

## NERVOVÉ ŘÍZENÍ MOTORIKY

(zpracoval Filip Neuls, Ph.D.)

Pohyb patří mezi základní předpoklady existence vyšších organismů. U člověka je vedle zajišťování základních fyziologických a dalších potřeb i významným prostředkem sociálního kontaktu (nonverbální a verbální komunikace, písmo apod.). Lidský pohyb vzniká jako funkce pohybového systému složeného ze tří subsystémů:

- opěrného a nosného (tj. kosti, klouby a vazy),
- efektorového neboli hybného (tj. svaly),
- řídicího a koordinačního (centrální a periferní nervstvo, receptory).

Biologické, kineziologické a biomechanické vlastnosti jednotlivých subsystémů i fungování pohybového systému jako celku určují především anatomické a fyziologické vlastnosti tkání, ze kterých se tento systém skládá. Všechny funkční součásti pohybového systému jsou centrálně řízeny nervovým a endokrinním systémem na základě určitých programů, které jsou voleny a modifikovány podle aktuální situace.

### Motorický nervový systém

Motorický nervový systém tvoří všechny nervové struktury, jejichž dominantní úlohou je zajistit opěrnou (držení a poloha těla), popř. reflexní a cílenou motoriku (intencionální, úmyslné pohyby). Motorické struktury jsou hierarchicky uspořádané a vzájemně kooperují. Nejsou také izolované od ostatních „systémů“ nervstva, úzce spolupracují především se senzitivními systémy. Pojem „motorický nervový systém“ je z hlediska komplexní funkce nervové soustavy určitým schématickým zjednodušením, které umožňuje alespoň základní orientaci v tématu. Z anatomického hlediska patří k motorickému systému zejména tyto útvary (řazeno vzestupně od periferie k centru):

**Motorické jednotky.** Tvoří je míšňní nebo kmenové motoneurony a svalová vlákna inervovaná jejich axony. Motorická jednotka je dle definice skupina svalových vláken inervovaných jedním motoneuronem. Periferní část motorického systému.

**Přední míšňní rohy.** Šedá hmota předních rohů páteřní míchy obsahuje kromě motoneuronů i interneurony, které jsou součástí řady reflexních oblouků tvořících zásobu pohybových a postojových programů.

**Motorická centra mozku kmene.** Jde o části retikulární formace, vestibulární jádra, motorická jádra hlavových nervů, jádra středního mozku (černé a rudé jádro) a jádra prodloužené míchy. Tato centra zajišťují kontrolu opěrné motoriky, koordinaci opěrné a cílené motoriky a regulaci svalového napětí (svalového tonu).

**Mozeček.** Vývojově starší části mozečku řídí opěrnou motoriku (stoj, rovnováha těla) a koordinují opěrnou a cílenou motoriku. Spoluúčastní se i kontroly očních pohybů. Vývojově mladší partie mozečku řídí i cílené (naučené) pohyby.

**Motorická centra thalamu.** Jde především o jádra propojující mozeček, bazální ganglia a motorickou kůru. Smyslem tohoto spojení je koordinace vnímání (senzitivity) a pohybové aktivity (motoriky).

**Bazální ganglia.** Se svými spoji zabezpečují vypracování pohybových programů, tedy vzorců pro řízení směru, rychlosti a síly pohybu. Modulují informace z mozku kůry a mají obecně tlumivý vliv na motoriku.

**Motorická kůra hemisfér** (primární, sekundární a premotorická motorická kůra). Východisko pyramidové dráhy. Hlavní funkcí této kůry je programování a plánování cílených pohybů a řízení jemných pohybů.

Výše jmenované struktury se na řízení pohybu podílejí ve třech základních úrovních: spinální (míšní, úroveň motoneuronů), subkortikální (řízení podpurné a účelové motoriky) a kortikální (řízení ideokinetické motoriky).

### **A. Řízení pohybů na spinální (míšní) úrovni**

Mícha je z hlediska řízení pohybu základním řídicím článkem, podřízeným vyšším oddílům nervové soustavy. Projevem činnosti každého neuronu, tedy i míšního, je vzruch. Např. v případě motoneuronů jde o vzruch vyvolávající kontrakci svalů.

