

# **Fyziologie živočichů (a člověka)**

**Bi2BP\_FYZP**

**III. ročník 1/0/2 Zk**

## **III. část – řídicí a regulační funkce**

Soustavy: **humorální**  
**nervová (+ svalová, smysly)**

## **IV. část – reprodukční funkce**

**B. Rychnovský**

## Evoluce regulací

Fylogeneze - střet dvou protichůdných tendencí: zvětšování složitosti se specializací proti upevňování jednoty a utužování vztahů mezi částmi.

Sladění - **regulační mechanismy**. Systém: senzorická x výkonná x řídicí jednotka.

Senzorická jednotka - smyslové orgány (**receptory**)– **signál** - přenos do ústředí (CNS) - dekodování, vyhodnocení - instrukce - **příkaz** - signál do výkonné oblasti (orgánu)

Biologický projev: **reflexní oblouk**

- receptorová složka (smysl. orgán reaguje na specifický podnět)
- dostředivá dráha
- centrum
- odstředivá dráha (motorické a vegetativní nervy, hormony)
- efektorová složka (výkonný orgán)

Zachycení informace a přenos od receptoru k centru - **vzruchové signály**.

Reakce typu **vše nebo nic**. V centru – porovnání. Výsledný signál závisí na:

- a) změně prostředí
- b) vnitřním stavu organismu

**Odstředivý přenos** - u mnohobuněčných:

a) látkové mechanismy (**regulace humorální** - chemická)

b) změny polarizace povrchové membrány (**nervová** - vzrušivá **regulace**)

ad a) Fylogeneticky nejstarší, látka (**signál**) v mezibuněčném prostředí.

Vývojově pokročilejší: účinné látky - specifické I. = hormony (**signály**).

ad b) Buňky čivé, nervové a hybné, signál (změny elektrického potenciálu) vzniká na povrchu buněk .

Rozdíly mezi typy regulací:

Humorální regulace - proces pomalý, nelokalizovatelný. Specifická citlivost cílové tkáně (ne specifičnost povahy hormonu). Uplatnění při adaptačních dějích

Vzrušivá regulace - pohotová, rychlé rozvinutí, rychlé vymizení. Účinek přísně zaměřený na cílový efektor

Společné rysy: přes rozdílnost mechanismu dálkového přenosu - shodnost mechanismu přenosu informace na výkonný prvek - **látkový** (hormon x mediátor).

- prostorová návaznost humorál. a nerv. regulace - **smíšené** regulační soustavy (**hypotalamo-hypofyzární** )

## HUMORÁLNÍ (látková) regulace

Základ látkových (humorálních, hormonálních) regulací: schopnost buněk specificky reagovat na přítomnost látek z jiných buněk.

Nejnižší stupeň fylogeneze:

- regulační látky z buněk (**induktory**) působily na sousední buňky  
diferenciace buněk, vznik orgánů
- látky působící v místě vzniku – **tkáňové hormony**
  - s rozvodnými soustavami
    - vznik žláz s vnitřní sekrecí (endokrinní žlázy) -  
produkty - **hormony**

## Hormonální regulace bezobratlých

Neurohumorální charakter.

**Kroužkovci** - neurosekreční buňky v zadním prostomiu, odtud svazky nervů na spodinu mozku, u perikapsulární membrány naléhají na stěnu hřbetní cévy.

**Korýši** - **1. neurosekreční komplex očního stvolu** - nejnápadnější X-orgán - hormony nervovými vlákny do **sinusové (splavové)**, do hemolymfy.

**2. komplex** - soustava **postkomisurální a subezofagální** - gangliové buňky z příčné komisury nervové soustavy k blízkým svalům Hormony obou řídí barvoměnu, svlékání, pohlavní funkce, metabolismus cukrů, hospodaření vodou. I antagonisté.

Řízení srdečního tepu - **3. soustava perikardiální** - osrdečník + blízké tělní splavy (produk. látky působící na srdeční tep)

**Hmyz** - **1.** několik skupin neurokrinních buněk na povrchu hemisfér spojených nervovými vlákny s **kardiálními tělísky** (*corpora cardiaca*), ty párem nervů spojeny s **přilehlými tělísky** (*corpora allata*)

**2. protorakální žlázy** - nepravidelné žláznaté orgány na ventrální straně středohrudi.

Neurokrinní buňky -> **aktivační** hormon (mozkový) -> *corpora cardiaca* - hromadění, hemolymfa ->a) ->b)

ad a) v protorakální žláze vznik **svlékacího** hormonu (ekdyson)

ad b) přímé působení na *c. allata* - **juvenilní** hormon (neotenin) - prodlužuje larvální vývoj, oddaluje metamorfózu. I u adultů.

Chemicky: aktivační hormon - polypeptid, svlékací h. steroid, juvenilní h. - terpeny.

# Hormonální regulace obratlovců

Dostatek pramenů, podrobnější studium v Antropologii

## Žlázy s vnitřní sekrecí a jejich účinky

Endokrin. žláza	Hormony	Cílová tkáň	Základní účinek
<b>1. hypotalamus</b>	CRF,TRF,FRF, LRF,PRF,PIF, GRF,GIF,MRF,MIF	adenohypofýza	regulace výdeje hormonů
<b>2. komplex hypotalamus- neurohypofýza</b>	ADH (vazopr.) oxytocin	ledvina uterus,mléč.žl.	zvyš. zpět. resorpce v tubulech podněc. stahy hladkého svalstva
<b>3. adenohypofýza</b>	ACTH	kůra nadledvin	zvýš. sekrece gluko-, mineralokortik., pohl.horm., růst buněk kůry, lepší permeabilita membrán pro cholesterol a glukózu
	TSH	štítná žláza	vyplavování tyreoid. hormonů do krve, aktivace jodid. pumpy, jodace tyrozinu, růst buněk štít. žl.
	FSH	vaječník,varle	tvorba pohl.b. u M, růst folikulů, stimulace tvorby estrogenů u F
	LH(ICSH)	" "	syntéza progesteronu a estrogenu, růst intersticiálních b.varlete, stimulace sekrece testosteronu, jeho přeměna na estrogen

## Žlázy s vnitřní sekrecí a jejich účinky - pokrač.

Endokr. žláza	Hormony	Cílová tkáň	Základní účinek
<b>3. adenohipofýza</b> - pokrač.	LTH (LUT,PL)	mléč.žl., vaječ.	tvorba b. mléčné žl., sekrece mléka, zvýš. prod. progester. ve žl.těl.
	STH	játra (vznik somatomedin)	zvyš. přenos aminokyselin přes membr., stimul. růst většiny tkání omezuje vstup glukózy do buněk, štěpí glykogen a tuky
	MSH	melanofory	disperze melanoforů
<b>4. štítná žláza</b>	T3, T4	většina tkání	diferenciace tkání, růst, zvýšení metabolismu, ovlivnění metamorfózy, termoregulace ukládání Ca <sup>2+</sup>
	kalcitonin	kost	
<b>5. příštitná tělíska</b>	paratyreoidní hormon	ledvina, kost, střevo	snižování zpětné resorpce fosfátu v tubulech, uvolňuje Ca <sup>2+</sup> z kostí, zvyšuje resorpci Ca <sup>2+</sup> ve střevě
<b>6. kůra nadledvin</b>	kortizol,	játra, svaly	inhibice spotřeby gluk., štěpení bílk.
	kortikosteron	ledviny, slin.a	přeměna aminokyselin na glukózu
	aldosteron	pot.žlázy,žaludek	zvýšení zpětné resorpce Na <sup>+</sup>
	androgeny	většina orgánů	stimulace syntézy bílkovin
<b>7. dřeň nadledvin</b>	noradrenalin adrenalin	" "	stimulace rozpadu glykogenu, tuků, kalorigeneze, stah hladkých a srdečního svalů

## Žlázy s vnitřní sekrecí a jejich účinky - pokrač.

Endokr. žláza	Hormony	Cílová tkáň	Základní účinek
<b>8. pankreas</b>			
A) buňky Langerhans.o. tkáni,	glukagon	játra, tuk.tkáň	stimulace štěpení glykogenu v játrech a tuku v tukové
B) b. Lang. ostrůvků glukogeneze, tuků, zvýš. přenosu ak do buněk, aktiv. syntézy bílk.	inzulin	játra, sval, tuková tkáň	stimul. glykogeneze z AK stimul. přenosu glukózy do b., zvýš. aktiv. enzymů inhib.štěp.
<b>9. vaječník</b>			
A) stěna folikulu F,zvyšuje	estrogeny (estradiol)	pohl. org. F, mléč.žl., mozek	stimuluje syntézu bílkovin a růst orgánů,vyvolává říji
B) žluté těl.	progesteron	děloha, mléč.žl.	stahy dělohy,stimuluje sekreci androgenů z nadledvin nidace vajíčka v děloze,tlumí stahy dělohy
<b>10. placenta</b>			
	estrogeny, progester., choriogonado-,somatomamotropin	vaječ.,mléč.žl.	vývoj zárodku,růst tkání,udržení funkce žlutého tělíska
<b>11. varle</b>			
A) interstic. b. B) Sertoliho b.	testosteron estrogeny	varle	stimuluje růst orgánů (i pomoc. pohlavních struktur), zrání spermií, chování M
<b>12. epifýza</b>			
melatonin	hypotalamus		inhib. výdej uvolňovacích faktorů



