

BAZÁLNÍ GANGLIA

K základním strukturám bazálních ganglií je řazeno **striatum**, **pallidum** a **ncl. subthalamicus** (viz základní kurz neuroanatomie). Z funkčního hlediska je však nutno klasifikaci struktur bazálních ganglií dále rozšířit.

STRIATUM

Hlavní struktury striata, **ncl. caudatus a putamen** jsou označovány jako **dorzální striatum**. Dorzální striatum není homogenní, v 85% jeho hmoty (tzv. matrix) se nachází velké množství synapsí s acetylcholinem (ACh) jako transmitterem. Zbývajících 15% dorzálního striata neobsahuje cholinergní synapse.

K **ventrálnímu striatu** je řazen **ncl. accumbens**, který je lokalizován před předním raménkem capsula interna. Anatomově jej většinou řadí k přednímu limbickému mozku.

PALLIDUM

Globus pallidus (dorzální pallidum) je dále členěno na pars lateralis (GPpl) a pars medialis (GPpm), které má rozšíření až do středního mozku, kde tvoří **pars reticulata substantiae nigrae**. Ta podobně jako GPpm obsahuje větší množství čistě GABA-ergních neuronů.

Ventrálně od bazálních ganglií se nachází struktury obecně označované jako **substantia innominata**, jejíž část přiléhající těsně ke globus pallidus se nazývá **ncl. basalis Meynerti**. Obě struktury označované jako **ventrální pallidum** jsou rovněž součástí limbického předního mozku a hrají významnou úlohu při plánování a iniciaci pohybů.

Mimo striatum, pallidum a ncl. subthalamicus jsou z funkčního hlediska k bazálním gangliím řazeny **substantia nigra a motorická jádra thalamu (ncl. ventralis ant. a lat.)**, označovaná jako **ventrolaterální thalamus**.

Substantia nigra obsahuje dva odlišné oddíly: **pars reticulata** má velmi podobnou cytologickou stavbu jako mediální část globus pallidus, kterého je vlastně výběžkem. Neurony pars reticulata obsahují velké množství železa. **Pars compacta** je tvořena neurony, které díky vysokému obsahu pigmentu melaninu daly jméno celému útvaru. Tyto neurony syntetizují **dopamin**, který je transportován axonálním prouděním do striata (**tr. nigrostriaticus**).

Základem výkladu funkce bazálních ganglií je jejich spojení, proto je vhodné se zmínit o

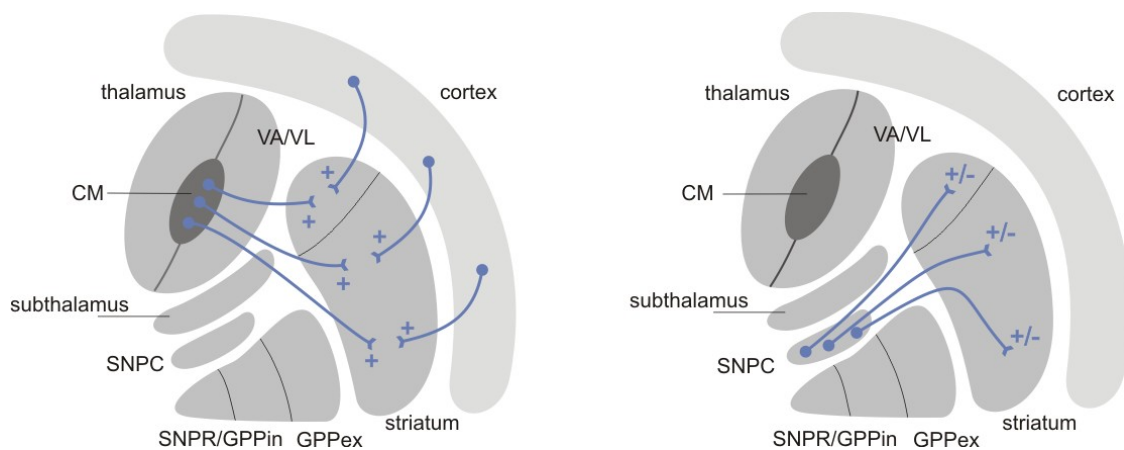
rozdělení jednotlivých struktur bazálních ganglií podle jejich spojů.

