

DRÁHY PRO KONTROLU SKELETÁRNÍHO SVALSTVA

OBEČNÉ INFORMACE O KONTROLE SKELETÁRNÍHO SVALSTVA

Pohyb patří k významným reakcím organismu na změny vnějšího prostředí, které jsou registrovány somatosenzorickým a senzoryckými systémy. Existuje několik způsobů klasifikace pohybů člověka, které zdůrazňují jejich různé aspekty, například fyziologický, psychologický a podobně.

Jeden ze způsobů klasifikace rozlišuje tři základní typy pohybu člověka: **pohyb volný, reflexní pohyby a tzv. rytmické motorické vzorce.**

Volní pohyby jsou komplexní, cílené a účelné pohyby, které jsou stimulovány naší vůlí nebo představují reakci na určité specifické externí stimuly. Významnou charakteristikou volních pohybů je jejich zdokonalování učením, přičemž po častém opakování vyžadují ke svému spuštění stále méně nebo žádnou vůli. Jako příklady volních pohybů se uvádí například řízení automobilu nebo hra na hudební nástroje.

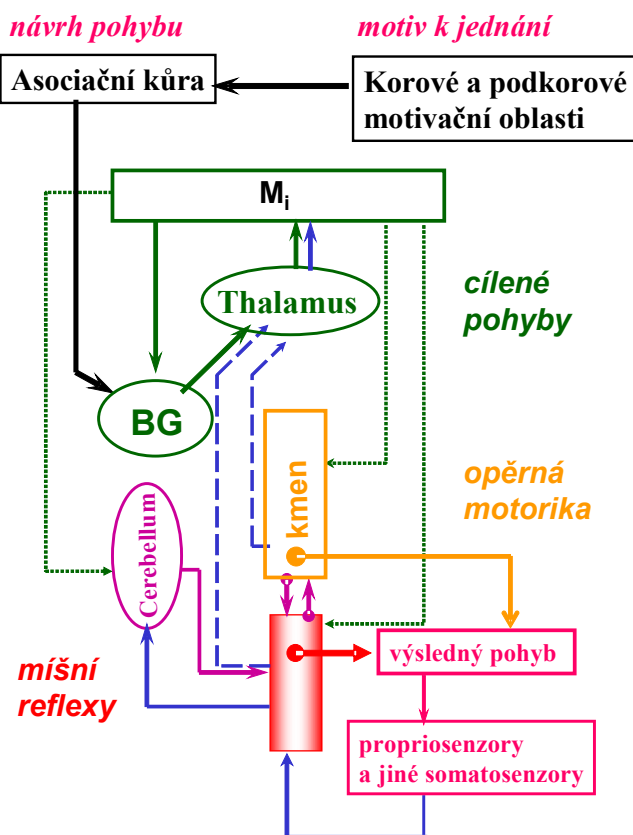
Reflexní pohyby jsou jednoduché pohybové reakce na zevní podněty, které jsou minimálně ovlivňovány naší vůlí. Většinou se jedná o pohyby stereotypní a rychlé. Pro ilustraci lze uvést pohyby, které vznikají jako reakce na dotyk horkého předmětu, kašel nebo patelární reflex. K reflexním pohybům je často řazena i tzv. **opěrná neboli posturální motorika**, která zabezpečuje udržení postoje a polohy těla v prostoru.

Rytmické motorické vzorce představují skupinu pohybů, které jsou zahájeny a ukončeny naší vůlí, avšak vlastní pohyb je stereotypní, zautomatizovaný na základě určitého reflexu. Jedná se vlastně o určitou kombinaci volních a reflexních pohybů.

Jiný typ klasifikace rozlišuje následující tři kategorie motorických pohybů:

- **opěrná motorika** zabezpečuje udržení postoje a polohy těla v prostoru
- **cílená motorika** řídí pohyby, které i/ slouží k získávání potravy; ii/ souvisí s lidskou prací; iii/ slouží ke komunikaci (motorika řeči)
- **emoční motorika** zabezpečuje motorické projevy našich emocí, které ve svém důsledku slouží opět ke komunikaci

Aktivní výkonnou složkou pohybového aparátu je skeletární svalstvo, které může reagovat na pokyny nervové soustavy pouze ve smyslu kontrakce a relaxace. Proto vlastní pohyb vzniká

