

NERVOVÁ (vzrušivá) regulace

Základní článek nervové soustavy – **nervová buňka – neuron**

Vlastní činnost nervové soustavy – kombinace dvou mechanismů:

- a) elektrický
- b) sekreční

Nervové systémy –

necentralizované – difúzní (sít' buněk po těle) x **centralizované**

Neuron – 1. dendrity – krátké výběžky neuronu

2. buněčné tělo (soma) – jádro s cytoplazmou. Na povrchové membráně (**dendrosomatická** membrána) a dendritech četná synaptická spojení s jinými neurony

3. axon – nervové vlákno – neurit – vedení vzruchu – vodivá složka, většinou jeden. Cytoplazma, buněčná membrána, často obaly **gliové (myelinové pochvy)**.

a) **iniciální segment** – připojení axonu k buněčnému tělu

nervová zakončení (telodendrie) – výstupní úsek, uvolňování mediátorů

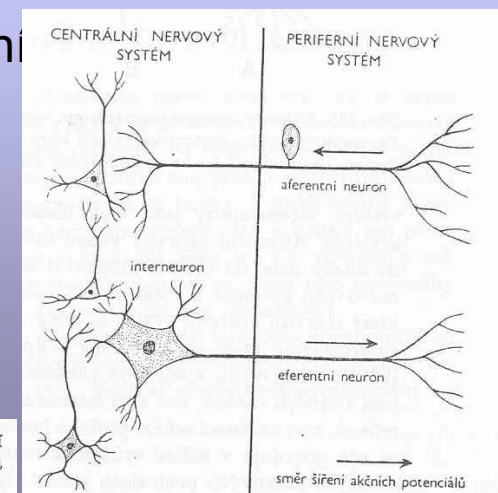
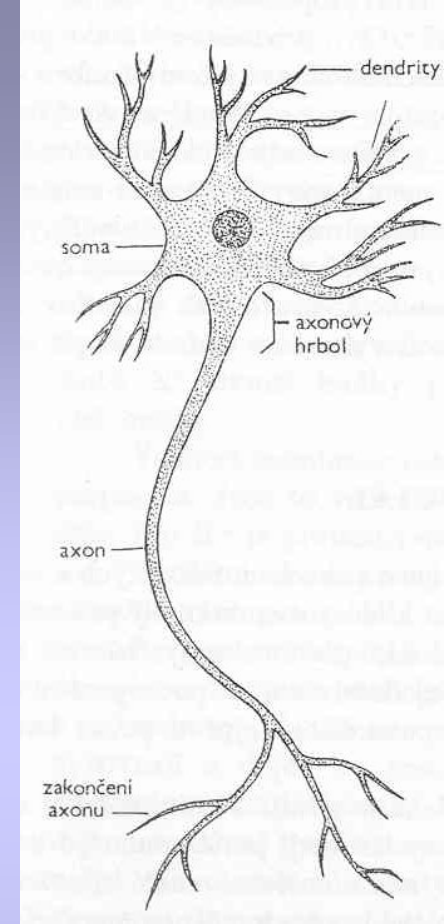
c) **kolaterály** – boční výběžky s axonovým charakterem

Aferentní (vzestupné) neurony – informace z čidel (receptorů)

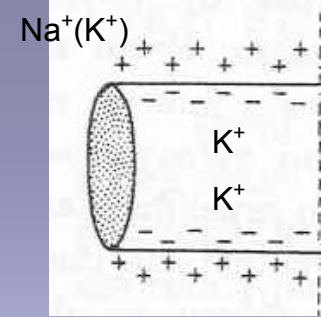
Eferentní (sestupné) neurony – z CNS k efektorům

Interneurony (asociační n.) – převážně v CNS.

Tvarová rozmanitost neuronů



Obr. 125. Základní rozdělení neuronů podle jejich funkce a polohy v nervové soustavě.



Membránový potenciál

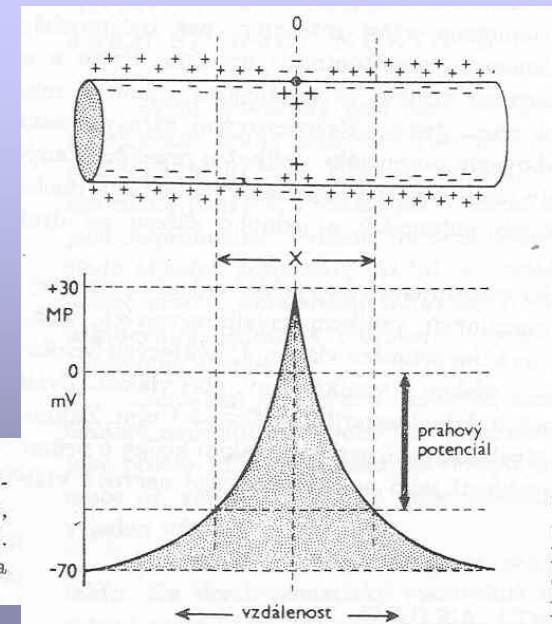
Vlastnost většiny buněk - uvnitř K^+ , málo Na^+ . Vlastnosti buněčných membrán – selektivní propustnost (semipermeabilní, polopropustná) – dobrá propustnost pro K^+ , Cl^- , slabá pro Na^+ , žádná pro ATP, ADP, bílkoviny, ...).

Klidový membránový potenciál

K^+ uvnitř více, podle koncentračního gradientu ven, ale žádné anionty s ním → jejich převaha na vnitřní straně membrány → elektrický potenciál – 70 mV.

Akční potenciál

- krátkodobá výrazná změna membránového potenciálu (během x milisekund z -70 mV až na +30mV)
- hrotový potenciál, hrot (spike)
- označení **vzruch (impuls)**.



Obr. 136. Změny v membránovém potenciálu šířící se pasívně od místa O, kde právě vrcholí akční potenciál. Oblast X je již pasívně depolarizována k prahovému potenciálu.

Vysvětlení:

Iontová hypotéza:

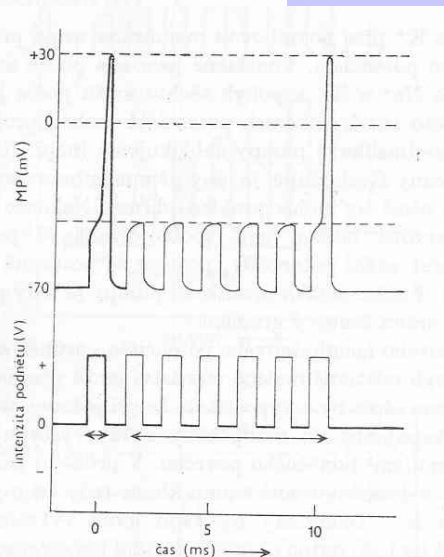
1. fáze: propustnost membrán se zvyšuje pro Na^+ – tzv. **depolarizace** (1 ms)

2. fáze: změna propustnosti ve prospěch K^+ – difúze K^+ ven (**repolarizace**) –
klidová hodnota (< 1 ms)

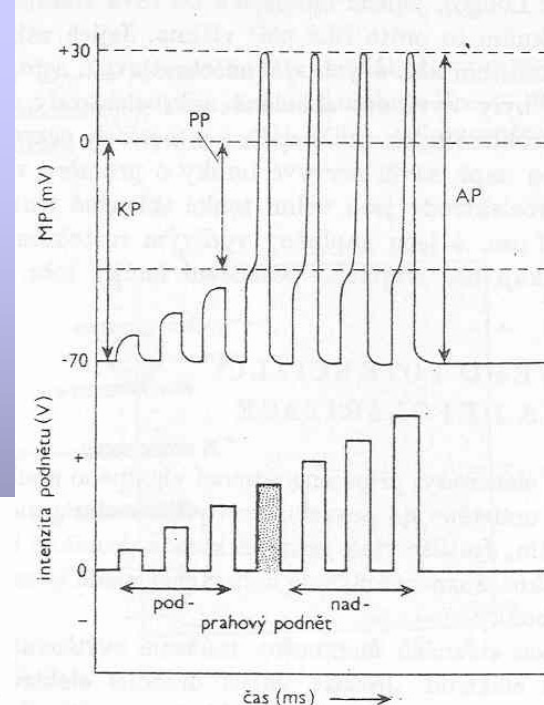
Na-K pumpa zajišťuje návrat ke koncentračnímu gradientu

Refrakterní perioda – v ní prahový podnět
nevyvolá akční potenciál (10 ms).

