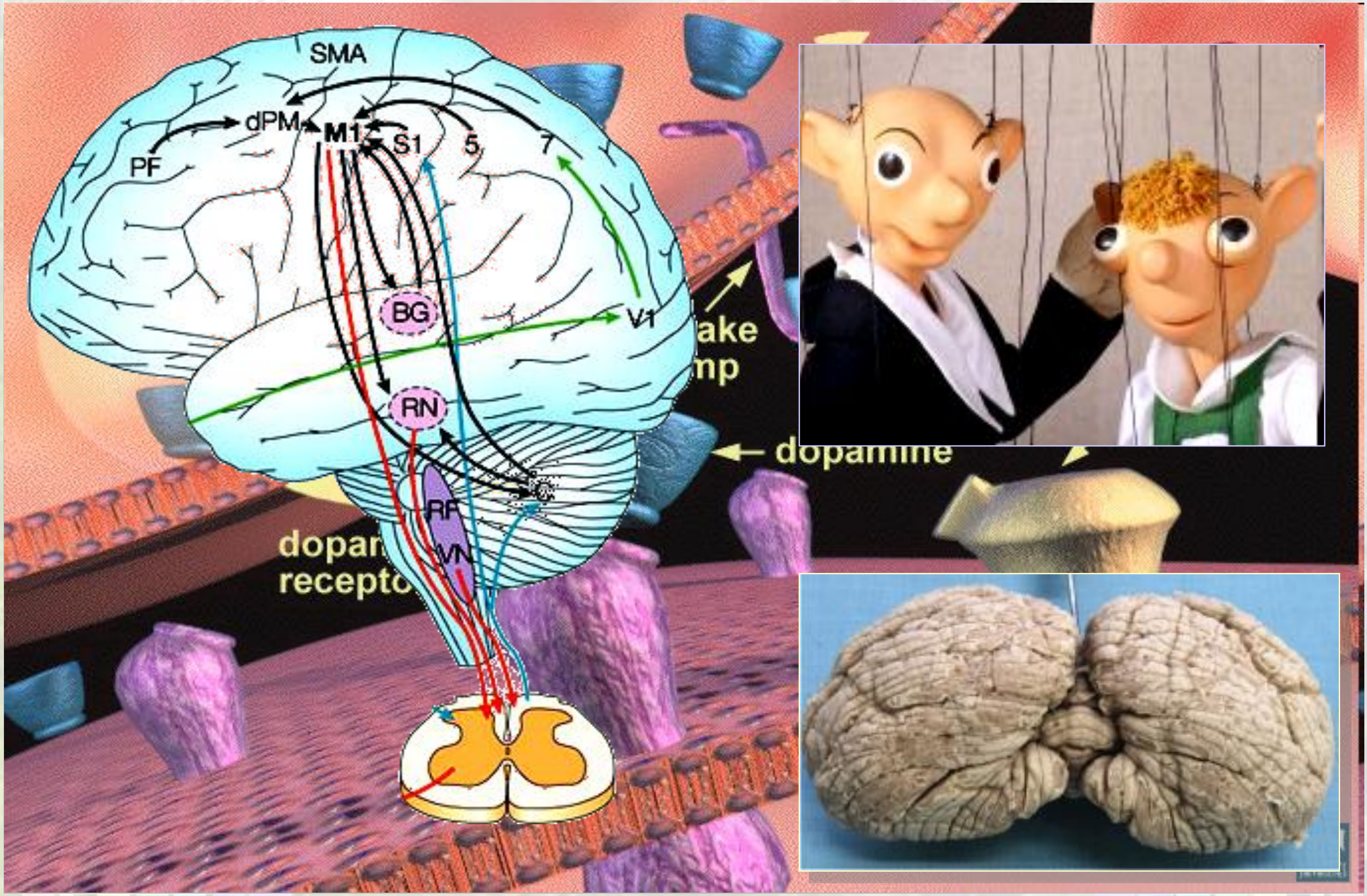
Řízení motoriky

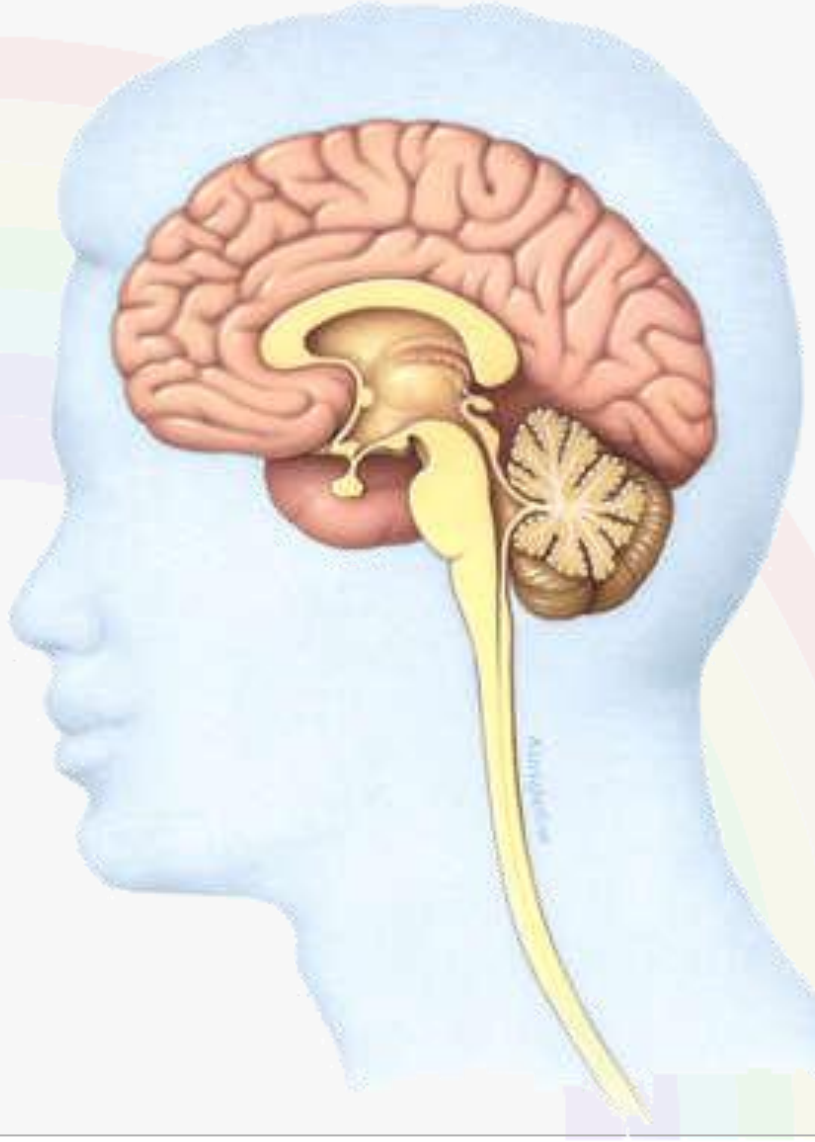


Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

Části CNS, které hrají roli v řízení motoriky

- Mozková kůra
- Bazální ganglia
- Nucleus ruber
- Tectum
- Mozeček
- Jádra v mozkovém kmeni
- Sestupné dráhy
- Spinální mícha



Copyright © 2013

Řízení motoriky z vyšších center CNS

Budeme postupovat od:

- jednoduchého ke složitějšímu
- fundamentálního k doplňkovému
- od fylogeneticky starého k novému

První 3 kapitory – nic úžasného, ale pravda
Poslední 3 kapitoly – úžasné, ale spekulace

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

Uspořádání NS: podnět - odpověď

3. Kognice, chování

2. Jednoduchá motorika

podnět, popud

1. Jednoduché reflexy

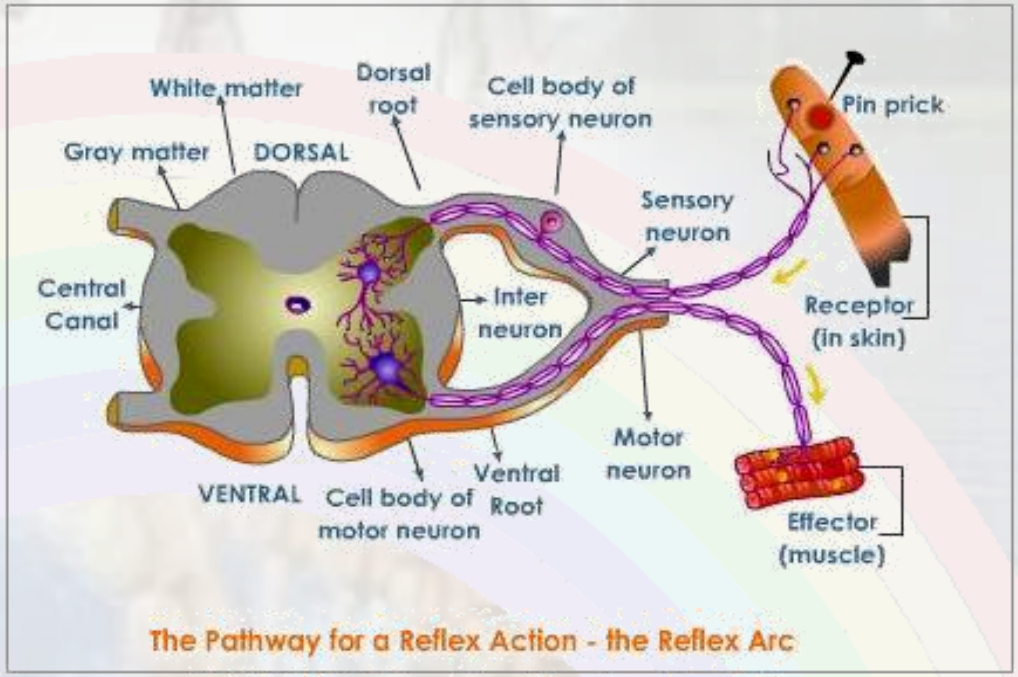
Copyright © 2013

Řízení motoriky

1. Míšní reflexy

Charakteristika:

- automatické
- stereotypní
- vždy spouštěné stejným podnětem
- jednorázové



The Pathway for a Reflex Action - the Reflex Arc

Copyright © 2013 Luděk Nerad

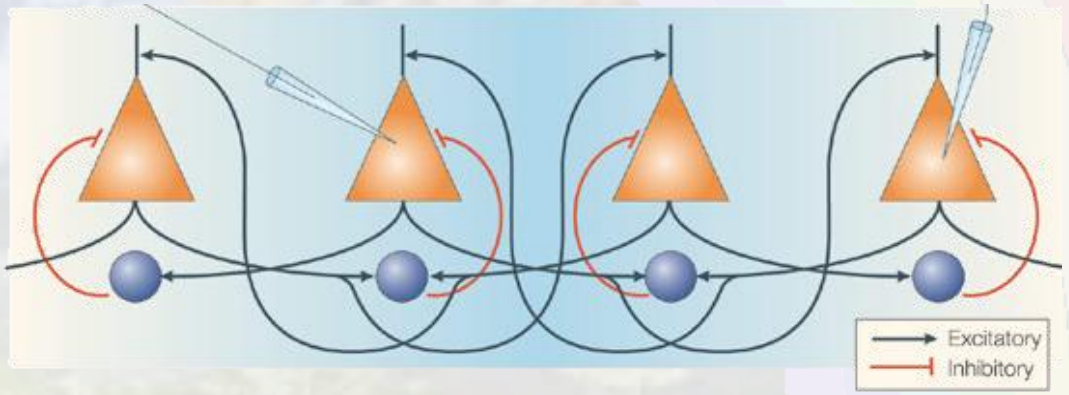
Řízení motoriky

1. Míšní reflexy

Shrnutí

Jednoduché reflexy nedokážou generovat chování, které je typické pro zvířata, jako např. lokomoční, konzumační a kopulační aktivity.

Je zapotřebí složitějších nervových sítí, ve kterých se generuje a trvá vzruchová aktivita, vyvolávající pohyb, i bez podnětu.



Copyright © 2013 Luděk Nerad

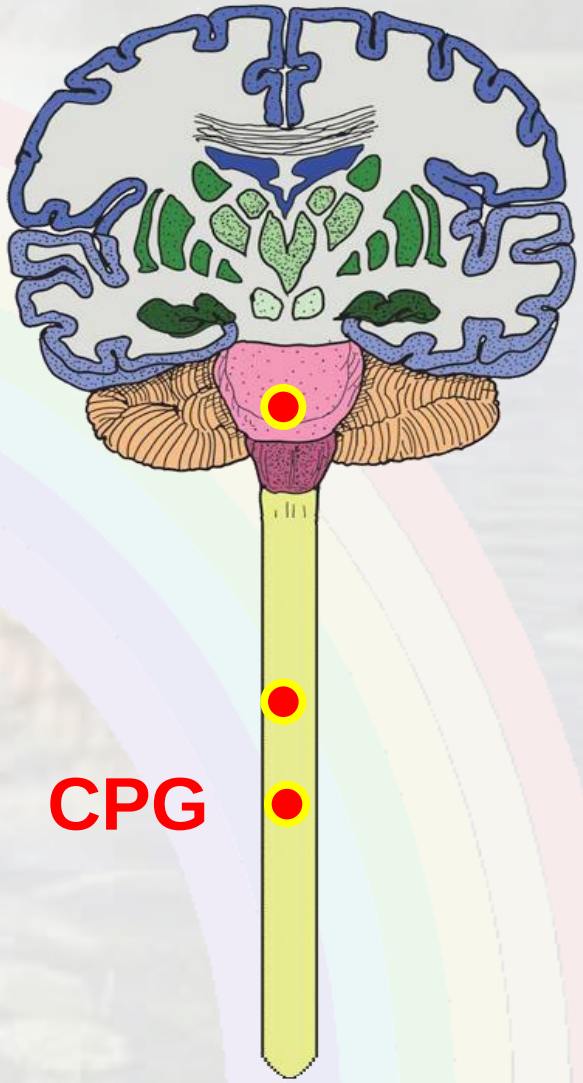
Řízení motoriky

2. Centrální generátory vzorců (CPG)

Příklady: chůze, běh, plavání, drbání, dýchání, žvýkání

CPG jsou:

- automatické
- stereotypní
- opakující se
- generovány buď jednotlivými neurony nebo sítí neuronů

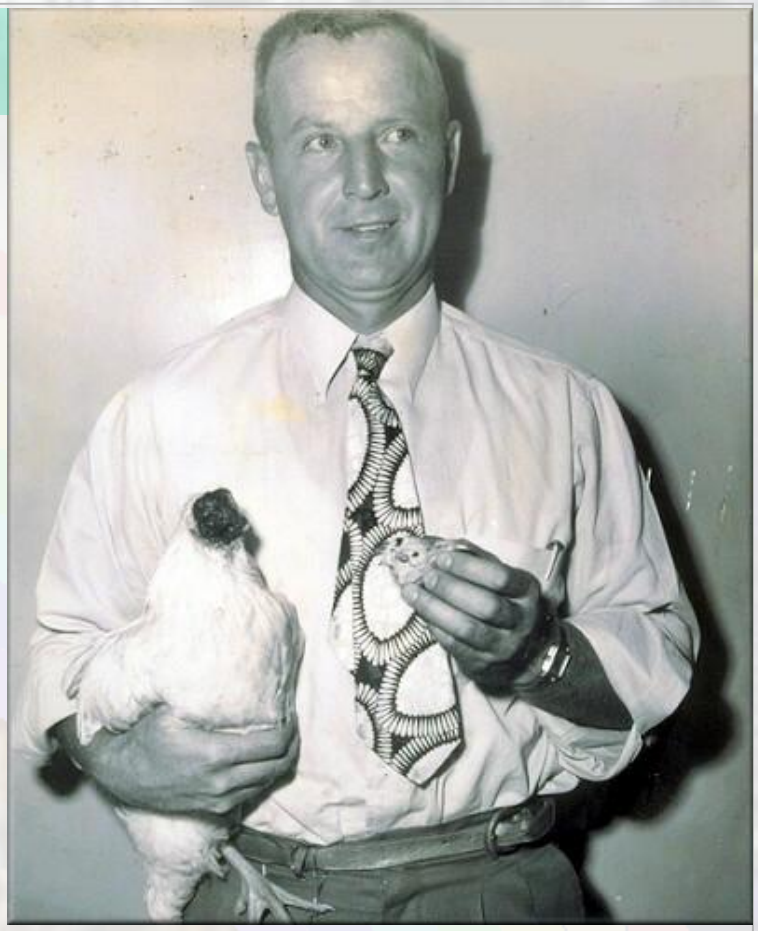


Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

CPG a decerebrovaná zvířata

Reflexy a pohyby generované centrálními generátory vzorců jsou řízeny lokálními nervovými okruhy a nevyžadují řízení z vyšších center CNS. Jsou přítomné i po přetětí NS nad těmito okruhy.

