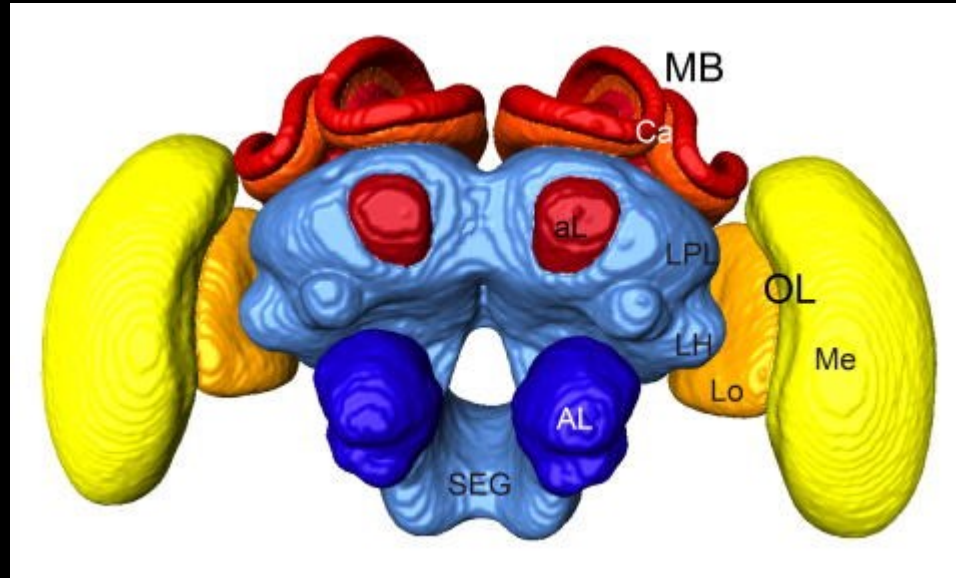


# Nervový systém

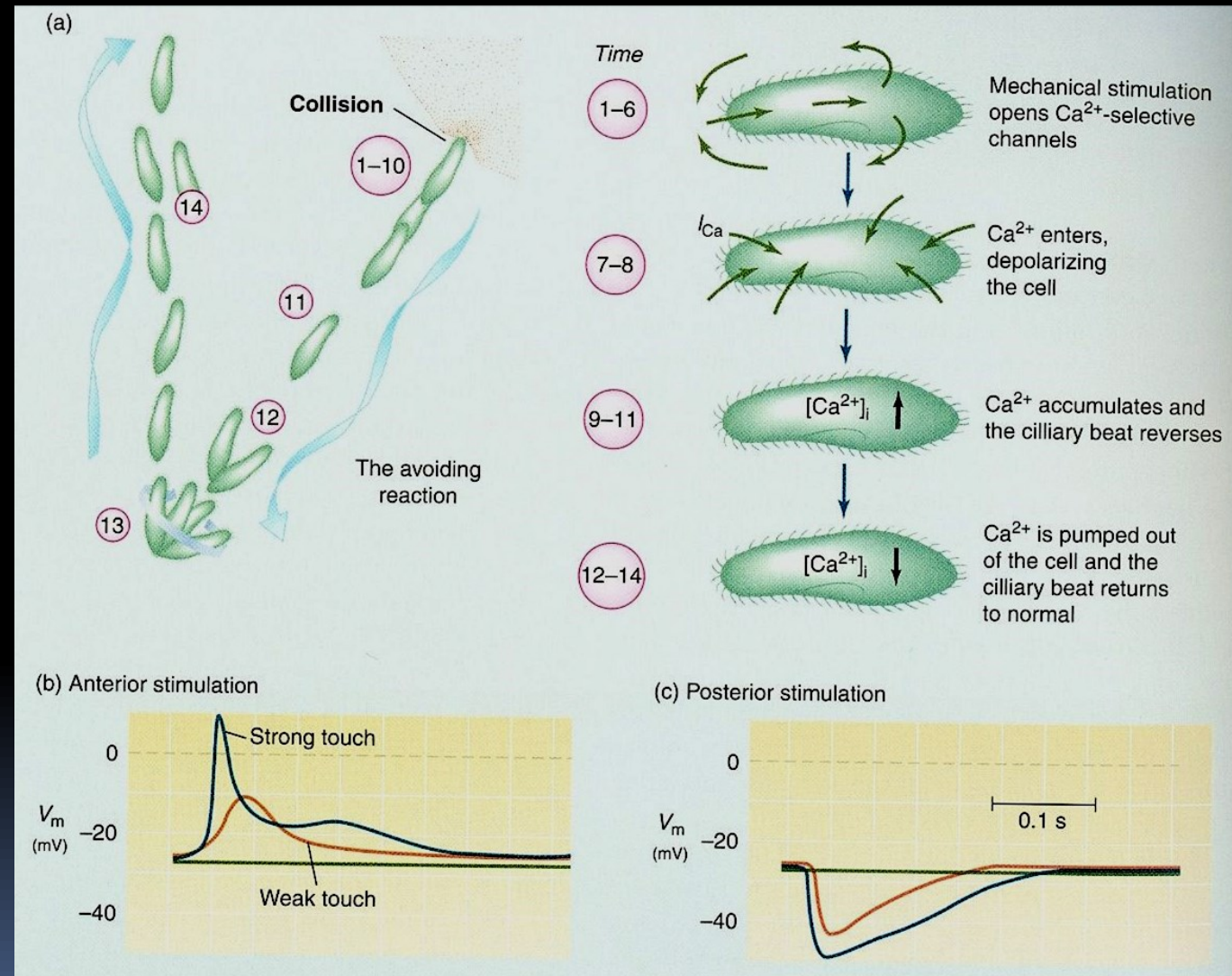


Základním úkolem a zřejmě i příčinou vzniku je monitorování okolí a zprostředkování motorické odpovědi. Využívá elektrické dráždivosti membrán. Výsledný pohyb se stává projevem chování. Reflexní oblouk je základním prvkem tohoto řídicího systému, ale vznikají mnohem složitější sítě. Nabývá schopnosti se učit a reagovat jinak při opakovaných setkáních – mimořádná adaptivní výhoda. Stává se v evoluci dominantním řídicím systémem. Bezobratlí bezkonkurenčně výhodným modelem pro studium.

# Chování zvířat i bez nervového systému ?

Trepka (nálevník, říše Chromista, tedy spíše řasa).

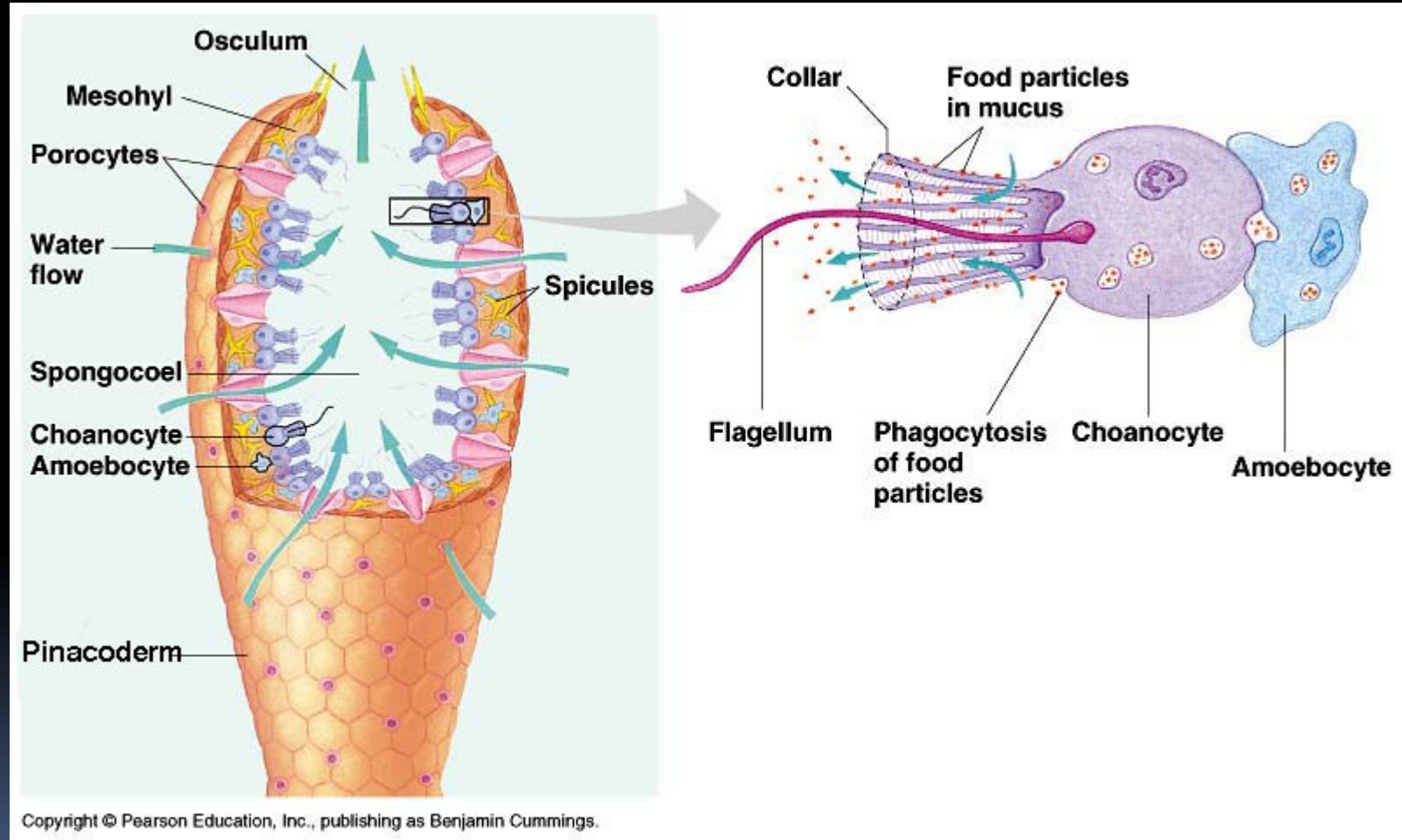
Únikové reakce na podráždění nejen v místě samém, ale i na vzdálených místech. Vodivé struktury šíří podráždění v rámci buňky. Pohyby brv jsou koordinované a synchronizované. Pod pelikulou spojené kinetosomy. Předstupeň NS mnohobuněčných.



# Houby

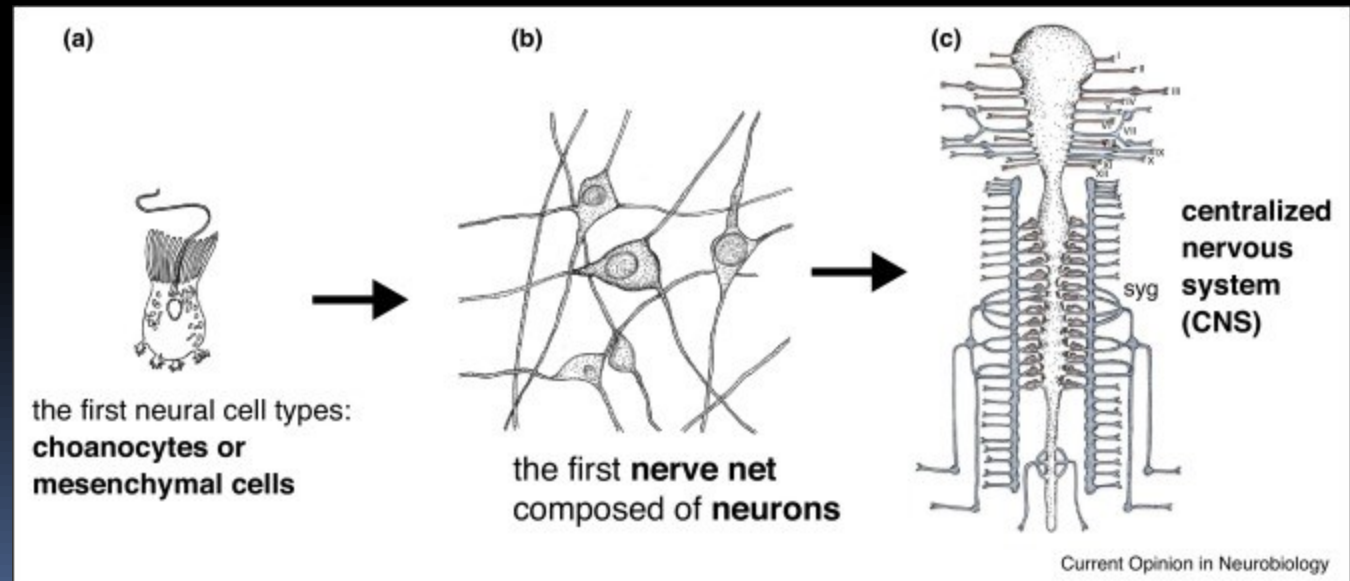
(jsou to však jediní živočiši bez neuronů) první předchůdci nervových buněk spojující povrchové pinakocyty a bičíkaté buňky (choanocyty) a porocyty. Propojené jsou elektricky vodivými spoji – syncytium.

Dotek nebo znečištěná voda vede k vypnutí vodního proudu působeného bičíkatými buňkami.



## Tendence ve vývoji NS:

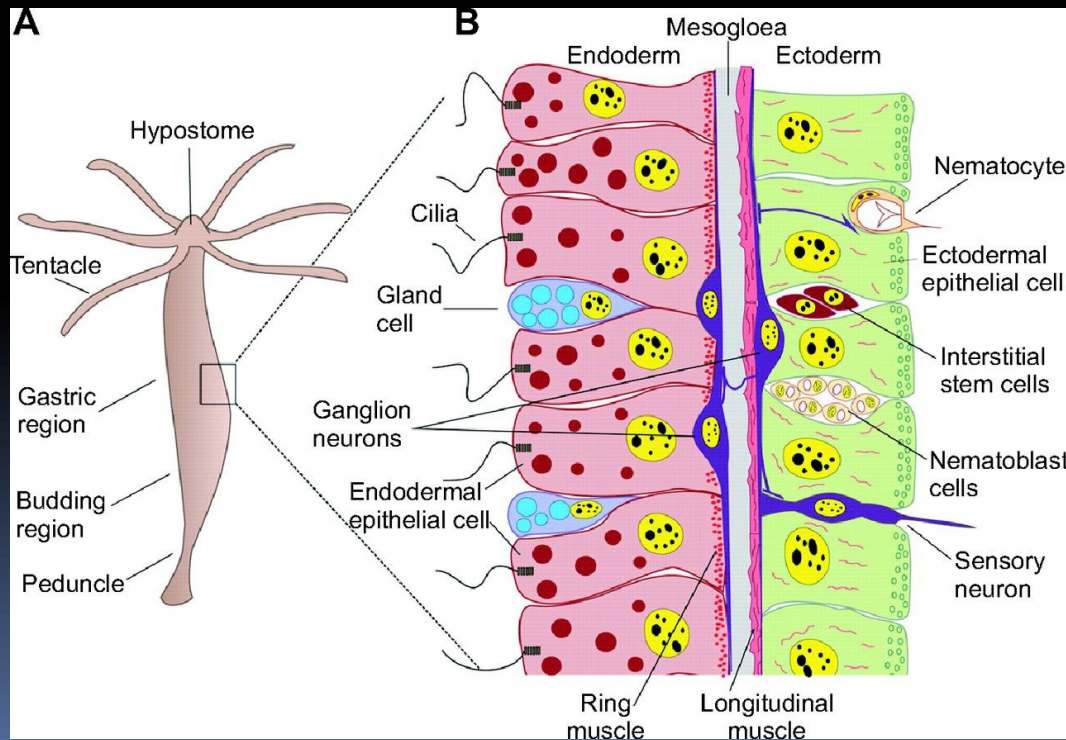
- Funkční diferenciace samotných buněk (dendrity, soma, axony)
- Shlukování, ganglia,
- Centralizace, hierarchizace
- Cefalizace





**Nezmar (žahavci):** síťovitá struktura neuronů. mono, bi, multi polární buňky, přenos chemický, na obou stranách synaptické váčky. Schopen pohybu (salta). Neustále obnovuje všechny své tkáně a prakticky je nesmrtelný. Je skvělým modelem pro studium vzniku nervových sítí a chování. Neurony na okrajích se neustále odlupují a nové vznikající z kmenových buněk zaujímají nová vzájemná postavení. Potom pod vlivem určitých signálů se specializují a na křížení vznikají synapse. Sensorické bb tak vznikají na periférii.

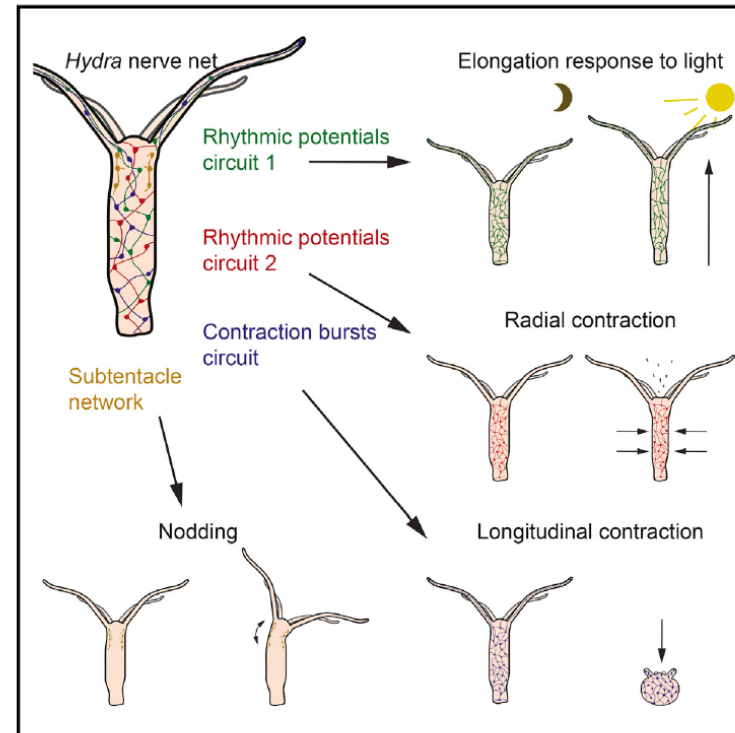
Nemá už jen síť neuronů. Např. reflexní pohyb ramene po zachycení potravy nesoucí ji k ústům je založen na svazcích neuronů mezi sensorickými bb v ramenech a kontraktilními epiteliálními bb. ramen a úst.



# Current Biology

## Non-overlapping Neural Networks in *Hydra vulgaris*

### Graphical Abstract



### Authors

Christophe Dupre, Rafael Yuste

### Correspondence

cd2597@columbia.edu

### In Brief

The nervous system of *Hydra* is traditionally described as made of two nerve nets. By using calcium imaging, Dupre and Yuste demonstrate the existence of multiple circuits within these nerve nets and show with which behavior they are associated.

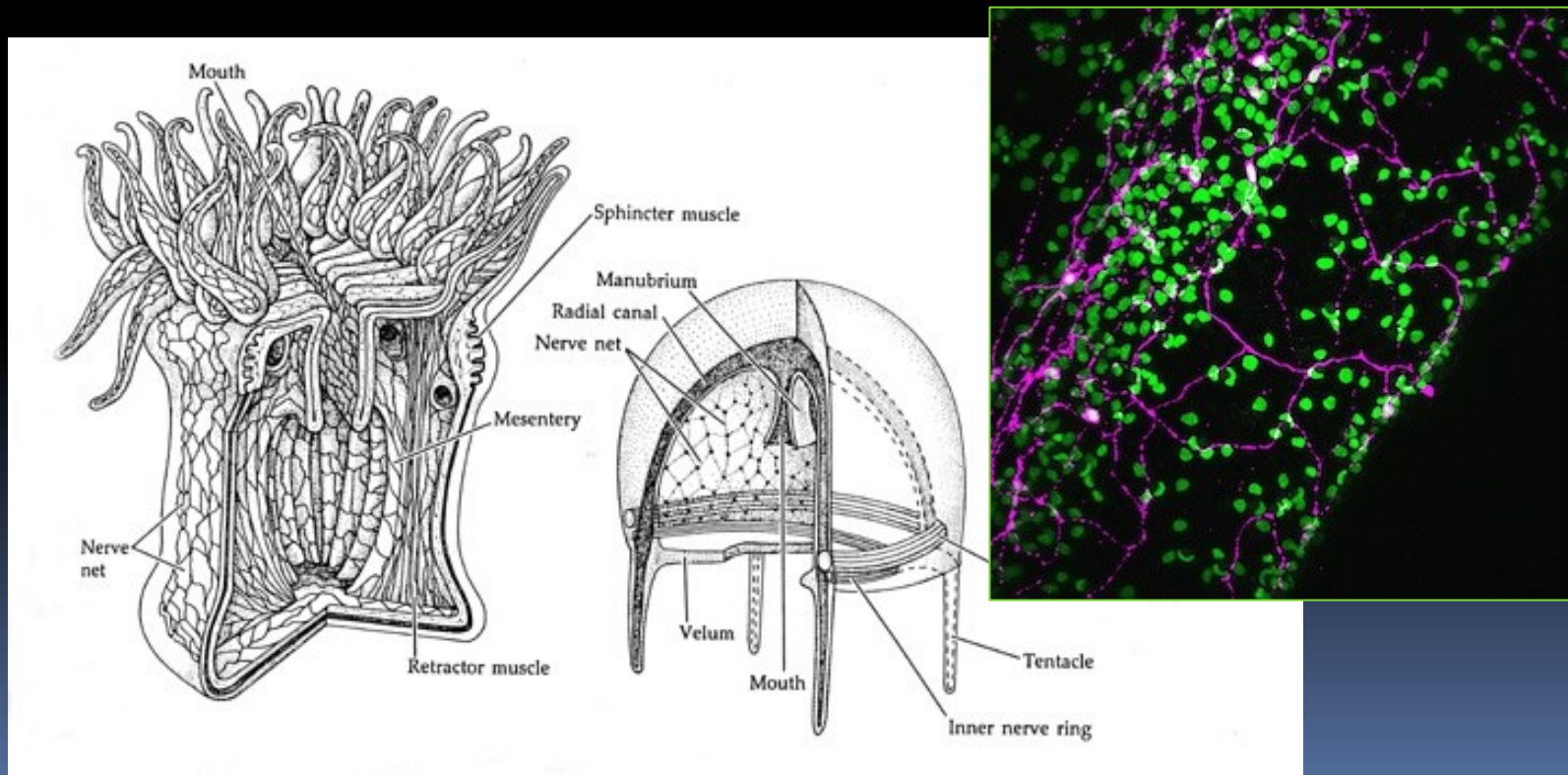
### Highlights

- Introduction of *Hydra* as a model system for neural circuits
- Functional circuits of four behavioral responses
- First complete Brain Activity Map achieved

Ca imaging ukázal 4 nezávislé neuronové sítě pro různé typy chování.