# 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 m.**) 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

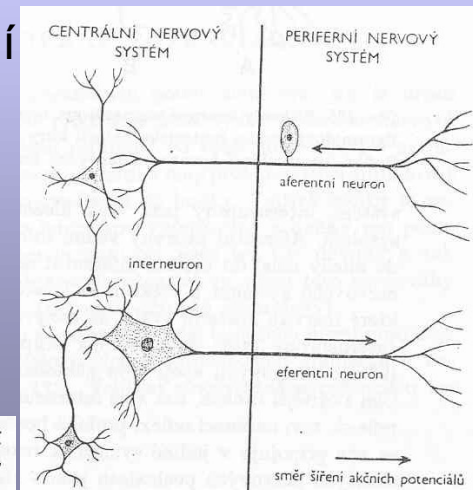
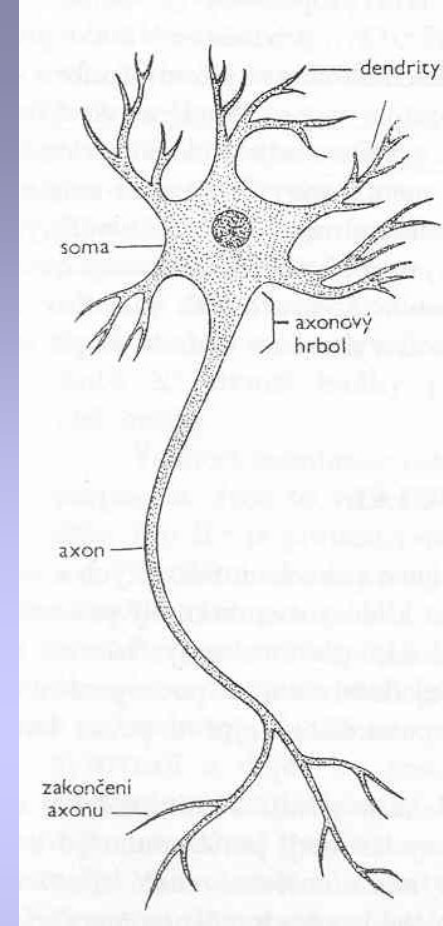
**c) kolaterály** - boční výběžky s axonovým charakterem

**Aferentní** (vzestupné) neurony - informace z čidel (receptorů)

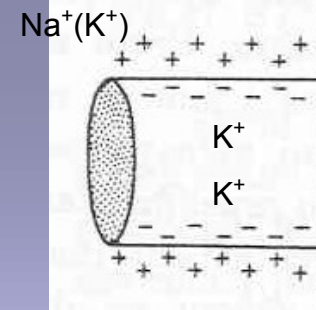
**Eferentní** (sestupné) neurony - z CNS k efektorům

**Interneurony** (asociační n.) - převážně v CNS.

Tvarová rozmanitost neuronů



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



## Membránový potenciál

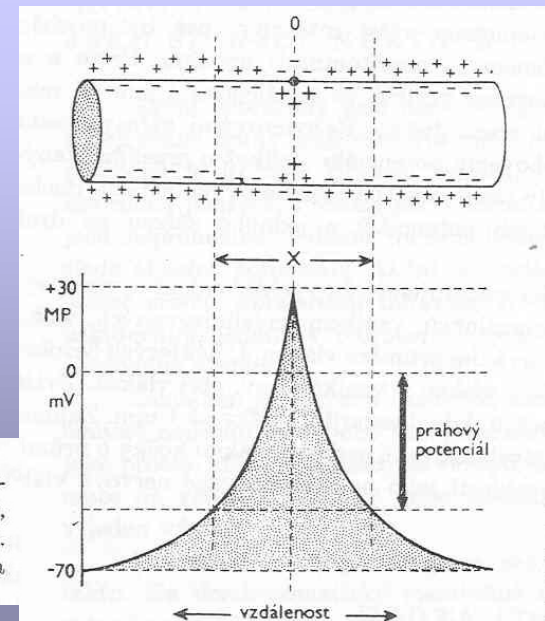
Vlastnost většiny buněk - uvnitř  $K^+$ , málo  $Na^+$ . Vlastnosti buněčných membrán – selektivní propustnost (semipermeabilní, polopropustná) - dobrá propustnost pro  $K^+$ ,  $Cl^-$ , slabá pro  $Na^+$ , žádná pro ATP, ADP, bílkoviny, ...).

## 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:

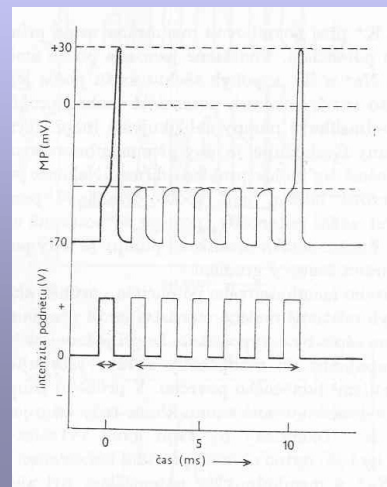
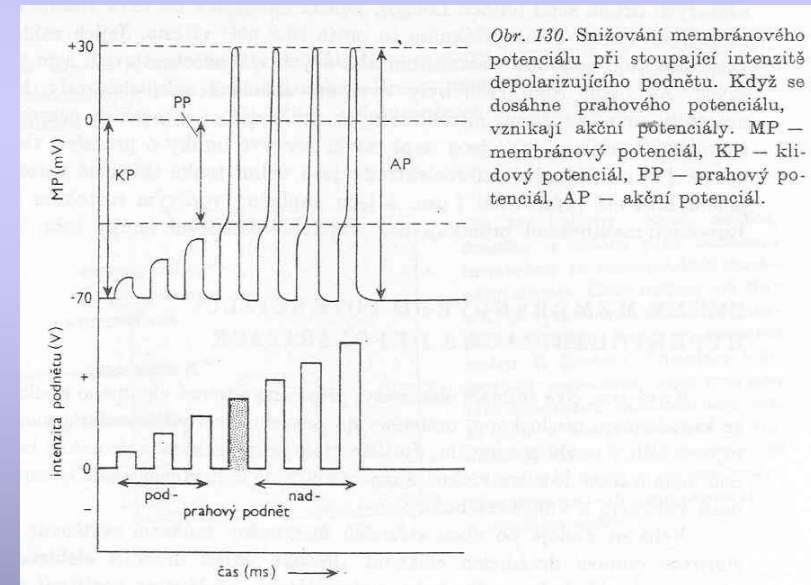
## Iontová hypotéza:

1. fáze: propustnost membrán se zvyšuje pro  $\text{Na}^+$  - tzv. **depolarizace**. 1 ms.
2. fáze: změna propustnosti ve prospěch  $\text{K}^+$  - difúze  $\text{K}^+$  ven (**repolarizace**) - klidová hodnota.

Na-K pumpa zajišťuje návrat ke koncentračnímu gradientu

**Refrakterní perioda** - v ní prahový podnět nevyvolá akční potenciál.

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



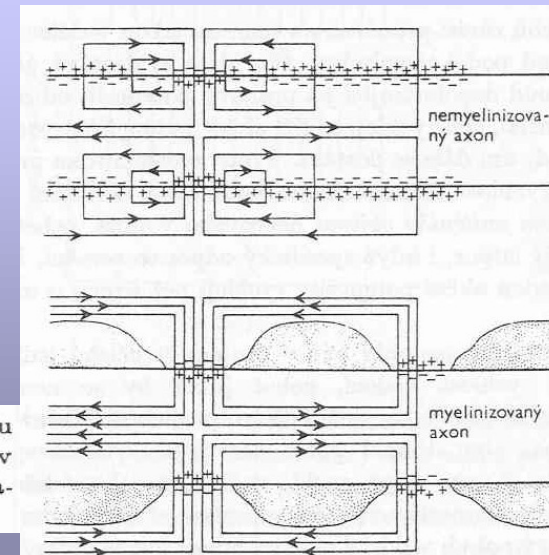
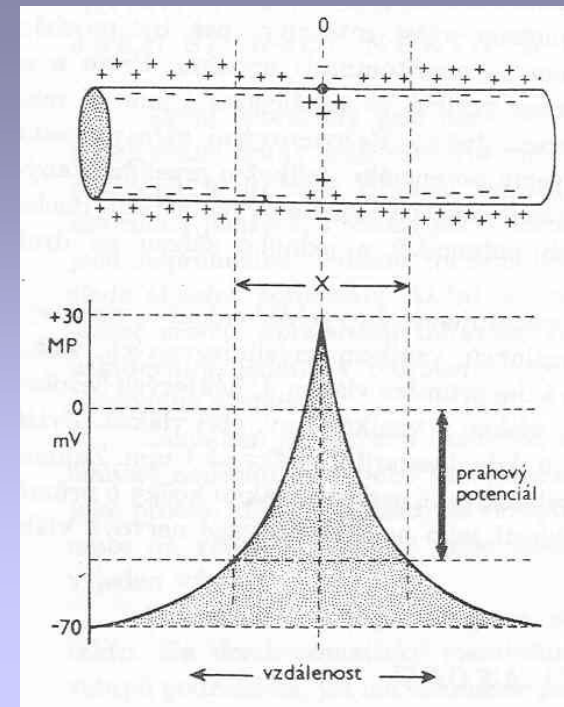
Vznik akčního potenciálu může být signálem, který se dál šíří po nervovém nebo svalovém vlákně.

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). Různá rychlost vedení od několika m/s až po 120 m/s.

