

Stanislav Trojan, Rastislav Druga, Jan Pfeiffer, Jiří Votava

FYZIOLOGIE A LÉČEBNÁ REHABILITACE MOTORIKY ČLOVĚKA

TŘETÍ, PŘEPRACOVANÉ A DOPLNĚNÉ VYDÁNÍ



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.

FYZIOLOGIE A LÉČEBNÁ REHABILITACE MOTORIKY ČLOVĚKA

Třetí, přepracované a doplněné vydání

Autoři:

Prof. MUDr. Stanislav Trojan, DrSc.

Prof. MUDr. Rastislav Druga, DrSc.

Prof. MUDr. Jan Pfeiffer, DrSc.

Doc. MUDr. Jiří Votava, CSc.

Recenze:

Doc. MUDr. Zdeněk Wunsch, CSc.

© Grada Publishing, a.s., 2005

Cover Photo © XXXXXX, 2005

Vydala Grada Publishing, a.s.,

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou XXXX. publikaci

Odpovědná redaktorka PaedDr. Lenka Šámalová

Obrázky dodali autoři

Sazba a zlom Milan Vokál

Počet stran 240

Vydání 3., přepracované a doplněné, Praha 2005

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.,

Husova 1881, Havlíčkův Brod

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 léčích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.

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

ISBN 80-247-1296-2 (tištěná verze)

ISBN 978-80-247-6618-8 (elektronická verze ve formátu PDF)

© Grada Publishing, a.s. 2011

Obsah

Předmluva ke třetímu, přepracovanému a doplněnému vydání	9
Předmluva ke druhému, přepracovanému vydání.	10
Úvod.	11
1 Teorie motoriky (S. Trojan, J. Votava)	13
1.1 Stručné vysvětlení některých základních pojmů	13
1.1.1 Reflex.	13
1.1.2 Činnost nervové buňky	14
1.1.3 Synapse (zápoj).	15
1.2 Nervová soustava a kosterní svalstvo	18
1.2.1 Kosterní sval a sarkomera	18
1.2.2 Nervosvalová ploténka	22
1.2.3 Motorická jednotka.	23
1.2.4 Projevy činnosti svalu	24
1.2.5 Svalový tonus.	27
2 Centrální mechanismy řízení motoriky (S. Trojan, R. Druga)	29
2.1 Senzomotorika	32
2.1.1 Proprioreceptivní reflexy.	33
2.1.2 Gama-systém	36
2.1.3 Exteroreceptivní reflexy	37
2.1.4 Míšní interneurony	38
2.1.5 Činnost α -motoneuronů	41
2.1.6 Význam vyšetřování míšních reflexů	43
2.1.7 Spinální motorika při poškození míchy	43
2.2 Motorický systém polohy	44
2.2.1 Postojové reflexy	45
2.2.2 Vzpřimovací reflexy	46
2.2.3 Funkce mozečku v řízení opěrné motoriky	46
2.2.4 Postnatální vývoj opěrné motoriky.	51
2.3 Motorický systém úmyslného pohybu	52
2.3.1 Motorický kortex	53
2.3.2 Motorické funkce hlavových nervů	60
2.3.3 Součinnost hemisfér a motorika	61
2.3.4 Činnost bazálních ganglií	62
2.3.5 Funkce mozečku v řízení cílené motoriky	74
2.3.6 Funkce nucleus ruber.	78
2.3.7 Podíl talamu na řízení motoriky	79
2.3.8 Pokračování vývoje opěrné motoriky, vývoj cílené motoriky	79
2.3.9 Úmyslné pohyby	81

3 Pohybová soustava z klinického hlediska – část obecná (J. Votava).	83
3.1 Přístrojové vyšetření hybné soustavy člověka	83
3.1.1 Elektromyografie (analytická, jehlová)	83
3.1.2 Polyelektromyografie a další přístrojové metody	85
3.2 Reflexy a reflexní působení	87
3.2.1 Význam reflexů v neurologii a rehabilitaci	88
3.2.2 Myotatické reflexy	89
3.2.3 Hoffmannův reflex	92
3.2.4 Svalový tonus	94
3.2.5 Relaxace	95
3.2.6 Složitější svalové reflexy vyvolané z proprioceptorů	95
3.2.7 Exteroreceptivní reflexy, především obranné	97
3.2.8 Supraspinální působení na reflexní děje, supraspinální reflexy	100
4 Pohybová soustava z klinického hlediska – část speciální (J. Votava)	103
4.1 Funkční poruchy pohybového ústrojí	104
4.2 Centrální (spastická) paréza	107
4.2.1 Patogeneze vzniku centrální parézy	108
4.2.2 Rozbor některých příznaků centrální parézy	109
4.2.3 Mechanismy podlející se na vzniku projevů centrální parézy	112
4.2.4 Rehabilitace u následků centrální parézy mozkového původu. Cévní mozkové příhody	112
4.2.5 Rehabilitace u následků centrální parézy míšního původu. Stavy po poranění míchy	117
4.3 Extrapyramidové syndromy (klinické poruchy bazálních ganglií)	121
4.3.1 Parkinsonův syndrom (hypertonicko-hypokinetický)	122
4.3.2 Mimovolní pohyby (hyperkineticko-hypotonické syndromy)	124
4.4 Mozečkový syndrom	126
4.5 Vestibulární syndrom	128
4.6 Spinální ataxie (syndrom zadních míšních provazců)	129
4.7 Paréza periferního neuronu	129
5 Léčebná rehabilitace dětí s poruchou centrálního motoneuronu (J. Pfeiffer)	131
5.1 Jak rozhodnout, zda ordinovat léčebný tělocvik	131
5.2 Jaké rehabilitační postupy doporučit	132
5.3 Jaké vyšetření provedeme	133
5.4 Vojtova metoda reflexní lokomoce	142
5.4.1 Praktické provádění Vojtovy metody	145
5.5 Metodika manželů Bobathových	149
5.6 Metodika profesora Tardieu	163
6 Systém moderní rehabilitace (J. Pfeiffer)	195
6.1 Definice	195
6.1.1 Pojetí a definice rehabilitace	195
6.1.2 Vývoj organizace rehabilitace	196

6.2 „Objev“ tří nových pojmů velmi významných pro rehabilitaci – porucha na úrovni orgánu, disabilita na úrovni jedince, handicap jedinec versus společnost	197
6.2.1 Kritika nových pojmů a jejich vývoj až k současné definitivní verzi. . . .	198
6.2.2 Mezinárodní klasifikace funkčních schopností (funkčních schopností, disability a zdraví)	199
6.2.3 Jak kvalifikovat jednotlivé hodnoty klasifikace	199
6.3 Definice pojmů poslední definitivní verze Mezinárodní klasifikace funkčních schopností	200
6.4 Základní stručná informace, jak s klasifikací pracovat	201
6.4.1 Tělesné funkce (označení b = body)	201
6.4.2 Tělesné struktury (označení s = struktury)	211
6.4.3 Aktivita a participace (označení d = disability).	212
6.4.4 Faktory prostředí (označení e = environment)	218
6.5 Organizační prostředky systému rehabilitace	221
6.5.1 Problém specializace lékařů a dalších odborníků.	222
6.6 Praktické provádění rehabilitace nervových poruch.	223
6.6.1 Kontuze mozku a jeho rehabilitace	223
6.6.2 Poruchy různých systémů mozku	224
6.7 Závěr	227
Rejstřík	229

