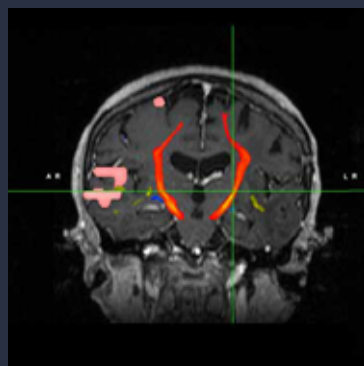
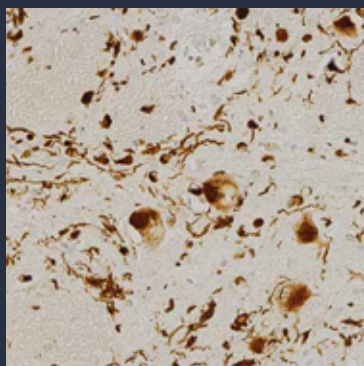
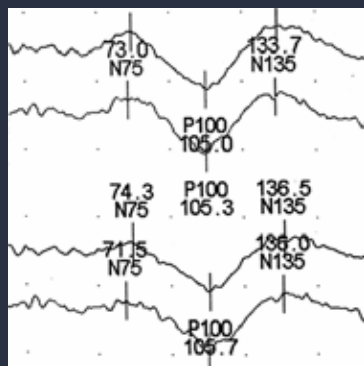
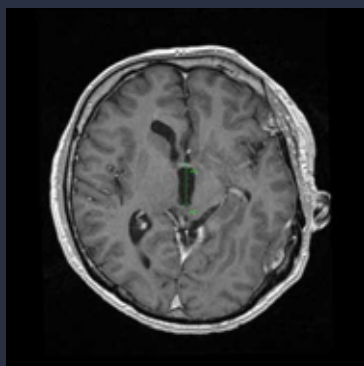
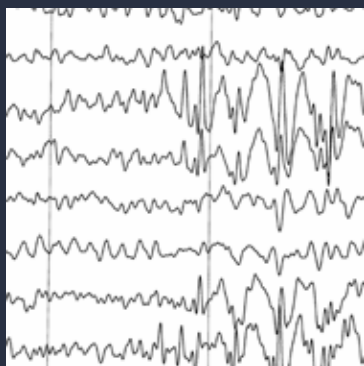
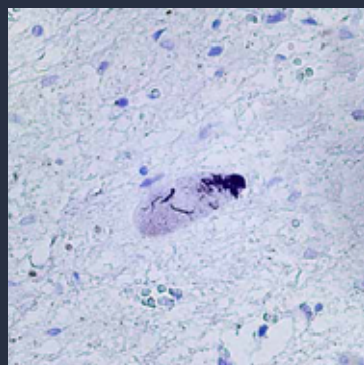
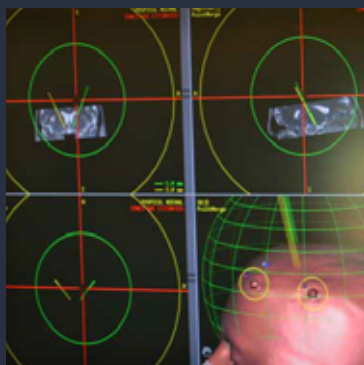
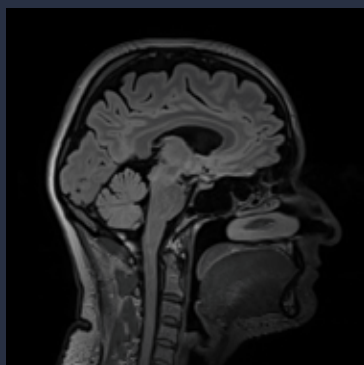
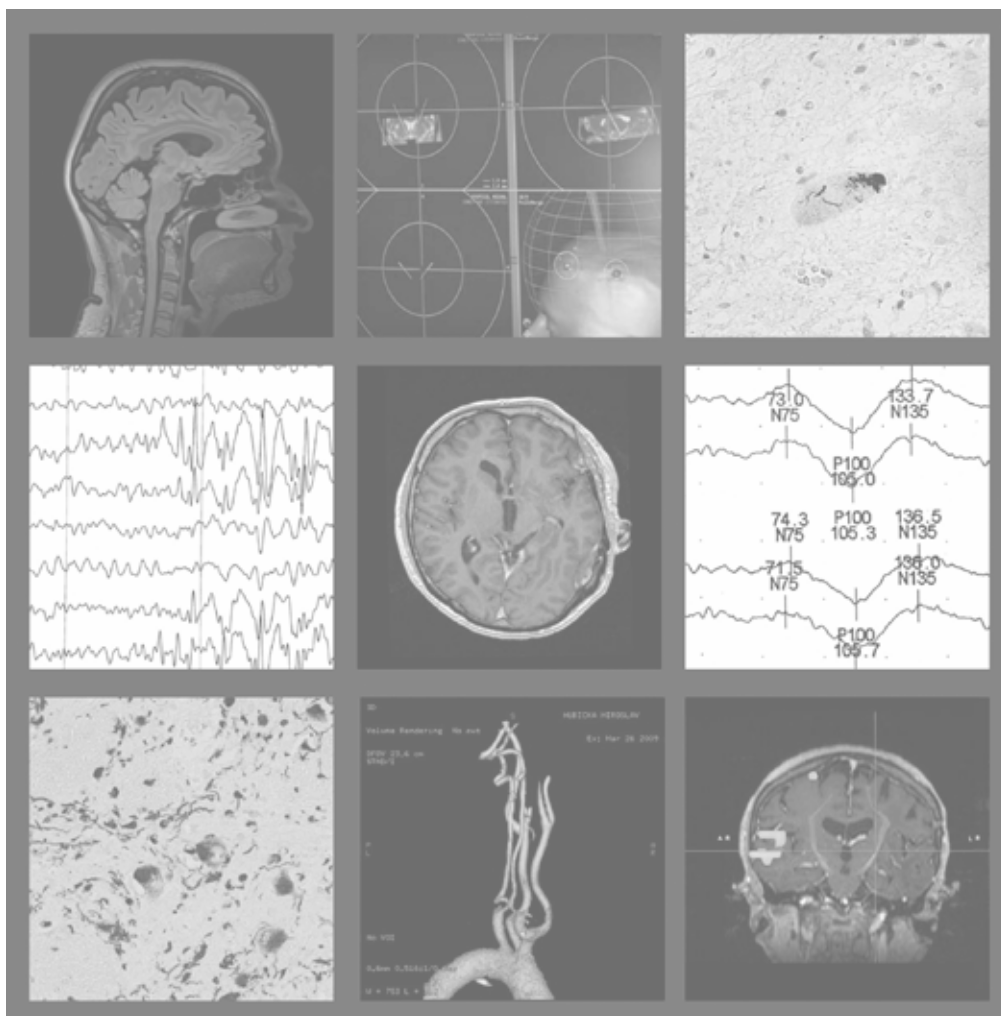


# OBEČNÁ NEUROLOGIE

A VYŠETŘOVACÍ METODY V NEUROLOGII





# OBEČNÁ NEUROLOGIE

A VYŠETŘOVACÍ METODY V NEUROLOGII

---

**PETR KAŇOVSKÝ, ANDREA BÁRTKOVÁ A KOL.**

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

2019

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

Vydání učebnice schválila Ediční komise Lékařské fakulty Univerzity Palackého.

**Editoři:**

Prof. MUDr. Petr Kaňovský, CSc., FEAN

MUDr. Andrea Bártková, Ph.D.

Prof. MUDr. Ing. Petr Hlušík, Ph.D.

Prof. MUDr. Jan Mareš, Ph.D., MBA

Prim. MUDr. Pavel Otruba, MBA

*Neurologická klinika LF UP a FN Olomouc*

**Recenzovali:**

Prof. MUDr. Egon Kurča, Ph.D., FESO

*Neurologická klinika JLF a UN Martin*

Prim. MUDr. Petr Ridzoň

*Neurologické oddělení Thomayerovy nemocnice Praha*

1. vydání

© Petr Kaňovský, Andrea Bártková, eds., 2019

ISBN 978-80-244-5489-4

# OBSAH

## OBECNÁ NEUROLOGIE

<u>1 Anatomicko-fyziologické poznámky</u> (Petr Kaňovský)	9
<u>2 Řízení motoriky</u> (Petr Kaňovský)	13
<u>3 Míšňní syndromy</u> (Petr Kaňovský)	33
<u>4 Kmenové syndromy</u> (Petr Kaňovský)	39
<u>5 Hlavové nervy</u> (Tomáš Veverka, Petr Kaňovský)	41
<u>6 Mozečkové syndromy</u> (Kateřina Menšíková, Petr Kaňovský)	55
<u>7 Poruchy kortikálních (symbolických) funkcí</u> (Miloslava Čecháčková)	59
<u>8 Periferní nervový systém</u> (Michaela Kaiserová)	71
<u>9 Nervosvalový přenos</u> (Pavel Otruba)	81
<u>10 Fyziologie a patofyziologie svalu</u> (Pavel Otruba)	85
<u>11 Senzitivní systém</u> (Pavel Otruba)	89
<u>12 Autonomní nervový systém</u> (Jaroslav Opavský)	95
<u>13 Bolest</u> (Jaroslav Opavský)	111
<u>14 Poruchy vědomí</u> (Andrea Bártková, Petr Kaňovský)	119
<u>15 Syndrom nitrolební hypertenze a hypotenze</u> (David Krahulík, Miroslav Vaverka, Martin Gabryš)	133
<u>16 Mozkové konusy</u> (David Krahulík)	137

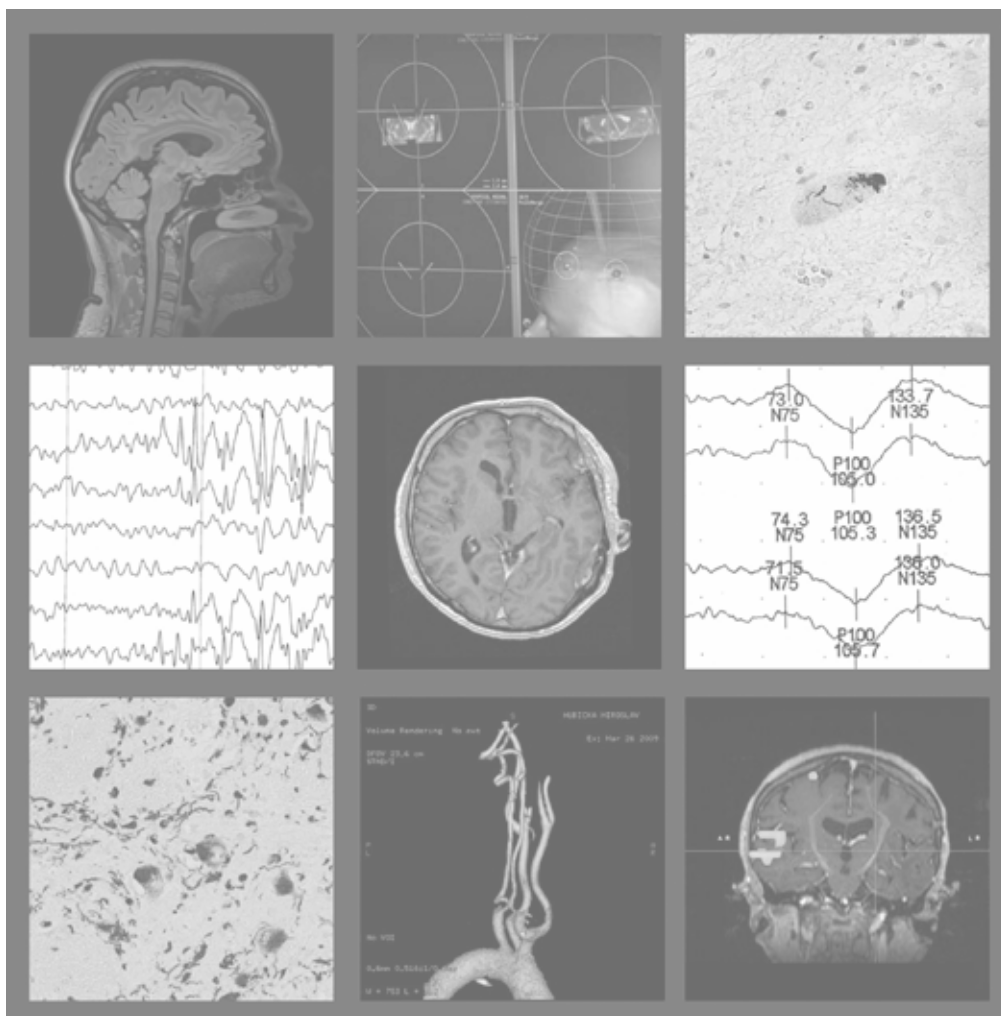
<a href="#">17 Meningeální syndrom</a>	<a href="#">139</a>
<i>(Petr Kaňovský, Andrea Bártková)</i>	
<a href="#">18 Likvor a poruchy likvorové cirkulace</a>	<a href="#">143</a>
<i>(Zuzana Matejíčková, Jan Mareš)</i>	
<a href="#">19 Základy vývojové neurologie</a>	<a href="#">151</a>
<i>(Jan Hálek)</i>	
<a href="#">20 Neurogenetika</a>	<a href="#">165</a>
<i>(Alena Šantavá)</i>	

## **VYŠETŘOVACÍ METODY V NEUROLOGII**

<a href="#">1 Zobrazovací metody v neurologii</a>	<a href="#">185</a>
<i>(Petr Hlušík, Stanislav Buřval)</i>	
<a href="#">2 Neurosonologie</a>	<a href="#">205</a>
<i>(Michal Král, Daniel Šaňák, Ivanka Vlachová, Bohdan Křupka, Roman Herzig)</i>	
<a href="#">3 Elektroencefalografie</a>	<a href="#">223</a>
<i>(David Franc, Jindřiška Burešová, Rostislav Mařák)</i>	
<a href="#">4 Elektromyografie</a>	<a href="#">235</a>
<i>(Zuzana Grambalová, Michaela Kaiserová)</i>	
<a href="#">5 Evokované potenciály</a>	<a href="#">249</a>
<i>(Igor Nestrašil, Pavel Otruba)</i>	
<a href="#">6 Likvorologie</a>	<a href="#">257</a>
<i>(Vladimíra Sládková, Jan Mareš)</i>	
<a href="#">7 Myoskeletální vyšetření v neurologii</a>	<a href="#">273</a>
<i>(Alois Krobot, Petr Kolář)</i>	
<a href="#">8 Vyšetření poruch vyšších korových funkcí</a>	<a href="#">293</a>
<i>(Miloslava Čecháčková, Lenka Dubová)</i>	
<a href="#">9 Vyšetření stoje a chůze</a>	<a href="#">301</a>
<i>(Miroslav Vašítk)</i>	
<a href="#">Použitá literatura</a>	<a href="#">311</a>
<a href="#">Seznam autorů a jejich pracovišť</a>	<a href="#">313</a>
<a href="#">Rejstřík</a>	<a href="#">315</a>

# OBEČNÁ NEUROLOGIE

---





# 1 ANATOMICKO-FYZIOLOGICKÉ POZNÁMKY

Petr Kaňovský

Nervový systém člověka je tvořen dvěma hlavními třídami buněk: neurony a glií. Podle anatomických údajů obsahuje mozek asi  $10^{11}$  neuronů. Činnost nervové soustavy je potom založena na tom, jakými spoji jsou tyto neurony spojeny ve funkční jednotky nazývané neuronální okruhy. Buněk glie je zhruba pětinašobek ve srovnání s neuronálními buňkami. Anatomicky a histologicky se glie dělí na makroglia a mikroglia, přičemž k makroglia jsou počítány oligodendrocyty, astrocyty a Schwannovy buňky. Mikroglie je v podstatě vytvářena makrofágy, které se nacházejí mimo nervový systém, a je mobilizována a do nervové soustavy cestuje v případě poranění, infekce nebo při jiném poškození nervové soustavy.