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

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

**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.

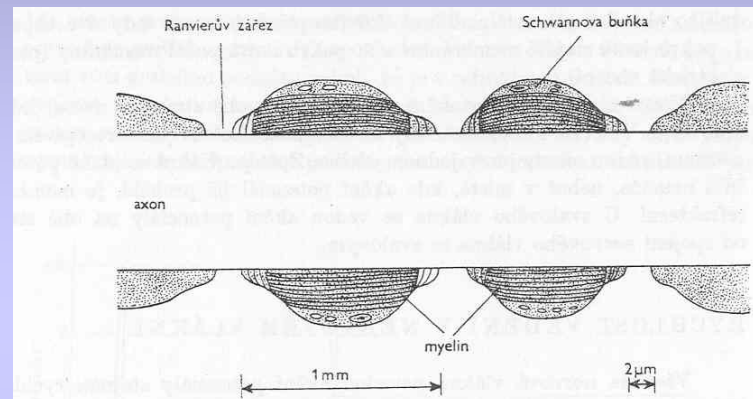
Šíření **saltatorní - skokem** (obratlovci).

Akční potenciály - nervové signály.

Přenos různých druhů informací. Akční potenciál

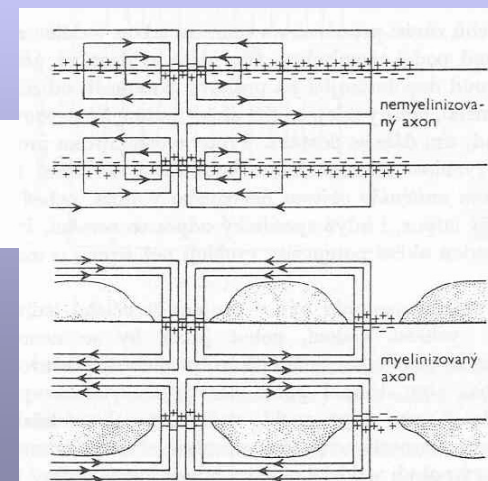
-jediný neměnný signál jediná forma kódování: časové

-uspořádání ve sledu akčních potenciálů = **časové vzorce**.



Obr. 137. Struktura myelinizovaného axonu. Povrch axonu je vystaven extracelulárnímu prostředí v místech Ranvierových zářezů.

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



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

Neuron vedoucí akční potenciál k synapsi –  
**presynaptický** (na konci se zduřeninou - knoflíkem),  
od synapse – **postsynaptický**.

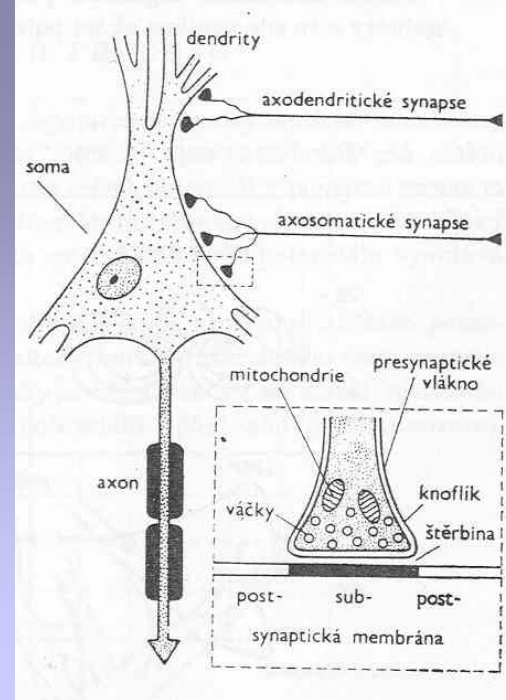
Membrána pod knoflíkem: **subsynaptická**,  
vedle: **postsynaptická**.

Signál se přenáší pomocí **přenašeče**, **mediátoru** (chemické látky) z váček 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



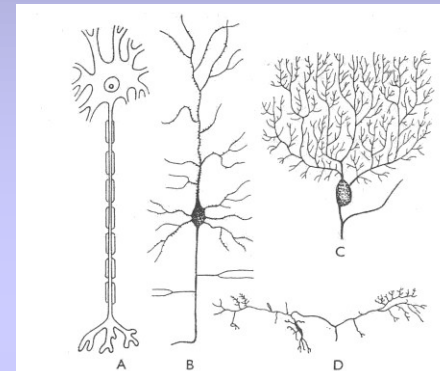
Obr. 139. Synapse. Zakončení axonu na dendritech (axodendritické synapse), zakončení na těle neuronu (axosomatické synapse). V zarámované části detailnější obraz synapse s rozlišením membrány postsynaptického neuronu v membránu subsynaptickou a postsynaptickou.

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**.

**S. prostorová** - současná aktivita více synaptických spojů téhož neuronu.

**S. časová** - opakovaná stimulace téže synapse.

Zvyšování účinnosti nervového přenosu - **facilitace**.



Obr. 126. Příklad tvarové rozmanitosti neuronů. A – Míšní motorický neuron. B – Pyramidová buňka motorické oblasti kůry. C – Purkyňova buňka z mozečku. D – Buňka z retikulární formace mozkového kmene.

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  $\gamma$ -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.

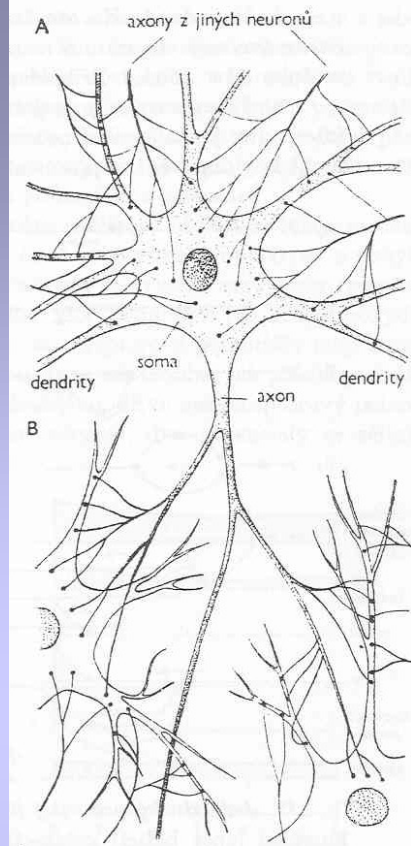
Spojení neuronů do **nervových obvodů** (otevřené x uzavřené).

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

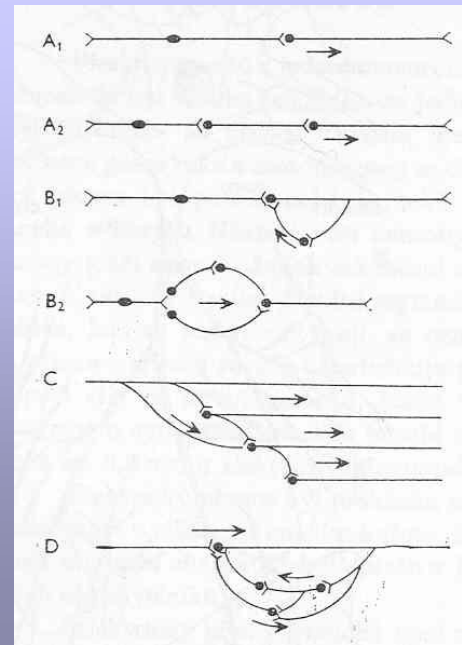
Uzavřené: je zpětné spojení s předcházejícími neurony.

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

**Negativní zpětná vazba** - obrácený směr než počáteční aktivita.



Obr. 149. A – Konvergence nervového vstupu. B – Divergence nervového výstupu.



Obr. 150. Schematické znázornění některých neuronových obvodů. Šipky vyznačují směr šíření vzruchů. A<sub>1</sub> – Jednoduchý otevřený obvod s jedním aferentním a eferentním neuronem (monosynaptický). A<sub>2</sub> – Stejný obvod, avšak s interneuronem (dvě synapse). B<sub>1,2</sub> – Uzavřené obvody. C – Otevřený více-neuronový 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).

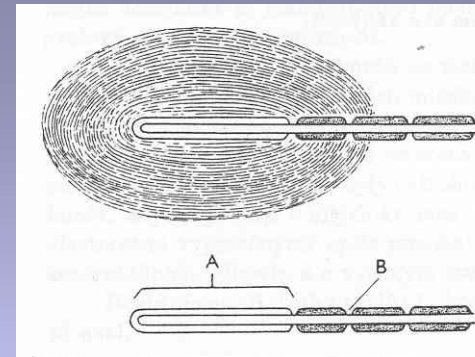
Se zvětšující se intenzitou podnětu stoupá depolarizace => stupňovitá odpověď receptoru:

**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 tělísko (A) je místem vzniku receptorového potenciálu, akční potenciál vzniká v prvním zářezu myelinové pochvy (B).