Předmluva ke třetímu, přepracovanému a doplněnému vydání

Charakteristickým rysem tohoto vydání je – kromě menších úprav v jednotlivých kapitolách – úplné přepracování části věnované systému moderní rehabilitace. Tato kapitola (6.) byla výrazně rozšířena s důrazem na probíhající legislativní proces v našem zdravotnictví po vstupu České republiky do Evropské unie. Podáváme v ní podrobnější vysvětlení Mezinárodní klasifikace funkčních schopností, která je ideovou osou moderní rehabilitace. V klasifikaci došlo k pozitivnímu chápání celé problematiky. Byl naprosto opuštěn pojem handicap jako pojem ne zcela jasný. Naopak byl zaveden faktor prostředí, který může být buď facilitující nebo bariérový. Celý systém se snaží nediskvalifikovat člověka, ale hodnotit situace, které mohou do disabilitující situace jedince uvést. Nejde o hru se slovy, ale o hodnocení člověka-občana, ze kterého neděláme invalidu nebo osobu se zdravotním postižením. Tomuto chápání má posloužit naše knížka.

Praha, únor 2005

S. T., R. D., J. P., J. V.

Předmluva ke druhému, přepracovanému vydání

Jedním z největších úkolů neurovědních oborů je překlenovat stále se zvětšující mezeru mezi molekulárně-biologickým a behaviorálním přístupem při studiu funkcí centrálního nervového systému (CNS). Molekulární biologie a další navazující obory získávají ohromující množství informací o jednotlivých neuronech (a tento proces je vlastně na počátku), přesto jsou znalosti o funkcích CNS stále nedostatečné. CNS je komplexem strukturálních a funkčních modulů vytvářejících neuronální síť. Tyto síť generují různé formy motorických odpovědí a motorického chování, mají funkci detektorů v senzorických systémech, uplatňují se v mechanismech paměti a v expresi emocí. Analýza těchto velkých funkčních bloků lidského mozku se stále více přesouvá do klinických oborů. Nezastupitelné místo zde mají funkční zobrazovací metody (PET, fMR) a je potěšitelné, že stále větší podíl na daných studiích mají obory rehabilitačního lékařství.

Naše kniha „Fyziologie a léčebná rehabilitace motoriky člověka“ se v předchozím vydání setkala s velkým zájmem v řadách lékařů, fyzioterapeutů, studentů a všech pracovníků v oblasti léčebné rehabilitace. Nakladatelství se proto rozhodlo publikaci vydat znovu a doplnit ji o některé důležité informace. Zejména byla vložena kapitola o **systému léčebné rehabilitace**. Ta podává velmi stručný přehled o vývoji moderní rehabilitace, která je ve vyspělém světě pojímána dosti odlišně než u nás. V naší tradici chápeme rehabilitaci většinou pouze jako otázku léčebných programů u pohybových poruch. Nechtěli bychom tento „omyl“ posilovat, a naopak zdůrazňujeme mnohem širší význam rehabilitace jako systému, který se zabývá všemi chorobami a úrazy, tedy i smyslovými, interními, psychickými a mentálními.

Rehabilitace nastupuje v období, když porucha daného orgánu nebo systému, nazývaná *impairment*, je tak velká, že nějak sníží osobní aktivitu, což se anglicky nazývá *disability*, a tím i potenciálně zmenší možnost integrace do společenského života, pak hovoříme o *handicapu*. O těchto pojmech se vedou jednání na mezinárodní úrovni pod vedením WHO a od každé členské země se žádá, aby se pokud možno alespoň v hlavních rysech snažila jak terminologicky, tak prakticky těmto snahám přiblížit. Rehabilitace vždy začíná v oblasti medicíny, ale využívá i léčebné prostředky – často ještě rozsáhlejší – z oblasti sociální, pracovní, výchovně-vzdělávací a další. Chceme zdůraznit, že léčebné prostředky rehabilitace jsou velmi důležité právě tím, jak se správně nebo špatně propojí s ostatními nezdravotnickými rehabilitačními prostředky. Poněvadž až dosud moderní učebnice léčebné rehabilitace u nás chybí, uvedli jsme zde v samostatné kapitole základní myšlenky této nově se rodící koncepce. Jde podle nás o velmi důležitý úsek lidského snažení, směřující k odstranění nebo alespoň k zmírnění zdravotního postižení.

Úvod

Kniha, kterou dostáváte do ruky, se věnuje jednomu z tělních systémů, systému hybnému. Z názvu vyplývá, že jeho úkolem je zajišťovat pohyb jako jeden z nezbytných projevů života prakticky u všech živočichů. Situace je však podstatně složitější. Stejný systém zajišťuje také oporu těla, čili určitou polohu. Poloha může být udržována bez pohybu, avšak pohyb vždy vyžaduje současně udržování určité polohy, u člověka zpravidla vzpřímené. Pohyb tedy vychází nejčastěji ze stoje nebo sedu.

K hybnému systému náleží složka aktivní, tedy kosterní svaly. Ty jsou zdrojem síly, která zajišťuje udržení polohy a umožňuje pohyb těla i jeho částí. Složky pasivní, tedy kosti a jejich vzájemné spojení (nejčastěji klouby), tvoří oporu těla, zajišťují přenos síly na principu páky a umožňují vzájemný pohyb částí těla, čímž se mění celkový tvar těla. K hybnému systému se po funkční stránce řadí i velká část nervové soustavy.

Ve srovnání s ostatními tělními systémy, např. dýchacím, zažívacím či vylučovacím, má systém hybný zcela výjimečné postavení, a to z těchto důvodů:

1. Tkáně orgánů, které hybný systém tvoří, představují až na výjimky více než polovinu hmotnosti těla (výjimkami jsou osoby nadměrně obézní, u nichž významnou část hmotnosti tvoří tuk).
2. Na rozdíl od jiných systémů, které fungují jako celek, mohou jednotlivé části systému pracovat do značné míry samostatně. Proto je hybný systém podstatně proměnlivější a popis jeho činnosti složitější než u systémů ostatních.
3. Stah kosterních svalů je téměř jediná funkce, kterou člověk pravidelně ovládá svou vůlí (kromě aktivních myšlenkových pochodů, např. provádíme-li výpočet z paměti). Proto se některé kosterní svaly podílejí i na volném ovlivnění činnosti jiných systémů (dýchání, zažívání apod.).
4. I když jsou všechny tělní systémy pod vlivem nervové soustavy, je ovládání hybného systému nervovou soustavou sice přímější, ale i složitější. Sval (výkonný orgán) reaguje na podněty z centrální nervové soustavy ve zlomku sekundy, vnitřní orgány odpovídají podstatně pomaleji. Proto je velká část nervového systému plně či převážně určena k ovládání motoriky.
5. Hybný systém u člověka, spolu s centrálním nervovým systémem, vykazuje více než jiné tělní systémy rozdíly ve srovnání se zvířaty. Je to dáno nejen vzpřímeným držením těla, ale především používáním části hybného systému pro funkce typicky lidské, jako je komunikace písmem a řečí a jemné pracovní činnosti. Tím je ovšem zčásti omezena aplikace výsledků některých pokusů získaných u zvířat na člověka.