Vstupní jádra jsou tvořena dorzálním a ventrálním striatem. Striatum dostává převážně informace z kortexu. Vstupní axony tvoří excitační synapse, ve kterých je transmitterem glutamát nebo aspartát.

Jádra vnitřních spojů. Vnitřní propojení bazálních ganglií je vytvořeno hlavně mezi globus pallidus pars lateralis (GPpl), substantia nigra pars compacta (SNpc) a ncl. subthalamicus (NSTh). Vzájemná spojení a spojení se vstupními a výstupními jádry jsou prováděna axony s převážně inhibičními synapsi, kde jako transmitter slouží GABA. V případě projekce substantia nigra pars compacta do striata je transmitterem dopamin.

Výstupní jádra jsou tvořena globus pallidus pars medialis (GPpm), substantia nigra pars reticulata (SNpr) a ventrálním pallidem. Uvedená jádra tvoří převážně inhibiční spoje (GABAergní) s jádry ventrolaterálního thalamu.

Základní aferentní, vnitřní a eferentní spoje bazálních ganglií významné pro motoriku končetin a trupu jsou uvedeny na schématu .



Obr. XX. Schéma hlavních aferentních spojů bazálních ganglií (upraveno podle Stewarda 2000).

AFERENTNÍ SPOJE BAZÁLNÍCH GANGLIÍ

Veškerá aferentace bazálních ganglií se děje přes putamen a ncl. caudatus, jádra společně označovaná jako striatum. Striatum přijímá informace ze tří hlavních zdrojů:

i/ Z mozkové kůry

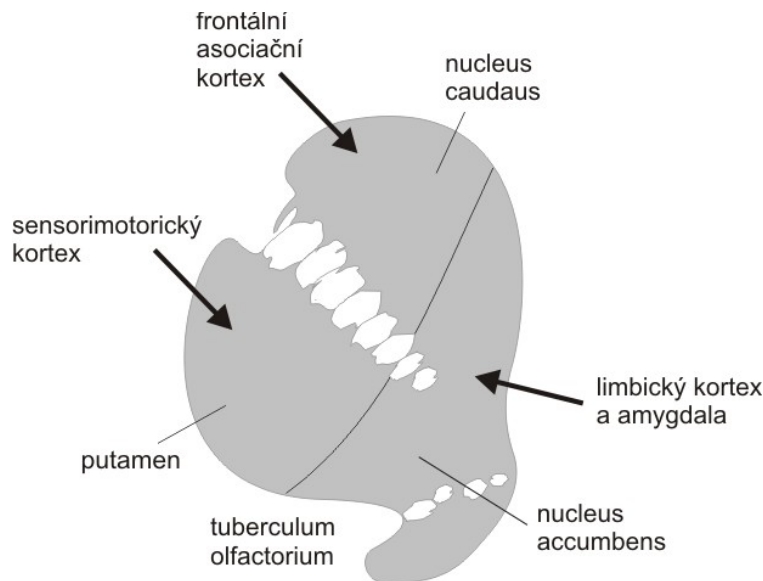
Spojení kůry se striatem je topicky uspořádané. Projekce z area 4,6 a area 3,1,2 je převážně do putamen, zatímco asociační kůra frontálního, parietálního a okcipitálního laloku společně s temporálním kortexem projikují hlavně do ncl. caudatus. Spojení kůry se striatem se děje cestou tr. corticostriaticus.

ii/ Z ncl. intralaminares thalami

Aferentní spoje z thalamu pocházejí převážně z ncl. centromedianus, který přijímá informace z motorické kůry. Jedná se o další cestu zabezpečující vliv motorické kůry na bazální ganglia.

iii/ Ze substantia nigra

Velmi významná dopaminergní projekce z pars compacta.



Obr. XX. Schéma uspořádání kortikální aferentace bazálních ganglií.