Gliové buňky mají řadu důležitých pomocných funkcí, které umožňují signální funkci neuronů. Vytvářejí oporný systém pro neuronální buňky a zároveň efektivně oddělují jednotlivé části neuronálního systému, zejména izolují chemické synapse (viz dále) od okolí. Z dalších funkcí glie lze uvést, že glie obecně řídí směr růstu neuronů, oligodendroglie produkuje myelin v centrálním nervovém systému (multicelulárně, tzn. jedna buňka pro vlákna až desítek neuronů), Schwannovy buňky produkují periferní myelin (unicelulárně, tzn. jedna Schwannova buňka pro jeden neuron), astroglie se podílí na tvorbě hematoencefalické bariéry a v podstatě všechny buňky glie (kromě Schwannových) odstraňují přebytečné transmytery. Nelze nezmínit podíl glie i na fungování synapsí (vytváří iontový gradient) a výživě neuronů.

Základní celulární funkční jednotkou nervové soustavy je neuron, který obstarává tvorbu, zpracování a transfer signálu. Celá stavba a buněčný metabolismus neuronu jsou tedy vytvářeny tak, aby sloužily primárně této funkci. Neuron se skládá z těchto částí: soma, dendrity, neurit (axon) a jeho presynaptické zakončení. V somatu probíhají v mitochondriích a endoplazmatickém retikulu metabolické pochody nezbytné pro udržení funkce buňky, soma rovněž obsahuje jádro. Dendrity jsou strukturou, jíž se realizuje synaptické spojení s ostatními neurony a také slouží k aferentaci. Naopak eferentní funkce má axon, který předává vzruch generovaný neuronem pomocí presynaptického zakončení. Neuronální přenos se řídí dvěma základními biofyzikálními zákony – principem dynamické polarizace a principem konečné specifikity. Princip dynamické polarizace zajišťuje, aby se přenos vzruchu děl jednosměrně, akční potenciál je tak generován v iniciálním segmentu axonu a odtud je transferován k terminálnímu zakončení. Podle principu konečné specifikity neurony netvoří synapse náhodně.

Anatomicky jsou neurony klasifikovány do čtyř tříd: unipolární, bipolární, multipolární a pseudounipolární. Neurony unipolární mají jen jeden výběžek (dendrit nebo neurit) a necházejí se nejčastěji jako stavební jednotka autonomního nervového systému. Neurony bipolární mají jeden dendrit a jeden neurit, jejich představitelem jsou čichové buňky. U pseudounipolárních neuronů proběhla fúze dendritu a neuritu do takové formy, že se jeví jako jeden výběžek. Nejčastějším typem neuronů v nervovém systému jsou neurony multipolární, které mají několik dendritů a jeden neurit.

Signál je mezi jednotlivými neurony nebo neuronálními populacemi přenášen pomocí synapsí. U synapsí se rozlišují dva základní druhy: chemické a elektrické synapse. **Elektrické synapse** jsou v podstatě párem iontových kanálů v místě těsného kontaktu synabujících neuronů (tzv. gap junctions o šíři několika nanometrů), kanály se nazývají connexony a každý z nich je tvořen šesti

stavebními jednotkami nazývanými connexiny. Elektrická synapse umožňuje oboustranný přenos signálu, i když jednosměrné synapse se vyskytují také. Elektrické synapse většinou zajišťují rychlou synchronizaci skupin neuronů, většinou uspořádaných v kolumnách, které jsou základní jednotkou mozkového kortexu.

V případě **chemických synapsí** jsou komunikující části pre- a postsynaptického neuronu odděleny velmi úzkou synaptickou štěrbinou (přibližně 40 Å). Přenos je uskutečňován pomocí biologicko-chemického působku nazývaného neurotransmitter, a je tudíž pomalejší než v případě synapsí elektrických. Neurotransmitery jsou syntetizovány v somatech neuronů, jsou skladovány ve vezikulách v cytoplazmě neuronu a vážou se na receptory lokalizované na membráně postsynaptického neuronu. Neurotransmitery způsobují prostřednictvím reverzibilní vazby na receptory jim příslušný efekt, tj. depolarizaci nebo jiný děj v postsynaptickém neuronu. Poté, co jsou uvolněny z vazby na receptor, jsou ze synaptické štěrbin odstraněny pomocí specifických enzymů, kterými jsou metabolizovány.

V současnosti se neurotransmitery klasifikují na dvě skupiny, a to na látky s malou molekulou a na neuroaktivní peptidy. Do první skupiny se řadí tyto látky: acetylcholin, dopamin, noradrenalin, adrenalin, serotonin, histamin, GABA, glycin a glutamát. Neuroaktivních peptidů bylo popsáno již více než padesát, do této skupiny se řadí hormony hypotalamické (např. TSH, FSH, STH), hormony hypofyzární (např. ACTH a prolaktin), neurohypofyzární (oxytocin a vazopresin), peptidy gastrointestinálního traktu (např. substance P), opioidy (např. dynorfin) a řada dalších ubikvitárně přítomných peptidů.

Z makroskopického hlediska nervový systém tvoří dvě základní anatomické a funkční části: **periferní a centrální nervový systém**. Centrální nervový systém se anatomicky v kaudokraniálním směru dělí na sedm oddílů: spinální míchu, prodlouženou míchu, Varolův most a střední mozek – mezencefalon (poslední tři se souhrnně označují jako mozkový kmen), mozeček, mezimozek – diencefalon a telencefalon (také mozkové hemisféry).

**Spinální mícha** představuje nejjednodušší součást CNS. Prochází jí dráhy zajišťující aferenci z povrchu těla (kromě hlavy) a neurony zajišťující volní a reflexní hybnost. Je tvořena šedou hmotou (přední a zadní rohy) a bílou hmotou (longitudinální ascendentní a descendentní dráhy). Dále obsahuje interneurony zabezpečující reflexní okruhy a jejich vzájemnou modulaci. Z míchy vystupuje 31 párů ventrálních a dorzálních míšních kořenů, které se spojují v míšní nervy.

**Mozkový kmen** tvoří anatomicky do jisté míry pokračování míchy a vystupuje z něj dvanáct párů hlavových nervů (analogických k nervům míšním). Mozkový kmen zajišťuje ovládnutí motoriky a citlivosti hlavy a krku. Kmenem rovněž procházejí senzory informací z oblasti některých smyslů, především sluchu, rovnováhy, chuti a zčásti zraku – výjimku tvoří čich, jehož jediná aference probíhá mimo kmen i talamus. Kmen také zabezpečuje vegetativní (parasympatickou) regulaci v dutině hrudní a břišní mimo pánev, včetně řízení respirace a kardiovaskulárního systému. Retikulární formace mozkového kmene dostává paralelně prakticky všechny aferentní informace a je důležitá pro udržení bdělosti (vigility).

**Mozeček** se podílí na udržování vzpřímeného stoje a rovnováhy, koordinaci pohybů (včetně jemných pohybů a časování), učení se složitějším motorickým dovednostem, ale i na mechanismu řeči a dalších kognitivních funkcích. Dostává aferenci z proprioreceptorů, vestibulárního ústrojí a motorického kortexu.

**Diencefalón** má dvě části – talamus a hypotalamus. Přes **talamus** míří do kortexu všechny senzitivní a senzory informací (kromě čichových), přičemž talamus tyto informace moduluje a rozhoduje o tom, zda budou zpracovány na vědomé úrovni. Dále talamus integruje motorické informace z mozečku a bazálních ganglií a převádí je do motorického kortexu a jeho část navazující na retikulární

formaci kmene se podílí na udržování bdělosti. Funkcí **hypotalamu** je řízení autonomních funkcí souvisejících s homeostázou a reprodukcí, řízení žláz s vnitřní sekrecí (prostřednictvím hypofýzy), je také důležitou součástí motivačního systému a řídí cirkadiánní cyklus.

**Telencefalon** představuje fylogeneticky a ontogeneticky nejrozvinutější etáž nervové soustavy. Anatomicky je tvořen dvěma mozkovými hemisférami. Každá z nich se skládá ze čtyř mozkových laloků: frontálního (čelního), temporálního (spánkového), parietálního (temenního) a okcipitálního (týlního). Někdy jsou jako samostatné laloky uváděny lobus insulae, který je uložen v hloubi Sylviovy rýhy a překryt operkulem, a dále gyrus cinguli. Hemisféry jsou tvořeny **kůrou (kortexem)** a **podkóřím**. Většina aferentních i eferentních drah hemisfér se kříží, takže pravá polovina těla a prostoru je hodnocena a ovládána zejména kontralaterální (levou) hemisférou. U přibližně 95 % lidí je dominantní levá mozková hemisféra. Většina řečových funkcí je ovládána dominantní hemisférou, některé aspekty řeči (zejména afektivní komponenta a prozodie) jsou ale lokalizovány v hemisféře nedominantní. Při postižení dominantní hemisféry ve věku do osmi let je nedominantní hemisféra schopna převzít řečové funkce. Kůra obsahuje odhadem 10–30 miliard neuronů a pětinasobné množství gliálních buněk, celková plocha kortexu je 4 000 cm<sup>2</sup>. Na základě histologických charakteristik se korová oblast dělí podle Brodmanna do 52 arejí číslovaných arabskými číslicemi (viz obr. 1). Fylogeneticky se dělí na novější **neokortex (isocortex)**, který má uniformní histologickou skladbu, a fylogeneticky starší **allocortex** zahrnující hipokampus a čichovou kůru. Isocortex organizuje i aferentaci a eferentaci. Skládá se z šesti histologických vrstev; směrem dovnitř je to molekulární (plexiformní), zevní granulární, zevní pyramidová, vnitřní granulární, ganglionární (vnitřní pyramidová) a multifonní (fuziformní) vrstva. V podstatě však existují dva hlavní histologické typy isocortexu: **homotypický**, ve kterém jsou jednotlivé vrstvy dobře rozpoznatelné, a **heterotypický** s méně výrazným odlišením vrstev. Základní typy neuronů v kortexu jsou dva: projekční neurony, které mají pyramidový tvar, jsou lokalizovány ve vrstvách III, V a VI, projikují mimo kortex a jsou převážně excitací, a lokální interneurony, které jsou ve všech vrstvách a jsou převážně inhibiční. Vertikálně jsou neurony uspořádány ve sloupečcích – kolumnách.

Dle **lokalizacionistického pojetí (Gall)** je sídlem chování mozek. Určité oblasti mozku kontrolují určité specifické funkce a oblast kontrolující určitou funkci se dynamicky rozšiřuje s častějším používáním, což je základem plasticity. Před sulcus centralis v oblasti gyrus precentralis je lokalizováno primární motorické centrum s typickou somatotopickou reprezentací (motorický homunkulus). Obdobně v oblasti za sulcus centralis v gyrus postcentralis je somatotopicky reprezentováno primární somatosenzitivní centrum (somatosenzitivní homunkulus). Korová reprezentace zraku je v okcipitálním laloku a sluchu v temporálním laloku. Informace z primárních korových senzitivních, sensorických a motorických center je dále zpracována v asociačních oblastech, které jsou specifické pro určitou modalitu a které jsou uloženy v sousedství primárních center (také **unimodální asociační oblasti**). Informace z unimodálních senzitivních a sensorických oblastí je dále integrována v **polymodálních asociačních oblastech**, kde dochází k integraci informací různých modalit. Existují tři hlavní polymodální asociační oblasti: **zadní** (na pomezí parietálního, temporálního a okcipitálního laloku), kde dochází k syntéze sensorických informací nezbytných pro řeč, dále **limbická** (na mediální ploše temporálního laloku a hemisféry: hipokampus, gyrus parahippocampalis, amygdala, gyrus cinguli) významná pro paměť a emoce a **přední** (v prefrontálním kortexu) důležitá pro plánování pohybu.

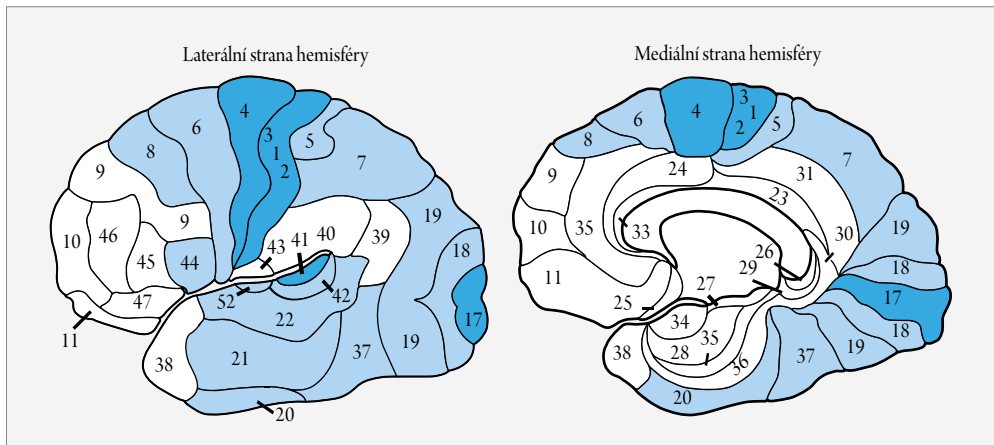
Každá funkce, např. řeč, má modulární uspořádání. Každý, i složitý psychický proces, lze rozložit do jednodušších operací. Jednotlivé oblasti mozku se zabývají elementárními procesy, které probíhají jak paralelně, tak sériově.