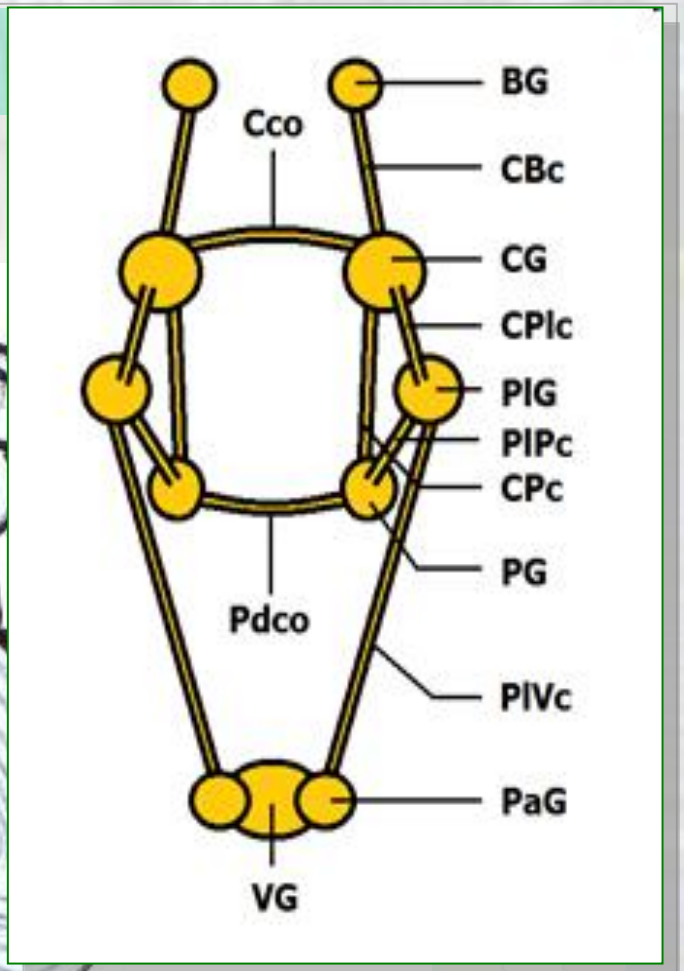


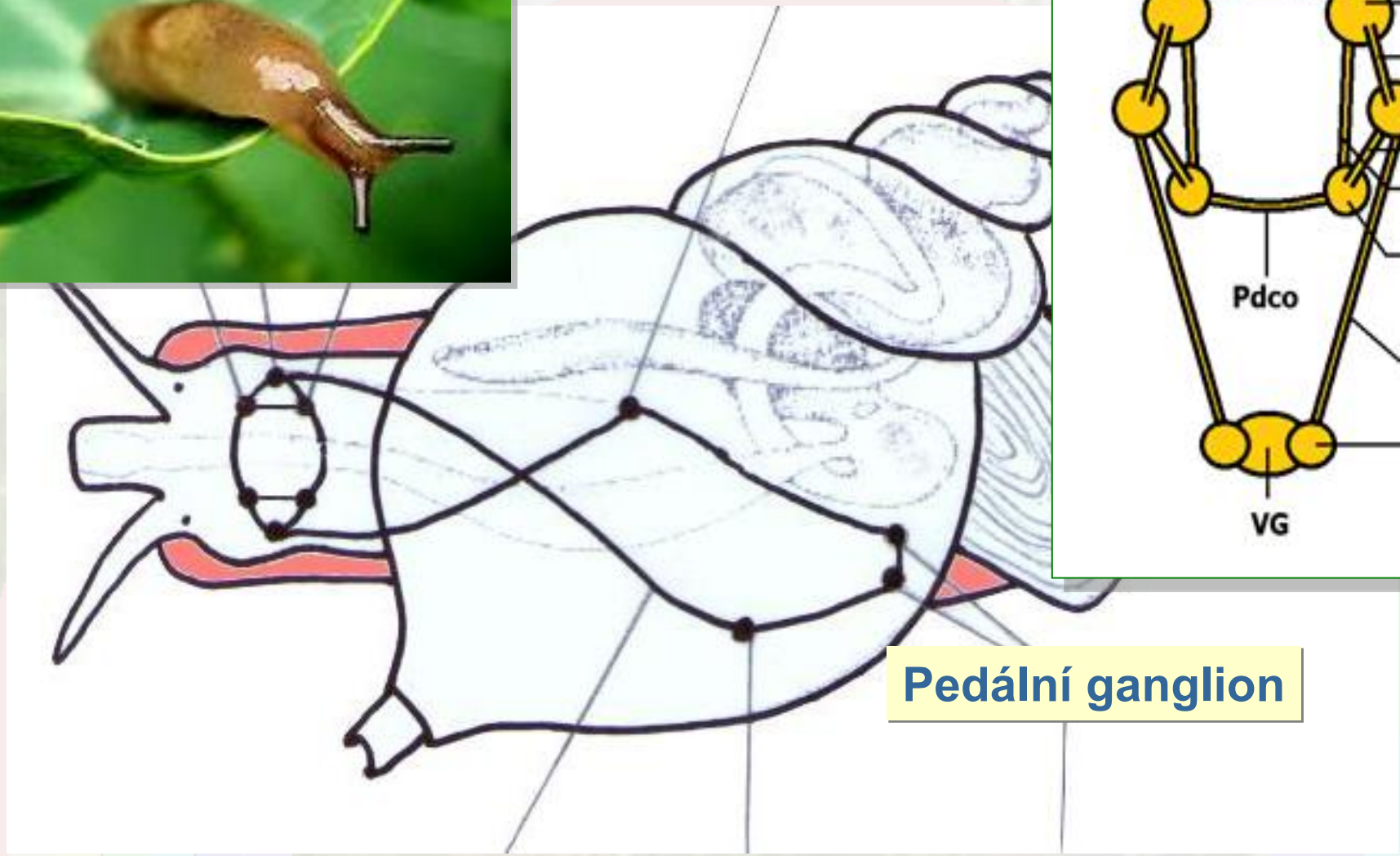
Pokud je zachována část mozkového kmene (přetětí na úrovni mesencefala), může zvíře žít bez hlavy. Kohout Mike takto žil – a pohyboval se – 1.5 roku.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

Primitivní NS: Ganglia obsahují CPG





Pedální ganglion

Copyright © 2013 Luděk Nerad

2. Centrální generátory vzorců

Shrnutí

Centrální generátory vzorců jsou lokální nervové sítě, které řídí omezený počet kosterních svalů. Některé jsou spouštěné podnětem a zůstávají aktivní po určitou dobu, jiné jsou aktivní po celý život (např. respirační centrum v prodloužené míše).

Společně s jednoduchými reflexy *postačují* CPG k životu primitivních organizmů nebo k přežívání decerebrovaných obratlovců.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

3. Extrapyramidový systém

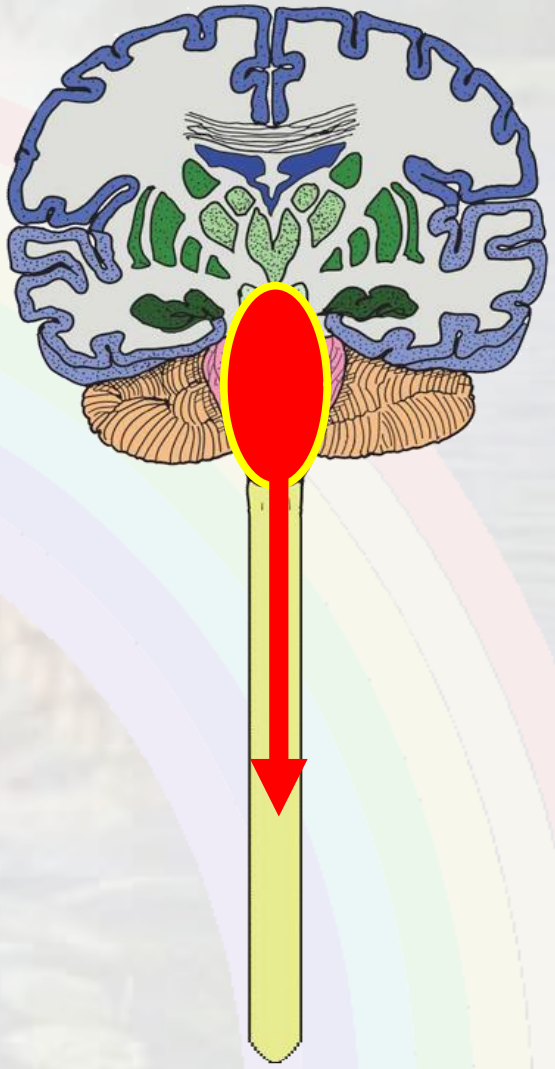
Rubrospinální dráha
kontralaterální α a γ motoneurony

Tektospinální dráha
kontralaterální α a γ motoneurony

Pontinní retikulospinální dráha
ipsilaterální γ motoneurony

Oblongátní retikulospinální dráha
bilaterálně α a γ motoneurony

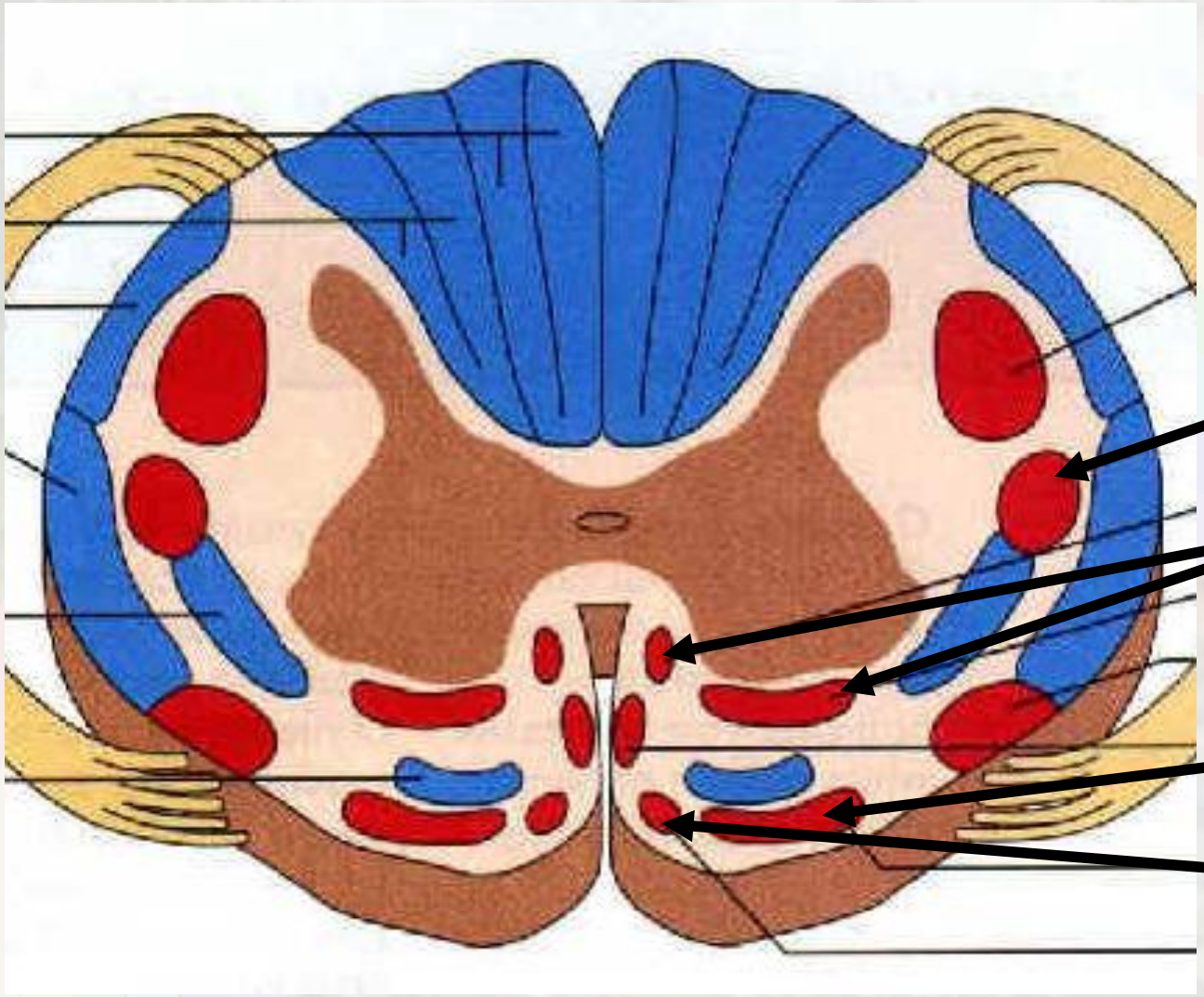
Vestibulospinální dráha
ipsilaterální α a γ motoneurony



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

3. Extrapyramidový systém



Copyright © 2013 Luděk Nerad

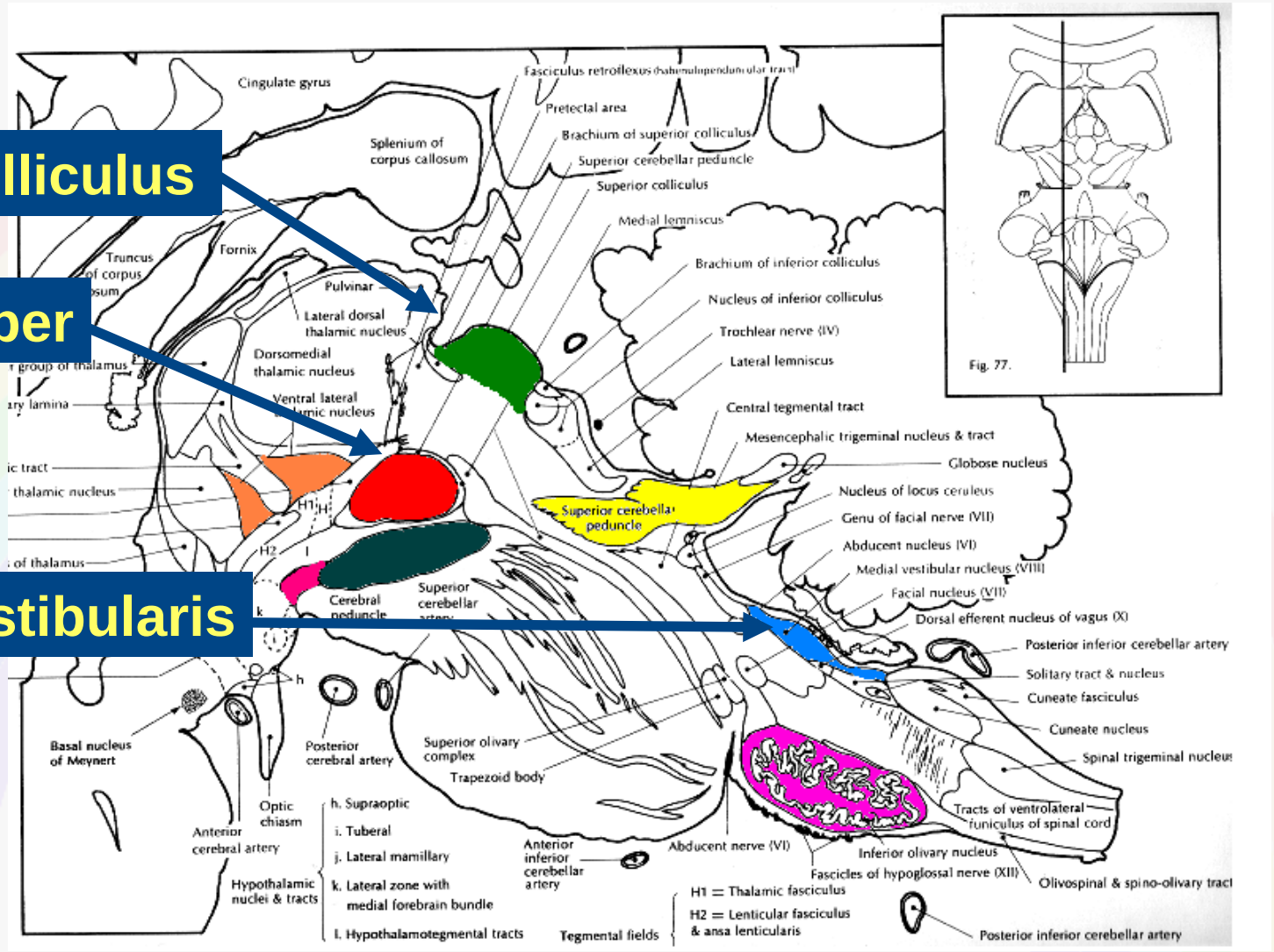
Řízení motoriky

3. Extrapyramidový systém

Superior colliculus

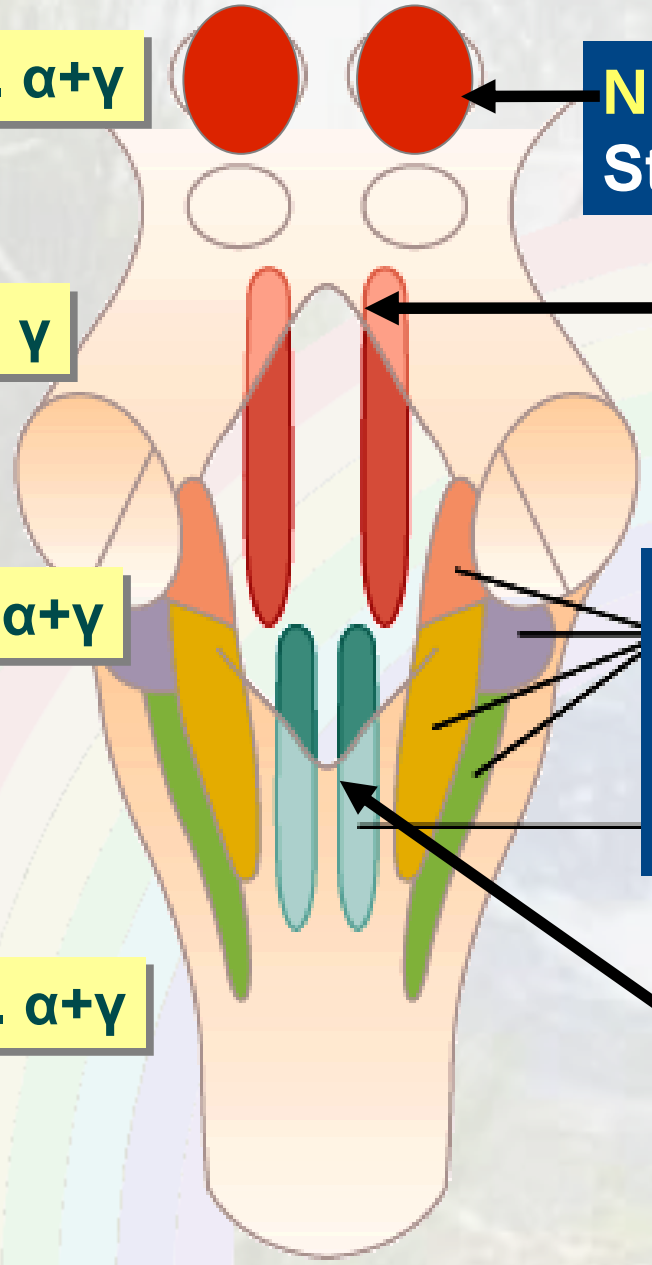
Nucleus ruber

Nucleus vestibularis



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky



Kon. α+γ

Nucleus ruber – Rubrospinální dráha
Stimuluje flexory horních končetin

Ipsi. γ

Pontinní retikulární jádro
- mediální retikulospinální dráha
‘Stimuluje’ antigravitační svaly

