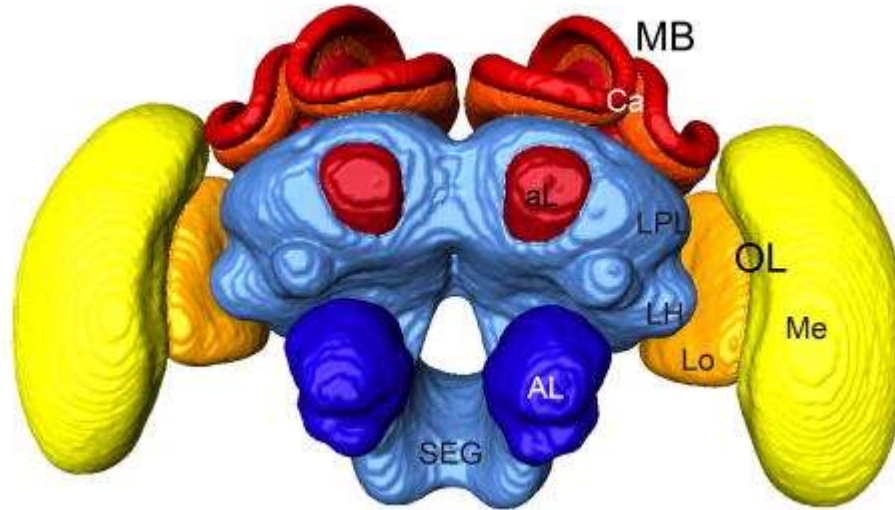


# Nervový systém



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.

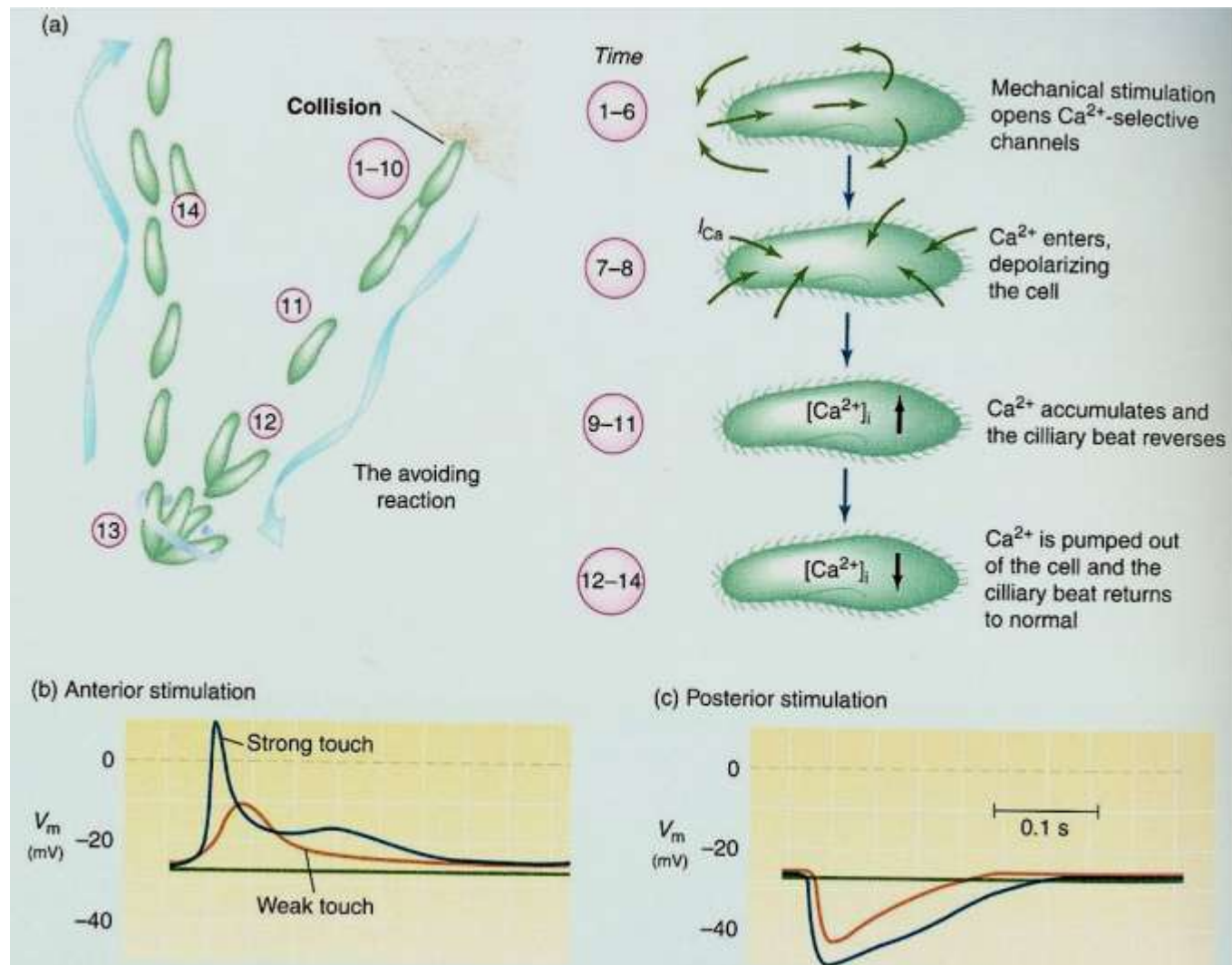
Přebírá i řízení vegetativních dějů a spolupracuje s hormonálním. Stává se v evoluci dominantním.

Nabývá schopnosti se učit a reagovat jinak při opakovaných setkáních – mimořádná adaptivní výhoda.

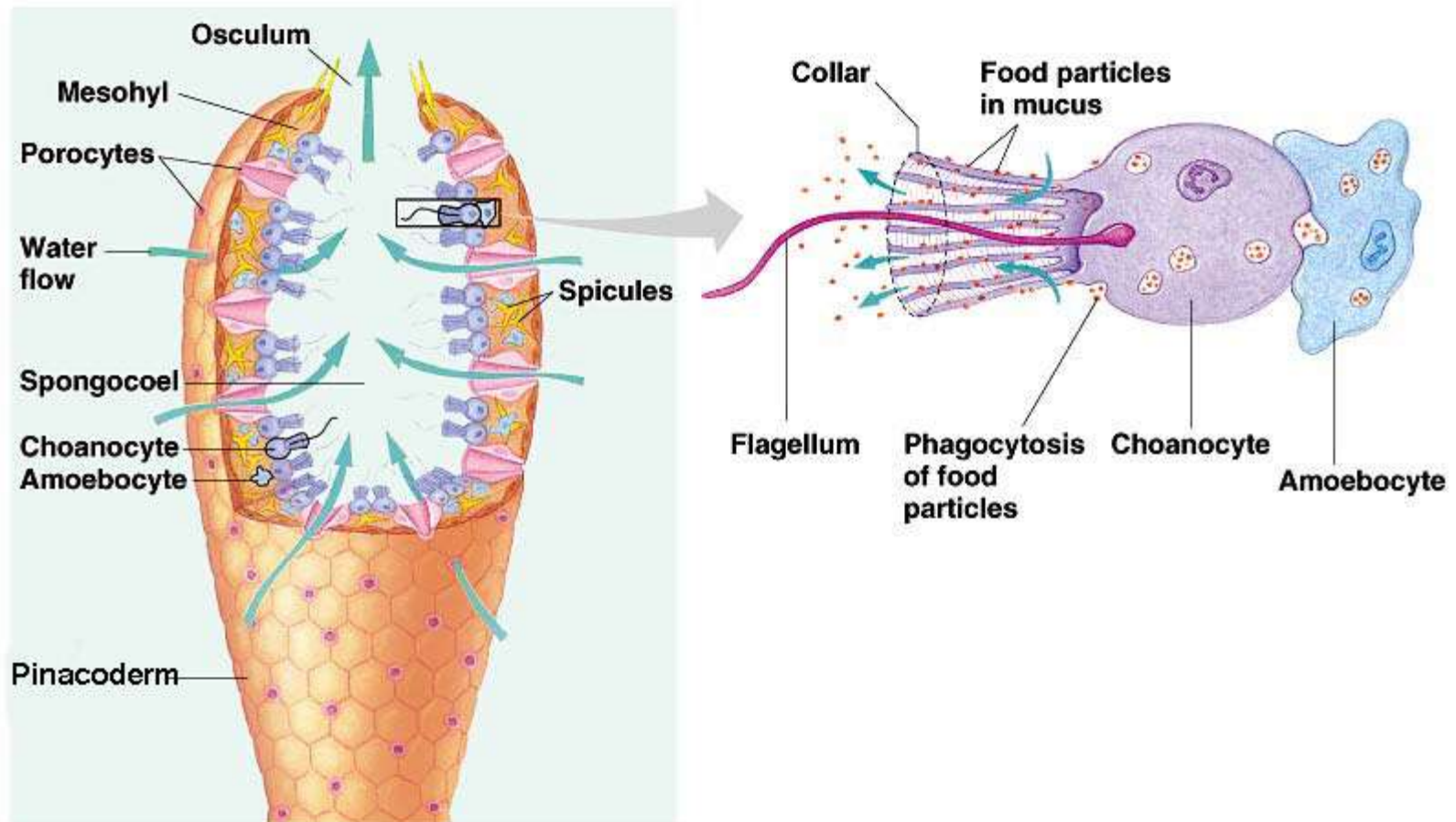
Bezobratlí bezkonkurenčně výhodným modelem.

Chování zvířat i bez nervového systému ? Trepka.

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.



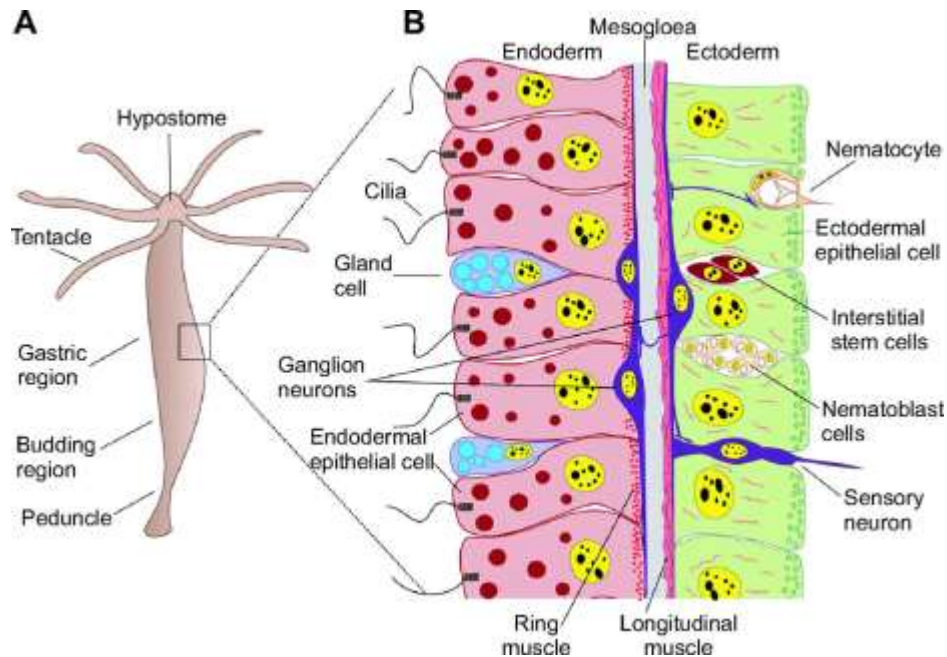
U **hub** (jsou to však jediní živočiši bez neuronů) první předchůdci nervových buněk spojující povrchové pinakocyty a bičíkaté buňky (choanocyty) a porocyty. Propojené jsou elektricky vodivými spoji – syncytium. Dotek nebo znečištěná voda vede k vypnutí vodního proudu působeného bičíkatými buňkami.



## Tendence ve vývoji NS:

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

**Nezmar:** 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 zaujmají 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.

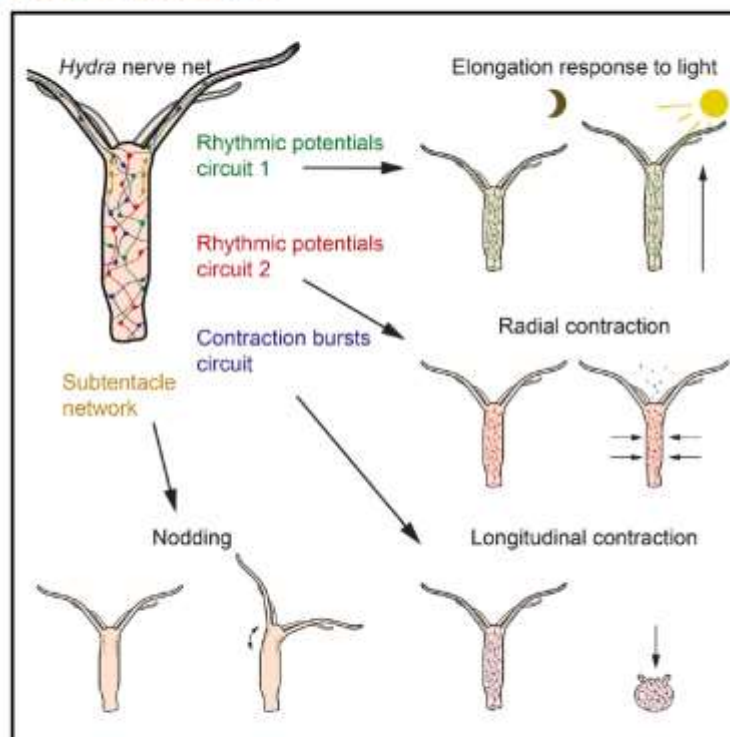




# Current Biology

## 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.

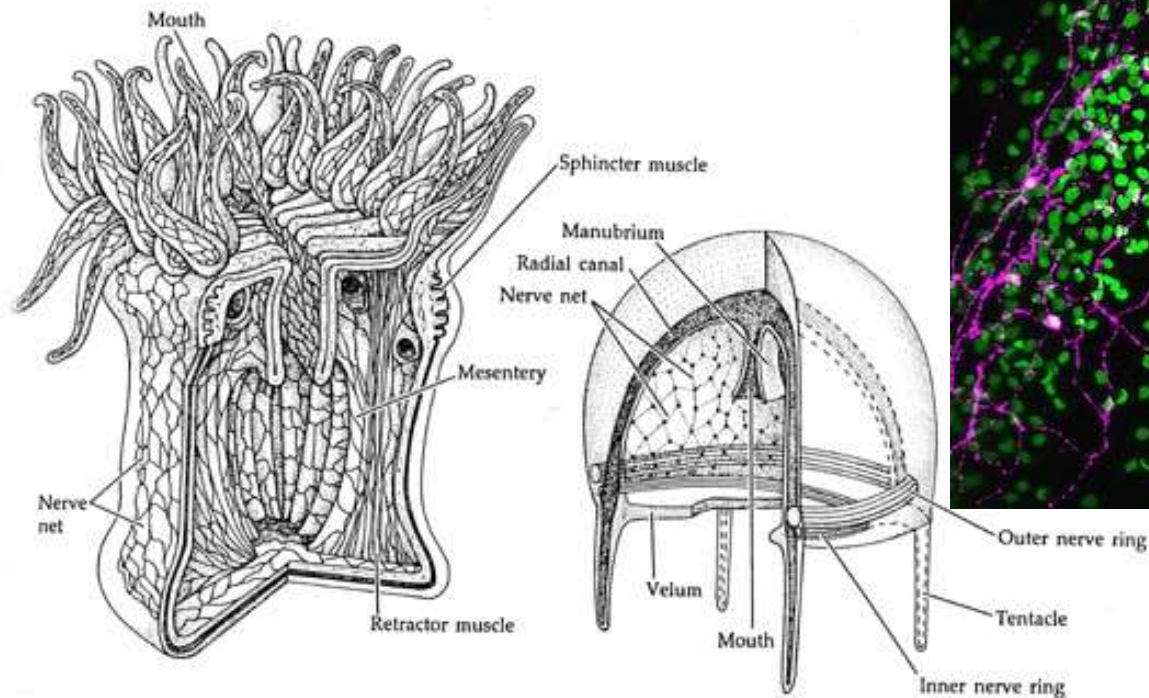
Ca imaging ukázal 4 nezávislé neuronové sítě pro různé typy chování.