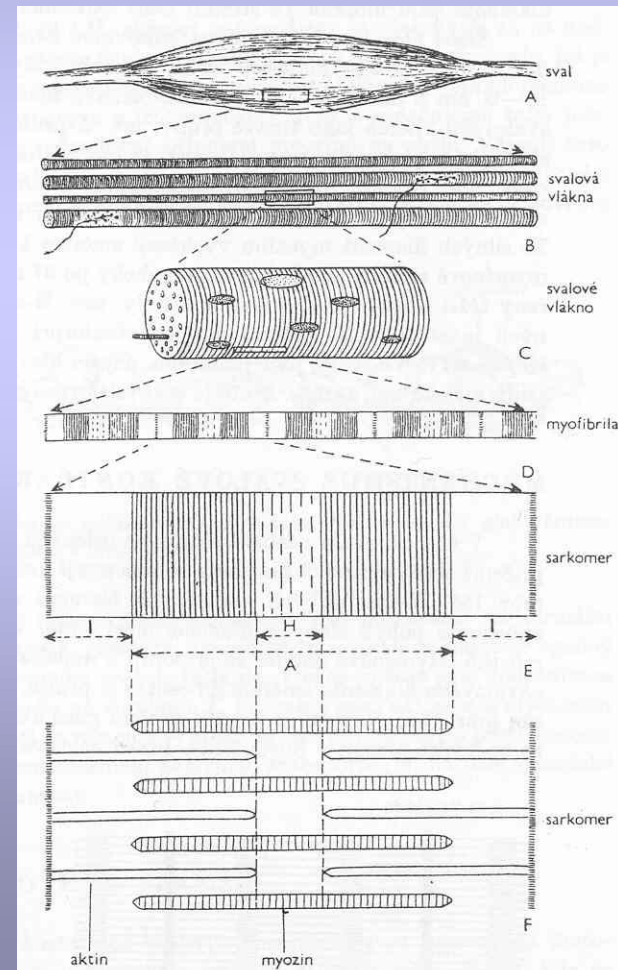
# Fyziologie svalu

Vlastnosti:

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

## Kosterní sval

**Sval – svalové vlákno - myofibrila ze sarkomer**  
(**Z-linie** se světlými **aktinovými filamenty** se zasouvají mezi tmavá **myozinová filamenta** pomocí **myozinových můstků**) – příčné pruhování

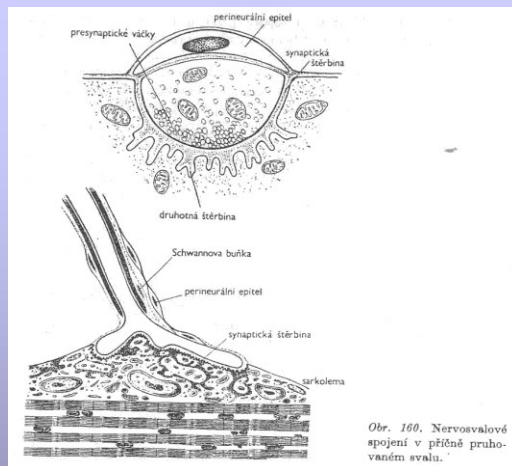


Obr. 158. Ultrastruktura svalového vlákna žáby. Zvláště jsou zdůrazněny příčné tubuly (T-tubuly) a podélné tubuly sarkoplazmatického retikula.

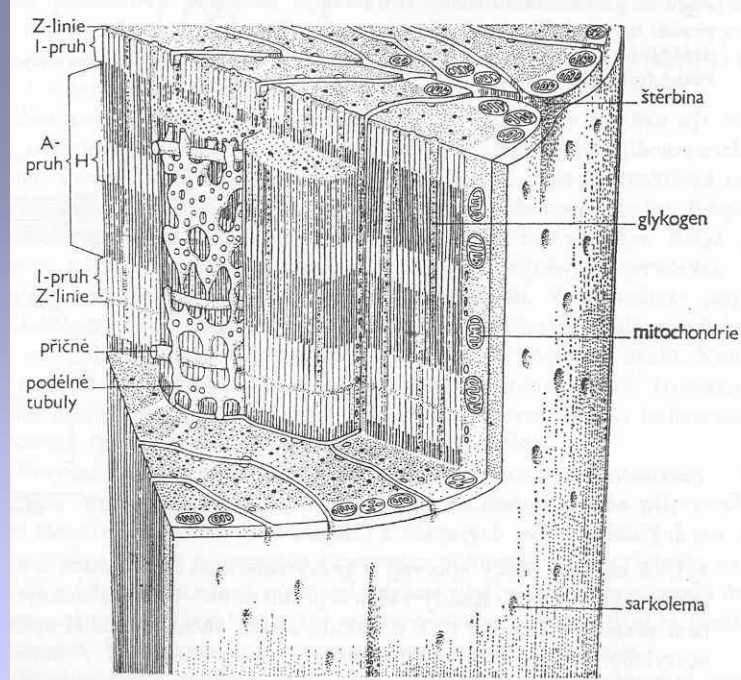
## Sarkoplazmatické retikulum a příčné tubuly (T-tubuly)

$Ca^{2+}$  inhibuje troponin, který blokuje připojení hlavice myozinových můstků, hlavice mění úhel připojení

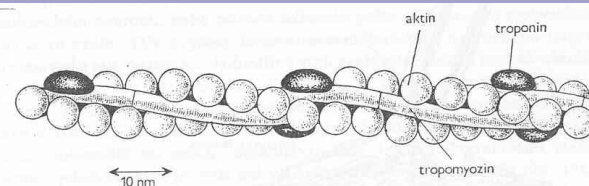
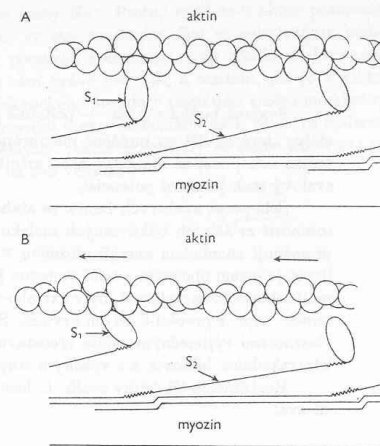
**Nervosvalová (motorická) ploténka** – větší synapse – **acetylcholin** (kurare blokuje reaktivní místa, OF inhibuje acetylcholinesterázu, botulin blokuje uvolnění acetylcholinu)



## Motorická jednotka – rozvětvení axonu na vlákna



Obr. 156. Schematické znázornění připojení hlavice  $S_1$  příčného můstku k aktinovému filamentu. A – Hlavice  $S_1$  vlevo právě připojena. B – Konečná fáze změny v úhlu připojení hlavice  $S_1$ . Změnou v úhlu připojení se posunulo aktinové filamentum vesměru šipky. Hlavice vpravo v téže době již není ve spojení s aktinovým filamentem. (Příčné můstky jsou tvořeny dvěma podjednotkami  $S_1$  a  $S_2$ .)



Obr. 159. Model znázorňující mikrostrukturu slabého filamenta. Ke globulárnímu aktinu se připojuje troponin a tropomyozin.

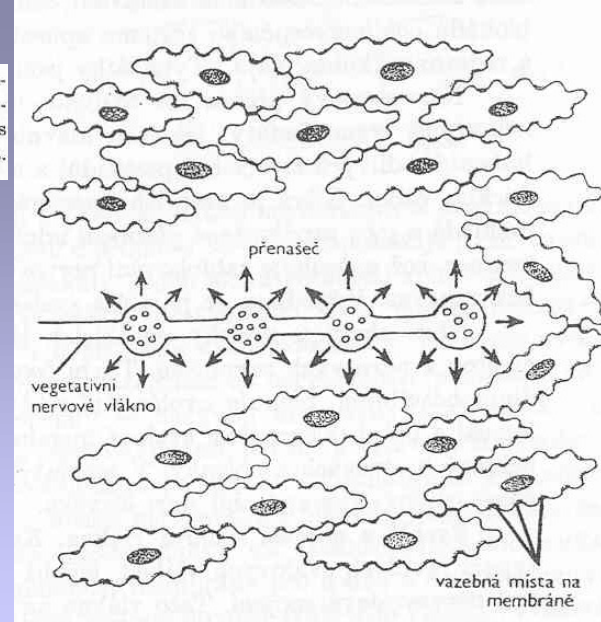
## Hladký sval

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

## Nervové sítě bezobratlých

U hub nepropojené dráždivé buňky netvoří soustavu.

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

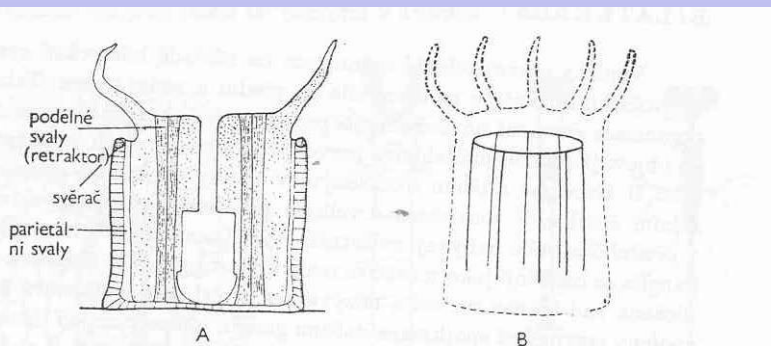
Nezmar: síť jak při povrchu, tak trávicí dutině s mono- bi- a multipolárním buňkami. Žádná diferenciacie.