Řízení na míšní úrovni je reflexní. Podílí se na něm motoneurony, interneurony a vegetativní neurony. **Alfa-motoneurony** se nacházejí v předních rozích míšních a jejich vlákna končí na nervosvalových ploténkách, kde tudíž dochází k přímé komunikaci mezi nervovou soustavou a svalem jakožto vykonavatelem pohybového zadání. Velké alfa-motoneurony jdou k rychlým (bílým) svalovým vláknům a malé alfa-motoneurony inervují pomalá (červená) svalová vlákna. Vedení vzruchu motoneurony je velmi rychlé: velké motoneurony 60–110 m/s, malé 50–80 m/s. **Gama-motoneurony** svými vlákny kontaktují svalové receptory (svalová vřeténka) a mají vliv na doladování (zpřesňování) pohybů, mezsvalovou koordinaci (vztahy agonista vs. antagonisty) apod. **Interneurony** jsou vymezené nervové buňky. Jde o ovládací a aktivační systém motoneuronů s různou inhibiční a excitační funkcí. Mají spojení s oblastmi subkortikálními, kortikálními a periferními. Leží ve všech částech šedé míšní hmoty. **Vegetativní neurony** zajišťují řídicí logistiku (např. vazodilatace v pracujícím svalu apod.). V rámci spinálního systému dochází k postupné aktivaci:

- 1) přípravného systému (vegetativní) – zajišťuje úroveň logistiky,
- 2) nastavovacího systému (gama) – nastavuje úroveň excitability (vzrušivosti) motoneuronů,
- 3) spouštěcí systém (alfa) – aktivuje motoneurony.

Jakmile je prováděn pohyb, jeho průběh je kontrolován pomocí zpětné vazby (aferentace z periferie).

Míšní motorika je koordinována v souladu s těmito základními principy:

- princip reciproční inervace – zajišťuje opačný účinek na motoneurony antagonistických svalů (pokud je aktivována skupina agonistů, inhibují se antagonisté),
- princip záporné zpětné vazby – interneuron při své aktivaci uvolňuje inhibiční transmitter a inhibuje vlastní motoneuron (kontrakci svalů lze provádět jen do určité míry, což je dáno i aktivací svalových vřetének a Golgiho tělísek),
- princip převahy vyšších oddílů CNS (hierarchie řízení) – dokonalejší řízení pohybu převládá nad nižšími úrovněmi řízení,
- princip společné periferní dráhy – všechny vlivy způsobující svalovou kontrakci jsou uplatňovány  $\alpha$ -motoneurony.

Jak už bylo uvedeno, na míšní úrovni jsou řízeny především míšní reflexy. Reflex se označuje jako funkční jednotka nervového systému a je určován reflexním obloukem, který se skládá z pěti částí: receptor, aferentní dráha, centrum, eferentní dráha a efektor. Příklady míšních reflexů jsou:

- **proprioceptivní** – regulují nežádoucí změny svalového tonu díky svalovým vřeténkům a gama-motoneuronům, např. **reciproční inhibice** – činnost jedné svalové skupiny je současně spojena s relaxací antagonistických svalů; **obrácený napínací reflex** – pokud mechanické napětí protahovaného svalů dosáhne kritické velikosti, kontrakce náhle

ustane a sval relaxuje; receptory jsou Golgiho šlachová tělíska, která registrují svalové napětí;

- **exteroceptivní** – vznikají podrážděním receptorů bolesti (algických), kožních, taktilních a dalších receptorů a slouží především k ochraně organismu před škodlivými vlivy (typickou reflexní reakcí je ucuknutí ruky při položení dlaně na rozpalenou plotnu).

## ***B. Řízení pohybu na subkortikální úrovni***

Mezistupněm mezi míšní a korovou úrovní řízení pohybu je dosti různorodá úroveň subkortikální, zahrnující fylogeneticky nejstarší řídicí struktury mozku, které souvisejí s logistikou, obrannými reakcemi, pudy a emocemi. Úkolem této úrovně řízení je především cílená mimovolní motorika (např. pohyby spojené s příjmem potravy, obranou, automatické pohyby očí a hlavy za vizuálním podnětem, lokomoce). Dále jsou to různé blokující efekty chránící organismus (nociceptivní efekty – např. bolest jako signál o poškozování pohybového segmentu s následnou reakcí zabraňující skutečnému poškození), synchronizace, programování, taktika, organizace pohybu apod.