Videa

### Highlights

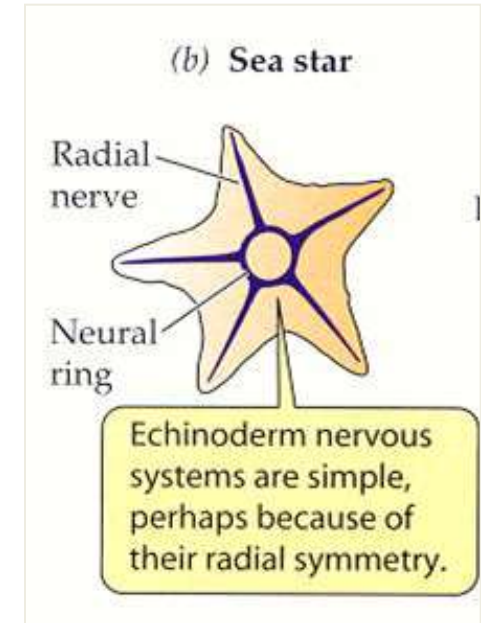
- Introduction of *Hydra* as a model system for neural circuits
- Functional circuits of four behavioral responses
- First complete Brain Activity Map achieved

**Sasanky (korálnatci)** Jsou na rozdíl od nezmarů volně pohybliví – bipolární rychleji vedoucí neurony – dráhy. Medúzy – prstenec (prstencový mozek). Statocysty, očka, pacemakery. Hydromedúza *Aglantha* používá dva prstence: vnitřní prstenec 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 zůstává ve všech kmenech až k obratlovcům: např. ve střešní stěně – nervová pletěň.



Ostnokožci, hvězdice, jsou radiální **sekundárně**. Mnoho interneuronů. - složité chování, lov potravy, motorika, rozmnožování, péče o mláďata.

Hvězdice zkouší sníst úhoře

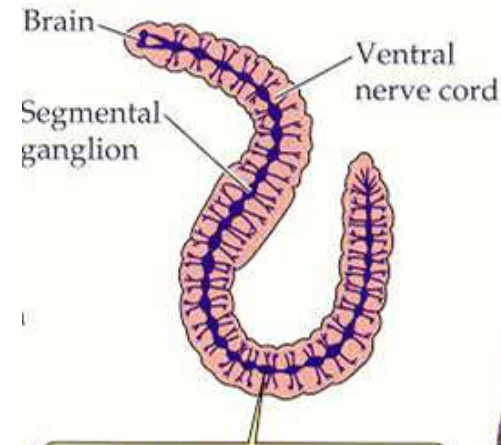




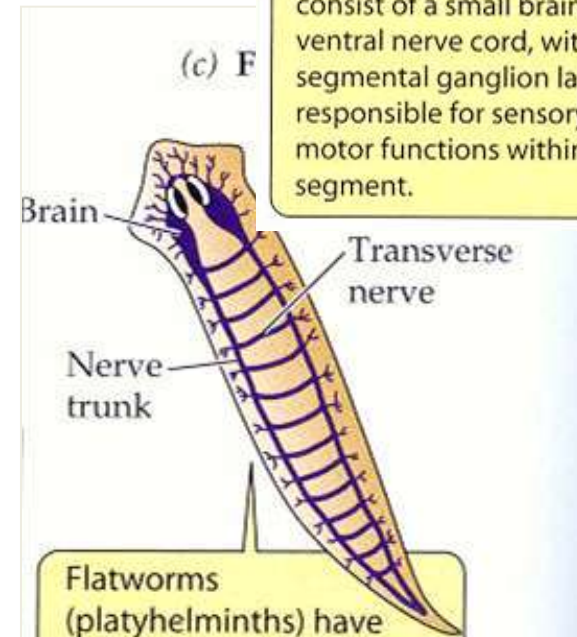
**Bilaterální** – přední a zadní konec těla, centralizace, cefalizace. Ganglia v každém tělním článku, a v hlavě, kde jsou nároky na zpracovávání informací a řízení motoriky nejvyšší - mozkové ganglion. Teprve teď skutečná CNS a PNS. Gigantická vlákna.

Ploštěnci nečlankovaní – 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 (neuropile) a periferií s těly neuronů.

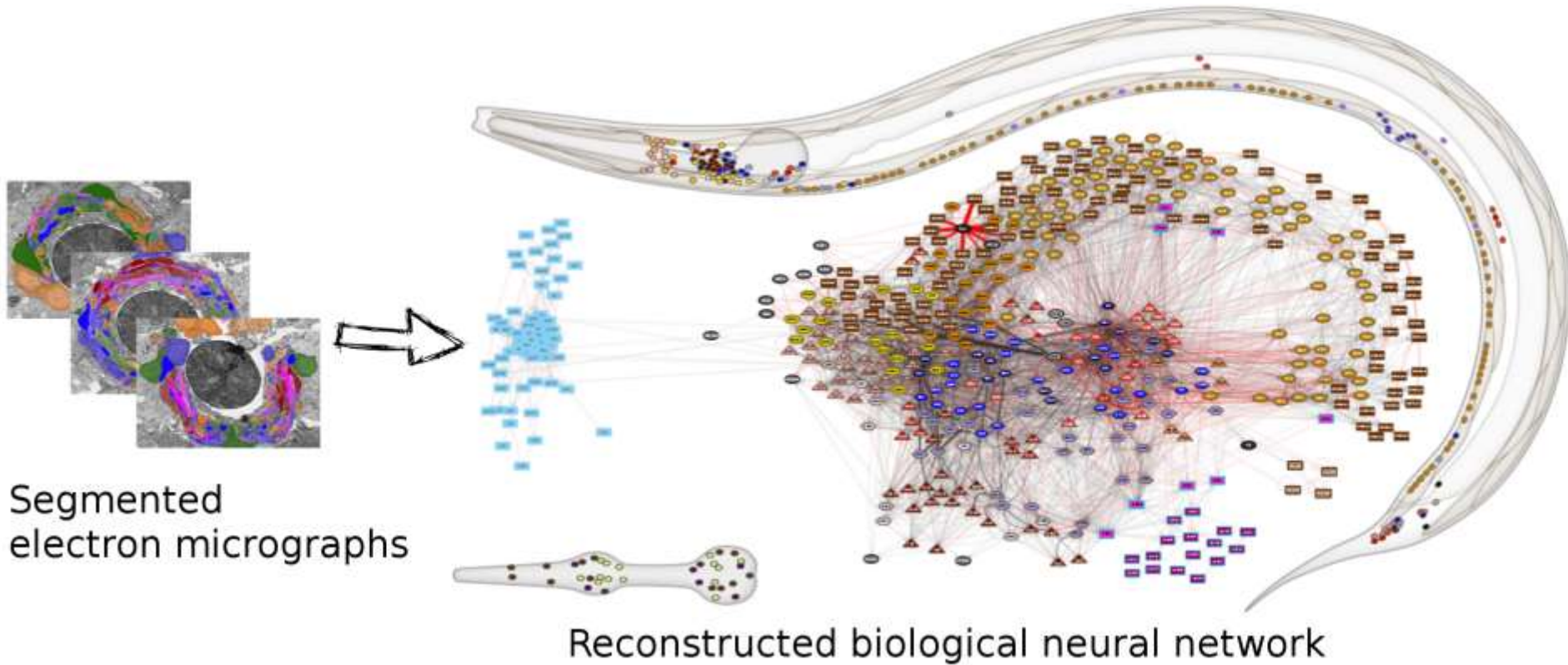
Mozek vzniká splýváním ganglií. Při pohledu na mozek v evoluci se zdá, že dává vznik novým strukturám k novým funkcím, spíše než by docházelo k přestavbě funkcí starých struktur. Takže staré si drží původní funkce a nad nimi „sedí“ struktury s novými funkcemi. Proporce částí mozku odpovídají důležitosti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



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

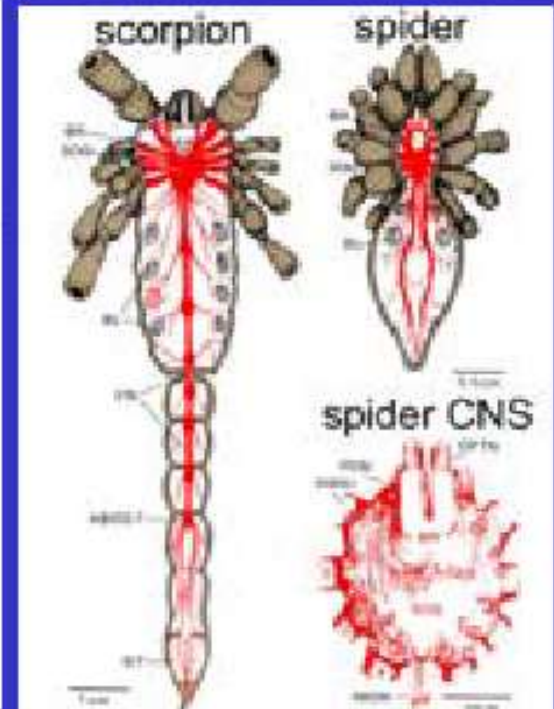
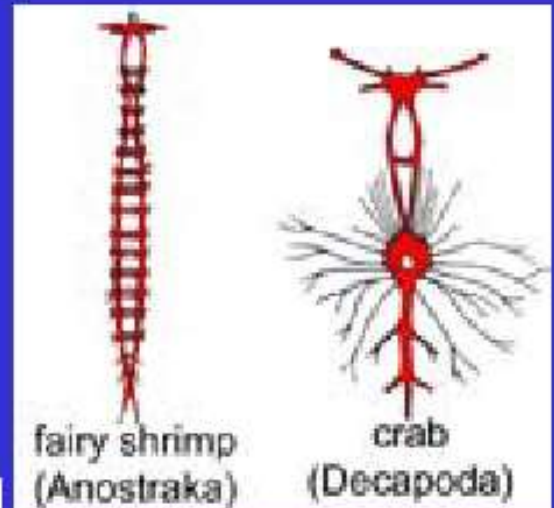
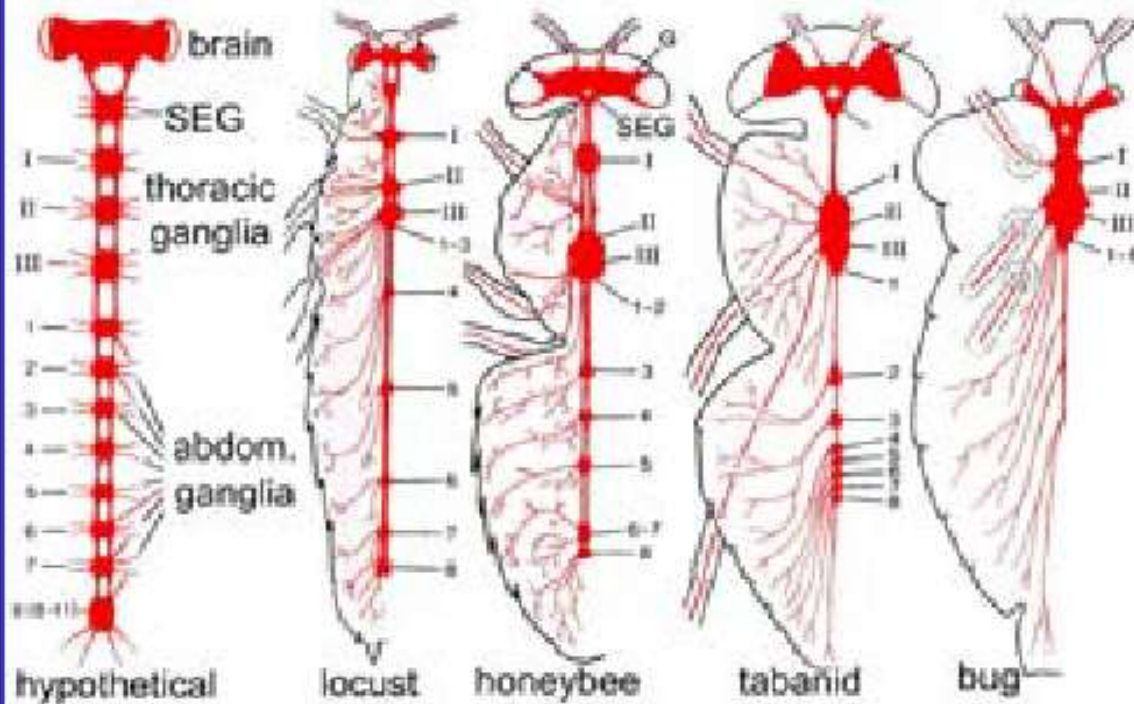
The nervous system is by far the most complex organ in *C. elegans*. Almost a third of all the cells in the body (302 out of 959 in the adult) are neurons. 20 of these neurons are located inside the pharynx, which has its own nervous system. The remaining 282 neurons are located in various ganglia in the head and tail and also along the ventral cord, the main longitudinal axon tract.

Jarrell et al., The connectome of a decision making neural network. *Science*, 337 437 (2012)

YAN, Gang, et al. Network control principles predict neuron function in the *Caenorhabditis elegans* connectome. *Nature*, 2017.