Obr. 134. Refrakterní perioda (absolutní). Když proběhne po membráně akční potenciál, je membrána necitlivá vůči dalším podnětům po několik milisekund.



Akční potenciál buď vznikne v plném rozsahu,
nebo vůbec ne –
zákon vše nebo nic.



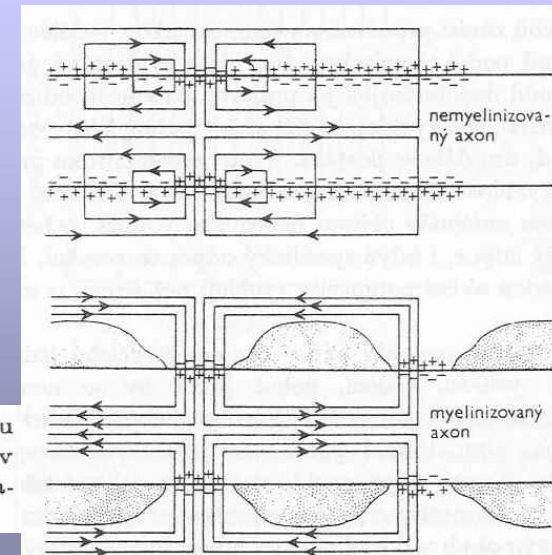
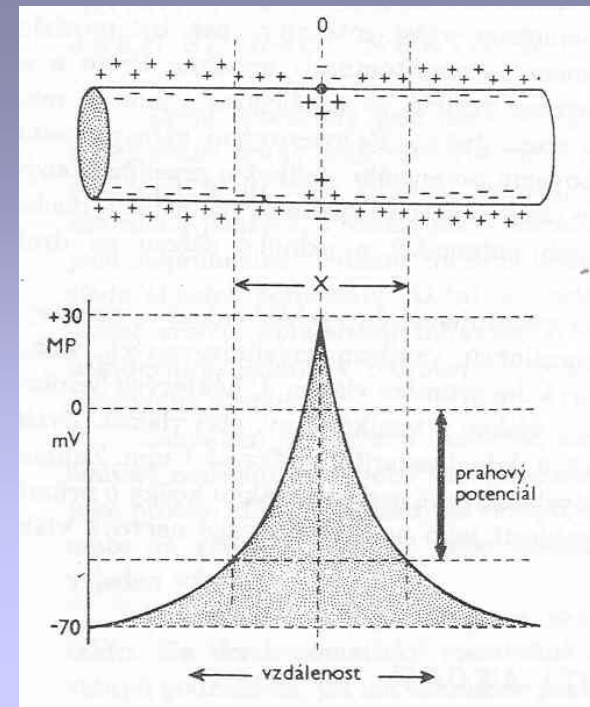
Obr. 130. Snižování membránového potenciálu při stoupající intenzitě depolarizujícího podnětu. Když se dosáhne prahového potenciálu, vznikají akční potenciály. MP – membránový potenciál, KP – klidový potenciál, PP – prahový potenciál, AP – akční potenciál.

Vznik akčního potenciálu může být signálem, který se **dál šíří** po nervovém nebo svalovém vlákně.

Dva aspekty:

1. pohyb iontů napříč membránou
- 2. pohyb iontů podél membrány**

Změny v potenciálu **napříč** membránou způsobují depolarizaci sousedních úseků membrány až k prahové hodnotě. Depolarizace sousedních úseků je zapříčiněna tokem iontů **podél** membrány. Při prahových podnětech mají sousední úseky membrány opačný náboj oproti místu s vrcholem akčního potenciálu a nastává největší tok iontů podél membrány (největší rozdíl potenciálů). Pohyb +kationtů způsobuje snížení polarity membrány v sousedních místech. Když je snížení polarity rovno prahovým hodnotám potenciálu, začne depolarizovaná membrána vytvářet svůj vlastní akční potenciál a děj se opakuje v dalších úsecích.



Obr. 138. Tok iontového proudu v průběhu akčního potenciálu v nemyelinizovaném a myelinizovaném axonu.

Nervové vlákno může vést akční potenciál na obě strany, ale axony jen v jednom směru (stimulace v recepčním poli). Zpět nelze kvůli refrakterní periodě. Svalové vlákno – šíření na obě strany (od spoje s nervovým vláknem).

Rychlost šíření závisí na primární vzdálenosti šíření (průniku) depolarizovaného proudu.

Zvětšení toku proudu se dosahuje zmenšením odporu = zvětšení vnitřního objemu vlákna.

Rychlost vedení několik m/s (3 – 5).

Myelinizace – tvorba myelinových obalů kolem axonu malého \varnothing z lipoidního myelinu (fosfolipidy).

Ranvierovy zářezy – místa přiblížení dvou myelinových obalů.

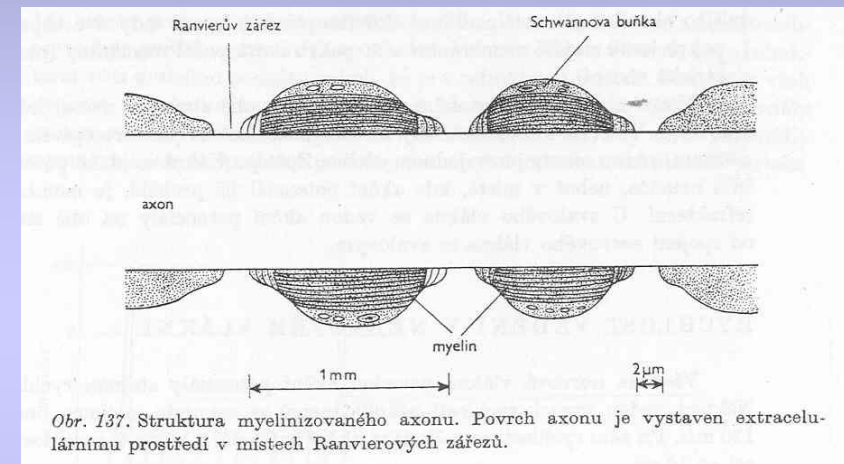
Z izolačních vlastností myelinu → pohyb iontů přes membránu pouze v oblasti Ranvierova zářezu.

Šíření **saltatorní – skokem** (obratlovci – zrychlení šíření až na 120 m/s).

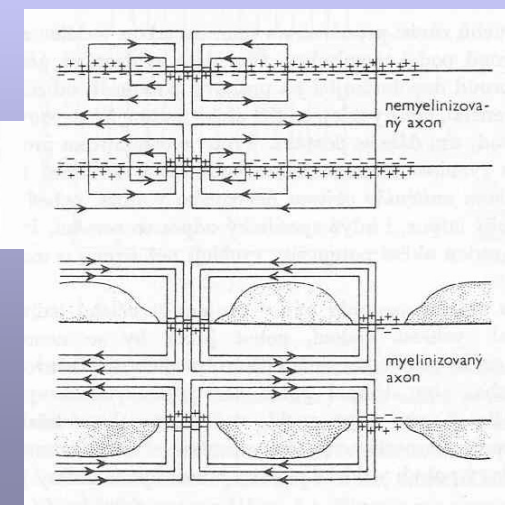
Akční potenciály – nervové signály.

Přenos různých druhů informací. Akční potenciál

– jediný neměnný signál jediná forma kódování: časové uspořádání ve sledu akčních potenciálů = **časové vzorce**.



Obr. 138. Tok iontového proudu v průběhu akčního potenciálu v nemyelinizovaném a myelinizovaném axonu.



