Cover Photo © profimedia.cz, 2007

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 3006. publikaci

Odpovědná redaktorka PhDr. Alena Reimanová

Sazba a zlom Vladimír Vašek

Počet stran 296

1. vydání, Praha 2007

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

Autoři i nakladatelství děkují firmě Medtronic, která podpořila vydání této publikace.

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění ale nevyplývají pro autory ani pro nakladatelství žádné právní důsledky.

Všechna práva vyhrazena. Tato kniha ani její část nesmějí být žádným způsobem reprodukovány, ukládány či rozšiřovány bez písemného souhlasu nakladatelství.

ISBN 978-80-247-0429-6 (tištěná verze)

ISBN 978-80-247-6114-5 (elektronická verze ve formátu PDF)

© Grada Publishing, a.s. 2011

Obsah

Autoři	9
Předmluva	11
Obecná část	
1 Patofyziologie bolesti ve vztahu k neuromodulačním technikám (<i>R. Rokyta, V. Masopust</i>)	15
Literatura.	24
2 Historie využití elektrické energie v lékařství a počátky neurostimulačních metod (<i>I. Vrba, J. Kozák</i>)	27
Literatura.	38
3 Technické aspekty neuromodulací (<i>M. Chmelář</i>).	39
3.1 Neuromodulace s využitím elektrické stimulace	43
3.1.1 Průchod elektrického proudu přes tkáň	43
3.1.2 Parametry stimulačních proudů	45
3.2 Elektrody	46
3.2.1 Některé vlastnosti elektrod	47
3.2.2 Polarizace elektrod	47
3.2.3 Elektrody pro neuromodulaci	49
3.3 Stimulátor jako zdroj konstantního proudu nebo zdroj konstantního napětí	51
3.4 Generátory pro elektrickou stimulaci nervové soustavy	52
3.4.1 Vysokofrekvenční stimulace	52
3.4.2 Implantabilní pulzní generátor (IPG)	53
3.4.3 Vlastnosti generátorů stimulačních impulzů	54
3.4.4 Bezpečnost pacientů s neuromodulačními generátory impulzů.	54
4 Anatomie struktur páteřního kanálu ve vztahu k neuromodulačním technikám (<i>P. Michálek, M. Hakl</i>)	55
4.1 Anatomické vztahy	55
4.2 Členění páteřního kanálu a jeho obsahu	61
4.3 Anatomie subarachnoidálního prostoru.	62
4.4 Anatomie epidurálního prostoru	63
4.5 Anatomie kaudálního prostoru	64
Literatura	64
5 Psychologická péče o pacienty s neuromodulačním systémem (<i>M. Kořán</i>)	65
5.1 Teoretická východiska	67
5.2 Úloha psychologa v hodnocení a léčbě pacientů s chronickou bolestí.	68
Literatura	74

6	Organizace interdisciplinární péče o nemocné indikované k neuromodulační léčbě bolesti (<i>M. Hák</i>)	77
6.1	Postavení neuromodulací v současné medicíně	78
6.1.1	Kardiologie	79
6.1.2	Neurologie	79
6.1.3	Urologie	80
6.1.4	Chirurgie	80
6.1.5	Ušní lékařství	80
	Literatura	81
7	Informace o neuromodulačních metodách na internetu (<i>I. Rešková, M. Houdek</i>)	83
7.1	Distributoři implantabilních neuromodulačních systémů	83
7.2	Neuromodulační společnosti	84
7.3	Odkazy na internetu	85
7.4	Pracoviště v ČR implantující neuromodulační systémy	87
7.5	Informace pro pacienty	87
Speciální část		
8	Míšní stimulace	91
8.1	Historie a teorie působení (<i>I. Vrba, J. Kozák</i>)	91
8.2	Technický popis – IPG, elektrody, programátory (<i>M. Houdek</i>)	95
8.3	Implantace SCS – operační technika (<i>M. Houdek</i>)	99
8.4	Indikace k použití SCS (<i>J. Kozák, I. Vrba</i>)	106
8.4.1	Failed back surgery syndrome a neurostimulační léčba (<i>I. Vrba, J. Kozák</i>)	109
8.4.2	Komplexní regionální bolestivý syndrom a neurostimulace (<i>J. Kozák, I. Vrba</i>)	121
8.4.3	Neurostimulace v léčbě ischemických bolestí typu anginy pectoris (<i>I. Vrba, J. Kozák</i>)	131
8.4.4	Neurostimulace v léčbě periferních ischemických bolestí (<i>I. Vrba, J. Kozák</i>)	142
8.5	Komplikace SCS, jejich prevence a možné řešení (<i>M. Houdek</i>)	148
8.5.1	Technické komplikace	149
8.5.2	Chirurgické komplikace	150
8.5.3	Zánětlivé komplikace	151
8.6	Informační příručka pro nemocného (<i>I. Vrba, J. Kozák</i>)	153
8.6.1	Příručka vydávaná před zavedením míšní stimulace neuromodulačním centrem	153
8.6.2	Rehabilitace po zavedení SCS systému (informace pro pacienta)	160
8.7	Možnosti budoucího vývoje neurostimulace (<i>J. Kozák, I. Vrba</i>)	162
	Literatura	172
9	Další neurostimulační metody	177
9.1	Stimulace motorické mozkové kůry (<i>V. Masopust, R. Rokyta</i>)	177