# Členovci

## CNS concentration and ganglia fusion

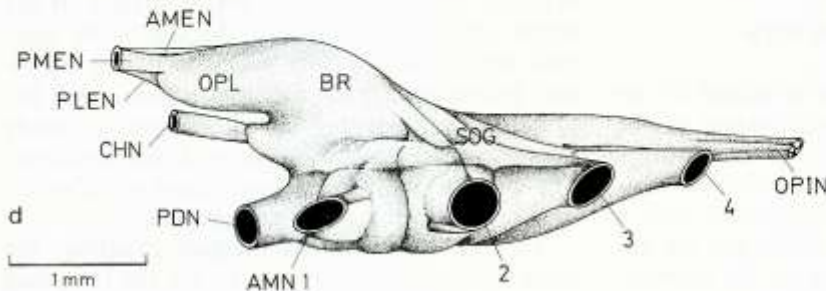
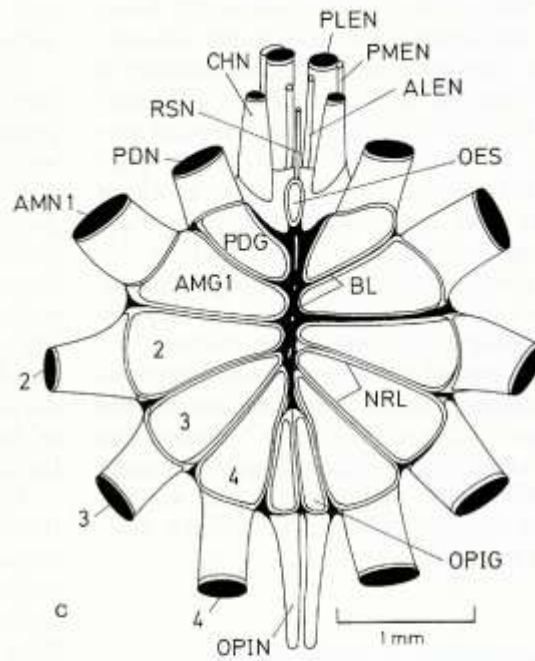
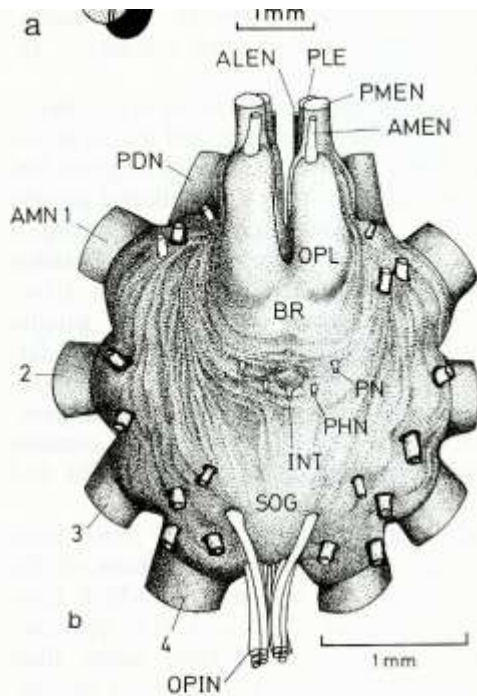
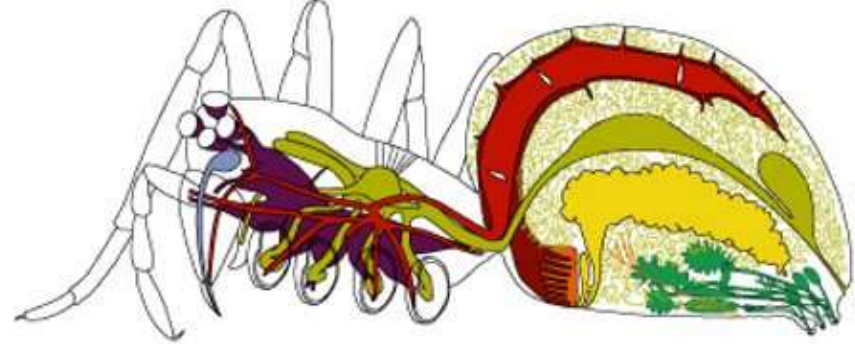




# Mozek pavouka

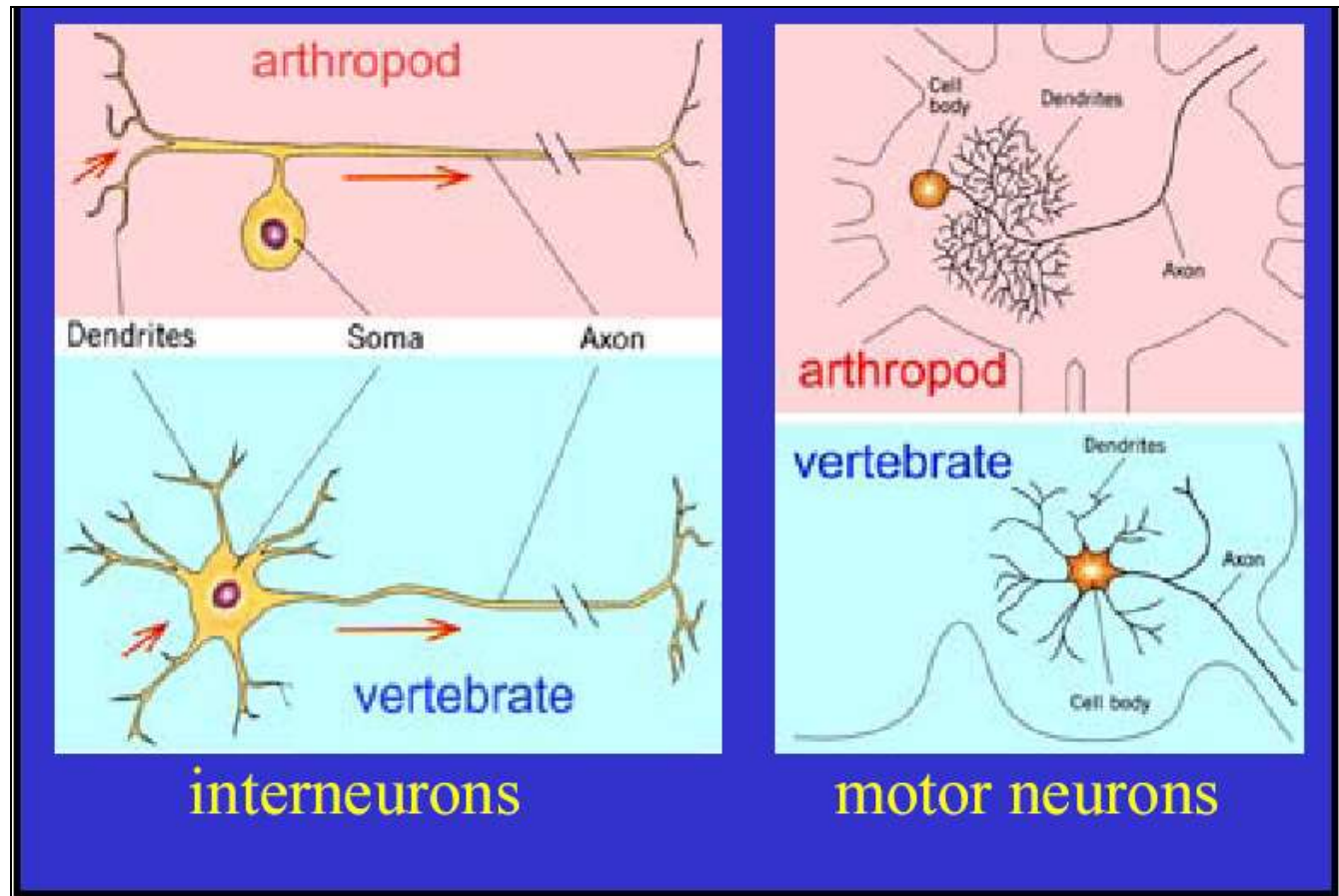
Extrémní splývání

Důležitost nohou



— Circulatory system with book lungs and tracheal tubes  
— Digestive system with pumping stomach and blood vessels  
— Nervous system  
— Excretory glands  
— Reproductive glands  
— Excretory ductive system

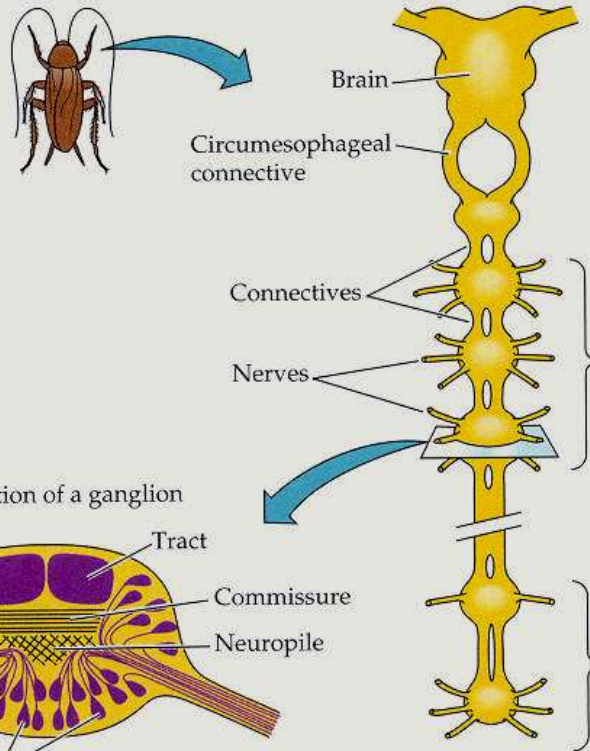
## Rozdíly v pozici těla neuronu.



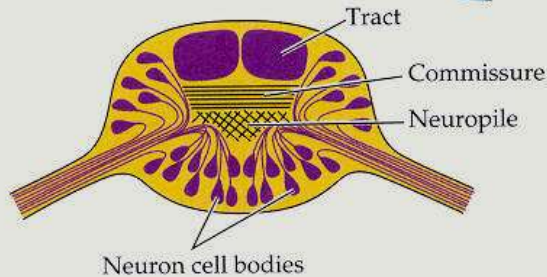
Mnoho hmyzích neuronů je pseudounipolárních. Tyto větve výběžků často končí terminální arborizací - hustým rozvětvením, které představuje místo synaptického spojení s dalšími neurony. Husté spoje mezi výběžky, nenesedající na těla.



(a) Dorsal view of the central nervous system



(b) Cross section of a ganglion



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 – i v mozku

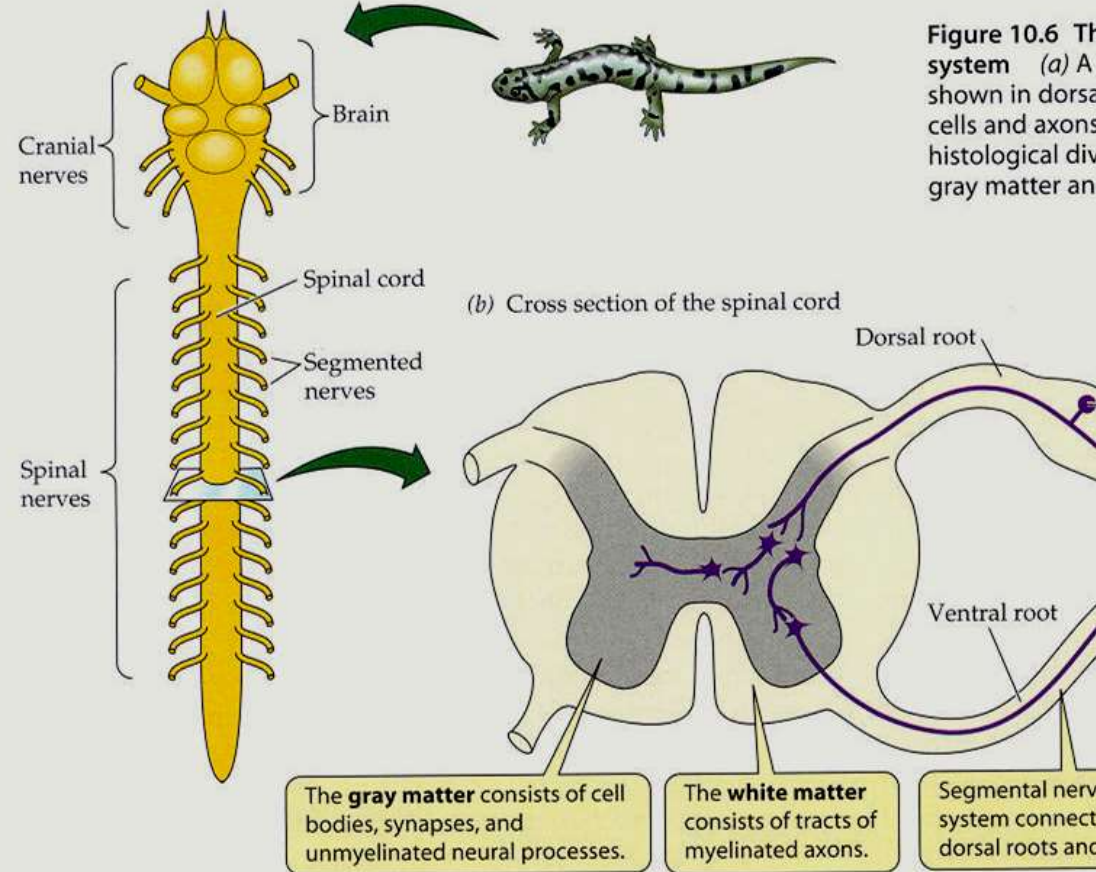
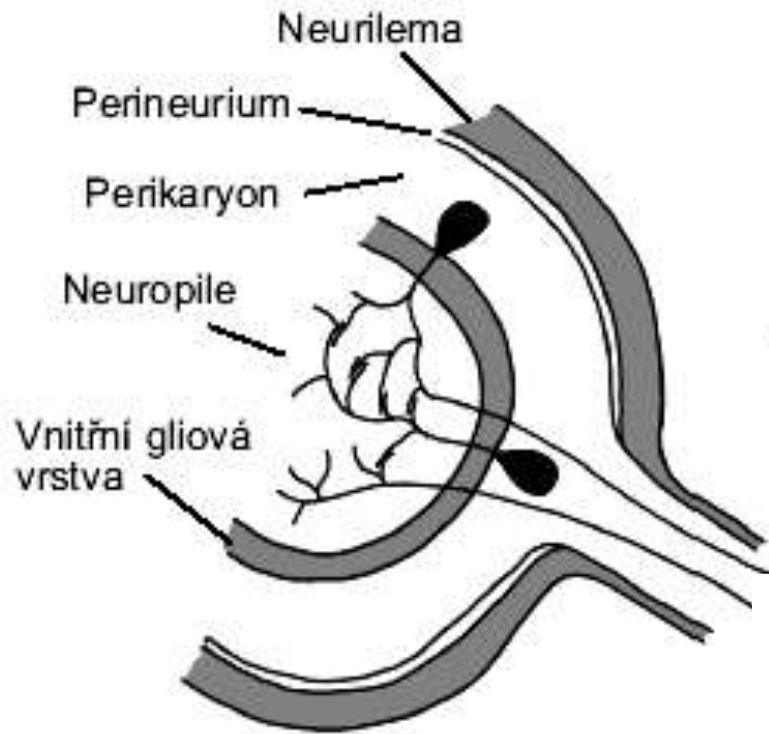


Figure 10.6 THE nervous system (a) A lizard is shown in dorsal view. (b) A histological division of gray matter and...