Synapse (přenosové spojení dvou neuronů):
presynaptická zakončení,
synaptická štěrbina (20 nm)
subsynaptická membrána

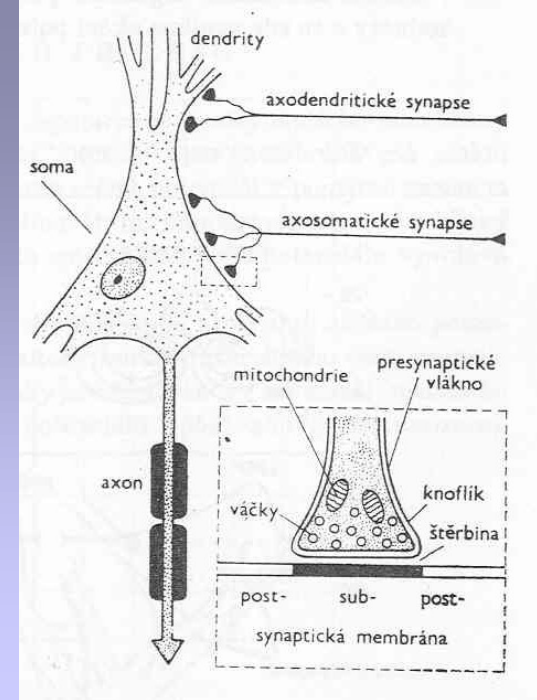
Neuron vedoucí akční potenciál k synapsi –
presynaptický (na konci se zduřeninou, **knoflíkem**),
od synapse – **postsynaptický**.
Membrána pod knoflíkem: **subsynaptická**,
vedle: **postsynaptická**.

Signál se přenáší pomocí **přenašeče**, **mediátoru** (chemické látky) z váčků v knoflíku – váže se na reaktivní místa na subsynaptické membráně – vzbudí nový elektrický signál.
Subsynaptická aktivita je ukončena

- chemickou přeměnou mediátoru na neúčinnou látku
- uvolněním přenašeče z reaktivních míst
- zpětnou reabsorpcí synaptickým knoflíkem

Podle účinku na postsynaptické neurony:

- synapse **budivé** (excitační) – zvyšují pravděpodobnost dosažení prahové hodnoty membránového potenciálu
- s. **tlumivé** (inhibiční) – snižují pravděpodobnost vzniku akčního potenciálu



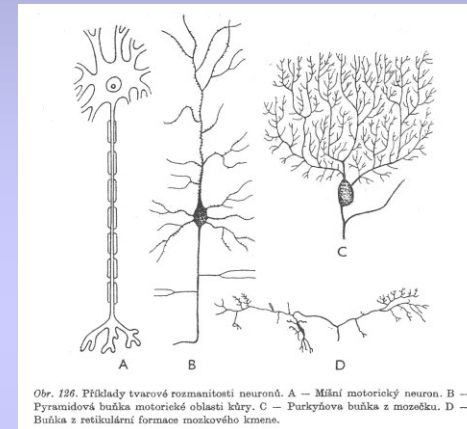
Obr. 139. Synapse. Zakončení axonu na dendritech (axodendritické synapse), zakončení na těle neuronu (axosomatické synapse). V zarámované části detailnější obraz synapse s rozlišením membrány postsynaptického neuronu v membránu subsynaptickou a postsynaptickou.

Depolarizace postsynaptické membrány nevyvolává vznik akčního potenciálu (malá elektrická dráždivost). Aktivace jedné synapse obvykle nevede ke vzniku akčního potenciálu. Proto nutné kombinované účinky mnoha synapsí (2 000 – 200 000). Axon vytváří s neuronem větší počet synaptických vstupů (2, u P.b. 250). Axonů k neuronu jde několik set. Aktivace více excitačních synapsí = sčítání postsynaptických potenciálů a zvyšování depolarizace: **sumace**:

sum. prostorová – současná aktivita více synaptických spojů téhož neuronu.

sum. časová – opakovaná stimulace téže synapse.

Zvyšování účinnosti nervového přenosu – **facilitace**.



Přenašeče (mediátory, neurotransmitery) – několik typů

1. **Acetylcholin** - blokace: eserin (fyzostigmin) a další nervové jedy - OrganoFosfáty.

2. **Monoaminy** –

a) *Katecholaminy* – dopamin, noradrenalin a adrenalin.

b) *Indolalkylaminy* – nejdůležitější serotonin

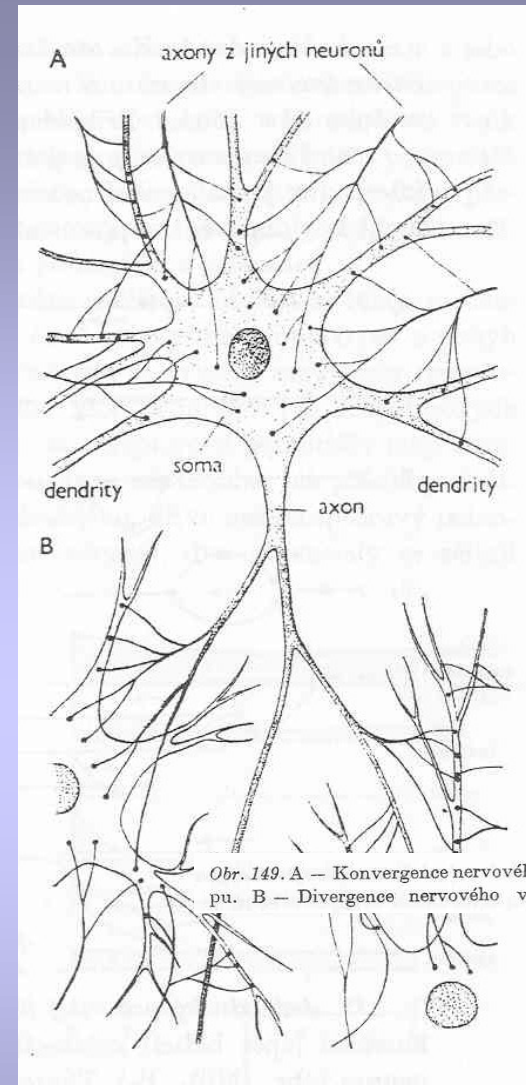
3. **Aminokyseliny** – budivý glutamát, tlumivá kyselina γ -aminomáselná (GABA) a glycin.

Ovlivnění: strychnin – blok glycinových receptorů, pikrotoxin receptorů GABA. Tetanotoxin blokuje uvolňování inhibičního přenašeče.

Kromě chemického přenosu ještě **elektrická cesta**.
Místa dotyku axonů – septa (transversální) s přenosem elektrickou cestou.
Rychlé (s mediátorem 0,3 ms, elektrická synapse – 0,05 ms).
Jiná stavba – zvětšení povrchu synapse.

Spoje "gap junction" – vzdálenost mezi buňkami 2 nm, kontakty:
splývání cytoplazmy v kanálcích vedle sebe. Spojení mezi neurony.
Spoje "tight junction" – v místě kontaktu splynou povrchové membrány,
vnitřní vrstvy zůstávají samostatné.

V CNS mnohonásobné propojení neuronů: připojení nervových zakončení stovek až tisíců dalších (**konvergence – sbíhavost**), naopak z axonu zakončení ke stovkám až tisícovkám jiných (**divergence – rozbíhavost**) (25 000 i více). Konvergence zajišťuje impulsy z mnoha dalších, divergence naopak vyvolává aktivitu v mnoha dalších.



Spojení neuronů do **nervových obvodů**
(otevřené x uzavřené).

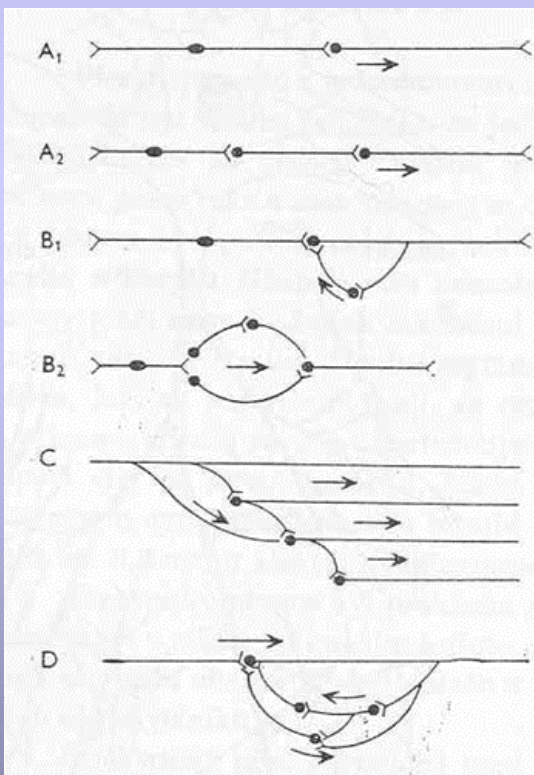
Otevřené: sled neuronů, kde žádný není
prostřednictvím axonu spojen s předchozím.