Ipsi. α+γ

Vestibulární jádra – vestibulosp. dr.
Kordinace pohybů očí a hlavy,
vzpřímený postoj, rovnováha,
- stimulací antigravitačních svalů

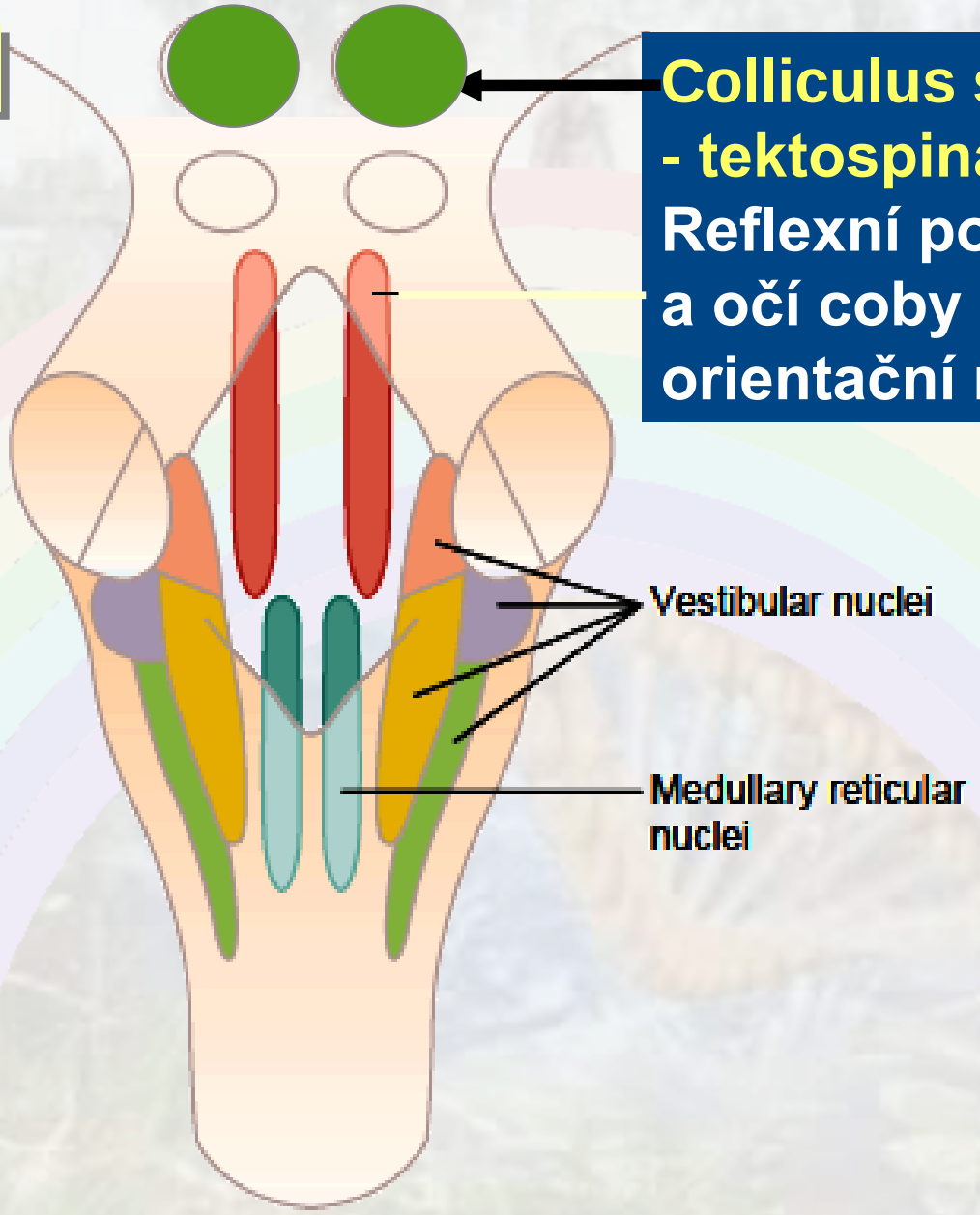
Bilat. α+γ

Oblongátní retikulární jádro
- laterální retikulospinální dráha
Tlumí antigravitační svaly

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

Kontralat. α+γ



Colliculus superior
- tektospinální dráha
Reflexní pohyby hlavy a očí coby součást orientační reakce

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

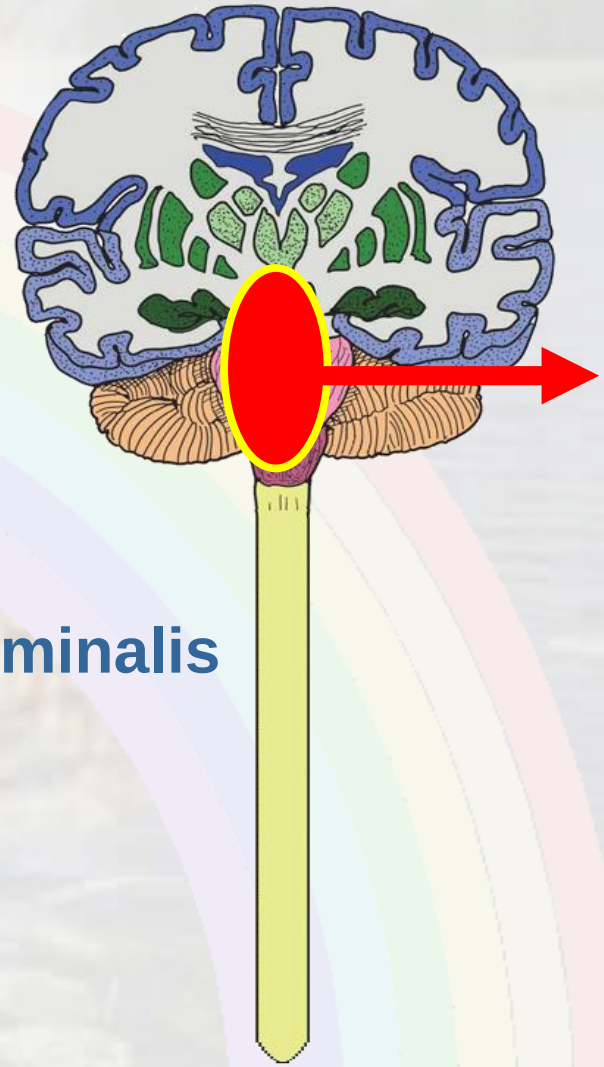
3b. Hlavové nervy – motorické

III Okohybný – z ncl. oculomotorius
- M. levator palpebrae,
- M. recturs superior, medialis & inferior

IV Kladkový – z kontralat. ncl. trochlearis
- M. obliquus bulbi superior

V Trojklaný (mandib.) - z ncl. motorius trigeminalis
- Žvýkací svaly

VI Abducens – z ncl. abducens
- M. rectus bulbi lateralis



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

3b. Hlavové nervy – motorické

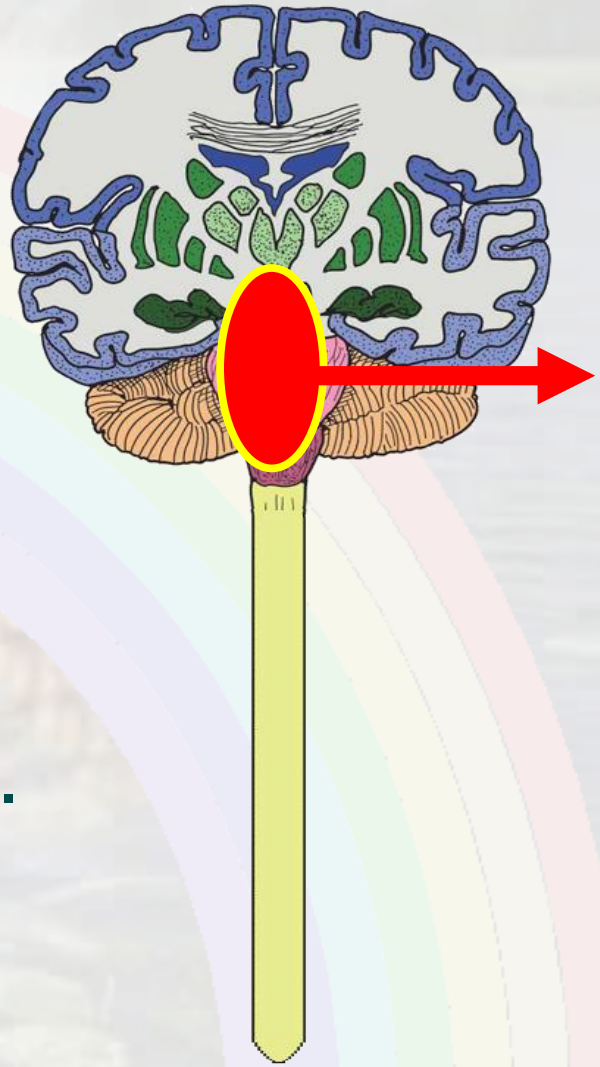
VII Lícní – z ncl. nervi facialis
Obličejové svaly

IX Glossopharyngeus – z ncl. ambiguus
Svaly patra, hltanu a m. stylopharyngeus

X Vagus – z ncl. ambiguus
Svaly hltanu a hrtanu

XI Accessorius – z ncl. ambiguus
M. sternocleidomastoideus a m. trapezius.

XII Hypoglossus – z ncl. nervi hypoglossi
Svaly jazyka



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

3. Extrapyramidový systém

Shrnutí

Míšní motorické dráhy, patřící k takzvanému extrapyramidovému systému, řídí většinu svalů k udržení optimálního svalového tonu, postoje, rovnováhy, a orientování směrem k podnětům.

Devět hlavových nervů má motorickou komponentu, která řídí především svaly okohybné, obličejové, laryngu, faryngu a jazyka.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

3. Extrapyramidový systém

Shrnutí (.. pokračování)

Rubrospinální dráha, která je fylogeneticky mladší než ostatní zmíněné extrapyramidové dráhy, hraje významější roli v motorice u zvířat než u lidí.

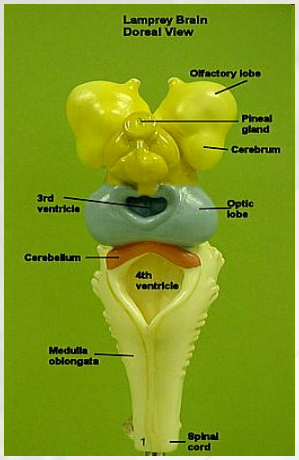
U lidí se řízení motoriky rubrospinální drahou uplatňuje v **kojeneckém věku**. Současně s maturací motorické kůry (= redukce vrstvy IV) dochází k přesunu významu z ncl. ruber na motorickou kůru.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

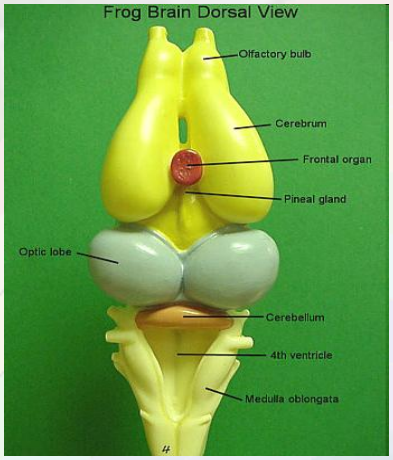
Řízení motoriky

4. Mozeček (na obrázcích hnědý)

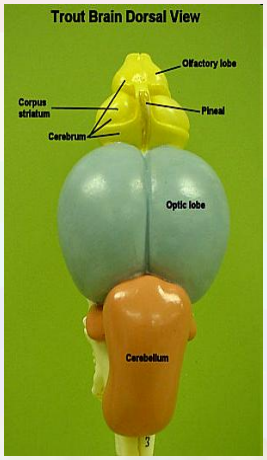
Mihule



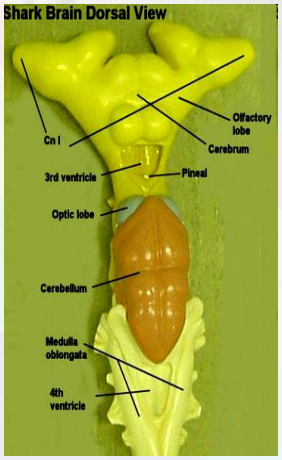
Žába



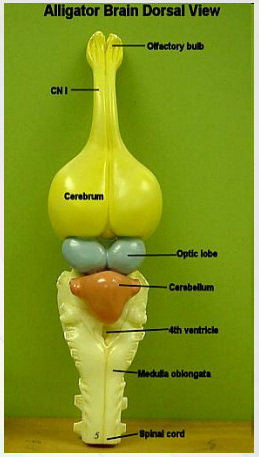
Pstruh



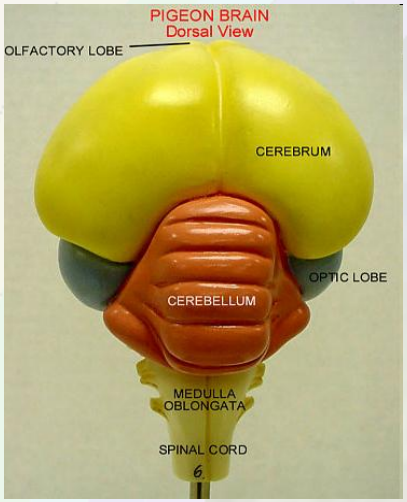
Žralok



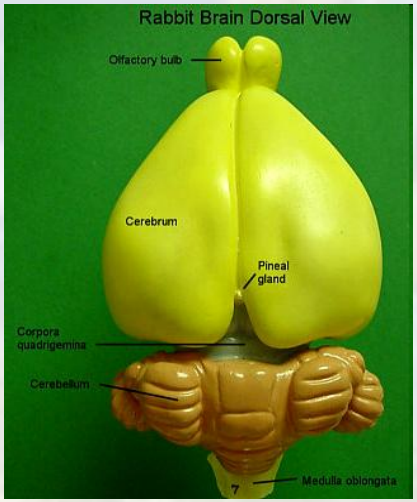
Krokodýl



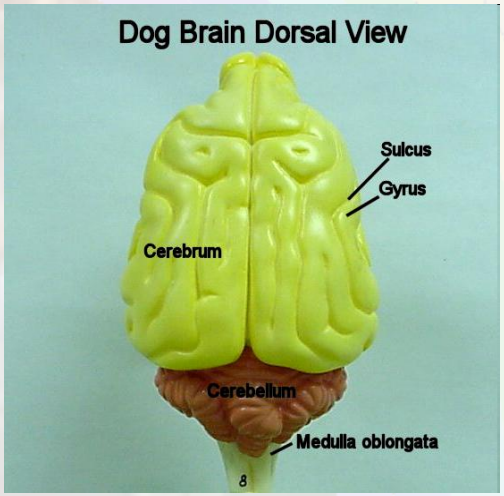
Holub



Králík



Pes



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

4. Mozeček (velikost úměrná složitosti pohybů)

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

Toto video na YouTube spustíte kliknutím na obrázek.
https://www.youtube.com/watch?v=owSZs7H24UY

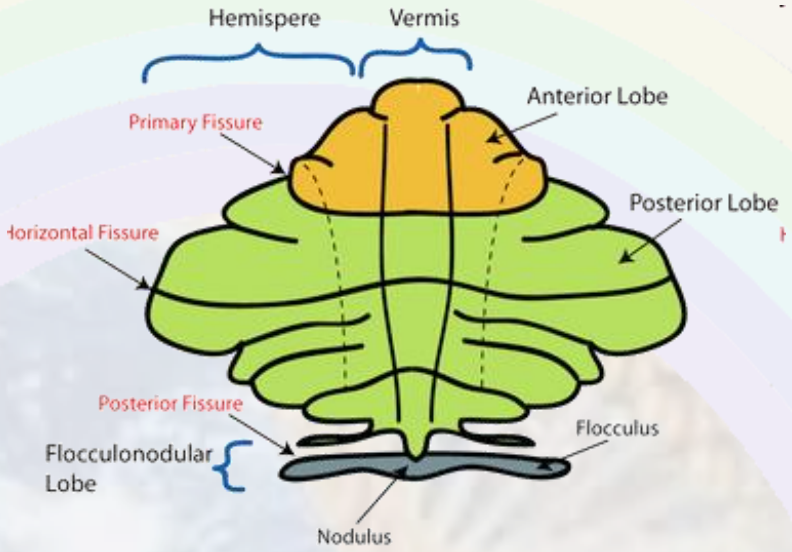
Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

