

Nervová soustava a její funkce

Nervová soustava (NS) je hlavní regulační jednotkou organismu. Spolu s endokrinní soustavou představuje řídicí systém, jehož úkolem je zajistit integraci funkcí celého těla a umožnit tak jeho normální fungování v podmínkách daného vnějšího a vnitřního prostředí. Základní stavební jednotkou NS je nervová buňka, která zajišťuje vytváření, vedení a předávání nervových vzruchů - základních funkčních procesů, které umožňují přijímat informace, analyzovat je a vydávat řídicí signály. Tím spouští mechanismy, které zajistí odpovídající reakce výkonných jednotek. Některé informace o výsledné činnosti se zpětně vracejí prostřednictvím zpětné vazby do CNS a mohou se zde ukládat. Takto uložené informace mají pak vliv na nové reakce výkonných jednotek i celého organismu. Tím důležitost nervové soustavy v průběhu evoluce roste a stává se dominantní řídicí a integrační soustavou. Svých vrcholných schopností dosahuje u člověka ve funkcích označovaných jako vyšší nervová činnost, která zahrnuje – paměť, řeč a vědomí.

Z funkčního a anatomického hlediska se nervová soustava dělí na – centrální, periferní a vegetativní.

1. Vývoj nervových soustav

Nejjednodušší nervová soustava se vytváří u – žahavců a hub (**Obr. 1**). Označujeme ji jako – difúzní a je tvořena – protoneurony. Ty se od normálních neuronů liší tím, že mají stejnocenné tedy nerozlišené výběžky a podráždění vedou všemi směry jako vzrušivou vlnu. U pokročilejších typů pak nervové dráhy, které jsou více využívány (senzorické nebo motorické), mají tendenci vytvářet rychlejší spoje, takže jednotlivé součásti této NS již nejsou stejnocenné. Vytváří se také první jednoduché chemo-, mechano- nebo fotoreceptory, od kterých vedou dráhy jedním směrem. Vytváří se také první náznaky – ganglií. Paprscitá souměrnost však další progresivní vývoj neumožnila. Ten je spojen až s bilaterální souměrností a procesem - cefalizace. Jeho podstata souvisí s pohybem a tím nutností soustředit smyslové orgány na přední část těla. Informace z těchto orgánů je pak nutné zpracovávat, a proto dochází k posilování hlavových ganglií. Ty pak přebírají integrační funkce i z hlediska celého organismu a řídí aktivitu ostatních částí NS - tělních uzlin – které však mají stále relativně velkou autonomii. V nejjednodušší podobě je tento plán realizován ve formě 1-3 párů pruhů (žebernatky, ploštěnci). Dále pak dochází během vývoje ke koncentraci NS a tak se u kroužkovců vytváří – žebříčková NS, která se u členovců dále koncentruje zkracováním příčných komisur na - břišní nervovou pásku. V základním plánu se potom v každém tělním článku vytváří dvojice ganglií, které posléze také splývají. Proces koncentrace dále pokračuje zkracováním podélných konektiv, což můžeme pozorovat již v rámci skupiny členovců, kdy se vytváří – koncentrovaná nervová soustava (např. ploštice). Jedna z nejdokonalejších NS bezobratlých se vytváří u koryšů a u hmyzu (**Obr. 2**).

Nervová soustava hmyzu - se dělí na – CNS (mozek a ganglia břišní nervové pásky), viscerální a periferní NS. Mozek, největší a nejdůležitější ganglium, je u hmyzu dokonale vyvinut a představuje základní asociační centrum těla. Sbíhají se zde informace ze smyslových orgánů hlavy a přes interneurony i z ostatních ganglií. Hmyzí mozek se dělí na 3 části - proto-, deuto- a tritocerebrum. Protocerebrum vytváří dvě hemisféry, které jsou spojeny s - optickými laloky vedoucími ke složeným očím. Protocerebrum se nachází na dorzální straně mozku (hlavy) a podobně jako u jiných ganglií jsou v něm somata neuronů umístěna periferně, zatímco střed je tvořen – neuropilem (**Obr. 3**) – tvořeným především interneurony a synapssemi – probíhají zde nejsložitější asociační procesy. Deutocerebrum inervuje především tykadla, je tedy centrem čichu a zpracovává také informace z dalších antenálních receptorů. Tritocerebrum má vliv na stomatogastrickou nervovou soustavu. Hmyzí mozek řídí kromě běžných životních procesů také poměrně složité reflexní a instinktivní chování hmyzu.

Koncentrační tendenci vývoje NS můžeme pozorovat i u měkkýšů, kde se místo nervové pásky s mnoha ganglii tvoří několik málo párově propojených ganglií. Tento plán je typický třeba pro hlavonožce, kde dosahuje nejvyššího stupně vývoje, a i když je tato skupina slepou vývojovou větví, je NS hlavonožců funkčně nejdokonalejší mezi bezobratlými. Díky složitým nervovým spojům je schopna dokonalého zpracování signálů ze smyslových orgánů umožňuje také schopnost – učení.

Organizace NS obratlovců je odlišná – základem je zde trubice s centrálním kanálem, která leží na hřbetní straně těla a která souvisle přechází v mozkovou část umístěnou v hlavě.