Video

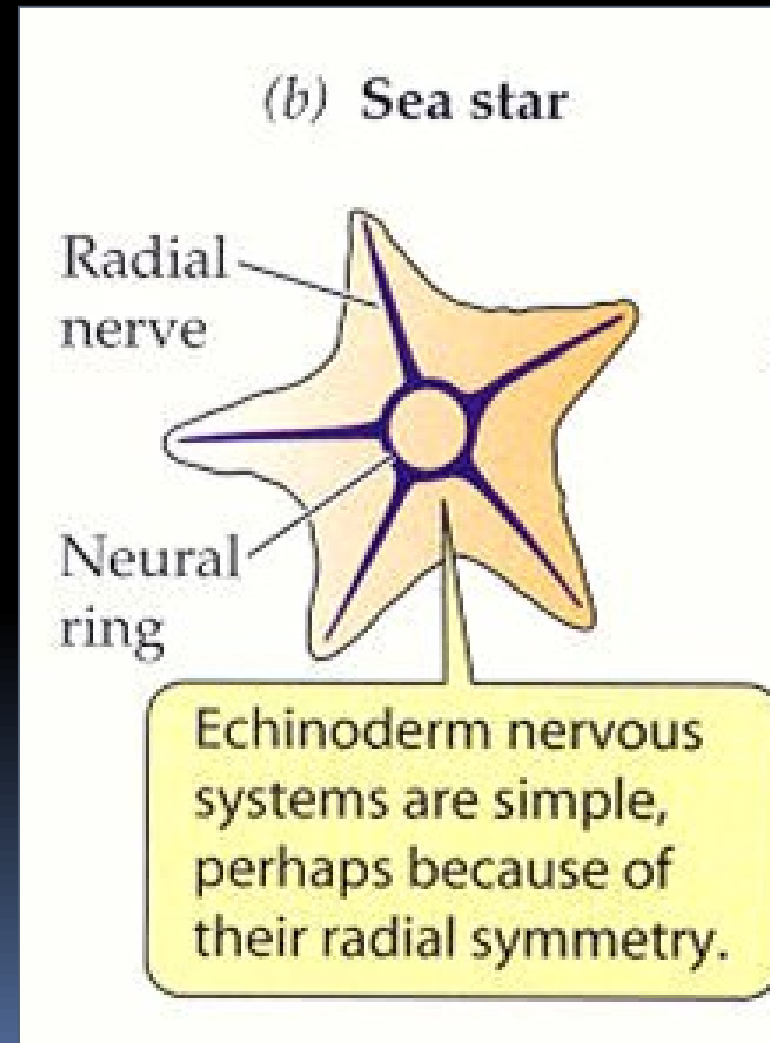
**Sasanky (žahavci, korálnatci)** Jsou na rozdíl od nezmara volně pohyblivé – bipolární rychleji vedoucí neurony – dráhy. Medúzy – prstenek (prstencový mozek). Statocysty, očka, pacemakery. Hydromedúza *Aglantha* používá dva prstence: vnitřní prstenek s pacemakerem, který řídí normální pomalé plavání a vnější, který řídí rychlý únik po mechanické stimulaci těla. Tvoří ho jediný obří axon, který je unikátní v tom, že tvoří dokonalý kruh bez začátku nebo konce. AP jsou vedeny asi 4m/s (což je dosti pomalé proti obratlovcům). Jeho aktivita vede k rychlé pulzaci zvonu. Síť ale zůstávají ve všech kmenech až k obratlovcům (např. ve střevní stěně – nervová pleteň).



Ostnokožci, hvězdice, jsou radiální sekundárně.

Mnoho interneuronů. - složité chování, lov potravy, motorika, rozmnožování, péče o mláďata.

Video - Hvězdice zkouší sníst úhoře





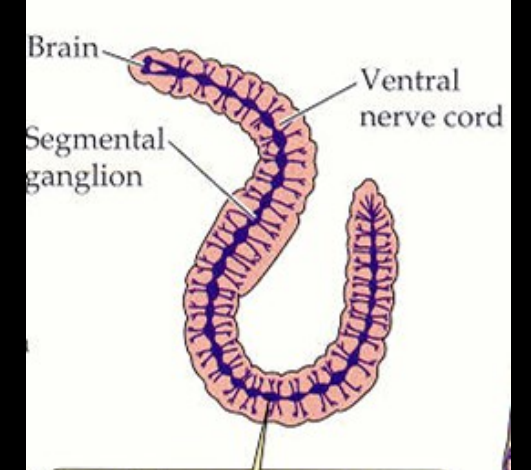
# Bilaterální symetrie

– přední a zadní konec těla, centralizace, cefalizace. Ganglia v každém tělním článku, a v hlavě, kde jsou nároky na zpracování informací a řízení motoriky nejvyšší - mozkové ganglium. Teprve teď skutečná CNS a PNS. Gigantická vlákna.

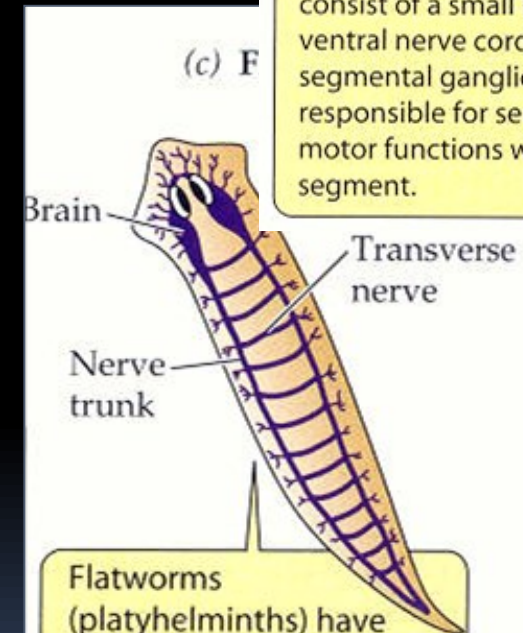
Ploštěnci nečláňkovaní – podélné provazce, žebříček kroužkovců. Měkkýši – dva páry nervových pruhů s několika páry ganglií. Ganglia lze chápat jako místní mozky, často s velkou nezávislostí na centru. Ganglia s jádrem, kde jsou jen synapse (neuropile) a s periferií s těly neuronů.

Mozek vzniká splýváním ganglií. Při pohledu na mozek v evoluci se zdá, že dává vznik novým strukturám k novým funkcím, spíše než by docházelo k přestavbě funkcí v rámci starých struktur. Takže staré si drží původní funkce a nad nimi vzniknou struktury s novými funkcemi.

Proporce částí mozku odpovídají důležitosti té které funkce, u konkrétního druhu i jedince.



Annelid nervous systems consist of a small brain and ventral nerve cord, with each segmental ganglion largely responsible for sensory and motor functions within the segment.

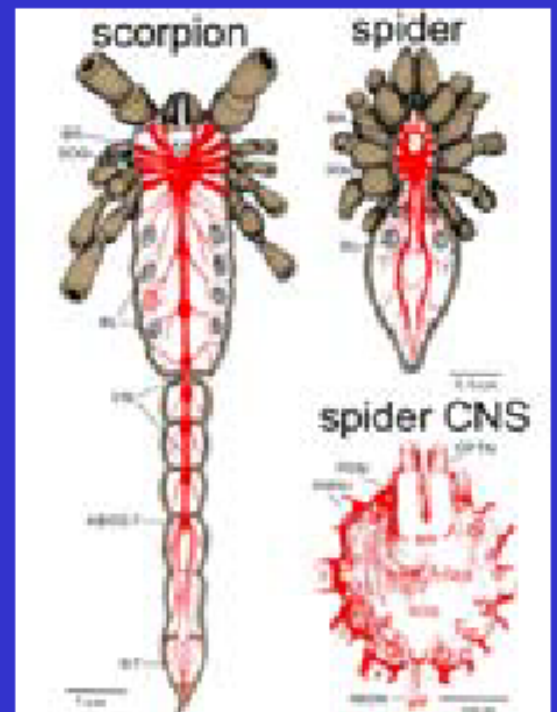
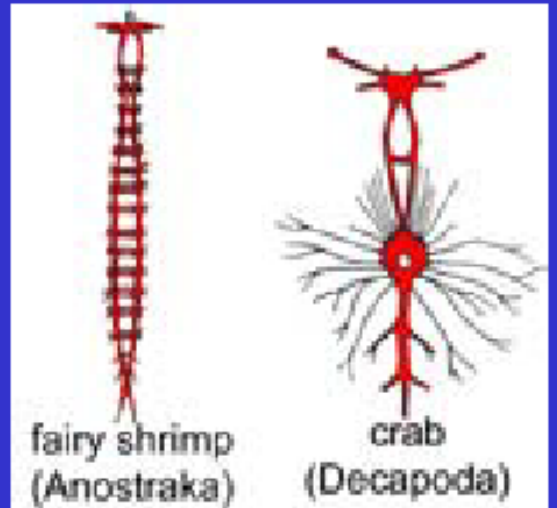
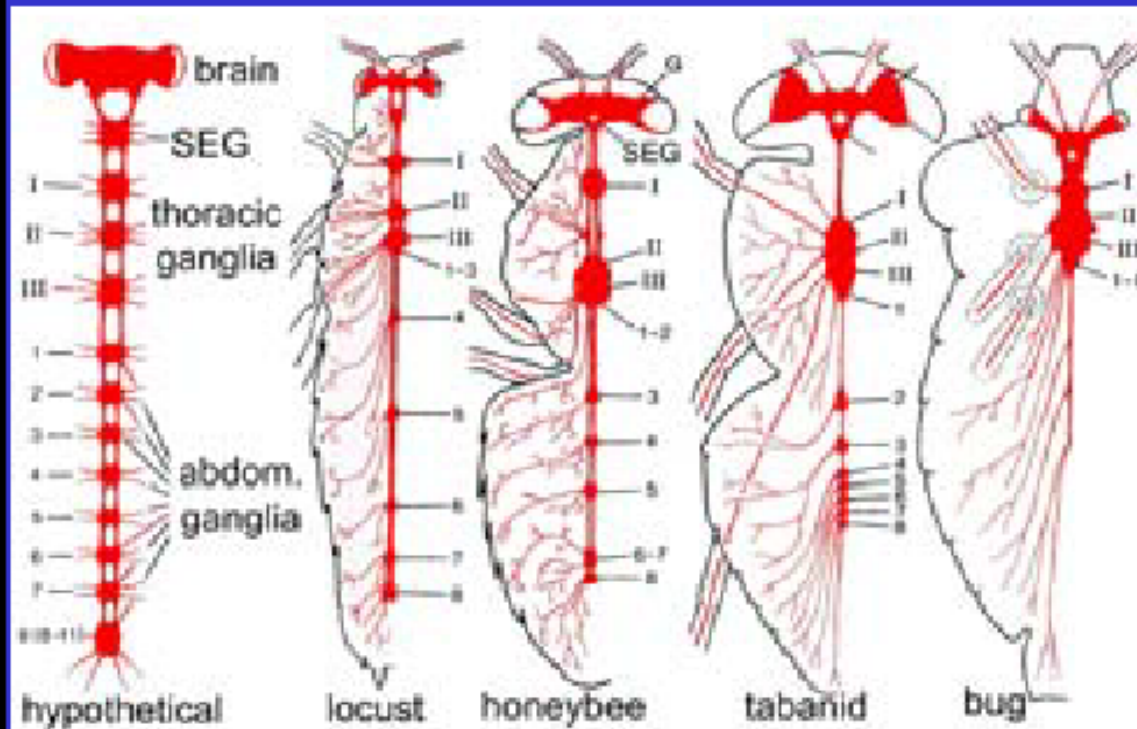


Flatworms (platyhelminths) have bilateral symmetry and show both centralization with a ladderlike central nervous system and cephalization with a brain at the anterior end.

# Členovci

Od žebříčku až k jedinému gangliu.

## CNS concentration and ganglia fusion

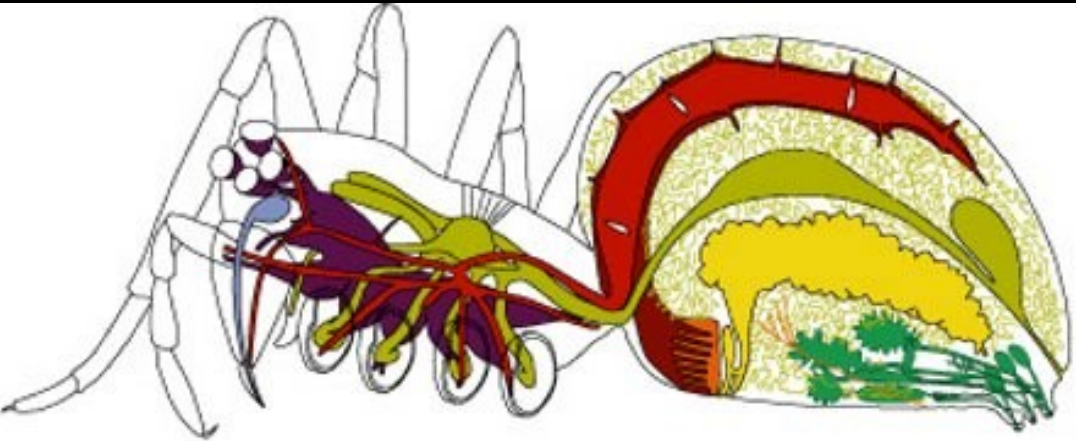
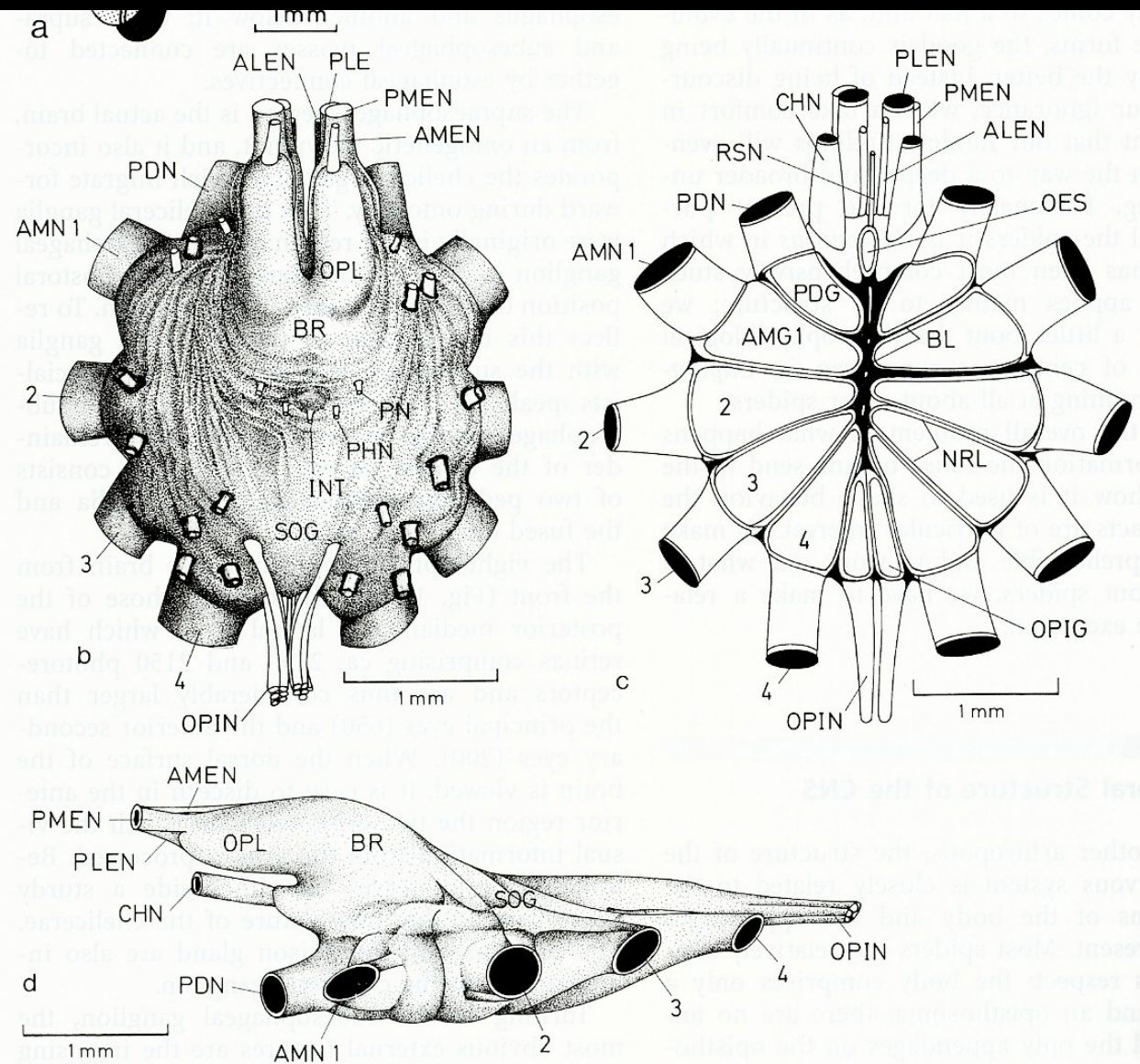




# Mozek pavouka

Extrémní splývání

Je vidět, jak důležité jsou nohy  
(sensoricky i motoricky) a také oči.



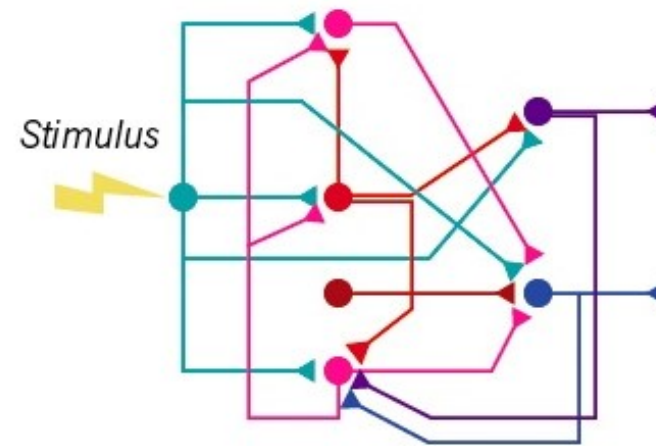
## Jak neurony komunikují a tvoří chování?

Jednoduché n. sítě (např. larva octomilky) jako model.

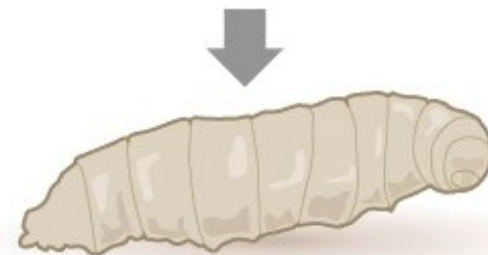
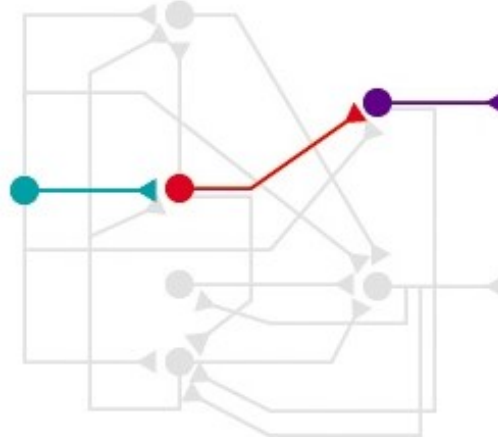
Aktivace různých drah pro různé typy jednoduchého chování.

Neurony integrují vstupy a výstup je výsledkem časové a prostorové souhry excitačních a inhibičních vstupů.

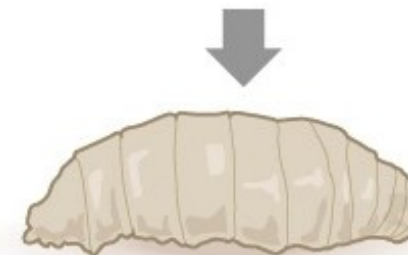
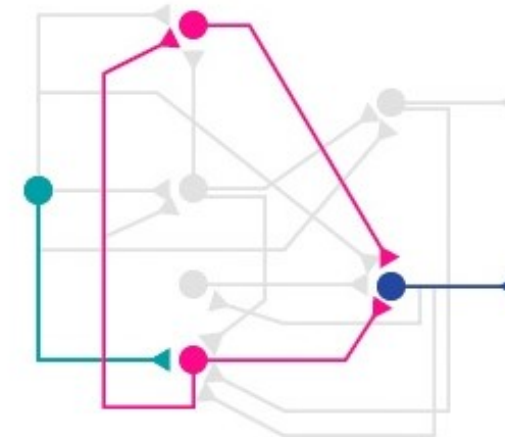
One neuron in a circuit is activated with a pulse of light. A signal passes through the network and the resulting behaviour is studied.