6. Hybný systém je současně významným systémem smyslovým. Receptory v něm umístěné pomáhají člověku vnímat polohocit a pohybovit.
7. Některé poruchy pohybového ústrojí jsou velmi časté. Bolesti v pohybovém ústrojí, např. v páteři, zažil snad každý člověk ve středním a starším věku. Mozková mrtvice patří k častým příčinám smrti, ale hlavně těžkého motorického postižení.

V této knize jsme si dali nesnadný úkol – stručně shrnout poznatky o centrálním řízení činnosti hybného systému a informovat o odstranění, případně zmírnění jeho poruch metodami léčebné rehabilitace. Věříme, že spolupráce teoretiků a klinických lékařů umožní, aby kniha byla zajímavá jak pro studenty a zdravotníky, tak i pro širší laickou veřejnost. Hlubší poučení včetně citované literatury, může v mnohém poskytnout naše dřívější knížka „Centrální mechanismy řízení motoriky“ (Avicenum 1990).

Útlá publikace nemůže zahrnout všechna hlediska, která se hybné soustavy týkají. Nezabýváme se proto růstem a látkovou výměnou kostí, podrobným mechanismem svalového stahu či mechanickými vlastnostmi jednotlivých tkání. Hlavním tématem této knihy jsou centrální nervové mechanismy ovlivňující hybnost. Na nejnovější poznatky anatomické a fyziologické navazuje vysvětlení klinických poruch a jejich možného ovlivnění z hlediska léčebné rehabilitace.

S. T., R. D., J. P., J. V.

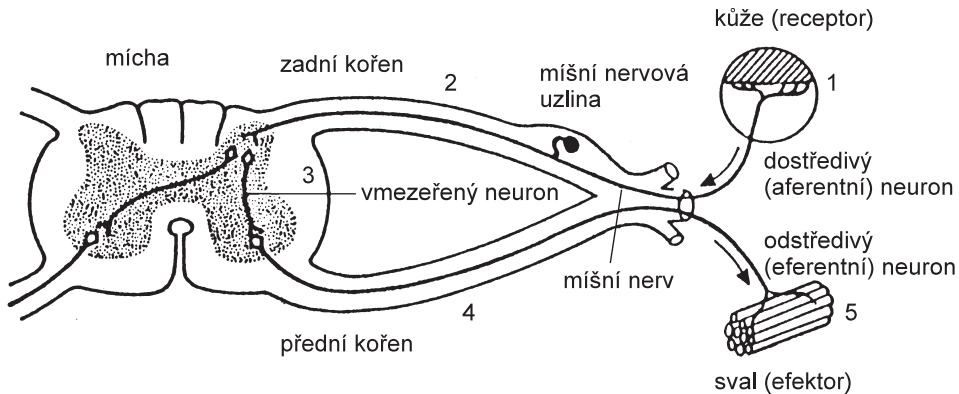
1 Teorie motoriky

1.1 Stručné vysvětlení některých základních pojmů

1.1.1 Reflex

Reflex je funkční jednotkou nervové soustavy. Je to zákonitá odpověď organismu na dráždění čidel, zprostředkovaná nervstvem.

Reflex je determinován určitými změnami v zevním nebo vnitřním prostředí, které se uplatňují jako **podněty**. Energie podnětů působí na živou tkáň, která reaguje změnou podráždění. Dále je reflex určen uspořádáním spojů mezi receptory, centrálním nervstvem a efekty, čili tzv. **reflexním obloukem** (obr. 1).



Obr. 1 Reflexní oblouk:

1 – receptor, 2 – aferentní dráha, 3 – centrum v míše, 4 – eferentní dráha, 5 – efektor

Nejjednodušší reflexní oblouk je tvořen dvěma neurony (monosynaptické reflexy, např. myotatické reflexy spinální). V čidle (receptoru) se působením podnětu změní místní podráždění, které vyvolá vzruch šířící se dostředivým (centripetálním, aferentním) vláknem do centrálního nervstva (centrum reflexu). V centrálním nervstvu – na synapsi – se vzruch z jednoho neuronu převede na odstředivé vlákno (centrifugální, eferentní) druhého neuronu. Po eferentním vlákně se vzruch šíří k výkonnému orgánu (efektoru).

Celý reflexní oblouk se zpravidla skládá z pěti částí:

receptor – aferentní dráha – centrum – eferentní dráha – efektor.

Toto schéma platí pro reflexy somatické i autonomní.

Reflexní oblouky, které mají mezi aferentním a eferentním neuronem pouze jedinou synapsi, označujeme jako **monosynaptické**. Reflexní oblouky se zařazenými interneurony nazýváme **polysynaptické**. Vmezežené neurony mohou být dva, tři, ale také několik tisíc. Přesto je vrozená reflexní činnost stereotypní a specifická: určitý podnět vzbuzuje určitou odpověď.

Přízpůsobení organismu změnám prostředí prostřednictvím reflexní činnosti je velmi dokonalé. Reflexní reakce se uskutečňují rychle, často ve zlomku sekundy, přesně cíleně (uvádějí se v činnost jen některé orgány, jejich části nebo dokonce jen některé buňky) a umožňují velmi přesnou analýzu podnětů ze zevního prostředí. Reflexy jsou nezbytným předpokladem k zachování života vyšších organismů, neboť jsou prostředníky reakce a adaptace na změny životních podmínek a udržování stálosti vnitřního prostředí.

Dráhy reflexních oblouků jsou prováděny **zpětnovazebními drahami**, které umožňují zpětné působení výsledného efektu proběhlého reflexu. Každý další reflexní děj probíhá s přihlédnutím ke zpracování informací o výsledcích děje předchozího. Reflexní činnost tedy probíhá v **cyklech** (okruzích). Kroužení vzruchů v určité oblasti a jejich návrat k výchozímu místu se označuje pojmem **reverberace** (a jí odpovídající snímaná elektrická aktivita je **následný výboj**). Bez zpětnovazební kontroly neprobíhá děj dostatečně přesně a ani jeho výsledek není správný. Tyto mechanismy jsou většinou kontrolovány ještě dalšími komunikacemi, které opět pracují na principu zpětné vazby (zpětná vazba vyšší úrovně).