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

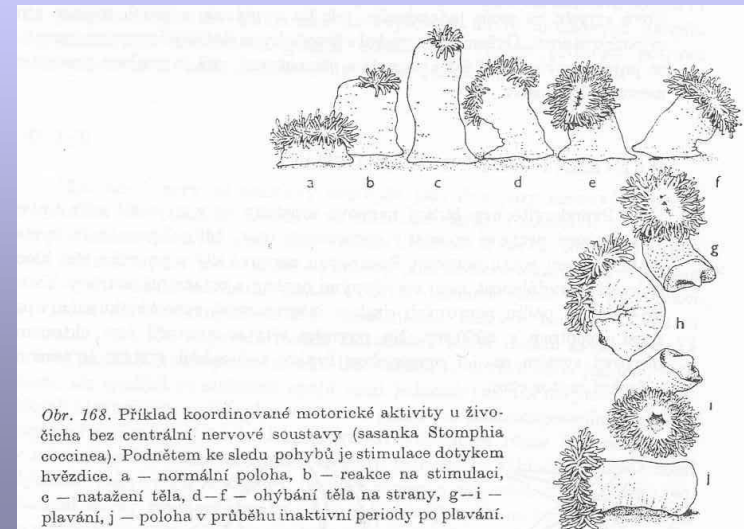
Sasanka: diferenciacie:

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)

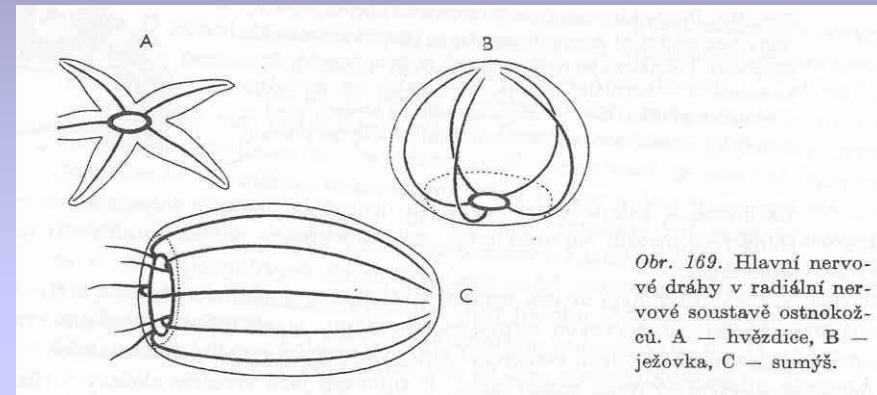


Obr. 167. Nervosvalová soustava u sasanky. A – Příčný řez znázorňující hlavní svaly. B – Diagram představující hlavní vodivý systém.



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.

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



## Radiální nervová soustava

Paprskovité uspořádání nejrozvinutější u ostnokožců. Na povrchu **ektoneurální** nerv. 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.



## 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 g**. Kontrola nad ostatními excitací a inhibicí.

Další progresivní znak: **obří vlákna**

## „Červi“

Ploštěnci *Acoela* a primitivní měkkýši (chitoni) s náznaky koncentrace v přídi

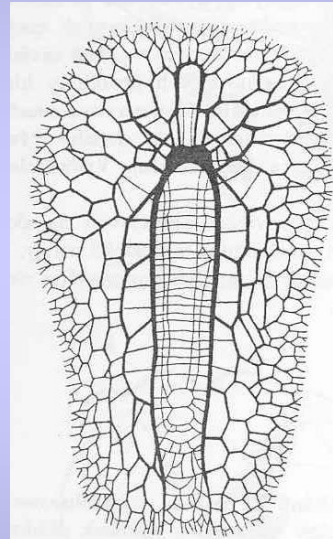
Anelida - nový typ - **žebříčková nervová soustava**.

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).



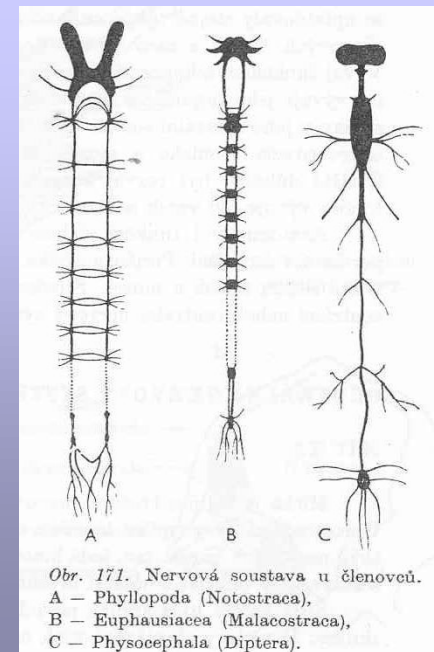
Obr. 170. Nervová soustava u ploštěnky (Turbellaria, Plathelminthes)

## Členovci

Nervová soustava odvozená od žebříčkové:

1. zvětšení nadjícnových ganglií -> mozkové g. (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.

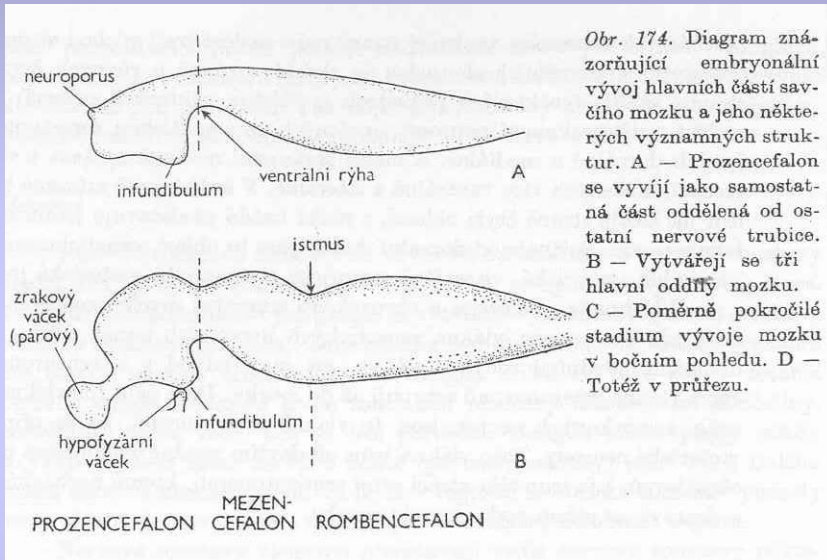
Další vrchol (hmyz). Vznik komplikovaných smyslů, končetin, ústních přívěsků. Některé druhy aktivity (let, chůze, zpěv) jsou iniciovány zvláštními nemodulovanými povely speciálním interneuronům v torakálních gangliích, které potom samy vytvářejí vzorce signálů.



# Nervová soustava obratlovců

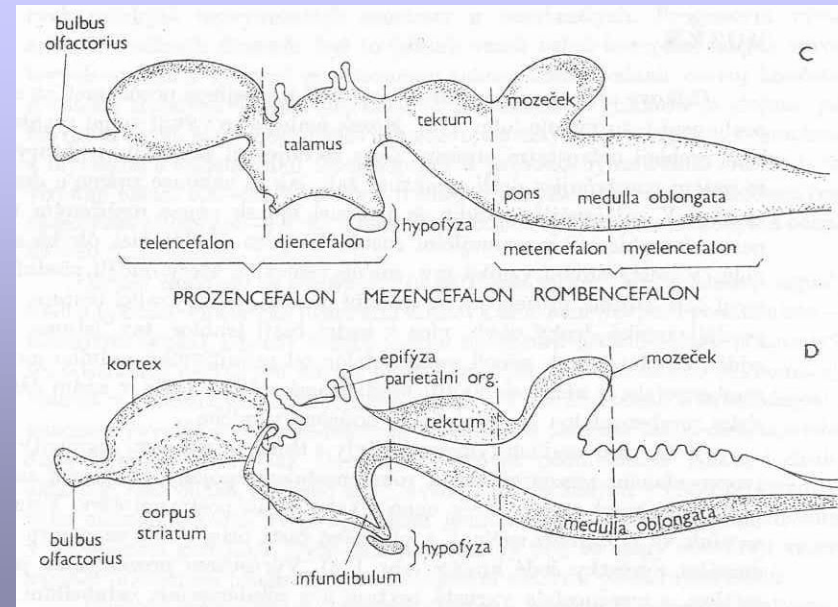
## CNS - mícha + mozek, periferní nervy

viz zoologie strunatců



Obr. 174. Diagram znázorňující embryonální vývoj hlavních částí savčího mozku a jeho některých významných struktur. A – Prozencefalon se vyvíjí jako samostatná část oddělená od ostatní nervové trubice. B – Vytvářejí se tři hlavní oddíly mozku. C – Poměrně pokročilé stadium vývoje mozku v bočním pohledu. D – Totéž v průřezu.

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



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

**Retikulární formace** – pruh nervové tkáně síťovitého charakteru uvnitř mozku kmene

# Prodloužená mícha

## Mozeček

## Střední mozek

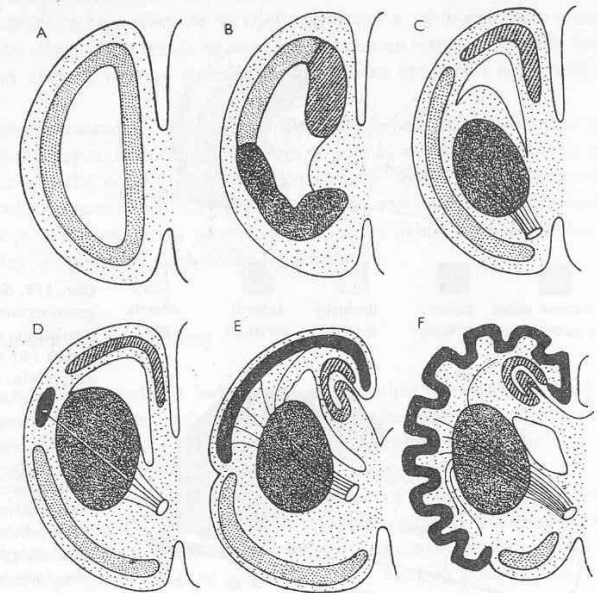
## Mezimozek

## Koncový mozek

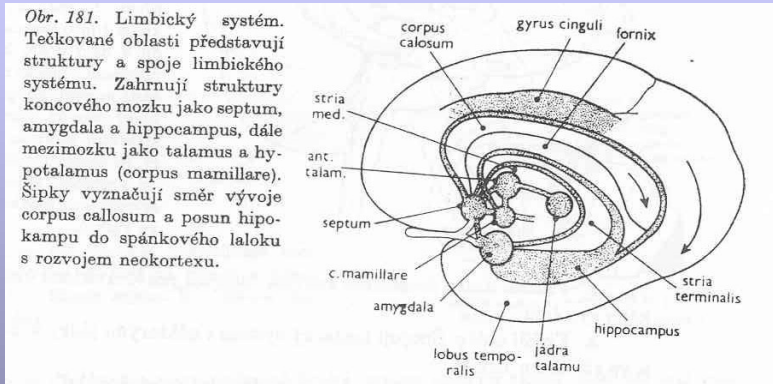
Kortex (paleo- střední část šedé hmoty → dolů  
archi- horní část šedé hmoty → nahoru  
neo- zatlačuje předchozí i následné)