Principy organizace funkčních systémů lze shrnout do několika bodů:

1. Každý funkční systém zahrnuje několik anatomických oblastí mozku, které provádějí odlišný typ zpracování informace. Jedna anatomická struktura CNS je obvykle součástí více funkčních systémů (např. zadní rohy míšního, talamus).
2. Axony spojující dvě součásti funkčního systému tvoří svazky (dráhy), které jsou v každém mozku lokalizovány přibližně stejně.
3. Při přenášení informace různými etážemi CNS dochází k zachování topografické reprezentace (mapy) – somatotopického uspořádání v oblasti senzitivního či motorického kortexu, retinotopického uspořádání ve zrakové kůře, tonotopického uspořádání ve sluchové kůře. Tyto mapy reprezentují nejen lokalizaci receptorů či efektorů, ale i jejich denzitu či funkční význam.
4. Funkční systémy jsou organizovány hierarchicky. Informace uvnitř funkčních systémů je zpracována jak sériově, tak paralelně.
5. Funkční systémy jedné poloviny mozku obvykle řídí opačnou polovinu těla.

Přerušením spojení mezi oběma hemisférami vznikají **interhemisferální dyskonekční syndromy**, poruchou intrahemisferálních asociačních drah pak **intrahemisferální syndromy**. Tyto jsou, stejně jako **hemisferální syndromy**, popsány v samostatné kapitole.

**OBR. 1. Označené Brodmannovy arey na laterální a mediální straně hemisféry.**



# 2 ŘÍZENÍ MOTORIKY

Petr Kaňovský

Jedním ze základních behaviorálních projevů lidského individua je pohyb – jakýkoliv pohyb, ať již statický, nebo dynamický. Lidé se pohybují stále – chodí, vstávají, vykonávají vysoce specializované činnosti. I v situaci, kdy jedinec setrvává v tzv. klidu, je fakticky v pohybu – u ležícího, spícího individua fungují reflexní mechanismy, které řídí napětí a délku svalu a upravují postavení lidského těla tak, aby co nejlépe odpovídalo konkrétní situaci a konkrétnímu prostředí.

Veškerý lidský pohyb je řízen motorickými částmi (nebo funkcemi) centrálního nervového systému. Lze tedy říci, že veškerý pohyb řídí motorický systém. Je to však značně simplifikující konstatování. Motorický systém sám o sobě není schopen žádného řízení, jeho intrinsické mechanismy nejsou žádným způsobem nastaveny na generaci impulzů směrem k efektorům, které by nepředcházela jakási iniciace. Touto iniciací je informace, ať již z vnějšího nebo vnitřního prostředí, která po svém příchodu do integrujících oblastí CNS spustí motorický proces.

Z předchozí věty vyplývá, že veškerá motorika je ve své podstatě dějem reflexním a nezáleží na tom, zda se jedná o nejprimitivnější monosynaptický míšní reflex nebo o složitou multisynaptickou architekturu sofistikovaných vysoce specializovaných pohybů.

V tomto duchu je nutno motorický děj a motorické struktury chápat. Samy o sobě neznamenají nic. Jsou schopny fungování pouze na základě informace, která je k nim dopravena a která je zpracována v tzv. integrujících strukturách. V tomto kontextu není důležité, zda informaci je senzorický vstup nebo tzv. „vnitřní“ povel generovaný pravděpodobně v nemotorických strukturách CNS.

Je tedy otázkou, zda vůbec můžeme motorický systém z komplexní struktury CNS abstrahovat. Zda můžeme považovat centrální struktury, které se tradičně označují jako motorické, za něco, co lze samostatně popisovat a zkoumat. Zda při popisu fyziologických mechanismů lidské motoriky není nezbytné rovněž zmínit senzorické a především somatosenzorické struktury, které se procesu řízení motoriky účastní.

## 2.1 Motorické systémy účastníci se regulace motoriky

Motorický systém volní motoriky lze (paradoxně) popsat jednodušším způsobem než senzorické systémy v motorice zapojené.

### 2.1.1 Pyramidový systém

Primárním motorickým systémem je systém pyramidový. Pyramidovým je nazýván proto, že jeho podstatou jsou tzv. pyramidové dráhy. Jedná se o dvouneuronové dráhy, jejichž název se odvozuje od velkých motorických (tzv. pyramidových) buněk třetí a páté vrstvy senzomotorického kortexu (area 1 a 3 podle Brodmanna). První neuron vede z kortexu směrem distálně, kříží se na úrovni kmene v decussatio pyramidorum a zakončuje se na tělech alfa-motoneuronů předních rohů míšních. Alfa-motoneu-

rony předních rohů míšních tvoří vlastně tělo druhého neuronu dráhy, který opouští míchu předními míšními kořeny, spojuje se se zadními ve společném míšním kořenu a spoluvytváří další větvení, tedy periferní nervy. Zakončuje se synaptickým knoflíkem, který vytváří presynaptickou část nervosvalové ploténky (neuromuskulární funkce) extrafuzálních vláken. Pyramidový systém sám o sobě je velmi jednoduchý, „přímočarý“, nicméně je jak na úrovni kortikální, tak na úrovni míšní zpětnovazebně kontrolován. Na úrovni kortikální slouží ke kontrole volní motoriky tzv. motorické okruhy, přímý a nepřímý (viz dále), které jsou tvořeny kromě kortexu ještě extrapyramidovými strukturami a talamem, přičemž významnou roli má aferentní informace přicházející z mozečkových jader. Na úrovni míšní slouží ke kontrole volní motoriky tzv. gama-systém založený na existenci gama-motoneuronů, menších motorických neuronů, které jsou uloženy v předních rozích míšní šedi. Gama-motoneurony motoricky inervují intrafuzální vlákna svalových vřetének, a to jak jaderných řetězců, tak i jaderných vaků. Tím je ovlivňováno klidové „předpětí“ svalu (viz dále) a aferentace cestou mohutných Ia aferentních vláken. Tato vlákna nicméně vysílají kolaterály, které přes interneurony ovlivňují pálení alfa-motoneuronů předních rohů míšních, a tím ovlivňují sílu volní svalové kontrakce.

### 2.1.2 Extrapyramidový systém

Extrapyramidový systém se skládá ze struktur, které jsou primárně zapojeny v motorice, ale nejsou součástí systému pyramidového. Název je jistě etymologicky i fenomenologicky nesprávný, ovšem vzhledem k jeho dlouhodobé existenci, tradici jeho užívání a srozumitelnosti se i dnes v řadě učebnic používá.

K extrapyramidovému systému se řadí jak struktury kortikální, tak i subkortikální a kmenové. Tyto struktury vytvářejí tzv. motorické okruhy, přímý a nepřímý (viz dále). Z kortikálních struktur se k extrapyramidovému systému řadí premotorický kortex, což je vlastně suplementární motorická area (SMA) v obou svých částech (tzv. SMA-proper a pre-SMA). Hlavní částí systému jsou subkortikální bazální ganglia, která tvoří striatum a pallidum. Striatum má dvě jádra, nucleus caudatus a putamen, a pallidum rovněž dvě, globus pallidus medialis a globus pallidus lateralis. Dále je někdy k bazálním gangliím řazen nucleus subthalamicus (Luysi), avšak některé neuroanatomické učebnice řadí toto jádro spíše ke kmenovým součástem extrapyramidového systému. Nepochybnou součástí jsou ovšem substantia nigra v mezencefalu a podobně uložený nucleus ruber. K bazálním gangliím je řazena ještě laterálně v hemisféře uložená struktura s názvem claustrum, její funkční význam a zapojení v systému však nejsou zatím vůbec objasněny. Významnější role v motorice se ale této struktuře nepřikládá.

Z dalších částí centrální nervové soustavy se v extrapyramidových motorických okruzích účastní některá jádra talamu, především nucleus ventromedialis (tzv. ViM jádro), a patrně i ventroorální jádra nespecifického talamu, ta ale méně významně.

Motorické okruhy tvoří reverberační systém. Extrapyramidové struktury nemají vlastní eferentní (a koneckonců ani aferentní) dráhy. Aferentace přichází cestou kortikostriálních projekcí a projekcí do talamu. Jako eferentní výstup jsou používány dráhy, které začínají v jiných strukturách, jako např. tractus reticulospinalis, tractus olivospinalis a další.

## 2.2 Senzorické systémy účastníci se regulace motoriky

### 2.2.1 Somatosenzorické systémy

Somatosenzorické systémy přinášejí (z hlediska motoriky nebo senzomotorické integrace) patrně nejdůležitější informace. Kromě informací o kvalitě vnějšího prostředí, v němž se jedinec pohybuje,

přinášejí i informace o aktuálním funkčním stavu efektorů nezbytných k vykonání pohybu – kosterní soustavě, svalech a šlachách. Informace vnější jsou přenášeny tzv. exteroceptivním systémem, informace vnitřní a viscerosenzitivní systémem propioceptivním.

### 2.2.2 Exteroceptivní somatosenzorický systém

Hlavními strukturami, které zajišťují fungování exteroceptivního systému, jsou spinotalamické dráhy, i když část informací přenášejí i zadní míšní provazce.

Spinotalamické trakty jsou z anatomického hlediska (podle uložení v míše) dva – přední (tractus spinothalamicus anterior) a postranní (tractus spinothalamicus lateralis).

### 2.2.3 Přední spinotalamický trakt

Prvními neurony (z centripetálního pohledu) jsou pseudounipolární buňky spinálních ganglií. Jejich středně silná myelinizovaná periferní vlákna vedou taktilní a nediferencované tlakové senzace z kožních receptorů, jako jsou vlasové buňky a taktilní tělíska. Centrální výběžky zmíněných neuronů procházejí přes zadní kořeny míšni do oblasti zadních míšních rohů. Zde vysílají kolaterály do 2–15 míšních segmentů kranálně a do 1–2 segmentů kaudálně, přičemž v celé této řadě segmentů se napojují na těla dalších neuronů v zadních míšních rozích. Tyto neurony tvoří tzv. druhý neuron dráhy. Jejich neurity potom kříží střední rovinu v oblasti přední komisury míšni před centrálním kanálkem, dostávají se na opačnou stranu míchy a v přední části míšni pokračují vzhůru v oblasti předních provazců míšních. Takto vedou až do oblasti specifického talamu, kam vcházejí společně s laterálním spinotalamickým traktem a mediálním lemniskem, a zakončují se na tělech dalších neuronů v oblasti ventro-postero-laterálního (VPL) jádra talamu (nucleus ventrocaudalis externus podle Hasslera). Talamické neurony v tomto jádře tvoří tzv. třetí neuron této dráhy. Dráha dále pokračuje v neuritech talamických neuronů jako tractus thalamocorticalis přes crus posterior capsulae internae až do oblasti kortexu, kde se zakončuje převážně v oblasti gyrus postcentralis (arey 3a, 3b, 2 a 1 podle Brodmanna).

### 2.2.4 Laterální spinotalamický trakt

Prvními neurony této dráhy (z centripetálního pohledu) jsou stejně jako v případě předního traktu pseudounipolární neurony spinálních ganglií. Receptory periferních výběžků těchto buněk jsou volná kožní nervová zakončení. Periferními výběžky jsou tenká, málo myelinizovaná vlákna A a téměř nemyelinizovaná vlákna C. Centrální výběžky pseudounipolárních neuronů vcházejí do míchy v laterální části zadních míšních kořenů. V oblasti zadních míšních rohů se dělí na krátké longitudinální kolaterály, které se v oblasti maximálně dvou sousedících segmentů napojují na těla buněk v oblasti substantia gelatinosa Rolandi v zadních míšních rozích (lamely VII–IX podle Rexeda). Neurony v oblasti substantia gelatinosa Rolandi tvoří tzv. druhý neuron laterálního spinotalamického traktu. Axony těchto neuronů také překračují střední rovinu v oblasti commissura anterior, dostávají se do oblasti postranních provazců míšních a bez přerušení pokračují až do talamu. Společně s vlákny předního spinotalamického traktu a mediálního lemnisku vstupují do specifického talamu a zakončují se na tělech neuronů v oblasti ventro-postero-laterálního (VPL) jádra talamu (nucleus ventrocaudalis externus podle Hasslera). Neurony v oblasti VPL jádra tvoří tzv. třetí neuron této dráhy. Jejich neurity probíhají cestou talamokortikální dráhy v oblasti crus posterior capsulae internae do kortexu, kde se zakončují převážně v oblasti gyrus postcentralis (arey 3a, 3b, 2 a 1 podle Brodmanna).

Obě popsané dráhy vedou již zmíněné, zejména povrchové, senzace ze svých receptorů – taktilní a lehké tlakové podněty, pocity tepla a chladu a povrchovou bolest. Oba trakty se zakončují převážně v oblasti Brodmannových arejí 3a, 3b, 2 a 1 v oblasti gyrus postcentralis, avšak část vláken se zakončuje i na tělech neuronů v precentrálním gyru (area 4 podle Brodmana). Překrývání funkčních oblastí sensorických a motorických v oblasti kolem centrálního sulku je známé již delší dobu. Je rovněž jedním z důvodů diskuze o senzomotorické integraci.

### 2.2.5 Proprioceptivní somatosenzorický systém

Hlavními strukturami, které zajišťují fungování proprioceptivního somatosenzorického systému, jsou dráhy spinocerebelární a dráhy nazývané zadní provazce míšní. Společnými receptory (tzv. proprioceptory) pro oba druhy drah jsou svalová vřetenka a šlachová tělíska, dále hluboké receptory v oblasti svalových fascií, kloubů a hlubších vrstev pojivové tkáně. Svalová vřetenka jsou tvořena tzv. intrafuzálními vlákny, která jsou dvojího typu – vlákna jaderných řetězců (tzv. nuclear chains) a vlákna jaderných vaků (tzv. nuclear bags). Svalová vřetenka reagují na změnu délky svalu. Golgiho šlachová tělíska jsou méně komplikované recepční orgány, které jsou uloženy mezi šlachovými vlákny a které rovněž reagují na změnu délky šlachy. Ostatní zmíněné proprioceptory jsou volná nervová zakončení, jež převážně vedou vjem hluboké bolesti. Sensorické impulzy ze svalových vřetének a šlachových tělísek vedou bohatě myelinizovaná velmi rychlá vlákna označovaná jako Ia nebo Ib, impulzy z ostatních proprioceptorů jsou vedeny pomalejšími, méně myelinizovanými vlákny třídy II.

### 2.2.6 Zadní spinocerebelární trakt

Receptory vláken této dráhy tvoří převážně svalová vřetenka a šlachová tělíska. Impulzy z receptorů vedou Ia vlákna, po vstupu do míchy v oblasti zadních rohů se dělí do několika kolaterál a jedna část z těchto kolaterál pokračuje k alfa-motoneuronům předních rohů míšních. Další, větší část vláken se zakončuje na tělech neuronů v oblasti tzv. Stilling–Clarkeova jádra. Takto se nazývá mediobazální oblast zadních rohů míšních, která se longitudinálně táhne od segmentu C8 až k segmentu L2. Neurony tohoto jádra jsou tzv. druhým neuronem této dráhy. Axony těchto neuronů již vytvářejí jednoduše provazec v zadní části míchy, jenž se nazývá zadní spinocerebelární trakt. Vlákna v traktu pokračují povrchově v oblasti posterolaterálních provazců až do oblasti dolního mozečkového pedunkulu, kudy vstupují do mozečkové kůry v oblasti vermis. V oblasti krční míchy nahrazuje neurony Stilling–Clarkeova jádra (tzv. druhé neurony dráhy) jádro nazývané nucleus cuneatus accessorius. Axony jeho neuronů také vstupují do kůry vermis přes dolní mozečkový pedunkulus.