Výsledný účinek zpětné vazby může působit na probíhající reflexní děj **pozitivně** (zesilovat jej) nebo **negativně** (tlumí jej).

O významu reflexů v léčebné rehabilitaci pojednává podrobněji kap. 3.2.

1.1.2 Činnost nervové buňky

Abychom pochopili mechanismus reflexů, řídící funkci nervové soustavy i svalový stah, musíme znát mechanismus dráždivosti v organismu. Všechny buňky v těle mají na své povrchové membráně elektrické napětí, které souvisí s nestejnou koncentrací některých iontů po obou stranách membrány. Mimo buňku jsou v převaze kationty sodné a anionty chloridové a vnější strana membrány má kladný náboj. Vnitřek je vůči vnějšku záporný (okolo -70 až -80 mV) a převažují zde kationty draselné a organické anionty.

Pro náš popis jsou důležité především nervové buňky čili neurony (obr. 2). Tvoří se svými výběžky (dendrity a axon, čili neurit) informační systém nervové soustavy. Počtem je však v nervové tkáni několikrát převyšují podpůrné buňky gliové.

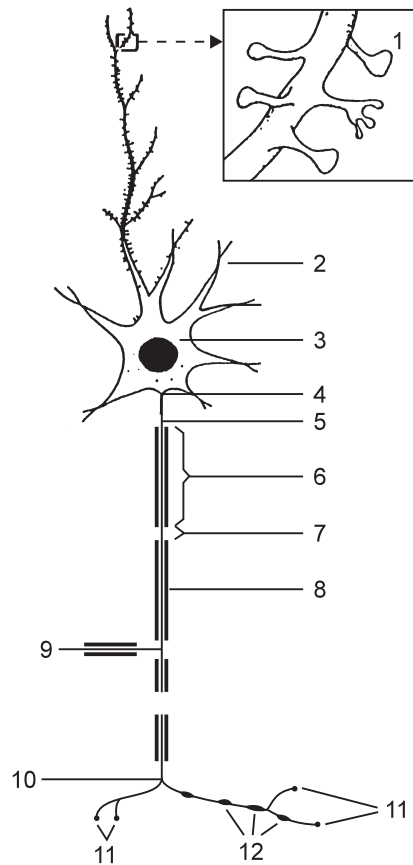
Na buňkách, které jsou dráždivé, jako neurony a svalová vlákna, můžeme snižováním napětí na membráně dosáhnout prahové hodnoty podráždění. Při ní se otevrou v membráně kanály nejprve pro ionty sodné, pak draselné. Důsledkem je změna potenciálu membrány, trvající něco málo přes jednu milisekundu. Nazývá se **vzruch**

čili **akční potenciál** (obr. 3). Jeho vlivem se sníží napětí na prahovou hodnotu také v dalších úsecích povrchové membrány, znovu vzniká vzruch, který se touto cestou šíří, aniž by se změna napětí snižovala. Rychlost šíření je vyšší po nervových vláknech s myelinovou pochvou čili myelinizovaných (až 120 m/s) než po vláknech bez myelinu (0,5 až 3 m/s), protože se vzruch šíří přeskokem mezi zářezy myelinu (obr. 4, 5).

Akční potenciály, které můžeme uměle vyvolat elektrickým podrážděním nervového či svalového vlákna, vznikají v organismu přirozeně jako důsledek přenosu informace na synapsích (prostřednictvím postsynaptických potenciálů) a v receptorech (prostřednictvím receptorových, generátorových potenciálů) (obr. 6). V některých buňkách mozku vznikají akční potenciály spontánně.

1.1.3 Synapse (zápoj)

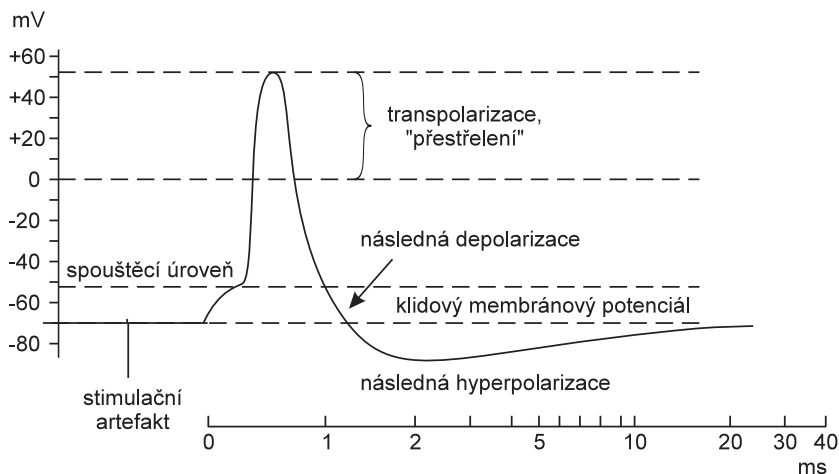
Synapse (obr. 7) je místo dotyku neuritu jednoho neuronu s povrchovou membránou jiného neuronu, případně se svalovým vláknem či žlázovou buňkou. Přenos informace na synapsi nastává buď chemickou nebo elektrickou cestou. U člověka je elektrický přenos vzruchu na synapsích vzácný. Doběhnutím akčního potenciálu na zakončení neuritu se však uvolní chemická látka (např. acetylcholin), která mění propustnost tzv. postsynaptické membrány té druhé buňky pro ionty, vzniká zde tzv. **postsynaptický potenciál**. Ten může mít dvojí charakter: buď se snižuje membránové napětí, vzniká **excitační** postsynaptický potenciál (EPSP), kterým může být vyvolán akční potenciál, anebo se napětí zvyšuje, vzniká **inhibiční** postsynaptický potenciál (IPSP), čímž se snižuje pravděpodobnost vzniku akčního potenciálu (obr. 8 a 9).