Striatum (spodní část šedé hmoty → dovnitř)

Limbický systém (struktury paleo- a archikortexu)

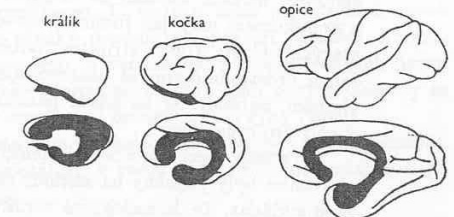


Obr. 180. Postupná diferenciacie mozkových hemisfér. Průřez levou hemisférou. A – Primitivní stadium. Hemisféru tvoří v podstatě jen čichový lalok, šedá hmota je uložena uvnitř a málo diferencována. B – Šedá hmota stále uložena hlouběji, avšak diferencována v paleokortex (středně tečkováno), archikortex (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).



Obr. 181. Limbický systém. Tečkované oblasti představují struktury a spoje limbického systému. Zahrnují struktury koncového mozku jako septum, amygdala a hippocampus, dále mezimozku jako talamus a hypotalamus (corpus mamillare). Šipky vyznačují směr vývoje corpus calosum a posun hipokampu do spánkového laloku s rozvojem neokortexu.

Obr. 182. Limbický systém králíka, kočky a opice (vznačen černě, neokortex bíle). Nápadné jsou u uvedených tří savců rozdíly ve vývoji neokortexu při poměrně malých změnách v limbickém systému. Nahoře pohled ze strany, dole z mediální strany.



## Výkonné funkce NS

### Řízení činnosti kosterního svalstva - reflexní teorie

čidlo (receptor)

**dostředivá** ( aferentní) **dráha**

**ústředí (CNS)**

**odstředivá** (eferentní) **dráha**

**výkonný orgán** (efektor – sval, žláza)

### Míšní reflexy

**propriorecepční** (ovládání délky svalů podněty z nich samotných)

**exterorecepční** (škodlivé podněty na kůži, obranný charakter)

**Složitější reflexy – centra v nižších oblastech mozku** (reflexy postojové, vzpřimovací, vyrovnávací) – podněty z proprioreceptorů, vestibulárního aparátu, kožních receptorů, zrakového orgánu aj.) do ústředí (prodloužená mícha, mozeček, retikulární formace středního mozku)

**Motorické programy** (centrálně vytvářené rytmy – např. chůze, let, plavání) – **rytmická činnost neuronů v CNS (oscilátory)** (bez periferní složky) – zajišťování polohy těla a změny.

**Motorické soustavy** (motorická centra + motorická složka – kosterní svalstvo + opravné mechanismy). Hybná centra savců – kůra (procesy **cefalizace** až **kortizace**). U nižších obratlovců jiné části mozku.

# Úrovně řízení

## 1. soustava tektoretikulární

u obratlovců vývojově nejstarší, **centrum: retikulární formace a střední mozek, tektum** – integrace zrakových, staticko-akustických, somaticko-senzorických a čichových signálů. **Eferentní ústředí – tegmentum** (retikulární jádro)

## 2. s. talamostriatová (plazi, ptáci)

**Integrační centrum – thalamus, eferentní složka – paleostriatum** (dráhy do středního mozku)

## 3. motorické soustavy neokortexu (savci)

**Přímé kortikospinální dráhy** (kůra – mícha). Signál v kůře – výsledek interakcí různých oblastí kůry a jiných částí mozku.

Výstupy

A) extrapyramidové –

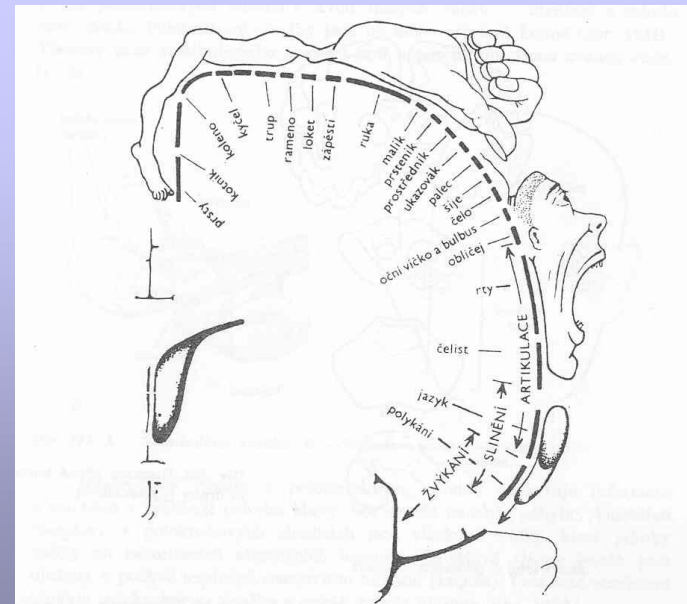
**B) kortikostriaretikulární systém** - ke striatu, mezimozku a střednímu mozku

B) pyramidové (vyšší obratlovci) – dráhy z čelního a temenního laloku do míchy (krční u kopytníků, hrudní u psa, bederní u primátů).

Svazek kortikobulbární inervuje svalstvo obličejové části, vlastní svazek kortikospinální se kříží (80 %) na rozmezí prodloužené a páteřní míchy

**Motorické centrum řeči (Broccovo) –**

postavení mezi motorickými a asociačními centry



Obr. 191. Somatotopická reprezentace motorických funkcí (motorický homunkulus). Obrázek znázorňuje průřez precentrálním závitem a zachycuje rozložení jednotlivých motorických funkcí, a to co do polohy i co do jejich rozsahu.

#### 4. mozeček (postupný vývoj významu)

&) zadní část mozečku

β) přední lalok mozečku - (postojové reakce)

γ) postranní mozečkové hemisféry - (regulace záměrných pohybů)

**Aferentní vstupy motorické soustavy** – ze smyslových orgánů (receptor vestibulární, propriorecepční – receptor kloubní + svalové vřeténko + Golgiho svalové tělísko, kožní, zrakové)

#### Řízení činnosti vnitřních orgánů

– **vegetativní nervový systém s periferní** (senzorická vlákna ze smyslů vnitřních orgánů, eferentní vlákna k hladkému a srdečnímu sval, žlázám) a **centrální složkou** (součást CNS)

#### **Sympatikus – torakolumbální oddíl**

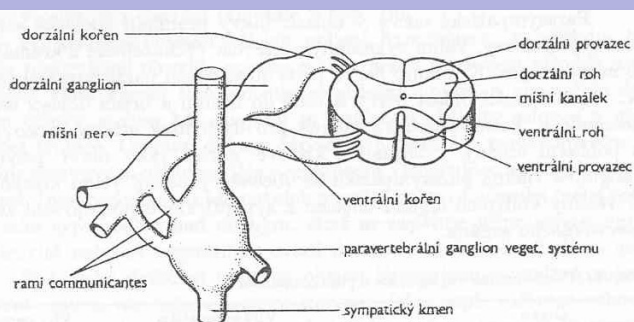
(eferentní vlákna z hrudní a bederní míchy)

**Parasympatikus – kraniosakrální oddíl** (eferentní vlákna z jader mozkového kmene společně s nerv. vagus a křížové míchy - nervi pelvini)

#### **Eferentní vegetativní nervové dráhy** (přední kořeny)

**dvoneuronové** (synaptický spoj v paravertebrálním gangliu - oči, slinné žlázy, bronchi, srdce, arterioly)

**jednoneuronové** (bez synapse – k trávicí trubici od žaludku, močovému měchýři a pohlavním orgánům)



**Odlišnost přenašeče** v konečné eferentní složce:

sympaticus – noradrenalin

parasympaticus – acetylcholin

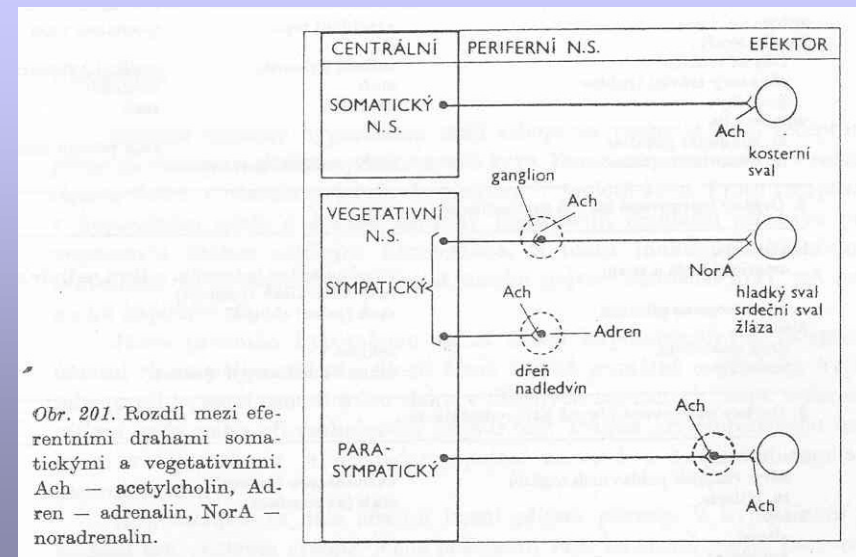
stejně jako mezi pre- a postgangliovou drahou).