### 2.2.7 Přední spinocerebelární trakt

Třetí část kolaterál z Ia aferentních vláken ze svalových vřetének a šlachových tělísek se zakončuje na tělech neuronů v mediální oblasti zadních míšních rohů a ve střední části centrální šedé hmoty míšní a jsou druhými neurony této dráhy. Jsou ve zmíněných oblastech přítomny ve všech míšních segmentech. Jejich axony se spojují a vytvářejí přední spinocerebelární trakt. Vlákna z jedné strany těla jsou díky výše zmíněné různosti umístění druhých neuronů obsažena vždy v obou předních spinocerebelárních traktech, a to ipsilaterálně i kontralaterálně. Trakty pokračují povrchově v oblasti anterolaterálních provazců až do oblasti mozkového kmene, procházejí tegmentem oblongaty, pontu a mezencefala až k hornímu cerebelárnímu pedunkulu, přes který vcházejí do mozečkového kortexu v oblasti vermis.



### 2.2.8 Zadní provazce míšní

Prvními neurony těchto drah jsou pseudounipolární buňky spinálních ganglií. Jejich periferní výběžky vedou impulzy ze všech proprioceptorů, kterými jsou již zmíněná svalová vřeténka, Golgiho šlachová tělíska a proprioceptory ve fasciích, kloubních pouzdrech, pojivové tkáni a hlubších vrstvách kůže. Centrální výběžky pseudounipolárních buněk vstupují zadními kořeny míšními do míchy a některá vlákna vydávají kolaterály k neuronům v předních i zadních rozích míšních. Hlavní část vláken se ale obrací ke střední čáře (aniž by ji však překročila) a bez dalšího přepojování vytváří dva svazky, které stoupají vzhůru v zadní části míchy – mediálně uložený **fasciculus gracilis (fasciculus Golli)** a laterálně uložený **fasciculus cuneatus (fasciculus Burdachi)**. Vlákna se zakončují na tělech tzv. druhých neuronů dráhy až v jejich vlastních jádrech, v nucleus gracilis a nucleus cuneatus, která leží v dorzálním tegmentu v dolní části prodloužené míchy. Vlákna v traktech jsou uložena somatotopicky. Vlákna z oblasti dolní končetiny, perinea a dolní části trupu běží ve fasciculus gracilis, zatímco výše se přidávající vlákna z oblasti hrudníku, horní končetiny a krku běží ve fasciculus cuneatus, přičemž nejvýše přicházející vlákna z oblasti krku jsou uložena ve svazku nejvíce laterálně.

Neurony v obou jádrech, ncl. gracilis i ncl. cuneatus, tvoří tzv. druhé neurony obou drah. Jejich axony vytvářejí již společnou dráhu nazývanou tractus bulbothalamicus. Tento trakt, poté co opustí obě jádra, probíhá nejprve v přední části prodloužené míchy před šedou hmotou, přímo před dekuzační sestupných pyramidových drah. Těsně nad pyramidovou dekuzační bulbotalamické traktury přijímají vlákna z oblasti n. trigeminus, vytvářejí tzv. lemniscus medialis a kříží se, přičemž vytvářejí v oblasti horní oblongaty tzv. decussatio lemniscorum. Procházejí překříženy přes tegmentum horní oblongaty, pontu a mezencefala a zakončují se v talamu, v oblasti ventro-postero-laterálního (VPL) jádra specifického talamu (ncl. ventrocaudalis externus podle Hasslera), stejně jako vlákna spinotalamických drah. Neurony v oblasti VPL jádra talamu jsou tzv. třetím neuronem proprioceptivních drah zadních provazců. Jejich axony procházejí jako tractus thalamocorticalis přes crus posterior capsulae internae do kortexu, kde se zakončují (opět podobně jako spinotalamické traktury) převážně v oblasti gyrus postcentralis (arey 3a, 3b, 2 a 1 podle Brodmanna).

Jak spinocerebelární dráhy, tak i zadní provazce míšní vedou proprioceptivní, převážně hluboké senzace ze svých receptorů – svalových vřetének a šlachových tělísek a receptorů ve svalových fasciích, kloubních pouzdrech a hlubších vrstvách pojivové tkáně a kůže. Spinocerebelární traktury se zakončují v oblasti mozečkové kůry, senzace jimi vedené tedy nejsou ve své většině vnímány vědomě (byť se připouští kolaterály spinocerebelárních drah, které přes retikulární struktury dosahují kortexu). Oba traktury zadních provazců míšních se však zakončují převážně v oblasti Brodmannových arejí 3a, 3b, 2 a 1 v oblasti gyrus postcentralis, impulzy jimi vedené jsou tak (až na výjimky) vnímány vědomě. Na rozdíl od vláken spinotalamických drah se patrně jen mizivá část koncových vláken zakončuje v oblasti gyru precentrálního. Z neuromorfologického hlediska je však obtížné spolehlivě diferencovat vlákna v talamokortikálním traktu a jednoznačně je označit za pokračování čistě drah spinotalamických, nebo zadních provazců míšních.

## 2.3 Sluchový a vestibulární systém

Sluchové a vestibulární orgány jsou dalšími (byť funkčně nepoměrně méně důležitějšími) strukturami, které přinášejí informace sloužící k řízení motorických procesů. Kromě informací o akustických kvalitách ve vnějším prostředí přinášejí informace o aktuálním vztahu hmoty těla jedince a gravitačního pole a informace o postavení těla v prostoru.

Akustické vjemy zprostředkovávají sluchové dráhy a centra, kinestetické a gravitační informace vestibulární dráhy a centra.

### 2.3.1 Sluchový systém

Akustické impulzy přicházející z vnějšího prostředí jsou transformovány do mechanických pohybů, a to pomocí bubínku a sluchových kůstek středního ucha, které je dále vibracemi třmínku proti oválnému okénku převádějí na tlakové vlny perilymfy. Tlakové vlnění perilymfy prochází dvěma a půl zákruty kochley přes scala vestibuli až do helicotremy (což je apikální spoj mezi scala vestibuli a scala tympani) a dále dolů cestou scala tympani k okrouhlému okénku. Toto tlakové vlnění vytváří vibrace bazální membrány, což způsobuje stimulaci vlasových buněk ve vlastním receptním tzv. Cortiho orgánu. Vlasové buňky jsou specializované receptory, které jsou schopny transformovat mechanické vlnění v elektrické akční potenciály.

Ganglion prvního neuronu sluchové dráhy, tzv. spirální ganglion, je uloženo ve spirálním kanálu Cortiho orgánu. Periferní výběžky tohoto ganglia přicházejí od receptorových vlasových buněk Cortiho orgánu. Centrální výběžky se spojují a vytvářejí kochleární nerv (který se ve svém dalším průběhu spojuje s nervem vestibulárním). Kochleární nerv (již spojený) prochází vnitřním akustickým meatem do oblasti mostomozečkového úhlu, kde vniká do mozkového kmene těsně za dolním cerebelárním pedunkulem. Vlákná nervu se zakončují v oblasti pontu ve sluchových jádrech – ncl. cochlearis ventralis a ncl. cochlearis dorsalis. V těchto jádrech se vlákna zakončují na tělech jejich neuronů, tzv. druhých neuronů sluchových drah. Axony neuronů z ncl. cochlearis ventralis kříží střední čáru jako tzv. trapezoidní vlákna, některá z nich vedou impulzy do corpus trapezoideum, některá do horního olivárního jádra, jader laterálního lemnisku nebo retikulární formace. Dále jsou akustické impulzy vedeny cestou laterálního lemnisku do colliculi inferiores a do corpora geniculata mediales. Axony neuronů z ncl. cochlearis dorsalis kříží střední rovinu jako část tzv. stria medullaris, procházejí retikulární formací, připojují se k vláknům z ventrálního jádra v laterálním lemnisku a pokračují až do colliculi inferiores. Neurony v colliculi inferiores jsou tzv. třetími neurony sluchové dráhy. Jejich axony se zakončují na tělech neuronů v corpora geniculata mediales v talamu. Tyto neurony jsou tzv. čtvrtým neuronem sluchové dráhy, odkud jsou akustické impulzy vedeny cestou akustické radiace v capsula interna až do kortexu do oblasti gyri temporales transversus (area 41 podle Brodmanna). Kortikální analyzátor ale zaujímá rozsáhlejší oblast dorzálního temporálního kortexu – kromě již zmíněné Brodmannovy arey 41 i arey 42 a 22. V těchto sekundárních kortikálních oblastech jsou akustické stimuly analyzovány, identifikovány a srovnávány s obsahem akustické paměti. Jsou zde interpretovány jako zvuky, tóny, melodie, hlásky, slova a věty.

Na své cestě z Cortiho orgánu do Heschlových gyrů vydávají vlákna sluchové dráhy řadu kolaterál, které jsou zhusta zapojeny do motorických procesů. Některé kolaterály vedou do mozečku, některé vedou cestou fasciculus longitudinalis medialis do jader okohybných nervů, některé vedou k jádrům dalších hlavových nervů, např. n. facialis, a některé vedou k alfa-motoneuronům předních rohů míšních. Tímto spojením se realizují pohyby hlavy a krku směrem k (nebo od) zdroje zvuku, mnohdy v rámci tzv. „fight or flight“ reakce.

### 2.3.2 Vestibulární systém

Vestibulární systém sestává z labyrintu, vestibulárního nervu a centrálních vestibulárních drah. Labyrint je situován ve skalní kosti a skládá se z utriculu, sacculu a tří semicirkulárních kanálků. Labyrint

sám je blanitý orgán oddělený od kostních struktur perilymfou. Obsahem labyrintu je endolymfa. Tři semicirkulární kanálky jsou vůči sobě postaveny v kolmých rovinách – v horizontální, vertikální a sagitální (vzhledem k ose těla). Receptorové orgány, které slouží k udržování rovnovážné polohy těla, jsou uloženy v utriculu, sacculu a ampulách semicirkulárních kanálků. V utriculu a sacculu jsou receptorovými orgány maculae staticae. Receptorové vlasové buňky jsou uloženy v gelové membráně, která obsahuje otolity, a jsou obklopeny podpůrnými buňkami. Tyto receptory jsou receptory statické a přenášejí do centrálních struktur informace o poloze hlavy v prostoru.

Tři semicirkulární kanálky jsou spojeny s utriculem, každý z nich je zakončen rozšířením, které se nazývá ampula a obsahuje receptor nazývaný crista ampullaris. Receptorové vlasové buňky každé crista ampullaris jsou také uloženy v gelovém materiálu. Vlasové buňky crista ampullaris reagují na pohyb endolymfy v semicirkulárních kanálcích, jsou to receptory kinetické, které přenášejí do centrálních struktur informace o rychlosti, směru a dalších charakterech pohybu těla v prostoru.

Vestibulární ganglion se nazývá Scarpovo ganglion a je uloženo ve vnitřním akustickém meatu. Periferní výběžky jeho bipolárních buněk přinášejí informace od zmíněných vestibulárních receptorů. Centrální výběžky se spojují ve vestibulární nerv, který spolu s kochleárním nervem prochází přes meatus acusticus internus do mostomozečkového koutu a vniká do mozkového kmene v oblasti pontomedulární funkce. Vlákna tzv. prvního neuronu se zakončují na tělech neuronů ve vestibulárních jádrech v oblasti pontu, které jsou druhými neurony vestibulárních drah. Vestibulární jaderný komplex sestává ze čtyř jader, která se nazývají ncl. Bechtěrev, ncl. Deiters, ncl. Schwalbe a ncl. Roller. Axony neuronů z těchto jader dále pokračují do archicerebella (cestou juxtarestiformního traktu), do míchy cestou vestibulospinálního traktu a dále k alfa-motoneuronům předních rohů míšních v krčních segmentech cestou mediálního vestibulospinálního traktu. Axony neuronů všech vestibulárních jader vydávají kolaterály k jádrům okohybných nervů, které jdou cestou fasciculus longitudinalis medialis. Některá z vláken vestibulárních jader procházejí přes ncl. interstitialis a Darkševičovo jádro do talamu a považují se za dráhu, která se zakončuje v kortexu v oblasti nejvyššího, kortikálního vestibulárního analyzátoru.

## 2.4 Optický systém

Prvními neurony zrakové dráhy jsou notoricky známé sítnicové tyčinky a čípky. Fotochemická reakce v těchto elementech vyvolává elektrické impulzy, které jsou centrálními výběžky těchto neuronů přenášeny na těla druhých neuronů zrakové dráhy. Tyto neurony jsou bipolární, leží také v sítnici a vytvářejí sumární ganglion, tzv. ganglion retinae. Bipolární buňky převádějí impulzy svými centrálními výběžky na těla dalších, třetích neuronů, kterými jsou gangliové buňky, které rovněž leží v sítnici, kde podobně jako předcházející neurony vytvářejí sumární ganglion, tzv. ganglion opticum. Přibližně 1 milion axonů gangliových buněk směřuje ve vazivové části sítnice k papile, spojuje se do zrakového nervu a prochází skrz lamina cribrosa skléry do očníce. Z očníce vychází zrakový nerv nazývaný fasciculus opticus přes optický kanál do oblasti tureckého sedla, kde se spojuje s druhostranným optickým nervem v chiasmatu. Zde se vlákna ve zrakovém nervu dělí, přičemž 62 % vláken z nazálních polovin sítnice se kříží a 38 % vláken z temporálních polovin sítnice se nekříží. Vlákna z místa nejostřejšího vidění, z tzv. fovea centralis, se kříží vždy. Za chiasmatem potom zrakový nerv vytváří tractus opticus, který (po překřížení) vede vlákna ze stejnostranných (ipsilaterálních) polovin zorného pole a z obou centrálních oblastí. Vlákna v tractus opticus se zakončují na tělech neuronů v primárních podkorových zrakových centrech, v colliculi superiores a corpora geniculata laterales. Tyto čtvrté neurony zrakové

dráhy potom probíhají přes zadní část capsula interna a dosahují kortexu v okcipitálním laloku, a to na jeho meziální straně v oblasti sulcus calcarinus (fissura calcarina, Brodmannova area 17). Zde však zraková dráha nekončí, area 17 je jen primární zrakový kortex, kde je „obraz viděného“ pouze rekonstruován z impulzů přinášejících zrakovou dráhou. Vlastní asociční zrakový kortex leží na dorzální straně okcipitálního laloku, v oblasti parieto-okcipitálního pomezí (Brodmannovy arey 18 a 19).