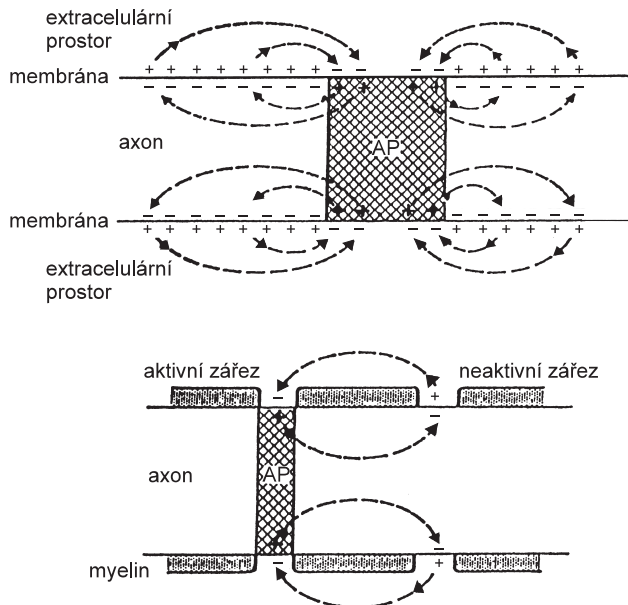
Obr. 2. Jednotlivé součásti multipolárního neuronu:

1 – periferní dendrit s dendritickými trny (výřez při větším zvětšení ukazuje různé tvary trnů), 2 – kmenový dendrit, 3 – soma, 4 – axonový hrbol, 5 – iniciální segment, 6 – internodium, 7 – Ranvierův zářez, 8 – myelinová pochva, 9 – kolaterála, 10 – telodendrium, 11 – presynaptické elementy terminální, 12 – presynaptické elementy v průběhu („en passant“)

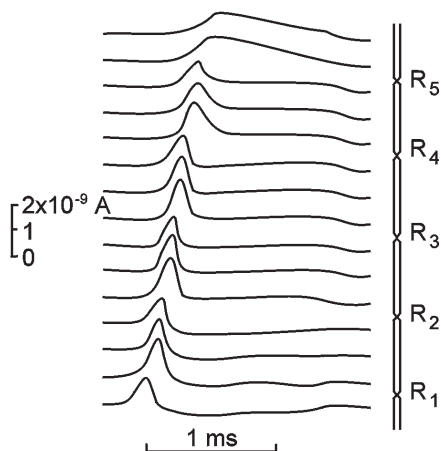
Vzhledem k tomu, že je povrchová membrána neuronů pokryta sty až tisíci synapsí, je výsledné podráždění závislé na počtu současně aktivovaných synapsí (obr. 10) a na jejich tlumivé či budivé povaze.



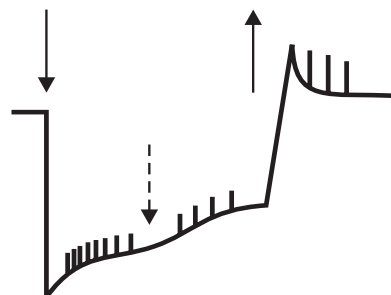
Obr. 3 Schéma průběhu akčního potenciálu: hrotový potenciál, následná depolarizace a následná hyperpolarizace (upraveno podle Kutchai)



Obr. 4 Šíření akčního potenciálu axonem. Saltatorní vedení vzruchu z jednoho Ranvierova zářezu na druhý. AP – akční potenciál

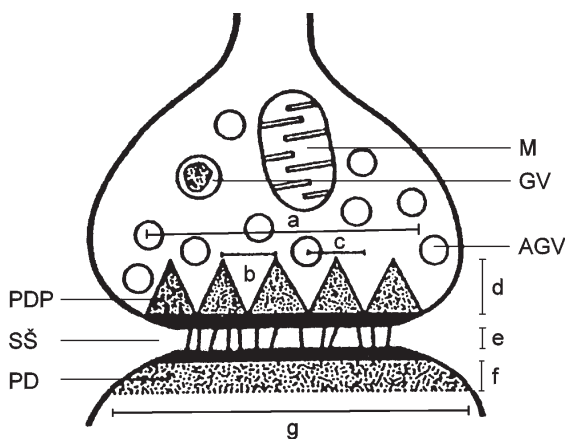


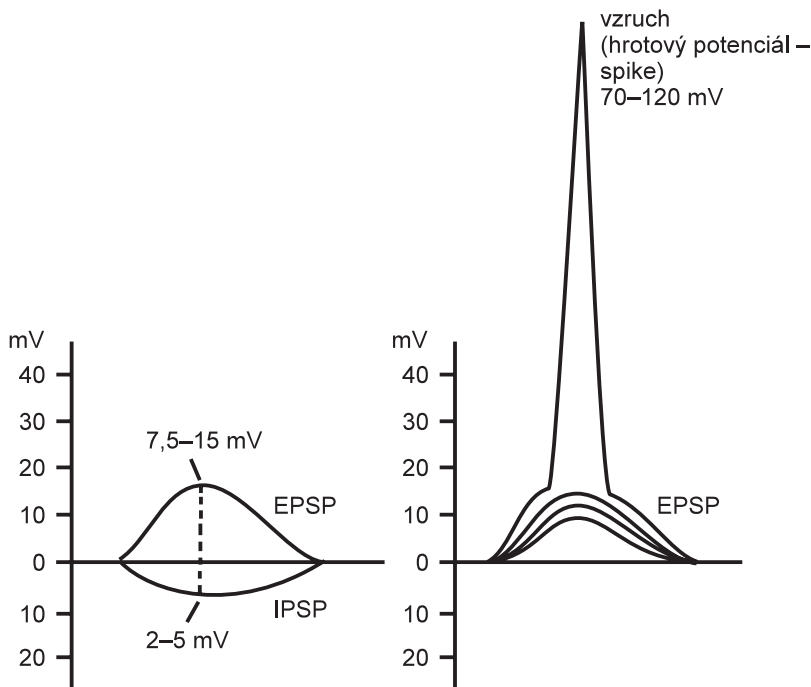
Obr. 5 Saltatorní vedení vzruchu. Záznam z různých částí téhož myelinizovaného nervového vlákna. Vpravo jsou patrná místa, odkud byly akční proudy registrovány. Tři záznamy z kteréhokoli internodia jsou prakticky synchronní, kdežto záznamy z různých internodií jsou navzájem časově posunuty.



Obr. 6 Receptorový potenciál a vzruchová aktivita příslušného nervového vlákna. Receptorový potenciál trvá po dobu působení podnětu (plné šipky). K návratu k výchozí hodnotě dochází po skončení podnětu. Vzruchová aktivita je početnější v úvodní fázi receptorového potenciálu, mizí při přechodu dynamické fáze ve statickou (přerušovaná šipka), pak je méně početná (adaptace). Po skončení podnětu přichází následný výboj. (Podle V. Kuthana.)