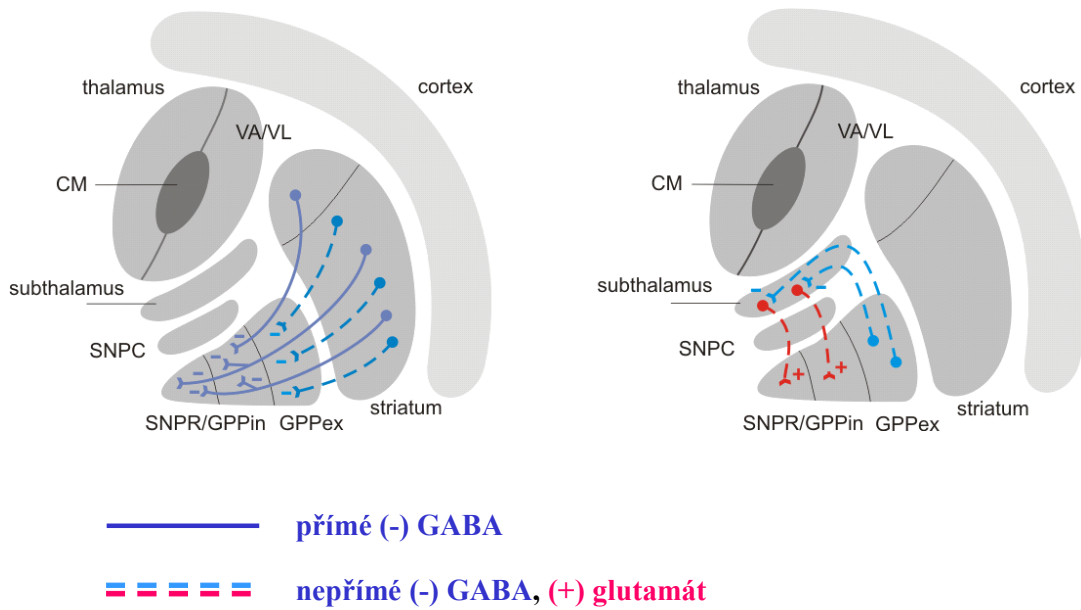
SPOJE MEZI BAZÁLNÍMI GANGLII

Neurony z ncl. caudatus a putamen mají projekci do obou segmentů globus pallidus a do pars reticulata v substantia nigra. Globus pallidus a substantia nigra mají spojení s ncl. subthalamicus. Většina výstupních informací z globus pallidus pars lateralis je určeny pro ncl. subthalamicus. Z tohoto jádra je naopak napojení do obou segmentů globus pallidus a do pars reticulata v substantia nigra.