## 2.5 Další senzorické systémy

Dalšími senzorickými systémy je systém olfaktorický (reprezentovaný čichovými strukturami, drahami a analyzátory) a systém gustatorický (reprezentovaný chuťovými strukturami, drahami a analyzátory). Jakkoliv jsou tyto důležité v běžném životě, z hlediska využití jimi přinášejících informací pro řízení volní a mimovolní motoriky mají minimální význam.

### 2.5.1 Olfaktorický systém

Čichové buňky jsou uloženy v oblasti olfactoria nosní sliznice ve vysoce specializovaném čichovém epitelu. Jsou zde uloženy i Bowmanovy žlázy, které produkují čichový mukos, což je serózní tekutina, v níž se pravděpodobně rozpouštějí aromatické substance. První neurony čichové dráhy jsou bipolární buňky, jejichž periferní receptory končí v čichové sliznici krátkými čichovými vlákny. Centrální výběžky se spojují do tzv. fila olfactoria, která procházejí přes lamina cribriformis do přední jámy lební, kde se zakončují na tělech neuronů v bulbus olfactorius. Tyto neurony, mitrální a chomáčkovitě, jsou druhými neurony čichové dráhy. Jejich axony vytvářejí tractus olfactorius, který probíhá po bázi přední jámy lební. Tato vlákna pokračují až do oblasti trigonum olfactorium a substantia perforata anterior. Zde se dělí na dva svazky, laterální prochází přes limen insuly do amygdaly, kde se zakončují na tělech dalších, tzv. třetích neuronů čichové dráhy. Axony těchto buněk potom pokračují do gyrus parahippocampalis (area entorhinalis, Brodmannova area 28). Zde je uloženo projekční pole a asociční čichová kůra. Mediální svazek tractus olfactorius se připojuje k area subcallosa, probíhá dále před přední komisurou a stává se její součástí. Tato komisure spojuje obě olfaktorické arey a je fakticky hlavní komisurou paleokortexu. Mediální svazek vydává řadu kolaterál k limbickým strukturám, a vytváří tak morfologický základ složitých emočních a vegetativních reakcí, v nichž hrají čichové vjemy důležitou roli.

### 2.5.2 Gustatorický systém

Gustatorický systém je obsluhován několika hlavovými nervy. Receptory chuťové dráhy jsou chuťové pohárky uložené ve sliznici jazyka a epiglottis. Impulzy, které se v nich vytvářejí, jsou vedeny periferními výběžky k tělům pseudounipolárních buněk ganglií hlavových nervů – ggl. geniculatum VII. nervu (přes chorda tympani) a gangliím IX. a X. hlavového nervu (ganglion superius). Centrální výběžky všech těchto gangliových buněk se zakončují na tělech neuronů v chuťovém jádře nazývaném nucleus tractus solitarii. Tyto druhé neurony chuťové dráhy probíhají v mozkovém kmeni společně s mediálním lemniskem do talamu, kde se zakončují ve ventro-postero-mediálním (VPM) jádře na tělech dalších buněk, třetích neuronů. Axony těchto neuronů formují centrální chuťovou dráhu, která probíhá přes capsula interna a zakončuje se v dolní oblasti postcentrálního gyru a v operkulární kůře, kam je kladen chuťový analyzátor.

Vazba gustatorického systému a motorických funkcí je ještě vágnější, než je tomu u systému olfaktorického. Nicméně byla popsána spojení neuronů v ncl. tractus solitarii (přes mezencefalickou retikulární formaci) s motorickými částmi jader hlavových nervů, které inervují svaly mimické (n. facialis) a žvýkáci a polykáci (n. trigeminus, n. glossopharyngeus, n. vagus). Tato spojení zřejmě realizují automatické pohyby zmíněných svalů v odpovědi na určité chuťové senzace. Blíže však tyto vztahy nebyly zkoumány.

## 2.6 Senzomotorická integrace (role senzomotorických mechanismů v řízení pohybu)

Senzomotorická integrace je nezbytná, jak již bylo zmíněno v úvodu, k odpovídajícímu fungování motoriky, de facto k řízení motoriky. Každý motorický akt je výsledkem senzomotorické integrace. Její fungování se v centrální nervové soustavě odehrává v několika úrovních, které jsou si patrně hierarchicky nadřazené na základě fylogeneze. V současné době popisujeme senzomotorické integrační procesy ve čtyřech úrovních – míšní, kmenové, podkorové a korové. O každé z nich nyní bude pojednáno zvlášť.

### 2.6.1 Senzomotorická integrace na úrovni míšní

Senzomotorická integrace na úrovni míšní je reprezentována jednoduchými míšními reflexy. Integrační proces byl již okrajově zmíněn v podkapitole o propriocepci. Zde je nutno zmínit, že pouze část proprioceptivních impulzů dosahuje jakési „úrovně vědomí“, tzn. že jsou vedeny až do kortexu. Část impulzů je kolaterálami vedena do zpětnovazebných nebo „servo“ okruhů a slouží právě v senzomotorické integraci na míšní úrovni.

Nejjednodušší funkční strukturou v této integraci je monosynaptický reflexní oblouk. Jeho popis lze začít receptorem, tj. svalovým vřetenkem. Impulzy z intrafuzálních vláken svalového vřetenka vedou do vstupní zóny zadních míšních rohů silná myelinizovaná aferentní vlákna Ia třídy. Část vláken vchází do přímého kontaktu s alfa-motoneurony předních rohů míšních. Axony alfa-motoneuronů opouštějí míchu předním míšním kořenem a cestou periferního nervu se dostávají k extrafuzálním vláknům téhož svalu, odkud (z vláken intrafuzálních) pocházel vstupní signál, tj. signál vedený Ia aferentními vlákny.

Nejdůležitější strukturou v tomto integračním reflexním oblouku jsou patrně svalová vřetenka, poměrně složité receptory sloužící k udržování konstantní délky svalu. Touto délkou je taková délka, která umožňuje vykonat kontrakci s co nejmenšími energetickými nároky, fakticky tedy zkrátit periodu izometrické kontrakce na minimum. Svalová vřetenka se skládají z modifikovaných svalových vláken nazývaných intrafuzální vlákna. Vlákna mají buď vakovité struktury, které jsou uloženy v jejich centrálním segmentu a obsahují kulovitá jádra, nebo řetězcovité struktury, které obsahují kulovitá jádra uložena za sebou ve formě řetězu. Vlákna jaderných řetězců bývají tenčí a kratší. Intrafuzální vlákna vůbec jsou tenčí než vlákna extrafuzální. Svalové vřetenko obvykle obsahuje dvě až tři vlákna s jadernými vaky a až pět vláken s jadernými řetězci.

Intrafuzální vlákna vřetenek jsou inervována cestou gama vláken (gama-1 vlákny) z menších gamma-motoneuronů, které jsou podobné jako alfa-motoneurony uloženy v předních míšních rozích. Jaderný vak každého vlákna je „zamotán“ v síti velmi jemných senzoryckých nervových vláken, která se nazývá anulospirální zakončení. Tato zakončení jsou extrémně citlivá na napínání nebo protahování svalu.

Svalová vřeténka jsou tak vlastně napínavými receptory. V případě natažení svalu se natahují i vřeténka, což vyvolá tvorbu akčních potenciálů v anulospirálním zakončení. Potenciály jsou vedeny cestou rychlých Ia vláken k alfa-motoneuronům příslušným danému svalu, kde vyvolávají také tvorbu akčního potenciálu, jenž je stejně rychlým alfa-I vláknem veden k extrafuzálním vláknům ve snaze jejich kontrakci dosáhnout původní délky svalu. Popsaný mechanismus jednoduchého reflexního oblouku míšního je nejen nejjednodušším, ale i základním mechanismem senzomotorické integrace na míšní úrovni.

Gama-motoneurony v předních rozích míšních jsou ovlivňovány impulzy vedenými drahami z hierarchicky (i somatotopicky) vyšších center CNS – pyramidovými traktami, retikulospinálními, vestibulospinálními a olivospinálními traktami. Na základě tohoto „řízení“ může být aktuální svalový tonus ovlivňován přímo z mozkových struktur (jak je šířeji popisováno dále). Z hlediska výkonu volní motoriky je tento vliv nepostradatelný. Citlivost svalových vřetének tak může být ovlivňována charakterem impulzů z gama-motoneuronů. Zvýšená impulzace z gama-motoneuronů navodí kontrakci intrafuzálních vláken, tím sníží jejich recepční práh a zvýší pravděpodobnost jejich odpovědi i na minimální změnu délky svalu. V předních rozích míšních patrně existují dva podtypy gama-motoneuronů. Jedny jsou pravděpodobně schopné rychlého, dynamického pálení a inervují především vlákna jaderných vaků. Druhé jsou schopné spíše pomalejšího, ale trvalého statického pálení a inervují především vlákna jaderných řetězců. Stimulace vláken jaderných vaků způsobí silnou a dynamickou odpověď (fakticky generovanou alfa-motoneuronem), zatímco trvalá stimulace vláken jaderných řetězců způsobí trvalejší, tonickou, ale slabší odpověď.

Vlákna jaderných řetězců jsou opatřena ještě jedním recepčním orgánem, který se nazývá kyticovitě zakončení a jehož funkce byla po poměrně dlouhou dobu nejasná. Dnes je známo, že také odpovídá na změnu napětí svalu. Impulzy z těchto zakončení jsou vedeny pomalejšími a méně myelinizovanými vlákny třídy II do oblasti centrální míšní šedi, kde se zakončují na tělech vmezeřených neuronů. Tyto neurony jsou morfologickým substrátem reciproční inhibice, protože jsou schopny generovat excitační i inhibiční potenciály na různých alfa-motoneuronech ve stejném čase, a tím zajistit inhibici svalů, antagonistů žádoucího pohybu.

Důležitými receptory zapojenými v senzomotorické integraci na míšní úrovni jsou Golgiho šlachová tělíska. Reagují na protažení příslušného svalu, a to genézí impulzů, které jsou vedeny rychlými Ib vlákny, převáděny přes jeden až dva vmezeřené interneurony a mají inhibiční charakter. Inhibice alfa-motoneuronů má za úkol udržet svalové napětí ve fyziologických mezích, a zabránit tak svalové nebo šlachové ruptuře.

Již složitějším typem senzomotorické integrace na míšní úrovni je tzv. flexorový reflex. Jedná se o polysynaptický reflex a jeho primární funkce je ochranná – úkolem koordinované svalové akce je urychlené vzdálení části těla, která se dostala do kontaktu s fyzikální noxou, do bezpečné vzdálenosti (typicky je v tomto případě uváděn dotek rozžhaveného materiálu nebo šlápnutí na ostrý předmět). Receptory tohoto složitějšího reflexního oblouku jsou receptory bolesti, tzv. nociceptory, vlastně volná nervová zakončení. Jejich rychlá impulzace se cestou Ib vláken dostává do substantia gelatinosa míšního šedi, kde se aferentní vlákna napojují na řadu vmezeřených neuronů tzv. vnitřního neuronálního míšního systému. Tento iniciální impulz přivedený aferentními vlákny je pomocí těchto neuronů rozváděn k řadě alfa-motoneuronů nezbytných k vykonání odpovídajícího (většinou flekčního, odtud název) pohybu a zároveň k řadě alfa-motoneuronů, které inervují antagonisty příslušného pohybu a musejí být inhibovány. Kromě toho, jde-li o posturálně důležité svaly (např. svaly dolní končetiny), musí být odpovídajícím způsobem upravena i impulzace alfa-motoneuronů sloužících k inervaci svalového komplexu druhé strany těla, v tomto případě druhostranné končetiny, aby nedošlo k pádu. V takovém případě se ale tohoto dění účastní i vyšší úrovně CNS.

Jak je však z výše uvedeného patrné, na míšní úrovni je senzomotorická integrace prakticky pouze somatosenzomotorickou integrací. Jiné senzorické systémy se v této úrovni na řízení či ovlivňování motoriky nepodílejí.

## 2.6.2 Senzomotorická integrace na úrovni kmenové

Senzomotorická integrace na úrovni kmenové je vlastně senzomotorickou integrací mozečkovou. Mozkový kmen sice obsahuje řadu důležitých struktur senzorických, většinou primární podkorová centra senzorických systémů (vizuálního, sluchového, vestibulárního a chuťového), obsahuje však také řadu důležitých motorických struktur – jádra hlavových nervů, kmenová jádra, retikulární formaci, olivy a podobně. Nicméně vlastní integrační procesy na této úrovni probíhají fakticky pouze v mozečku, nebereme-li v potaz reflexní oblouky facio-faciálních nebo trigemino-faciálních propioceptivních a exteroceptivních reflexů, které jsou vlastně obdobou podobných reflexů míšních.

Mozeček tvoří strop čtvrté komory mozkové a je k mozkovému kmeni připojen třemi svazky drah, které se nazývají mozečkové pedunkuly – superior, medius a inferior. Z morfologického hlediska se mozeček dělí na střední část – vermis, malou noduloflokulární část a na mozečkové hemisféry. Z morfologicko-funkčního hlediska se dělí na archicerebellum (reprezentované pars nodulofloccularis), paleocerebellum (reprezentované vermis, paraverminálními strukturami a přední částí hemisfér) a neocerebellum (reprezentované zbývajícími částmi obou hemisfér). Funkčně je dále důležitý vzájemný vztah mozečkového kortexu a mozečkových jader. Mozečková kůra je pouze aferentní strukturou, která senzorické informace přijímá a kde dochází k jejich zpracování. Výsledná modulační mozečková impulze potom vychází pouze z mozečkových jader a je vždy inhibiční povahy. Ke každé z výše zmíněných částí mozečku přísluší určitá jádra – ncl. fastigii k archicerebellu, ncl. globosi a emboliformis (ncl. interpositus) k paleocerebellu a ncl. dentatus k neocerebellu.

Funkce mozečku je skutečně tím, co lze nazvat výsostnou senzomotorickou integrací. Mozeček působí především jako koordinační centrum pro udržování rovnováhy, vzpřímeného postoje a fyziologického svalového tonu. Stejně tak umožňuje ostatním součástem motorického systému provádět jemné a vysoce koordinované (většinou komplexní) pohyby. Každá z jeho součástí (z morfologicko-funkčního hlediska) má přitom určitou funkční specializaci.

### 2.6.2.1 Archicerebellum

Archicerebellum dostává informace o poloze hlavy v prostoru a o pohybu hlavy v prostoru z vestibulárních jader (cestou vestibulocerebelárních drah). Tato impulze umožňuje dané mozečkové části trvale synergicky modulovat motorické impulzy směrem k alfa- a gama-motoneuronům předních rohů míšních. Tím je zajištěno rovnovážné postavení těla jedince bez ohledu na jeho okamžitý vztah k povrchu a okamžitý pohyb.