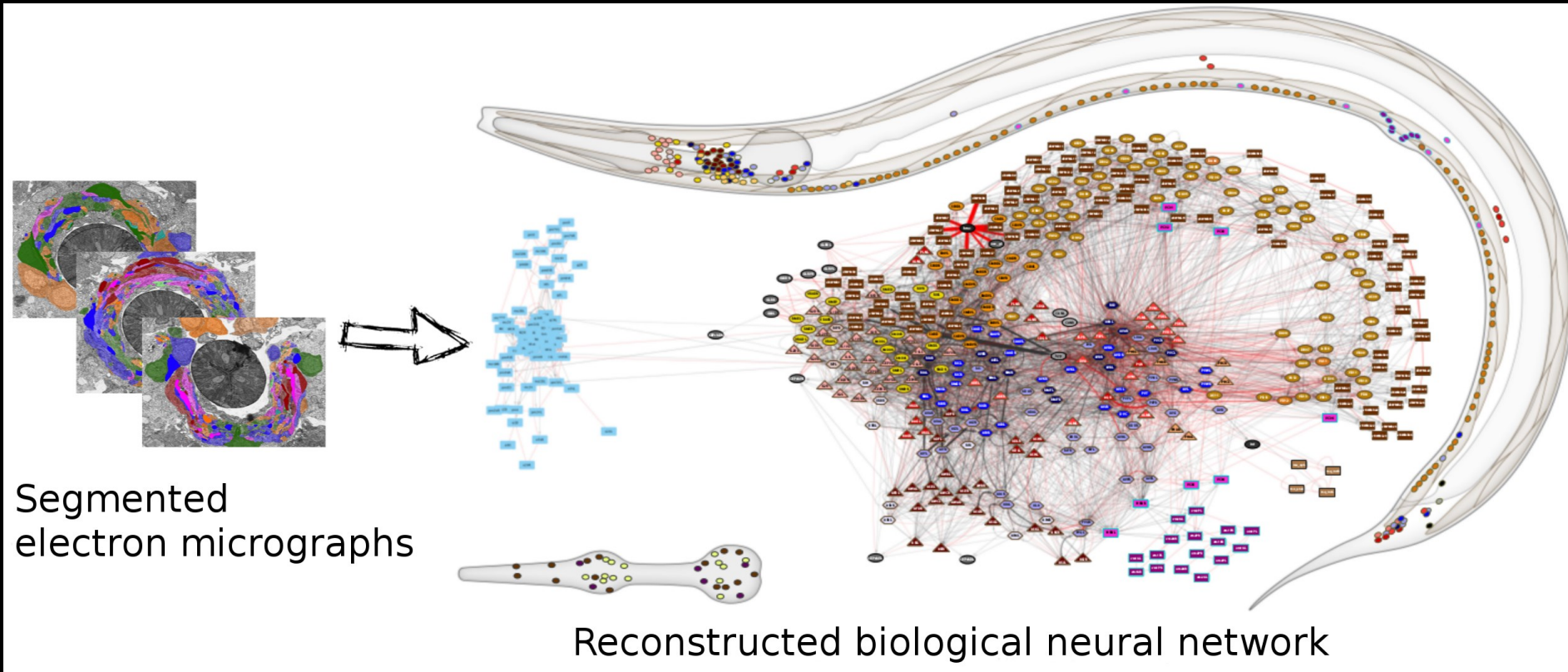
**Behaviour 1: Turn head**



**Behaviour 2: Retract head**



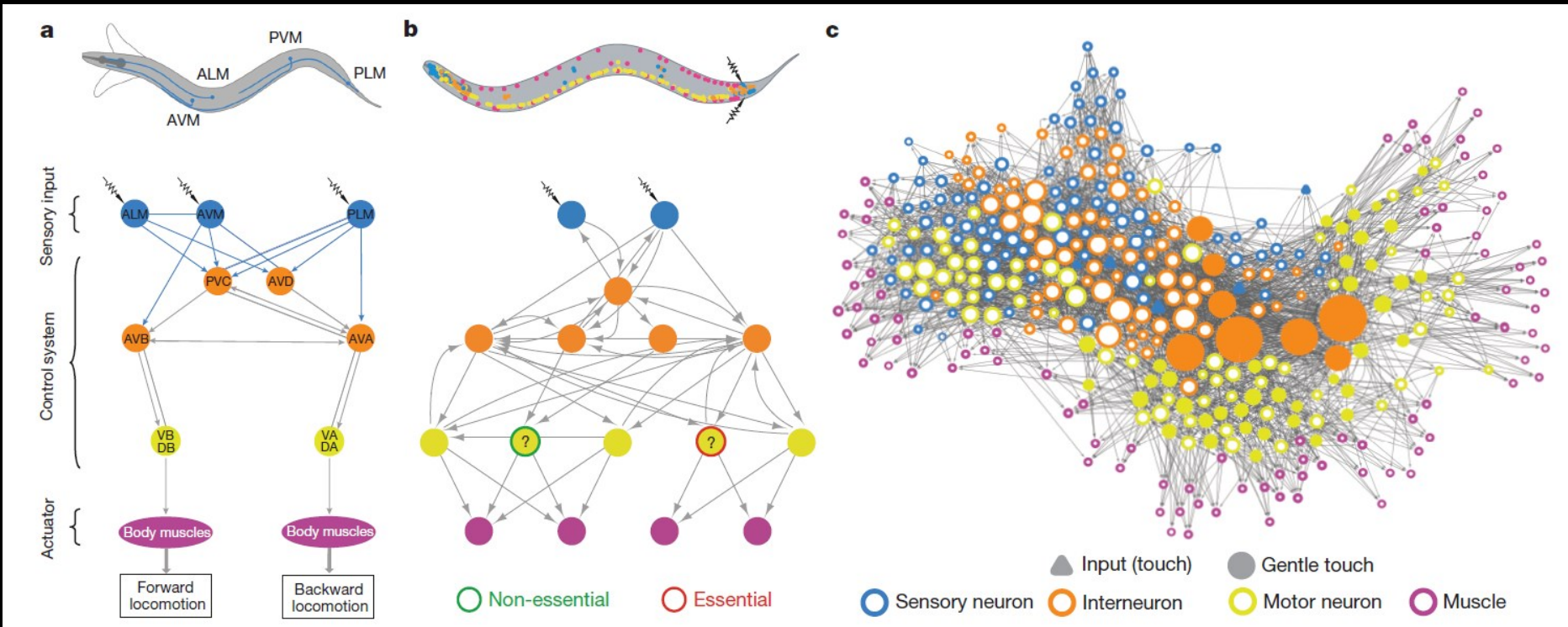




*C. elegans* 302 neuronů  
*Drosophila* 100k

Nervový systém je nejsložitějším orgánem *C. elegans*. Téměř třetinu všech buněk v těle (302 z 959 u dospělého jedince) tvoří neurony. Dvacet z těchto neuronů se nachází uvnitř hltanu, který má vlastní nervovou soustavu. Zbývajících 282 neuronů se nachází v různých gangliích v hlavě a ocase a také podél ventrální nervové pásky.

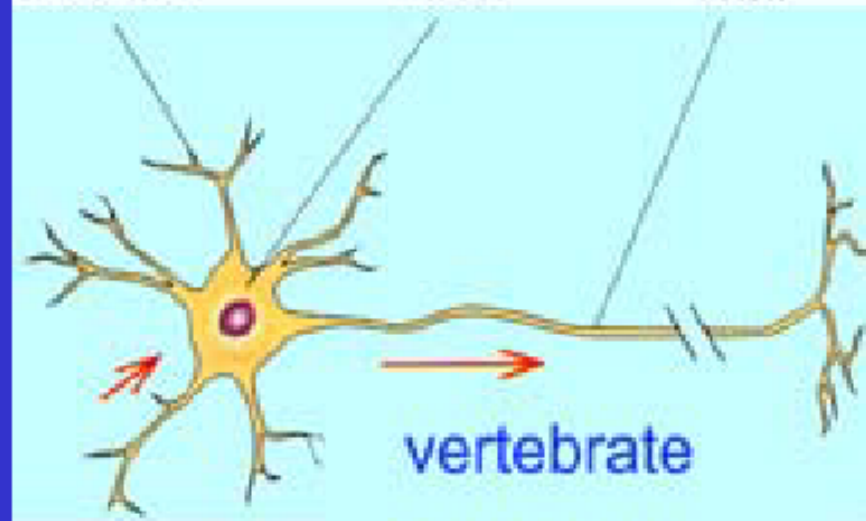
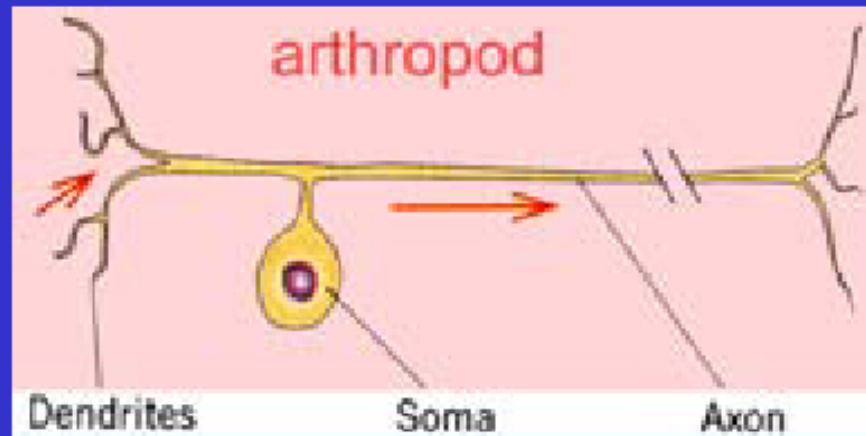
# Model háďátko: Sensorický vstup – motorická reakce



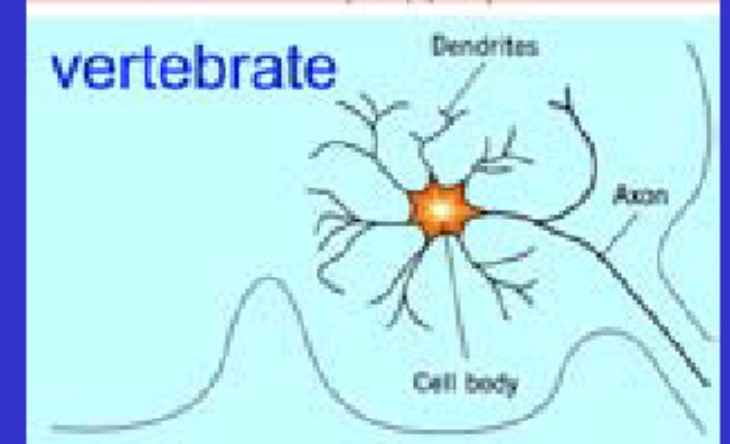
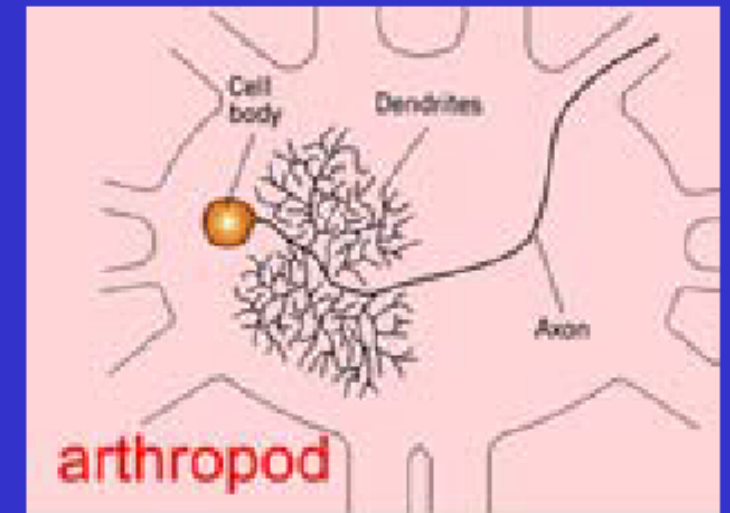
## Tvary neuronů – odlišnosti od obratlovců.

Vzájemná pozice těla neuronu a jeho výběžků se liší.

Mnoho hmyzích neuronů je pseudounipolárních. Tzv. terminální arborizace - husté rozvětvení, které představuje místo synaptického spojení s dalšími neurony. Husté spoje mezi výběžky, nevycházející ale z těla neuronu.



interneurons



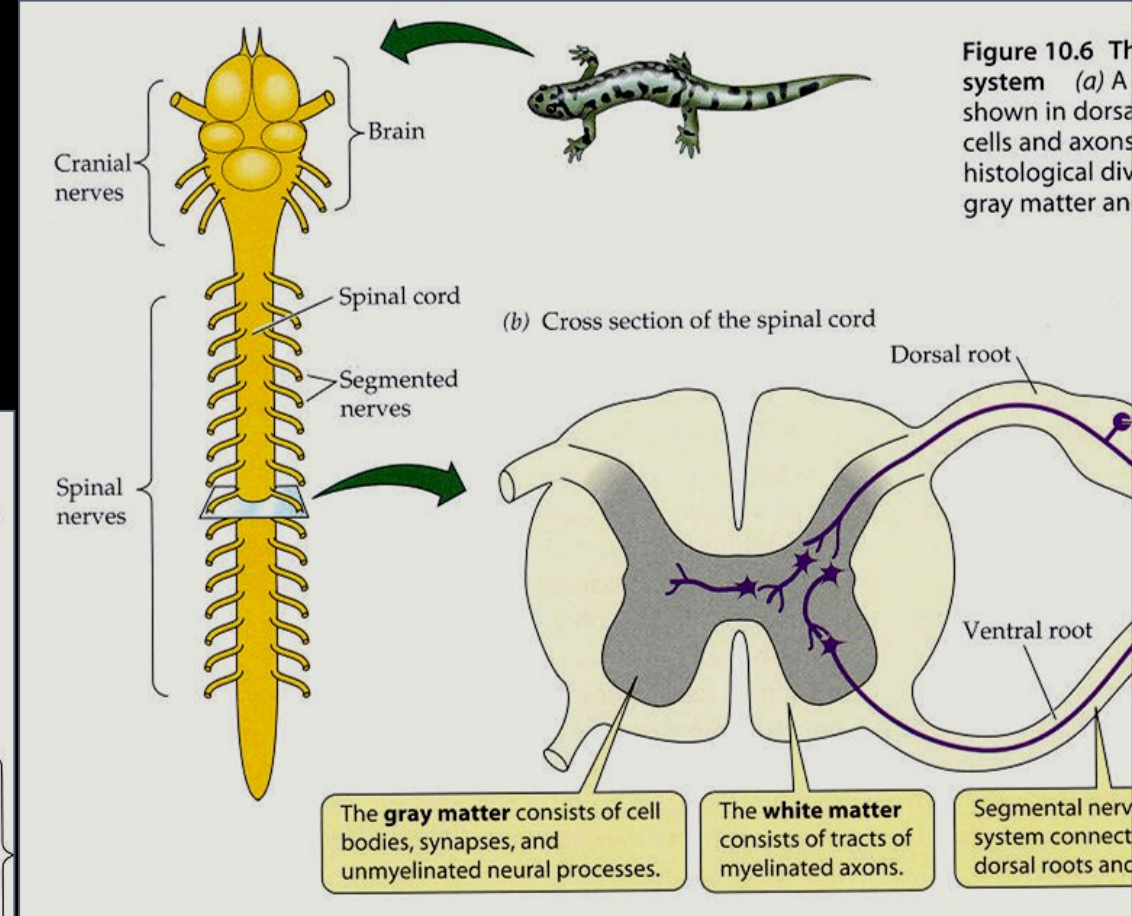
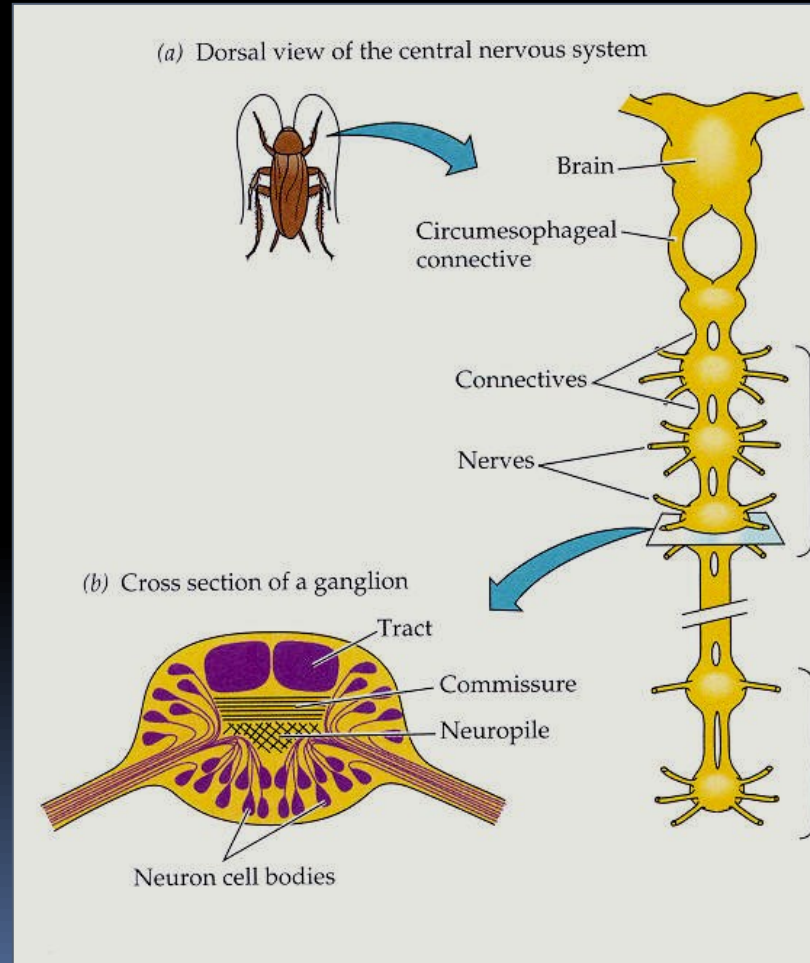
motor neurons



# Rozdíly i podobnosti:

Segmentální architektura a na řezu CNS je patrné oddělení těl neuronů a spojů

Řez gangliem: ve středu je tzv. neuropil(e) je shluk komunikujících výběžků (dendritů a nemyelinizovaných axonů) s gliovými buňkami. Je obklopen těly neuronů – to uvidíme i v mozku



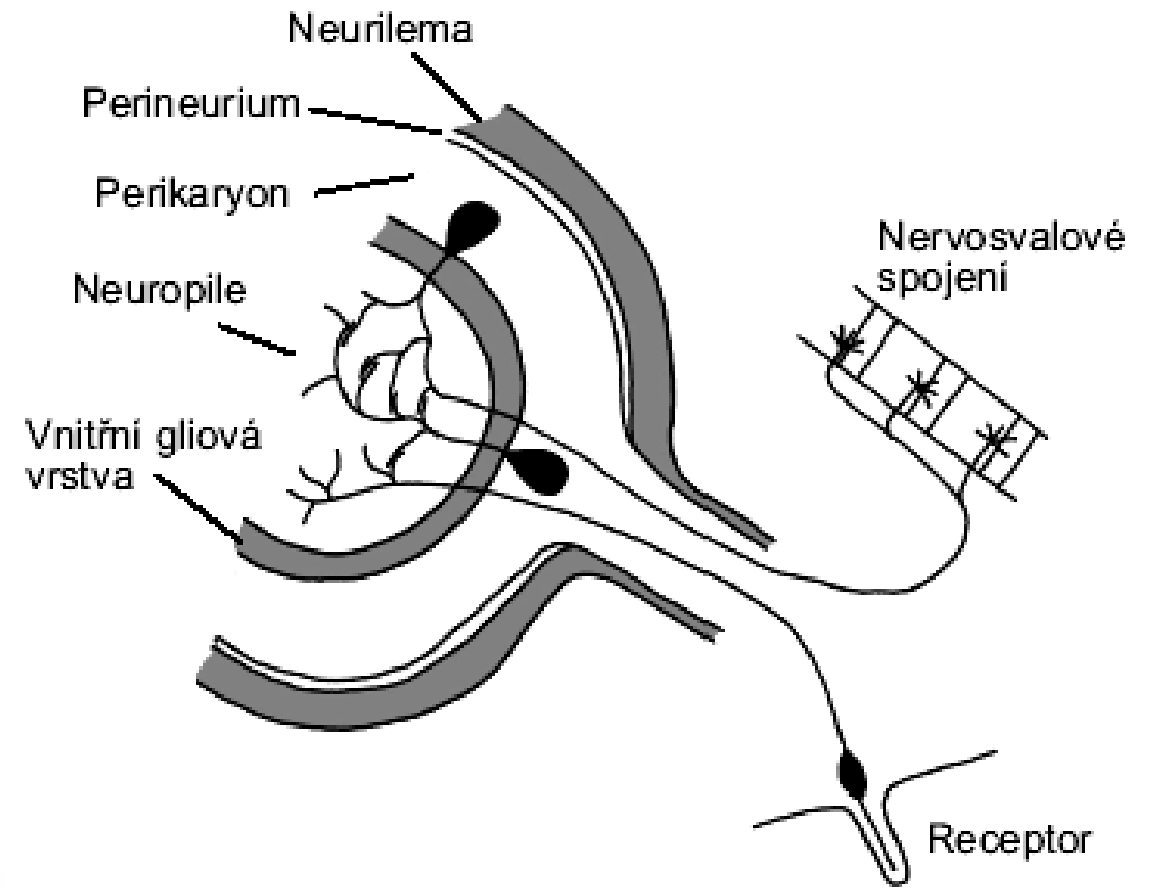
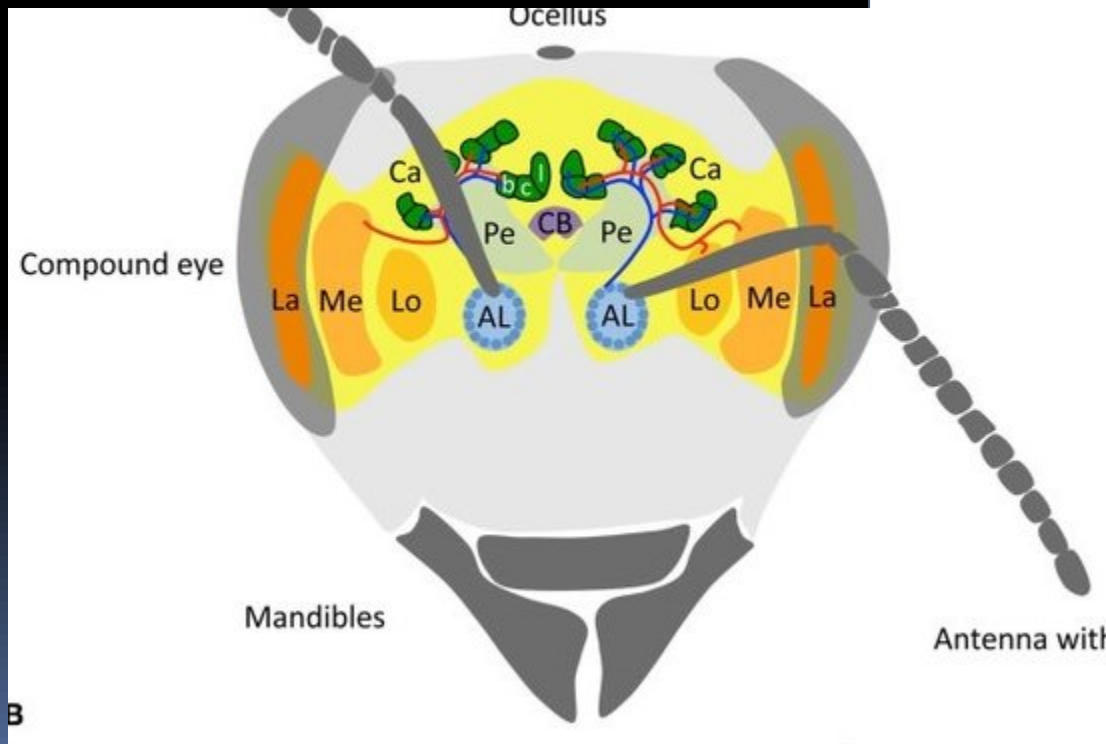