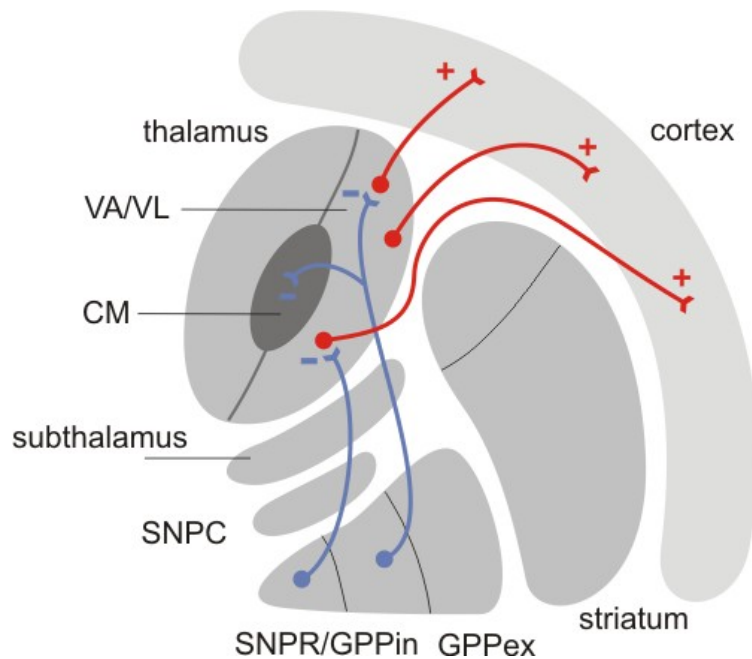
EFERENTNÍ SPOJE BAZÁLNÍCH GANGLIÍ

Výstupní informace z bazálních ganglií vycházejí převážně z globus pallidus pars medialis a z pars reticulata v substantia nigra a směřují do ncl. ventralis lateralis et ventralis anterior thalami. Mediální segment globus pallidus má navíc spojení s ncl. centromedianus. Neurony v ncl. ventralis lateralis et ventralis anterior thalami převádějí informace do prefrontálního a

premotorického kortexu.

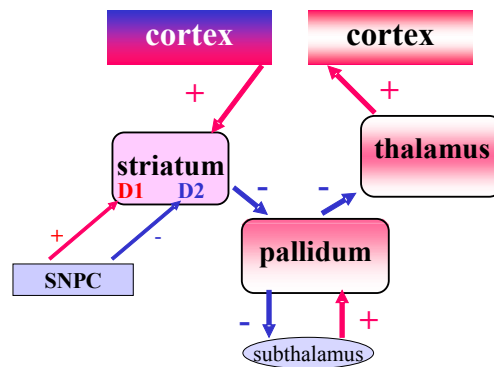


Obr. XX. Schéma hlavních vnitřních spojů bazálních ganglií (upraveno podle Stewarda 2000).



Obr. XX. Schéma hlavních eferentních spojů bazálních ganglií (upraveno podle Stewarda 2000).

Axony vystupující z globus pallidus a vstupující do thalamu se podstatnou měrou podílejí na tvorbě bílé hmoty, která je označována jako ansa lenticularis a fasciculus lenticularis. V blízkosti thalamu se oba svazky spojují a vytvoří útvar označovaný jako fasciculus thalamicus.

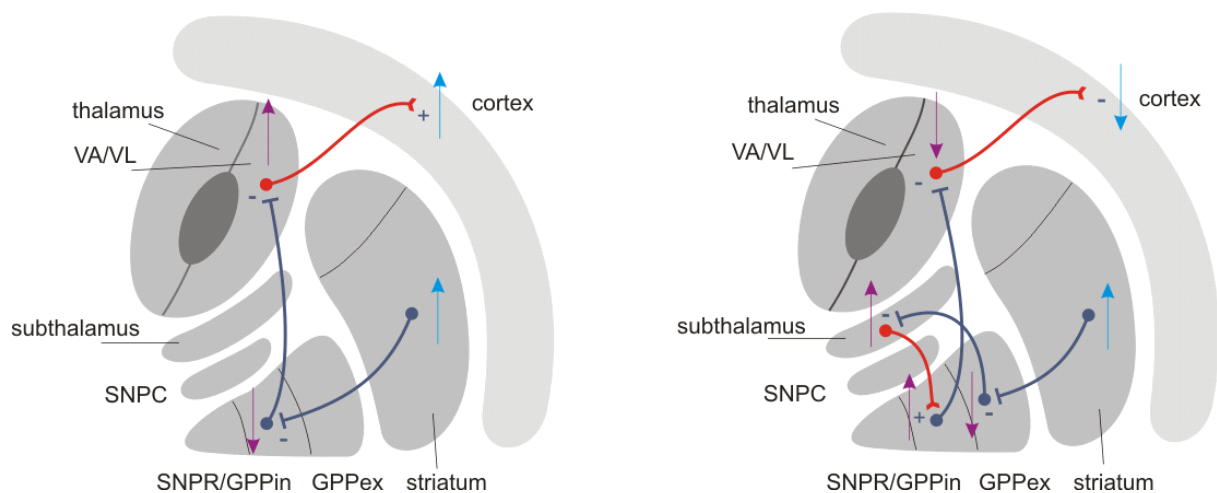


Obr. XX. Zjednodušené schéma spojů bazálních ganglií

OBECNÉ SCHÉMA FUNKČNÍCH SPOJŮ BAZÁLNÍCH GANGLIÍ

přímé striatopallidální dráhy

nepřímé striatopallidální dráhy



Obr. XX. Schéma výsledného působení přímé a nepřímé striatopallidální dráhy.