### 2.6.2.2 Paleocerebellum

Paleocerebellum dostává aferentní senzorické informace z oblasti míšní cestou předních a zadních spinocerebelárních drah a informace z oblasti nucleus cuneatus cestou tractus cuneocerebellaris. Eferentní impulze z paleocerebelárních jader potom moduluje aktivitu antigravitačního svalstva, tj. převážně svalstva axiálního. Tuto impulzaci zajišťují dráhy, které se přepojují a kříží v ncl. ruber a v oblasti retikulární formace; spinální struktury jsou potom ovlivňovány paleocerebelárními impulzy ipsilaterálně cestou tractus rubrospinalis a tractus reticulospinalis. Důležitou projekcí z hlediska senzomotorické integrace na vyšších úrovních jsou dráhy cerebelotalamické (do ncl. centromedianus nebo

centrum medianum talamu) a dráhy do ncl. caudatus a putamen. Těmito drahami jsou dopravovány senzorycké informace do oblasti bazálních ganglií a jimi tvořených motorických okruhů.

### 2.6.2.3 Neocerebellum

Neocerebellum přijímá aferentní senzorycké informace nepřímou cestou kortiko-ponto-cerebelárních drah z rozsáhlých oblastí kortexu, převážně postcentrálních a precentrálních (Brodmannovy arey 3a, 3b, 2 a 1 postcentrálně a 4 a 6 precentrálně). Množství aferentních senzoryckých projekcí přichází cestou tractus olivocerebellaris z dolních oliv. Na základě těchto informací (a to jak senzoryckých, tak i motorických, v podstatě o *nadcházejícím* pohybu) paleocerebellum inhibiční impulzaci modifikuje a koriguje veškerou pyramidovou (a část extrapyramidové) impulzace, která je generována v motorických částech kortexu, a to cestou tractus dentato-thalamo-corticalis.

Celkově lze tedy shrnout, že mozeček umožňuje hladké, kordinované, správně načasované a přesné provedení všech volních a automatických pohybů. Předpokládá se, že má podobnou roli i v genezi pohybů mimovolních. Toto fungování je zajištěno velmi rychlou cestou aferentních informací do mozečku (vlákna Ib, II) a rychlým zpracováním této informace v mozečkovém kortexu. Jde o modelový příklad senzomotorické integrace na nižší, ještě stále nevědomé úrovni.

### 2.6.3 Senzomotorická integrace na úrovni podkorové

Senzomotorická integrace na podkorové úrovni se realizuje prostřednictvím bazálních ganglií a jejich zpětnovazebných okruhů.

Veškerý pohyb, ať již volní nebo automatický (a rovněž řada pohybů mimovolních), je generován v motorickém kortexu. O tom, jak je provedení pohybu modulováno pomocí mozečku, bylo referováno výše. Na úrovni podkorové je modulováno provedení pohybu také, tato modulace se však týká více fází motorického aktu. Je realizována pomocí zpětnovazebných okruhů, v nichž jsou zapojena především bazální ganglia a další podkorové a korové struktury. Bazální ganglia modulují intenci k pohybu a pohyb sám na základě informací, které dostávají z kortexu (systémem krátkých drah z kortexu do striata) a cestou drah z paleocerebella. Tyto informace jsou převážně senzoryckého charakteru, byť jde o informace filtrované ve strukturách, odkud přicházejí (kortex, paleocerebellum, neocerebellum). Popsaný jsou i dráhy spojující vestibulární jádra s bazálními ganglii, nepochybně jsou projekce z oblasti jader sluchových a podkorových zrakových center. O tom, že synaptické děje na této úrovni již nelze označit za zcela nevědomé, svědčí opakovaně prokázaná generace kognitivních potenciálů ve strukturách bazálních ganglií, a nakonec i klinická manifestace jejich postižení demencí. Je však otázkou, jak tuto úroveň vědomí, kterou lze přičíst zpracování informace v bazálních gangliích, nazvat.

Vlastní modulace pohybu se děje ve fázi tzv. programování pohybu.

Podle Marsdena lze pohybový akt rozčlenit na tři fáze:

1. tzv. motor planning, plánování pohybu, při němž je odpovídající pohybový vzorec vybrán z motorické paměti;
2. tzv. motor programming, při kterém je vybraný pohybový vzorec aktualizován a přizpůsoben daným podmínkám individuálním i environmentálním;
3. tzv. motor execution, neboli vlastní výkon pohybu.

V první fázi se ještě pohybujeme v oblasti hypotéz, neboť motorická paměť jistě existuje, ale nebyla dosud lokalizována. Předpokládá se však, že jako archivační struktury pro motorické vzorce (simple



patterns) jsou používány rozsáhlé oblasti precentrálního kortexu frontálního laloku. Druhá fáze je již lépe zmapována, aktualizace motorického vzorce probíhá v tzv. motorických okruzích, přímém a nepřímém (budou popsány dále). Třetí fáze pohybového aktu se děje již strukturovanou impulzí specifických neuronálních populací v motorickém kortexu směrem k efektorům, tj. alfa-motoneuronům předních rohů míšních.

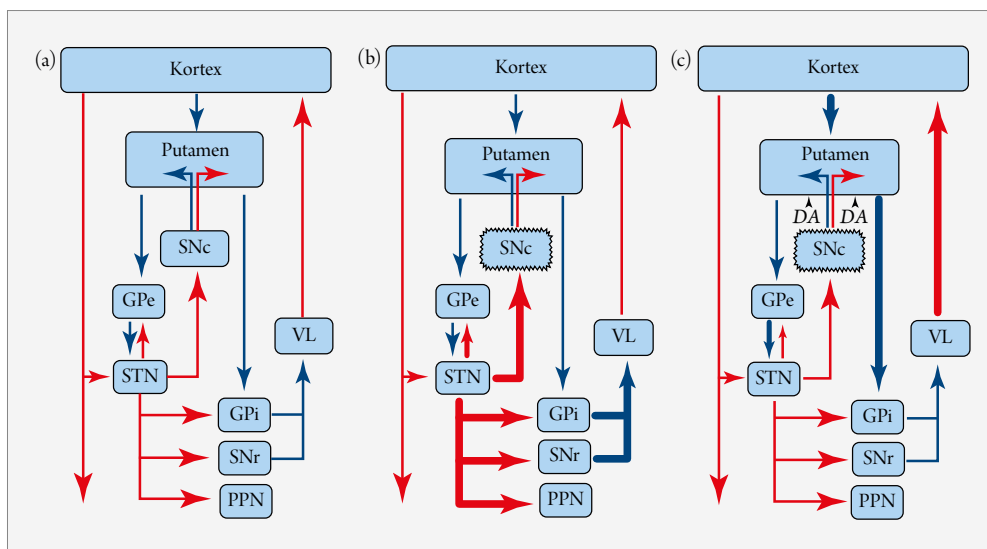
Motorické okruhy, přímý a nepřímý, podrobněji popsali Alexander a Graybielová, přičemž se tento model postupně dále zdokonaluje. Představy o činnosti celého systému bazálních ganglií v těchto modelech vycházejí z jeho uspořádání do několika paralelních okruhů, které somatotopicky a funkčně propojují odpovídající oblasti mozkové kůry, striata, pallida, subtalamického jádra a opět mozkové kůry. Za vstupní jednotku v těchto okruzích se považuje striatum, které je terčem převážně excitačních projekcí z kortexu. Striatum samo se anatomicky a funkčně rozděluje na ventrální část (ncl. accumbens, tuberculum olfactorium a putamen bazálně od commissura anterior) a dorzální část (zbytek struktur kraniálně od commissura anterior). Ventrální a dorzální striatum se od sebe odlišují nejen histologicky, ale i neurochemicky a rovněž charakterem aferentních a eferentních projekcí. Ventrální striatum je morfologicky i funkčně silně vázáno na limbické struktury, zatímco pro dorzální striatum jsou charakteristická anatomická i funkční spojení se senzoryckými a asociačními oblastmi neokortexu. Velký význam z funkčního hlediska má i rozdělení striata na striozomy a striatální matrix. Matrix se vyznačuje vysokou aktivitou acetylcholinesterázy. Striozomy, které jsou ve formě ostrůvkovitého labyrintu rozptýleny v matrix, se vyznačují velmi nízkou aktivitou acetylcholinesterázy a vysokým obsahem enzymů, které se účastní metabolismu katecholaminů, GABA a enkefalinu. Majoritní neuronální populací ve striozomech jsou neurony zapojené v nigrostriatálních okruzích. K nim směřují projekce od nigralních dopaminergních neuronů, které se v závislosti na projekčním terči dělí na dvě subpopulace podle toho, zda jejich projekce končí na tělech striatových neuronů ve striozomech (převážně na D2 receptorech) nebo v matrix (převážně na D1 receptorech). Striozomy samy dostávají aferentní projekce z limbických struktur a frontálních oblastí kortexu, matrix dostává aferentní projekce ze senzomotorické oblasti kortexu. Striatální matrix projikuje do vnitřního pallida (a zpětnově do substantia nigra). Eferentní spoje z putamen směřují hlavně do pallida. Jestliže se striatum funkčně dělí na oblasti asociační, senzomotorické a limbické, stejná diferenciací je patrná i v pallidu. Je známo, že dráhy z hlavní, senzomotorické části striata směřují převážně do ventrolaterální části pallida. Eferentní strukturou motorických okruhů bazálních ganglií je především globus pallidus medialis.

Modely motorických okruhů, přímého i nepřímého, vycházejí z popsáných schémat. Excitační glutamatergní kortikostriatální spoje se sbíhají především ze suplementární motorické arey, z premotorické a motorické kůry frontálního laloku a dále ze somatosenzorické kůry parietálního laloku do (již somatotopicky uspořádaných) částí putamen. Putamen ovlivňuje činnost eferentních jader okruhů bazálních ganglií cestou dvou paralelně organizovaných drah, přímé a nepřímé. **Přímá dráha** vychází ze středně velkých ostnitých neuronů (medium-sized spiny neurons) putamen. Tyto buňky používají jako mediátory GABA, substanci P a dynorfin a obsahují převážně NMDA a D1 receptory. **Nepřímá dráha** vychází také z putamen, ale působí excitačně na výstupní jádra pallida přes tzv. „mezeřenou stanicí“, kterou je v tomto modelu ncl. subthalamicus. Ncl. subthalamicus je tlumen GABAergními projekcemi z globus pallidus lateralis (externus), které samo dostává tlumivé GABAergní projekce z putamen.

Klíčovou modulační úlohu hraje v obou okruzích dopamin, který působí jak excitačně (na D1 receptory), tak i inhibičně (D2 receptory), a tím umožňuje fyziologické fungování popsáných okruhů.

Současnou strukturální představu o fungování přímého a nepřímého motorického okruhu graficky znázorňuje schéma podle Alexandera.

**OBR. 1. Motorické okruhy – přímý a nepřímý.**



**Legenda:**

Klasický model fungování motorických okruhů bazálních ganglií v normálním stavu (a), při rozvoji parkinsonismu (b) a v pokročilém, fluktuujícím stadiu při dopaminergní substituci (c). Inhibiční projekce jsou znázorněny modře, excitační projekce jsou znázorněny červeně. Síla šipky („tloušťka“) značí úroveň aktivace dané projekce.

- (a) Striatum komunikuje s eferentními neurony v globus pallidus medialis (GPi) a v retikulární části substantia nigra (SNr) přímo a se synaptickými spoji v globus pallidus lateralis (GPe) a subtalamičtím jádru (STN) nepřímou. Soudí se, že dopamin inhibuje neuronální aktivitu v nepřímém okruhu a má excitační funkci v okruhu přímém.
- (b) Při rozvoji parkinsonismu vede deplece dopaminu k disinhibici striatálních neuronů nesoucích D2 receptory v nepřímém okruhu, následkem čehož se zvyšuje inhibice neuronů v GPe a disinhibice STN. Výsledná hyperaktivita neuronů STN vede k nadměrné excitaci neuronů v GPi a SNr a přestřelené inhibici v talamokortikálních okruzích a kmenových centrech, což způsobí klinické projevy parkinsonismu.
- (c) Dyskineze, ke kterým je systém náchylný při léčbě L-DOPA, jsou způsobeny snížením aktivity v STN. Klasický model předpokládá, že se tak děje na základě dopaminem zvýšené inhibice striatálních a GPe neuronů, která vede ke zvýšené inhibici STN a snížené aktivaci GPi/SNr. Konečným výsledkem je potom snížená inhibice v talamokortikálních okruzích, která způsobí zvýšenou excitaci v motorických oblastech kortexu, manifestující se klinicky rozvojem dyskinezií.

Výše podrobně popisované a znázorněné motorické okruhy jsou sice složitým, ale plauzibilním vysvětlením role, kterou v senzomotorické integraci na této úrovni mají podkorové struktury, převážně bazální ganglia. Model je nicméně velmi zjednodušený a ani v jednom ze svých aspektů neřeší otázku „vědomosti“ nebo „nevědomosti“ popsaných motorických dějů. Je jasné, že popsané zpracování motorických vzorců (patterns) nelze považovat za „vědomé“ či „intenční“ v nejvlastnějším významu tohoto slova. Děje se, v rámci běžně používané terminologie, prostě nevědomě. Na druhou stranu je nutno připustit určitou účast kognitivních procesů na této úrovni senzomotorické integrace, zejména s ohledem na výsledky recentních studií.

**2.6.4 Senzomotorická integrace na úrovni korové**

Uchopení a popis senzomotorické integrace na této úrovni je mnohem obtížnější než totéž na etážích předchozích. Důvodem je pochopitelně generálně integrující úloha neokortexu, dále funkční specializace neokortexu a v neposlední řadě jeho plasticita. Morfologickým základem pro integrující funkci neo-

kortexu je existence tří systémů drah (projekcí), které umožňují komunikaci kortikálních neuronálních populací s nižšími etážemi CNS (**projekční vlákna**), dále navzájem v rámci blízkých oblastí v jedné hemisféře (**vlákna asociační**) a navzájem mezi oběma hemisférami (**vlákna komisurální**).

#### 2.6.4.1 Projekční vlákna

Ve své většině jsou organizována do capsula interna. Prakticky všechna aferentní vlákna, zejména sensorická (kromě čichových), přicházejí do kortexu z talamu. Eferentní spoje jsou tvořeny kortikospinálními, kortikonukleárními a kortikopontinními drahami a dále drahami, které spojují kortex s talamem, striatem, retikulární formací, subtalamickým jádrem a kmenovými jádry.

#### 2.6.4.2 Asociační vlákna

Tato vlákna tvoří většinu bílé hmoty hemisfér. Spojují jak sousedící, tak i více vzdálené kortikální arey. Dělí se do několika systémů – *fibrae arcuatae*, které se vyskytují ve všech lalocích a spojují sousedící a nevelmi vzdálené oblasti, dále *fasciculus longitudinalis superior* spojující frontální lalok s parietálními, okcipitálními a temporálními strukturami. Jeho důležitou součástí je *fasciculus arcuatus* (který byl považován za specifický spoj řečových center). *Fasciculus longitudinalis inferior* spojuje temporální a okcipitální lalok, *fasciculus uncinatus* spojuje orbitální kůru s temporálními strukturami. Dalšími důležitými asociačními drahami jsou *fasciculus occipitofrontalis superior* a *inferior* a *fasciculus occipitalis verticalis*.