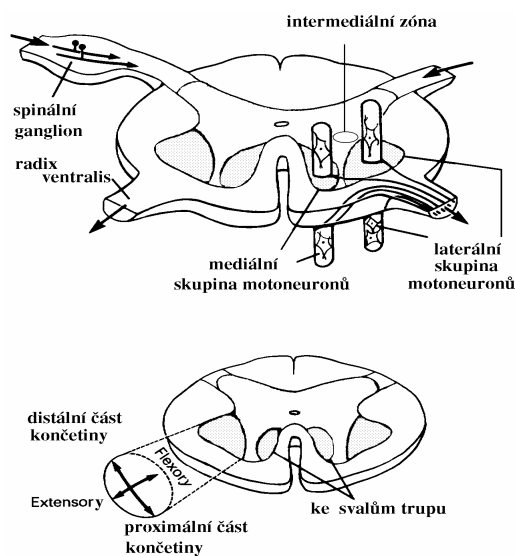


Obr. XX. Obecné schéma jednotlivých strukturálních úrovní motorického systému pro řízení pohybu.

na základě činnosti a souhry svalových skupin skeletárního svalstva, např. flexorů a extenzorů, abduktorů a adduktorů.

Veškeré regulace spojené s kontrolou pohybu jsou zabezpečeny strukturami **motorického systému** na několika vertikálních úrovních CNS. Existují tři základní strukturální úrovně (etáže) regulace pohybu: **spinální mícha, mozkový kmen a kortex**. K těmto třem základním úrovním je však třeba přidat **mozeček a bazální ganglia**, subkortikální struktury, které mají zásadní význam pro koordinaci a zjemnění pohybů. Jako motorická jednotka je označován komplex tvořený motoneuronem, který inervuje určité množství svalových vláken. U axiálního svalstva nacházíme větší motorické jednotky než u distálních svalů horní končetiny. Postavení jednotlivých strukturálních úrovní motorického systému pro řízení pohybu je shrnuto v blokovém schématu (Obr. XX).

Motoneurony, jejichž axony inervují skeletární svaly a další svaly vyvíjející se ze somitů jsou uloženy ve ventrálním rohu spinální míchy nebo v somatomotorické zóně mozkového kmene. Druhou skupinou jsou motoneurony pro inervaci svalů branchiálního původu, které se nacházejí v jádrech hlavových nervů v tzv. branchiomotorické zóně (viz základní kurz neuroanatomie). Velké motoneurony, které inervují pracovní svalovinu (extrafuzální svalová vlákna), označujeme jako **motoneurony α** , zatímco menší **γ motoneurony** inervují intrafuzální svalová vlákna ve svalových vřeténkách. Oba typy motoneuronů, jejichž axony přímo inervují svalová vlákna, jsou v klinické praxi označovány jako **dolní motoneurony**. Subkortikální a kortikální neurony ovlivňující dolní motoneurony jsou klinicky označovány jako **horní motoneurony**.



Obř. XX. Uspořádaní motoneuronů v šedé hmotě míchy (upraveno podle Kandela et al., 1991; Carpentera, 1991).

Motoneurony α a γ jsou ve ventrálních rožích šedé hmoty míchy uspořádaný somatotopicky podle inervace určitých svalových skupin. Zjednodušeně se dá říci, že míšní motoneurony jsou uloženy ve dvou podélně orientovaných sloupcích zahrnujících hlavně lamina IX. Motoneurony, které tvoří **mediální sloupec** inervují hlavně **svaly axiální (trupu)**, zatímco neurony v **laterálním sloupci** inervují **svaly končetin**. V laterálním sloupci existuje další jemnější somatotopické uspořádaní motoneuronů: **mediálněji uložené motoneurony** jsou určeny pro inervaci **proximálních svalů končetin**, zatímco **laterálněji uložené motoneurony**

inervují **distální svaly končetin** včetně svalů prstů. Motoneurony laterálních sloupců určené pro inervaci flexorů a extenzorů jsou uspořádány tak, že **motoneurony pro extenzory leží ventrálně od motoneuronů, které inervují flexory.**

Prostorové uspořádání motoneuronů míchy člověka úzce souvisí s funkcí jednotlivých svalových skupin.