2. Centrální nervová soustava obratlovců a člověka - mícha a mozek

CNS obratlovců představuje mozek a míchu (**Obr. 4**) – nejdokonalejší řídicí nervové centrum živočichů. Představuje systém řídicí jednoduché i složité fyziologické děje v organismu na základě svých senzorických, motorických i asociačních funkcí (**Obr. 5, 6**). Jedná se o seskupení nervových buněk – neuronů a glií; CNS obratlovců obsahuje asi 10 – 50 krát více gliálních buněk než neuronů a glie tvoří asi polovinu objemu nervové soustavy. CNS je pro svou důležitost dobře chráněna kostěným obalem – lebkou a páteří. Kromě toho je nervová tkáň obalena třemi vazivovými obaly:

- a. Omozečnice (cévnatka, pia mater) – obaluje přímo nervovou tkáň a je bohatě prokrvena
- b. Pavučnice (arachnoidea) – je bezcévná, pod ní se nalézá množství dutinek vyplněných mozko-míšním mokem. Mozkomíšní mok se nachází nejen pod pavučnicí, ale i v mozkových komorách (viz níže). Vzniká jak aktivní sekrecí buněk v komorách, tak filtrací intersticiální tekutiny mozkové tkáně. Chrání mozek a míchu před otřesy, zajišťuje homeostázu prostředí, transportuje živiny a vyrovnává objemové změny mozku a míchy.
- c. tvrdá plena (dura mater) – částečně srůstá s kostěnými obaly a je silná a neohebná.

Mezi krevním řečištěm a nervovou tkání včetně mozko-míšního moku se nachází – hematoencefalitická bariéra (**Obr. 7**), která obaluje cévy a kapiláry v CNS. Je složena z endoteliálních buněk těsně na sebe nasedajících (tight junction) a dále z vrstvy gliálních buněk - astrocytů, které endoteliální buňky obklopují. Bariéra umožňuje pouze selektivní výměnu látek a chrání CNS před některými látkami z krve, přičemž neovlivňuje další metabolické funkce cév. Je neprostopupná pro vysokomolekulární látky, kontroluje tedy výměnu metabolitů a iontů. Bariéra je propustná pouze v hypothalamu, kde do krve pronikají hormony, a také v chemorecepční oblasti.

2.1. Mícha

Je to trubice nervové tkáně s kanálkem uprostřed uložená na dorsální straně těla (**Obr. 8**). Vnitřní část tvoří – šedá hmota, tvořená těly neuronů, vně se nachází bílá hmota – tvořená převážně myelinizovanými nervovými vlákny. U člověka vychází z míchy 31 párů míšních nervů – 8 párů krčních, 12 párů hrudních, 5 párů bederních, 5 párů křížových a 1 pár kostrčních (**Obr. 9, 10**). Tyto nervy se v nevelké vzdálenosti od páteřního kanálu větví a tvoří – pleteň (plexus nervorum), z které se formují vlastní periferní nervy inervující většinu těla.

Aferentní senzorycké neurony vstupují do míchy na dorsální straně. Jejich těla leží v páteřním kanálu mimo míchu, v drobných shlucích nervových buněk zvaných – spinální ganglia (**Obr. 11**). Ve ventrálních sloupcích míchy se nacházejí těla eferentních motorických neuronů, v dorsálních sloupcích pak – interneurony.

Míchou prochází v podélném směru řada nervových drah, které vedou informace do mozku – vzestupné (ascendentní) dráhy nebo naopak z mozku – sestupné (descendentní) dráhy. První skupina se skládá převážně ze senzoryckých drah, druhá pak převážně z motorických drah. Každá nervová dráha je komplikovaná struktura nervových vláken skládající se z tisíců (až 1 milionu) axonů. Dráhy si však nemůžeme představovat jen jako prosté kabely, protože z nich odbočují jednotlivé nervy a celá dráha nezačíná najednou, ale postupným spojováním nervů a podobně také nekončí v jedné struktuře. Navíc z dané dráhy vychází kolaterály, které se napojují na jiné dráhy, takže reálná situace je velmi komplikovaná. Celkově lze říci, že se jedná o hierarchicky uspořádaný – jednotný funkční celek.

Detailní uspořádání míchy se liší u jednotlivých živočišných skupin, ale obecně zde můžeme rozlišit 4 oblasti:

- a. somatiko-senzoryckou
- b. viscerálně-senzoryckou
- c. viscerálně-motorickou
- d. somatiko-motorickou

Spojení senzoryckých a motorických oblastí je různě komplikované – zahrnuje kratší nebo delší dráhy v míše nebo se účastní i mozek. Obecně mícha představuje - centrum reflexního

řízení řady fyziologických dějů – vyprazdňování močového měchýře a střev, regulace šířky zornice, pohlavních funkcí, patelárního reflexu, odtahování končetin atd.

2.2. Mozek

Vývojově vzniká mozek ze 3 základních částí (**Obr. 12**) – prosencephala, mesencephala a rhombencephala. U primitivních obratlovců jsou tyto 3 části spojeny se 3 smysly – čichem, zrakem, a sluchem a rovnovážným smyslem. Trojdílný mozek se dále člení na 5 dílný (**Obr. 13**):

- prosencephalon – se dále člení na (1) koncový mozek (telencephalon) a (2) mezimozek (diencephalon)
- mesencephalon – (3) střední mozek – se dále nečlení
- rhombencephalon – se dále člení na metencephalon, který se skládá z (4) mozečku (cerebellum) a u savců z Varolova mostu (pons Varoli), a z (5) prodloužené míchy (myelencephalon - medula oblongata).