Uzavřené: je zpětné spojení s předcházejícími
neurony.

Zpětná vazba - část výstupních signálů se
vrací zpět pro ovlivňování a regulování další
činnosti systému.

Negativní zpětná vazba - obrácený směr než
počáteční aktivita.

Obr. 150. Schematické znázornění některých
neuronových obvodů. Šipky vyznačují směr
šíření vzruchů. A₁ - Jednoduchý otevřený
obvod s jedním aferentním a eferentním
neuronem (monosynaptický). A₂ - Stejný
obvod, avšak s interneuronem (dvě synapse).
B_{1,2} - Uzavřené obvody. C - Otevřený ví-
ceneuronový řetězec. D - Uzavřený více-
neuronový řetězec.



Příjem informací (z vnitřního i vnějšího prostředí) – **receptory** (smyslové nebo aferentní nervové buňky přeměňující energii z prostředí na změny v membránovém potenciálu).

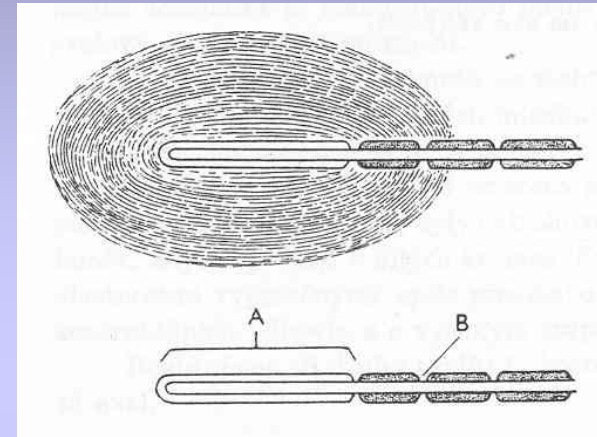
Se zvětšující se intenzitou podnětu stoupá **depolarizace** → stupňovitá odpověď receptoru:

receptorový /generátorový/ potenciál.

Šíří se maximálně na vzdálenost 1 mm, pak se převádí na akční potenciály.

Adaptace je pokles frekvence akčních potenciálů v aferentním neuronu při neměnné velikosti energie podnětu (až zastavení tvorby akčních potenciálů). **Nízká adaptace** – receptory tahové (sval. vřeténka, receptory v oblouku aorty aj.), teploty, bolesti. **Rychlá adaptace** u receptorů dotyku (ohnutí vlasu – vzruchy pouze při pohybu) i taktilních (kůže bez chloupků).

Totožnost akčních potenciálů – rozlišení podnětů pomocí specifické citlivosti receptorů a specifičnosti aferentních drah. **Není úplná**, odpověď i na jiný signál (ale dosti silný).



Obr. 152. Diagram mechanoreceptoru. Nahoře: Paciniho tělísko. Dole: Nemyelinizovaný úsek Paciniho tělíska (A) je místem vzniku receptorového potenciálu, akční potenciál vzniká v prvním zářezu myelinové pochvy (B).

Fyziologie svalu

Vlastnosti:

- tvořit akční potenciál
- schopnost kontrakce (kontraktilní bílkoviny mění chemickou energii v mechanickou)

Kosterní sval

Sval (až 30 cm) –

svalové vlákno (d 30 cm, \varnothing až 100 μm), –

myofibrila (d 30 cm, \varnothing 1 – 2 μm)

ze sarkomer (d 2,5 μm).