## **Funkční antagonismus sympatiku a parasympatiku**

srdce, hladké svalstvo trávicí trubice,  
zornice – aktivita vagu (parasympaticus)  
vede ke zpomalení srdeční činnosti,  
zvýšení motoriky a sekrece trávicí trubice,  
zúžení zornice

– sympatikus opačné působení.

U jiných jedna ze složek méně významná  
(močový měchýř)





## **Centrální vegetativní nervový systém**

### **Mícha – jednoduchá nervová koordinace**

- centrum řídící pohlavní funkce (genitospinální)
- c. vyprazdňování močového měchýře (vezikospinální)
- c. vyprazdňování střev (anospinální)
- zorniční centrum (ciliospinální)

### **Retikulární formace prodloužené míchy**

- centrum kardiovaskulární
- c. dýchací
- c. koordinace č. trávicí trubice (motilita x sekrece)
- řízení příjmu potravy a vody
- řízení pohlavních funkcí
- řízení termoregulace

### **Retikul. formace hypotalamu – komplexy reakcí**

Dráždění **zadní části hypotalamu** odpovídá **zvýšené činnosti sympatiku** (rozšíření zornice, vzestup srdeční činnosti a krev.tlaku, dýchání – **ergotropní reakce** – i při stresu, typ útok nebo útěk se změnami chování)

**Orálnější oblasti hypotalamu** – jako **parasimpatikus** zvyšují sekreci a motoriku trávicí trubice – **trofotropní účinek**

## **Homeostáza**

– některé neurony zaznamenávají změny ve **složení a vlastnostech krve** (tlak, teplota, obsahy látek)

- **řízení příjmu tekutin** (jádra předního hypotalamu) – pocit žízně při zvýšení osmotického tlaku v tělesných tekutinách, tvorba ADH pro vylučování vody

- **řízení příjmu potravy – centrum sytosti a hladu**

## **Rozmnožování**

Přes **adenohypofýzu vývoj a činnost pohlavních orgánů, sexuální rytmy. Ocytocin. Integrační činnost soustavy limbický systém – hypotalamus.**

## **Retikul. formace neokortexu**

- **vliv na pohlavní složky**

- **integrace somatické a vegetativní aktivity**

**vegetativní reakce při emocích (s hypotalamem)**

## **Čidla (smysly)**

- orgány transformující podnět vnějšího i vnitřního prostředí na vzruch

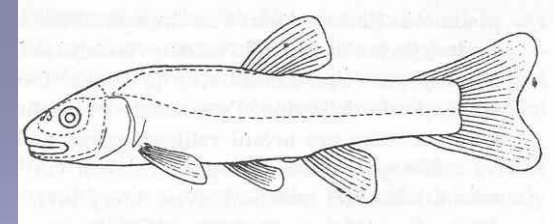
**Interoreceptory** – čidla ve vnitřních orgánech

**Proprioreceptory**- čidla v pohybové soustavě (kloubní r., svalové vřeténko, Golgiho šlachová tělíska,

**Exteroreceptory** – informace o vnějším světě

## Mechanoreceptory

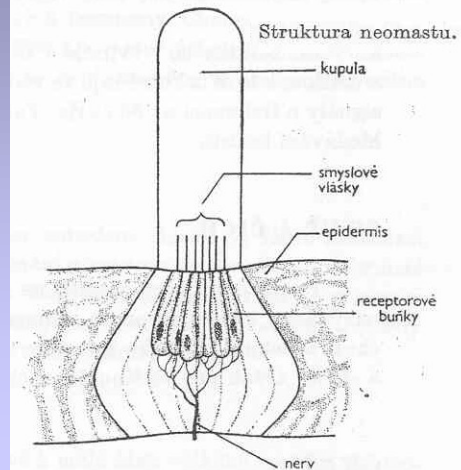
(a-e somatické exteroceptory, f – i proprioceptory)



## Dotykové receptory (Meissner, Vater-Pacciniho)

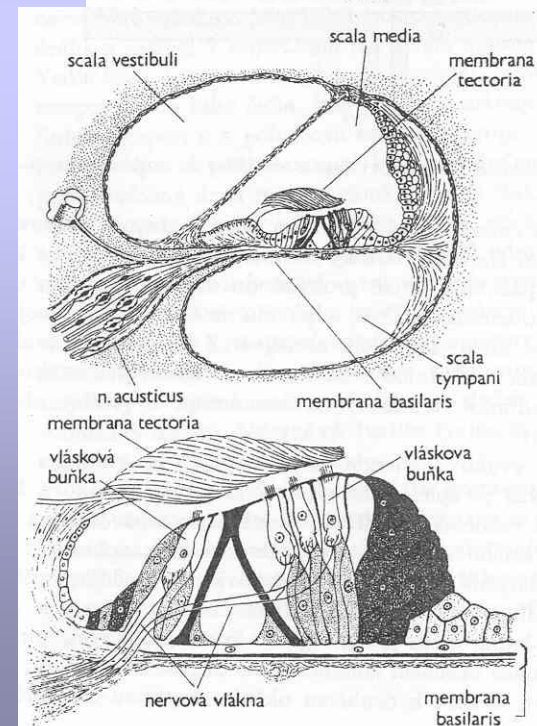
**Bolest** – volná nerv. zakončení, únikové reakce s průvodními jevy

**Proudový orgán** – neuromasty zasahují vlásky do kupuly, ta ohybem nerovnoměrně natahuje vlásky a stimuluje receptorové buňky



**Sluchové receptory** (tympanální orgán, sluchový orgán) – reakce na tlak molekul (vlny zhušťování) – přenos bubínkem přes sluch. kůstky na membránu oválného okénka, do hlemýždě. Přenos vln perilymfou přes *scala vestibuli* a *s. tympani* rozechvívá bazilární membránu. Její vychýlení registrují vláskové buňky Cortiho orgánu (vůči *m. tectoria*)

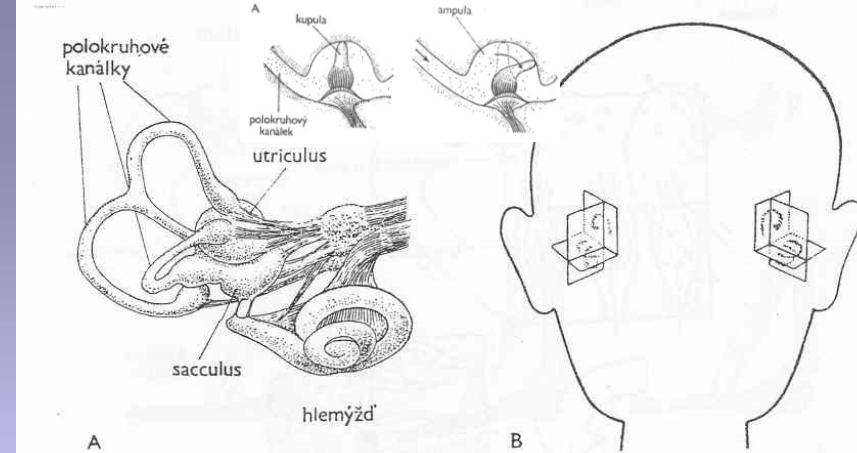
**Echolokace** – vysílání ultrazvukových vln a zpětný příjem



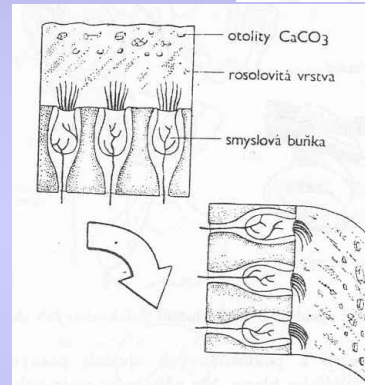
## Statokinetické receptory –

3 polokružné chodby a 3 váčky. Skvrny vláskových buněk s kupulou v ústí chodeb jsou drážděny rozporů mezi pohybem vestibulárního systému a setrvačností endolymfy.

V *utrículo* a *sacculu* v kupule otolity pro registraci vůči zemské tíži.



Obr. 194. A – Vestibulární systém. B – Rozložení polokruhových chodeb.

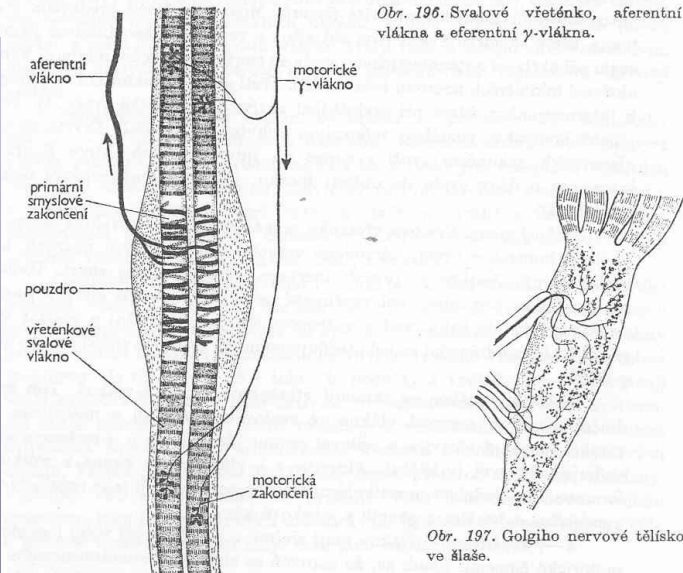


Receptory v utrikulu a sakulu

**Kloubní receptory –** aktivace mechanickými podněty

**Svalové vřetenko –** specializované svalové vlákno s krajovými kontrakcemi (intrafuzální, vřetenkové), uprostřed nervová zakončení – vzruch vzniká pasivním natahováním vlákna.  $\gamma$ -vlákna zajišťují citlivost při zkráceném svalu.