#### 2.6.4.3 Komisurální vlákna

Komisurální vlákna jsou organizována do několika silných svazků. Nejmohutnějším je *corpus callosum*, které tvoří hlavní komisuru neopallia. *Commissura anterior* je komisurou olfaktorického kortexu v meziální temporální oblasti a přilehlých částí limbické kůry. *Commissura hippocampalis* je komisurou fornixu.

Mozková kůra se po celá staletí považovala za strukturu jednotné stavby a funkce, kam byly vágně kladeny úlohy jako „duše“, „osobnost“, „myšlení“ a podobně, přičemž se jaksi samozřejmě předpokládalo, že tyto děje v kortexu samovolně vznikají a probíhají. První, kdo o této teorii zapochyboval, byl Paul Broca. V roce 1861 v Paříži demonstroval, že různé oblasti kůry lidského mozku mají rozdílné funkce a že tyto funkce mají určitou stálou lokalizaci. Další poznatky přinesl Hughlings Jackson, který na základě studia pacientů s fokální epilepsií přičetl motorické projevy při záchvatu tzv. iritaci precentrální kůry. Carl Wernicke lokalizoval sensorickou afázii do oblasti temporoparietální junkce a zároveň se pokusil nastínit problém hemisferální dominance. Patrně poprvé zkoumal funkce kortexu *in vivo* Robert Bartholow v USA, když faradizoval kortex u pacienta, jehož lebeční kryt byl destruován maligním procesem. Objevil, že elektrická stimulace určitých kortikálních oblastí způsobuje svalové kontrakce na kontralaterálních končetinách.

Mnoho nových poznatků o kortikálních funkcích publikovali fyziologové na základě zvířecích studií. Fritsch a Hitzig pomocí elektrické stimulace identifikovali motorický kortex u psů a popsali i somatotopickou motorickou reprezentaci. Podobné výzkumy prováděli, většinou na psech, i Ferrier a Sherrington, kteří poprvé popsali mozkový kortex jako integrující strukturu. Sensorickou reprezentaci zkoumal již Gudden, který se zabýval zejména vizuálními funkcemi kůry. K dalšímu poznání vzájemné závislosti sensorické funkce a odpovídající kortikální oblasti přispěl Munk, jenž poprvé popsal optickou agnózi, tedy vlastně poruchu kognitivní části sensorického procesu. Sluchové funkce a jejich vztah k temporálnímu kortexu zkoumal Ferrier.

Zásadním počinem v poznání funkcí kortexu byla práce Karla Kleista, který mohl využít své zkušenosti z první světové války. Ve svém díle *Brain Pathology* již popsal vztahy celé řady funkcí, včetně

psychických, ke specifickým kortikálním strukturám. Jeho závěry pochopitelně obsahovaly řadu poznatků publikovaných začátkem století. Kleist však jako první syntetizoval dosavadní poznání struktury a funkce mozkové kůry do konstatování, že kůra je vlastně množstvím individuálních funkčních jednotek, které mohou být identifikovány na základě specifické cytoarchitektonické a myeloarchitektonické skladby. Nicméně jeho definitivní závěr, v němž označil v mozkové kůře řadu polí jako tzv. predominantně sensorické sféry a přiřadil každé z nich odpovídající sféru motorickou a psychickou, byl po právu záhy kritizován. Kleistův koncept byl také vzápětí opuštěn (byl-li kdy vůbec přijat), nicméně jeho významné zásluhy o podrobné mapování kortikálních funkcí byly a nadále jsou zásadní.

Další éra poznávání specifických a integračních funkcí jednotlivých částí mozkové kůry je spjata s padesátými léty, rozvojem neurochirurgie a jménem Williama Penfielda. Prvním neurochirurgem, který se o kortikální funkce hlouběji zajímal, byl Harvey Cushing. Penfield navázal na práce svých předchůdců a během operací stimuloval nejrozmanitější okrsky mozkové kůry. Svá pozorování odpovědí na přímou elektrickou stimulaci kortexu shrnul v roce 1950 ve své zásadní práci publikované společně s Rasmussenem.

Z morfologického hlediska byl velkým přínosem objev organizace neuronálních populací kortexu do tzv. kolumn, které jsou zřejmě základními funkčními jednotkami celulárních vrstev kortexu.

Další vývoj poznání funkcí mozkového kortexu byl potom již spjat s rozvojem neurofyziologie. Běžná elektroencefalografická pozorování, dostupná prakticky od konce čtyřicátých let, měla vzhledem k malé lokalizační hodnotě EEG záznamu malý význam. Avšak již v průběhu čtyřicátých let byl objeven fenomén evokovaných potenciálů, tj. odpovědí centrálních struktur na periferní sensorickou stimulaci. Skutečného rozvoje ale bylo dosaženo až s dalším zdokonalením neurofyziologických přístrojů a zejména možností zprůměrnění odpovědí. Postupně se tak výzkum odpovědí centrálních struktur, zejména kortexu, na periferní stimulaci sensorických struktur stal základem dalšího zkoumání kortikálních funkcí, včetně integrativních. Spektrum vyšetřovaných modalit se dále rozšiřovalo. Velmi významným přínosem byl objev endogenních kognitivních potenciálů, které jsou korelátem funkcí, jež jsou funkčně již pokračováním sensorického procesu ve vyšší, vědomé rovině. Postupně se zjistilo, že situace není tak jednoduchá, jak si ji představovali Brodmann, Kleist, Penfield a další, že fungování mozkového kortexu je mnohem složitější a že jednoznačná korelace specifické funkce se specifickou strukturou patrně není možná.

Všechny poznatky získané v průběhu minulého století postupně krystalizovaly k určité představě o fungování mozkové kůry, která připouští určitou (byť zřejmě omezenou) funkční specializaci jednotlivých laloků a určitých kortikálních okrsků, nicméně počítá s významnou funkční diverzifikací všech kortikálních oblastí. Co je nepochybné, je poměrně hrubá, bazální specializace jednotlivých oblastí kortexu, které slouží jako morfologický substrát bazálních sensorických a motorických funkcí. Tyto oblasti jsou nazývány primárními sensorickými a motorickými poli nebo primárním sensorickým či motorickým kortexem. Kromě toho se rozsáhlým oblastem frontálního kortexu přičítá bazální, primární asociační funkce.

### 2.6.5 Primární somatosenzorický kortex

Primární somatosenzorický kortex je lokalizován do oblasti postcentrálního gyru (area 3a, 3b, 2 a 1 podle Brodmanna) a části gyru precentrálního na laterální části hemisféry (area 4 podle Brodmanna), zaujímá také lobulus paracentralis a pericentrální oblast na meziální straně hemisféry. Hlavní somatosenzorickou projekční oblastí je zadní stěna centrálního sulku. Axony, které vedou povrchovou citivost, se zakončují převážně na neuronech v areji 1, zatímco axony vedoucí hlubokou senzitivitu se zakončují převážně v areji 2. Axony vedoucí bolestivé a tlakové sensorické impulzy se zakončují

převážně v areách 3a a 3b. Ve všech zmíněných areách se zakončují axony vedoucí impulzy vibrační percepce, diskriminační a somatognostické.

### **2.6.6 Primární vizuální kortex**

Primární vizuální kortex se rozprostírá na obou stranách fissura calcarina na meziální straně okcipitálního laloku (area 17 podle Brodmanna) a lehce překračuje hranu hemisféry až do dorzální části okcipitálního laloku. Na neuronech čtvrté vrstvy kortexu v této oblasti se zakončují axony vedoucí vizuální sensorické impulzy z corpus geniculatum laterale cestou Gratioletova vlákneň. Projekce z primárního vizuálního kortexu, kde je obraz pouze rekonstruován, jsou vedeny do oblasti parieto-okcipitální junkce (area 18, 19 podle Brodmanna), kde dochází k dalšímu, již vědomému, zpracování vizuálního vjemu.

### **2.6.7 Primární sluchový kortex**

Primární sluchový kortex je kladen do oblasti gyri temporales transversi (area 41 podle Brodmanna, Heschlův gyrus). Na tělech neuronů ve třetí a páté vrstvě kortexu se zakončují axony, vedoucí sluchové impulzy z corpus geniculatum mediale, v tonotopické organizaci.

### **2.6.8 Primární vestibulární kortex**

Za primární kortikální reprezentaci vestibulárního senzoru je považována malá oblast v dolní části postcentrálního gyru. Dráhy vedoucí vestibulární impulzy z podkorových center ale dosud nebyly jednoznačně identifikovány. Jistým potvrzením kortikální vestibulární funkce je existence tzv. gyratorních epileptických záchvatů.

### **2.6.9 Primární chuťový kortex**

Primární kortikální chuťový analyzátor je lokalizován v oblasti frontoparietálního operkula (area 43 podle Brodmanna) a leží ventrálně od kortexu somatosenzorického. Na primární kortikální receptci chuťových impulzů se patrně podílí i kortex insuly. Na tělech neuronů ve třetí vrstvě arey 43 se zakončují axony, které přicházejí z chuťového jádra – ncl. tractus solitarii, a to přes ncl. ventrocaudalis parvocellularis talamu.

### **2.6.10 Primární motorický kortex**

Název je poněkud zavádějící, protože funkce kortexu v areji 4 podle Brodmanna není pouze a uniformně motorická. Somatomotorický a somatosenzorický kortex se do určité míry prolínají, a tak lze stimulací gyrus precentralis „vybudit“ i čistě senzitivní reakce, stejně jako lze stimulací v oblasti postcentrálního gyru docílit kontralaterálního pohybu. Nicméně pro deskriptivní zjednodušení je oblast arey 4 nazývána motorickým kortexem, tj. kortexem, jehož velké pyramidové neurony v páté vrstvě generují všechny volní pohyby.

Primární motorický kortex se rozkládá od dolní části gyrus precentralis a pokračuje přes dorzální až na meziální stranu hemisféry, kde se zakončuje těsně nad cingulem. Je somatotopicky uspořádán podobně jako kortex somatosenzorický.

Primární motorický kortex je cílem projekcí především z talamu (ncl. ventrooralis), z premotorických arejí 6 a 8 a ze somatosenzorického kortexu. Hlavní eferentní drahou je pyramidová dráha, tractus corticospinalis a tractus corticobulbaris. Až 40 % vláken pyramidových projekcí pochází z buněk precentrálního gyru, zbytek potom z buněk v gyru postcentrálním a z premotorických oblastí.

### 2.6.11 Premotorický kortex

Za primární premotorický kortex je označován kortex frontálního laloku, který zepředu sousedí s primárním motorickým kortexem (area 6a, 6b a 8 podle Brodmanna), jenž se rozprostírá na dorzální i meziální straně hemisféry. Jedná se o strukturálně identický kortex jako v areji 4, s výjimkou velkých pyramidových buněk, které zde zcela chybějí. Premotorický kortex (především jeho meziální část, tzv. suplementární motorická area) je považován za kortikální součást extrapyramidových struktur a za součást extrapyramidových motorických okruhů, přímého a nepřímého (viz výše). Projekce z premotorického kortexu končí ve striatu, cerebellu a talamu (ncl. ventralis anterolateralis), kortex sám je potom cílem talamických projekcí z téhož jádra.

Precentrální kortex je také zapojen ve zpětnovazebných mozečkových okruzích, a to cestou fronto-ponto-cerebelárních traktů.

Precentrální kortex, především jeho dorzolaterální část, je považován za morfologický substrát tzv. motorické paměti, kde jsou uchovávány primitivní i složitější pohybové vzorce získané během ontogeneze.

Do oblasti arey 8 je kladeno okulomotorické centrum, v němž se generují impulzy k volnému konjugovanému pohybu bulbů.

### 2.6.12 Prefrontální kortex (frontální asociační oblast)

Za prefrontální oblasti je označován kortex Brodmannových arejí 9, 10, 12 a 47 na dorzální a meziální straně hemisféry a arejí 11 a 47 na bázi frontálního laloku (někdy též označovány jako kortex orbitofrontální). Prefrontální kortex je výrazně vyvinut pouze u člověka a vyšších primátů, tradičně byl tedy považován za substrát vyšších psychických funkcí. Tento koncept byl již úplně opuštěn, i když významná role prefrontálního kortexu v psychické oblasti je nepopíratelná. Prefrontální oblasti jsou cílem významných projekcí z předního striata a ncl. medialis talamu a cestou asociačních drah z téměř všech kortikálních oblastí. Eferentní projekce směřují hlavně do striata a jiných kortikálních oblastí.

Prefrontální kortex je nejrozsáhlejší kortikální oblastí, je ovšem také oblastí nejméně prozkoumanou. „Asociační oblast“ v názvu je pouze tradiční, asociační pochody probíhají zajisté v mnoha kortikálních oblastech. Procesy v oblasti prefrontálního kortexu jsou pravděpodobně hierarchicky nadřazeny běžné asociační funkci. Jak vyplývá z textu níže, nelze zatím jednoznačně říci, že prefrontální kortex je substrátem integračních kortikálních procesů, a je jasné, že situace je mnohem složitější, než se dříve soudilo.

## 2.7 Současná představa o senzomotorické integraci na nejvyšší, tj. kortikální, úrovni

V současných fyziologických představách je téměř jisté, že relativně jednoduché integrační děje probíhají na všech úrovních nervové soustavy, ale komplexní integrační děje probíhají na úrovni kortikální. Tyto procesy na nejvyšší úrovni patrně kontrolují procesy na úrovních nižších.

V oblasti mozkové kůry však vstupuje do hry fenomén, který nemůže být součástí integračních procesů na úrovni nižší. Tímto fenoménem je vědomí. Procesy probíhající na úrovni kortikální jsou většinou vědomé, individuum si uvědomuje činnost svého těla, a to jak senzoricou, tak motorickou. Znamená to, že na této úrovni jsou aferentní informace vědomě vnímány, vyhodnocovány a kromě dalšího i ukládány do paměti a že motorické procesy generované na této úrovni jsou generované vědomě, tj. s určitým záměrem a cílem (pochopitelně s výjimkou mimovolních pohybů).

Normální vědomí je možno charakterizovat jako stav plného, nezkršeného vnímání vlastního těla a okolního prostředí a schopnosti myšlenkově reagovat na podněty z obou těchto prostředí. Jde o definici spíše filozoficko-medicínskou než čistě medicínskou, avšak obecně je velmi obtížné vědomí definovat. Vědomí nemá jednoznačný či lokalizovaný morfologický substrát, vědomí je komplexní funkcí celé centrální nervové soustavy. Pokusy klást myšlení, uvědomování či vědomí do některých kortikálních okrsků byly neúspěšné. Mozková kůra nefunguje jako soustava ohraničených, specializovaných okrsků, které spolu navzájem komunikují, ale své funkce se nijak nevzdalují. Určité jednoduché, jasně definované aferentní nebo eferentní děje v takových lokalitách (které byly popsány výše) probíhají. Ovšem „děje následné“, jež lze popsat snad jako uvědomovací, integrační nebo asociační, podobnou vazbu k určité kortikální lokalitě nemají. Neměnným obsahem „dějů následných“ je již kognitivní aktivita. Termínem kognitivní aktivita jsou popisovány činnosti nervové soustavy (zejména jejich hierarchicky nejvyšších částí), které souvisejí s procesy poznávání nebo rekognoskace stimulu, signálu či informace, jeho zařazení do kontextu již známých entit, tedy diskriminace, a patrně i aktivity související s přípravou odezvy, reakce na danou entitu (stimul, signál či informaci).