Axiální svalstvo a proximální svaly končetin, včetně extenzorů dolních končetin slouží pro udržení rovnováhy a postoje. Tyto svalové skupiny jsou inervovány motoneurony **mediálního motorického systému.**

Distální svaly končetin, hlavně distální svaly horních končetin jsou určeny **pro jemnou manipulaci.** Svaly jsou inervovány motoneurony **laterálního motorického systému.**

Somatotopické uspořádání dolních motoneuronů společně s velikostí motorické jednotky a rozčleněním svalů na oddělená svalová bříška jsou anatomickým podkladem pro **frakcionalizaci pohybu**, která umožňuje nezávislý pohyb prstů ruky.

Intermediální zóna obsahuje interneurony, jejichž axony končí na motoneuronech míchy. Interneurony intermediální zóny mají obdobnou prostorovou organizaci jako vlastní motoneurony.

KORTIKÁLNÍ A SUBKORTIKÁLNÍ DRÁHY KONTROLUJÍCÍ DOLNÍ MOTONEURONY

Obecně lze kortikální a subkortikální dráhy kontrolující dolní motoneurony anatomicky a funkčně rozdělit do tří systémů a to **mediálního, laterálního a tzv. "třetího systému"**, který dosud nebyl pojmenován.

Mediální systém je charakteristický axony, které probíhají převážně ipsilaterálně v předním provazci. Jen malá část axonů kříží střední rovinu a probíhá na kontralaterální straně, takže lze mediální systém označit jako oboustranný.

Zkřížené a nezkřížené dráhy končí převážně na míšních interneuronech ventromediální části intermediální zóny. Axony těchto interneuronů propojují vzdálenější segmenty míchy, např. krční s hrudními a bederními segmenty a jsou proto označovány jako **dlouhé propriospinální dráhy.** Část axonů končí přímo **na motoneuronech mediální skupiny**, které inervují **axiální svalstvo a proximální svaly končetin** tvořící velké svalové skupiny. Z funkčního hlediska

mediální systém kontroluje **udržení rovnováhy a posturální motoriku**.

Laterální systém je tvořen axony, které sestupují v laterálním provazci. Většina axonů kříží střední rovinu, takže z tohoto hlediska se jedná o systém jednostranný. Zkřížené dráhy končí na míšních interneuronech uložené v laterální části intermediální zóny. Interneurony vydávají krátké axony propojující maximálně jeden nebo dva spinální segmenty v kraniálním i kaudálním směru (**krátké propriospinální dráhy**).

Část axonů tvoří synapse přímo na **motoneuronech laterální skupiny**, které inervují **distální svaly končetin**. Laterální systém kortikálních a subkortikálních drah kontroluje jemné manipulační pohyby ruky a prstů horní končetiny.

"**Třetí**" **systém** lze obecně charakterizovat jako systém aminergní dráhy mozkového kmene, které jsou kontrolovány z vyšších etáží. Axony z mozkového kmene končí na motoneuronech a interneuronech v celém rozsahu míchy. "Třetí" systém patrně kontroluje mimovolní emoční motoriku.

Descendentní dráhy mozkového kmene

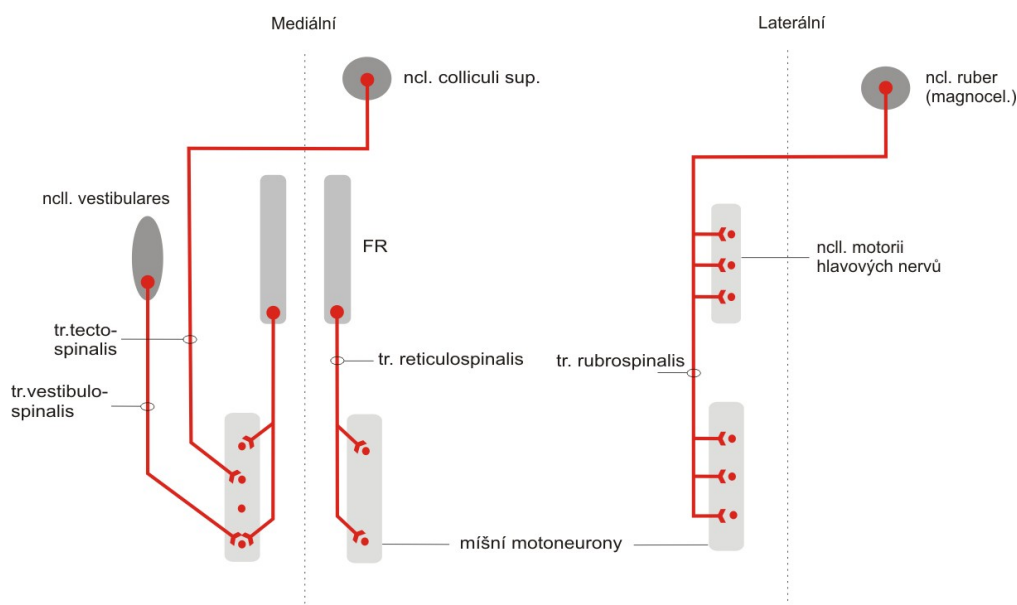
Descendentní dráhy mozkového kmene, které kontrolují dolní motoneurony, zahrnují všechny tři systémy. Schématické znázornění **mediálních (A)** a **laterálních (B)** drah mozkového kmene (viz obr. XX