Při funkčním výkladu složitých spojení bazálních ganglií lze vycházet ze zjednodušeného schématu .

Specifické kortikální oblasti mají excitační projekce (glutaminergní) do struktur striata, která jak již bylo uvedeno představují vstupní jádra bazálních ganglií. Striatum má spojení s oběma částmi pallida (pars externa i interna), odtud jde informace do thalamu (ncl. ventralis anterior a ventralis lateralis thalami). Tyto spoje jsou GABAergní a mají inhibiční efekt.

Svazek axonů z ventrální části GP tvoří **ansa lenticularis** a z dorzálních neuronů GP jdou axony tvořící **fasciculus lenticularis** - oba se spojují a tvoří **fasciculus thalamicus**. Z ncl. ventralis anterior th. jdou axony převážně do premotorické kůry a z ncl. ventralis lateralis th. do motorické kůry, které mají spojení se striatem.

SPOJE FUNKČNÍCH SMYČEK BAZÁLNÍCH GANGLIÍ

V současné době se ukazuje, že spojení struktur bazálních ganglií je organizováno do **vzájemně nezávislých okruhů (smyček)**, které se uplatňují v konkrétních funkcích. Předpokládá se, že pro jednotlivé nezávislé funkční smyčky existují ve strukturách bazálních ganglií k tomu vyčleněné skupiny neuronů.

Ze zjednodušeného schématu spojení můžeme odvodit čtyři funkční smyčky bazálních ganglií, které zde uvádím pro ilustraci a pochopení funkce bazálních ganglií.

Motorická smyčka

Z motorického, premotorického, ale také ze somatosenzorického kortexu existuje ipsilaterální projekce do putamen a odtud přes GPpl do GPpm (s významnou větví do FR). Z GPpm se dostávají zpracované informace přes ncl. ventralis ant. et lat. thalami (ventrolaterální thalamus) zpět do motorické a premotorické kůry. Všechny spoje jsou somatotopicky uspořádané.

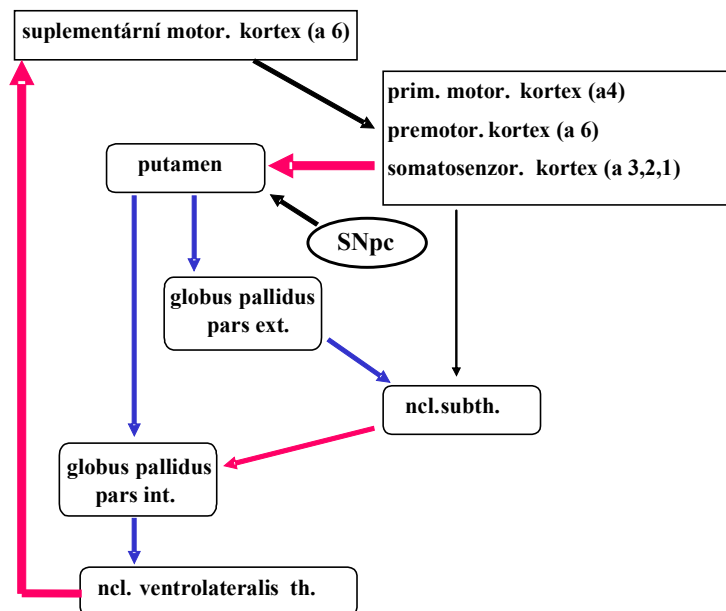
Uvedená spojení zabezpečují zpracování impulsů určených pro kontrolu svalů končetin a trupu. Je důležité si uvědomit, že vlastní povel k akci svalů zabezpečuje **tr. corticospinalis** a **tr. reticulospinalis**.

Základní propojení bazálních ganglií v klidu a při pohybu

V klidu

Nigrostriatická dráha je spontánně aktivní, tato aktivita je dostatečná pro uklidnění striata.