Motorická centra **mozkového kmene** (skládajícího se z prodloužené míchy, Varolova mostu a středního mozku) mají pod svou kontrolou řízení hrubé motoriky, částečně i svalového tonu, podílí se na řízení koordinace autonomního, endokrinního a somatického systému (např. zvracení, polykání, kašel atd.), vnímání bolesti či udržování bdělého stavu. Konkrétněji se jednotlivé části mozkového kmene podílejí na následujících funkcích spojených plně či částečně s motorikou:

**prodloužená mícha** – spolu s jádrem retikulární formace reguluje dýchání, činnost srdce a cév, podílí se na příjmu potravy (polykání, žvýkání), zajišťuje nepodmíněné obranné reflexy spojené s dýcháním (kašel, kýchání, apnoe) či trávením (zvracení), spoluúčastní se udržování tělesné rovnováhy, posturálních reflexů a řízení svalového tonu;

**Varolův most** – zajišťuje regulaci dýchání a některé nepodmíněné reflexy spojené s motorikou očí a artikulací;

**střední mozek** – v tekту středního mozku jsou lokalizovány např. reflexy spojené s úlekem vyvolaným náhlým sluchovým či zrakovým podnětem, nepodmíněné zrakové reflexy (pohyb očí, hlavy a těla za světelnými podněty), nepodmíněné sluchové reflexy (natočení uší pohybem hlavy a těla za zvukovými podněty); v tegmentu jsou jádra okohybných nervů, jádra podílejší se na koordinaci a kontrole pohybů, sídlí zde struktury pro zornicový nebo vzpřimovací reflex.

**Retikulární formace** prochází celým mozkovým kmenem. Obsahuje dechové centrum, centra regulující krevní tlak, srdeční činnost nebo funkce vegetativní, trávicí a endokrinní. Při aktivaci vědomí sehrává důležitou roli kontrolního a koordinujícího činitele ve vztahu k četným viscerálním funkcím (mj. spánku, úrovní vzrušení nebo pozornosti). Ve svém vzestupném (ascendentním) systému zajišťuje retikulární formace probouzení ze spánku a udržování bdělého stavu. Sestupný (descendentní) systém má funkci inhibiční (útlum úmyslných pohybů tlumením míšních reflexů) a facilitační (zesiluje míšní reflexy, zvyšuje tonus antigravitačních svalů, tedy návazně udržuje vzpřímený postoj a polohu těla). Retikulární formace je součástí gama-systému (podílí se na udržování svalového tonu), má vliv na formování podmíněných reflexů a řídí tok sensorických informací do vyšších center.

**Mozeček** sestává ze tří fylogeneticky různě starých částí, které mají své rozdílné funkce při řízení pohybu. Archicerebellum (nejstarší část) se podílí na udržování vzpřímené polohy těla při stožení a chůzi a na řízení automatických očních pohybů. Paleocerebellum slouží jako komparátor při porovnání zamýšleného pohybu a jeho reálného provedení a má schopnost

předurčovat časový průběh pohybu. Neocerebellum (nejmladší část) se spolu s mozkovou kůrou a bazálními ganglii účastní plánování a programování volných pohybů. Mozeček hraje i významnou roli v motorickém učení.

**Bazální ganglia** jsou pomocná motorická koordinační ústředí uložená v hloubce mozkových hemisfér. Postavení bazálních ganglií v systému řízení motoriky souvisí s rozvojem motorické mozkové kůry, která u člověka přebírá rozhodující vliv v řízení a koordinaci především volní hybnosti. Bazální ganglia se tak dostávají do role struktury koordinující neúmyslnou (reflexní) pohybovou aktivitu s úmyslnými pohyby.

Obecným projevem činnosti bazálních ganglií je jejich tlumivý vliv na korové i podkorové motorické funkce, potlačují nežádoucí pohybové činnosti. Neurony bazálních ganglií tento vliv uplatňují tak, že prostřednictvím spojů (drah) bazálních ganglií tlumí aktivitu neuronů mozkové kůry nebo aktivitu neuronů nižších úrovní centrálního nervového systému (především retikulární formace a míchy). Neurony bazálních ganglií tedy modulují (zesílením nebo zeslabením upravují) signály přicházející z motorické kůry mozku dříve, než dojdou k alfa-motoneuronům. Bazální ganglia vlastně zabezpečují převod plánu do programu. Podílejí se na plánování a programování cílených úmyslných pohybů. Na funkci bazálních ganglií můžeme pohlížet i takto: neurony ganglií vysílají časoprostorově uspořádané impulzy, řídící výkonná motorická centra. Tyto impulzy určují parametry pohybu, tj. sílu, směr, rychlost a amplitudu pohybu.

**Mezimozek** tvoří thalamus a hypothalamus. Thalamus kontroluje, přepojuje a moduluje senzitivní vzruchy jdoucí do kůry (mj. percepce bolesti). Hypothalamus řídí především vegetativní funkce organismu, je centrem endokrinní soustavy, tudíž z hlediska řízení pohybu se podílí na logistické přípravě pohybového systému.