# Stavba ganglia

Mozek je tvořen splynutými a modifikovanými ganglii - tedy soustavou neuropilů

Např. Zraková dráha:

- La – lamina
- Me – medulla
- Lo - lobulla



# Úloha gliových buněk

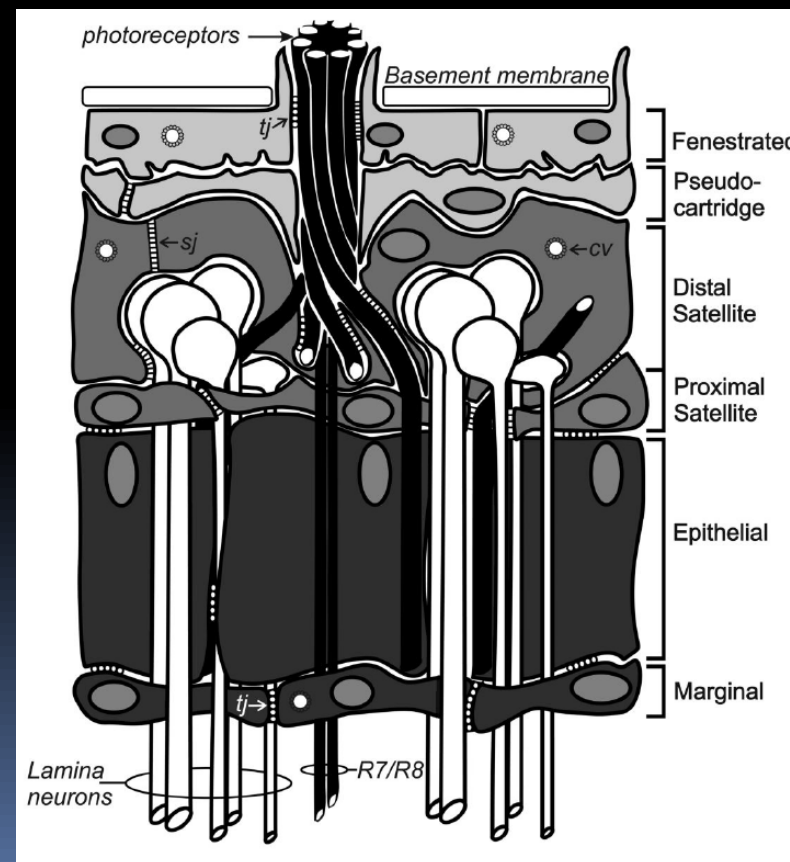
Mnoho gliových buněk komunikuje svými výběžky z periferie do nitra ganglia a jednou z jejich funkcí je zásobovat neurony živinami, jelikož jejich vzdálenost od hemolymfy může být příliš velká. Gliové buňky tvořící perineurium jsou bohaté na granula glykogenu a tukové krůpěje.

Podílejí se na uklízení mediátoru v synaptických šterbinách a mohou tak i zasahovat do neuronální signalizace, např. do adaptace.

Kromě zásobních, transportních a metabolicky odvádějících funkcí, fungují také jako obal, který odděluje nervové buňky od hemolymfy a plní tak roli krevně - mozkové bariéry.

Mnoho gliových vrstev v lamině – prvním neuropilu pod sítnicí.

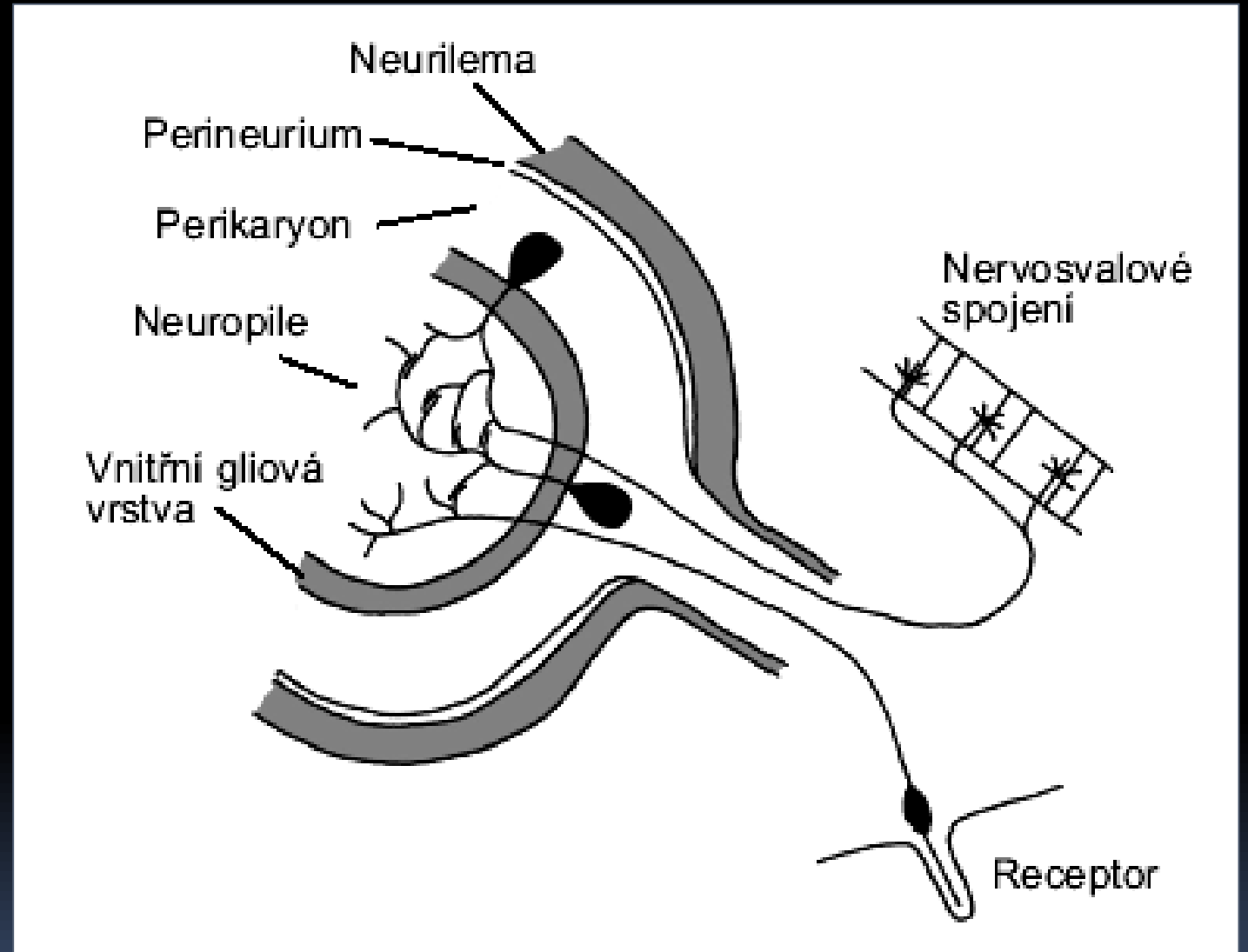
Mohou zasahovat do přenosu signálu z oka.



# Úloha gliových buněk

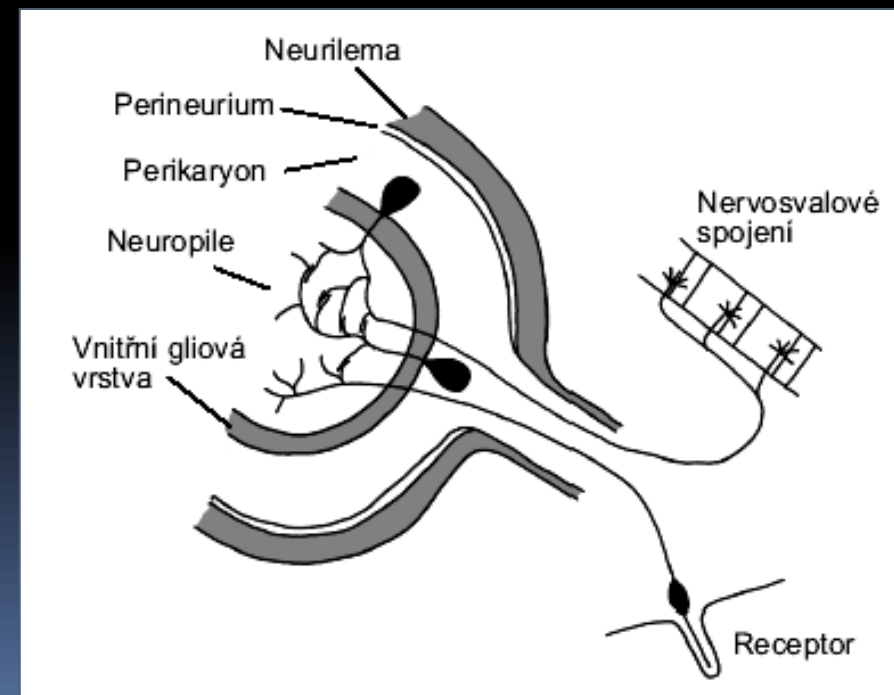
Neurony a jejich axony jsou od hemolymfy izolovány neurilemou produkovanou gliovými buňkami ležícími ve vrstvě pod ní.

Neurilema je nebuněčná vrstva složená z kolagenních vláken spojených mukopolysacharidovou a mukoproteinovou matrix.



# Úloha gliových buněk - Krevně-mozková bariéra

Zatímco u obratlovců je poměr  $\text{Na}/\text{K}=20$  nebo i více a zvýšení koncentrace  $\text{K}$  nebo snížení koncentrace  $\text{Na}$  má za následek zamezení vedení vzruchů, tak v hmyzí hemolymfě kolísá poměr  $\text{Na}/\text{K}$  od 20 do 0.1, aniž by došlo ke snížení vodivosti. Umožňuje nervové soustavě generovat a vést vzruchy i u fytofágů s nadbytkem  $\text{K}^+$  v hemolymfě. Ionty sice mohou snadno penetrovat skrze tukový obal a neurální lištu, ale přes perineurium se nedostanou. Perineurium díky tight-junctions mezi buňkami představuje neprostupnou bariéru pro ionty. Není jen pasivní, fungují tu aktivní  $\text{Na}$  a  $\text{K}$  pumpy.

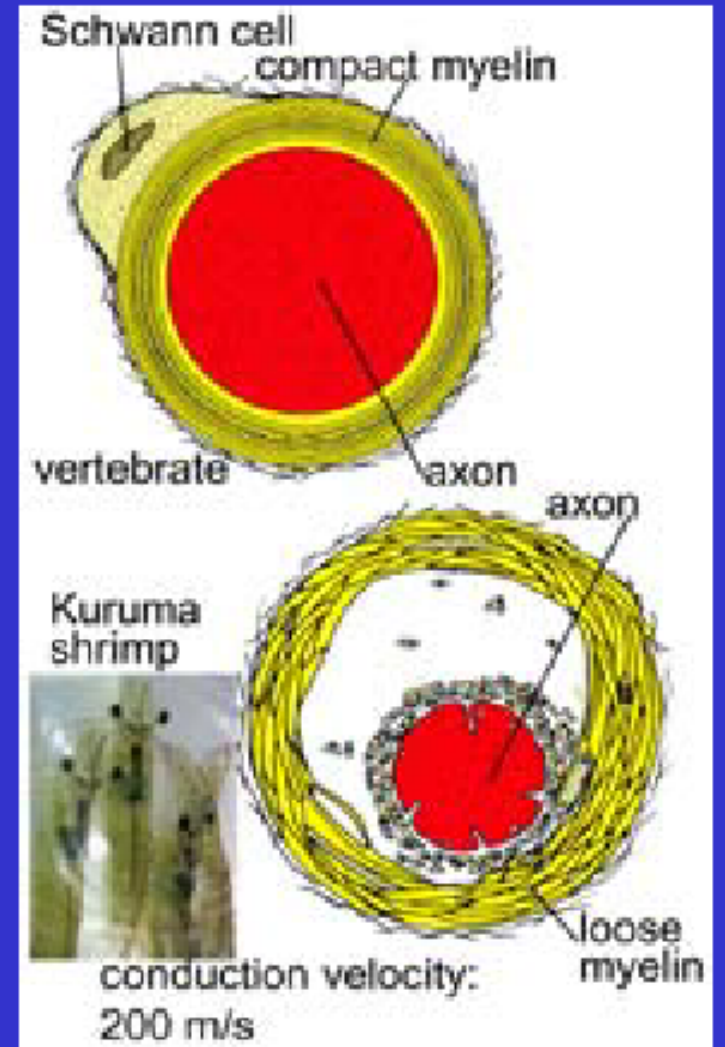
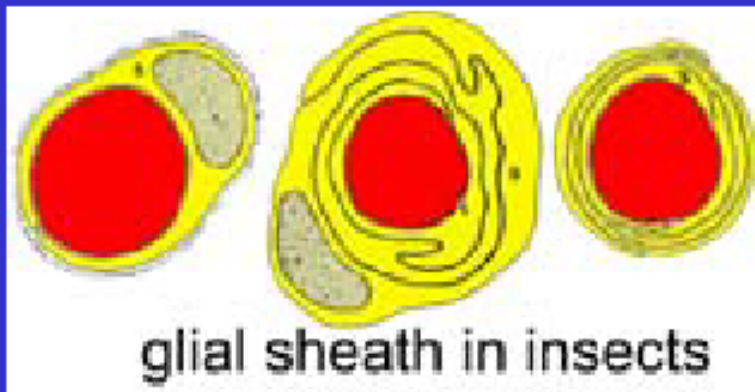
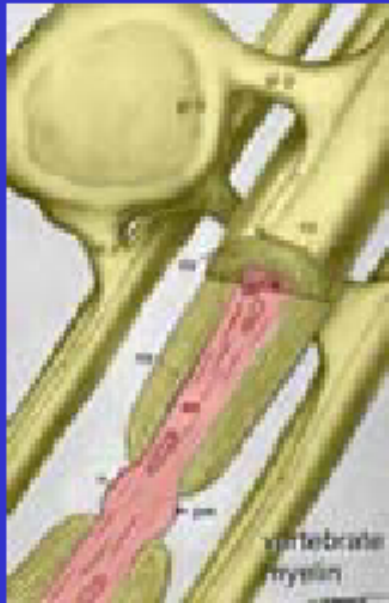




# Další úloha gliových buněk – izolace jednotlivých axonů

## Členovci ale bez pravé kompaktní myelinizace

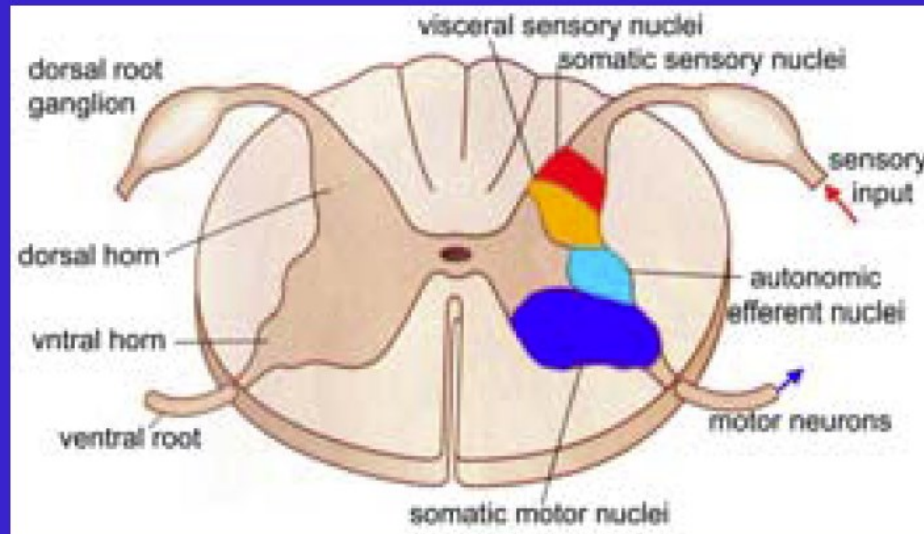
Obaly jsou navinuty volněji a ne tak těsně, a tak celkově zabírají víc místa. Taky zvyšují kapacitu a tedy i odpor pro vzruchy. Vedou tedy vzruchy mnohem pomaleji.



Podobně jako v míše obratlovců, existuje i v gangliu organizační oddělení drah.

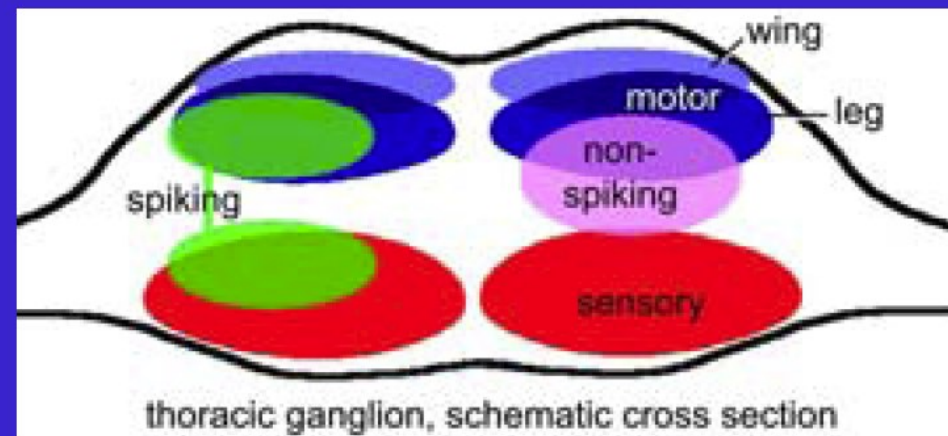
Oddělení senzoričkových od motorických center.

## dorso-ventral organization



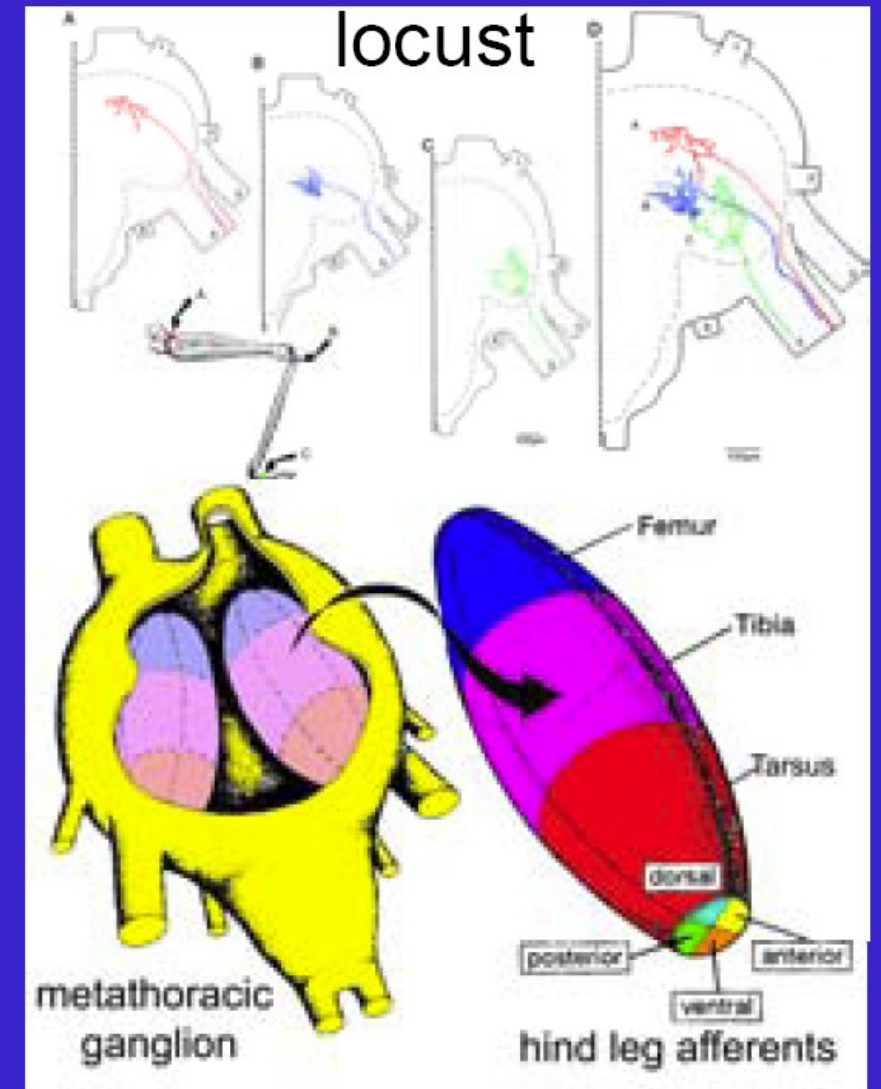
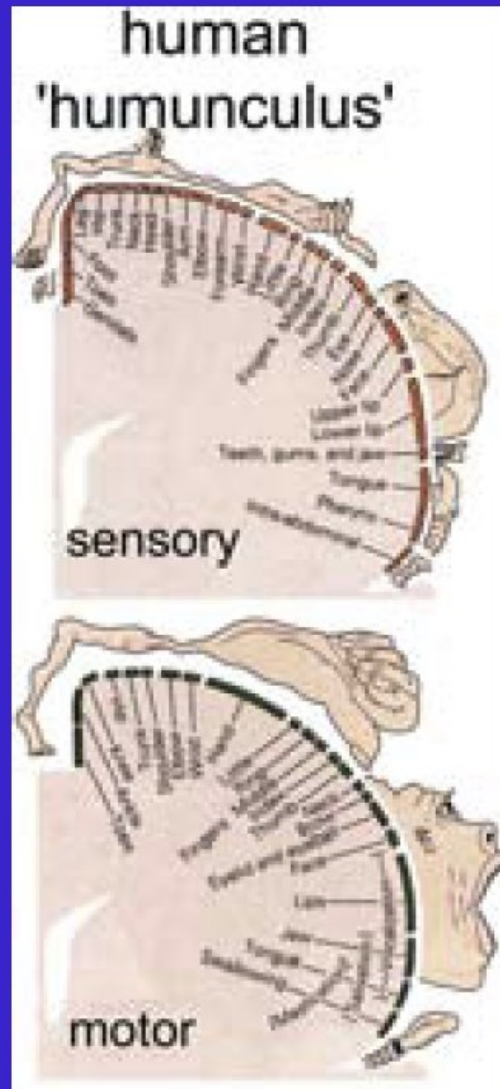
vertebrates

arthropods



Podobně jako v míše obratlovců existuje i v gangliu somatotopická reprezentace.