Rovněž neurony obou částí pallida jsou spontánně aktivní na úrovni, která je dostatečná pro klid v ncl. ventrolateralis thalami a ncl. subthalamicus, což se projevuje i v klidu motorického a suplementárního motorického kortexu.



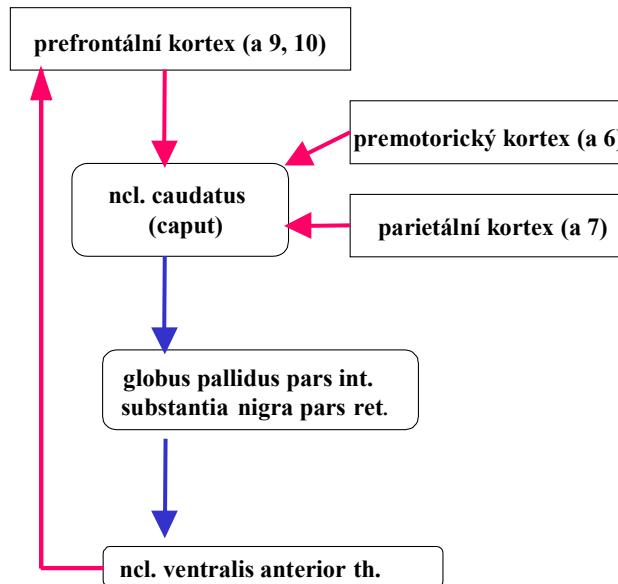
Obr. XX. Motorická smyčka.

Během pohybu

Somatotopicky uspořádaná **skupina striatálních neuronů se stává aktivní** a tím **odpovídající neurony pallida jsou více inhibovány**. Výsledkem je zrušení inhibice (disinhibice) odpovídající oblasti ncl. ventrolateralis thalami se zahájením excitace motorického kortexu a suplementárního motorického kortexu. Ncl. subthalamicus je rovněž stimulován přímo z kortexu a v závislosti na aktivitě globus pallidus pars lateralis (GPpl) může ncl. subthalamicus modulovat výstup z globus pallidus pars medialis (GPpm).

Během provedení pohybu, odpovídající neurony bazálních ganglií mohou snižovat nebo zvyšovat svůj potenciál. Snížení potenciálu (discharge) u neuronů GPpm/SNpr má značný význam pro kontrolu pohybu, protože vytváří disinhibici jader ventrolaterálního thalamu a tak usnadňují kortikálně iniciovaný pohyb přes excitační thalamokortikální spoje. Při zvýšení napětí v neuronech GPpm/SNpr dochází k opačné reakci jader ventrolaterálního thalamu. Ukazuje se, že v GPpm/SNpr patrně existují oddělené soubory neuronů, které přímou nebo nepřímou cestou mají vliv na vytváření motorických vzorců.

Stimuly pro spuštění pohybu se objevují v kortexu o něco dříve než v subkortikálních strukturách motorických okruhů bazálních ganglií. Současné znalosti o bazálních gangliích ukazují, že senzorio-motorické smyčky se podílejí nejen na kontrole pohybů, ale i na jejich přípravě.



Obr. XX. Asociační (prefrontální) smyčka.