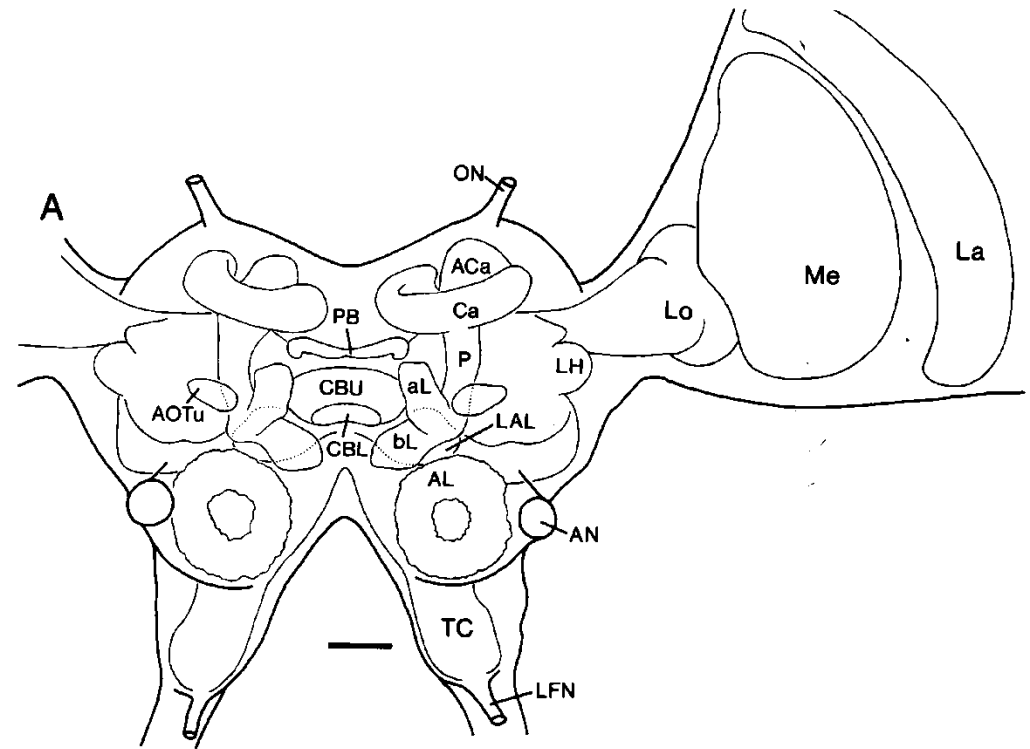
The gray matter consists of cell bodies, synapses, and unmyelinated neural processes.

The white matter consists of tracts of myelinated axons.

Segmental nerve system connects dorsal roots and...

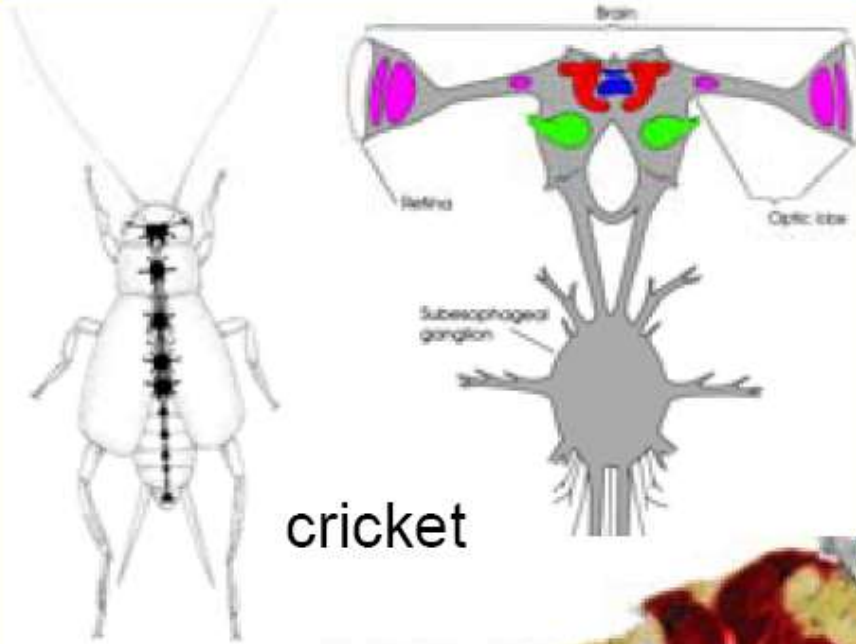


## Stavba ganglia

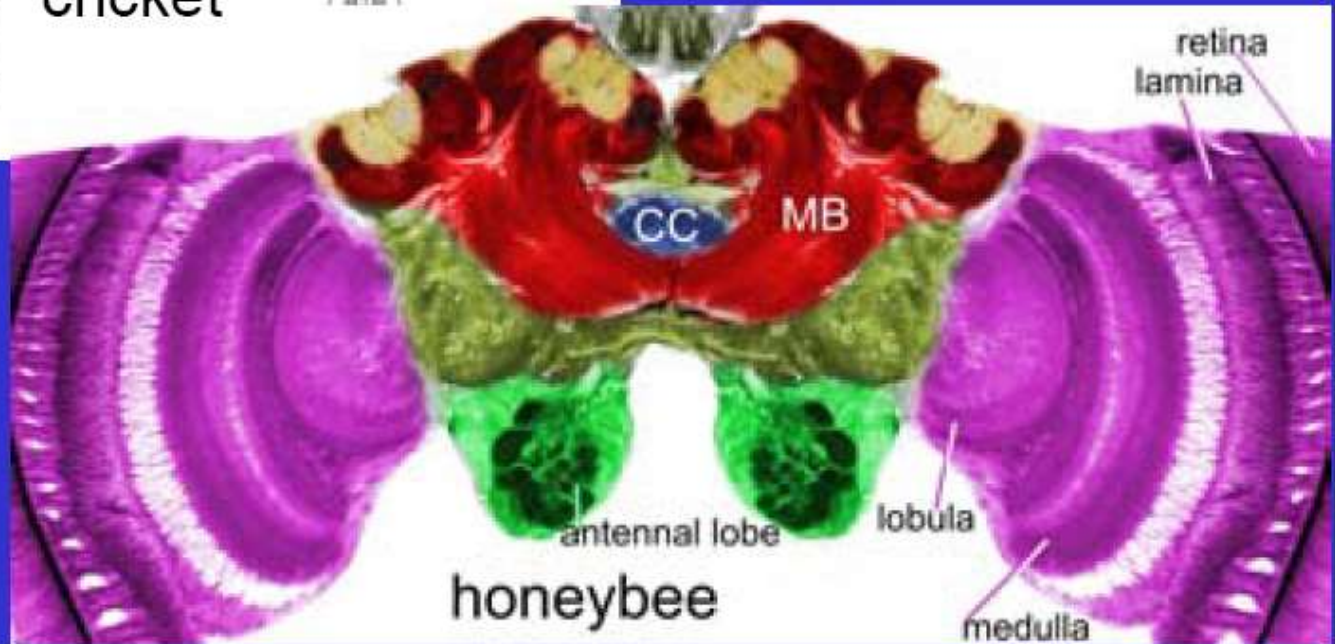


Mozek je tvořen splynutými ganglii - tedy soustavou neuropilů

# Brain neuropils



cricket

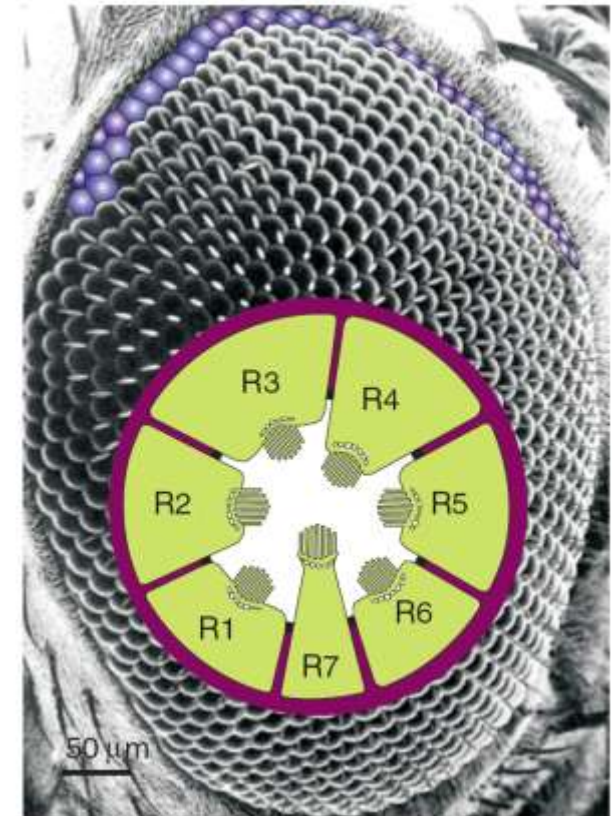




# Úloha gliových buněk

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 štěrbinách 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.

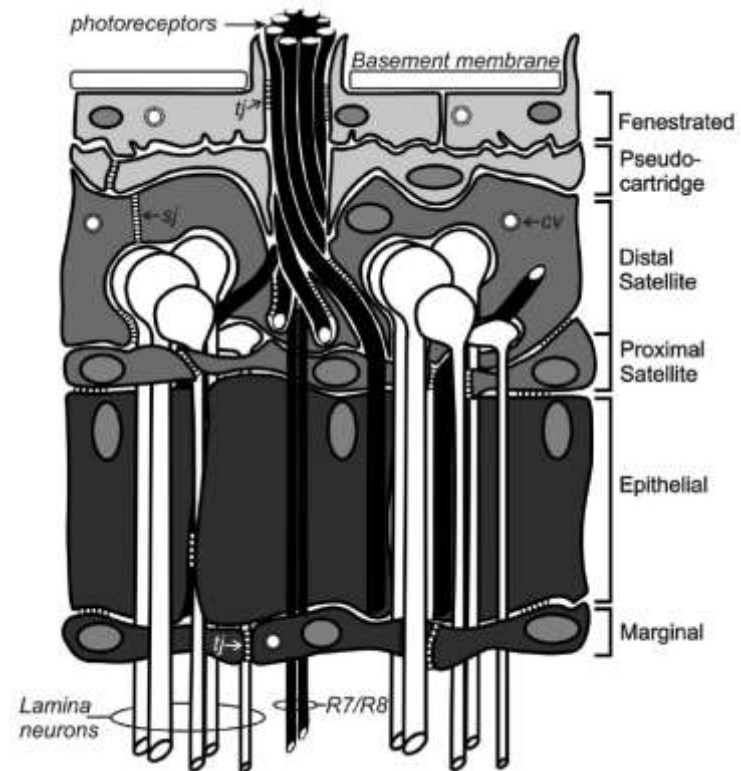
Mnoho gliových vrstev v lamině – prvním neuropilu pod sítnicí.  
Mohou zasahovat do přenosu signálu z oka.



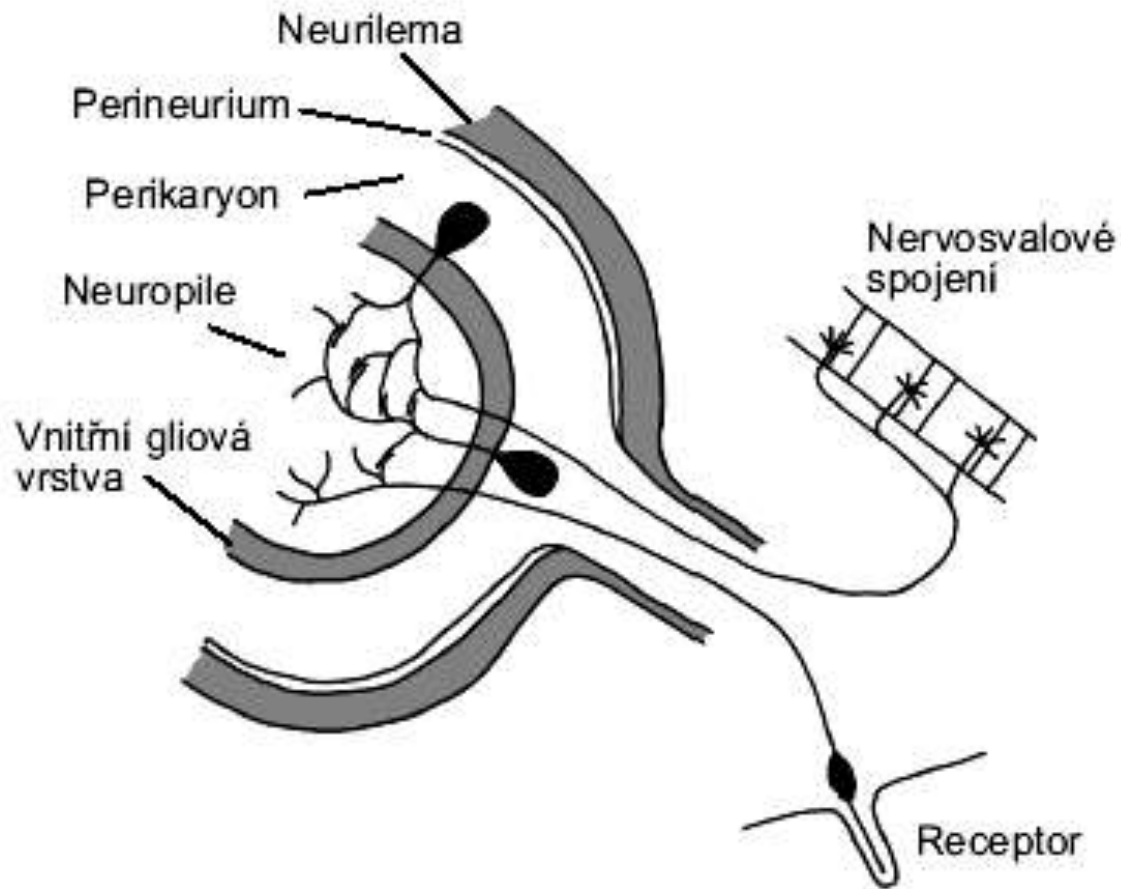
# Úloha gliových buněk

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

Mnoho gliových vrstev v lamině – první neuropile pod sítnicí.  
Mohou zasahovat do přenosu signálu z oka.