V mozku se vyvinuly - 4 mozkové komory (Obr. 14) navazující na míšní kanálek a obsahující mozkomíšní mok. Dvě jsou v hemisférách koncového mozku, jedna v mezimozku a jedna v prodloužené míše.

V mozku se neurony často shlukují do jasně ohraničených center – jader, která představují řídicí jednotky pro dané funkce. Jádra jsou pak spojena – dráhami.

2.2.1. Mozkový kmen

Vývojově a fyziologicky je důležitou součástí mozku - mozkový kmen (Obr. 15), který je odvozen z bazálních částí tří původních oddílů mozku a který je anatomickým pokračováním míchy – skládá se z prodloužené míchy, Varolova mostu a středního mozku. Je to tedy fylogeneticky nejstarší část mozku na dorsální straně přerostlá kůrou hemisfér koncového mozku a mozečku. V mozkovém kmene jsou uloženy centra jednoduchých, ale životně důležitých funkcí – polykání, rytmická dýchání, regulace srdeční činnosti a krevního oběhu, sekrece trávicích šťáv, koordinace pohybu, svalový tonus atd.

Důležitou součástí mozkové kmene je jeho – retikulární formace. Je to pruh nervové tkáně tvořený sítí nervových buněk (odtud název retikulární) představujících primitivní architekturu, která je nezbytná pro řízení koordinace motorických funkcí. Retikulární formace mozkového kmene je nezbytná pro udržení vzpřímeného postojení tím, že řídí míšní reflexy, ale aktivuje i vyšší centra v kůře mozku.

2.2.2. Prodloužená mícha

Tvoří přechod mezi mozkiem a míchou, je zadní součástí mozkového kmene a v její retikulární formaci jsou uložena centra životně důležitých vegetativních funkcí jako –

dýchání, krevní oběh, slinění, zvracení atd. Zničení této formace vede ke smrti v důsledku zástavy dýchání a selhání oběhu. Nachází se zde také centra pro rytmické projevy chování, jako je hlavně spánek a společně s mozečkem a středním mozkem se prodloužená mícha účastní také udržování rovnováhy těla; zprostředkovává také mimiku tváře, tvorbu zvuků a řeči. Vychází z ní 8. párů hlavových nervů (V. až XII) (**Obr. 16**):

V. trojklanný nerv – nervus trigeminus – inervuje kůži obličeje, nosní a ústní sliznice, zuby, slzné žlázy a žvýkací svaly

VI. nerv odtahovací – nervus abducens – inervuje zevní okoohybné svaly

VII. liční nerv – nervus facialis – inervuje mimické svaly, slinné žlázy a jazyk

VIII. staticko-sluchový (sluchově rovnovážný) nerv – nervus statoacusticus (nervus vestibulocochlearis) – obsahuje výhradně senzoričká vlákna od sluchových buněk a rovnovážného ústrojí

IX. jazykohltanový nerv – nervus glossopharyngeus – inervuje hltan, jazyk, chuťové pohárky, měkké patro a příušní žlázy

X. bloudivý nerv – nervus vagus – inervuje orgány dýchací a trávicí soustavy, včetně jater, sleziny, ledvin a srdce

XI. přídavný nerv – nervus accesorius – obsahuje jen motorická vlákna inervující svaly krku a šíje

XII. podjazykový nerv – nervus hypoglossus – inervuje svaly jazyka

2.2.3. Mozeček

Nachází se v zadní části mozku okolo mozkového kmene a je uspořádán do dvou hemisfér, které jsou vrstevnaté a bohatě zvrásněné. Anatomicky na něm rozlišujeme kůru a podkorová jádra. Má rozsáhlé spojení se středním mozkem, retikulární formací mozkového kmene (Varolův most) i přímé spoje s kůrou koncového mozku. U všech obratlovců je to důležité centrum v řízení koordinace pohybu a udržování postoje (**Obr. 17**). Přichází sem informace z vestibulárního aparátu (u vodních obratlovců z postranní čáry), z proprioreceptorů, očí, taktilních receptorů a motorických center v retikulární formaci a tektu (viz dále).

2.2.4. Střední mozek

Střední mozek tvoří na horní straně – tektum – zbytnělou oblast šedé hmoty, na spodní pak – tegmentum, které je přední součástí retikulární formace. U nižších obratlovců je zde hlavní zrakové a asociační centrum (tektum) a také nejvyšší centrum pro motorickou činnost (tegmentum). Během evoluce však funkční význam středního mozku klesá. U savců se v tektu tvoří – čtverhrbolí – které řídí reflexní reakce očí a hlavy na vizuální, ale i sluchové podněty. Je zde syntetické centrum pro vyhodnocování senzoričkých vstupů a tvorbu složitých motorických programů.

Vychází odtud III. a IV. pár mozkových nervů – nerv okohybný (nervus oculometricus) a nerv kladkový (nervus trochlearis) – oba inervují oční svaly.