4. Mozeček = struktura tří

ped. cerebellaris medius
ped. cerebellaris inferior
ped. cerebellaris superior

Cerebrocerebellum
Spinocerebellum
Vestibulocerebellum



Neocerebellum
Paleocerebellum
Archicerebellum

Vermis
Floculus
Nodulus

stratum moleculare
stratum gangliosum
stratum granulosum

nc. dentatus
nc. emboliformis
nc. fastigii

koordinace
sval. tonus
rovnováha

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

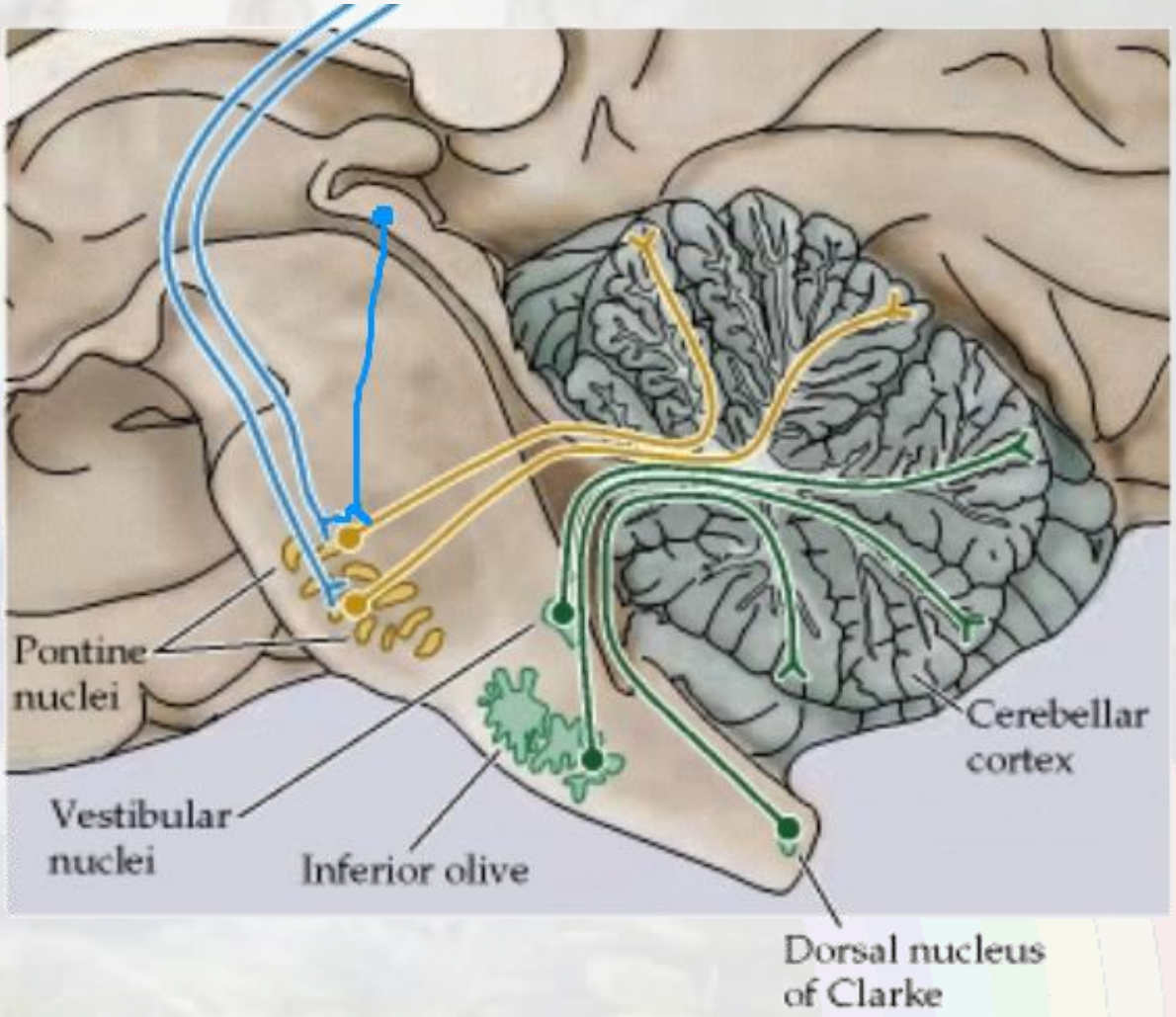
4. Mozeček – aferentní spoje

Vstupy přes ped. cerebellaris inferior:

nc. olivaris inferior
tr. spinocerebellaris
nc. vestibularis

Vstup přes ped. cerebellaris medius:

jádra pontu (mají afer. z neocortexu a tecta). Vystupuje 2 x 20 mil. axonů!



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

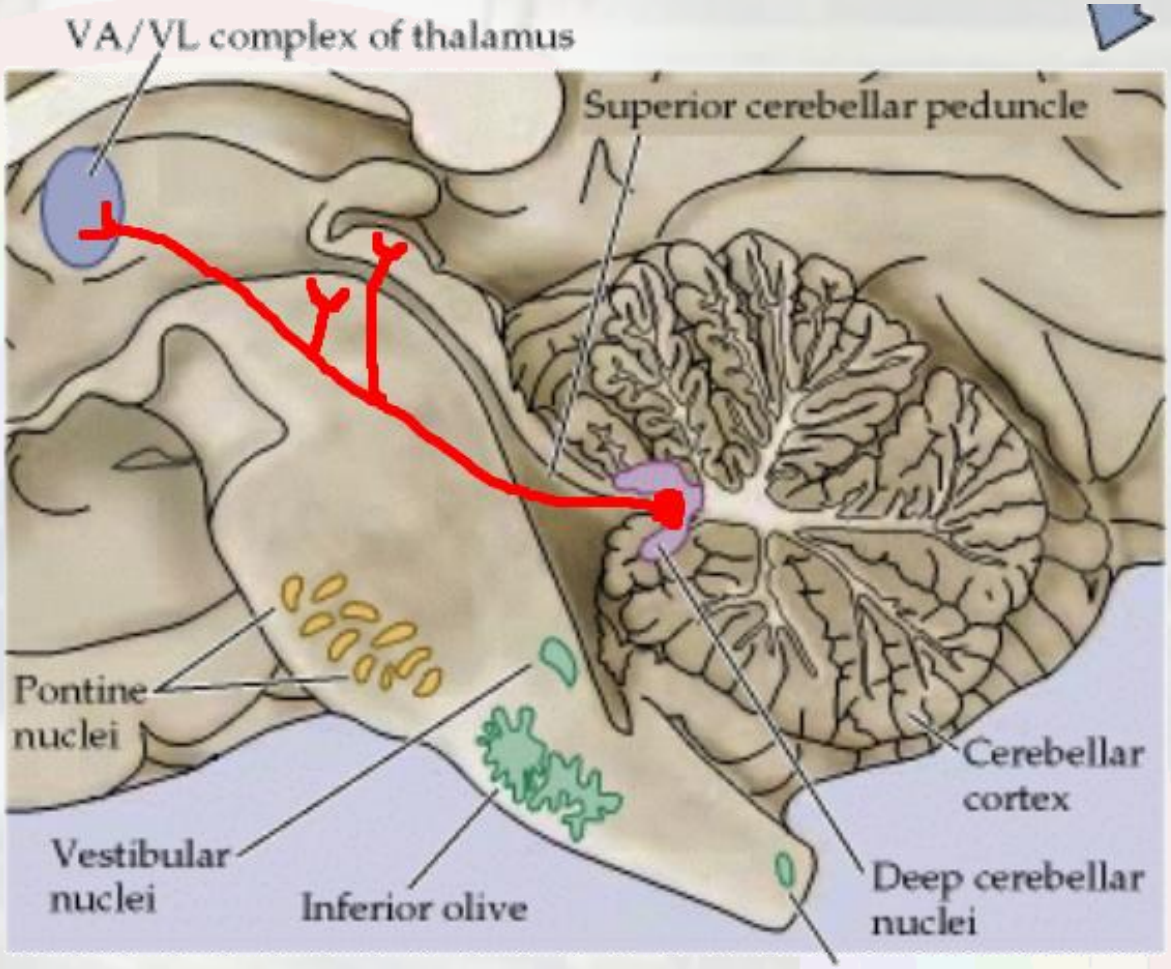
4. Mozeček – eferentní spoje

Výstup přes ped. cerebellaris superior:

nucleus ruber
colliculus superior
ventrální talamus

Ventrální talamus do:

primární m. kůra
premotorická kůra
doplňková m. kůra

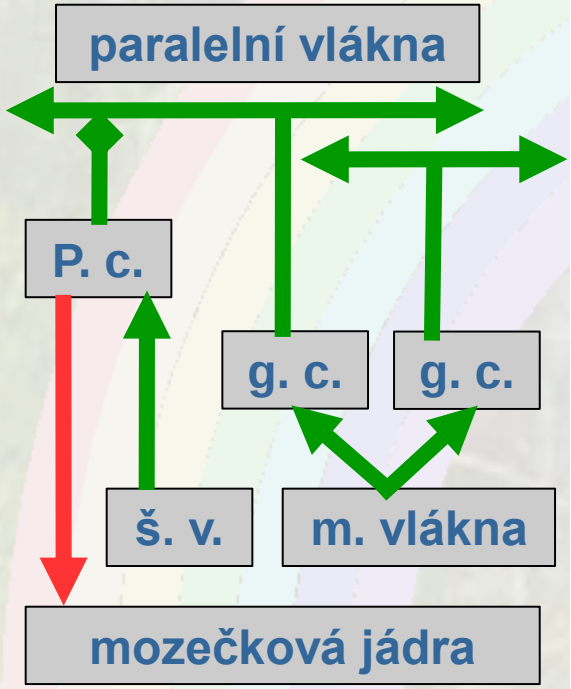


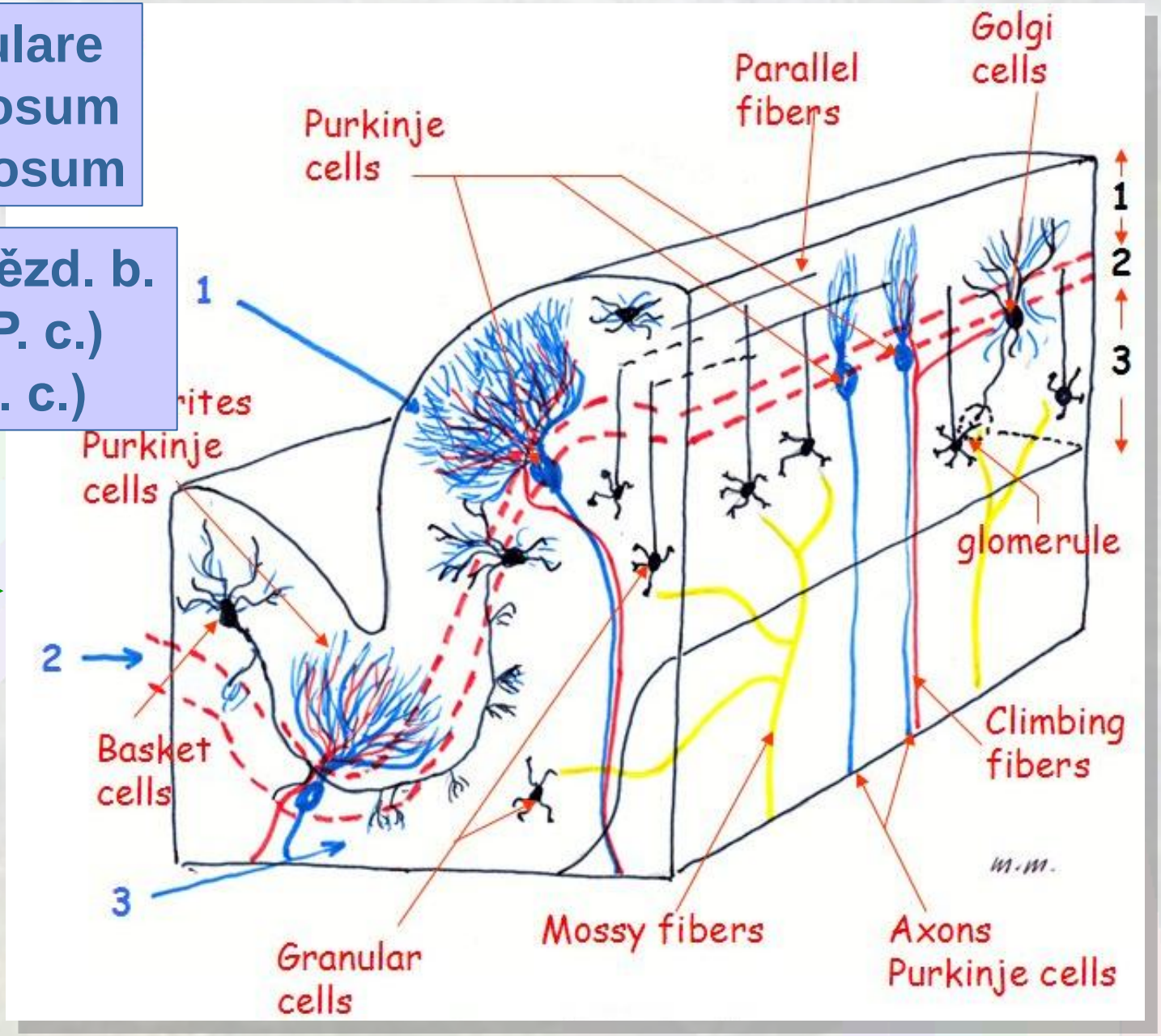
Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

1. stratum moleculare
2. stratum gangliosum
3. stratum granulosum

1. košíčkové a hvězd. b.
2. Purkyňovy b. (P. c.)
3. zrnité buňky (g. c.)

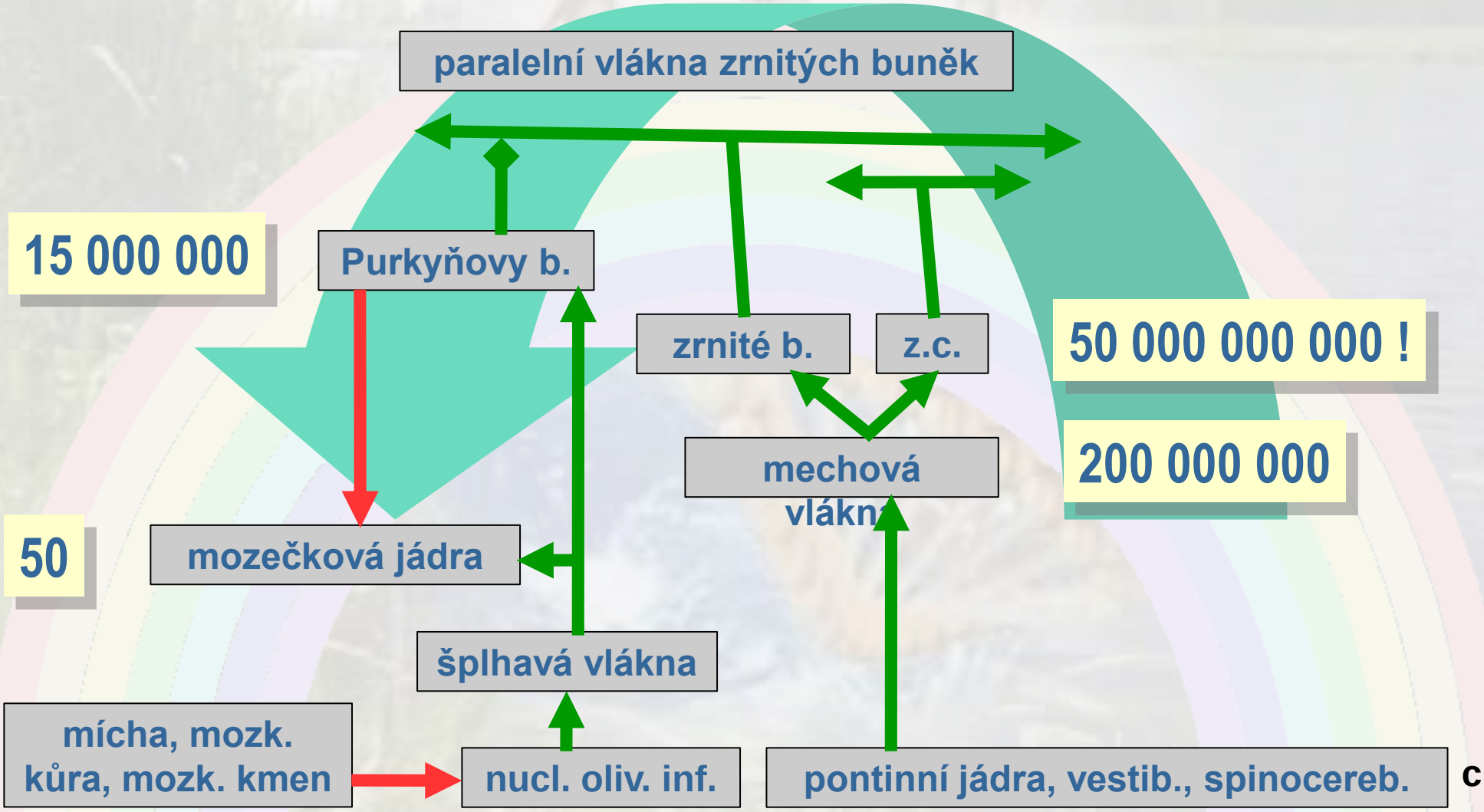




Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

4. Mozeček – divergence a konvergence



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

4. Mozeček

Fakta:

Elektrická stimulace nevyvolá kontrakci svalů

Opice s odstraněným mozečkem se celkem dobře pohybují

Lidé s vrozenou atrofií mozečku jsou pohybově soběstační

U lidí:
- destrukce flokulu naruší rovnováhu a pohyby očí
- destrukce vermis vede k ataxii chůze (“opilý námořník”)
- destrukce hemisféry vede k ataxii horní končetiny

Obecně lze říci, že dysfunkce mozečku *naruší* rovnováhu, postoj, pohyby očí i vůlí ovládané pohyby včetně řeči, byť mozeček samotný tyto pohyby negeneruje.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