9.1.1	Historický přehled vývoje stimulace motorické mozkové kůry	177
9.1.2	Anatomie motorické mozkové kůry	177
9.1.3	Neurofyziologický princip kortikální stimulace	177
9.1.4	Indikace korové stimulace a předimplantační vyšetření	178
9.1.5	Operační technika	179
9.1.6	Přidružené metody	180
9.1.7	Pooperační sledování	186
9.1.8	Možné komplikace	186
9.1.9	Perspektiva stimulace mozkové kůry v ČR a ve světě	187
9.2	Hluboká mozková stimulace (<i>D. Uργοšík</i>)	187
9.2.1	Historický přehled vývoje mozkových stimulací	187
9.2.2	Neurofyziologický princip hluboké mozkové stimulace	190
9.2.3	Cíle pro funkční stereotaxii	192
9.2.4	Metoda – operační postup	193
9.2.5	Indikace k hluboké mozkové stimulaci	199
9.2.6	Psychochirurgie a hluboká mozková stimulace	200
9.3	Periferní nervová stimulace (<i>I. Vrba, J. Kozák, L. Hakl</i>)	202
9.3.1	Historie	202
9.3.2	Mechanismus působení	203
9.3.3	Kritéria výběru nemocných k PNS	203
9.3.4	Lokalizace elektrod	204
9.3.5	Vlastní implantace	204
9.3.6	SCS ve srovnání s PNS	207
9.3.7	Výsledky PNS	207
9.3.8	Další možnosti PNS	208
9.3.9	Kontraindikace a komplikace	210
9.3.10	Naše zkušenosti (kazuistika)	210
9.3.11	Budoucnost PNS	210
9.4	Elektrická neurostimulace a neuromodulace neurogenního močového měchýře (<i>J. Doležel, M. Sutorý, J. Kočíš</i>)	211
9.4.1	Intravezikální elektrická stimulace (IVES)	212
9.4.2	Elektrická neuromodulace	213
9.4.3	Stimulace předních kořenů sakrální míchy kombinovaná se sakrální deafferentací	215
9.5	Stimulace nervus vagus v terapii farmakorezistentní epilepsie (<i>Z. Novák</i>)	218
9.5.1	Popis systému	219
9.5.2	Teoretický podklad metody	220
9.5.3	Klinické využití a výsledky	221
9.5.4	Metodika implantace	222
9.5.5	Indikace	223
	Literatura	223

10 Implantabilní infuzní pumpy **229**

10.1	Implantabilní systémy pro intraspinální podávání léků (<i>P. Ševčík</i>)	229
10.1.1	Indikace pro implantaci systémů k intraspinálnímu podávání léků	229