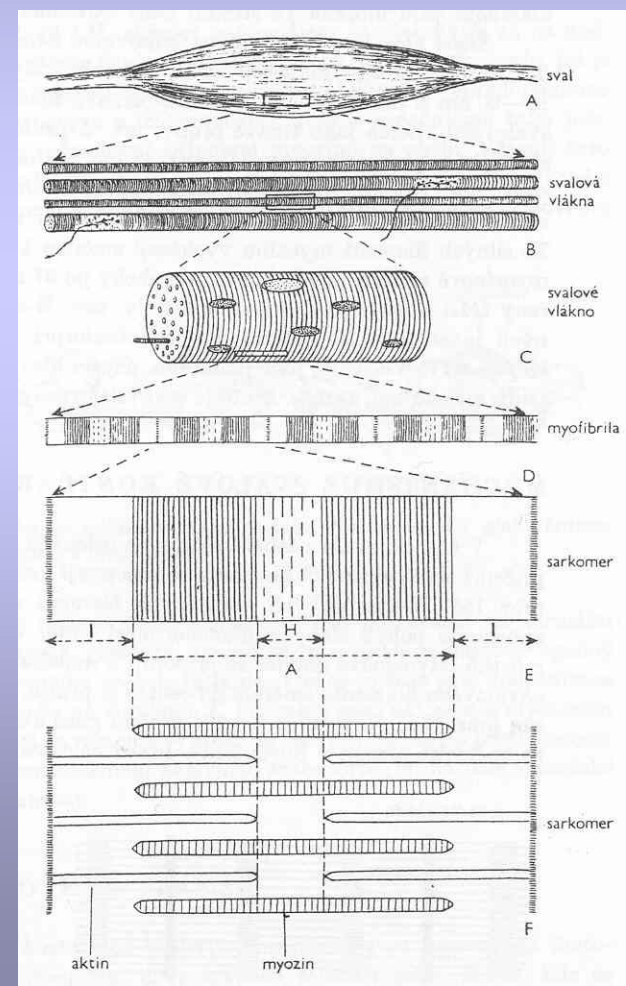
Sarkomera

(Z-linie

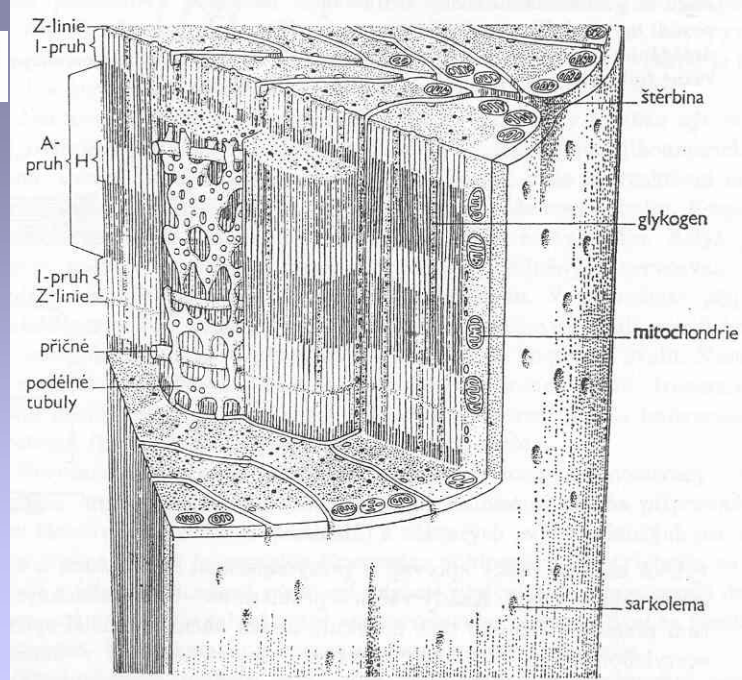
se světlými **aktinovými filamenty**

se zasouvají mezi tmavá **myozinová filamenta**

pomocí **myozinových můstků**) – příčné pruhování



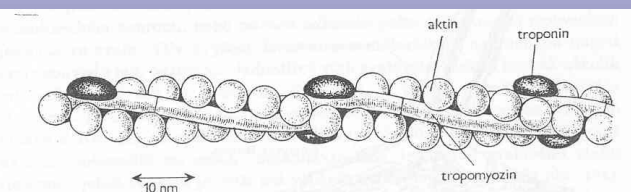
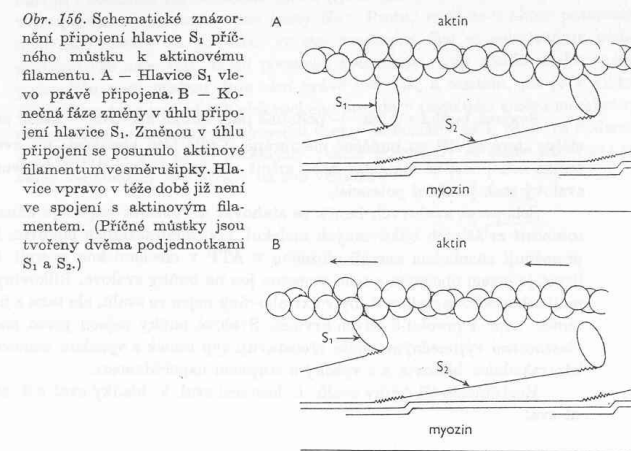
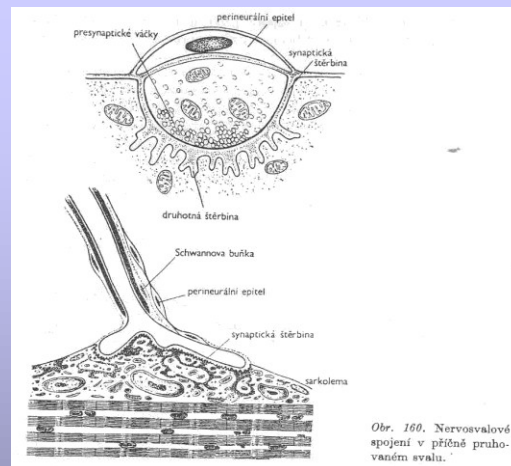
Obr. 158. Ultrastruktura svalového vlákna žáby. Zvláště jsou zdůrazněny příčné tubuly (T-tubuly) a podélné tubuly sarkoplazmatického retikula.



Povrchová membrána (sarkolema)
Sarkoplazmatické retikulum (podélné tubuly až váčky) a příčné tubuly (T-tubuly)

Ca²⁺ inhibuje troponin, který blokuje připojení hlavice myozinových můstků, hlavice mění úhel připojení

Nervosvalová (motorická) ploténka – větší synapse – acetylcholin (kurare blokuje reaktivní místa, OF inhibuje acetylcholinesterázu, botulin blokuje uvolnění acetylcholinu)



Motorická jednotka – rozvětvení axonu na vlákna

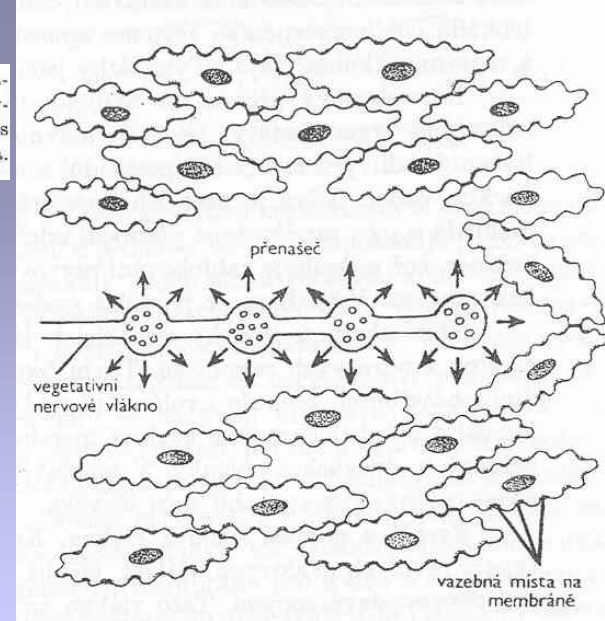
Hladký sval

Tenká aktinová filamenta,
bez sarkoplazmatického retikula,
pomalá kontrakce.

Varikozity – zakončení nervů (korálky na niti).

Některé bez podnětů – **myogenní kontrakce**
– vzrušiče se schopností **spontánní depolarizace**.

Obr. 163. Diagramové znázornění interakce vegetativního nervového vlákna s buňkami hladkého svalstva.



Srdeční sval

Příčně pruhovaný, mnohem delší akční potenciál než u kosterního svalu.

Časté gap junctions – přenos akčního potenciálu z buňky na buňku.

Buňky s autorytmií – vzrušiče – **myogenní srdce (měkkýši, hmyz, obratlovci)** – viz srdce v cévní soustavě

Neurogenní srdce (krabi, pavouci) – původ srdečních rytmů **z aktivních neuronů v srdečním gangliu** u myokardu.

Odlišnost nervosvalových soustav bezobratlých

Létací svaly – na jeden vzruch 5 – 20 stahů (**asynchronní, fibrilární svaly**).

Svěrače lastur (ne příčně pruh.) **iniciuje motoneuron s acetylcholinem**.

Pro udržení sevření není nutný ani on, ani depolarizace. **Relaxace** nastane až aktivitou v nervech, které uvolní **serotonin**.

Organizace a funkce nervových soustav

V průběhu fylogeneze od jednoduchých ke složitějším. několik samostatných typů s obecnými principy:

1. funkční diferenciaci uvnitř nervové buňky: přijímací a zpracovávající část (dendrity, soma), vodivá část (axon).
2. shlukování – ganglia, z nich vodivé dráhy. **Neuropil** – síť
3. **centralizace** a hierarchizace → vznik hlavových (**mozkových**) ganglií
4. rozvoj v závislosti na celkovém počtu nerv. buněk

Difúzní soustava

Radiální nervová soustava

Bilaterální

Žebříčková

Kombinace žebříčkové

NS obratlovců

Nervové sítě bezobratlých

Difúzní soustava (*Cnidaria*). U některých (nezmar) jediný typ, jinde (Žebernatky *Ctenophora*, Žaludovci *Enteropneusta*, v kombinaci s ganglii Ostnokožci *Echinodermata*, sumky *Ascidia*, někteří měkkýši) větší část, nebo jen periferní část (*Anelida*, měkkýši).

Nezmar: síť jak při povrchu, tak trávicí dutině s mono- bi- a multipolárním buňkami. Žádná diferenciacce.

Další typ dráždivých buněk: **epiteliální svalové buňky** s receptorovou a efektorovou částí samy reagují na podráždění.

U hub nepropojené dráždivé buňky netvoří soustavu.



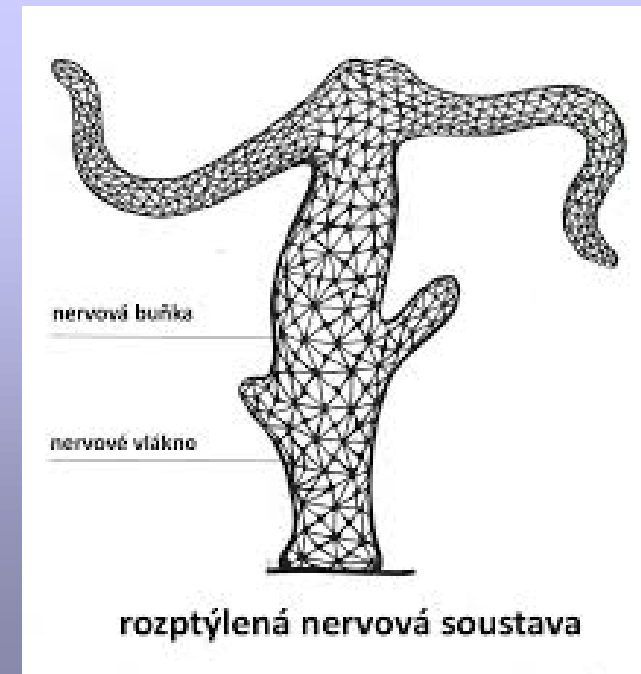
ostnokožci



žebernatky

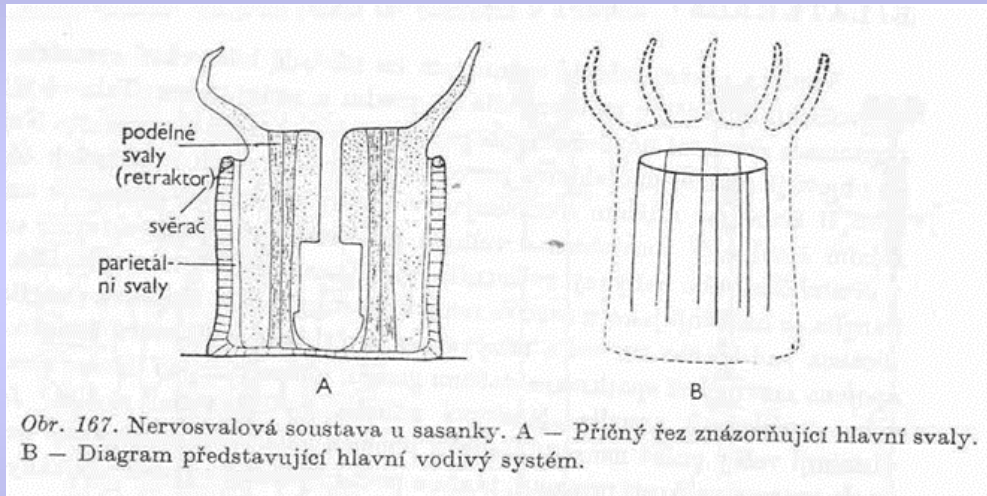


žaludovci



Sasanka: diferenciace:

- a) síť multipolárních nervů (pomalé a difúzní vedení)
- b) velké bipolární neurony s paralelním průběhem v mezenteriálních svalech /hlavní dráhy s rychlostí 120 cm/s, ostatní 10-20 cm/s)



Obr. 167. Nervosvalová soustava u sasanky. A – Příčný řez znázorňující hlavní svaly. B – Diagram představující hlavní vodivý systém.