Obr. 7 Schéma synaptického komplexu. Průměr presynaptického zakončení: $a = 300\text{--}700$ nm, šířka synaptické štěrby (SŠ) $e = 20$ až 30 nm, presynaptické denzní projekce (PDP) – vzdálenost středů $b = 80$ nm, šířka báze $c = 55$ nm, výška $d = 60$ nm, postsynaptická denzita (PD) – šířka $f = 34$ až 65 nm, délka $g = 0,9$ až $1,3$ μm , AGV – agranulární synaptické váčky, GV – granulární synaptické váčky, M – mitochondrie (podle Korngutha)



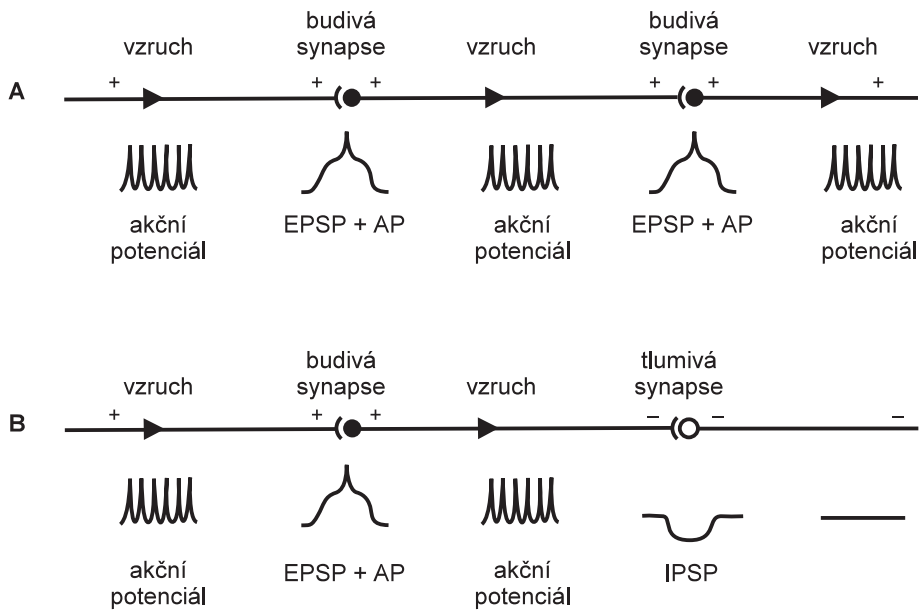


Obr. 8 Schéma postsynaptických potenciálů: EPSP – excitační postsynaptický potenciál, IPSP – inhibiční postsynaptický potenciál. Narůstáním EPSP dochází při určité kritické hodnotě k vybavení vzruchu (pravá část grafu).

1.2 Nervová soustava a kosterní svalstvo

1.2.1 Kosterní sval a sarkomera

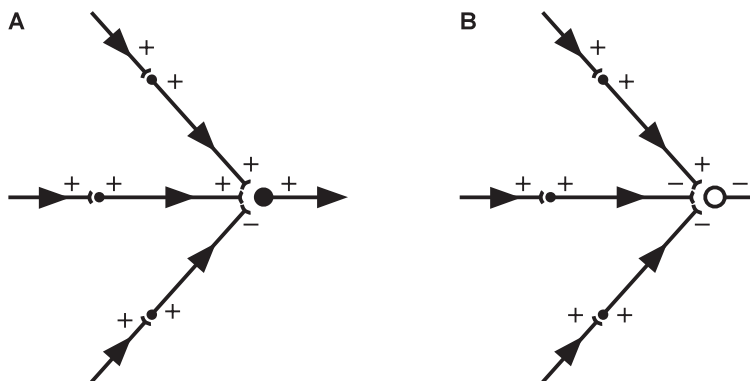
Kosterní svaly jsou svaly **příčně pruhované** a uplatňují se především jako funkční prvky pohybového ústrojí svými mechanickými vlastnostmi, tj. **pružností, pevností** a schopností **kontrakce** (nervovým systémem řízená schopnost svalu generovat sílu a zkracovat se) i **relaxace**. Příčně pruhování (patrné v optickém mikroskopu) je důsledkem velmi pravidelného uspořádání molekulárních útvarů, které vytvářejí **základní strukturní a funkční moduly**, tzv. **sarkomery**. Ty jsou paralelně a v sérii uspořádány do **myofibril**, které v různém počtu vyplňují svalové vlákno (obr. 11). **Svalové vlákno** vzniklo v průběhu vývoje spojením mnoha buněk, a obsahuje proto množství buněčných jader.



Obr. 9 Schéma převodu nebo blokády vzruchové aktivity na synapsi:

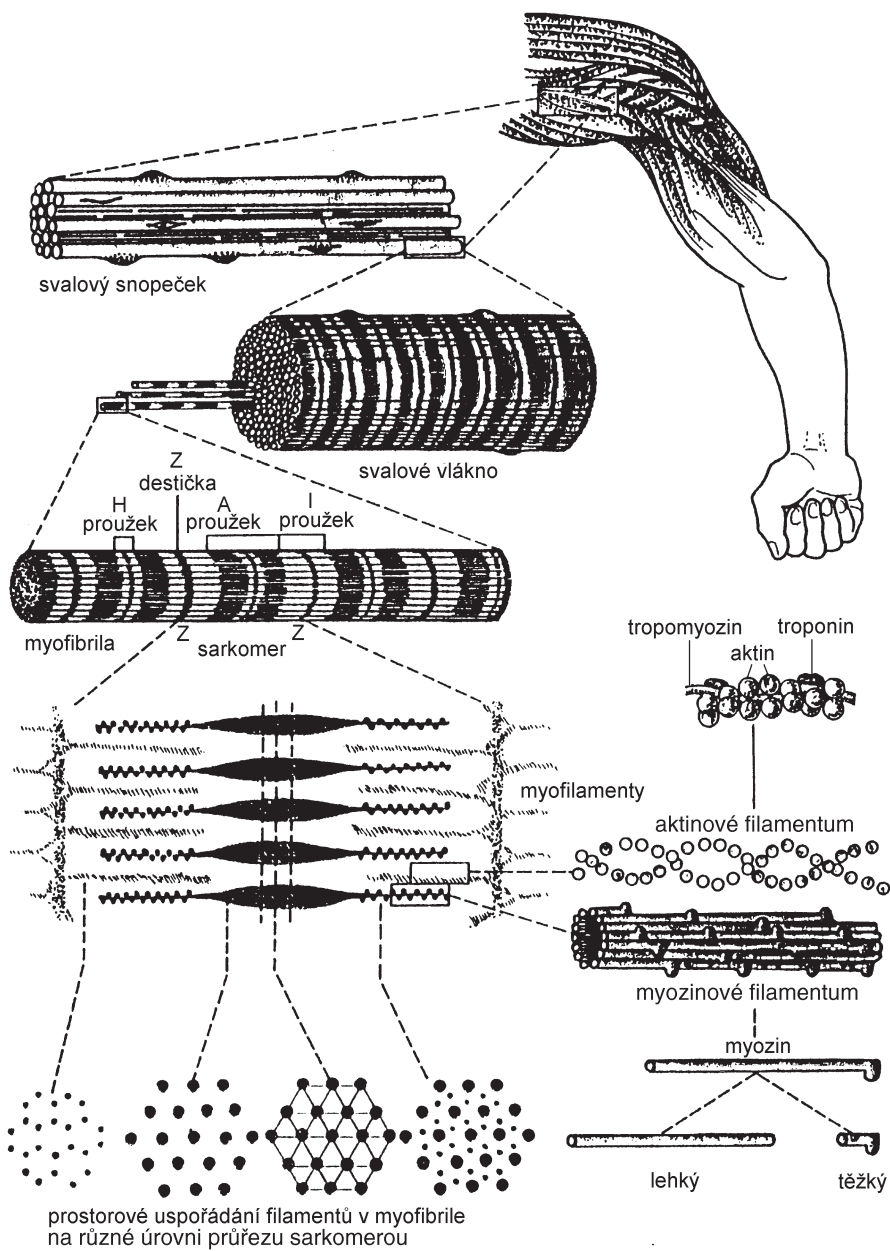
A – Vzruch postupuje po excitačních neuronech, přenos vzruchu je na excitační synapsi provázen akčním potenciálem (AP), který vzniká na určité úrovni excitačního postsynaptického potenciálu (EPSP).