2.3.5. Mezimozek

Vývojově vzniká s prosencephala, je překryt hemisférami koncového mozku (**Obr. 18**). Je tvořen převážně stěnami III. komory mozkové – boční stěny se označují jako – thalamus, který je párový, dorzální stěna jako – epithalamus a ventrální jako – hypothalamus. Z mezimozku vzniká v embryonálním vývoji – sítnice, odkud sem vpřichází II. pár mozkových nervů – nerv zrakový - nervus opticus.

1. Thalamus – je významné podkorové centrum, které představuje jakousi vstupní bránu do vědomí, kontrolují se zde smyslové informace, třídí se a ty složitější jsou propouštěny do mozkové kůry. Thalamus obsahuje řadu jader (až 50), která se třídí podle různých kritérií. Podle funkce se dělí na:

a. specifická jádra senzoričtých systémů – v nich dochází ke konečné úpravě smyslových signálů před jejich vstupem do určitých „specifických“ oblastí kůry

b. nespecifická jádra – přijímají vstupy z retikulární formace mozkového kmene, jiných jader thalamu a z jader předního limbického mozku. Výstupní impulsy těchto jader jsou předávány do všech kortikálních oblastí. Zjednodušeně si můžeme představit, že přes nespecifická jádra thalamu je kortex informován, že „se něco děje“, aby kortex připravila na příjem konkrétního čítí. Jinými slovy, projekce přes specifická jádra thalamu probíhá do určité kortikální oblasti, zatímco projekce přes nespecifická jádra je „difúzní“ do celého kortexu a aktivuje jej pro další konkrétní čítí.

c. jádra motorických funkcí – komunikují s koncovým mozkiem a mozečkem a mají funkci při koordinaci pohybů

d. jádra spojená se složitými asociačními funkcemi kůry – např. řečí, emocemi (jako součást limbického systému – viz dále)

2. Hypothalamus – spojen s hypofýzou v – hypothalamo-hypofyzární komplex. Je zde hlavní integrační centrum útrobních a vegetativních funkcí – jako např. ovulační cyklus a homeostatické funkce – příjem potravy, osmolalita, glykémie, teplota, tlak krve, obsah kyslíku atd. V hypothalamu se sjednocuje integrační řídicí soustava endokrinní a nervová. Uskutečňuje se zde také koordinace mezi vegetativním řízením a vědomými ději řízenými z mozku.

3. Epithalamus – jeho součástí je pineální žláza – epifýza (šišinka), ta produkuje – melatonin, který se podílí na řízení cirkadiálních rytmů.

2.3.6. Koncový mozek

Je to přední oddíl nervové trubice, který vývojově vzniká z čichových laloků (**Obr. 19**) sloužících ke zpracování čichových informací – vývojově nejstarší součástí smyslové

soustavy. Díky tomu u všech obratlovců do koncového mozku vstupuje – I. čichový nerv (nervus olfactorius). Koncový mozek má typické uspořádání s šedou kůrou neboli – kortexem či palliem - na povrchu hemisfér (tloušťka do 5 mm) a bílou hmotou zatlačenou do nižších vrstev.

Z anatomického a funkčního hlediska rozlišujeme v koncovém mozku oblasti zvané (**Obr. 20**):

1. paleopallium (paleokortex) – má funkci čichového vnímání, u savců z původní struktury zbyl jen malý oddíl na ventrální straně mozku (zaujímá asi 1% kůry)
2. archipallium (archikortex) – (zaujímá asi 3.5% kůry) odvozuje se z něj hipokampus a amygdala, struktury, které jsou součástí – limbického systému
3. bazální ganglia – tvoří mohutná jádra šedé hmoty, která jsou vzájemně oddělena bílou hmotou, což vytváří na řezu žíhanou strukturu, která se nazývá - corpus striatum - žíhané těleso. Bazální ganglia zasahují do podkorových oblastí a jsou důležitá pro regulaci pohybu
4. neopallium (neokortex) – nejvyvinutější část mozku, která dominuje u savců

2.3.6.1. Limbický systém

Je to heterogenní systém vývojově starých oblastí telencephala (**Obr. 21**), kam patří struktury odvozené od paleo- a archipalia, a dále mezimozku (diencephala). Tento funkční celek se nachází kolem mozkového kmene a je hlavním místem vzniku emocí – jako je radost, zlost, strach, příjemný a nepříjemný pocit. Tyto pocity vznikají na základě složitých analytických a syntetických pochodů.

- Do limbického systému se dostávají informace z autonomních nervů, korových sensorických oblastí i hormonální faktory.

- Z limbického systému naopak vedou dráhy do kůry, mozkového kmene, hypothalamu i na autonomní nervový systém.

Výsledkem je pak vytvoření složitých fyziologických a behaviorálních mechanismů, které udržují homeostázu a životní procesy obecně. Např. pocity hladu nebo žízně motivují jedince ke shánění potravy, k pití atd. Limbický systém má také vztah k procesům učení a paměti – posuzuje se zde důležitost a význam signálů, a ty signály, které jsou uznány za významné, postupují do vyšších paměťových pater. Signalizace takové informace se může opakovat tak dlouho, až je informace zapsána do synaptických okruhů dlouhodobějších paměťových stop (viz také dále). Hodnotící mechanismy pak dodávají emoční náboj sensorickým informacím zpracovávaným v asociačních oblastech kůry. Odstranění některých částí limbického systému (amygdaly) vede ke ztrátě emocí, naopak její dráždění vyvolává pocity radosti nebo zuřivosti.