4. Mozeček – Ataxie (YouTube videa)

Neurologické vyšetření

Odkaz:

https://www.youtube.com/watch?v=owSZs7H24UY

Výpověď pacienta s Friedrichovou ataxií

Odkaz:

https://www.youtube.com/watch?v=VT8b-kKQC7E&feature=youtu.be&t=412

Copyright © 2013 Luděk Nerad

4. Mozeček

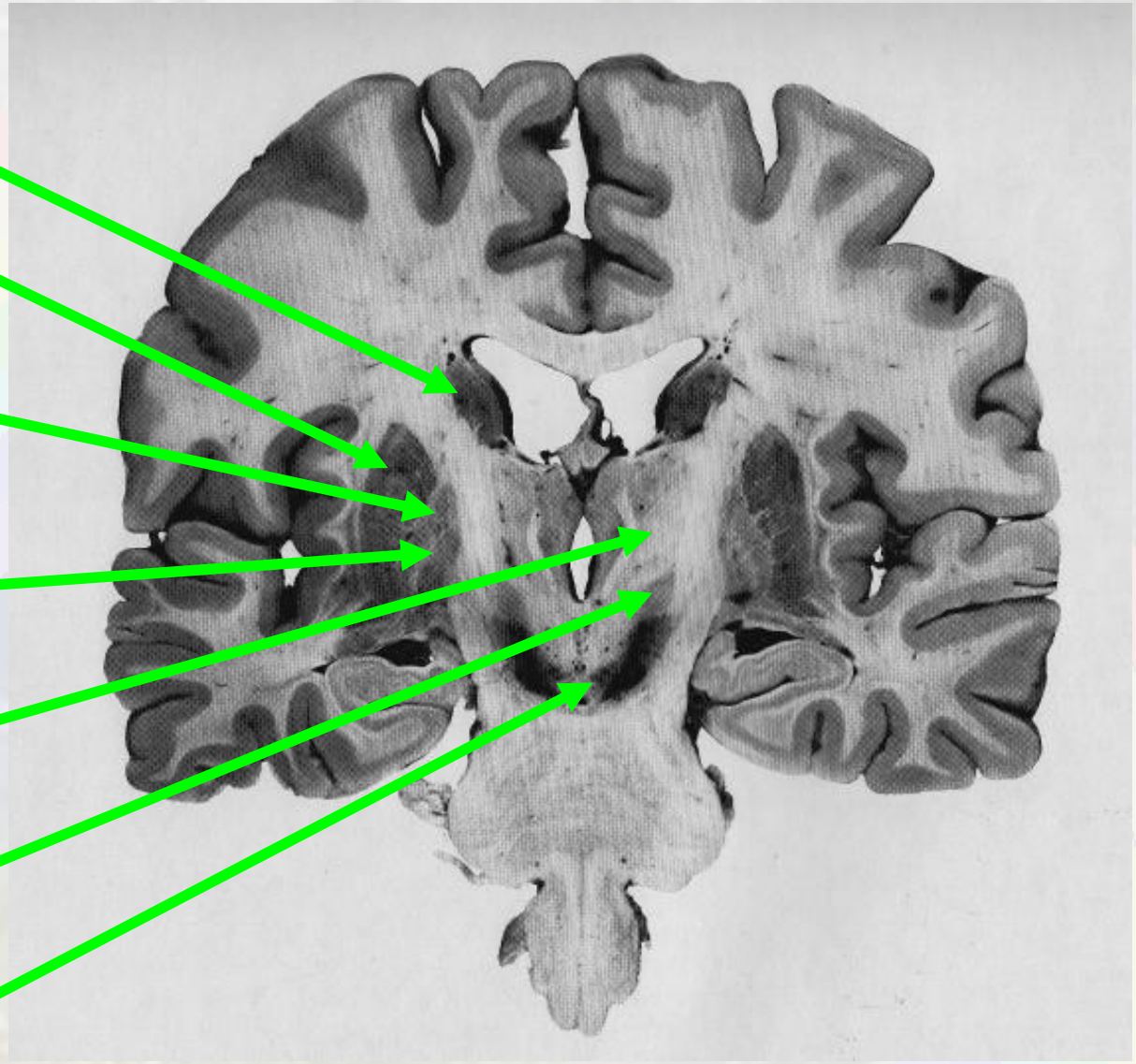
Shrnutí

Úlohou mozečku je použít dostupnou vestibulární, proprioceptivní a neokortexem vygenerovanou informaci k **modulaci eferentních motorických signálů**. Vedle toho ovládá nepřímo gama systém. Toto všechno napomáhá udržení adekvátního postoje, rovnováhy, svalového tonu, a časové a intenzitní koordinace kontrakce svalů.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

5. Bazální ganglia



- Nucl. caudatus
- Putamen
- Globus pallidus - externí segm.
- Globus pallidus - interní segm.
- VL jádro talamu
- Subtalamické jádro (STN)
- Substancia nigra

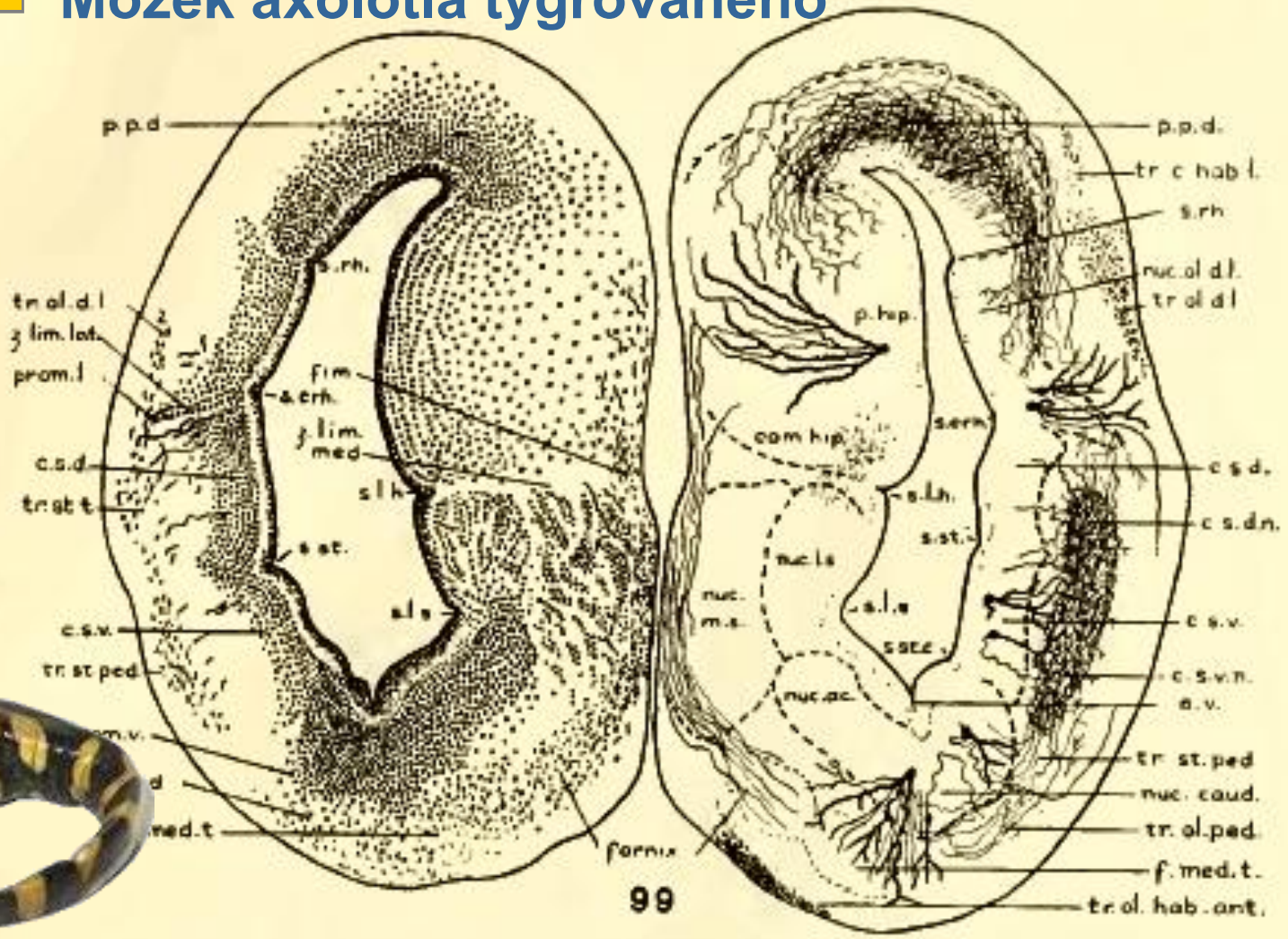
Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

Mozek nižšího obratlovce

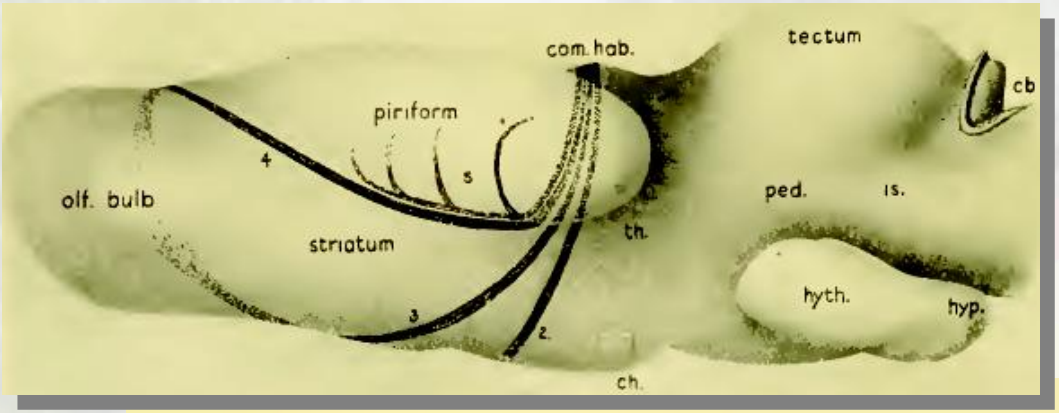
C. J. Herrick
(1868-1960)