B – Příklad inhibičního neuronu. Vzruch je na inhibiční synapsi utlumen. Elektrickým projevem činnosti inhibiční synapse je inhibiční postsynaptický potenciál (IPSP).



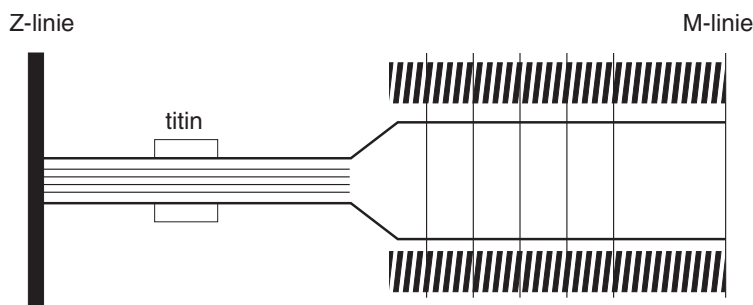
Obr. 10 Schéma vztahů mezi neurony:

V případě **A** převládají budivé vlivy, vzruchová aktivita pokračuje i za synapsí. V případě **B** převaha tlumivých vlivů působí blokádu přenosu vzruchové aktivity na synapsi.



Obr. 11 Přehled jednotlivých elementů vlákna kosterního svalu

Sarkomeru ohraničují na obou koncích struktury označené jako **Z-disky** (Z-des-tičky nebo Z-linie), v nichž jsou zakotvena tenká (**aktinová**) filamenta, směřující ke středu sarkomery. Středem sarkomery procházejí v podélné ose silná (**myozinová**) filamenta, která jsou ve střední části – v místech označených jako **M-linie** – propojena bílkovinou. Aktinová a myozinová filamenta se částečně v proměnlivém rozsahu překrývají. Při zkracování se filamenta proti sobě posouvají, Z-disky se k sobě přibližují a překrytí filament (pruhování) se také mění. Z-disk a M-linie propojují pružná vlákna titinu (největší známá bílkovina), která přiléhají k myozinovému filamentu (a jsou s ním spojena). Vlákná **titinu** vytvářejí organizační a elastickou osu celé sarkomery a v Z-liniích se spojují s molekulami titinu sousedních sarkomer (obr. 12).



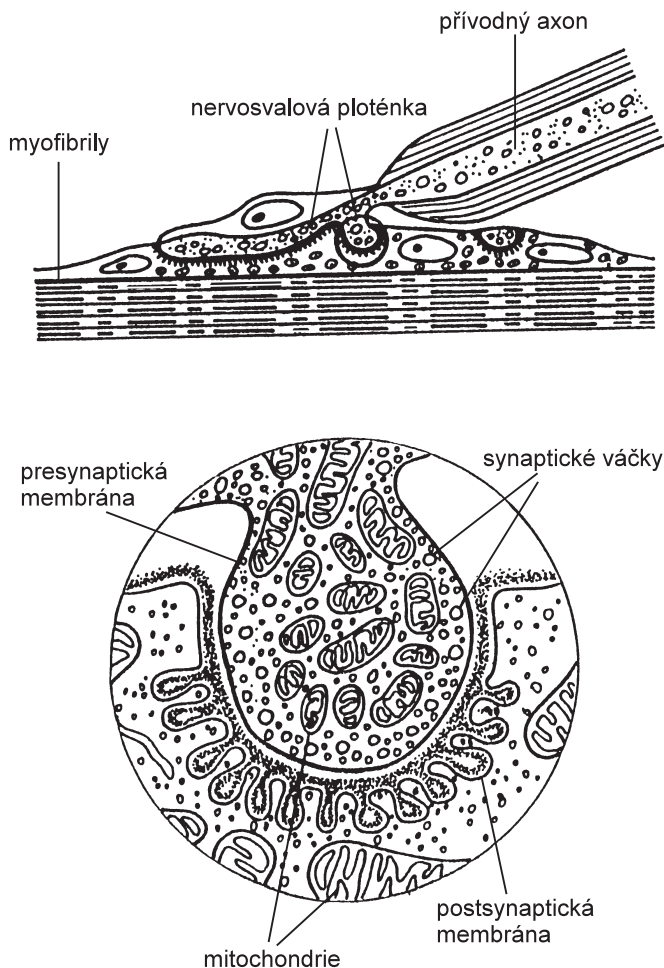
Obr. 12 Schéma poliosarkomery s titinem: vodorovné šrafování – aktinové filamentum, šikmé šrafování – myozinové filamentum. Titinová filamenta propojují Z-disk s M-linií, a tvoří tak osu celé sarkomery. Obdélníček u slova titin označuje místo, kde se předpokládá pružný úsek molekuly. Svislé spojky v myozinovém úseku poliosarkomery naznačují možné těsnější spojení mezi myozinovými a titinovými filamenti.

Schopnost sarkomery generovat aktivní sílu a zkrácení závisí na interakcích mezi myozinovými a aktinovými filamenti, při kterých se chemická energie přeměňuje na mechanickou. Z tlustých vláken, která jsou svazkem myozinových molekul, vyčnívají pohyblivé hlavy (obr. 11). Ty se za určitých podmínek mohou cyklicky spojovat s aktinem tenkých vláken a pohybem – připomínajícím pohyb vesel – působit na filamenta ve směru zkracování sarkomery. Aktivní vlastnosti svalových vláken a tedy celého svalu, tj. síla i rychlost kontrakce a relaxace, jsou sumárním výsledkem interakcí mezi oběma **kontraktilními bílkovinami**, myozinem a aktinem. Pasivní elastické vlastnosti jsou dány zejména titinem, který zajišťuje podélné propojení a tím také uspořádanost příčného pruhování.

Součástí struktury sarkomery je řada bílkovin (nebulin, dystrofin aj.) s různým funkčním uplatněním. K nim patří také regulační bílkoviny **tropomyozin** a **tropo-nin**, které jsou umístěny podél aktinového vlákna a za spoluúčasti iontů Ca^{2+} ovlivňují možnost interakce myozinových hlav s aktinem (viz obr. 15 a 16).