Každé místo těla má svůj obraz (reprezentaci) v CNS



## Měkkýši

Druhým největším kmenem živočišné říše s více než 120,000 druhy. Plži jsou nejpočetnější se 105,000 druhy. Mají jednoduchou nervovou soustavu. Proto se stali neurofyziologicky často využívanými modely

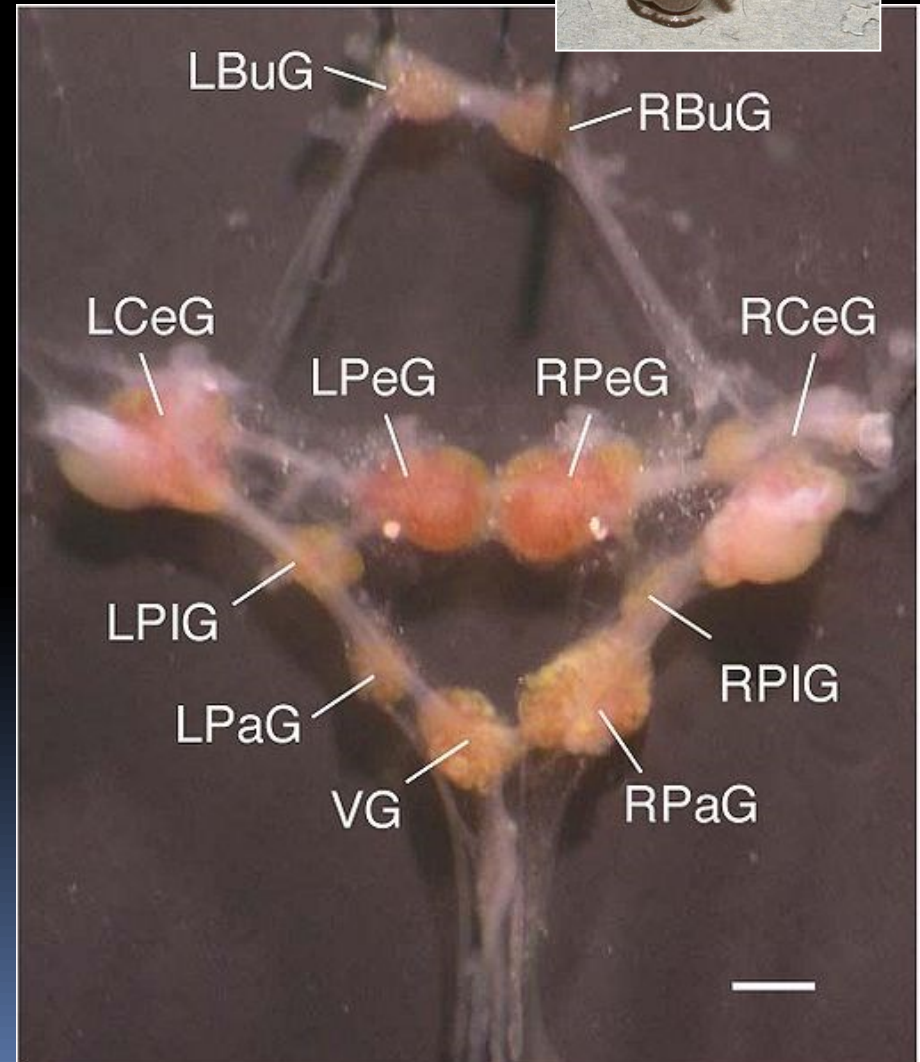
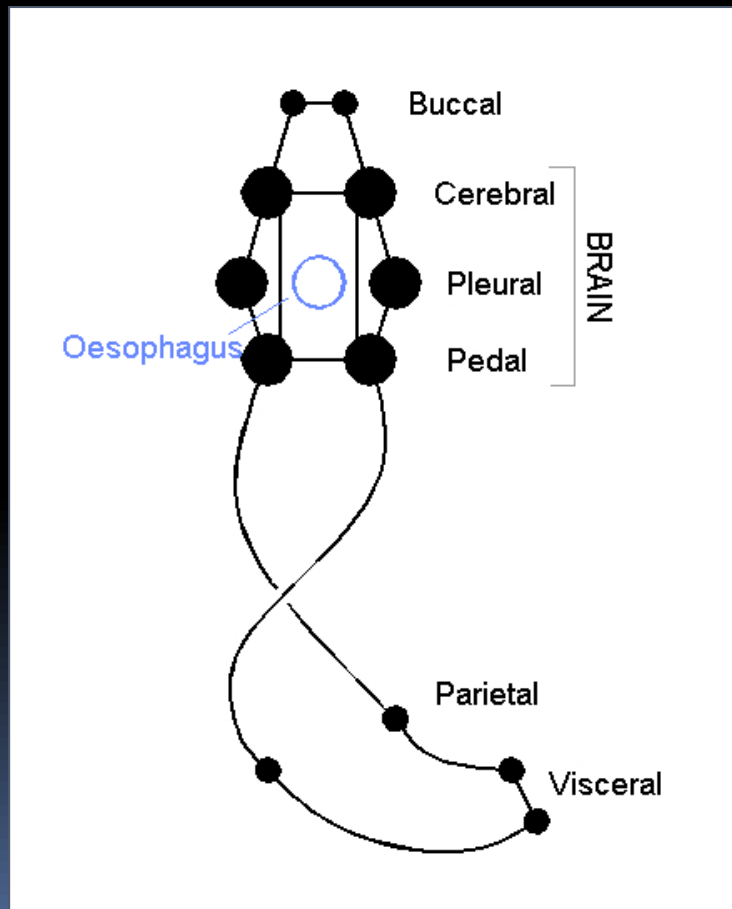
Model Gastropod Neuroscience Species:  
From top: *Helisoma* *trivolvis*,  
*Clione* *limacina*,  
*Hermisenda* *crassicornis*,  
*Tritonia* *diomedea*,  
*Lymnaea* *stagnalis*,  
*Pleurobranchaea* *californica*,  
*Aplysia californica*





# Neurofyzologie plžů – jednoduchý model

Měkkýši obecně mají dva nervové provazce vedoucí po stranách těla – na rozdíl od jediné pásky.



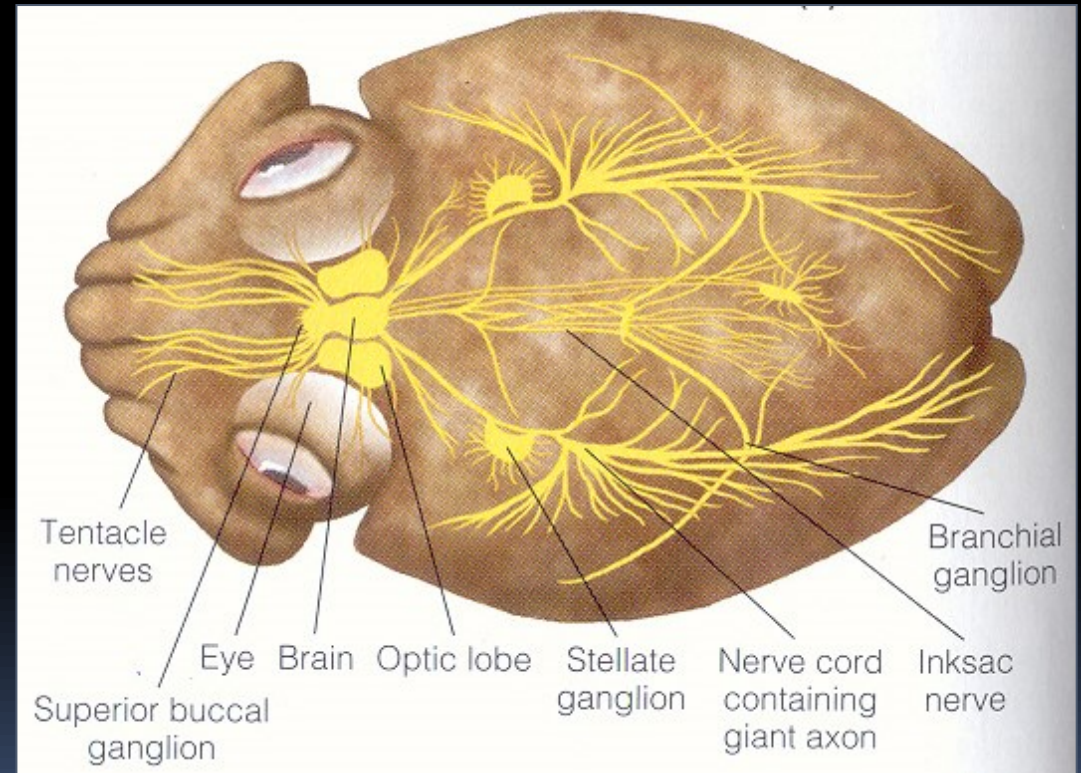
# Ale: Hlavonožci

Ganglia po celém těle, ale hlavové u hlavonožců obrovské. Mozek chobotnic má asi 500 mil. neuronů, tedy asi jako pes, 6x víc než myš (pijavice má 1000). Složité spoje. 14 (40?) laloků. Podobná organizace jako u obratlovců: centra pro zrakovou a dotekovou paměť, lateralizace a jedno komorové (dokonalé) oko je preferované. Stále ale velká autonomie – i oddělené rameno po stimulaci provádí jednoduché vzorce pohybů – uchopení atd. Mozek vysílá pouze rámcový povel – „ted’ uchop“ a detaily už nechá na periférii. Dlouhá zpětná vazba až k mozku by dovolila kořisti uniknout. Některé motorické programy u obratlovců jsou podobně organizovány.

Složité chování, postoje zastrašování, páření, učení, orientace v labyrintu. Snad i individuální rozlišování a barvoměna. Několik desítek barevných vzorů podle typu chování: páření, obhajoba teritoria, poplach. Někteří badatelé mají za to, že jde dokonce o formu jazyka.

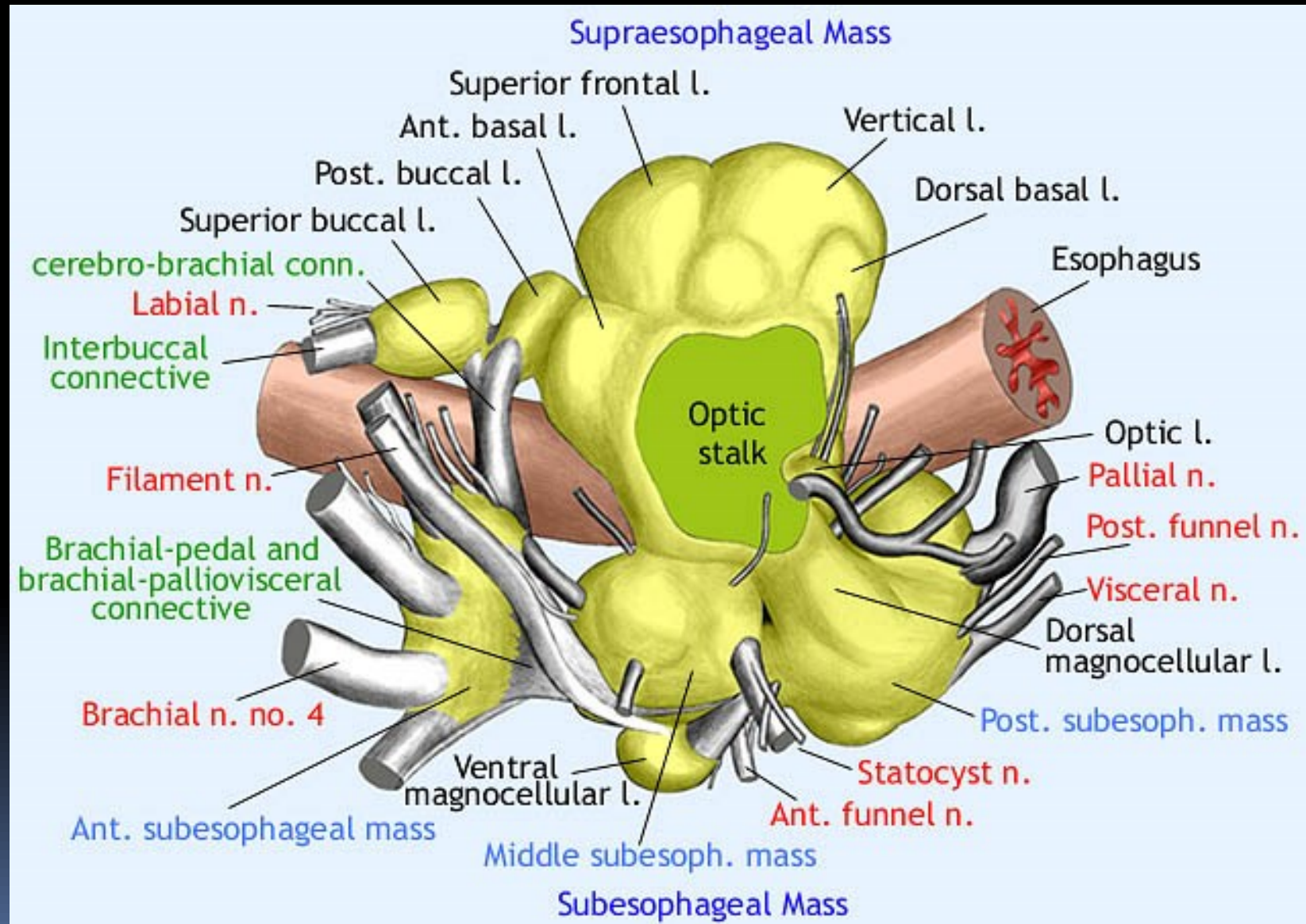
Barvoměna je typu kamufláže, mimiker, napodobují např. mořské hady nebo rybu či hvězdici. Navzdory podobnostem s obratlovcím mozkiem se hlavonožců vyvinul zcela nezávisle – některé struktury jsou jiné.

Např. je vystavěn okolo jícnu místo aby ležel odděleně v kraniu. To je ovšem zranitelnější umístění.



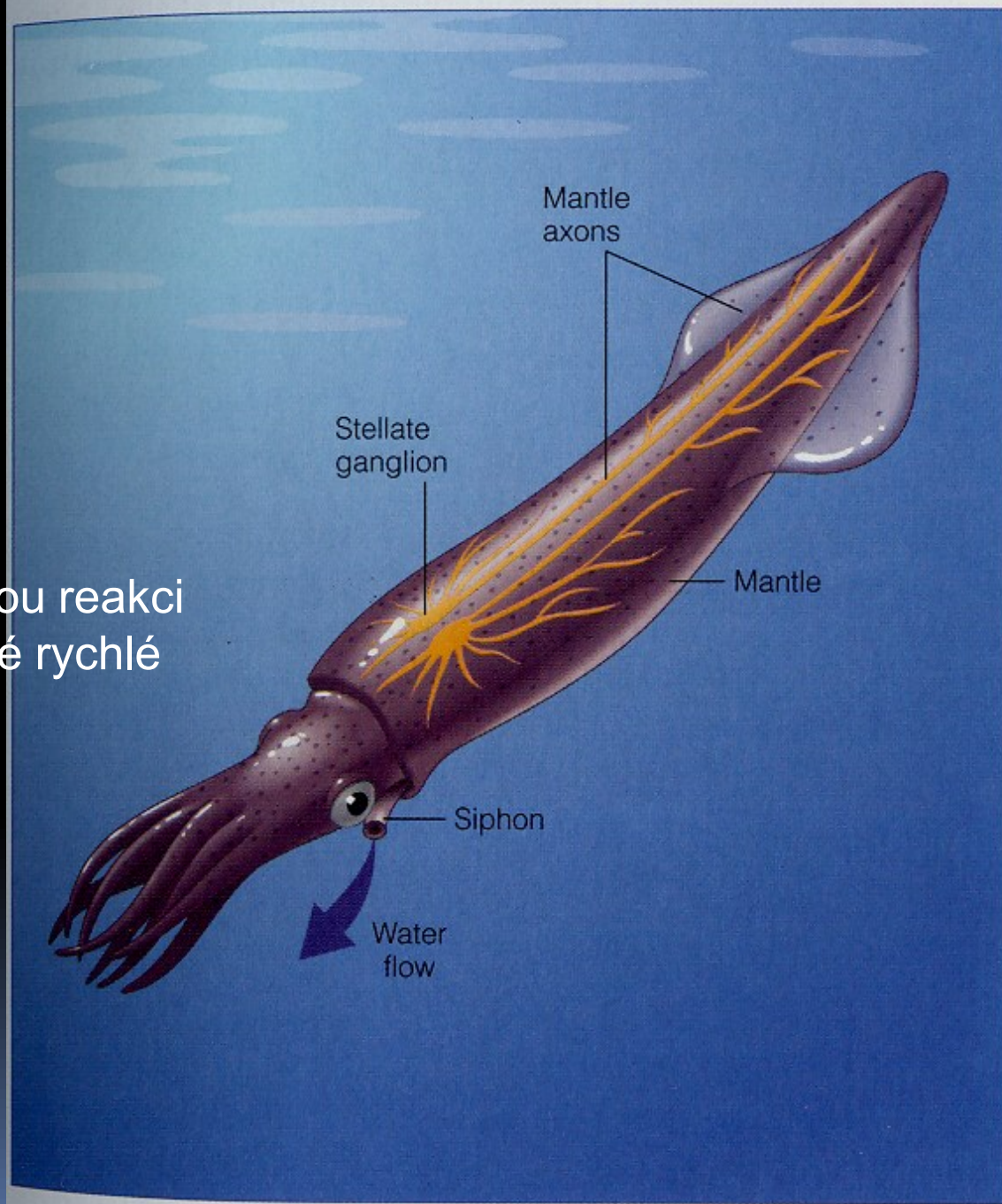


# Možek hlavonožců – obklopuje jícn





Pro rychlou útěkovou reakci  
hlavonožců je nutné rychlé  
vedení.



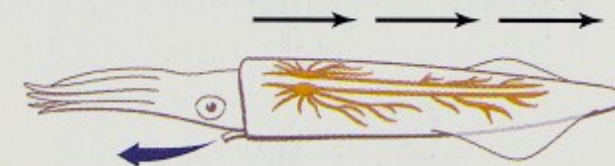
1 The mantle cavity fills with water.



2 The brain sends a signal to the stellate ganglia, which send signals along axons of different diameters in the mantle.



3 Nerve impulses reach the muscle at many points in the mantle cavity.

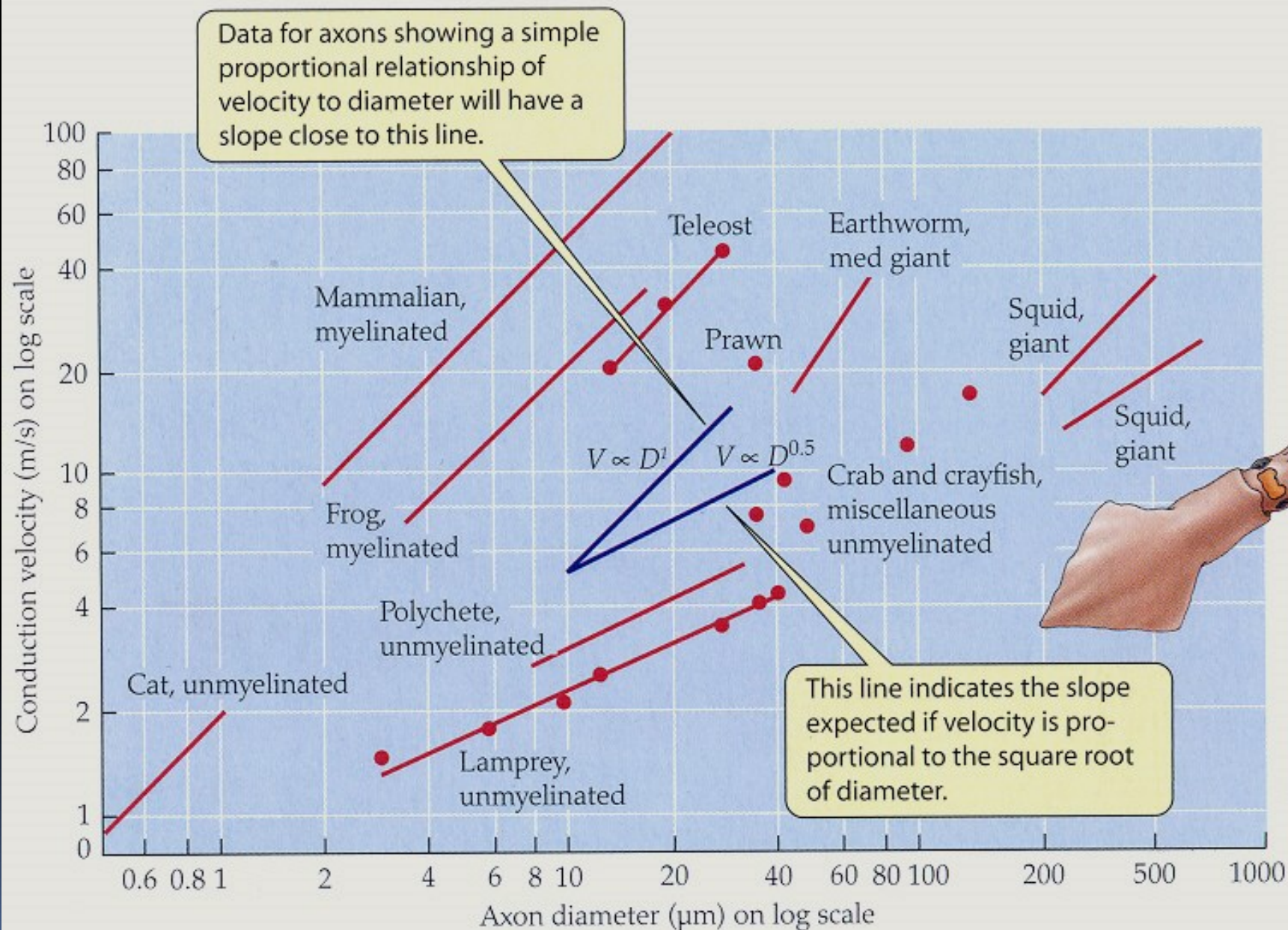


4 The muscles of the mantle contract synchronously, rapidly closing the mantle, forcing water out the siphon, producing rapid jet propulsion.