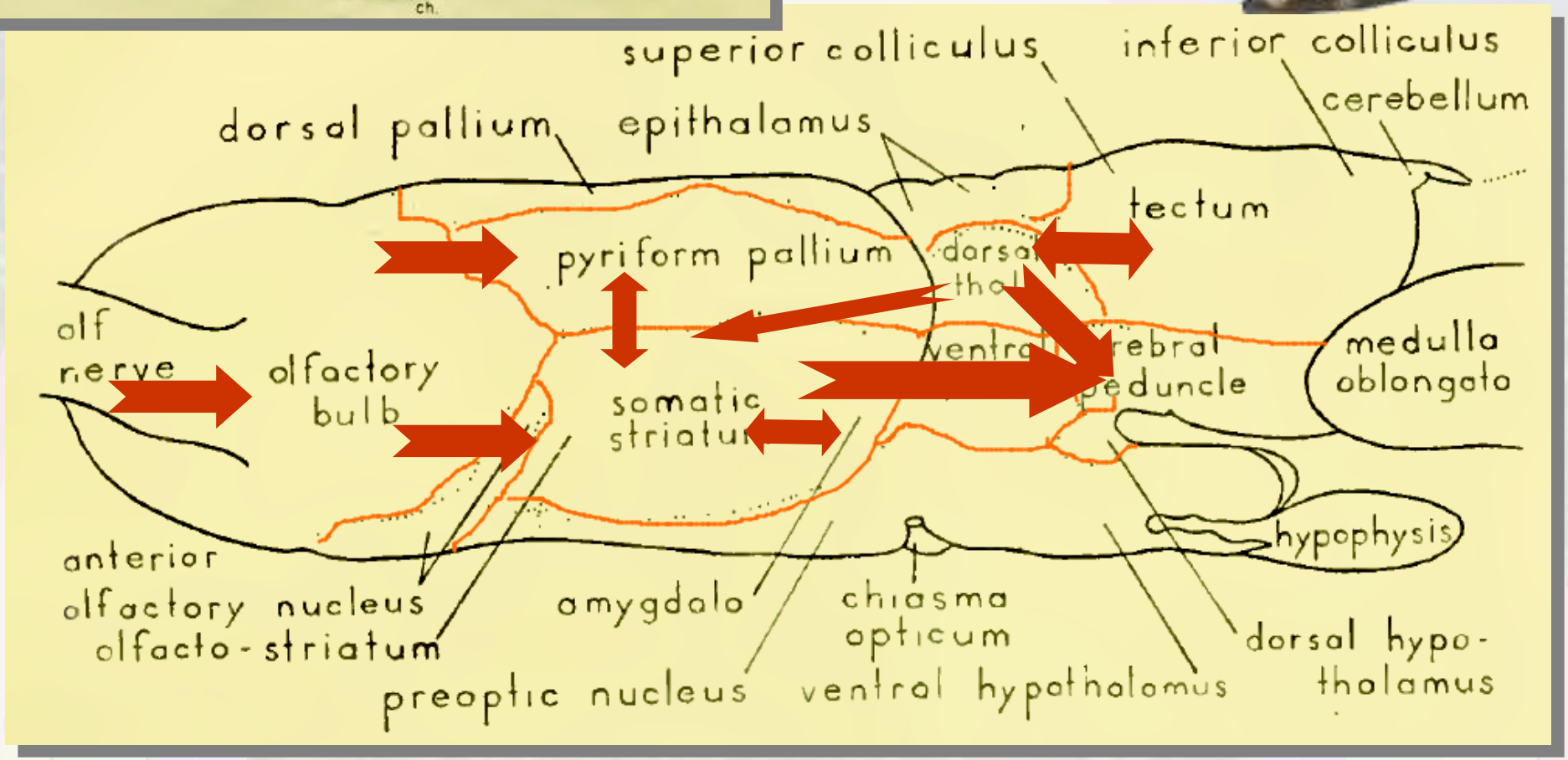
- Mozek axolotla tygrovaného



Copyright © 2011 Luděk Nerad

Řízení motoriky

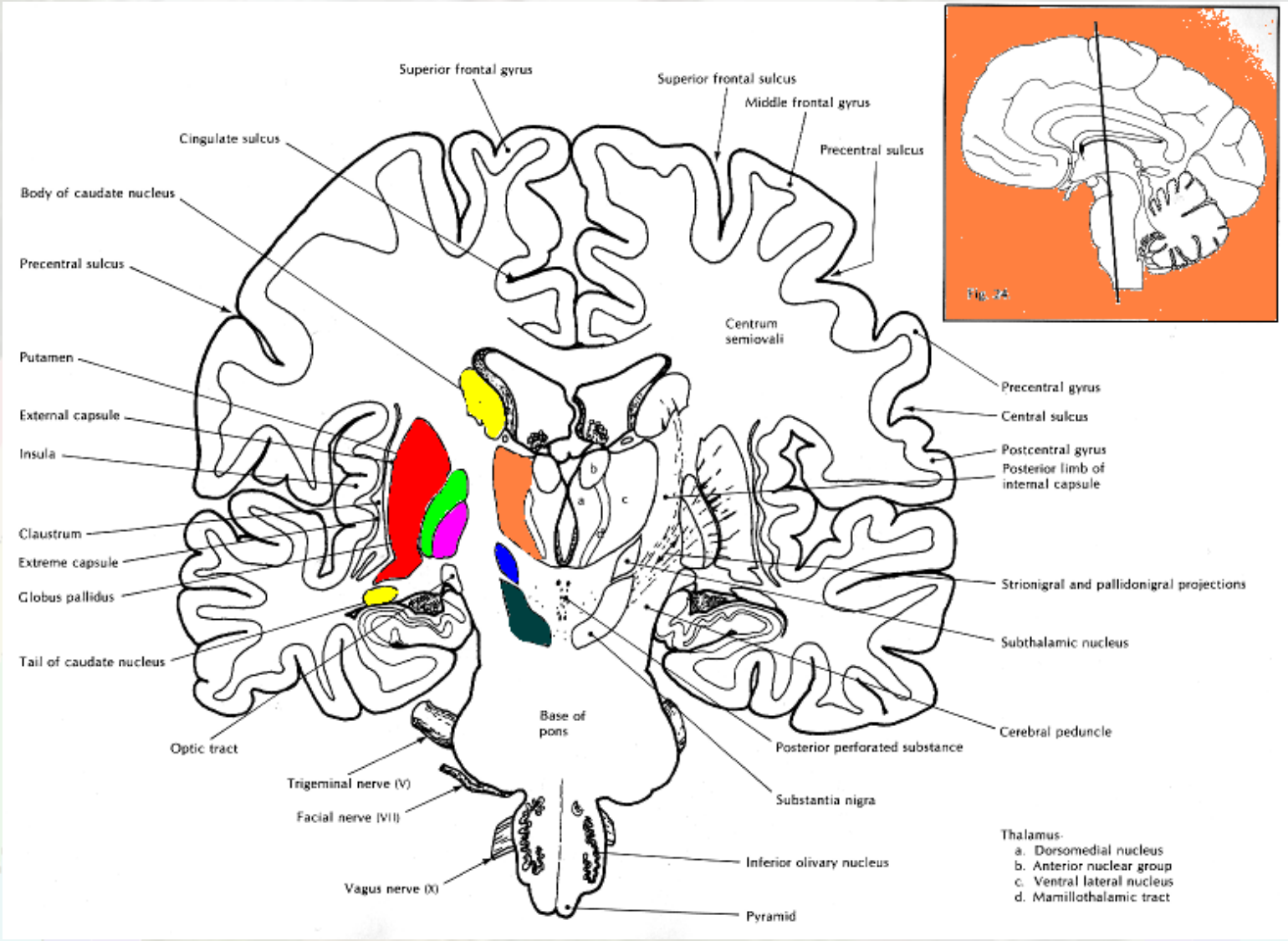




Copyright © 2011 Luděk Nerad

Řízení motoriky

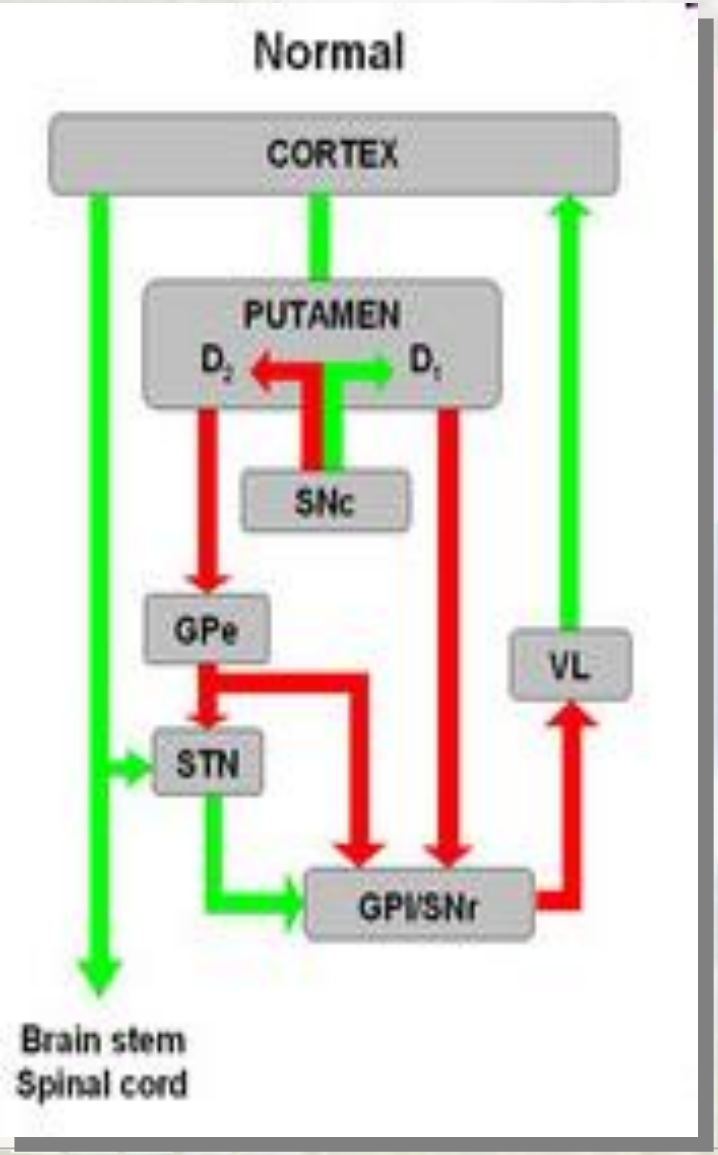
5. Bazální ganglia



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

5. Bazální ganglia



Cortex ... motorická kůra

D1, D2 … dopaminové receptory

GPe ... globus pallidus
- externí segment
GPi ... - interní segment

VL ... ventrolaterální jádro talamu

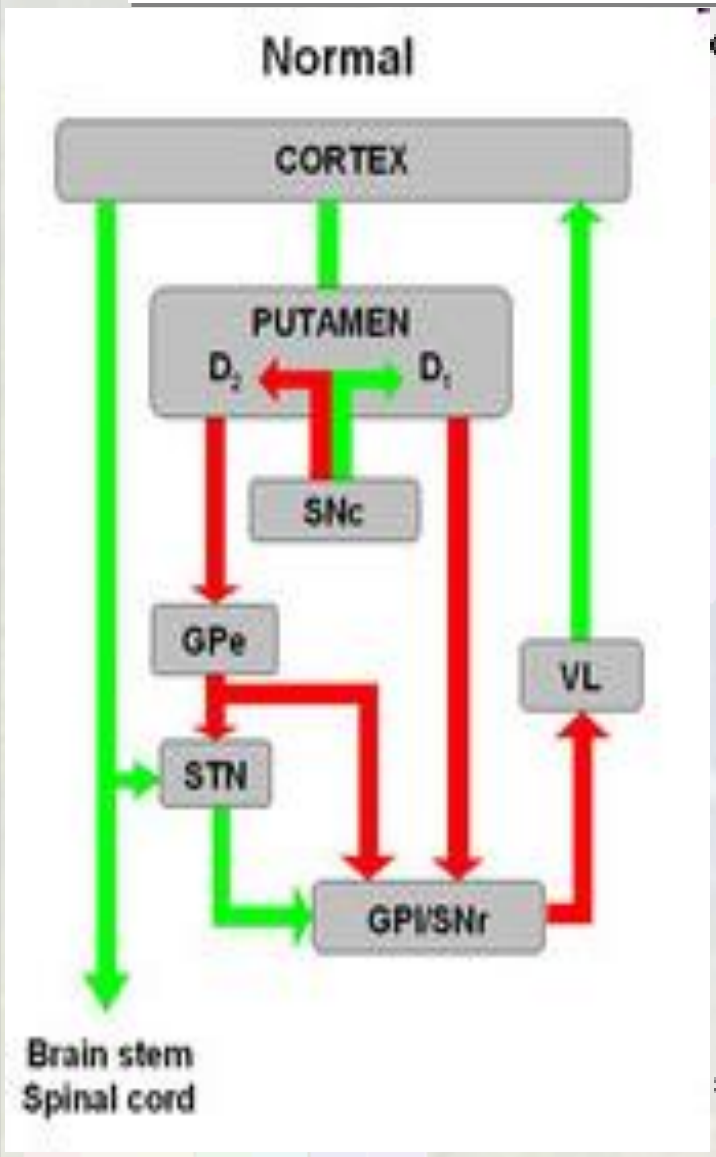
STN ... subtalamické jádro

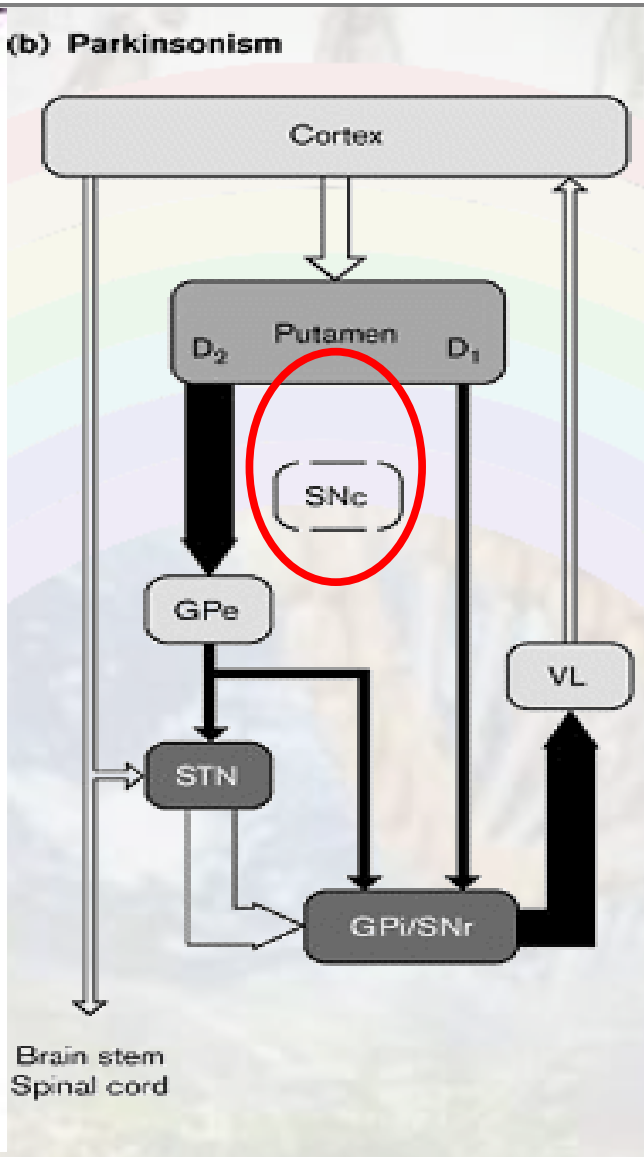
SNc ... substancia nigra
- pars compacta
SNr ... - pars reticulata

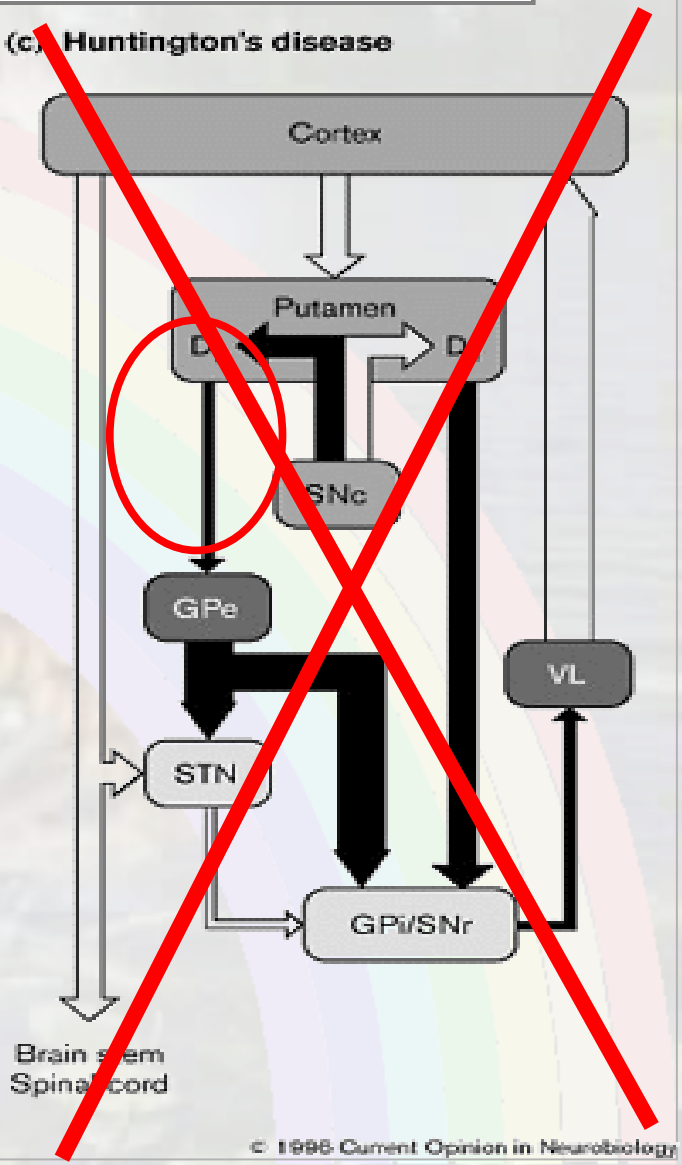
Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

5. Bazální ganglia - choroby



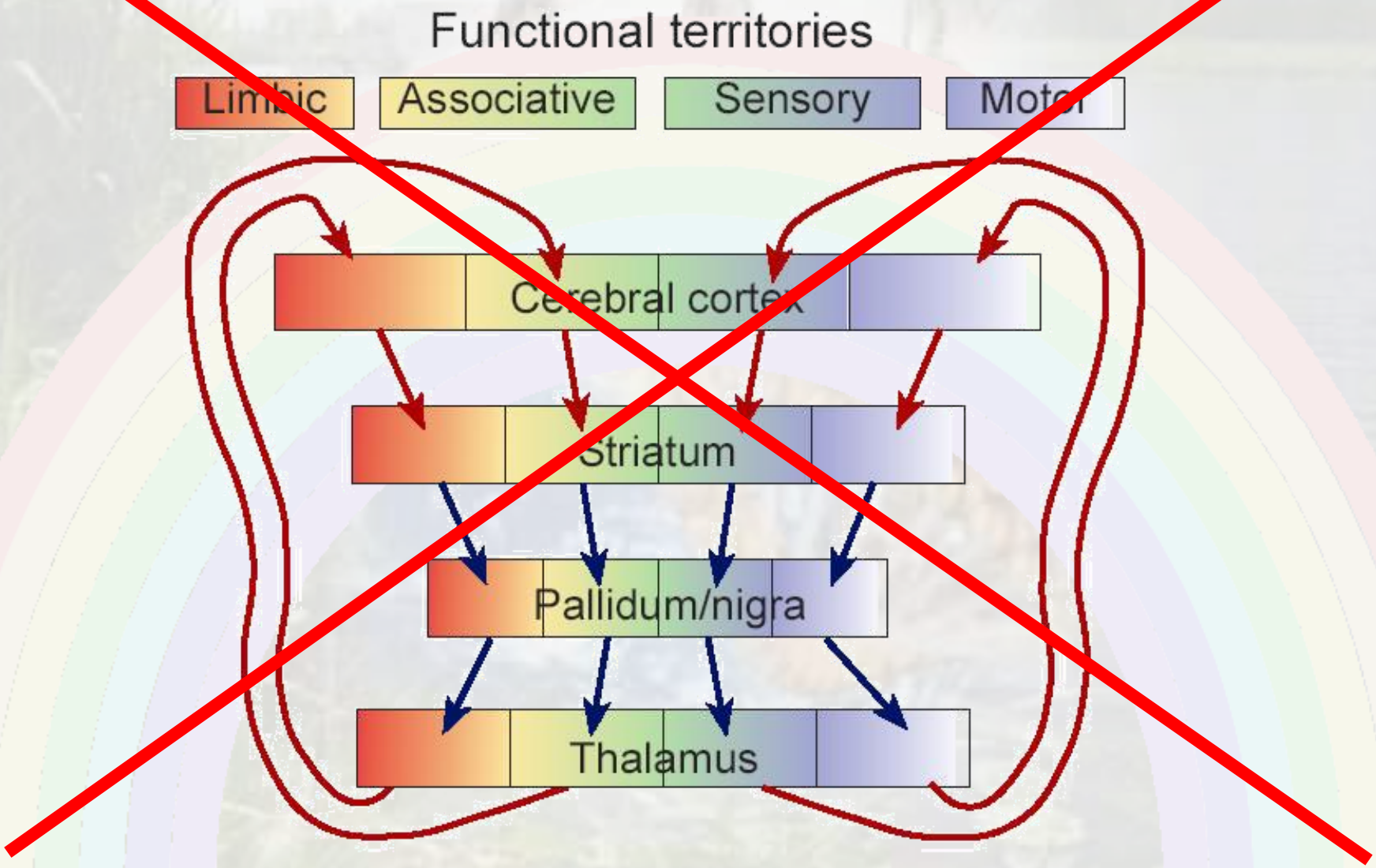




Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

5. Bazální ganglia – paralelní okruhy



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

5. Corpus striatum

Fakta:

- **Hlavními buňkami striata** jsou GABA-ergní *středně velké trnité neurony*. V krátkém časovém okénku působí na cílové GABA-a receptory excitačně, mimo něj inhibičně.
- Přítomné jsou interneurony GABA-ergní, ale především *cholinergní* (nikotinové i muskarinové).
- Difúzní dopaminergní projekce ze subst. nigra p.c. a z area tegm. ventralis cílí na hlavní buňky striata. Většina hlavních buněk obsahuje jak D1 tak D2 receptory, často i další tři dopaminové receptory. Výsledek na polarizaci nejasný.
- Pouze stimulace D1 receptorů vede k posílení kortiko-striatálních spojů.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

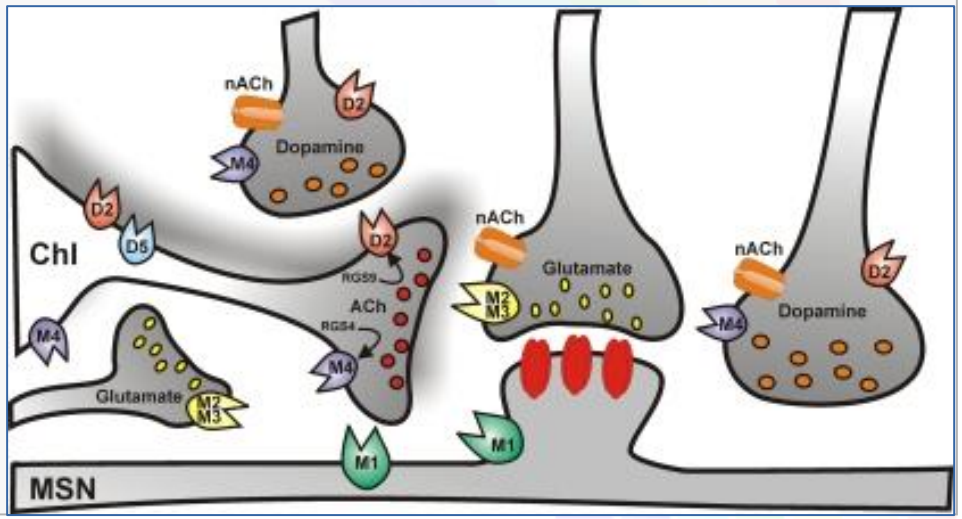
Řízení motoriky

Neurony striata

1. Středně velké trnité neurony (MSN; 95%)
   - GABA-ergní projekce
   - D1 receptory (30%; přímá dráha skrz globus pallidus; posiluje odpověď MSN na glutamatergní stimulaci)
   - D2 receptory (30%; nepřímá dráha skrz globus pallidus; snižuje odpověď MSN na glutamatergní stimulaci)
   - D1 a D2 receptory (40%)

2. GABA-ergní interneurony (4%; 3 typy)

3. Cholinergní interneurony (1%; můžou uvolnit glutamát)



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

5. Corpus striatum

Fakta:

- **MacLean (1990): "More than 150 years of investigation has failed to reveal specific function of the striatal complex."**
- **Rozsáhlé léze striatálního komplexu *nepůsobí* žádný patrný motorický deficit. Bilaterální léze nucl. caudatus *mohou* vést k behaviorální persistenci a hyperaktivitě.**
- **Elektrická stimulace nemá čistě motorických projevů. *Může* způsobit blokování úmyslných činností. … Byl pozorován i smích a pláč.**
- **Jung and Hassler: "Bilateral destruction of the pallidum does not produce any motor symptoms."**

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

5. Bazální ganglia

Fakta:

- **Cooper: "The role of the thalamus in motor activity likewise appears difficult to define at this time. One may interrupt pathways from the globus pallidus, red nucleus, and the cerebellum to the thalamus as well as the thalamo-cortical and cortico-thalamic circuits without causing either motor weakness or faulty coordination upon the patient."**
- **MacLean: "The evidence indicates that the striatal complex is not solely a part of the motor apparatus under the control of the motor cortex."**

Copyright © 2013 Luděk Nerad

5. Bazální ganglia

Fakta:

- Parent et al.: “The major axonal branches of the GPi are those that descend within the brainstem, whereas the Gpi innervation of the thalamus is made up of fine collaterals that detached from these thick descending fibers. The GPi descending fibers arborise principally in the PPN.”
- GPi je aktivován po aktivaci primární motorické kůry.
- Obvod “motorická kůra – corpus striatum – talamus” není souborem vzájemně segregovaných okruhů, ve kterých krouží v nezměněné podobě motorické programy, jak se dříve myslelo.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