10.1.2	Možnosti intraspinalního přístupu	231
10.1.3	Typy implantabilních systémů pro intraspinalní aplikaci	232
10.2	Farmakologie látek podávaných do mozkomíšního moku (<i>P. Ševčík, R. Čumlivski</i>)	233
10.2.1	Opioidy	234
10.2.2	Místní anestetika	236
10.2.3	Alfa-2 mimetika	237
10.2.4	Baklofen	237
10.2.5	Klinická doporučení pro intratekální léčbu	238
10.3	Implantabilní infuzní pumpa s konstantním průtokem (<i>J. Lejško, M. Houdek</i>)	245
10.3.1	Spinální pumpa Archimedes	245
10.3.2	Spinální pumpa AccuRex	250
10.4	Vyšetření a testy před implantací programovatelné intratekální infuzní pumpy (<i>M. Hák</i>)	250
10.4.1	Morfín	250
10.4.2	Baklofen	251
10.5	Implantace pumpy – technický popis (pumpa, programátor, katétry) a operační technika (<i>M. Houdek, M. Gabryš</i>)	252
10.5.1	Stručný technický popis programovatelné pumpy SynchroMed	254
10.5.2	Implantace programovatelné infuzní pumpy	254
10.5.3	Příprava programovatelné infuzní pumpy	258
10.5.4	Programátor pro neuromodulační implantabilní zařízení	258
10.5.5	Programování implantabilní pumpy	260
10.6	Intratekální neuromodulace baklofenem – zvláštnosti u pacientů v dětském věku (<i>R. Čumlivski</i>)	265
10.6.1	Etiologie	265
10.6.2	Indikace ITB u dětí	266
10.6.3	Testovací fáze	267
10.6.4	Implantace definitivní pumpy	268
10.6.5	Nastavení ITB	271
10.7	Komplikace implantabilních programovatelných infuzních pump, jejich prevence a možnosti řešení (<i>M. Houdek, M. Kala</i>)	272
10.7.1	Technické komplikace	272
10.7.2	Chirurgické komplikace	273
10.7.3	Zánětlivé komplikace	274
10.7.4	Komplikace z předávkování	275
	Literatura	277
	Zkratky	283
	Rejstřík	287

Autoři

MUDr. Radomir Čumlivski, CSc.

Abteilung für Anästhesie, allgemeine Intensivmedizin und postoperative Schmerztherapie, Orthopädisches Spital Speising, Wien

MUDr. Jan Doležel, Ph.D

Urologická ambulance, Masarykův onkologický ústav, Brno

MUDr. Martin Gabryš

Neurochirurgická klinika, Palackého univerzita, Lékařská fakulta a Fakultní nemocnice, Olomouc

doc. MUDr. Lubomír Hakl, CSc.

Chirurgická klinika, Masarykova univerzita, Lékařská fakulta a Fakultní nemocnice (Diagnosticko-terapeutické centrum), Brno

MUDr. Marek Hakl, Ph.D.

Anesteziologicko-resuscitační klinika, Masarykova univerzita, Lékařská fakulta a Fakultní nemocnice u sv. Anny, Brno

prof. MUDr. Michael Houdek, CSc.

Neurochirurgická klinika, Univerzita Palackého, Lékařská fakulta a Fakultní nemocnice, Olomouc

doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

Ústav biomedicínského inženýrství, Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Brno

doc. MUDr. Miroslav Kala, CSc.

Neurochirurgická klinika Fakultní nemocnice a LF Univerzity Palackého, Olomouc

MUDr. Ján Kočiš, Ph.D.

Spinální jednotka, Úrazová nemocnice, Brno

PhDr. Martin Kořán, CSc.

Oddělení neurochirurgie, Nemocnice Na Homolce, Praha

MUDr. Jiří Kozák

Centrum pro léčení a výzkum bolestivých stavů na Klinice rehabilitace, Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta a Fakultní nemocnice Motol, Praha

MUDr. Jan Lejčko, CSc.

Anesteticko-resuscitační oddělení, Fakultní nemocnice, Plzeň

MUDr. Václav Masopust

Neurochirurgická klinika, Univerzita Karlova 1. lékařská fakulta a Ústřední vojenská nemocnice, Praha

MUDr. Pavel Michálek, Ph.D.

Anesteziologické a resuscitační oddělení, Nemocnice Na Homolce, Praha

doc. MUDr. Zdeněk Novák, CSc.

Neurochirurgická klinika, Masarykova univerzita, Lékařská fakulta
a Fakultní nemocnice u sv. Anny, Brno

MUDr. Ivana Rešková

Neurochirurgická klinika, Univerzita Palackého, Lékařská fakulta
a Fakultní nemocnice, Olomouc

prof. MUDr. Richard Rokyta, DrSc.

Ústav normální, patologické a klinické fyziologie, Univerzita Karlova,
3. lékařská fakulta, Praha

MUDr. Martin Sutorý, CSc.