2.3.6.2. Neopallium

Je tvořeno mozkovou kůrou, která u člověka obsahuje asi 15 miliard neuronů, které jsou uspořádány do 6 vrstev (**Obr. 22, 23**) a asi 50 miliard gliových buněk. V mozkové kůře je asi

50 různých typů buněk. Povrch kůry je zvětšen závity (gyri) a rýhami (sulci). V mozkové kůře je možné rozlišit oblasti senzorické, efektorové a asociační.

Funkční struktura kůry je orientována do vertikálních – modulů (sloupců), orientovaných kolmo k jejímu povrchu, informace vstupují do těchto sloupců zesponu a v hořejších oblastech jsou pak zpracovávány. Zdokonalování nervové činnosti pak závisí i na – gyrifikaci, čímž se zvětšuje plocha a tedy i počet spojů v horních vrstvách kůry, ale také na zvyšování počtu modulů.

Mozková kůra je rozložena na dvou hemisférách telencephala, které jsou spojeny – kalózním tělesem (corpus callosum). Na kůře rozlišujeme laloky (**Obr. 24**) – čelní (frontální), temenní (parietální), týlní (okcipitální) a 2 spánkové (temporální). V těchto lalocích jsou umístěny motorické, senzorické a asociační oblasti, které jsou uváděny na – cytoarchitektonických mapách (Obr. 25, 26).

Z funkčního hlediska jsou v přední části hemisfér spíše – motorické oblasti, v zadní pak spíše senzorické. Nachází se zde nejvyšší centra jednotlivých smyslů – zrakové centrum v týlním laloku (Obr. 27), sluchové centrum ve spánkovém laloku (Obr. 28), centrum pro informace z kožních čidel v temenním laloku, čichové centrum ve spodní části čelního laloku (Obr. 29) a chuťové centrum ve spánkovém laloku (i v bazálních oblastech mozkové kůry).

V kůře jsou také lokalizovány projekční oblasti, které jsou zodpovědné za řízení jednotlivých svalových skupin – hovoříme o senzitivním a motorickém – somatotopickém uspořádání (Obr. 30). Každý sval nebo smyslový receptor má v této oblasti mozku určitý ostrůvek neuronů, který ho řídí - neboli určitým svalům či smyslovým receptorům odpovídá určitá oblast kůry, která je tím větší, čím jsou pohyby jemnější a komplikovaněji řízeny nebo čím je tato jednotka důležitější pro život jedince. Tato projekce se označuje jako – homunculus. Rozlišujeme – senzorický homunculus, který reprezentuje senzorické oblasti, a – motorický homunculus, který reprezentuje motoriku. V řadě oblastí mají obě projekce podobnou velikost – významně jsou zastoupeny ruce, především prsty a dále obličej, ústa, rty a jazyk.

V neopalliu hemisfér jsou centra pro jednotlivé asociační činnosti (**Obr. 31, 32**), mozek se však navíc vyznačuje tzv. lateralizací – obě hemisféry se funkčně i anatomicky liší. Obecně lze říci, že v levé hemisféře převládají analytické procesy a v pravé syntetické procesy. Levá hemisféra je u většiny lidí sídlem motorického centra řeči – Brocovo centrum řeči, kde vznikají pokyny pro vznik mluveného slova, a také senzorického centra řeči – Wernickovo centrum, které slouží ke vnímání a chápání mluveného slova. Odpovídáme-li ústně na ústní dotaz, probíhají rozhodující nervové informace po následující dráze (**Obr. 33**):

vnitřní ucho ► centrum sluchu ► Wernickovo centrum ► Brocovo centrum ► motorická oblast kůry – pokyn svalům. Současně se aktivizuje paměť.

Lateralizace souvisí také s pravo- a levorukostí. Dominance levé hemisféry je spojena s pravorukostí a naopak. V průměrné populaci je asi 88% praváků a 12% leváků - asi 30 % leváků má sídlo řeči v pravé hemisféře. Tato specializace ale není neměnná, mozek se vyznačuje značnou funkční plasticitou – po zničení určité části mozku může jeho jiná část převzít zničené funkce.

3. Nervové řízení kosterního svalstva

Nervové řízení kosterního svalstva je mimořádně složitý komplex dějů, který zahrnuje činnost označovanou jako somatické děje. Patří sem kromě klasického pohybu a udržování vzpřímeného postojů také děje úzce spojené s psychickou činností – mimika, řeč a písmo. Některé jednoduché pohyby mají reflexní charakter, ale mnohdy se jedná o složité procesy, kdy mozek musí sladit pohybové aktivity končetin a částí těla podle situace, v níž se organismus nachází. Proces zahrnuje zpětnovazebnou kontrolu z exteroceptorů a proprioreceptorů ve svalech a šlachách.

Motorické dráhy savců a člověka vychází z neopalia a zpravidla se dělí na dva systémy – pyramidový a extrapyramidový (pozn. dnes je snaha od těchto termínů ustupovat, ale stále se hojně používají).