**Limbický systém** představuje emoční motorický systém. Vzniká zde popud k pohybu. Zodpovídá za druhově typické způsoby chování, emocionální potřeby vztahované k biologickým pudům, učení v důsledku zkušeností a náhledu, percepce bolesti. Účastní se na procesech krátkodobé paměti. Podílí se na smyslovém vnímání a jeho vyhodnocování. Obsahuje motivační centra. Zajímavým útvarem je amygdala, anatomicky patří mezi bazální ganglia, ale fyziologicky do limbického systému. Ovlivňuje především chování, emoce, paměť a pozornost člověka. Z pohledu motoriky se amygdala účastní řízení motorických projevů doprovázejících různé emotivní stavy (radost, nadšení, vztek, agrese atd.).

### **C. Řízení pohybu na kortikální úrovni**

**Kortex** (mozková kůra) je u člověka nejvyšším centrem řídícím (ve vztahu k řízení motoriky a autonomních funkcí a ve vztahu k senzitivním funkcím) a integračním (emoce, paměť, řeč, myšlení, vědomí, motivace, spánek a bdění). Zajišťuje především udržení obsahu vědomí, jeho koordinaci a integritu. Jednou z hlavních funkcí mozkové kůry je řízení volní motoriky (programování a realizace cílených pohybů), dále plánování, strategie, syntéza pohybů, aktivace odpovídající autonomní odezvy s cílem připravit vnitřní prostředí organismu na zvýšené metabolické nároky pracujících svalů.

**Primární motorická kůra** (korové motorické centrum) leží před středovou mozkovou rýhou (sulcus centralis) v gyrus praecentralis. Celá tato oblast se také nazývá hybný nebo motorický, kinestetický analyzátor. Nejvýznamnější neuronální vrstvou primární motorické kůry je pátá vrstva, která je složená z tzv. Betzových pyramidových buněk. Betzovy buňky jsou seřazeny podle vztahu k jednotlivým tělním článkům a ke svalovým skupinám. Toto uspořádání se nazývá somatotopická organizace kůry. Uspořádání neuronů této oblasti nekončí pouze jejich somatotopickým rozložením, ale skupiny neuronů vytvářejí jádra řídící určité svalové jednotky. Kolem jader jsou další skupiny neuronů, tzv. pole, která zřejmě mají

koordinační funkce. Mezi dokonalostí pohybu, přesností řízení a počtem řídicích neuronů je úzký vztah. Nejpočetnější jsou neurony řídicí svaly jazyka, hrtanu a ruky.

**Sekundární motorická kůra a premotorická kůra** (doplňková motorická oblast) je uložena před primárním centrem na předním okraji gyrus praecentralis, v zadních partiích čelních gyrů a na mediální ploše hemisfér.

Sekundární a primární motorické oblasti spolu velmi úzce spolupracují. Primární motorická kůra je klíčovou strukturou pro řízení úmyslných pohybů. Sekundární a premotorická kůra vyvolává hrubé, méně přesné pohyby. Pro řízení vědomých, chtěných a úmyslných pohybů jsou nejdůležitější impulzy vycházející především z páté vrstvy neuronů primární, sekundární a premotorické kůry a kůry temenního, týlního a spánkového laloku. Tyto impulzy jsou vedeny přímou, jednoneuronovou dráhou spojující kůru s pátevní míchou, tzv. pyramidovou dráhou. **Pyramidová dráha** jde k jednotlivým segmentům hřbetní míchy. Vlákná dráhy končí synapsí buď u alfa-motoneuronů předních míšních rohů, nebo u míšních interneuronů. Z pyramidové dráhy odbočují i vlákna končící u motorických jader hlavových nervů a u jader okohybných nervů. Pyramidový systém realizuje rychlé, přesné, fázické pohyby.

Z motorické kůry vystupují i vlákna, která nejsou součástí pyramidové dráhy. Jde o **extrapyramidový motorický systém**. Extrapyramidový systém zabezpečuje pomalé, hrubé, tonické pohyby. Ovlivňuje motoriku hlavy – pohyby hlavy a mimiku. Významný je podíl extrapyramidového systému na řízení svalového tonu a vzpřímeného postoje.

Úmyslné pohyby jsou vždy výsledkem souhry funkcí pyramidového a mimopyramidového systému za účasti okruhů bazálních ganglií a mozečku. Samozřejmě součástí řízení motoriky je i nepřetržitá analýza informací ze svalových a kloubních proprioreceptorů a ze statokinetického čidla.

#### **Zjednodušený algoritmus řízení motoriky**

primární popud (limbický systém) – idea – přípravná fáze úmyslného pohybu (senzorická analýza, strategie, program) – programování – centrální příkaz – realizační fáze pohybu – aktivace motoneuronů – zpětná vazba