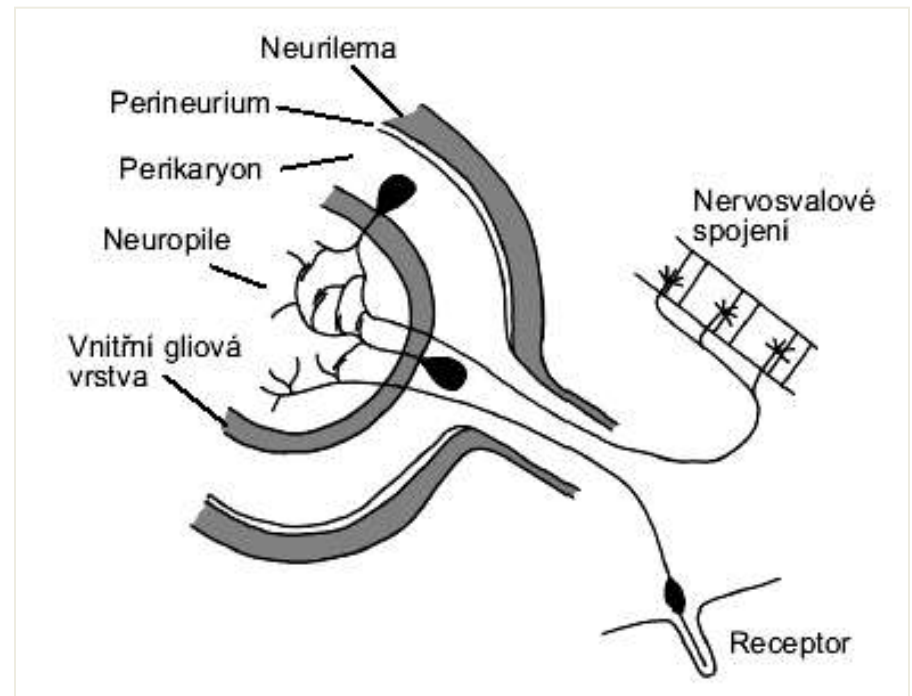




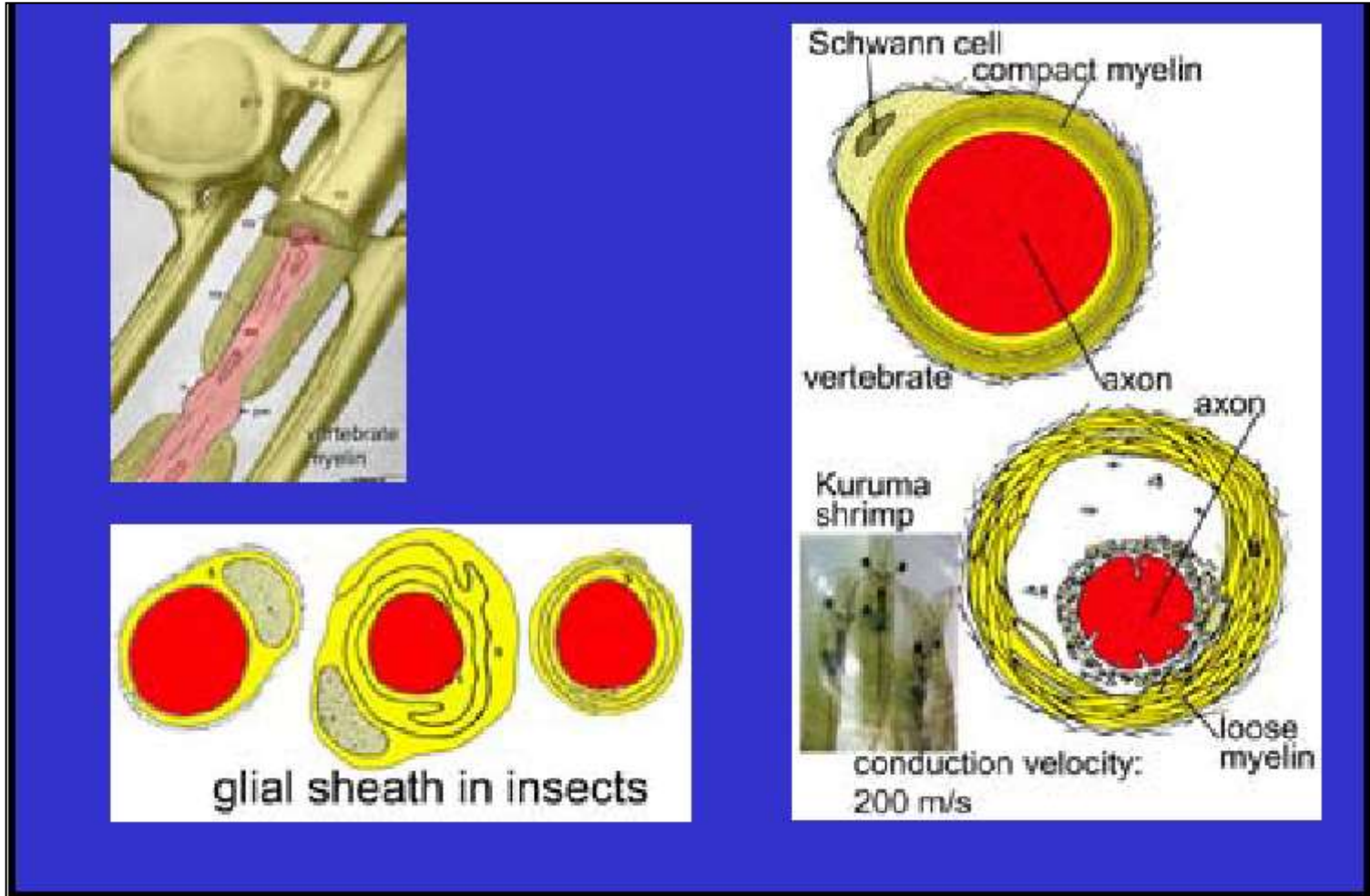
Axony jsou navzájem izolovány **neurilemou** produkovanou gliovými buňkami ležícími ve vrstvě pod ní. Je to nebuněčná vrstva složená z kolagenních vláken spojených mukopolysacharidovou a mukoproteinovou matrix.

## 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, kolísá v hmyzí hemolymfě 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  $\text{Na K}$  pumpy.



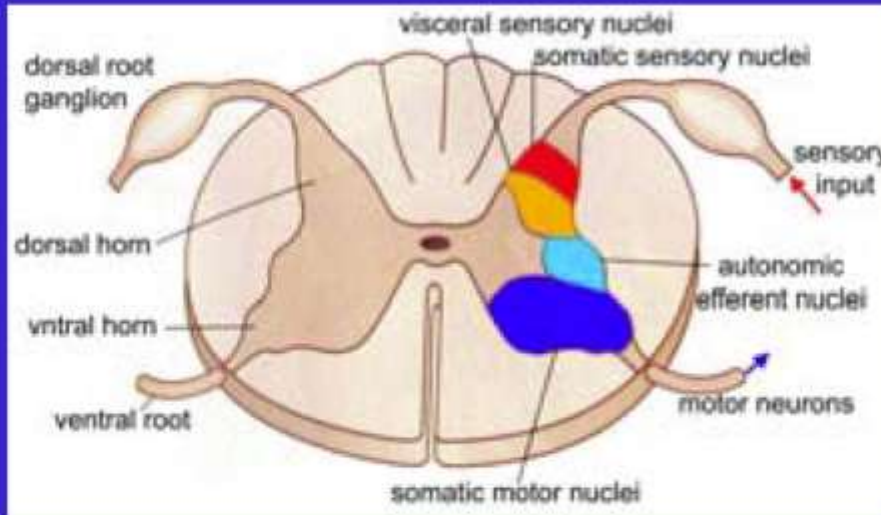
# Členovci ale bez pravé myelinizace



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.

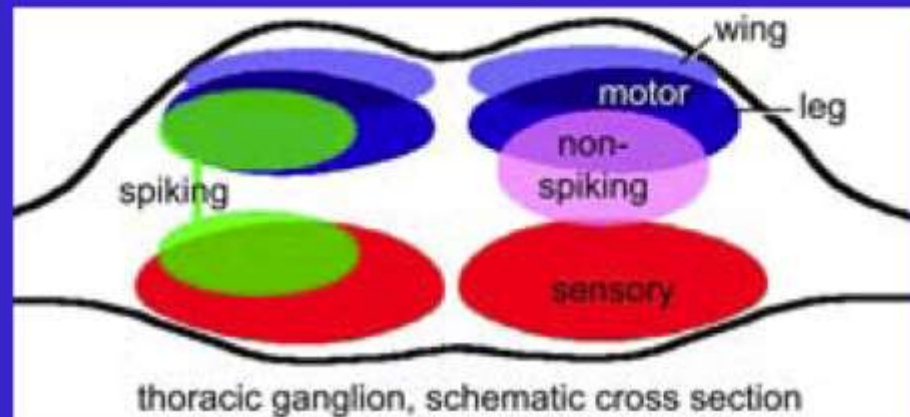
Podobně jako v míše existuje organizační oddělení drah.

## dorso-ventral organization



vertebrates

arthropods



thoracic ganglion, schematic cross section







## Měkkýši

Druhým největším kmenem živočišné říše s více než 120,000 druhy. Plži jsou nejpočetnější se 105,000 druhy. Mají jednoduchou nervovou soustavu.

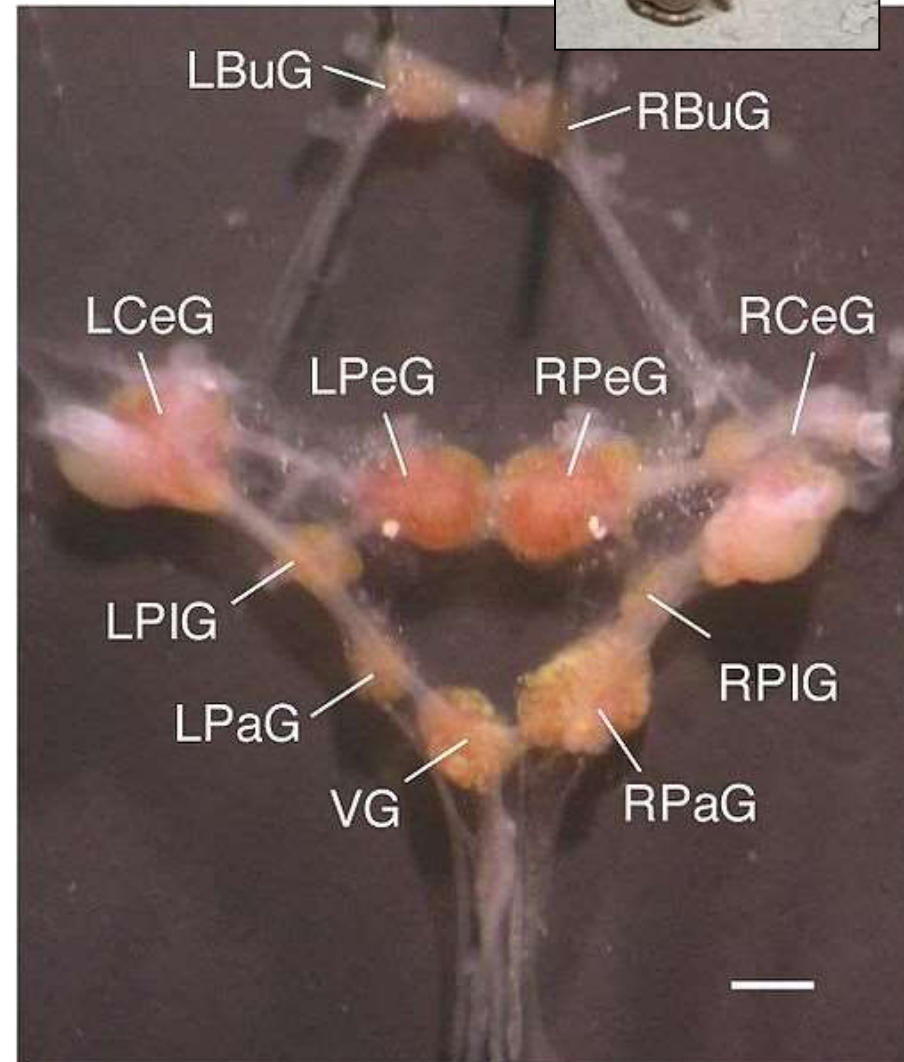
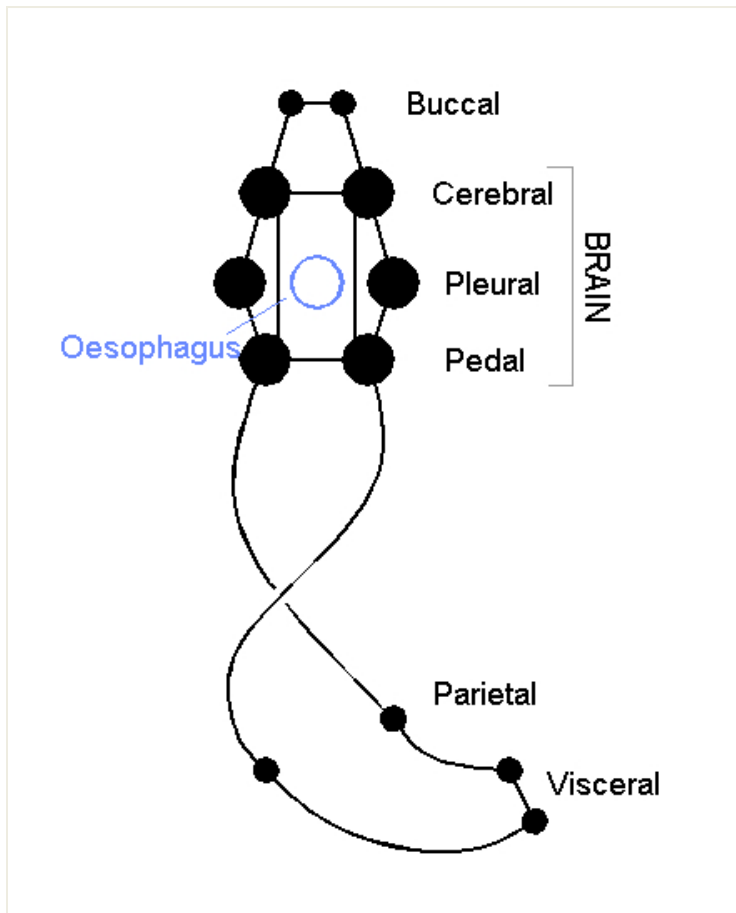
Figure 1: Model Gastropod Neuroscience Species. From top: [\*Helisoma trivolvis\*](#), [\*Clionelima\*](#), [\*Hermisse\*](#), [\*nda\*](#), [\*crassicornis\*](#), [\*Tritonia\*](#), [\*diomedea\*](#), [\*Lymnaea\*](#), [\*stagn\*](#), [\*alis\*](#), [\*Pleurobranchaea\*](#), [\*californica\*](#), [\*Aplysia\*](#), [\*californica\*](#)



# Neurofyziologie plžů – vynikající model



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



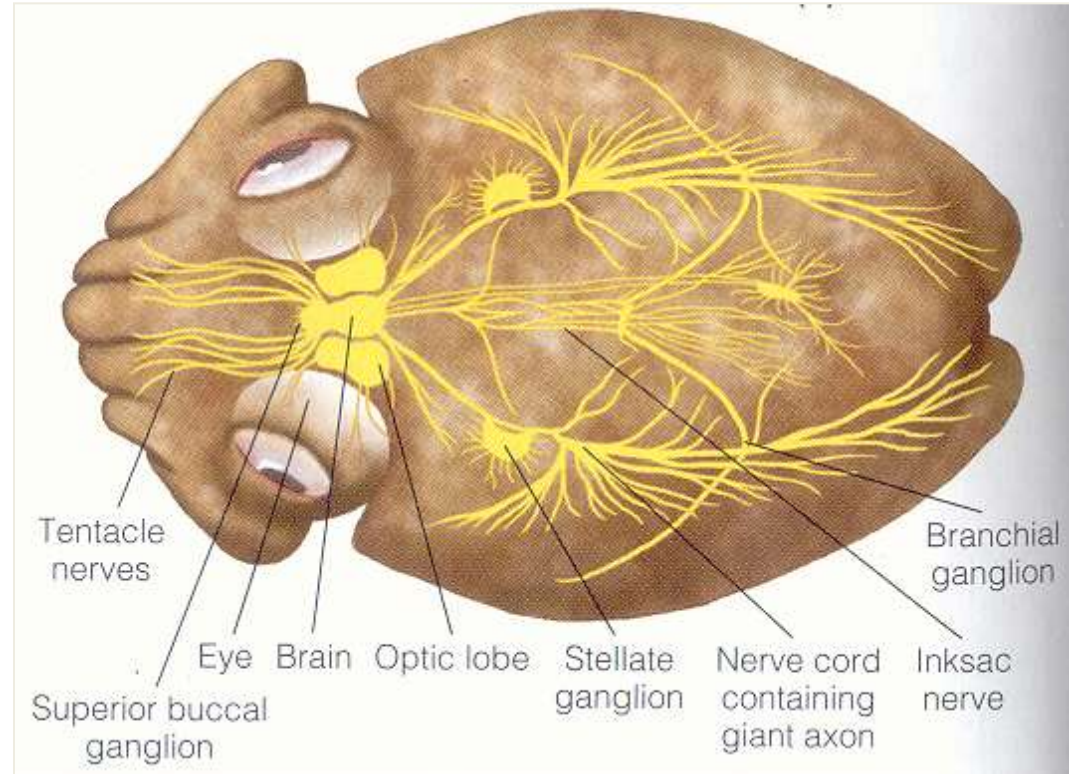
# Ale: Hlavonožci

Ganglia po celém těle, ale hlavové u hlavonožců obrovské. Mozek chobotnic má asi 500 mil. neuronů, tedy asi jako pes, 6x víc než myš ( $10^3$  má pijavice). 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 – „teď 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.