1. Extrapyramidová (víceuronová dráha) - představuje vývojově starší strukturu a vede z kůry přes struktury v mozkovém kmeni do míchy (viz také obr. 39)– zajišťuje stereotypní pohyby a postoj.

2. Pyramidová – kortikospinální dráha (Obr. 34) - vede bez přerušení z kůry do míchy k míšním motoneuronům nebo do motorických jader hlavových nervů (jazyk, mimika obličeje). Je maximálně vyvinutá u primátů a řídí zde nejsložitější pohybovou aktivitu, tedy jemně diferencované pohyby.

Nervové řízení pohybu je organizováno – hierarchicky:

1. Základem je - svalový tonus zajištěný činností míchy (Obr. 35).

2. Jemu nadřazena je – opěrná motorika představující postojové a vzpřimovací reflexy – je řízena z retikulární formace, mozečku a míchy (Obr. 36). Opěrná motorika je zajištěna systémem mono- nebo polysynaptických reflexů (**Obr. 37**). Monosynaptické reflexy např. - patelární reflex (Obr. 38) jsou krátké napínací reflexy, které fungují bez interneuronů, protože stimul i odpověď probíhá ve stejném orgánu. Stimulem je pak protažení svalu a následné podráždění svalových vřetének, které vyvolají kontrakci téhož svalu a uvolnění antagonistického svalu. Smyslem je rychlá korekce „nechtěných“ změn délky svalu a tím i postavení kloubů. Polysynaptické reflexy – jsou vyšším stupněm reflexní motoriky s mnoha synaptickými kontakty. Některé jsou excitační jiné inhibiční – při aktivaci flexorů musí být tlumeny extenzory.

3. Nejvýše postavená je – cílená motorika vycházející z mozkové kůry (**Obr. 39**). Je založena na přímé i zpětnovazebné komunikaci kůry, podkorových oblastí (bazální ganglia)

thalamus (= mezimozek), mozeček, mozkový kmen, míchy, receptorů a svalových skupin. Nejvýznamnějšími receptory, které se podílejí na tomto procesu jsou – zrak, statokinetická čidla, kloubní receptory, svalová vřeténka a šlachová tělíska.

4. Vegetativní nervová soustava (VNS)

Specializuje se na řízení vnitřních orgánů – reguluje činnost srdce, hladké svaloviny cév, trávicí a vylučovací soustavy, pohlavních orgánů, svalů vlasů a chlupů, duhovky, endokrinních, slzných a potních žláz. Označuje se jako autonomní tedy nezávislá na vůli. Její činnost je nicméně úzce spojena se somatickým systémem a také s endokrinní soustavou. Činnost VNS je kontrolována hormonálně a nervově z – hypothalamu a částečně z prodloužené míchy, tomu jsou však nadřazena korová centra. Její nervová vlákna jsou tenčí, takže vedení nervových vzruchů je pomalejší, reflexy mají celkově delší dobu trvání a nelze je ovlivnit vůlí. Eferentní odstředivé dráhy VNS jsou přerušeny gangliem ležícím mimo CNS – ganglia se označují jako – sympatická nebo parasympatická (přerazovací) ganglia (Obr. 40).

Z funkčního a morfologického hlediska se periferní nervy dělí na (Obr. 41):

1. Sympatický adrenergní systém – vychází z hrudní a bederní míchy a jeho nervy prochází paravertebrálními ganglii uloženými podél míchy v řadě označované jako – sympatický kmen (truncus sympathicus). Pregangliovým mediátorem je acetylcholin, postgangliovým pak noradrenalin.

2. Parasympatický cholinergní systém – vychází z jader v mozkovém kmeni a křížové míchy a příslušná ganglia leží v blízkosti nebo i uvnitř cílových orgánů. Pre- i postgangliovým mediátorem je acetylcholin.

Většina orgánů je inervována jak para-, tak sympatikem, u některých však jedna ze složek převládá – často však oba systémy mají – antagonistickou funkci (Obr. 42). Obecně platí, že tonus parasympatiku převládá v klidu (ve spánku, trávení, zotavování), zatímco při stresu (práce, vystavení chladu, nemoc) převládá tonus sympatiku. Např. u srdce vede zvýšená aktivita sympatiku ve zvýšení jeho činnosti.

5. Integrační činnost CNS a základní fyziologické principy chování

a. Nepodmíněné reflexy – jsou to základní funkční jednotky aktivity nervové soustavy založené na reflexním oblouku. Jsou jednoduché stereotypní a dědičně fixované. Uplatňují se u vegetativního a motorického řízení organismu. Někdy na sebe navazují celá řada reflexů a vytváří komplex nebo vzorec aktivit, které jsou spouštěny určitým podnětem.

b. Podmíněné reflexy – vznikají při časové nebo prostorové souhře nepodmíněného reflexu s dalším podnětem, který je původně indiferentní. Ten v takové opakované souvislosti přebírá signální úlohu a stává se podnětem podmíněným (klasické Pavlovovy pokusy se psy: rozsvícení žárovky – podávání potravy – slinění). Mezi podmíněnými a nepodmíněnými

reflexy se mohou vytvářet různě komplikované vzájemné vztahy a mohou na sebe navazovat, vzniká tak – dynamický stereotyp. Je to dočasně neměnná soustava nepodmíněných a podmíněných reflexů, vzniklá na základě stereotypně se opakujících podnětů – např. řazení rychlostí v autě.