A. Mediální motorické dráhy mozkového kmene sestupují v ipsilaterálním funiculus anterior (ventralis) a končí na mediální skupině neuronů a motoneuronů, které inervují **svaly trupu a proximální svaly končetin**. Interneurony míchy tvoří propriospinální **fasciculus spinothalamicus**. Četné kolaterály vydávané sestupujícími axony končí v míšních segmentech různé úrovně (divergentní distribuce terminál). Například více než polovina axonů, které v této dráze sestoupily až k lumbálním míšním segmentům, má kolaterály také v krčních segmentech. Sestupující axony rovněž vydávají kolaterály k motoneuronům III., IV., VI., IX. a X. hlavového nervu.

Motorické mediální dráhy mozkového kmene zahrnují **tr. vestibulospinalis medialis a lateralis, tr. tectospinalis a tr. reticulospinalis medialis a lateralis**.

Tr. vestibulospinalis medialis a lateralis je tvořen axony, které vycházejí z **ncl. vestibularis medialis et lateralis**. Tr. vestibulospinalis medialis končí převážně na míšních motoneuronech, které inervují axiální svalstvo. Axony tr. vestibulospinalis lateralis ovlivňují

motoneurony inervující extenzory končetin. Obě dráhy jsou určeny pro reflexní kontrolu rovnováhy a posturální motoriky.



Obr. XX. Schéma spojení pro motorické dráhy mozku.

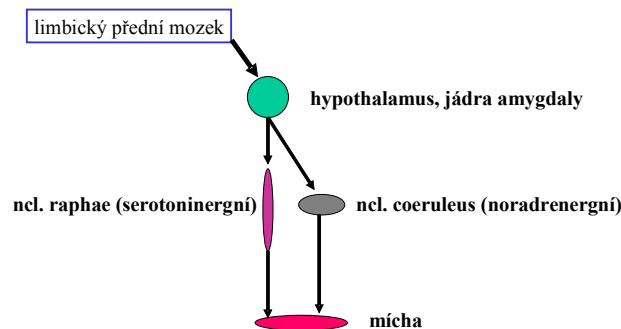
Tr. tectospinalis obsahuje axony, jejichž neurony leží v **ncl. colliculi superioris**. Představuje jedinou dráhu tohoto systému s kontralaterální projekcí, která navíc nezasahuje níže než do **krčních míšních segmentů**. Spojení této dráhy slouží ke koordinaci pohybu hlavy a očí při sledování objektu zrakem. Kortikální kontrola nad touto dráhou je cestou **tr. corticotectalis**.

Tr. reticulospinalis tvoří sestupující axony neuronů převážně z mediální skupiny jader **retikulární formace (FR)** mostu a prodloužené míchy, které končí na interneuronech a motoneuronech spinální míchy.

Neurony retikulární formace mostu (**ncl. reticularis pontis**) vydávají axony, které sestupují a tvoří **tr. reticulospinalis medialis**. Tyto spoje působí **facilitačně** na motoneurony, které inervují axiální svaly a extenzory končetin.

Z retikulární formace prodloužené míchy (**ncl. gigantocellularis**) vychází **tr. reticulospinalis lateralis** s bilaterální projekcí na míšní motoneurony. Axony této dráhy působí **inhibičně** na motoneurony inervující krční a zádové svaly a extenzory. Část axonů této dráhy má **excitační** synapse na motoneuronech pro flexory. Funkčně se obě retikulospinální dráhy uplatňují při integraci vestibulárních a kortikálních informací, převážně při kontrole postojové motoriky. Primární a sekundární motorická kůra má spoje s retikulární formací a společně tvoří kontrolní dráhu **tr. cortico-reticulo-spinalis**, která se podílí na potlačení spinálních reflexů.