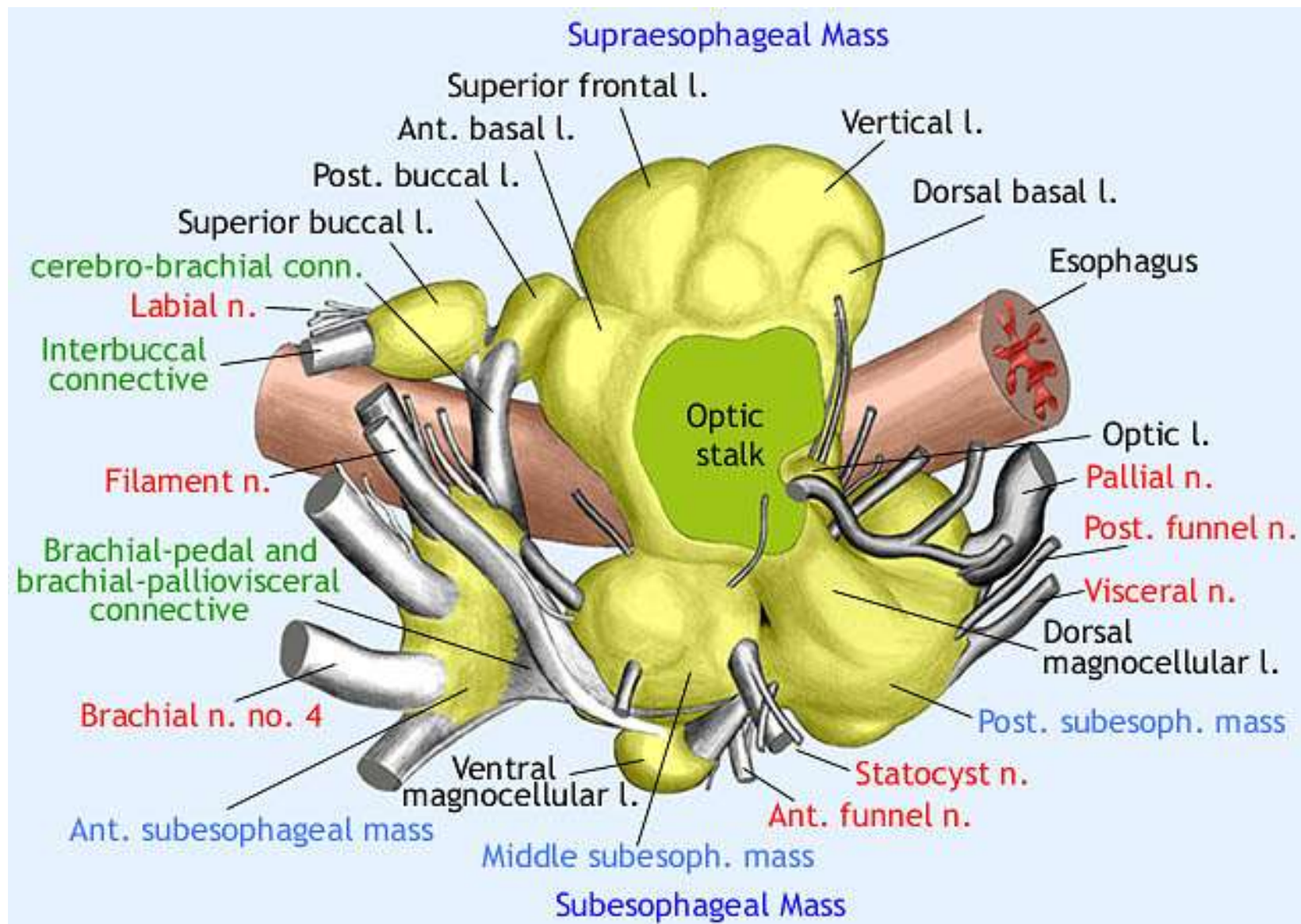
Složité chování, postoje zastrašování, páření, učení, orientace v labyrintu. Snad i individuální rozlišování a barvoměna. Několik desítek barevných vzorů podle typu chování: páření, obhajoba teritoria, poplach. Někteří badatelé mají za to, že jde dokonce o

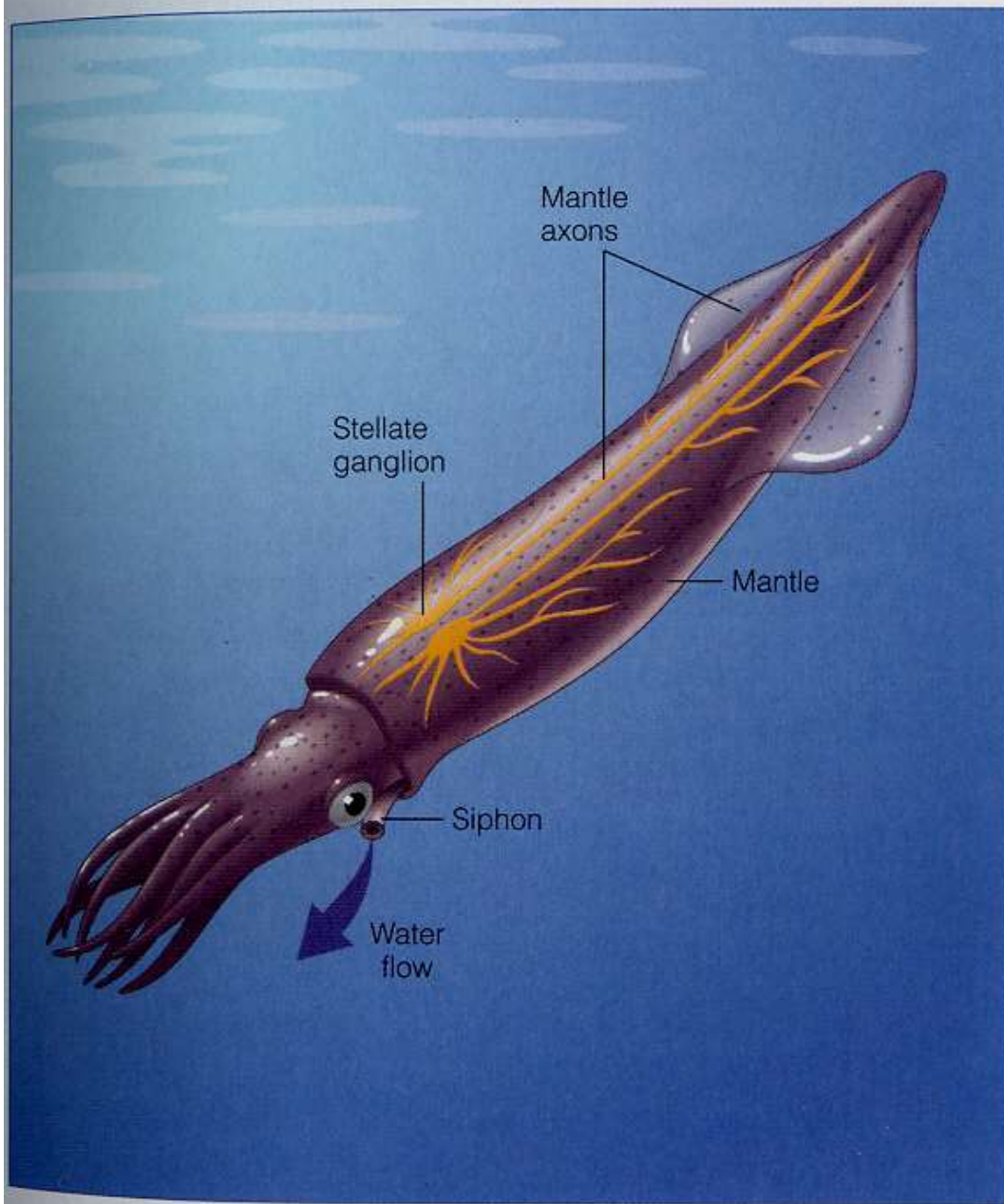
formu jazyka. Barvoměna je typu kamufláže, mimiker, napodobují např. mořské hady nebo rybu či hvězdici. Navzdory podobnostem s obratlovcím mozkiem se hlavonožčí vyvinul zcela nezávisle – některé struktury jsou jiné. Např. je vystavěn okolo jícnu místo aby ležel odděleně v kranii. To je ovšem zranitelnější umístění.





# Mozek hlavonožců – obklopuje jícen





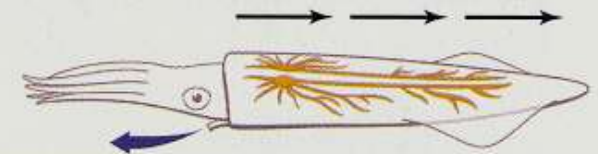
1 The mantle cavity fills with water.



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



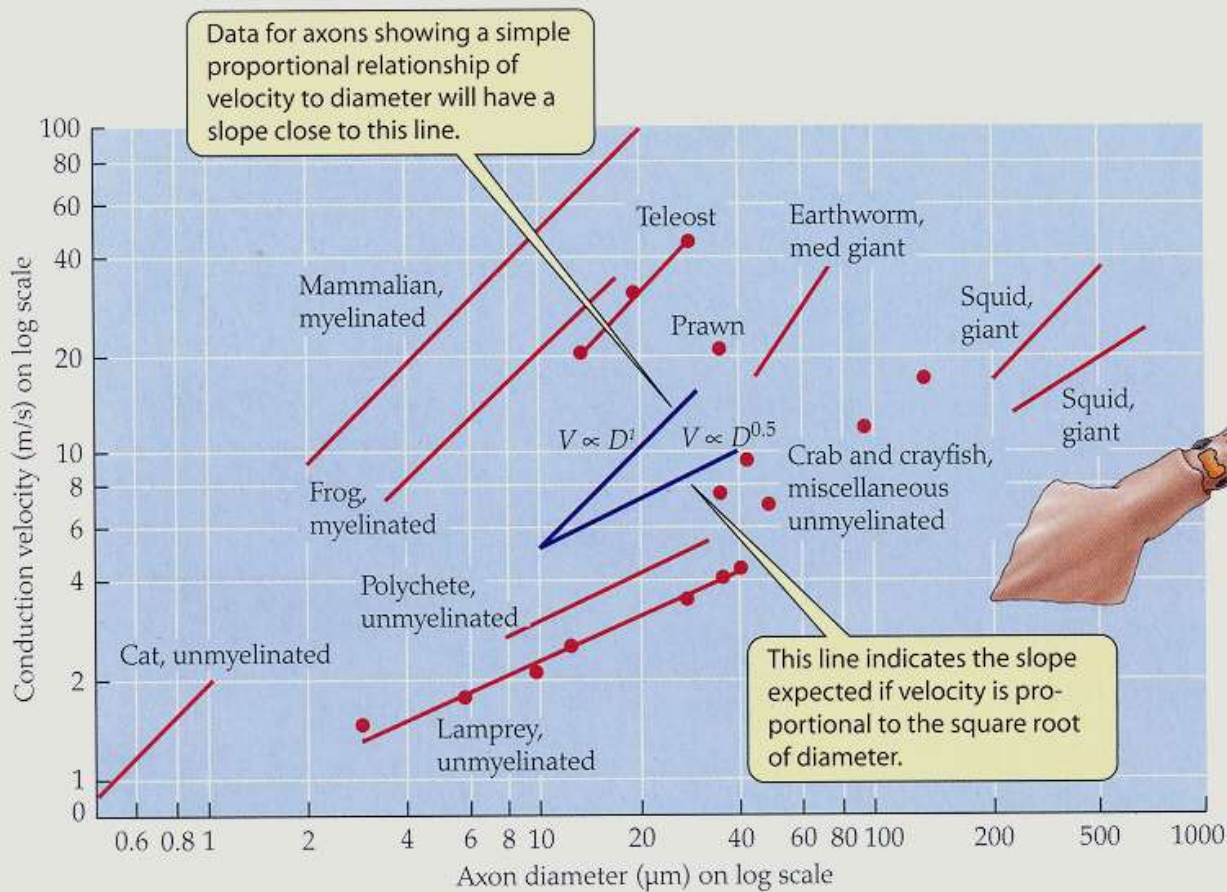
3 Nerve impulses reach the muscle at many points in the mantle cavity.



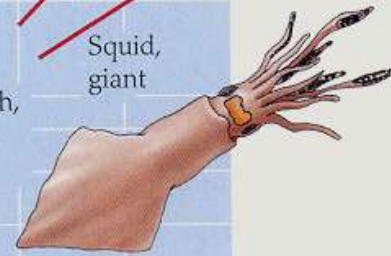
4 The muscles of the mantle contract synchronously, rapidly closing the mantle, forcing water out the siphon, producing rapid jet propulsion.

Pro rychlou útěkovou reakci hlavonožců je nutné rychlé vedení.