c. Instinkty – programy nervové činnosti, které jsou vrozené a druhově specifické. Spouští se podle určitého schématu v situacích kriticky důležitých pro zachování života nebo druhu. To vede k realizaci určitého motorického projevu – tedy chování. Uplatňují se při řízení rozmnožování, péče o potomstvo, obraně proti predátorům nebo získávání potravy.

d. Učení – je schopnost vyhodnotit a využít předchozí informace pro modifikaci následného chování. Existují různé typy učení – napodobováním, hrou, vhladem – podstata spočívá v pochopení vnitřních vztahů mezi různými podněty a ději, vtištěním (imprinting) – dochází k němu krátce po narození, ale s trvalými následky – je považováno za přechodnou formu mezi vrozeným a naučeným chováním. S učením a dalšími projevy vyšší nervové činnosti souvisí psycho-somatické rozdělení – typologie temperamentů člověka. Rozeznáváme 4 typy – melancholik, choleric, sanquinik a flegmatik.

e. Paměť – „je schopnost organismu modifikovat své chování na základě předchozí zkušenosti.“ Je to schopnost nervového systému ukládat informace ve formě – paměťové stopy (Obr. 43) a v případě potřeby si je vybavovat. Podstatou paměťové stopy je - tvorba nervových spojení mezi neurony, které mají dočasný nebo trvalý charakter a zahrnují změny biomembrán vlivem procházejících akčních potenciálů, změny biochemických dějů v neuronech a strukturální změny. Podle současných znalostí je sídlem paměti celý mozek. Předpokládá se ale, že konkrétní informace je uložena vždy po určitou dobu na stejném místě. Podle délky trvání se paměť dělí se na:

- krátkodobou (primární) paměť – přetrvává sekundy až minuty, je nutná pro aktuálně vykonávanou činnost, má malou kapacitu a v případě potřeby se přesunuje do trvalejší paměti.

- střednědobá (sekundární) paměť – přetrvává minuty až hodiny, uchovává komplexnější vjemy, spontánně vymizí nebo se informace přesune do trvalé paměti. Pro její uchování je důležitý limbický systém (hipokampus).

- dlouhodobá (terciární) paměť – přetrvává roky až celý život, její kapacita je téměř neomezená. Trvalé uložení informací v této paměti je posilováno – procvičováním nebo spojením s emočním nábojem, hovoříme o – konsolidaci paměťové stopy. Přesun informace z krátkodobé do dlouhodobé paměti trvá určitou dobu, pokud je tento přesun přerušeno např. bezvědomím, tak se tato informace z krátkodobého registru ztratí a člověk si nepamatuje události předcházející bezvědomí (desítky minut, hodiny)

Vnímané informace se nejprve dostávají do krátkodobé paměti, kde obíhají po nervových obloucích řetězce akčních potenciálů. V neuronech se při tom zvyšuje aktivita navyšováním počtu těchto potenciálů, zvýšeným množstvím vylučovaného mediátoru, změnou synaptické štěrby a také zvýšením syntézy mRNA a bílkovin. Přitom současně probíhá třídění

informací a ty podstatné jsou přesouvány do dlouhodobé paměti, která je charakterizována novými synapsemi a další tvorbou bílkovin. Z tohoto hlediska nejsou rozdíly mezi mechanismy jednotlivých pamětí ostré – dá se tedy říci, že pro rychlé, ale krátkodobé zachycení informací slouží změny funkční, dlouhodobé uložení pak závisí na morfologicko-funkční přestavbě synapsí.

6. Biorytmy - spánek a bdění

Biorytmy organismu jsou jakousi vnitřní odezvou na periodické změny vnějšího prostředí. Vnitřní hodiny organismu dokáží udržet tělesné rytmy i bez přímého řízení zvnějšku. Řízení biorytmů je komplikovaná záležitost a jejich molekulární principy jsou teprve postupně odhalovány (**Obr. 44**). Biorytmy živočichů a člověka se třídí podle řady kritérií – nejznámější třídění je podle délky rytmu:

- ultradiánní (infradiánní) rytmy – mají periodu zpravidla několik sekund - dýchání, srdeční tep
- cirkadiánní rytmy mají periodu asi 24 hodin a souvisí se střídáním dne a noci tedy s otáčením Země kolem své osy
- lunární rytmy asi 28 – 30 dní a souvisí s fází Měsíce a jeho vlivem na Zemi
- sezónní rytmy mají periodu 1 rok a souvisí s oběhem Země kolem Slunce.

Předpokládá se, že centrem řízení biorytmů člověka je hypotalamo-hypofyzární soustava, zvláště pak suprachiasmatické jádro hypotalamu. To synchronizuje rytmy periferních buněčných oscilátorů a prostřednictvím molekulárních signálů tak řídí časový chod celého organismu. Chemickými prostředníky této synchronizace může být - oxid dusnatý (NO) a melatonin – hormon pineálního orgánu (epifyzy).

Velmi výrazným projevem biorytmů je střídání spánku a bdění (**Obr. 45**).