## Rychlost vedení

se podobá  
savčím  
myelinizovaným  
nervům, ale za  
cenu obrovského  
průměru (až  
1mm).

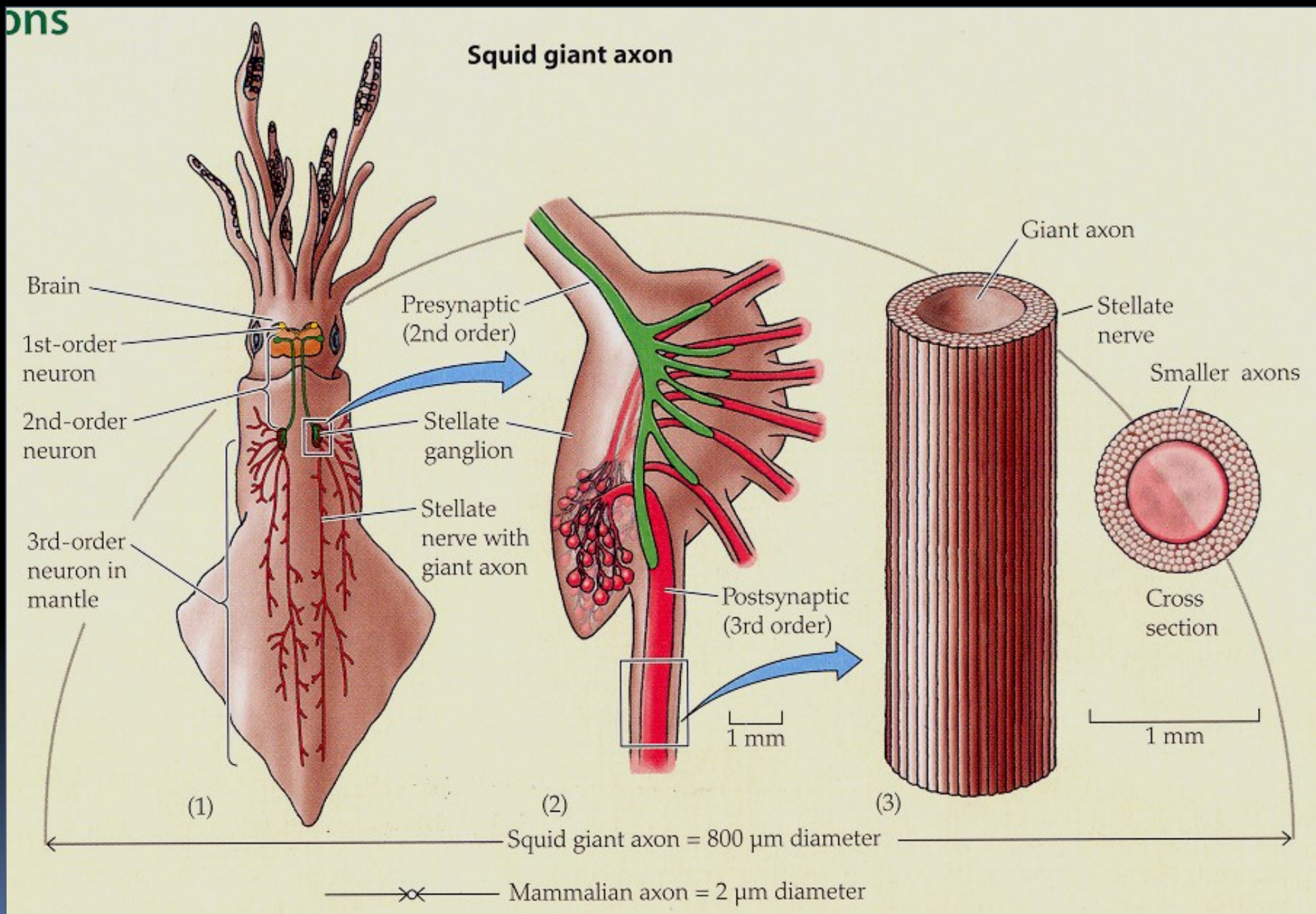


**Figure 11**  
conduction  
diameter  
axons P  
different t



## Rychlost vedení

se podobá savčím myelinizovaným nervům, ale za cenu obrovského průměru (až 1mm).



Neurosekrece – chemická řeč neuronů

Podle vzdálenosti a trvání působení:

Neurotransmittery (Ach-excitační, dopamin, histamin, GABA-inhibiční) – trvání působení ms

Neuromodulátory (neuropeptidy) (proctolin, octopamin) - sekundy

Neurohormony (PTTH, antidiuretický, AKH...) – min-hod.

# Neurosekrece – chemická řeč neuronů

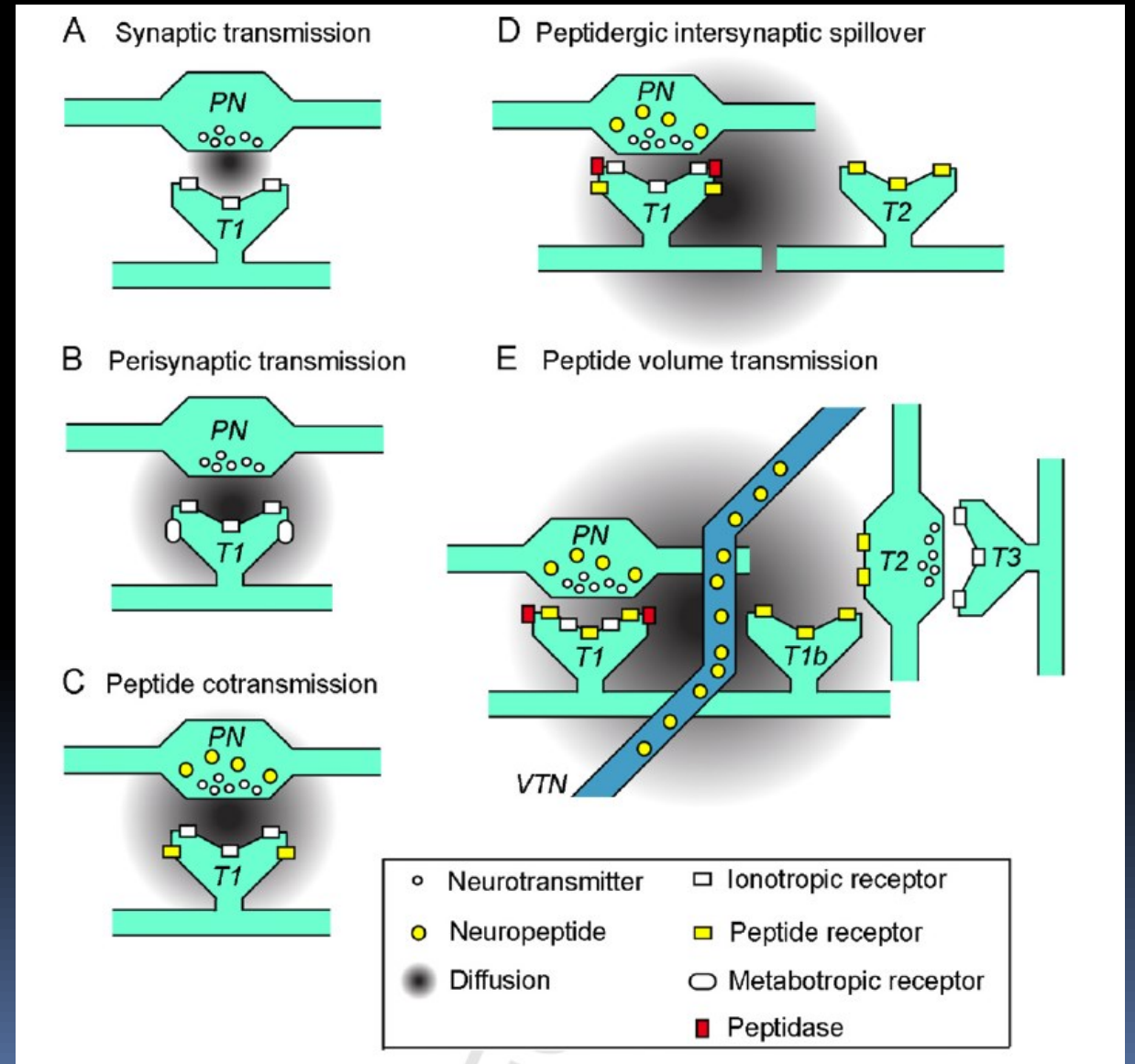
## Podle vzdálenosti a trvání působení:

Přechody mezi synaptickou a parakrinní a endokrinní sekrecí neuropeptidů.

Mediátory jsou rychlými přenašeči povelů, ionotropní rychlejší než metabotropní.

Modulátory pomaleji upravují účinnost přenosu.

Všudypřítomnost nervových zakončení a neurosekretorických orgánů pro endokrinní transmissi.





# Mozek hmyzu

Hmyzí mozek obsahuje asi 100 000 až 1 000 000 neuronů, ve srovnání s miliardami lidského mozku.

Supraezofageální ganglion se skládá z několika shluklých ganglií (a neuropilů).

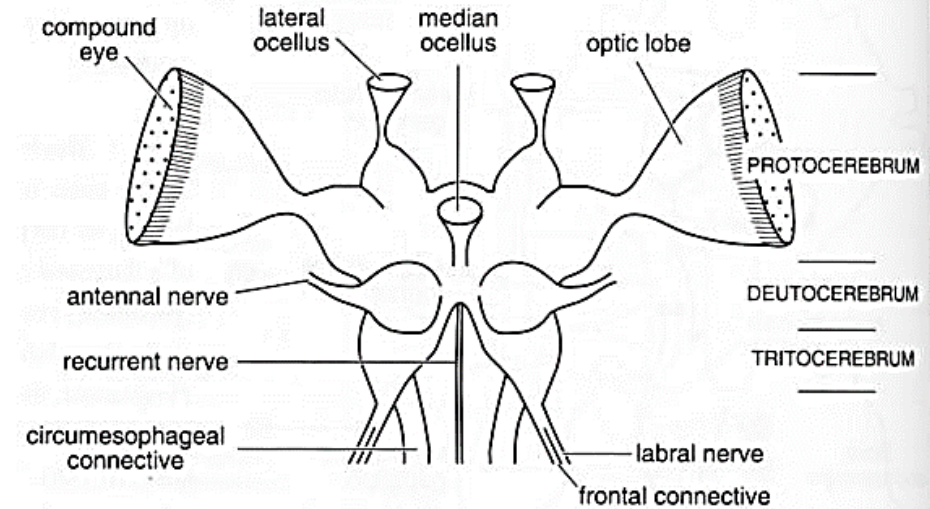
Protocerebrum – především zrak, také ale vyšší funkce: paměť a zpracování informací z různých smyslových modalit, měření času...

Deuteroocerebrum – především zpracovávání smyslových vstupů z tykadel.

Ganglia třetího segmentu tvoří relativně malé tritocerebrum – signály z těla.

Subezofageální g. – inervace ústního aparátu

- Protocerebrum – optic lobes
- Deutocerebrum – antennae
- Tritocerebrum – signals from body
- Suboesophageal ganglion – mouthparts



# Mozek hmyzu

Hmyzí mozek obsahuje asi 100 000 až 1 000 000 neuronů, ve srovnání s miliardami lidského mozku.

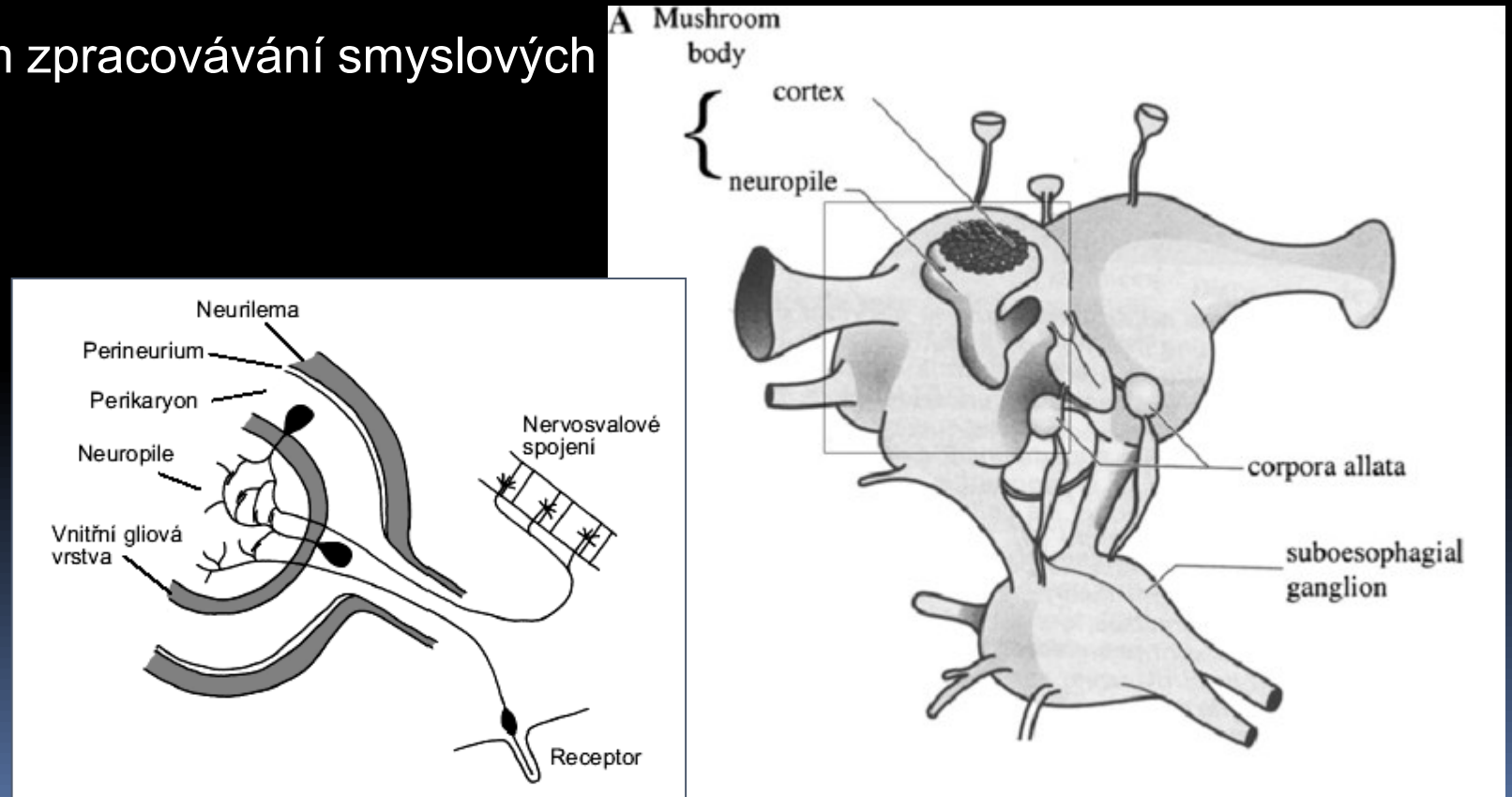
Supraezofageální ganglion se skládá z několika shluků ganglií (a neuropilů - obrázky).

Protocerebrum – především zrak, také ale vyšší funkce: paměť a zpracování informací z různých smyslových modalit, měření času...

Deuteroocerebrum – především zpracovávání smyslových vstupů z tykadel.

Ganglia třetího segmentu tvoří relativně malé tritocerebrum – signály z těla.

Subezofageální g. – inervace ústního aparátu

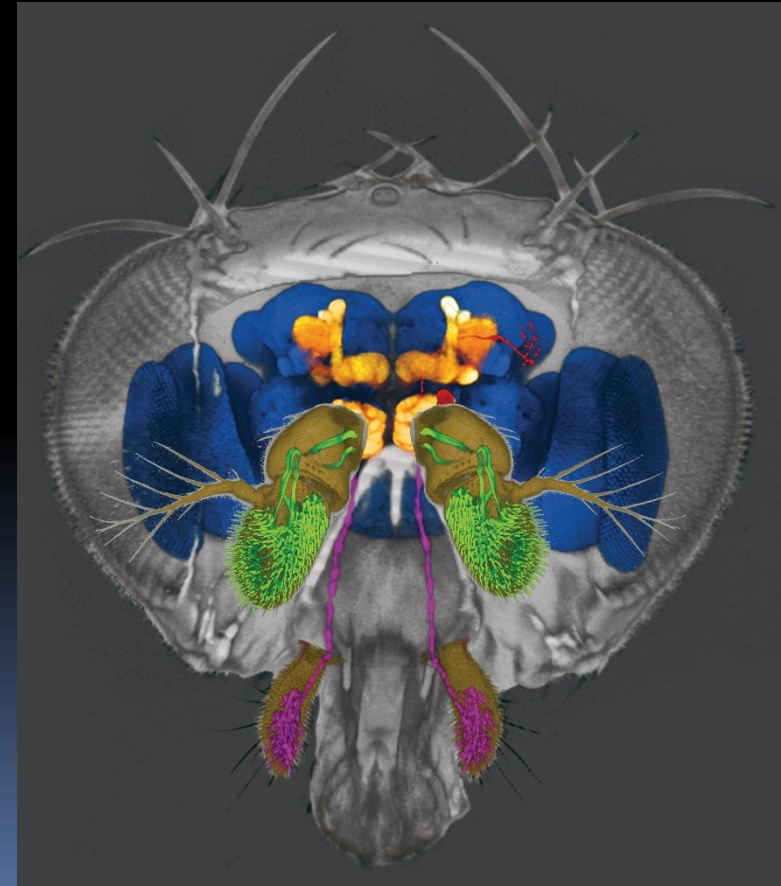


# Protocerebrum

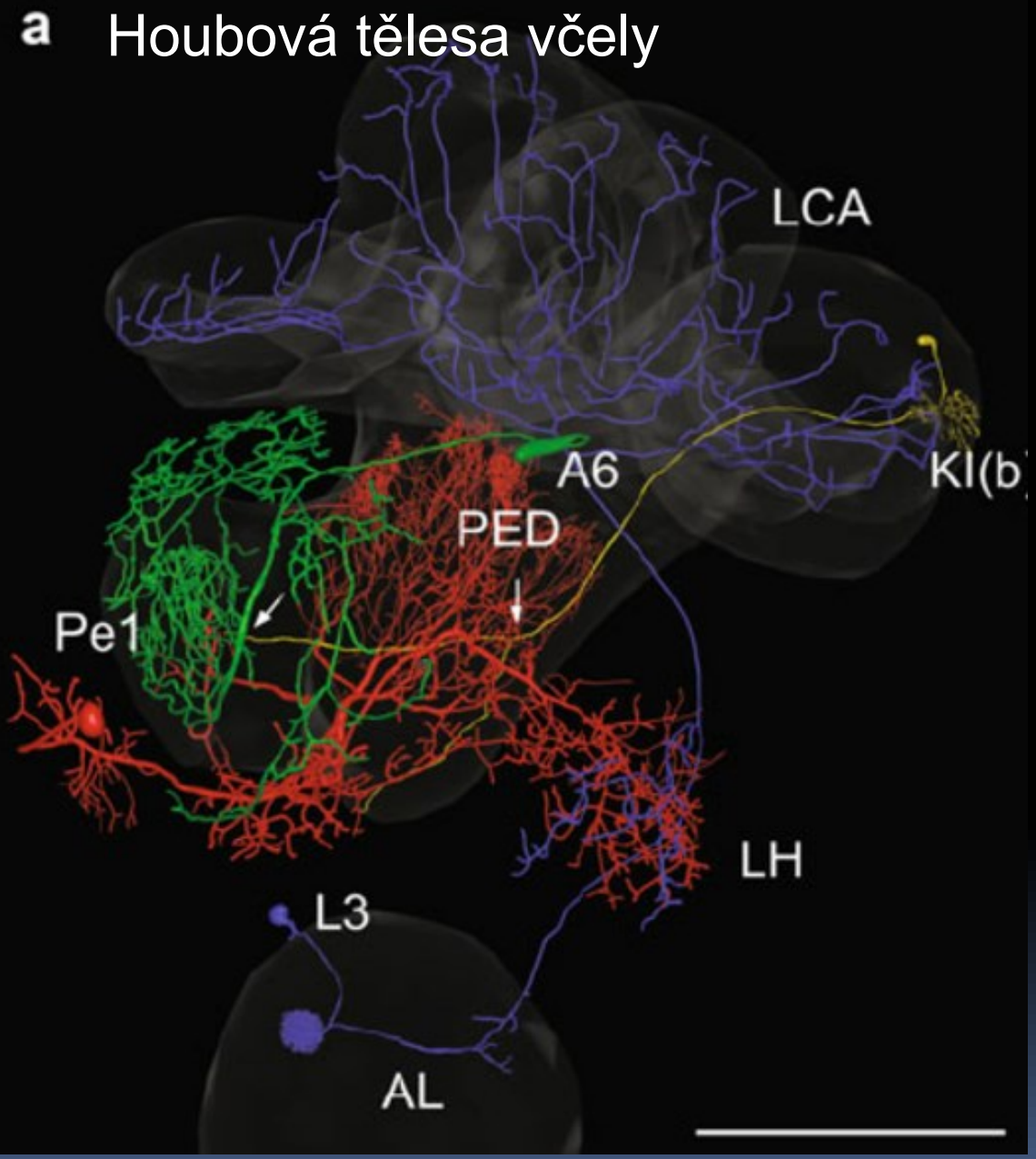
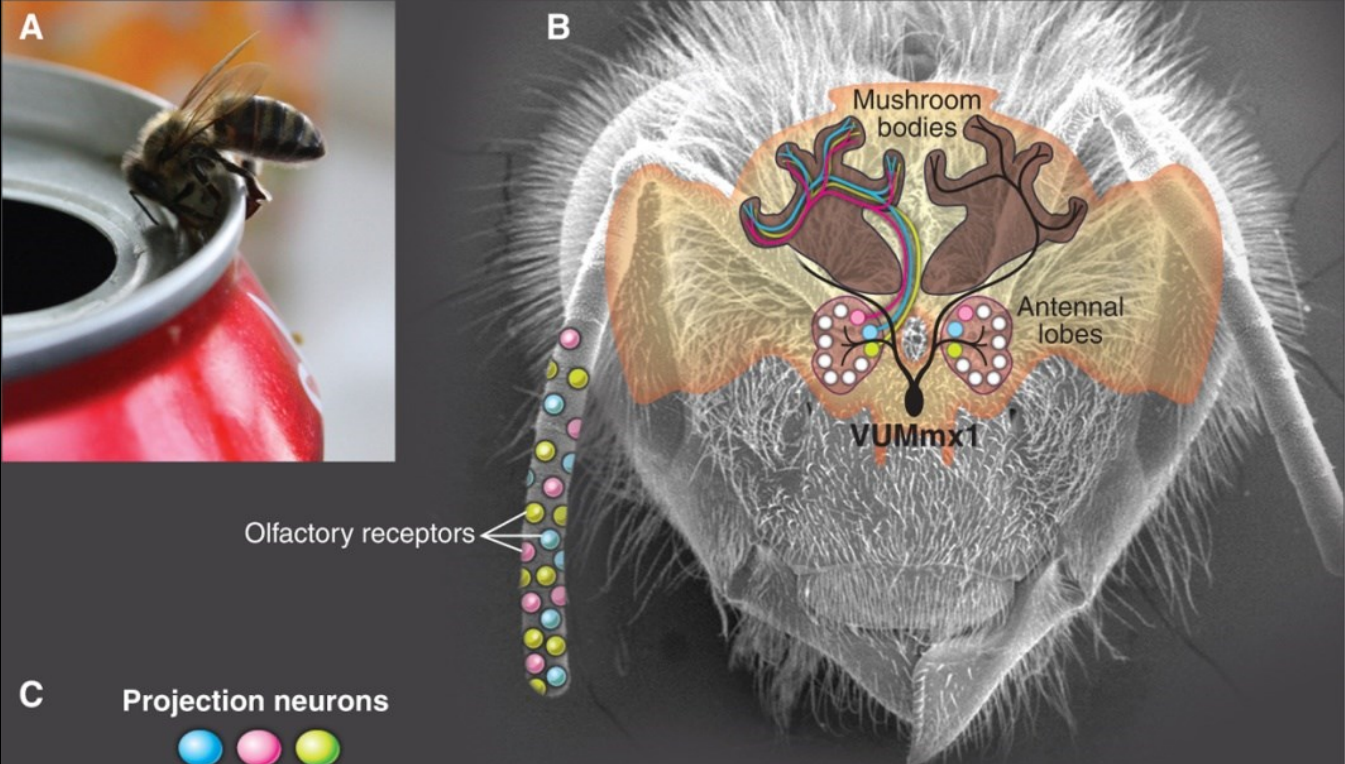
Zrakový lalok mouchy (hmyzu s obzvláště dobrým zrakem) obsahuje asi 76 % mozkových neuronů. Zrakový lalok se přímo napojuje na sítnici složeného oka. Obsahuje tři odlišné oblasti (neuropily): lamina, medula a lobula, kde začíná zpracování zrakových signálů. Zraková dráha je přímo součástí mozku – evidentně má vysokou důležitost. Protocerebrum také přijímá vstupy z temenních oček (ocelli), pokud jsou přítomny.