Spinální jednotka, Úrazová nemocnice, Brno

prof. MUDr. Pavel Ševčík, CSc.

Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny, Masarykova univerzita,
Lékařská fakulta a Fakultní nemocnice, Brno

MUDr. Dušan Uργοšík, CSc.

Oddělení stereotaktické a radiační neurochirurgie, Nemocnice Na Homolce Praha

MUDr. Ivan Vrba

Anesteziologické a resuscitační oddělení, Nemocnice Na Homolce Praha

Předmluva

Dvacáté století bylo dobou obrovského vědeckého a technického pokroku. Dnes již první kroky rozvoje automobilizmu, začátky němého filmu, první přelety letadlem stejně jako počátky počítačové techniky působí úsměvně, až groteskně. Donedávna oblíbený literární žánr – science fiction výrazně ztrácí na popularitě, neboť imaginace začíná zaostávat nad technickou realitou. Hlavní představitelé utopické a sci-fi literatury J. Verne, H. G. Wells, A. Huxley, R. Bradbury, W. Gibson a také Karel Čapek již dávno předpověděli cesty do vesmíru, genetické manipulace, virtuální realitu, kybernetický prostor, robotiku a mnoho dalších futuristicko-realistických vizí. Současný technický vývoj však akceleruje takovým způsobem, že s notnou dávkou fantazie lze předvídat trendy pouze příštích několika let, nikoliv desetiletí.

Medicína využívala technický pokrok vždy až s určitým zpožděním. Technický a vědecký vývoj především v oblasti elektrotechniky, biofyziky a informatiky položil základy novému lékařskému oboru – neuromodulaci.

Termín „neuromodulace“ označuje chirurgickou intervenci, jejímž cílem je ovlivnit pomocí sofistikovaného implantovaného zařízení funkci centrálního, periferního nebo autonomního nervového systému fyzikální nebo farmakologickou cestou.

Současný stav vývoje neuromodulace lze považovat za první etapu velmi dlouhé a dynamické cesty, jejíž směr ani délku nelze dosud odhadnout. Také rozsah onemocnění ovlivnitelných nebo léčitelných touto metodou tvoří velkou, nespočetnou, ale stále se rozšiřující skupinu. Již nyní úspěšně vstupuje do mnoha lékařských oborů, např. algeziologie, neurochirurgie, interního lékařství, rehabilitace, chirurgie, urologie, neurologie, psychiatrie, ORL nebo očního lékařství.

Snahy ovlivnit funkci nervové soustavy vznikly na půdě poznání funkcí anatomických struktur nervového systému. Vzpomeňme jen na slávu, kterou svému objeviteli přineslo provedení lobotomie (E. Moniz byl za zavedení této operace v roce 1949 vyznamenán Nobelovou cenou). Všechny tyto operační výkony však byly založeny na provádění selektivní destrukce nervové tkáně.

Neurofyzilogické výzkumy vedly k poznatkům, které přispěly k zavedení chirurgické léčby spasticity a chronické bolesti. Přerušení zadních míšních kořenů, spinotamická chordotomie i jiné léčebné výkony přinášely alespoň částečnou úlevu vhodně vybraným nemocným. I velmi pečlivý operační postup ovšem mohl vést k nedostatečnému léčebnému výsledku či nežádoucím efektům, které však vzhledem k neurodestrukčnímu principu těchto operací byly nevratné, ba co více, častokrát byl požadovaný léčebný efekt časově limitován. Neuromodulace má za cíl ovlivnit funkci neuroanatomických struktur při maximální snaze zachovat jejich integritu. Tím zajišťuje reverzibilitu všech terapeutických kroků v případech nežádoucích léčebných efektů či případných komplikací. Neuromodulační operační výkon dovoluje léčebný efekt po provedené operaci kontinuálně potencovat, a to neinvazivními zásahy založenými na využití nejmodernější techniky. Ztrácí-li neurochirurg i nemocný při provádění klasických neurodestrukčních operací možnost návratu zpět, pak použití neuromodulačních postupů ponechává otevřená zadní vrátka tolik potřebná zejména v těch individuálních případech, kdy nelze důsledky operačního výkonu s jistotou predikovat.