B. Laterální dráhy mozkového kmene sestupují ve funiculus lateralis a končí na laterální skupině míšních motoneuronů, které inervují distální svaly končetin. Na rozdíl od předcházejícího systému, axony laterálních drah mozkového kmene nevytváří takové množství kolaterál a proto končí pouze v omezeném počtu spinálních segmentů. Tento systém je tvořen hlavně axony neuronů, které tvoří **magnocelulární složku ncl. ruber**. Axony kříží střední rovinu a sestupují ve funiculus lateralis bílé hmoty míchy jako **tr. rubrospinalis**. Axony vydávají kolaterály také k **ncl. gracilis a cuneatus** (viz strana 86). Neuronů magnocelulární části ncl. ruber vydávají rovněž axony tvořící **tr. rubrobulbaris**, které končí na **motorických jádrech V., VII. a XII. hlavového nervu**. Tr. rubrospinalis je součástí kontrolní dráhy tr. cortico-rubro-spinalis, který začíná v premotorické kůře (a 6). Vliv této dráhy na míšní motoneurony není u primátů a člověka tak velký jako má tr. corticospinalis lat. Tr. cortico-rubro-spinalis je patrně zodpovědný za projevy zbytkové motoriky, které je často pozorována u pacientů s lézí tr. corticospinalis.



Obr. XX. Schéma spojení „třetího“ motorického systému

C. "Třetí" motorický systém. Tento patrně fylogeneticky nejstarší systém motorických drah obsahuje descendentní aminergní spoje mozkového kmene, které mají původ v jádrech FR kmene. K tomuto systému jsou dosud řazeny tr. raphespinalis (serotoninergní) a tr. coeruleospinalis (noradrenergní), které končí na všech skupinách dolních motoneuronů. Systém je pod kontrolou kůry limbického předního mozku po přepojení na jádrech hypothalamu a amygdaly. Kontroluje mimovolní emoční motoriku, což je vysvětlení pro klinická pozorování zachované emoční motoriky u pacientů, kteří byli postižení lezí horních motoneuronů

Kortikální dráhy pro kontrolu dolních motoneuronů

Kortikální dráhy jsou uspořádány do dvou hlavních systémů.

Informace z cerebrálního kortexu k dolním motoneuronům míchy (lamina VII-IX) jdou cestou **tr. corticospinalis** a k motoneuronům hlavových nervů (n. V., VII. a XII) cestou **tr. corticobulbaris**. Přibližně jedna třetina axonů v tr. corticospinalis a corticobulbaris je vydávána neurony, které leží v **area 4 v gyru precentralis**. Další třetina axonů pochází z neuronů nacházejících se v **area 6** (frontální lalok před gyru precentralis) a zbývající třetina axonů v tr. corticospinalis má neurony v **lobus parietalis (area 3, 1, 2)**, tedy v somatosenzorické kůře.

Axony z area 3, 1, 2 tvoří významnou část vláken v tr. corticospinalis, ale končí na neuronech dorzálního rohu míchy, kde ovlivňují vstup somatosenzorických informací a **nepodílejí se na přímé kontrole dolních motoneuronů!**