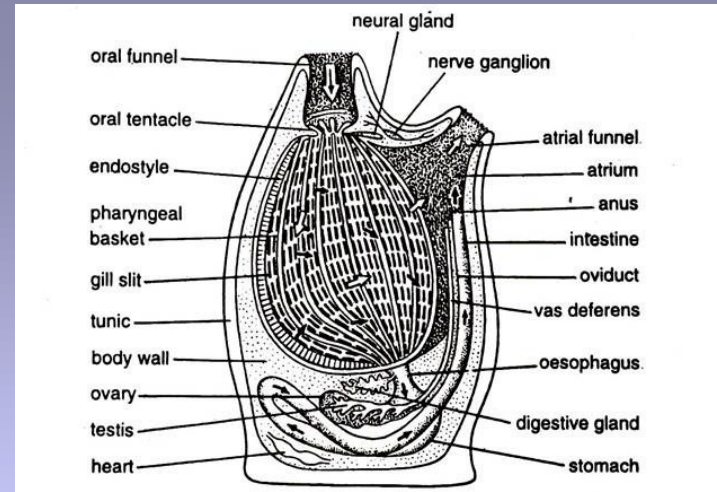
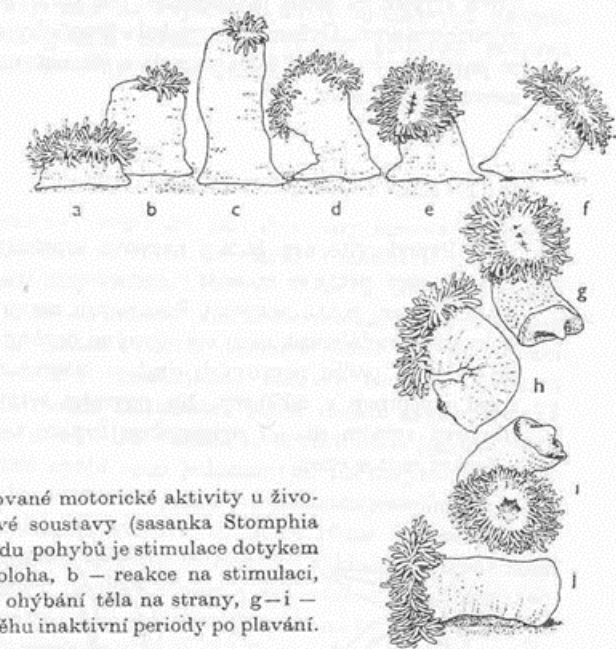


Fig. 30.3. Ascidia sp. Tunic and mantle of the side removed (lateral view diagrammatic)

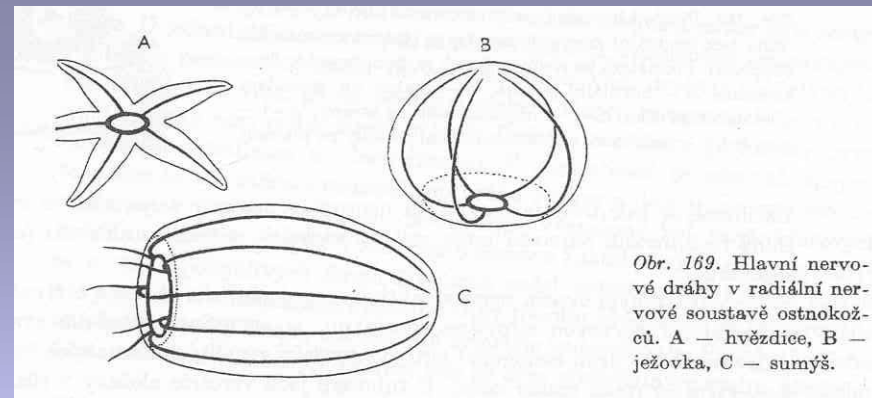
Sumky – kombinace s ganglii



Obr. 168. Příklad koordinované motorické aktivity u živočicha bez centrální nervové soustavy (sasanka Stomphia coccinea). Podnětem ke sledu pohybů je stimulace dotykem hvězdice. a – normální poloha, b – reakce na stimulaci, c – natažení těla, d-f – ohýbání těla na strany, g-i – plavání, j – poloha v průběhu inaktivní periody po plavání.

Ostnokožci
NS decentralizovaný

centralizace



Medúza: u plovoucích prodloužení výběžků multipolárních neuronů ve zvonu do dvou paralelních svazků rychle vedoucích vláken → vznik centrálního nervového okruhu (**centralizace**).

Radiální nervová soustava

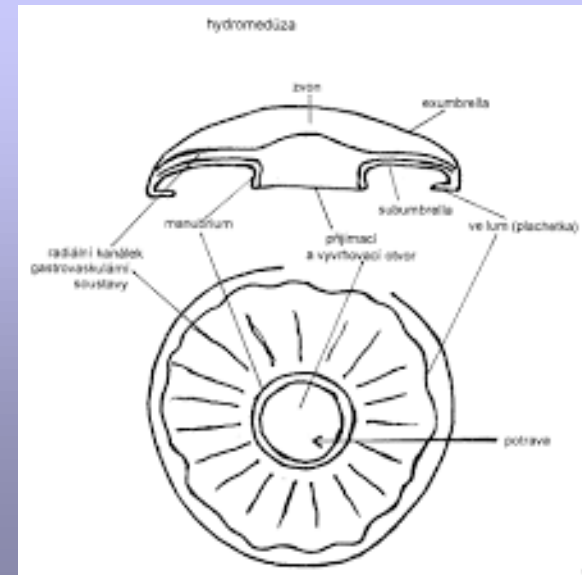
Paprskovité uspořádání nejrozvinutější u ostnokožců. Na povrchu **ektoneurální** nervový systém (senzorický), hlouběji **hyponeurální** (motorický).

facilitace (maximální kontraktilní odpověď až při opakované stimulaci).

spontánní rytmická svalová aktivita

I přes nejjednodušší typ nervové soustavy je chování koordinované a často složité.

Žahavci - medúza



Bilaterální nervová soustava

Bilaterální symetrie → přední a zadní konec, nové možnosti centralizace.

1. rovnocenné shluky nervových buněk (ganglií) kdekoliv

2. přídové smysly → zvláštní význam ganglií v přídi – hlavová – **mozková** –

ganglia nad trávicí trubicí – **nadjícnová**.