Spánek (Obr. 46) – je fyziologický stav, který je nutný a nepostradatelný pro fyziologickou a psychickou regeneraci organismu. Je to jistý typ bezvědomí, ale mozek je při něm, zvláště v některých fázích velmi aktivní. Rozlišujeme 2 typy spánku (**Obr. 47**):

a. Klidová fáze – non-REM (non rapid eye movement) – zpravidla se dělí na 4 další fáze – usínání, stádium lehkého spánku, stádium středního spánku a stádium hlubokého spánku.

b. Paradoxní fáze – REM – jsou při ní zaznamenávány rychlé pohyby očí a elektroencefalografická aktivita je podobná bdění, ačkoliv člověk hluboce spí. V této fázi se většinou zdají sny, část se jich ale zdá i v předchozí fázi.

Čtyři fáze non-REM se pravidelně střídají s REM fází – doba celé této periody je asi 90 – 100 minut, takže za noc absolvujeme asi 3 – 5 period. Mechanismus a podstata přechodu ze stavu bdění do stavu spánku není uspokojivě objasněna – spánek je pravděpodobně generován z - jader mozkového kmene (prodloužená mícha), není to ale jediná příčina spánku. Byly popsány - spánkové faktory – peptidy, které hrají roli v navození spánku.

Ze snů, které se nám zdají v průběhu noci si pamatujeme jen ty, po kterých se probudíme do 5 minut nebo obecně poslední sen před probuzením. Večer po usnutí se nám zdají spíše reálné sny, které odráží prožitou realitu, ranní sny jsou zpravidla bizarní a emocionální. Během vývoje klesá celková potřeba spánku a zkracuje se i podíl REM spánku – ten tvoří u novorozenců až 80% u dospělých postupně jen okolo 25% celkového spánku. Novorozenec spí více než 12 hodin, dospělý člověk 6 – 9 hodin. Zvířata spí různě dlouhou dobu: slon asi 2-2.5 hodiny, kůň Przewalského asi 1 hod, ptáci opakovaně v několikaminutových periodách. Rorýsi mohou spát za letu, ploutvonožci i pod vodou – vynořování a nadechování je řízeno automaticky.

7. Onemocnění a poškození nervové soustavy, metody jejího vyšetřování

Základní vyšetřovací metodou mozku je – elektroencefalografie (EEG) (**Obr. 48**) – jde o snímání elektrických akčních potenciálů z povrchu hlavy nebo i mozku pomocí elektrod. Mezi snímanými nepravidelnými vlnami lze rozeznat 4 základní typy, které se podle vlnové délky označují jako – alfa, beta, theta a delta (**Obr. 49**). Hodnoty potenciálů jsou relativně nízké, protože se vzájemně částečně ruší a také jsou zeslabeny mozkovými obaly, mozkem, lebkou a kůží. Na záznamech lze rozeznat rozdíl mezi stavem bdělosti a spánkem, bdělostí s otevřenými a zavřenými očima atd.

Dalšími důležitými vyšetřovacími způsoby jsou 3 neinvazivní metody (**Obr. 50**):

a. počítačová tomografie – CT (computed tomography, CT scan). Měří absorpci Roentgenova záření, které je zaostřeno do různých hloubek mozku, výsledek je potom počítačově zpracován a elektronická trojrozměrná rekonstrukce mozku slouží k diagnostickému vyhodnocení. Tato metoda se využívá k detekci nádorů, krevních sraženin, krvácení do mozku a jiných abnormalit. CT se využívá i u jiných typů vyšetření, např. při poškození kostí, vnitřním krvácení, lokalizaci krevních sraženin nebo průkazu infarktu myokardu.

b. magnetická rezonance (MRI, magnetic resonance imaging). Princip spočívá v tom, že uměle aplikované magnetické pole umožní detekci rozdílů ve vibraci jader vodíkových atomů v molekulách vody v mozku. Někdy se také měří i vibrace jiných atomů – fluoru, sodíku, fosforu, dusíku. MRI poskytuje podobné informace jako CT.

c. pozitronová emisní tomografie (PET, positron emission tomography). Je založena na skutečnosti, že malé množství přírodně se vyskytujících isotopů několika prvků ^{13}N , ^{15}O , ^{11}C emituje pozitrony. Kladně nabitě pozitrony mohou být lokalizovány a sloužit ke konstrukci trojrozměrného obrazu mozku jako je tomu předchozích metod. U některých typů vyšetření je vhodné podávat látky obsahující uvedené izotopy. Tato metoda umožní měřit průtok krve mozkem nebo spotřebu glukózy a kyslíku. PET slouží k diagnostice psychiatrických problémů, mozkových nádorů, epilepsie a degenerativních změn Alzheimerovy choroby.

Některá onemocnění mozku:

- dětská obrna – virové onemocnění, které ničí motoneurony mozku a míchy, může způsobit až ochrnutí celého těla

- vzteklina – opět virové onemocnění likvidující neurony mozku a míchy. Zdrojem jsou lišky, psi, kočky a další zvířata. Šíří se kousnutím z místa poranění podél nervů do CNS, který nevratně poškozuje

- tetanus – bakteriální onemocnění (*Clostridium tetani*) – bakterie produkují neurotoxin, který poškozuje motoneurony. Dochází ke křečím i poruchám vegetativního nervstva, což má za následek poruchy činnosti dechového centra

- záněty mozku – virová onemocnění např. klišťová encefalitida přenášená klišťaty. Viry poškozují CNS.