Houbovitá tělíska (MB, corpora pedunculata) jsou nejlépe vyvinutá u sociálního hmyzu, tvoří 20 % mozku včely a 50 % mozku mravenčí dělnice (Formica). Fungují jako vyšší centra zodpovědná za nejsložitější výpočty v mozku hmyzu. Každé z nich se skládá z kalichu a stopky (která se větví na nejméně dva laloky). MB přijímají smyslové vstupy ze zrakového laloku a z tykadlových laloků. Většina smyslových vstupů vstupuje do MB přes kalich.

V MB se nachází 1000 až 100 000 specializovaných neuronů, tzv. Kenyonových buněk (obrázek na dalším snímku). Jsou nutné pro čichovou paměť. MB se podílejí na učení a u včely medonosné také přenášejí data z krátkodobé paměti do dlouhodobé paměti (vytvoření paměťových stop).



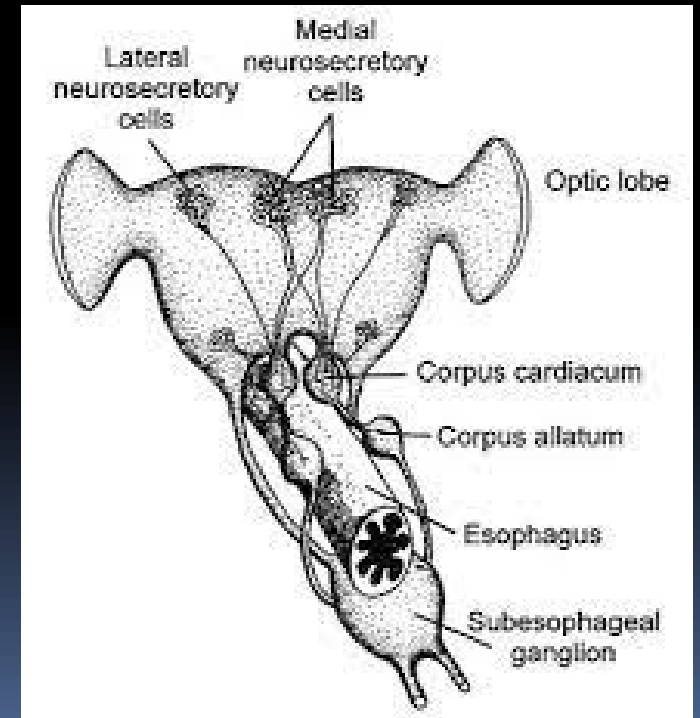






Centrální komplex (obrázek další strana) přijímá vstupy z houbovitých tělísek a integruje smyslové vstupy z různých smyslových modalit (např. čich a zrak). tzv. multimodální smyslové vnímání. Funguje jako aktivační centrum, zapínající příslušné vzorce pohybové aktivity v podřízených hrudních gangliích. Instruuje hrudní ganglia, které motorické programy nohou a křídel spustit. Tyto pevně zafixované programy se někdy nazývají centrální generátory motorických vzorců a běží autonomně. Smyslové vstupy je ale mohou spouštět a zastavovat nebo modifikovat.

Pars intercerebralis je masa neuronů, včetně neurosekretorických buněk, které vysílají své axony do corpora cardiaca (obrázek). Také odtud vedou vegetativní nervy, které inervují hřbetní cévu a řídí rychlost proudění hemolymfy, srdeční rytmus a mají také sekreční hormonální funkci.



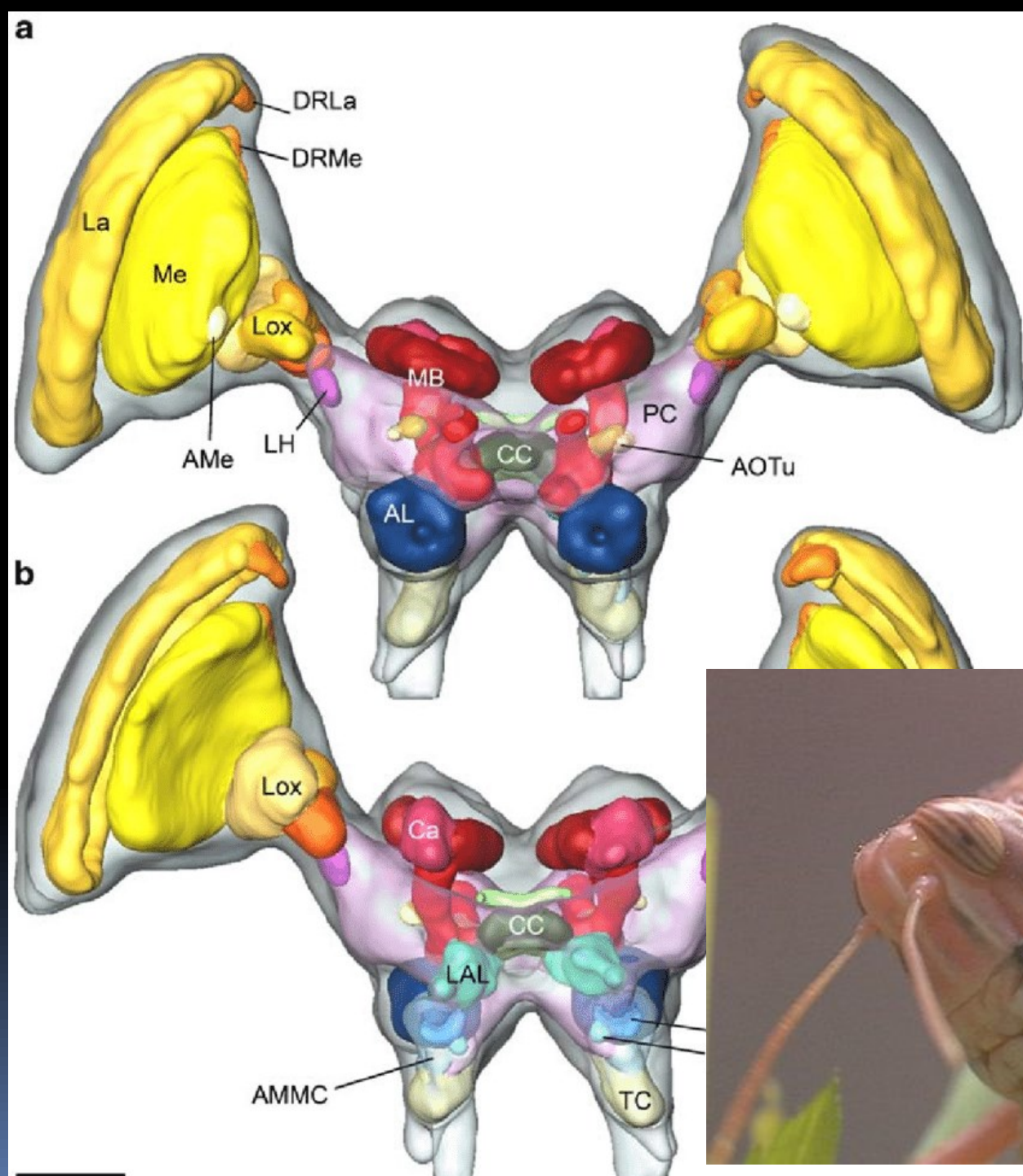
Modelový druh:  
*Schistocerca gregaria*

Lamina (La)  
Medula (Me)  
Lobula (Lo)

Antenal lobes (AL)

Mushroom bodies (MB):  
Calyx (Ca), Pedunculus (P)  
Acc. Lobes (LAL)

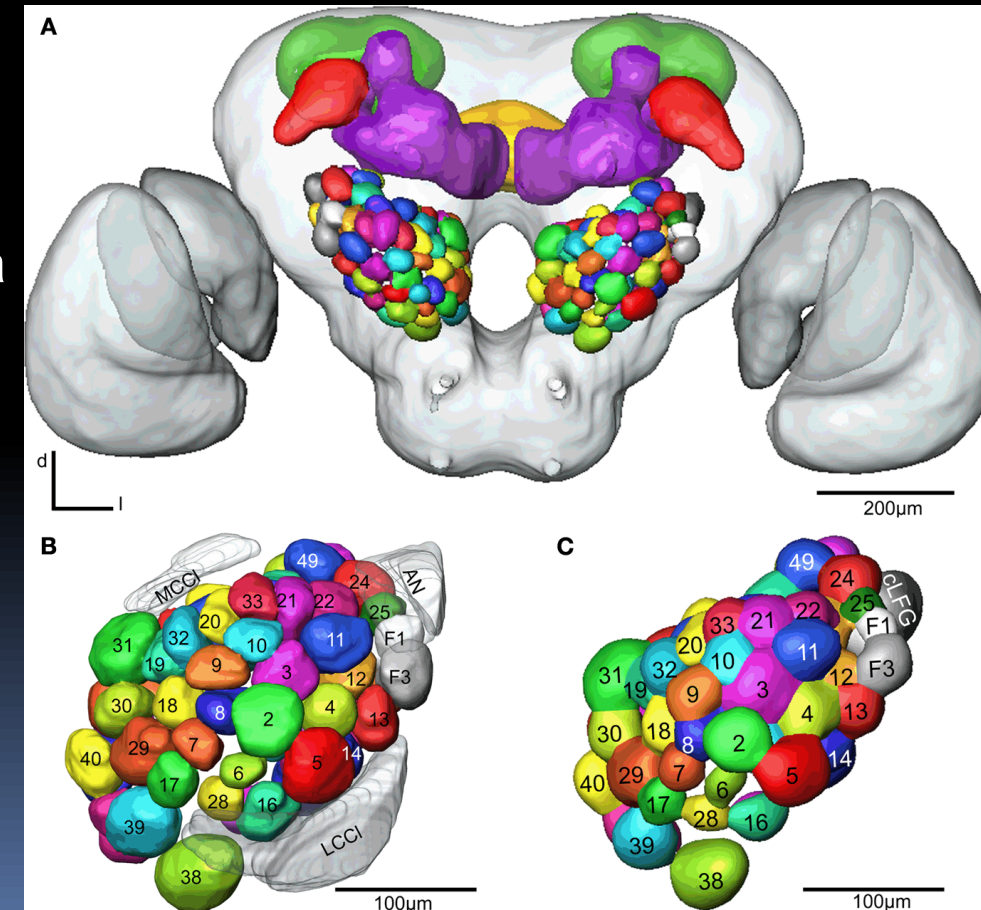
Central Complex (CC):  
Central Body (CBU)  
Protocerebral Bridge (PB)



# Deutocerebrum

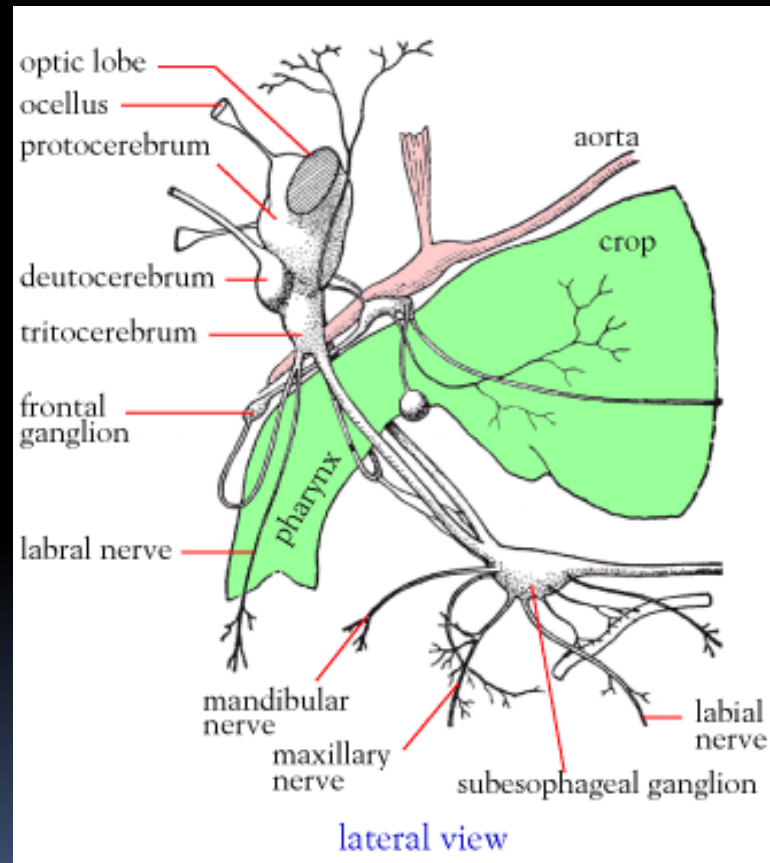
Skládá se ze dvou nervových center - hlavního tykadlového laloku (AL) a menšího tykadlového mechanosenzorického a motorického centra. AL přijímá vstupy z tykadlových nervů. Obsahuje od 10 do více než 200 dílčích center zvaných glomeruly. Vstupy do AL pocházejí asi výhradně z chemoreceptorů (čichových a chuťových) na tykadlech. Každé tykadlo vysílá signály do AL na stejné straně hlavy (ipsilaterální dráhy), ačkoli některé mohou vysílat signály do AL i na opačné straně (kontralaterální dráhy).

Každý glomerulus je samostatným neuropilem, kde probíhají synaptické výpočty. Každý glomerulus, přinejmenším u některých druhů, přijímá vstupy jen z určité třídy receptorů na tykadle. Tyto vstupy z tykadel se spolu se vstupy z CB potkávají na interneuronech AL. Výstupy z AL jdou do MB.





Suboesophageální ganglion (SOG) a segmentální ganglia nervové pásky inervují vždy pár spirakul na daném segmentu a pomáhá tak regulovat dýchání. SOG je složené ganglion, které vzniklo spojením ganglií z čelistí (mandibuly), kusadel (maxily) a makadel (labium). SOG vysílá také motorické nervy do těchto ústních částí a řídí tak krmení.



# Vegetativní sst už u hmyzu. Viscerální, sympatický NS hmyzu

## Stomatogastrický:

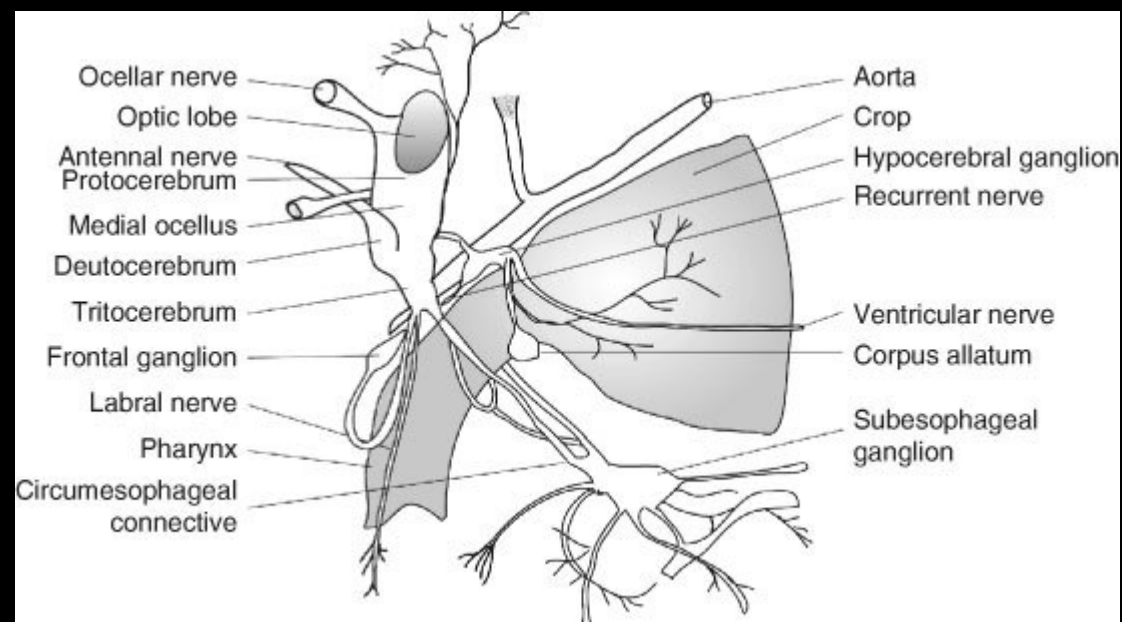
Frontální ganglion (FG) je jediné nepárové mediální ganglion, které je spojeno párem frontálních spojů s tritocerebrem. Spolu s rekurentním nervem a hypocerebrálním gangliem ovládají předžaludek a činnost střeva a srdce OBR.

## Nepárové mediální ventrální nervy:

spojují segmentální ganglia dvou sousedících segmentů. Od těchto podélných spojů se mohou oddělovat další příčné větve. Odděleně od segmentálních nervů. Inervují spirakula nebo mají neurohemální fce.

## Kaudální sympatický sst:

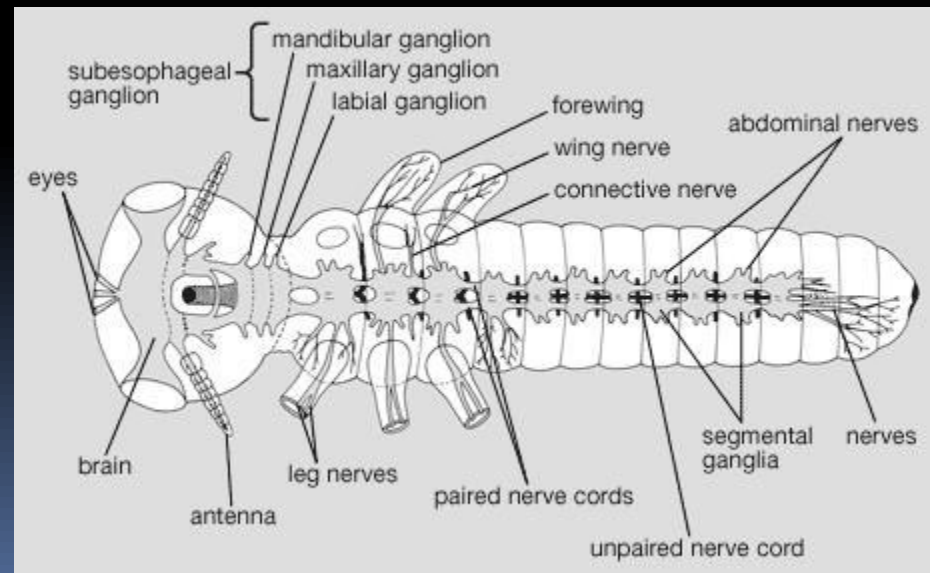
nn vycházejí z posledního zadečkového ganglia a inervují pohlavní orgány a zadní konec střeva



## Ventrální nervová páska

Ze suboesofageálního ganglia vybíhají podél ventrální strany dva nervové provazce. Ty se připojují k prvnímu hrudnímu segmentu T1. Z T1 pak vycházejí dvě spojky do druhého hrudního ganglia, T2, a do druhého hrudního ganglia. Dále pokračuje řetězec propojených ganglií, který se táhne po celé délce.