Složitost stavby. Fylogenetický růst jejich významu. Spojena s ganglii pod jícnem –

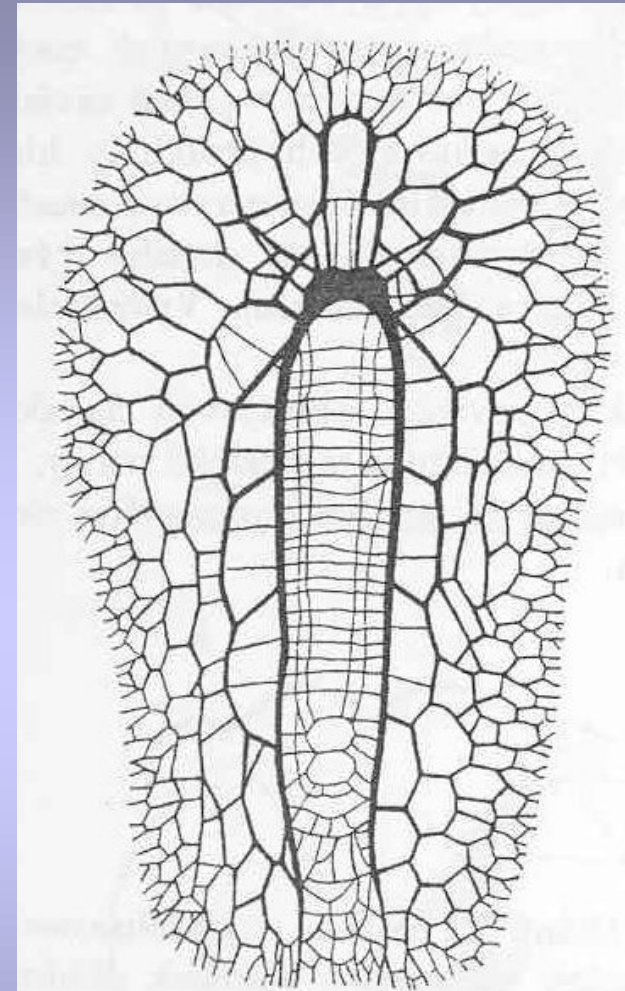
podjícnová ganglia. Kontrola nad ostatními excitací a inhibicí.

Další progresivní znak: **obří vlákna**

„Červi“

Ploštěnci *Acoela* a primitivní měkkýši (chitoni) s náznaky

koncentrace v přídi



Obr. 170. Nervová soustava u ploštěnky (Turbellaria, Plathelminthes)

Anelida – nový typ: **žebříčková nervová soustava.**

První pár ganglií nad jícnem, druhy pod jícnem,
další pod trávicí trubicí (**břišní nervová páska**).

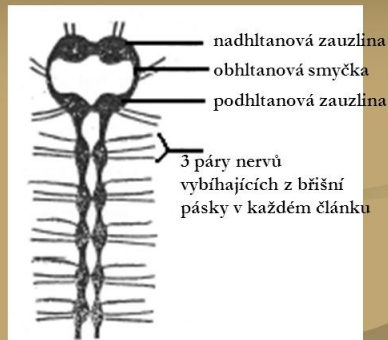
Fylogenetický význam: zvyšování významu mozkových ganglií.

Měkkýši

Základ: několik párů ganglií a dva páry nervových pruhů. Rozdílná stavba v rámci kmene Mozek hlavonožců se 14 laloky splynul ze dvou ganglií Velmi složité projevy nervové činnosti, i složitého chování (učení).

POPIS TĚLNÍCH SOUSTAV

- **NERVOVÁ SOUSTAVA: ŽEBŘÍČKOVITÁ** – pár nervových zauzlin propojených komisurami je přítomen v každém tělním segmentu

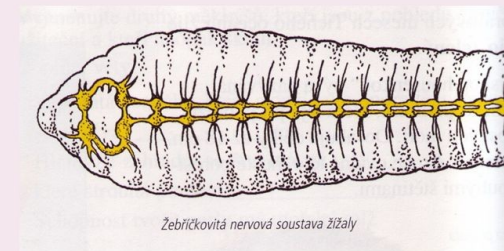


OBR. 3

máloštětinatci

nervová soustava:

v každém článku 2 uzliny spojené vlákny = žebříčková



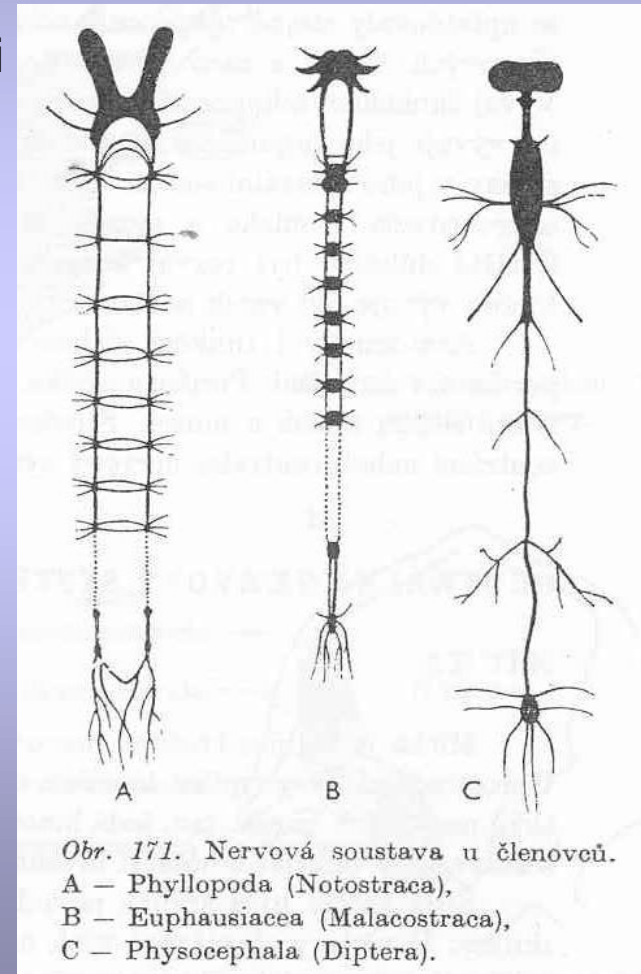
nervová vlákna i pod kůží – smyslové buňky k vnímání světla, žije ve tmě - světloplachá

Členovci

Nervová soustava odvozená od žebříčkové:

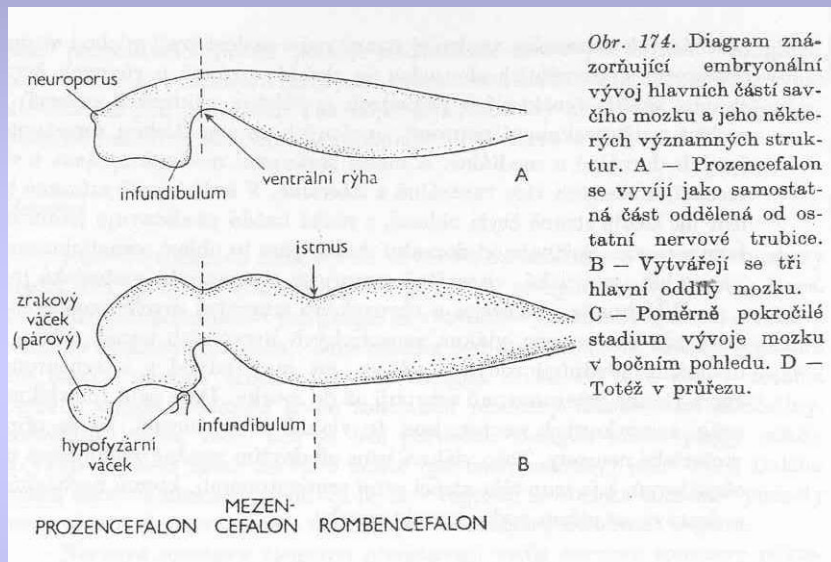
1. zvětšení nadjícnových ganglií → mozkové ganglion (regulační mozkové centrum) i podjícnových ganglií
2. diferenciaci ganglií břišní nervové pásky podle složitosti článků (končetiny, křídla, přívěsky). Ganglia někdy splývají (pavouci, mouchy). V motorické činnosti vymizely sítě.

Další vrchol (hmyz). Vznik komplikovaných smyslů, končetin, ústních přívěsků. Některé druhy aktivity (let, chůze, zpěv) jsou iniciovány zvláštními nedomulovanými povely speciálním interneuronům v torakálních gangliích, které potom samy vytvářejí vzorce signálů.