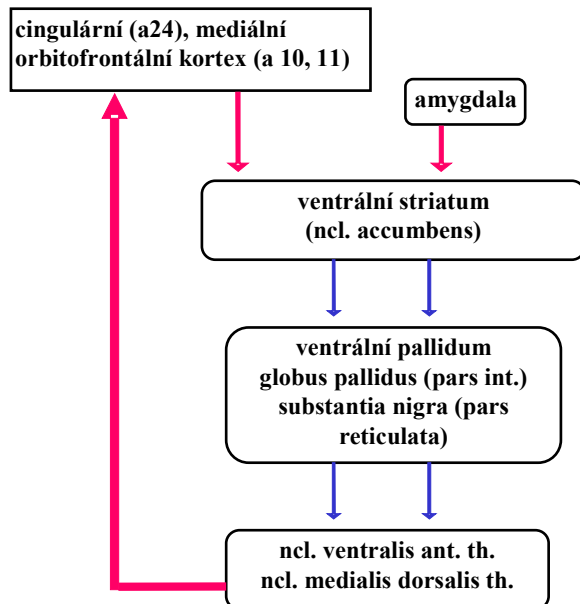
Asociační (prefrontální) smyčka

Informace vychází z asociačního kortexu prefrontálního (a 9,10), orbitofrontálního, parietálního, okcipitálního a temporálního laloku, včetně premotorického kortexu (a6). Primární projekce existuje do ncl. caudatus s odbočkou pro motoriku mozkového kmene, která zahrnuje spoje přes GPpm a SNpr na FR a tectum mesencefala. Přeš ncl. ventralis anterior thalami jde hlavní trasa do prefrontální kůry a odtud do motorické kůry. Provedení pohybu se děje prostřednictvím tr. corticospinalis, tr. reticulospinalis a tr. tectospinalis. Funkce smyčky je komplikovaná, mimo jiné ovlivňuje také naši prostorovou paměť.

Limbecká smyčka

Začíná v předním cingulárním kortexu (a24), mediálním orbitofrontálním kortexu (a 10,11) a v amygdalárním jádře a přeš ncl accumbens (ventrální striatum) a ventrální pallidum se napojuje na jádra thalamu (ncl. ventralis ant. a ncl. medialis dorsalis thalami) odkud je

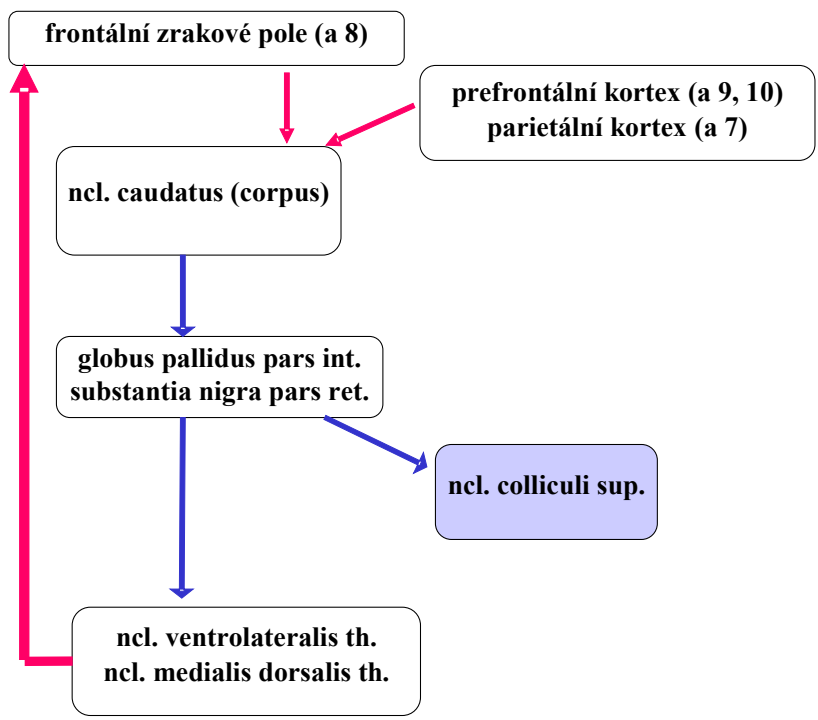
projekce do premotorické kůry. Touto cestou jsou organizovány motorické projevy emocí, agresivní nebo submisivní postoje, gesta a smích apod.



Obr. XX. Limbická smyčka.

Okulomotorická smyčka

Informace vychází z vizuálního asociačního kortexu, z premotorické frontální kůry a zrakového okohybného pole. Po přepojení ve striatu jsou informace vedeny přes substantia nigra pars reticulata (SNpr) do ncl. ventrolateralis a z tohoto jádra thalamu do frontálního okohybného pole. Ze SNpr existují významná odbočení do tecta. Provedení vlastních pohybů opět zabezpečují tr. corticospinalis a tr. reticulospinalis.



Obr. XX. Okulomotorická smyčka.