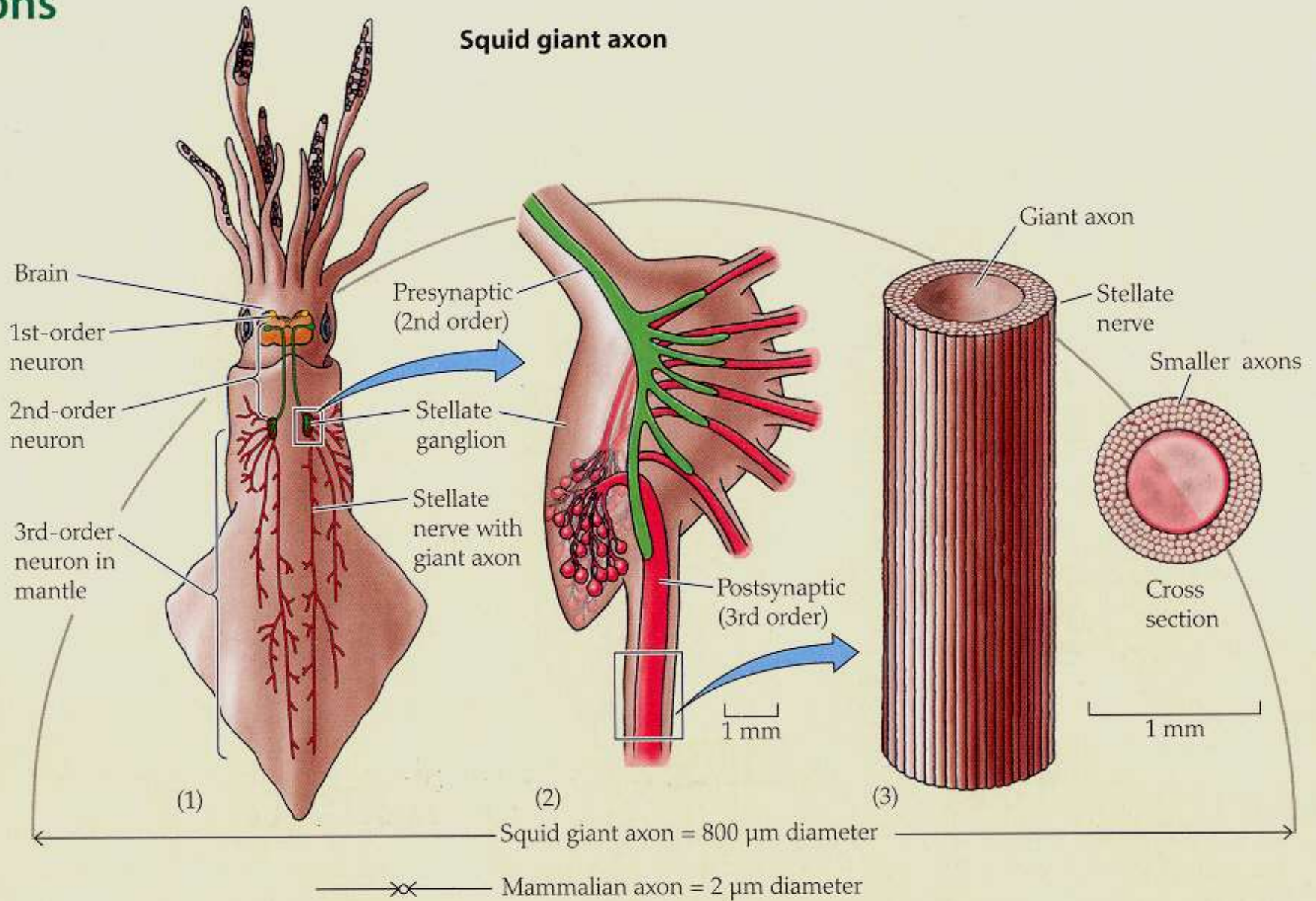


**Figure 11.27** The velocity of nerve-impulse conduction increases with increasing axon diameter in both myelinated and unmyelinated axons. Points not connected by lines are axons of different types. (After Bullock and Horridge 1965.)



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

### Squid giant axon



Srovnání průměrů

Tohle jsou příbuzní hlemýžd'ů?

[Chobotnice ukrytá v láhvi](#)

Mimikry chobotnice

Chobotnice s kokosákem

# Hmyz

<https://projects.ncsu.edu/cals/course/ent425/library/tutorials/behavior/nervous.html>

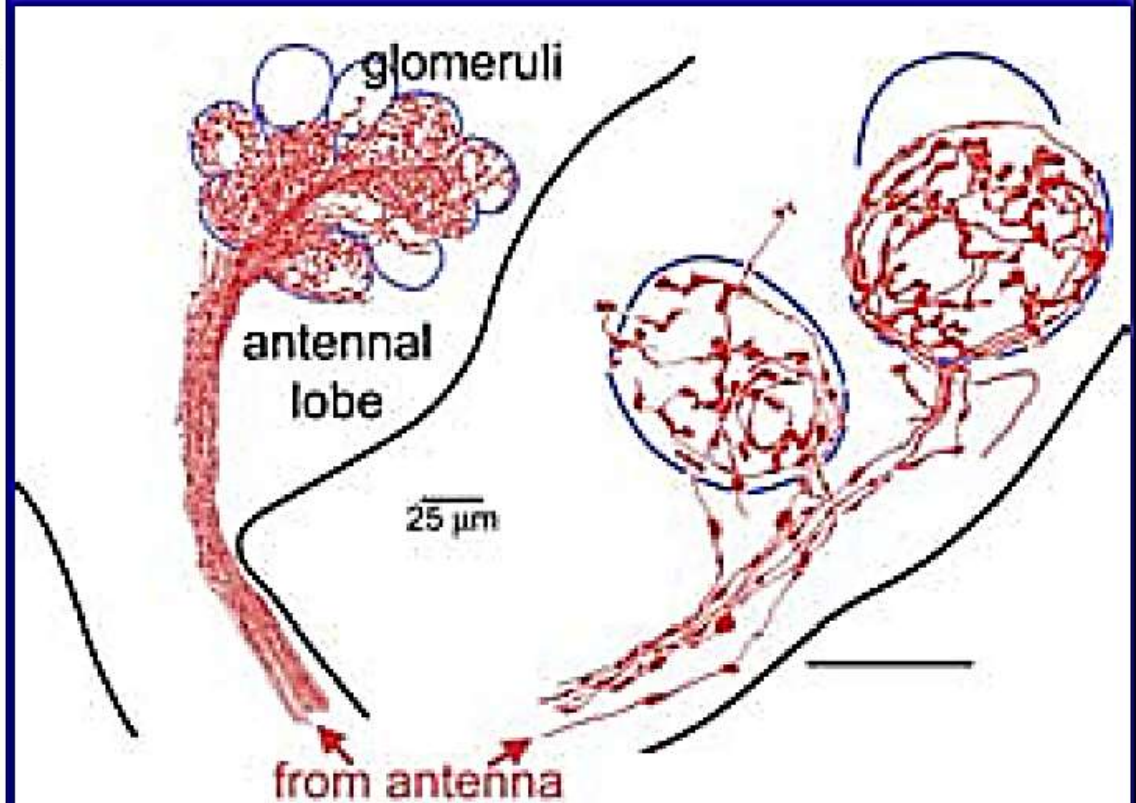
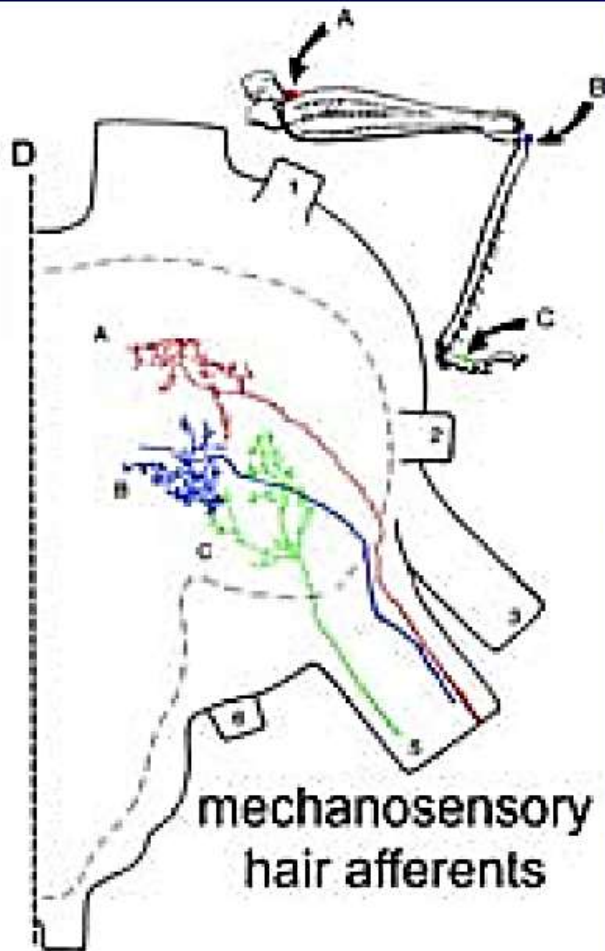
## **Types of neurons**

- sensory (afferents)
- interneurons
  - local
  - projection
- motor (efferents)
- neurosecretory

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

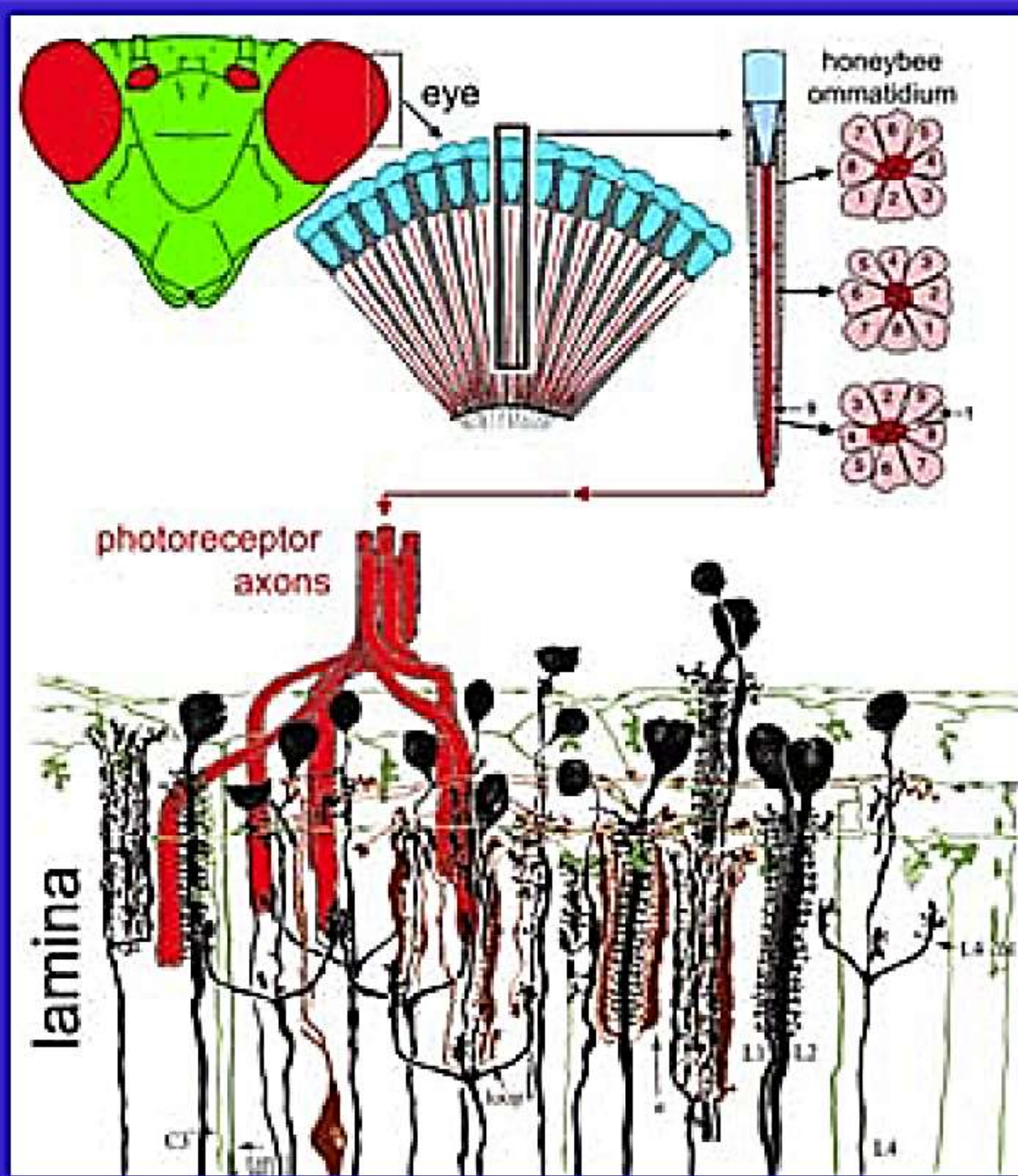


# sensory neurons



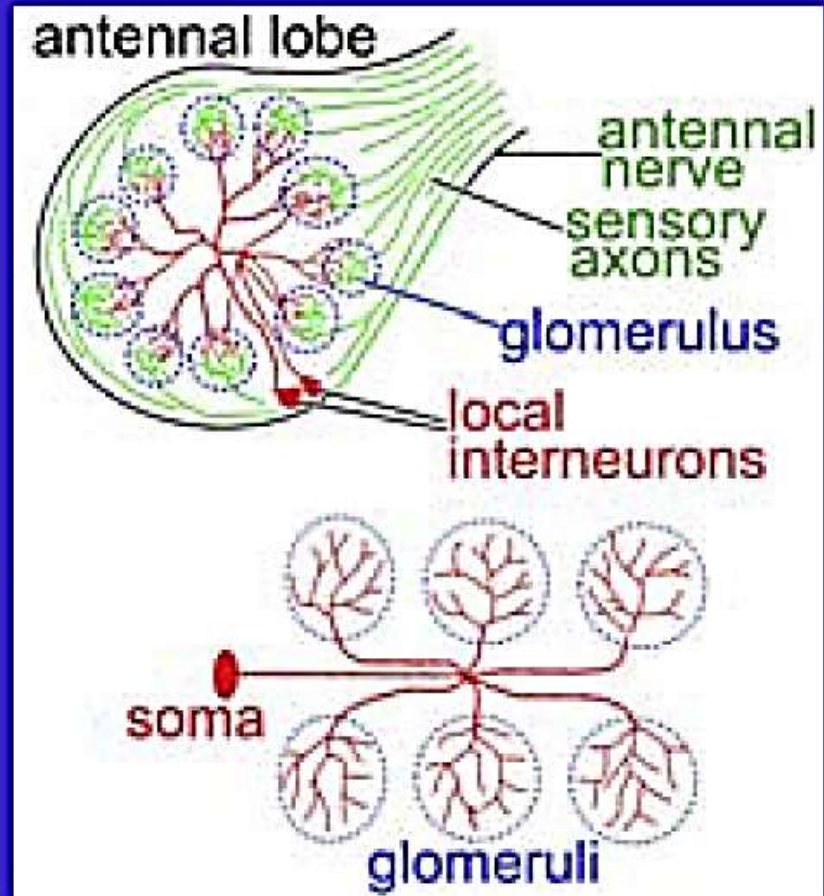
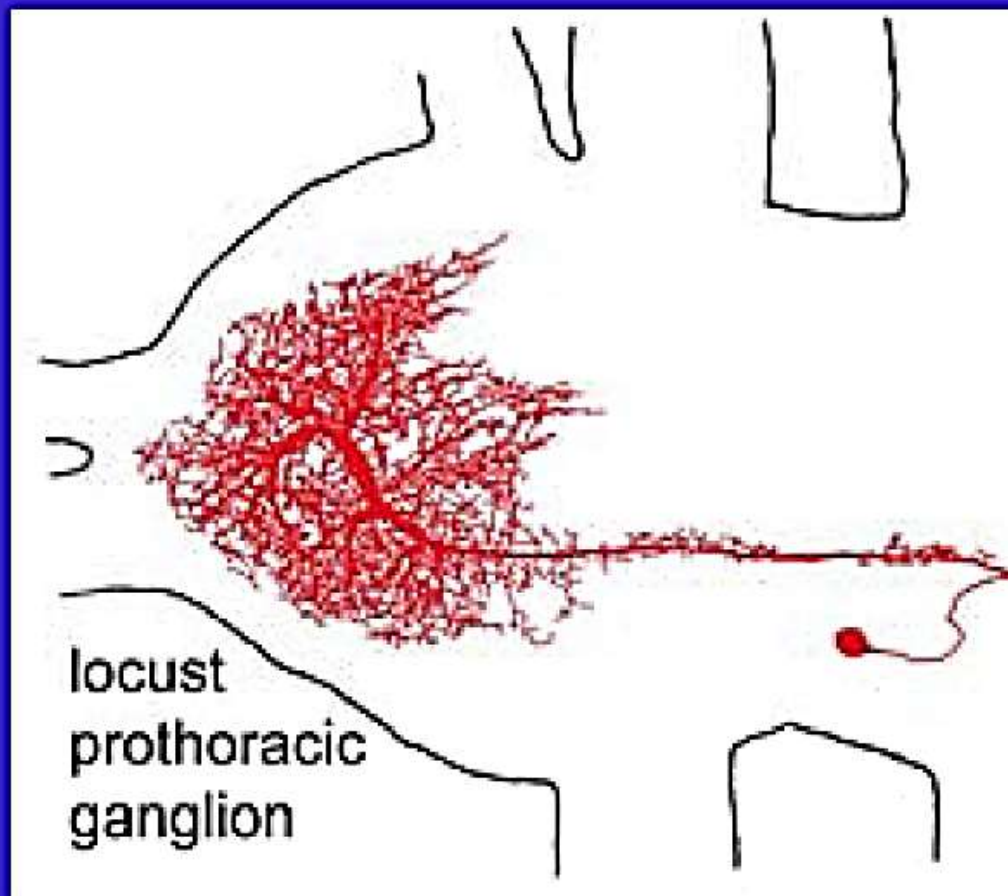
olfactory afferents