Nejčastějším neuromodulačním výkonem je elektrostimulace, která se označuje podle působení elektrického proudu na cílový orgán jako míšňní stimulace (spinal cord stimulation, SCS), hluboká mozková stimulace (deep brain stimulation, DBS), stimulace mozkového kortexu (motor cortex stimulation, MCS), stimulace n. vagus (vagus nerve stimulation, VNS) a další. Druhou nejčastější oblastí neuromodulace je užití implantabilních infuzních pump, jednak programovatelných, nebo s konstantním průtokem tekuté látky. Cílem zásahu těchto metod jsou nejen bolestivé stavy různé etiologie, ale i epilepsie, míšňní spasticita, poruchy srdečního rytmu, poruchy mikce a defekace, postižení zraku a sluchu, deprese a mnoho dalších. Lze se právem domnívat, že spektrum chorob, v jejichž léčbě naleznou neuromodulační výkony své opodstatnění, se bude nadále rozširovat v rozsahu, který dnes nelze ani tušit.

Prudký rozmach neuromodulačních operačních výkonů u nás zatím postrádal solidní informační základ a všem zájemcům o studium nezbývalo, než se pracně s touto problematikou seznamovat prostřednictvím dílčích studií vyhledávaných ve světovém (a dnes již i v národním) písemnictví. Cílem této odborné publikace je zpřístupnit co nejširoššímu okruhu relevantních lékařských odborníků aktuální a komplexní pohled na téma, jehož obzory končí daleko za našimi současnými představami.

Michael Houdek

Obecná část

1 Patofyziologie bolesti ve vztahu k neuromodulačním technikám

V současné době je známo o patofyziologii bolesti již mnoho a máme také přehled o základních mechanismech čtyř komponent bolesti, tzn. sensoricko-diskriminační, afektivně-emoční, motorické a vegetativní. Nejvíce je propracován sensoricko-diskriminační mechanismus, kdy jsou velmi dobře známy dráhy bolesti. Existuje také mnoho poznatků o patofyziologii bolesti nociceptivní i neuropatické (Rokyta, 2003; Opavský a Rokyta, 2006).

Podle současných představ je bolest vnímána třemi typy receptorů (senzorů). Především to jsou specifické receptory bolesti, což jsou *volná nervová zakončení*, která jsou za normálních okolností mlčící (*silent*), v klidu a jsou aktivována pouze bolestivým drážděním. Jedná se o jakási zduření na konci primárních aferentních vláken, kterými jsou tvořeny specifické receptory bolesti. O tom, že bolest je skutečně sama o sobě sensorickou entitou, svědčí i to, že existuje porucha, která se nazývá vrozená insenzitivita k bolesti, kdy právě tyto receptory chybí; kromě toho chybí i vlákna, která bolest vedou. U této nemoci je 5–6× sníženo množství vláken C, která vedou bolest z periferie do míchy. Druhými nociceptory jsou *vysokoprahové mechanoreceptory*, které vnímají bolestivě nadprahové mechanické dráždění. Informace z nich jsou vedeny nejenom C a A δ vlákny, ale také vlákny A α . Podobně je stimulována také třetí skupina receptorů, *polymodálních receptorů*, které reagují bolestivě při snížené nebo při vysoké teplotě. Víme, že chladové i tepelné receptory působí v určitém rozmezí, jakmile je ovšem toto rozmezí překonáno, vnímáme bolest.