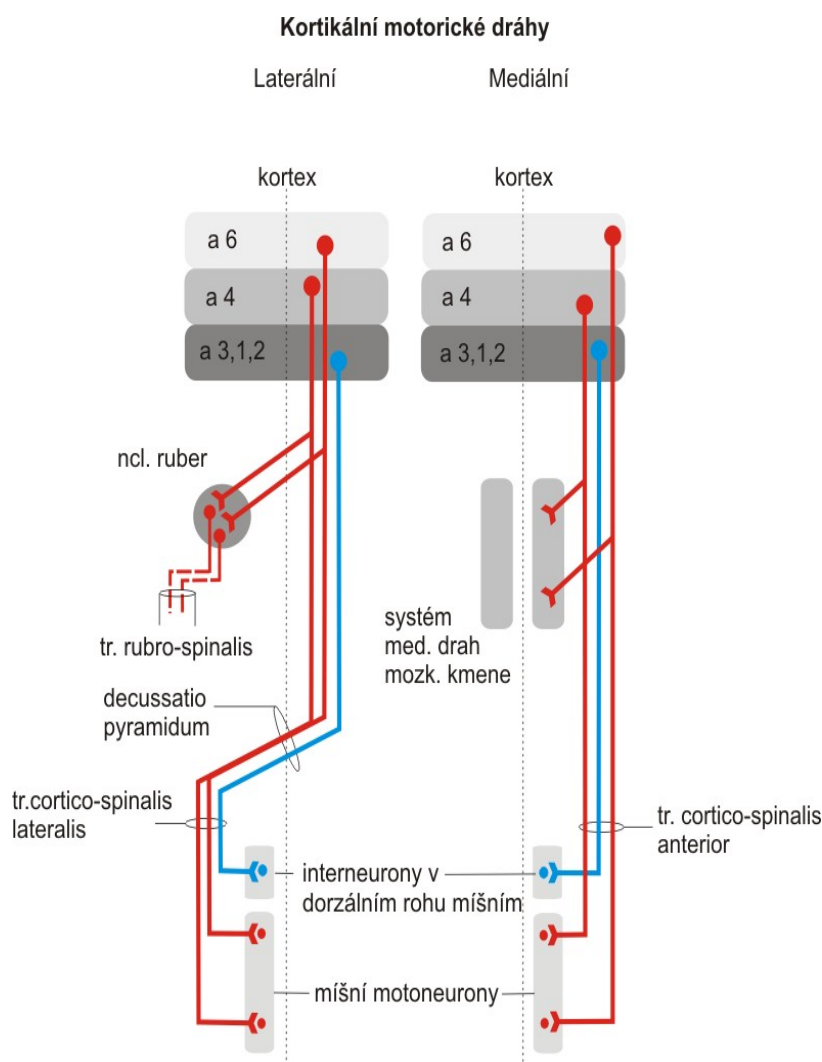
Tr. corticospinalis a corticobulbaris probíhají **ipsilaterálně v genu a crus posterius capsulae internae**. Ve středním mozku jsou tyto dráhy seskupeny v **crus cerebri**, níže v mostu jsou rozptýleny mezi ncl. pontis (tvoří tzv. **roztržštěné svazky**). V prodloužené míše se svazky axonů seskupují do bílé hmoty označované jako **pyramidy**. V celém průběhu těchto drah můžeme zaznamenat jejich somatotopickou uspořádanost. Na hranici mezi prodlouženou a spinální míchou většina (asi 90%) axonů přechází na druhou stranu (**decussatio pyramidum**) a vytváří ve funiculus lateralis **tr. corticospinalis lateralis**. Zbylá nezkřížená sestupná vlákna jdou ve funiculus anterior jako **tr. corticospinalis anterior** (ventralis). Cerebrální kortex má kromě přímého vlivu na aktivitu dolních motoneuronů inervujících hlavně **distální svaly končetin** také kontrolu nad motorickými drahami mozkového kmene - **tr. cortico-reticulo-spinalis a tr. cortico-rubro-spinalis**. První oddíl těchto drah jde společně v sestavě tr. corticospinalis.

A. Tr. corticospinalis lateralis pro motorickou kontrolu začíná v area 4, 6. Po překřížení v decussatio pyramidum pokračují tyto axony ve funiculus lateralis. Neurony v area 4, 6 vydávají axony, které vedou informace na laterální skupinu míšních motoneuronů pro volní inervaci **distálních svalů končetin**.

Při sestupu vydávají axony kolaterály do **ncl. ruber** (tr. corticorubralis, které končí na magnocelulárních neuronech, a po přepojení dráha pokračuje jako **tr. rubrospinalis**. Touto cestou kortex ovlivňuje míšní motoriku; excituje motoneurony flexorů a inhibuje

motoneurony extenzorů.

B. Tr. corticospinalis anterior obsahuje axony neuronů, které jsou uloženy v area 6 a 4. Axony tvořící tr. corticospinalis anterior končí bilaterálně na mediální skupině dolních motoneuronů a jsou určeny k volní inervaci **svalů krku, trupu a proximálních svalů končetin**. Za průběhu v mozkovém kmeni vydávají kolaterály k neuronům retikulární formace (tr. corticoreticularis), které mají vliv na mediální systém motorických drah mozkového kmene.