Kognitivní děje jednoznačně nepřísluší určitému ohraničenému okrsku mozkové kůry. V historicky nedávné době byla tendence přičítat tyto děje aktivitě tzv. prefrontálního asociačního kortexu (jak je popsáno v předchozí podkapitole). Jednalo se spíše o konstrukci podpořenou jen víceméně vágními doklady o kognitivní dysfunkci při lézích v právě této části kortexu nebo hemisfér. Jiný korelát do objevu kognitivních potenciálů (tzv. event-related potentials – ERP), vlastně neurofyziologického obrazu výše popsaného zpracování stimulu, signálu či informace, neexistoval.

Za vlastní korelát kognitivního procesu je považována komponenta P3 nebo P300 (vlna nazvaná podle typické polarity a latence) ERP. V šedesátých letech ji objevil a popsal Sutton. Klasicky je registrována v tzv. sluchovém odd-ball paradigmatu, tedy jako korelát procesu rozeznání terčového stimulu, který je „ukryt“ mezi stimuly maskovacími. Kromě tohoto klasického sluchového (auditivního) paradigmatu je však vlnu P3 (P300) možno registrovat i jako korelát kognitivních procesů navazujících na vizuální, somatosenzorický či somestetický vestibulární terčový podnět (dosud nejsou zprávy o studiu tohoto fenoménu při stimulaci gustatorické aferentace, ovšem technicky je podobný test zřejmě neproveditelný).

Po řadu let byly kognitivní ERP registrovány pouze ze skalpu, a to (kvůli kvalitní standardizaci podmínek) ze středové řady elektrod Fz–Cz–Pz, výjimečně Oz. Zdálo se, že potenciál P3 je generován v některé anteriorní centrencefalické kůře, tzn. bylo implikováno, že je neurofyziologickým korelátem procesů, které probíhají v již zmíněném prefrontálním asociačním kortexu.

Jak mylná a skutečnosti vzdálená byla tato představa o dějích navazujících na vstup aferentní informace do kortexu, ukázaly o nějakou dobu později intracerebrální registrace ERP. Nejdříve byly zkoumány ERP ve sluchovém odd-ball paradigmatu a vizuálních paradigmatech, dále ve vizuálních paradigmatech nadprahových i podprahových a nakonec i v paradigmatech se somatosenzorickým diskriminačním úkolem. Registrace byly většinou prováděny u pacientů se zavedenými intracerebrálními elektrodami v rámci přípravy k chirurgické léčbě epilepsie. Vzhledem k různorodosti syndromů těchto pacientů byly elektrody zaváděny prakticky do všech laloků, do nejrůznějších oblastí mozkového kortexu.

Zásadním zjištěním, společným pro všechny výše popsané studie, bylo to, že kognitivní ERP potenciál P3, eventuálně celý ERP potenciálový komplex, a to takového tvaru, který svědčí pro těsnou blízkost (nebo přímo inzerci) generátoru tohoto potenciálu, je možno registrovat z nejrůznějších míst kortexu, prakticky ve všech lalocích. To znamená, že jeden a tentýž kognitivní proces může probíhat paralelně prakticky kdekoliv v kortexu, bez ohledu na (do té doby popisovanou) funkční selektivitu kortikálních okrsků.

ERP potenciál P3, registrovaný v klasickém odd-ball paradigmatu, mívá obvykle jen minimální vztah k motorice, jde fakticky pouze o mentální diskriminační úkol. Větší, ne-li přímo zásadní vztah k motorickým procesům mají další ERP potenciály, které jsou registrovány přímo ve vztahu k pohybu. Jsou jimi tzv. RP (readiness potential), původně pojmenovaný svými objeviteli jako Bereitschaft potential, který se někdy také nazývá MRCP (movement-related cortical potential), dále CNV (contingent negative variation) a MASP (movement accompanying slow potential). Tyto fenomény je možno registrovat v čase předcházejícím volní pohyb (RP), v čase následujícím po volním pohybu (MASP) nebo v čase mezi dvěma stimuly, z nichž jeden je tzv. varovný a druhý je již povel k provedení pohybu (CNV). Situace v poznávání generátorů těchto potenciálů byla podobná, ne-li identická, jako situace v poznávání generátorů P3. Poměrně dlouhou dobu, kdy byly uvedené fenomény registrovány pomocí skalpových elektrod, se soudilo, že jsou generovány v určitém okrsku mozkové kůry, který je pro generaci příslušného fenoménu specifický. Ale, obdobně jako v případě P3, došlo časem i na intracerebrální registraci zmíněných potenciálů (opět u pacientů se zavedenými intracerebrálními elektrodami v rámci přípravy k chirurgické léčbě epilepsie). Podobně jako u ERP potenciálu P3 bylo u těchto s motorickou aktivitou úzce spojených fenoménů zjištěno, že je lze přímo registrovat prakticky ve všech lalocích, v nejrůznějších kortikálních areách.

Zmíněná pozorování do značné míry modifikují tradiční představy o senzoryckých, motorických a integračních senzomotorických dějích spojených s volní motorikou na úrovni mozkového kortexu. Zdá se, že je nutno opustit poměrně rigidní představu o specializaci mozkových laloků a arejí mozkového kortexu a o jejich zapojení v senzorycké, motorické a kognitivní činnosti. Lze přijmout (a dosavadní nálezy tomu nasvědčují), že na nejbazálnější kortikální úrovni, tj. na úrovni primární percepce aferentních signálů a finální eferentní motorické impulzace jistá funkční specializace existuje. Tím je míněna existence primárního somatosenzoryckého recepčního pole v postcentrálním gyru, vizuálního v kalikarinním kortexu a motorické pyramidové arey v gyru precentrálním. Nicméně na úrovni kortikální senzomotorické integrace, která nutně zahrnuje i „vědomou“, kognitivní část integračního procesu, již asi nelze dané funkci žádnou specifickou kortikální areu (či arejí) přiřazovat. Výsledky dosavadního výzkumu i klinické empirie svědčí spíše pro to, že v této časoprostorové doméně slouží mozkový kortex jako univerzální neurální systém (snad lze říci i síť), v němž jsou určité neuronální populace zapojovány do složitějších integračních a asociačních procesů na základě okamžité „použitelnosti“, lze-li takto přeložit přesnější anglický termín „functional availability“.

I tento koncept měl svého průkopníka. Česko-kanadsko-americký neurochirurg Karl Pribram (narodil se v Brně, kde také maturoval) načrtl tuto koncepci fungování mozkového kortexu již v roce 1961 na základě klinické a experimentální erudice u operovaných pacientů i experimentálních zvířat. Pribram tehdy uvažoval na areální úrovni, nikoliv na úrovni celulární. Ve světle posledních výzkumů se nicméně zdá, že tento, dříve zpochybnovaný koncept, je skutečnému fungování mozkové kůry v intencích senzomotorické integrace patrně nejbliž. Pribramova koncepce a její další rozvíjení se také stalo teoretickým základem nauky o neurální či kortikální plasticitě.



# 3 MÍŠNÍ SYNDROMY

Petr Kaňovský

Míšní syndromy se rozdělují na míšní syndromy transverzální a míšní syndromy longitudinální – tzv. kordonální, kdy jsou ve vertikálním aspektu postižovány míšní provazce buď v celé délce, nebo jen v určité části.

## 3.1 Úvod do symptomatiky míšních lézí

Při diagnostice transverzálních míšních lézí je nezbytné stanovení tzv. výšky léze, tj. topizace segmentu, v němž k postižení míšní tkáně došlo. Je nutno si uvědomit, že segmenty míšní neodpovídají segmentům páteřním, a to pro rychlejší růst kostních struktur páteře než struktur neuroektodermálních, tj. míchy. Mícha končí míšním konem na pomezí páteřních segmentů (tedy mezi obratli) L1 a L2. Pro hrubší topizaci platí, že v horním krčném úseku odpovídá číslo míšního segmentu číslu segmentu páteřního. V dolní krční a horní hrudní oblasti číslo páteřního segmentu odpovídá číslu segmentu míšního +1, ve střední hrudní oblasti číslo páteřního segmentu odpovídá číslu segmentu míšního +2 a v dolní hrudní oblasti číslo páteřního segmentu odpovídá číslu segmentu míšního +3. V oblasti L1–L2 mícha končí míšním konem a dále pokračuje jen svazkem míšních kořenů nazývaných cauda equina.

Stran hrubě topiky transverzálních míšních lézí lze stanovit, že léze v rozsahu segmentů C1–C4 (míněny jsou segmenty míšní, nikoliv páteřní) vede ke spastické kvadruparéze nebo kvadruplegii, včetně respiračního selhání (jde o lézi *nad* cervikální intumescencí). Léze v rozsahu segmentů C5–Th2, tj. v rozsahu krční intumescence, se projevuje smíšenou nebo chabou parézou horních končetin a spastickou parézou končetin dolních, s poruchou sfinkterů. Léze v rozsahu segmentů Th3–Th10 se projevuje spastickou parézou dolních končetin včetně postižení sfinkterů. Léze v oblasti lumbální intumescence (Th9–L2) se projevuje smíšenou nebo chabou parézou dolních končetin. Léze epikonu a konu míšního a kaudy mají specifickou symptomatiku, která bude popsána dále.

Z transverzálních poruch míšních jsou typicky popisovány následující syndromy.

## 3.2 Transverzální léze míšní

### 3.2.1 Syndrom hemisekce míšní (Brown–Séquardův)

Skutečná míšní hemisekce je extrémně vzácná a vzniká nejčastěji v důsledku růstu extradurálních expanzí. Za běžných okolností nedochází k pravé hemisekci, ale k postižení struktur na jedné straně hřbetní míchy. Symptomatika je následující: na straně míšní léze nacházíme (distálně od segmentu postižení) poruchu hybnosti charakteru parézy či plegie, tzn. spolu s přítomností akcentace proprioceptivních reflexů a s přítomností iritačních pyramidových jevů. Stejně tak ipsilaterálně nacházíme poruchu hlubokého cití (včetně odpovídající poruchy palestieze při klinickém

vyšetření). Obojí symptomatika je důsledek porušení ipsilaterálních drah, tj. pyramidových traktů a zadních míšních provazců. Kontralaterálně ke straně léze nacházíme poruchu čítí taktilního, diskriminačního, čítí pro bolest a čítí termického. To je důsledkem porušení spinotalamických traktů, které se kříží v oblasti lézí postiženého segmentu, výjimkou jsou velmi jednoduché dotekové (spíše tlakové) senzacce, protože tyto jsou aferentně transportovány nejen spinotalamickými trakty, ale i cestou zadních provazců. V tělesném segmentu, jenž odpovídá segmentu míšnímu, nacházíme motorickou poruchu charakteru chabé parézy (z postižení předních rohů míšních) a poruchu všech kvalit čítí. Může být přítomna porucha defekace či mikce, většinou reflexní měchýř či rektum, a porucha erektilní funkce.

### 3.2.2 Syndrom kompletní transverzální léze míšní

Transverzální léze míšní může sice být způsobena myelitidou (tzv. transverzní myelitis), ale v naprosté většině případů má traumatický původ. Náhlé přerušení míchy působí míšní šok. Ve všech úrovních pod sledovaným segmentem nacházíme chabou plegii a ztrátu čítí pro všechny kvality (horní hranice poruchy je často tvořena hyperalgetickou zónou). Je porušena inervace svěračů a jsou vyhasnuty sexuální funkce. Pod úrovní léze se také objevují trofické změny, zejména porucha inervace potních žláz, a neurotrofické změny, rezultující ve snadný rozvoj dekubitů.

Dosud není plně objasněno, jak a proč se vyvíjí míšní šok. Předpokládá se, že alespoň z části vzniká z důvodů náhlé absence centrálních eferentních projekcí, které prakticky kontinuálně facilitují vnitřní neuronální míšní síť, a to pravděpodobně cestou retikulospinálních drah. Míšní šok nicméně postupně odeznívá, toto období může trvat dny až týdny. Po odeznění míšního šoku se navrácí funkce míšních struktur, je však zbavena supraspinální kontroly, a vyvíjí se charakteristický obraz – spastická plegie s poruchou sfinkterů a sexuálních funkcí. Charakteristika motorické poruchy (kvadruplegie, paraplegie apod.) je závislá na výši léze (viz úvodní odstavec). Typicky se vyvíjejí míšní automatismy, např. trojflexe míšní, kdy při taktilním podráždění distální části končetiny dochází k oboustranné flexi dolních končetin ve všech kloubech, tj. kyčelním, kolenním i talokrurálním. Někdy se tento reflex pojí i s vyprázdněním močového měchýře a rektální ampuly, v takovémto případě se jedná o tzv. mass reflex, neboli reflex Ridochův. (Vědomé vyvolání mass reflexu patří k poměrně obvyklé praxi ošetrovatelek oddělení, kde jsou paraplegici hospitalizováni. Traduje se, že na tento systém vyprázdnění plegických pacientů přišla Florence Nightingaleová během krymské války.)

Typický obraz transverzální míšní léze v pokročilém stadiu dále zahrnuje typickou míšní spasticitu, spolu s dalšími pozitivními symptomy syndromu horního motoneuronu, jako jsou hyperreflexie šlachová a okosticová, masivní přítomnost pyramidových iritačních jevů, flekční spasmy, eferentní pálení a spastické klony.

Poněkud jiný obraz má porucha, pokud se vyvíjí postupně, např. růstem inoperabilního nádoru v míšním kanále, který postupně míchu zcela utlačuje. Transverzální míšní léze není po celou dobu rozvoje úplná, takže vzniká přímo spastická paréza (kvadruparéza, paraparéza) s přechodem do spastické plegie, bez chabého (vlastně pseudochabého) stadia. Stejně postupně se vyvíjejí i poruchy sfinkterů, poruchy čítí (jejich rozvoj a postup závisí na lokalizaci noxy, například tumoru, tj. zda roste extramedulárně či intramedulárně). Odtud se dovozují příznaky tzv. „šířící se olejové skvrny“, kdy se při růstu intramedulárním porucha šíří směrem vzhůru a při růstu extramedulárním směrem dolů. Při pokračující lézi se obraz postupně stává identickým s obrazem vznikajícím v pokročilém stadiu po náhlém přerušení míchy.