Struktura a vlastnosti molekulární výbavy sarkomery jsou určující nejen pro aktuální mechanické schopnosti svalu, ale také pro výstavbu sarkomer během vývoje i pro obměnu opotřebovaných molekul, pro rekonstrukci po poškození a také pro funkční adaptace (zmnožení svaloviny, např. u atletů, se neuskutečňuje zvětšením počtu svalových vláken). S věkem nad 70 roků jsou rychlá vlákna všech svalů postupně nahrazována pomalými vlákny. Geneticky podmíněné abnormality struktury myozinu, aktinu nebo dystrofinu způsobují závažné myopatie.

1.2.2 Nervosvalová ploténka

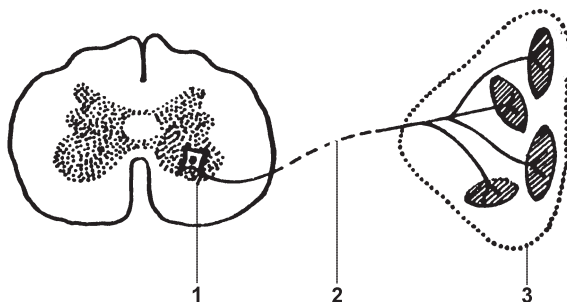


Obr. 13 Schéma nervosvalové ploténky – nahoře podélný řez, dole příčný řez

Spojení mezi nervovým zakončením a svalovým vláknem je synapse, zvaná nervo-svalová ploténka (obr. 13). Pokud na ni přijde po nervovém vlákně vzruch, uvolní se acetylcholin. Za normálních okolností se tím vždy vyvolá dostatečně silný postsynaptický potenciál, aby vznikl následně **akční potenciál**. Ten se jako obvykle šíří po povrchové membráně vlákna. Přenáší se však i dovnitř vlákna a složitým mechanismem zprostředkovaným ionty Ca^{2+} umožní reakci mezi aktinem a myozinem svalového vlákna (viz obr. 15). Pouze u nemoci zvané myastenie se uvolňuje nedostatečné množství přenašeče a při opakovaném podráždění nastává na nervosvalové ploténce únava: svalový stah je stále slabší.

1.2.3 Motorická jednotka

Na nervosvalové ploténce končí jedna z větví neuritu, který vychází z α -motoneuronu. Neurity se štěpí na různý počet větví a motoneuron tedy ovládá různý počet svalových vláken. Při podráždění motoneuronu se stahují všechna jím ovládaná svalová vlákna současně. Motoneuron a jím ovládaná svalová vlákna tvoří **motorickou jednotku** (MJ) (obr. 14). Je to nejmenší část hybného systému, kterou je možno samostatně aktivovat.



Obr. 14 Schéma motorické jednotky: 1 – buňky předních rohů míšních, 2 – motorický neuron, 3 – motorická jednotka

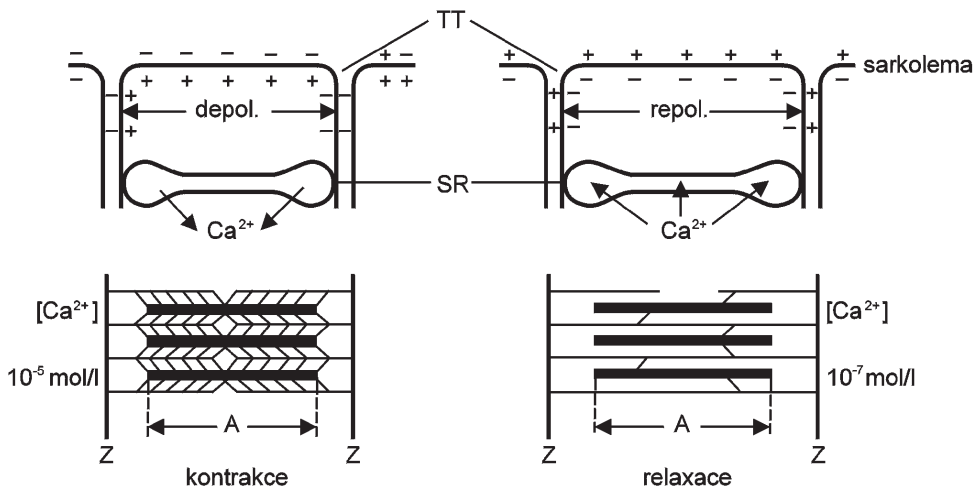
Počet svalových vláken je určována velikost motorické jednotky. Malé motorické jednotky, často jen s desítkami svalových vláken, jsou v malých svazech, které vyvíjejí malou, jemně odstupňovanou sílu. Tak je tomu především ve svazech na hlavě, inervovaných mozkovými nervy: svaly okohybné, mimické, žvýkací, polykací. Poměrně malé jsou také MJ v drobných svazech ruky.

V ostatních svazech jsou velké MJ, zahrnující často i víc než tisíc svalových vláken. Vyvíjejí větší sílu, která však nemůže být tak jemně odstupňovaná. Největší MJ jsou např. ve svazech hýžďových nebo zádočných.

1.2.4 Projevy činnosti svalu

Za normálních okolností nevzniká svalový stah spontánně, ale jen na základě podnětu z nervového systému. Pouze pokud dojde k přerušení příslušného nervového vlákna, dochází ke spontánnímu stahu jednotlivých svalových vláken, k tzv. **fibrilacím**.

Podnětem pro kontrakci svalu je akční potenciál. Průvodním jevem depolarizace svalové membrány je tok Na^+ -iontů do svalového vlákna, repolarizace výstup K^+ -iontů. **Spřažení dráždivosti a stažlivosti** probíhá v kosterním svalu velmi rychle (obr. 15). Prostředníkem jsou **Ca^{2+} -ionty**. Při depolarizaci povrchové membrány se depolarizují i tubuly T-systému a uvolňují Ca^{2+} -ionty (obr. 16).



Obr. 15 Schéma spřažení dráždivosti a stažlivosti v kosterním svalu: Akční potenciál zahajuje uvolňování vápenatých iontů z terminálních cisteren sarkoplazmatického retikula (SR) do transverzálních tubulů (TT). Krátce po uvolnění Ca^{2+} začíná sarkoplazmatické retikulum Ca^{2+} opět střídat a sval ochabuje. Z – Z-destička (viz obr. 11), A – aktin

K podráždění motoneuronu dojde v některých případech reflexně, na podkladě vnějšího podráždění. Jindy provedeme svalový stah vlastní vůlí, nervový podnět tedy přichází z mozkové kůry. Toto rozdělení je ovšem značně zjednodušené. Každý volní pohyb má totiž významnou složku reflexní, která zajišťuje např. správnou polohu, z níž pohyb vychází a jeho hladký průběh. Reflexní i volní podněty působí současně na synapse motoneuronu a výstupní podráždění je jejich souhrnem.