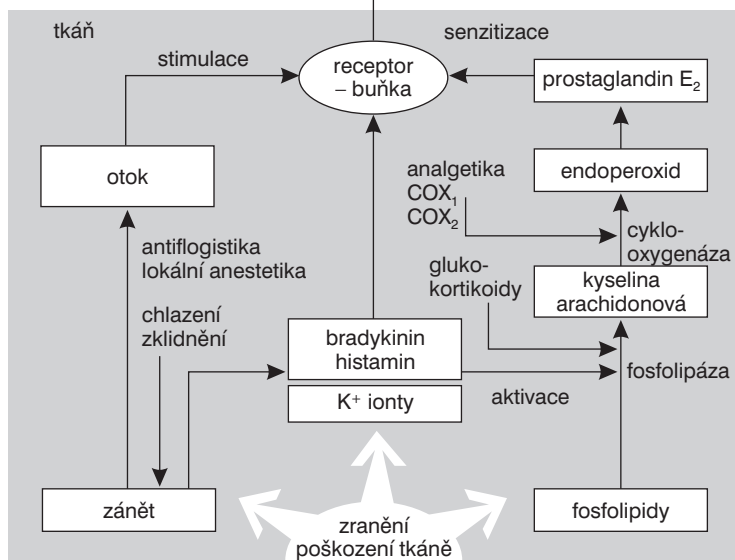
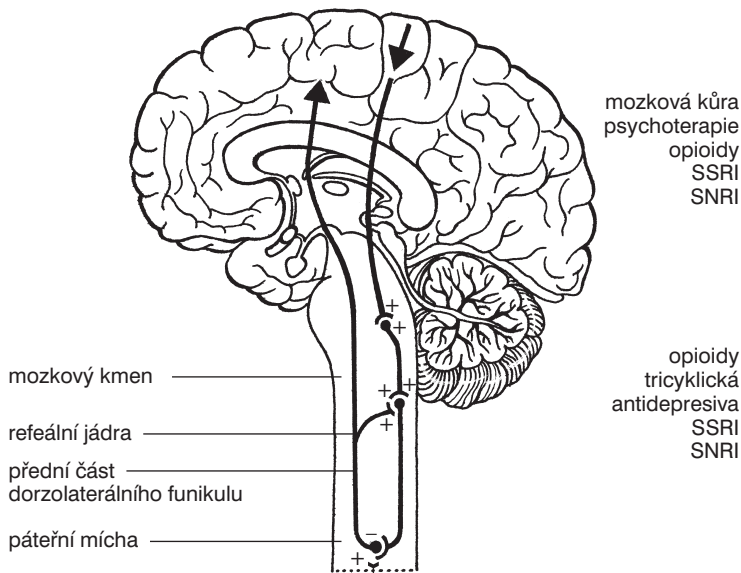
Na receptory bolesti působí několik mechanismů (obr. 1.1):

1. přímo působí některé ionty (např. draslíku), účinkují tak i některé vazodilatační látky, zejména bradykinin a histamin;
2. mechanismus zánětlivý – při něm je bolest vyvolána stejným způsobem jako zánět, zejména vazodilatací a edémem;
3. bolest je způsobena zvýšenou senzitivací nocisenzorů – celá kaskáda začíná u fosfolipidů, přes fosforylaci a fosfolipázu se přeměňují na kyselinu arachidonovou, z ní vzniká působením cyklooxygenáz endoperoxid a prostaglandiny; tak se snižuje práh bolesti a vzniká senzitivace.

Bolest je vedena především pomalými nemyelinizovanými C vlákny a slabě myelinizovanými A δ vlákny. C vlákna vedou rychlostí 0,5–3,5 m/s, zatímco slabě myelinizovaná A δ vlákna rychlostí 5–14 m/s. Bolest je ale vedena i rychlými vlákny, to zejména při dráždění mechanoreceptorů nebo polymodálních receptorů. Bolest se vede zadními provazci míšními do zadních rohů míšních, do Rexedových zón. Povrchová bolest se projikuje především do povrchových Rexedových zón I a II, které tvoří substantia gelatinosa Rolandi. Nucleus proprius tvoří zóny I, II a III. Hluboká bolest se projikuje především do zón V, VIII, a X (obr. 1.2).

Již na úrovni míšni existuje plasticita; při porušení některých struktur v periférii vypádávají u funkce příslušné zóny a vrací se opět k normě při obnově těchto funkcí (obr. 1.3).