5. Bazální ganglia

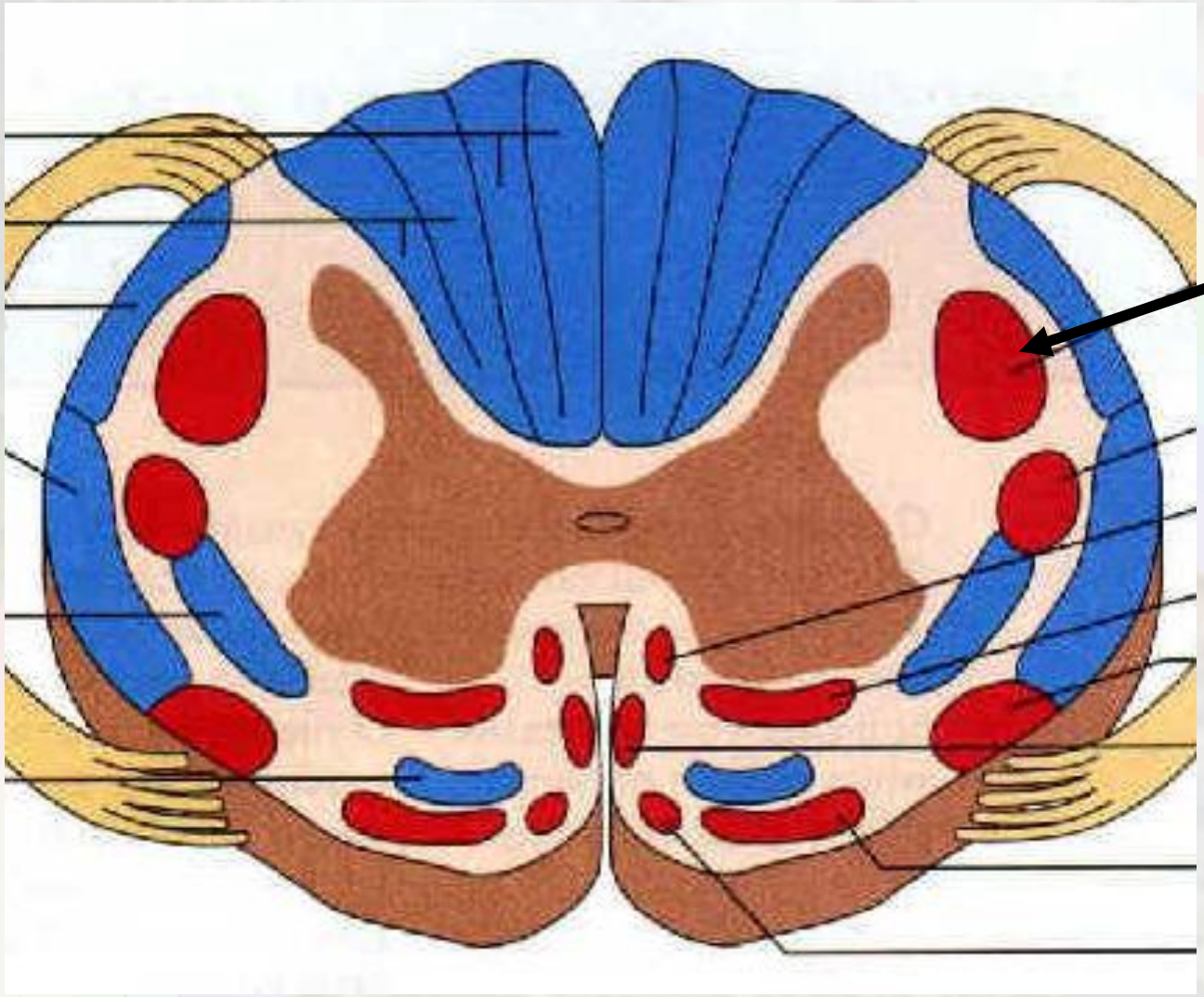
Hypotézy:

- Léze bazálních ganglií (BG) blokují vliv motivace na vervu.
- Bazální ganglia jsou důležité pro učení nových motorických dovedností. Dlouhodobé pamětní stopy jsou pravděpodobně uložené v motorické kůře.
- Vstup z limbického systému přivádí do BG posilující signály, jež determinují, co bude a nebude naučeno.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

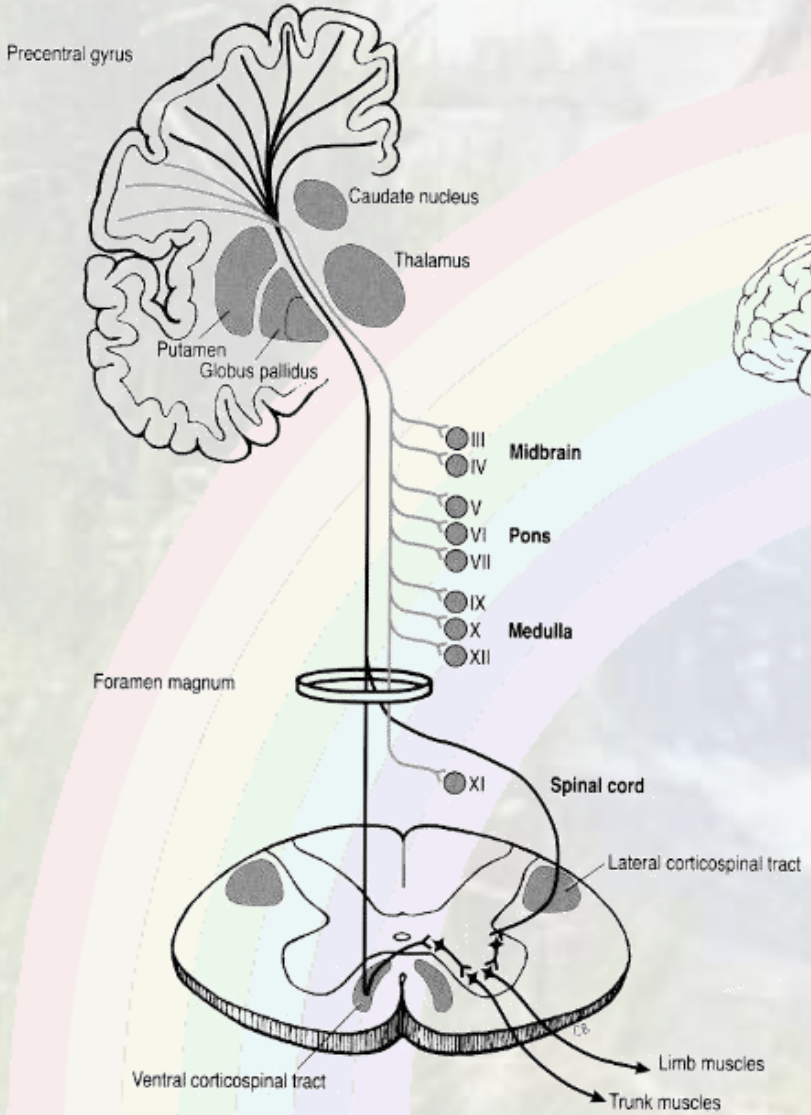
6. Pyramidový systém



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

6. Pyramidová dráha



Pyramidová dráha začíná v páté korové vrstvě oblastí MI (primární motorická kůra), PM (pre-motorická kůra) a SMA (doplňková motorická kůra).

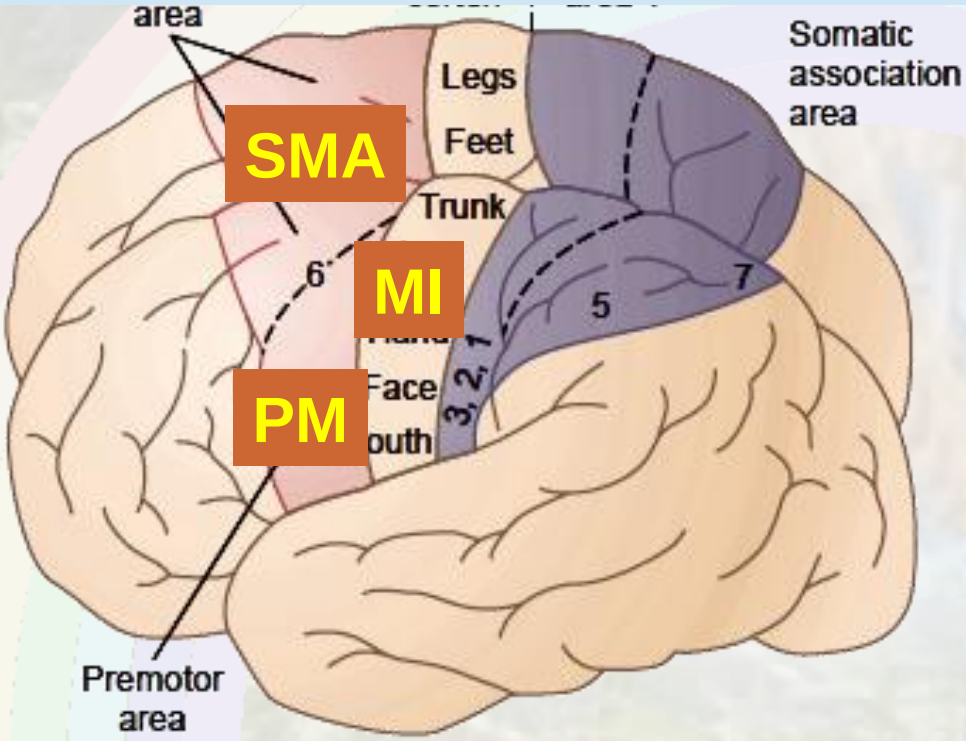
Ovlivňuje většinu svalů, zejména distáních. Její aktivace má odraz ve vědomí.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

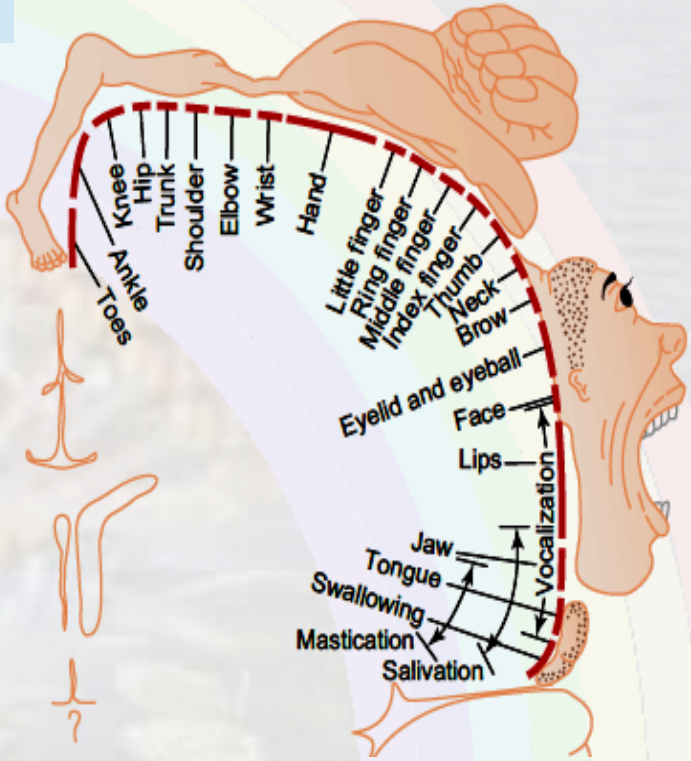
Řízení motoriky

6. Motorická kůra - oblasti

- Primární motorická kůra (MI)
- Premotorická kůra (PM)
- Doplňková motorická kůra (SMA)

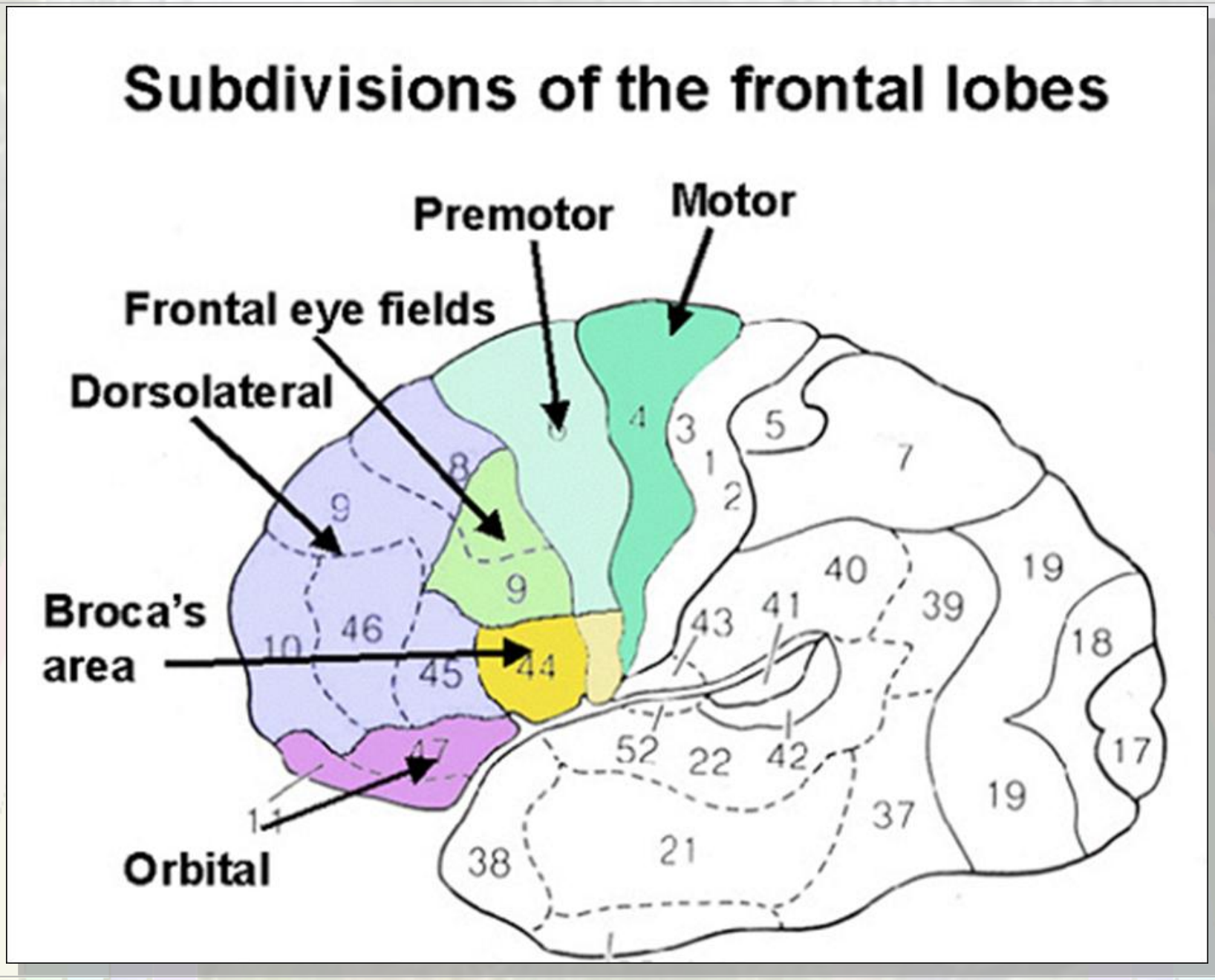


Motorický "homunkulus"



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

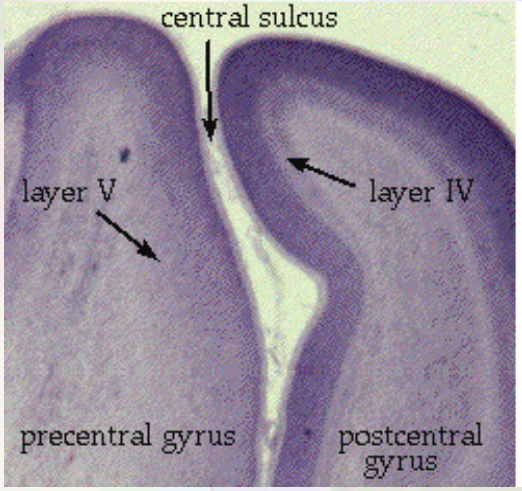


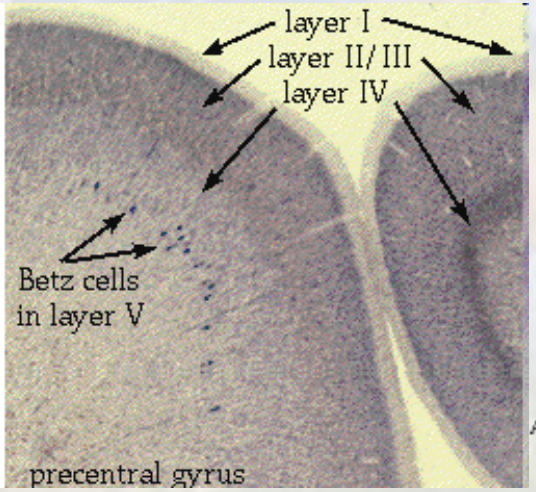
Copyright © 2013 Luděk Nerad

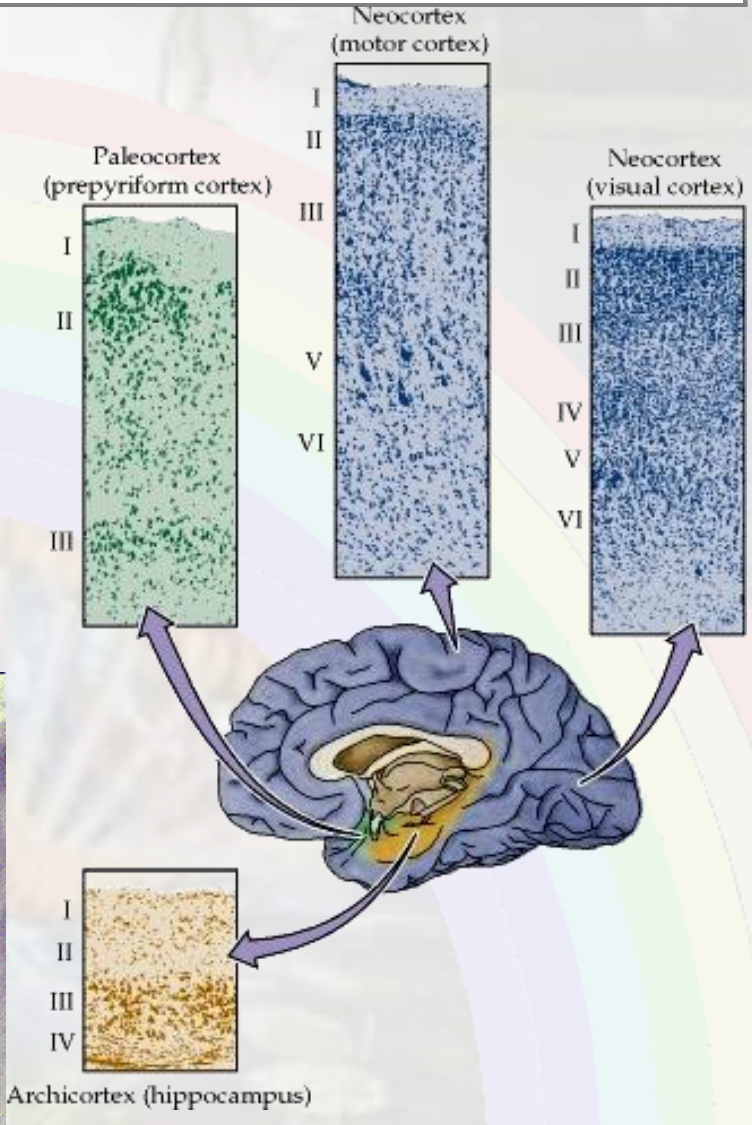
Řízení motoriky

6. Motorická kůra

- Primární m. k. - agranulární
- Premotorická k. - dysgranulární
- Doplňková m. k. - dysgranulární