Každé ganglion funguje jako místní procesor, reguluje funkce daného segmentu. Hrudní ganglia jsou obzvláště dobře vyvinutá, protože mají za úkol vykonávat složité operace pohybových vzorců nohou a křídel. Tyto programy jsou řízeny z ganglií, ale k jejich zapnutí a vypnutí je obvykle zapotřebí mozek. Smyslové vstupy mají na tyto vzorce malý vliv, ale modifikují je. Například receptory tahu v křídlech poskytují zpětnou vazbu, která umožňuje jemné nastavení křídel a řízení úhlu náběhu a natočení křídel.





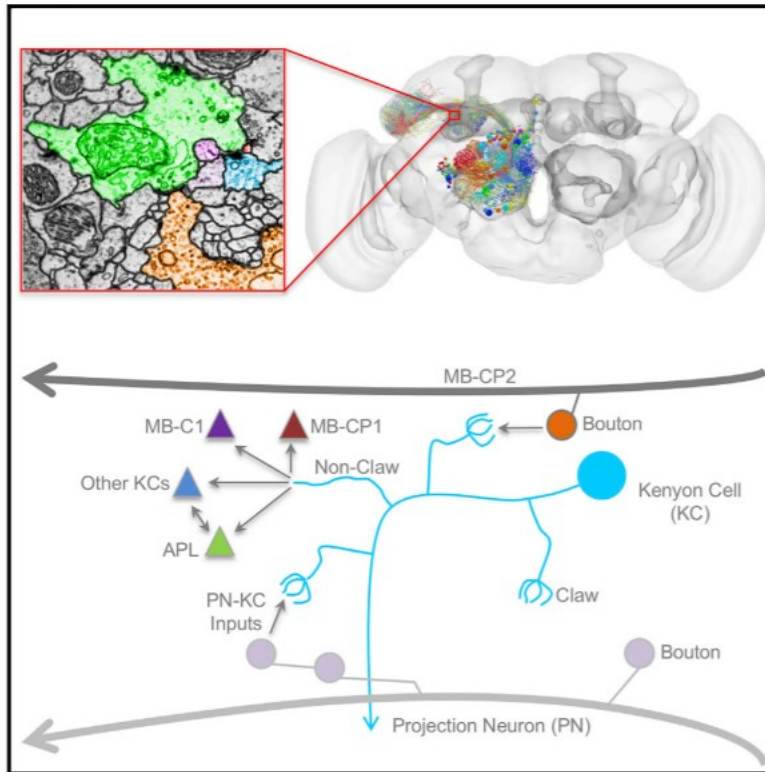
# Mozek hmyzu

Cesta k pochopení vztahu mezi stavbou sítě a chováním, paměťí...

Cell

## A Complete Electron Microscopy Volume of the Brain of Adult *Drosophila melanogaster*

Graphical Abstract



Authors

Zhihao Zheng, J. Scott Lauritzen, Eric Perlman, ..., Stephan Saalfeld, Richard D. Fetter, Davi D. Bock

Correspondence

bockd@janelia.hhmi.org

In Brief

Electron microscopy imaging of the entire adult fruit fly brain at synapse resolution reveals circuitry spanning multiple regions and connectivity between known and previously unknown cell types.

<https://vimeo.com/280997626>

Zheng et al., 2018, Cell 174, 730–743

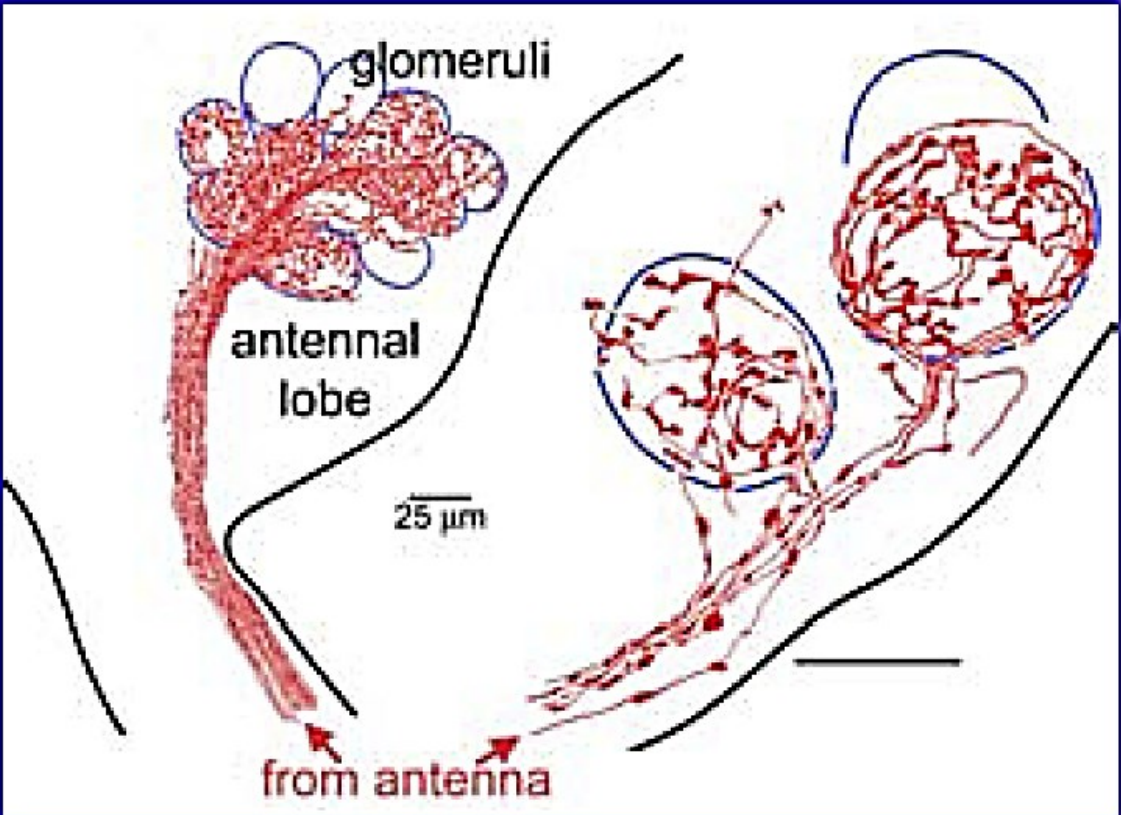
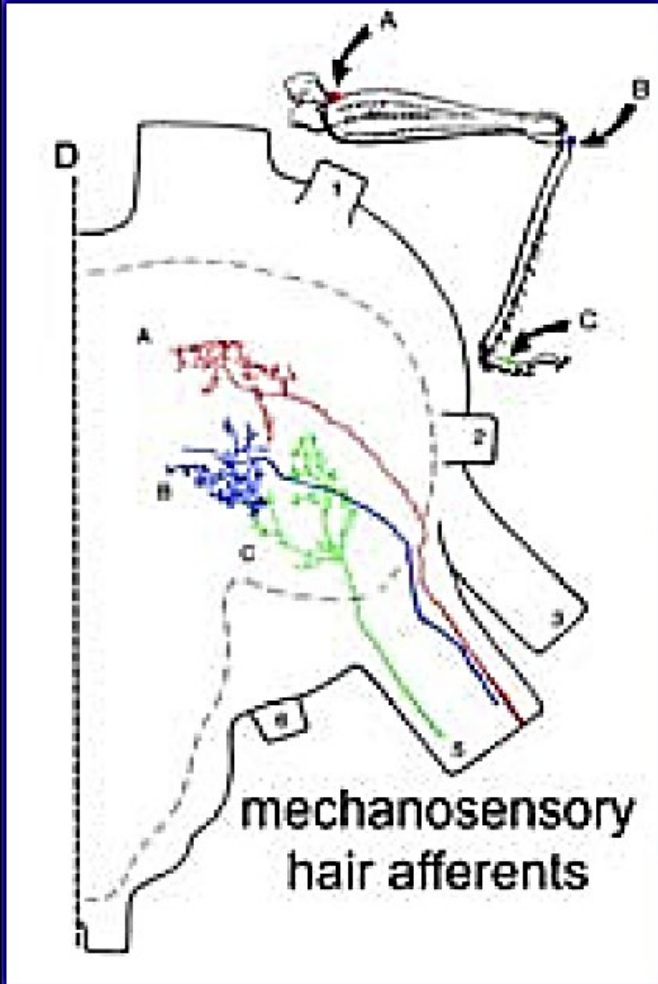
# Hmyz

## Typy neuronů

- Sensorické
- Interneurony:
  - lokální
  - projekční
- Motorické
- Neurosekreční

[http://cronodon.com/BioTech/insect\\_nervous\\_systems.html](http://cronodon.com/BioTech/insect_nervous_systems.html)

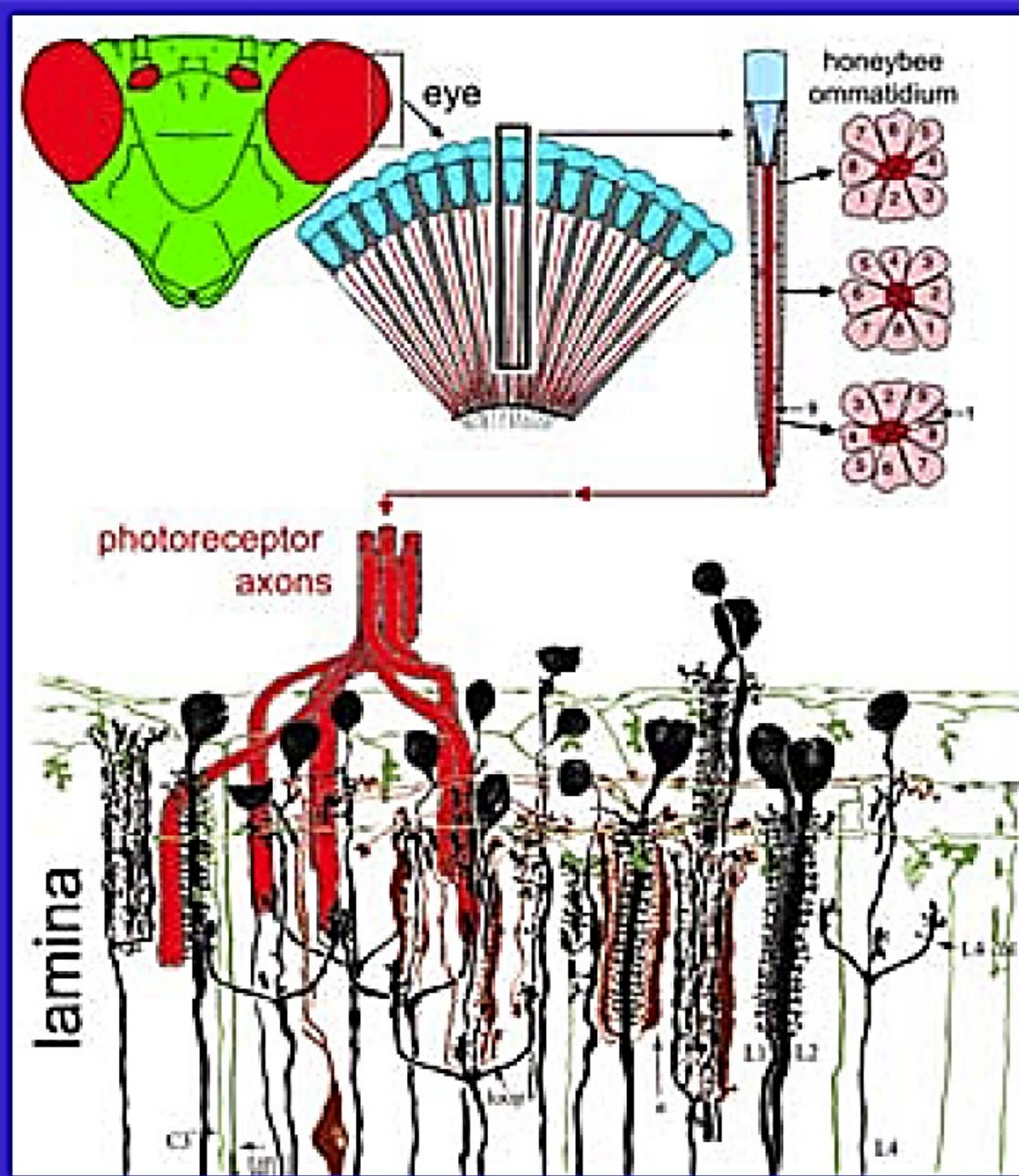
# sensory neurons



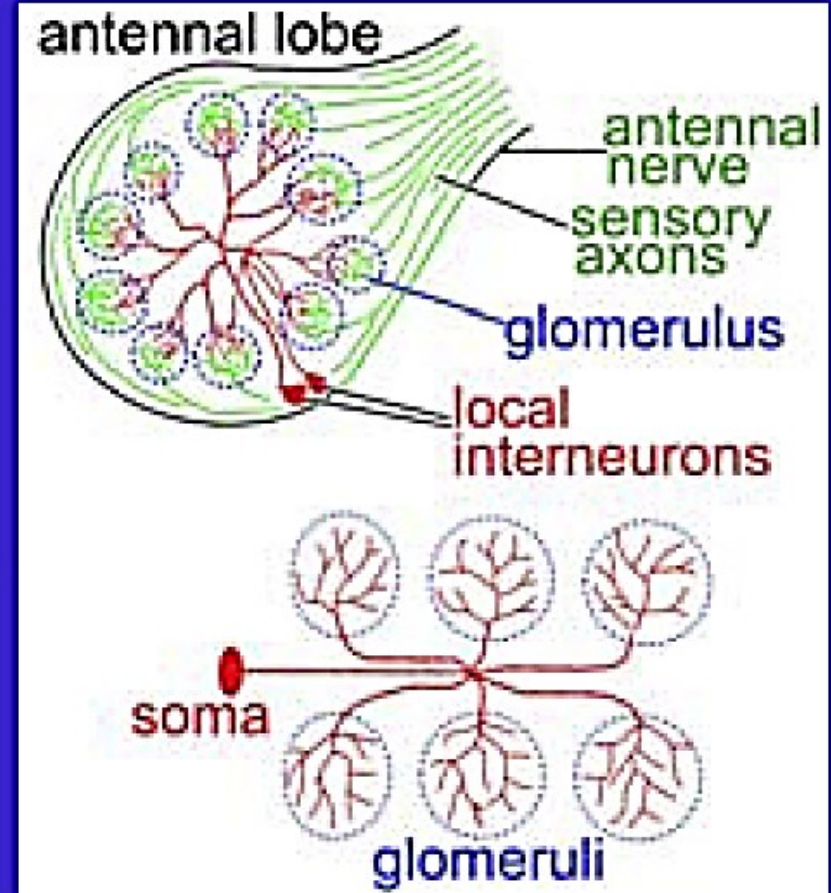
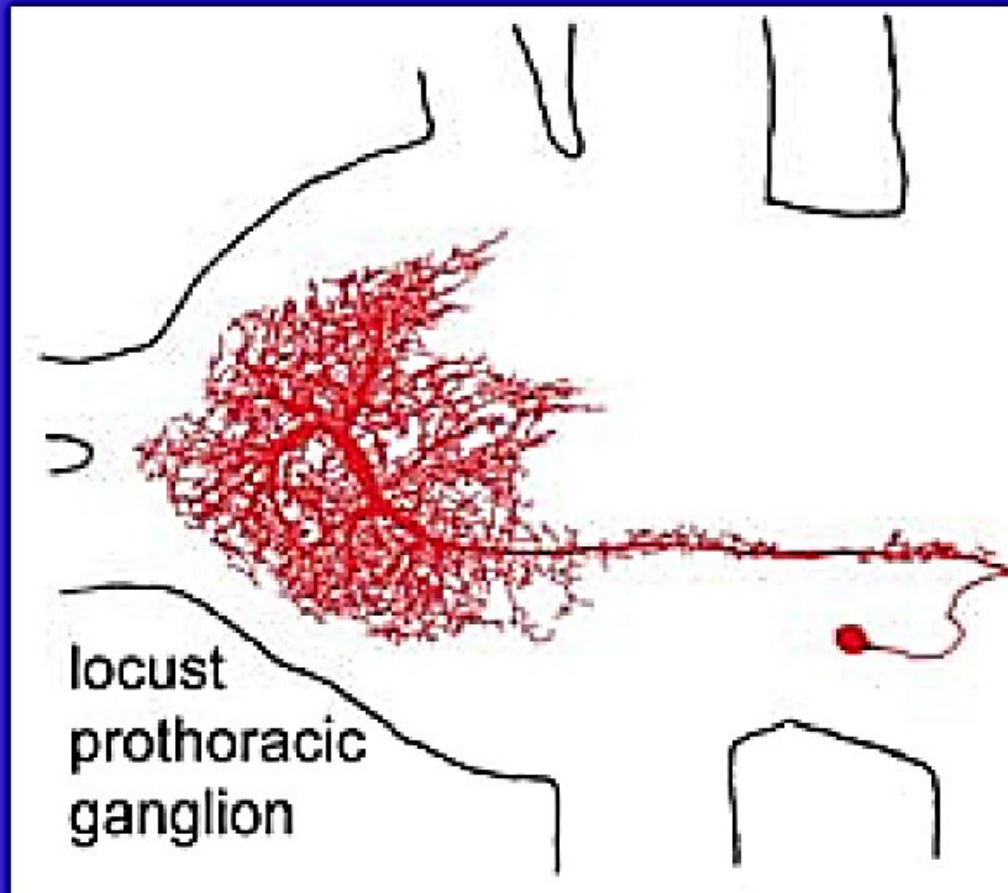
olfactory afferents



Photo-  
receptor  
afferents  
to the  
lamina



# Local interneurons

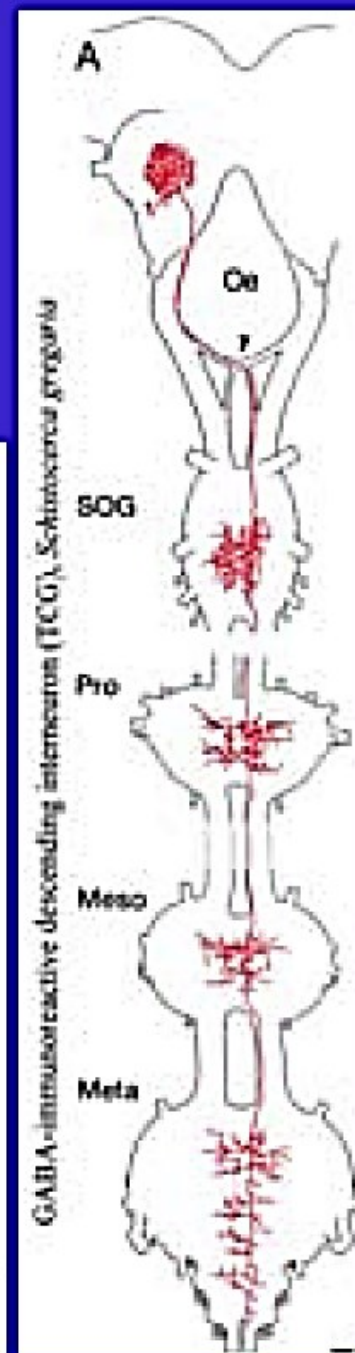
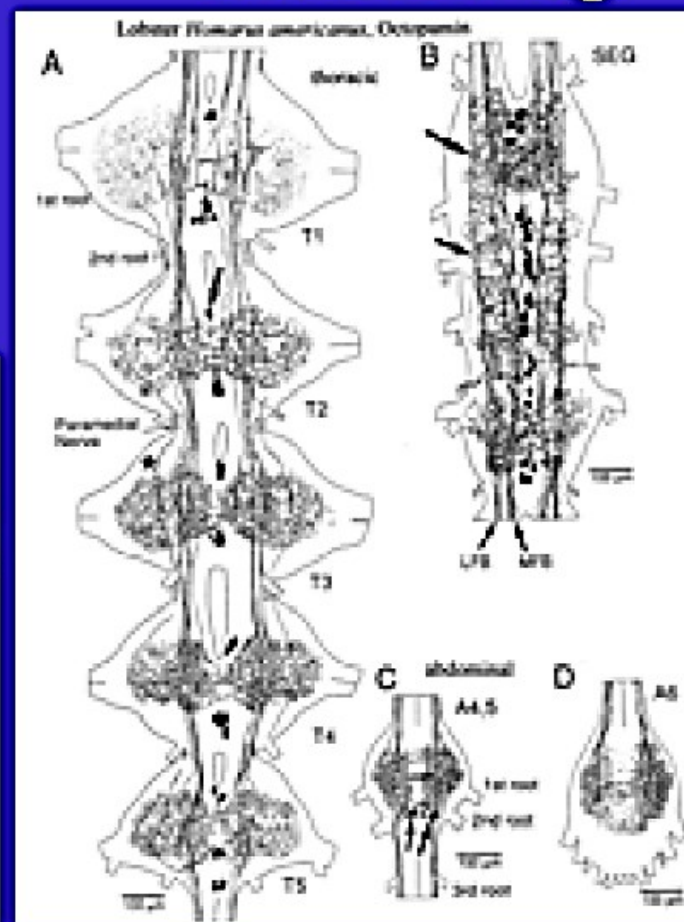
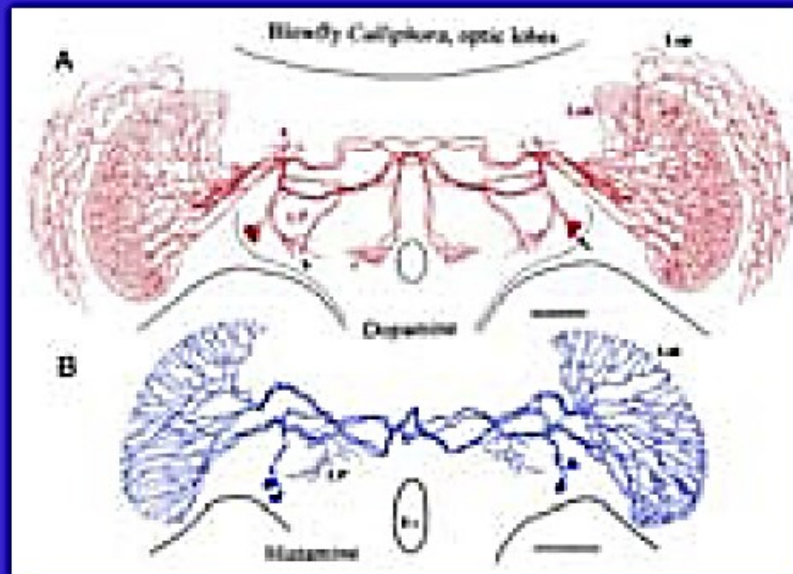




# projection neurons

ascending /  
descending

bilateral





# motor neurons