Obr. XX. Schéma dvou systémů descendentních drah motorické kůry telencefála pro kontrolu míšních motoneuronů (červeně). Současně s motorickými drahami probíhají kortikální spoje pro ovlivnění aferentace v dorzálním rohu míchy (modře).

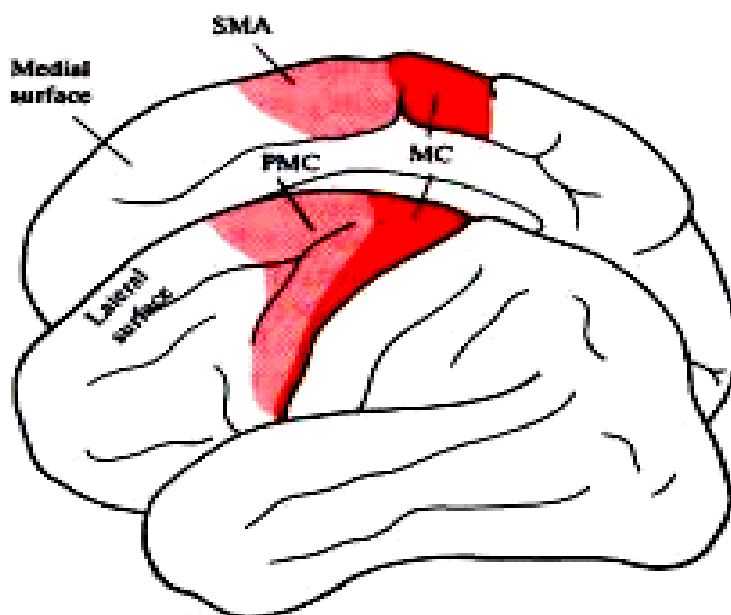
Motorický kortex (*prozatím jen heslovitě, více v přednáškách*)

Primární motor. kortex (MC) - a4, gyrus precentralis

- somatotopické uspořádání
- přímo excitační vliv na motoneurony konkrétních motor. jednotek
- přes interneurony inhibiční vliv na motoneurony
- neurony aktivní před uskutečněným pohybem - síla kontrakce
- výstup z kortikálních motoneuronů řízen podle požadované síly kontrakce

Premotorický kortex (PMC) - a6 na laterální ploše frontálního laloku

- kontrola mediálního systému kmene
- kontrola proximálních svalů končetin, orientace trupu a končetin před vykonáním pohybu



Obr. XX. Schéma základních složek motorického kortexu.

Suplementární motorická oblast (SMA) - a6 na mediální ploše frontálního laloku

- stimulace - komplex pohybů např. otevření nebo sevření pěsti

- plánování koordinovaných pohybů zprostředkovaných distálními svaly
- uvědomování si pohybu

Cingulární premotorická oblast (CMA) - přední gyrus cinguli, a23, 24

- směřování pohybu

Zadní parietální kortex a 5,7

- požadavek na integraci senzorických a somatosenzorických informací
- při plánování volního (cíleného) pohybu
- významná informace o kvalitě a umístění objektu v prostoru, PMC a SMA silná aferentace z parietálního kortexu

Shrnutí základních informací o systémech motorických drah

Axony **mediálního systému** sestupují ipsilaterálně v předním provazci a končí převážně na interneuronech ventromediální části intermediální zóny, které propojují vzdálenější segmenty míchy, např. krční s hrudními a bederními segmenty, a tvoří tzv. **dlouhé propriospinální dráhy**. Menší část axonů těchto drah končí přímo na motoneuronech mediální skupiny, které inervují proximální svaly končetin a axiální svalstvo (tvoří velké svalové skupiny). Tento systém kontroluje hlavně udržení rovnováhy a posturální motoriku.

Laterální systém představují axony sestupující v laterálním provazci míchy a končící na interneuronech s krátkými axony (v laterální části intermediální zóny - **krátké propriospinální dráhy**) nebo přímo na motoneuronech laterální skupiny, které inervují distální svaly končetin. Systém kontroluje hlavně jemné manipulační pohyby ruky a prstů horní končetiny. U člověka je rubrospinální dráha minoritní a převažuje řízení cestou tr. cortispinalis lateralis.

"Třetí" motorický systém zahrnuje aminergní spoje mozkového kmene, které jsou však kontrolovány i z vyšších etáží. Tyto spoje terminují přímo na motoneuronech a interneuronech v celém rozsahu míchy; tento systém patrně kontroluje mimovolní emoční motoriku.