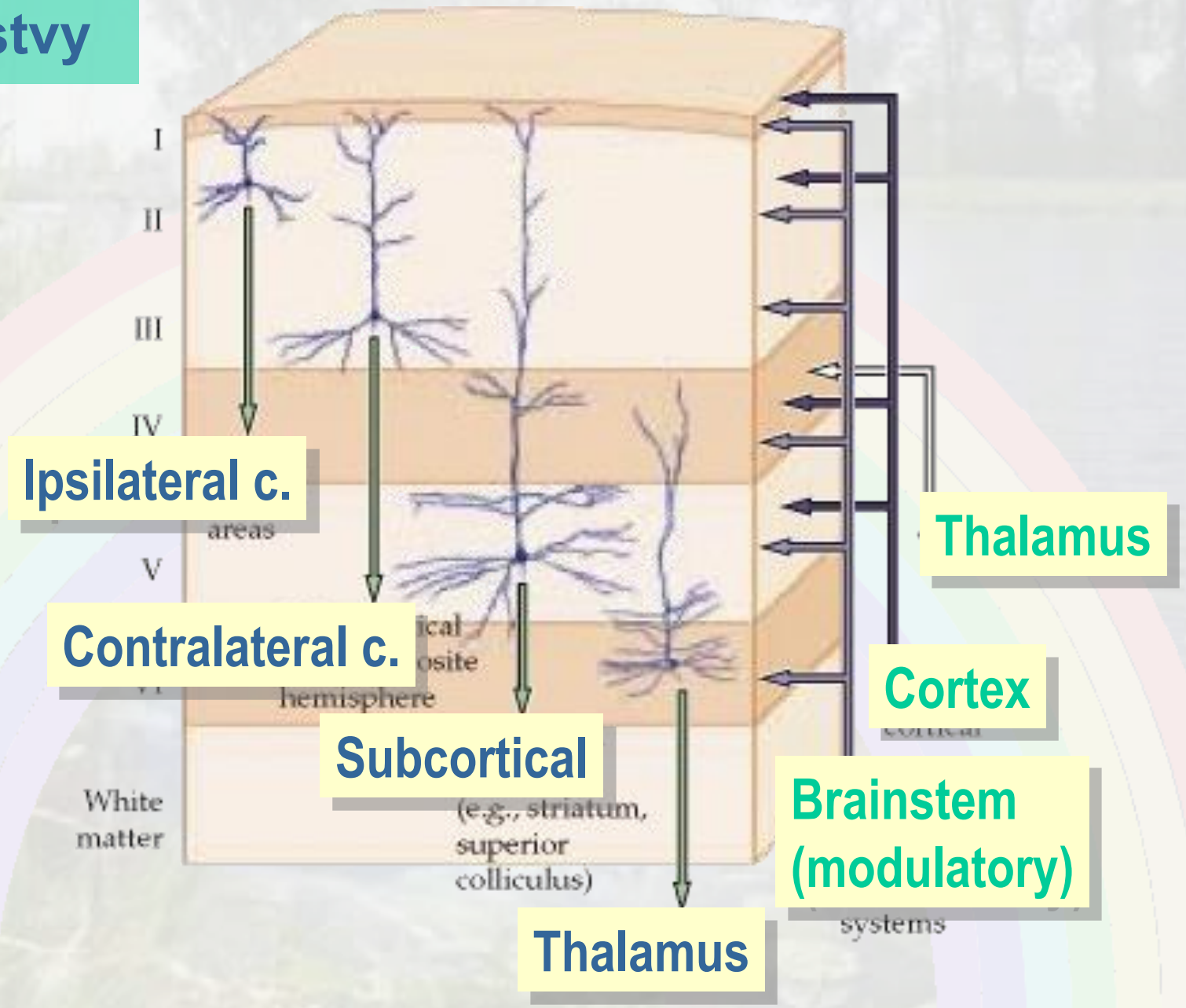




Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

Korové vrstvy



Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

6. Motorická kůra - spoje

- **Somatosensorická kůra** ⇨ nucl. ruber a oblong. RF a částečně tractus corticospinalis (pyramidová dráha)
- Cerebellum ⇨ VL talamus ⇨ **primární motor. kůra (MI)** ⇨ pyramidová draha
- Palidum ⇨ AV talamus ⇨ **premotorická kůra (PM)** ⇨ nucleus ruber a oblong. RF a částečně pyr. dráha
- Palidum ⇨ AV talamus ⇨ **doplňková mot. kůra (SMA)** ⇨ nucl. ruber a oblong. RF a částečně pyr. dráha
- zraková kůra ⇨ (**frontální okohybné pole** ⇨) colliculus superior
- Wernikeho oblast ⇨ **Brocovo řečové centrum**

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

6. Motorická kůra (lokalizace stimulací)

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

6. Motorická kůra

Fakta:

- MI – Je aktivní až **když** dochází k pohybu. Aktivuje svalové skupiny.
- PM – Je aktivní **před** zahájením pohybu. (Bereitschaftpotencial). Pohyb nemusí nastat. Je důležitá pro řízení naučených automatických pohybů s ohledem na senzorickou zpětnou vazbu. Příkladem jsou řeč, ovládání očí a psaní.
- SMA - Je aktivní **před** zahájením pohybu. Pohyb nemusí nastat. Je aktivní při cíleném plánování pohybů.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

6. Motorická kůra

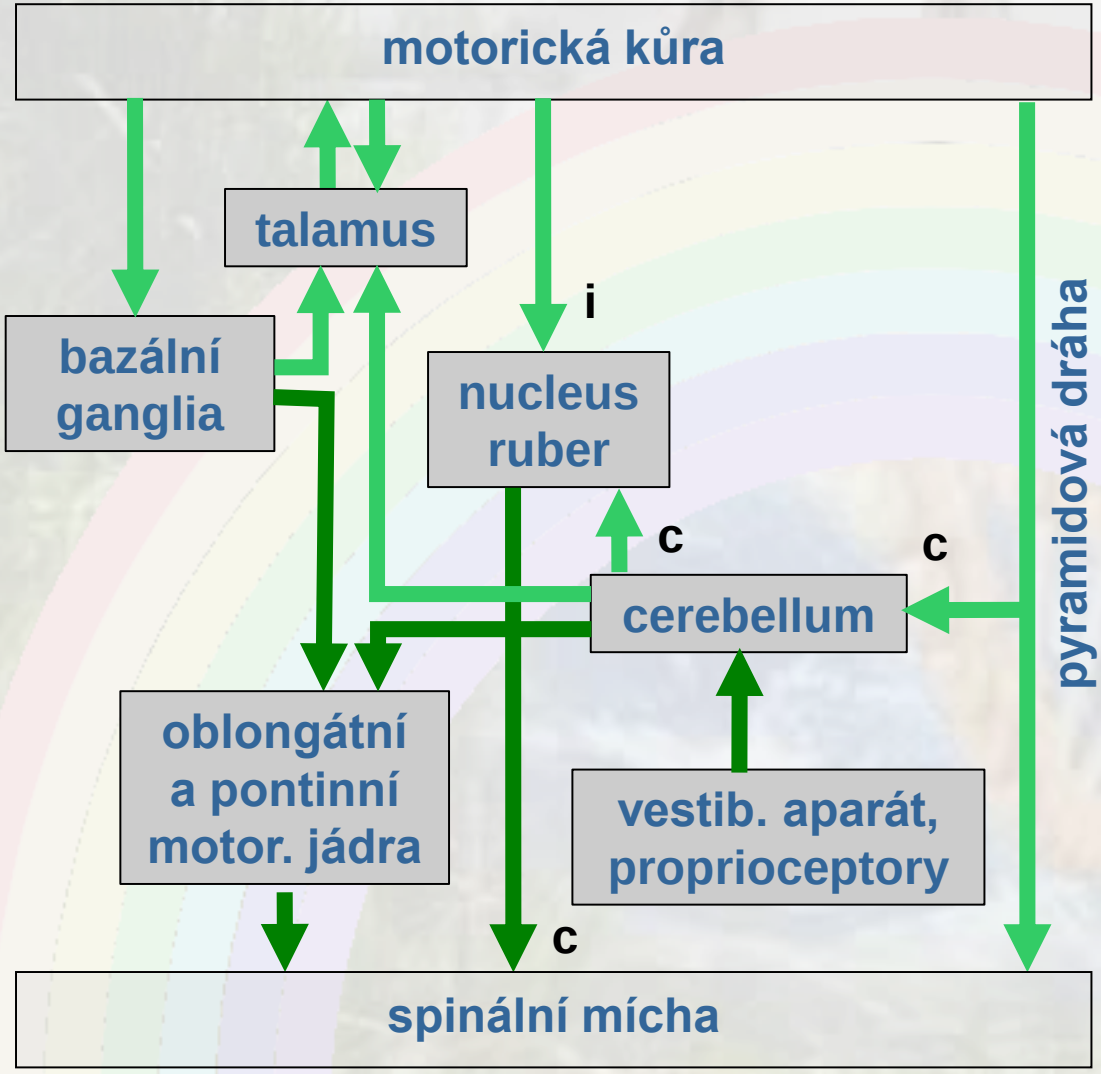
Shrnutí

- Primární motorická kůra (MI) se vyvinula z kůry somatosenzorické. Sdílí stejnou funkci dalšími oblastmi neokortexu: Slouží jako substrát pro uvědomění a uložení dlouhodobých pamětních stop.
- MI uchovává „motorické primitivy” (mohou odpovídat individuálním sval. skupinám), PM a SMA pomáhá ukládat složité vzorce pohybů a chování.

Copyright © 2013

Řízení motoriky

Shrnutí spojů (zjednodušené)



Fylogeneticky starší spoje jsou označeny tmavozeleně

Projekce z bazálních ganglií a mozečku do talamokortikálního systému možňují uvědomování si pohybu a také jeho uložení v deklarativní paměti.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

Základní plán – ref. předchozí strana

1. Úchopové pohyby, manipulace s předměty, lokomoce.
   Tyto pohyby jsou řízené z nucleus ruber.

2. Životně důležitá a druhově specifická chování jako přístup, únik, reprodukce, mateřské chování a obrana.
   Tyto pohyby jsou generované striatem.

3. Koordinace a zpětnovazební řízení jinak hrubých pohybů, vytvořených červeným jádrem a striatem, nebo generovaných reflexně. Vykonává mozeček.

4. Uvědomění výše uvedených procesů, paměť a kognitivní zpracování. Vykonává thalamo-kortikální systém.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

Celkové shrnutí

1. I nejjednodušší obratlovci si nevystačí s jednoduchými reflexy a centrálními generátory vzorců, byť s nimi mohou přežívat.
2. I nejjednodušší obratlovci mají schopnost jemně koordinovat pohyb a bravůrně se pohybovat v gravitačním poli (s pomocí mozečku).
3. I nejjednodušší obratlovci musí mít programy druhově specifických chování. Na nich se podílí corpus striatum.
4. U člověka a vyšších obratlovců došlo k expanzi systému zaměřeného na vědomé zpracování informace z dálk. senzorických modalit – zraku a sluchu. Tomu se podřídila i oblast řízení chování – bazální ganglia – a vyvinula se motorická kůra a její spoje s mozečkem a striatem.

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky

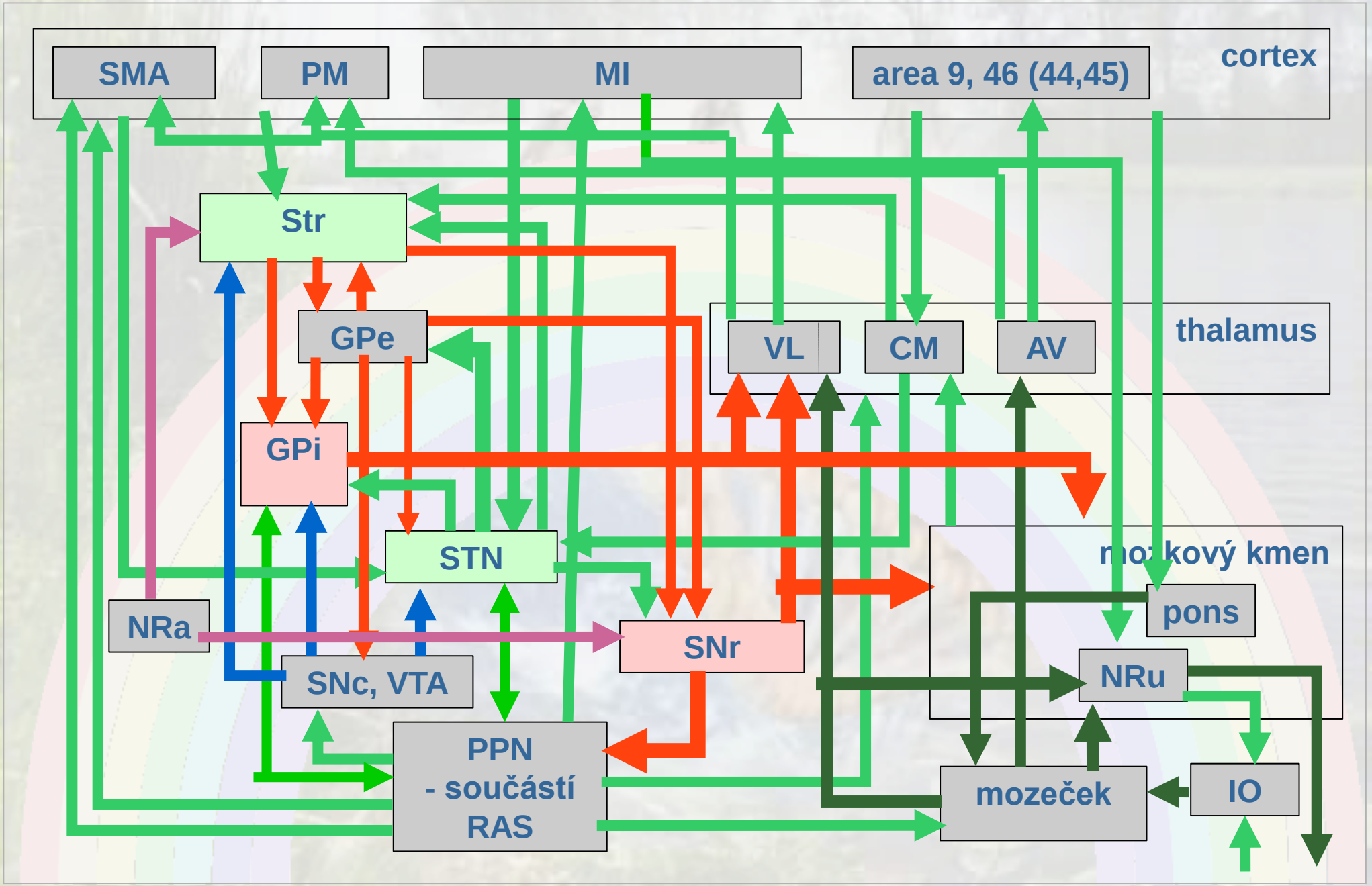
Legenda pro následující stranu

- SMA – doplňková motorická kůra
- PM – premotorická kůra
- M I – primární motorická kůra
- GP – globus pallidus (i – interní segment, e – externí segment)
- STN – subthalamické jádro
- SN – substantia nigra (c – pars compacta, r – pars reticularis)
- VTA – area tegmentalis ventralis
- PPN – pedunkulo-pontinní jádro
- RAS – retikulární aktivační systém
- vl – ventrolaterální jádro thalamu
- cm – centromediální jádro thalamu
- av – anteroventrální jádro thalamu

Excitační (glutamát)	fylogen. staré (glutamát)	serotonin	c kontralaterál.
Inhibiční (GABA)		dopamin	i ipsilaterální

Copyright © 2013 Luděk Nerad

Řízení motoriky



Copyright © 2013 Luděk Nerad