**Golgiho šlachové tělísko –** zaznamenávají zkrácení svalu



Obr. 196. Svalové vřetenko, aferentní vlákna a eferentní  $\gamma$ -vlákna.

Obr. 197. Golgiho nervové tělísko ve šlaše.

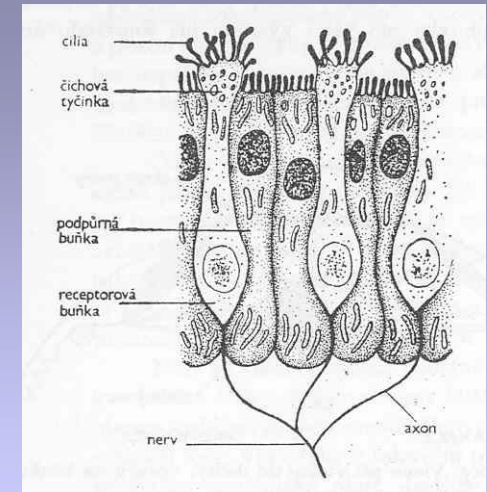
# Chemoreptory

## Čich –

primární smyslové buňky (člověk až 20 milionů na  $5 \text{ cm}^2$ ) v horní části nosní dutiny.

Rozdílná citlivost: CO nedetekujeme, merkaptan  $2,5 \cdot 10^{-10} \text{ mg/l}$  vzduchu

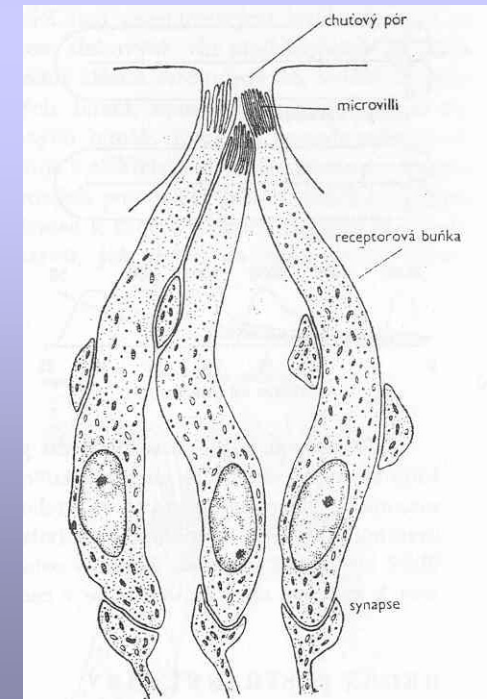
Adaptace.



## Chuť –

sekundární smyslové buňky (člověk 10 tisíc), ústí dutina.

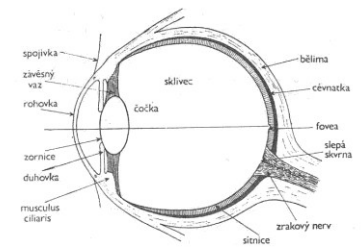
Citlivost NaCl  $10^{-2} \text{ M}$ , chitin  $0,8 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ .



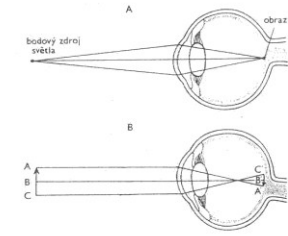
# Radioreceptory

## Zrak -

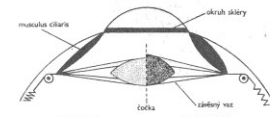
komorové oko - až stamilióny receptorových buněk (tyčinky, čípky). Opětovné soustředění světelných vln po průchodu optickým systémem – převrácený zmenšený obraz. Stavba oka. Fotopigment (různý **opsin** + **retinal**) je měněn světelnou energií, se změnami sodíkového proudu vzniká akční potenciál složené oko členovců - **ommatidia**



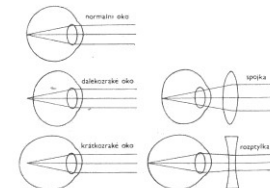
Obr. 216. Diagram průřezu lidským okem.



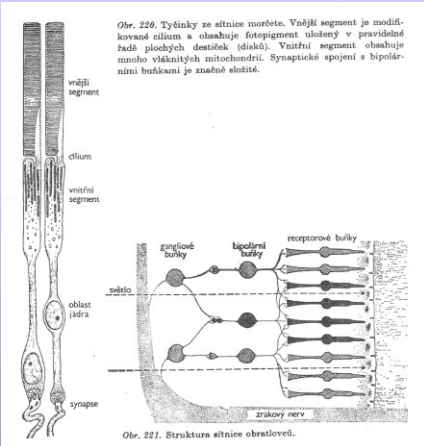
Obr. 217. Refrakce (ohýbání) paprsků světla světloolomným zařízením oka. A - Zdrojem světla je bod. B - Zdrojem světla je předmět složený z mnoha bodů.



Obr. 218. Akomodační body. Vlevo při vidění do dálky, vpravo na blízko.

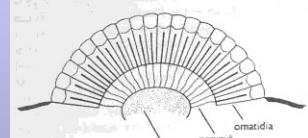
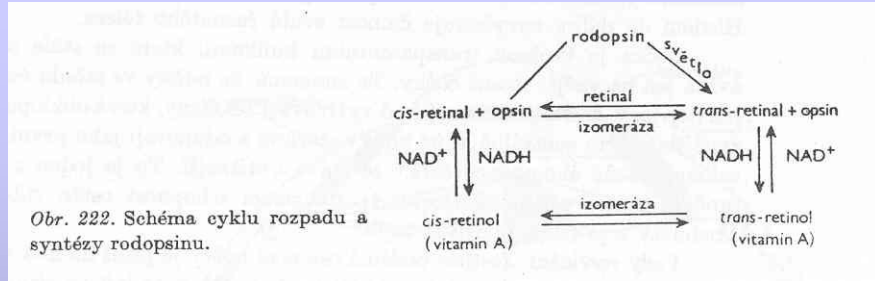


Obr. 219. Schéma dopadu světla do normálního oka a oka s vadou lomu. Vpravo rovnoběžná paprsková svazek.

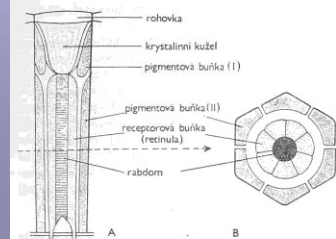


Obr. 220. Tyčinky ze sítnice mořbete. Vnější segment je modifikované cilium a obsahuje fotopigment uložený v pravidelně řadě plochých destiček (disků). Vnitřní segment obsahuje mnoho vláknitých mitochondrií. Synaptické spojení s bipolárními buňkami je značně složitá.

Obr. 221. Struktura sítnice obratlovců.



Obr. 226. Průřez složeným okem členovce.



Obr. 227. Ommatidium složeného oka. A - podélný řez, B - příčný řez.

## Termoreceptory (Ruffini, Krause, spec. termoreceptor)

# Fyziologie rozmnožování

Vegetativní (**nepohlavní**) rozmnožování

Generativní (**pohlavní**) rozmnožování – XX vajíčka XY (XX) spermie

Hermafroditismus – posun dozrávání pohlavních produktů

Haploidní gamety → diploidní zygota s genetickým materiálem obou rodičů

Menstruační cyklus, provokovaná ovulace

Rýhování → vývoj **zárodku**. Probíhá v různých podmínkách

Savci – děloha, uchycení (nidace) ve stáří 4-6 dní. Vajíčka s malým množstvím žloutku – malým množstvím zásobních látek a tím i výživy – placenta (ochrana mechanická, výměna látek)

**Plod** od 3. měsíce těhotenství průběžné změny velikosti objemu dělohy

Hormonální změny: placentární produkce choriongonadotropinu k involuci žlutého tělíska se stimulací sekrece progesteronu a estrogenů. Ty později secernuje placenta sama. Průběžné hormonální změny (růstový h., tyroidální, kortikoidy)

Porod - vlivy plodu (produkce ACTH, kortizolu a následně prostaglandinů s podporou motility plodu, více estrogenů) i matky (ocytocin pro zvýšení děložních kontrakcí)

Období po porodu – nízká sekrece gonadotropinů klidový stav ovarií, involuce dělohy, tvorba mateřského mléka. Příprava již během těhotenství: vývoj mléčné žlázy podporován estrogeny, progesteronem, glukokortikoidy, prolaktin z předního laloku hypofýzy podporuje tvorbu mléka. Prvotní sekret – kolostrum s více bílkovinami a méně tuky. Funkce ocytocinu pro sekreci prolaktinu, tvorbu mléka, kontrakci hladkých svalů vývodů mléčné žlázy.



Fyziologie rozmnožování člověka – viz antropologie

Živorodost – savci, některé paryby

Vejcorodost – většina obratlovců

Vejcoživorodost – mlok, slepýš, užovka hladká

- hmyz: larviparie až pupiparie