Nervová soustava obratlovců

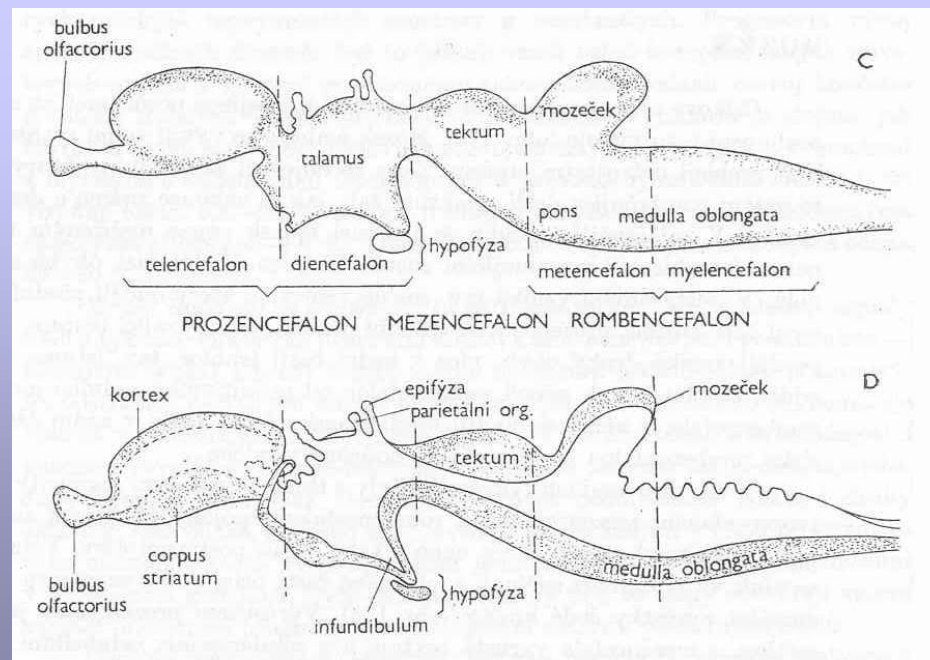
CNS – mícha + mozek, periferní nervy
viz zoologie strunatců



Mozkový kmen –
prozen- + mezen- + rombencephalon
jako pokračování míchy

Retikulární formace – pruh nervové tkáně síťovitého charakteru uvnitř mozku kmene

Vývoj mozku strunatců a následně obratlovců ze dvou (tří) částí – diferenciace na 5



Prodloužená mícha

Mozeček

Střední mozek

Mezimozek

Koncový mozek

Kortex (paleo- střední část šedé hmoty → dolů

archi- horní část

šedé hmoty → nahoru

neo- zatlačuje

předchozí i následné)

Striatum (spodní část šedé

hmoty → dovnitř) Limbický

systém (struktury paleo- a archikortexu)

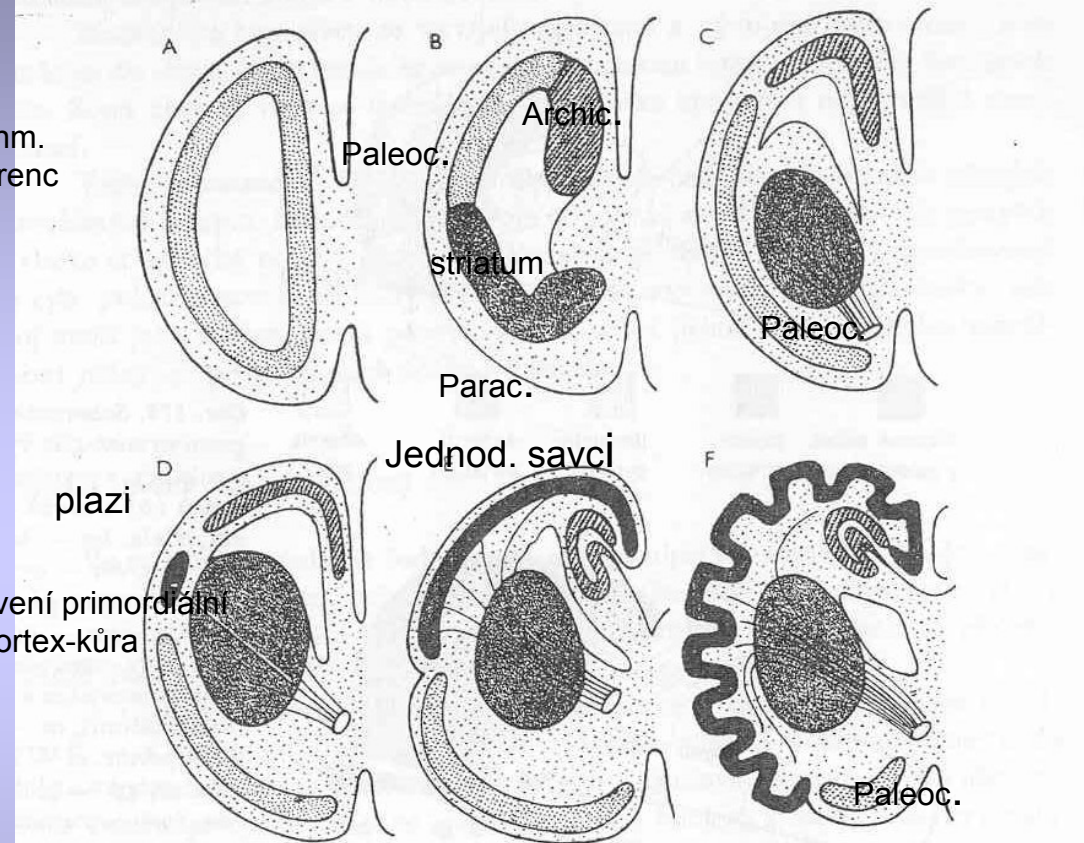
Šedá hmota diferencovaná

Čichový lalok

Obojživ.

plazi

Šedá hm.
nediferenc



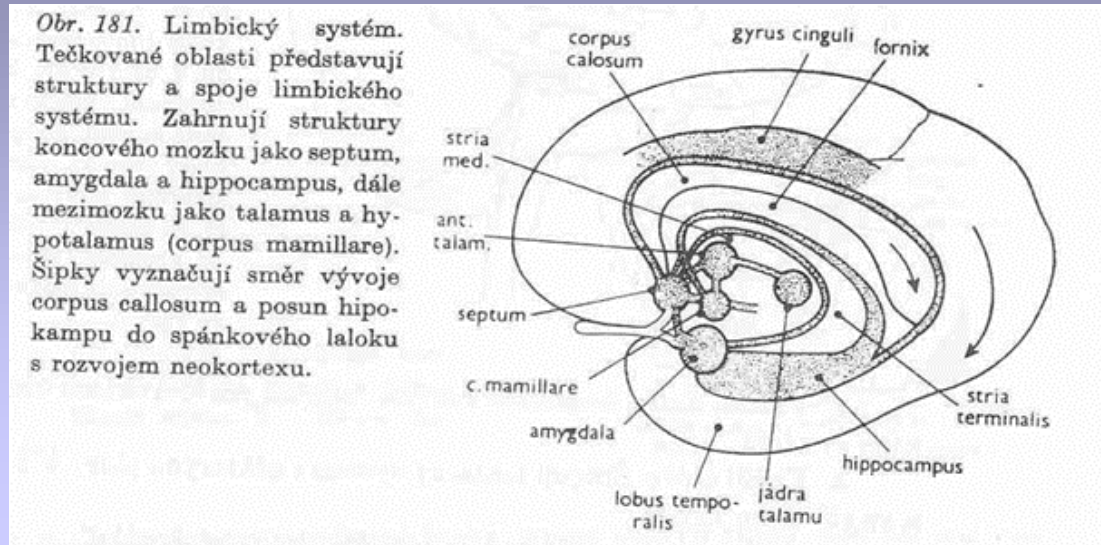
Objevení primordiální
neocortex-kůra

Jednod. savci

plazi

Obr. 180. Postupná diferenciacie mozgových hemisfér. Průřez levou hemisférou. A — Primitivní stadium. Hemisféru tvoří v podstatě jen čichový lalok, šedá hmota je uložena uvnitř a málo diferencována. B — Šedá hmota stále uložena hlouběji, avšak diferencována v paleokortex (středně tečkováno), archikortex (šrafováno) a striatum (hustě tečkováno). Stadium obojživelníků. C — Striatum se dostalo hlouběji a kortex více k povrchu. D — Objevuje se primordiální neokortex (obecná kůra). C, D — Stadium plazů. E — Rozvoj neokortexu (černě). Archikortex se dostal na střed jako hipokampus, paleokortex stále dosti vyvinut (vývojově primitivní savec). F — Neokortex značně rozvinut, tvoří záhyby, paleokortex omezen na ventrální stranu jako lobus pyriformis (vývojově pokročilejší savec).

Limbický systém jako struktury konc. Mozku: septum, amygdala, hippocampus, mezimozek: talamus, hypo- (corpus mamil), posun do spánkového laloku



Vývoj neoc. Intenzivní, malé změny limbického systému