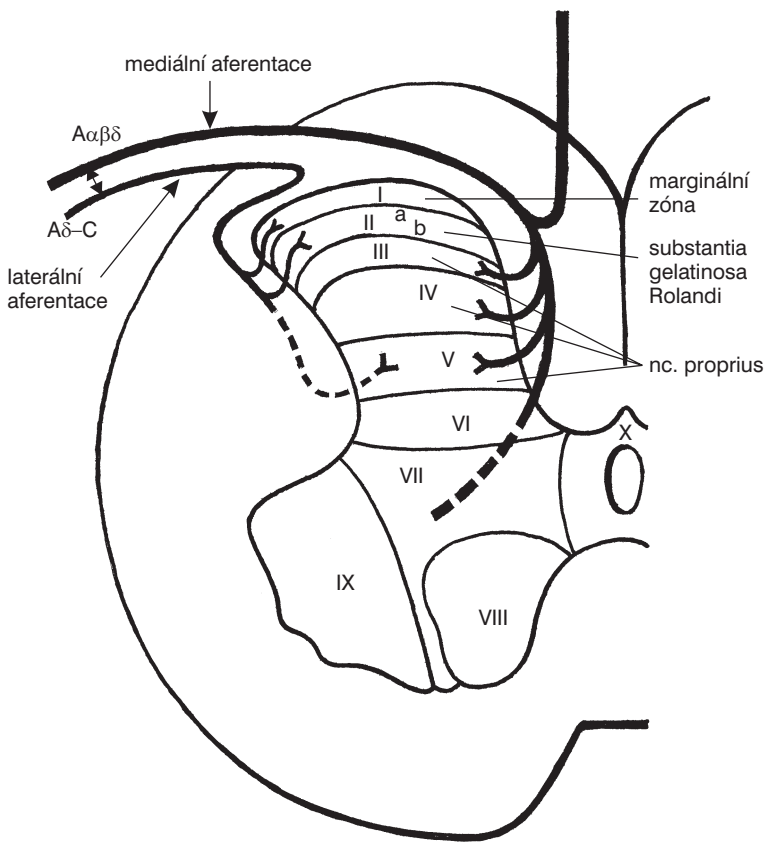
Na míšni úrovni je za přenos bolesti zodpovědný především glutamátový systém, a to glutamátové receptory, zejména NMDA (N-methyl-D-aspartátové) a AMPA (kyseliny aminopropionové) receptory při svém podráždění vytvářejí fenomén wind-up –



Obr. 1.1 Působení různých faktorů na receptory a možné léčebné zásahy v průběhu bolestivé dráhy (upraveno podle Rokyta R. a kol. Fyziologie. Praha: ISV, 2000.)

Lze přeložit jako jakési „zprůvanění“; fyziologicky jde o senzitivaci (zcitlivění). Aktivita těchto receptorů může být potlačována např. estrogény, které tlumí především NMDA receptory. Proto také ženy a samice obecně mají sice nižší práh bolesti, ale lépe se s bolestí vyrovnávají. Jedním z mechanismů je právě zmíněný vliv estrogenu na NMDA receptory; druhý představuje zvýšená tvorba endorfinů při menstruaci a před porodem i při něm.

Z míchy vede bolestivou informaci několik drah. Sensoricko-diskriminační složku obstarává především dráha spinotalamická, spinoretikulotalamická a dále dráhy zadních provazců míšních, tj. fasciculus cuneatus-Burdachi a fasciculus gracilis-Golli.



Obr. 1.2 Aferentace různých vláken do Rexedových míšních zón (upraveno podle Albe-Fessard D. Bolest. Praha: Grada Publishing, 1998.)

Tyto dvě dráhy vedou především viscerální bolest. Důkazem je snížení či vymizení bolesti po parciální myelotomii. V posledních 10 letech byly také objeveny a popsány dráhy odpovídající za emočně-afektivní složku bolesti. Jsou to dráhy, které vedou především přes jádro mozkového kmene nucleus parabrachialis: tractus spinoparabrachialis a pokračují buď do amygdaly – tractus spinoparabrachialis amygdalaris, anebo do hypotalamu – tractus spinoparabrachialis hypothalamicus (obr. 1.4). Tyto dráhy vedou informace recipročně descendentní cestou zpět do míchy. Spinotalamická dráha se projikuje především do laterální části thalamu do ventrobazálního komplexu (VB) tvořeného dvěma jádry: VPL (ventroposterolateralis) a VPM (ventroposteromedialis). Dráha spinoretikulotalamická končí především u mediálních thalamických jader (jader střední linie), což je centrum medianum (CM), nucleus centralis lateralis (CL) a nucleus parafascicularis (pF). Z těchto dvou skupin jader se bolest projikuje do různých mozkových oblastí, z laterálního thalamu především do gyrus postcentralis, tzn. jako ostatní somestetické cití, zatímco z mediálních jader se přivádí především do různých částí limbického systému, do gyrus cinguli, do inzuly, mediální prefrontální mozkové kůry a také do corpus callosum. Kromě drah vzestupných existují i dráhy sestupné. Ty začínají především v oblastech rafeálních jader a periakvedukální šedi (obr. 1.5).