Photo-  
receptor  
afferents  
to the  
lamina





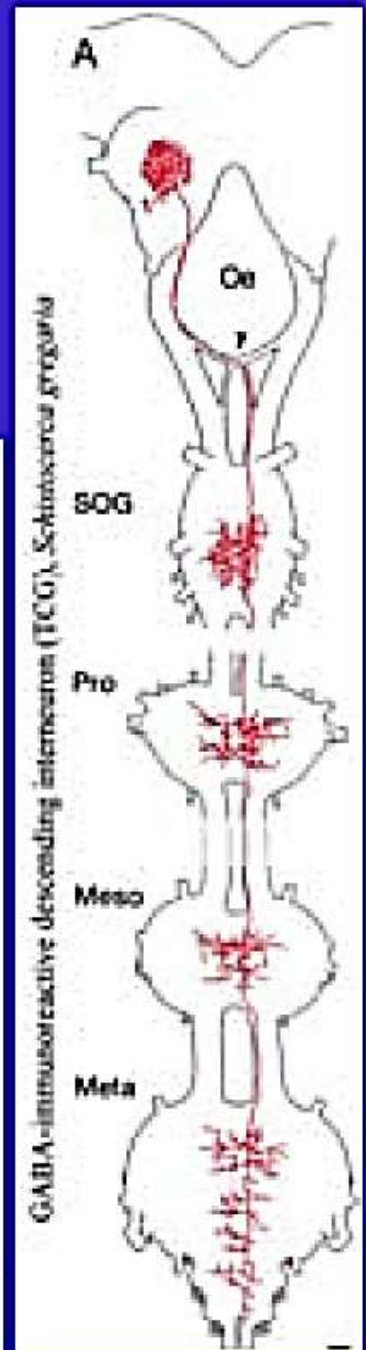
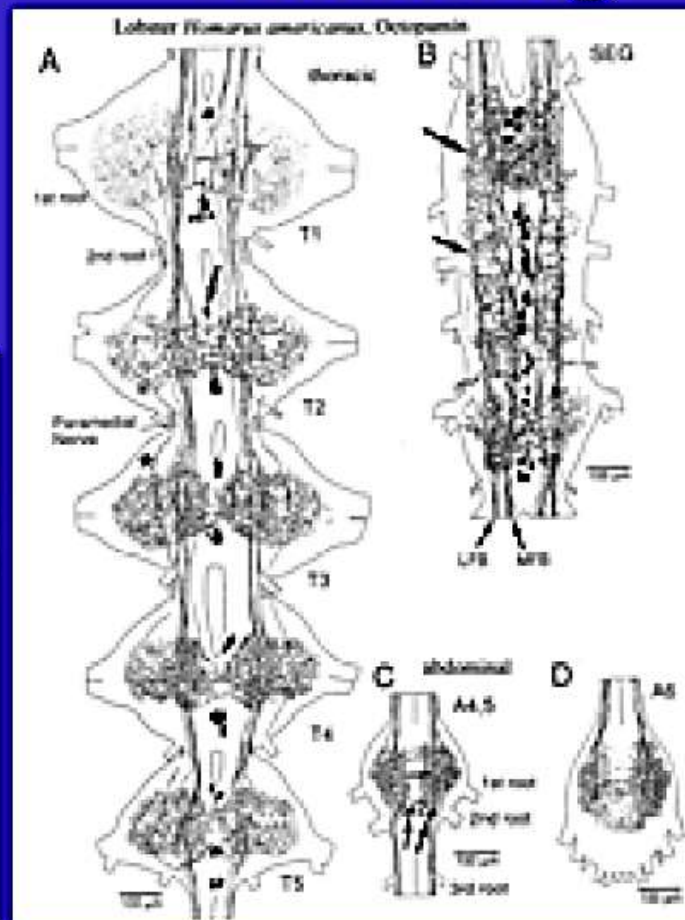
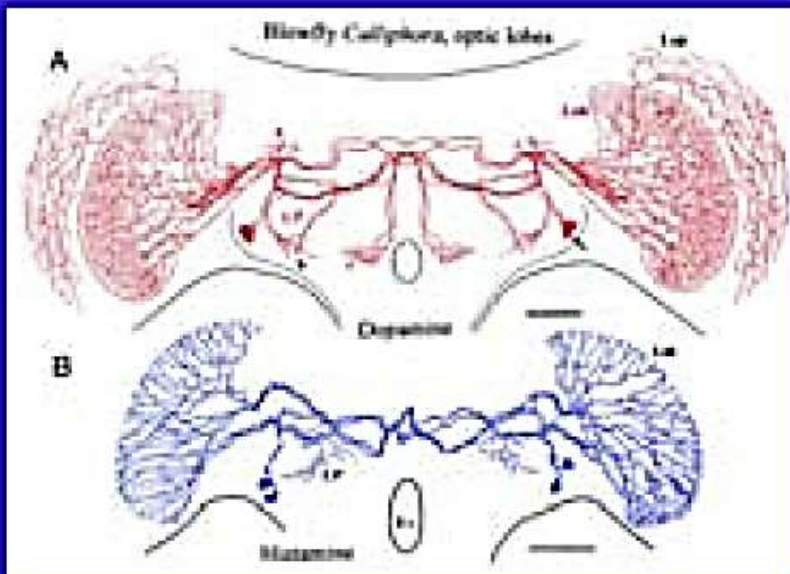
# Local interneurons



# projection neurons

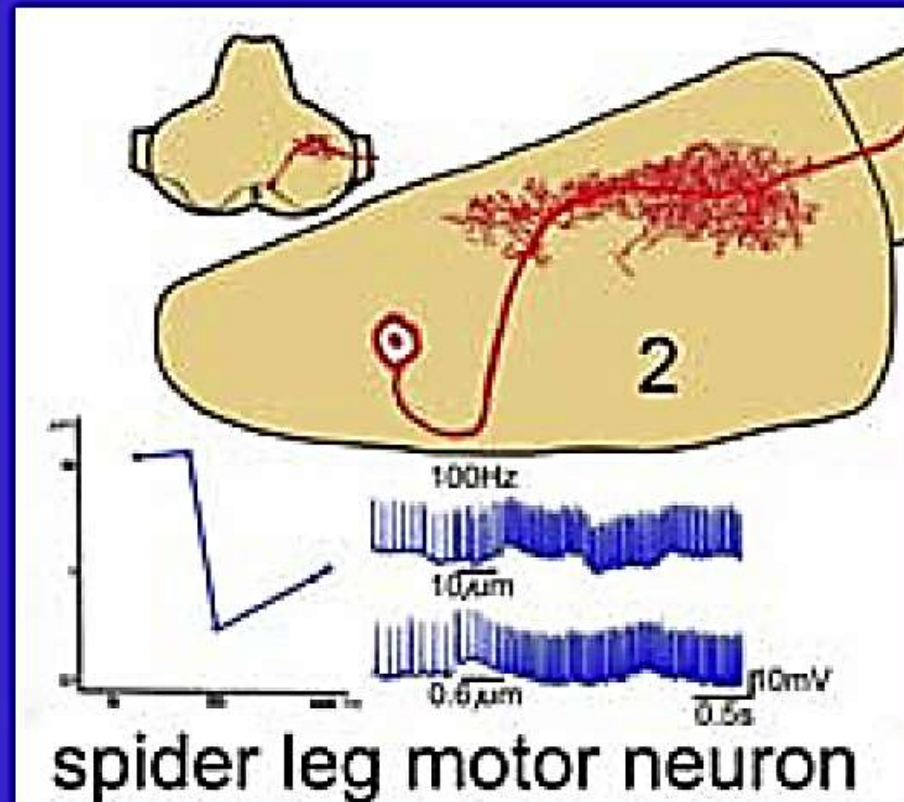
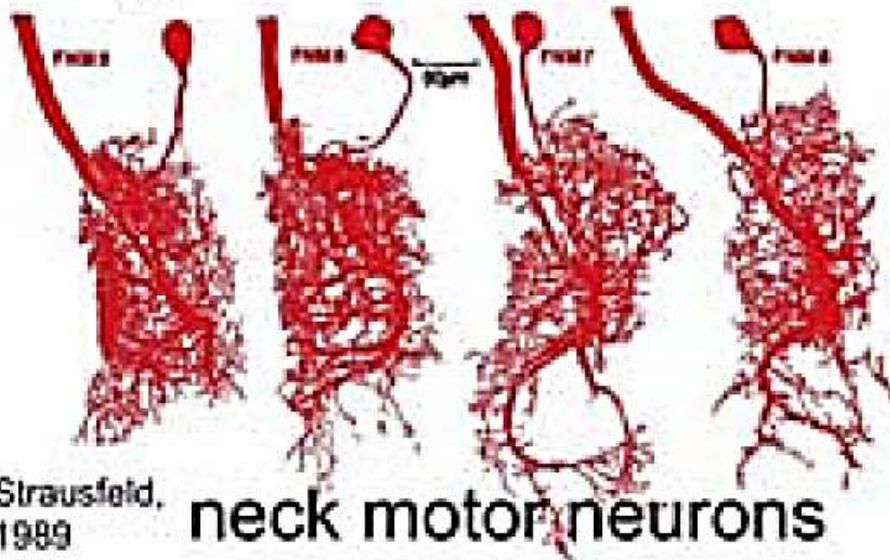
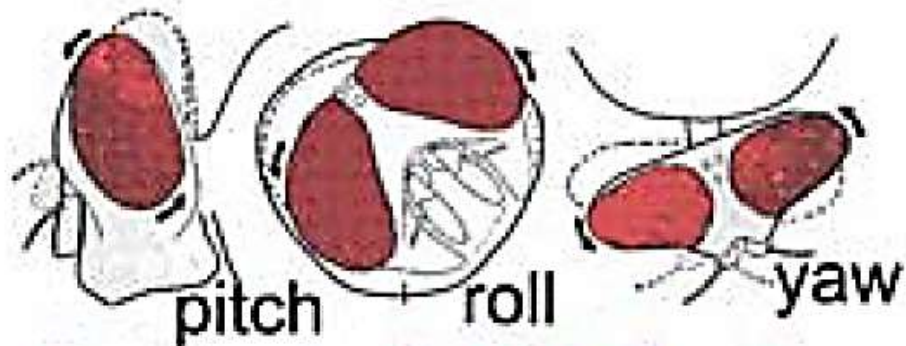
ascending /  
descending

bilateral





# motor neurons



# Neurosekrece

- Neurotransmittery (ACh-excitační, dopamin, histamin, GABA-inhibiční) – trvání působení ms
- Neuromodulátory (peptidy proctolin, octopamin)-  
sekundy
- Neurohormony (PTTH, antidiuretický, AKH...) – min-  
hod

Přechody mezi  
synaptickou a  
parakrinní a  
endokrinní sekrecí  
peptidů.

Modulátory upravují  
účinnost přenosu.

Všudypřítomnost  
nervových zakončení  
a  
neurosekretorických  
orgánů.

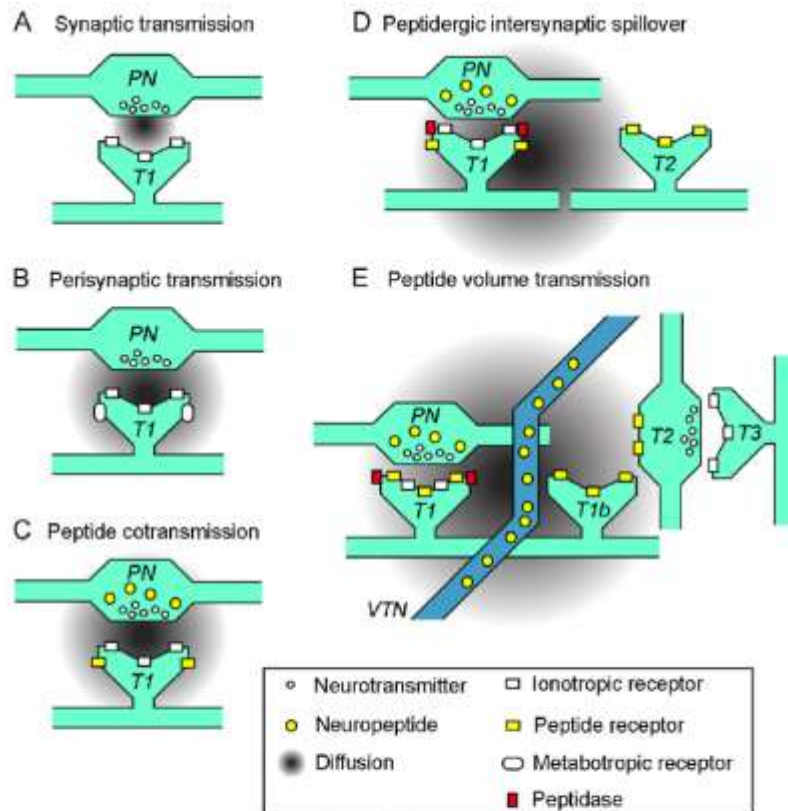


Fig. 1. Overview of main types of neurotransmission in CNS circuits. The figure gives examples of different ranges over which neurotransmitters and neuropeptides may act (A) in a simple synapse the presynaptic neuron (PN) releases a classical transmitter into the synaptic cleft and the transmitter binds to ionotropic receptors on the postsynaptic membrane of the adjacent target neuron (T1). Excess transmitter is taken up from the cleft by membrane transporters or is inactivated by extracellular enzymes (B). A synapse where neurotransmitter spillover acts on metabotropic receptors in the perisynaptic region of the postsynaptic neuron (T1). It is also common that metabotropic receptors are found on the presynaptic neuron (perisynaptically). (C) A neuron with a colocalized neurotransmitter and a neuropeptide, located in large dense core vesicles in the perisynaptic region. Peptide release is likely to occur perisynaptically and peptide acts on GPCRs also located perisynaptically. Peptide release may require stronger depolarization of the presynaptic neuron than neurotransmitter release. (D) Peptide released at a synapse may spill over and diffuse also to nearby target neurons (T2). The action of the peptide at the different target neurons may be limited by proteolytic peptidase activity (red box) at some sites. Thus T1 may get exposed to active peptide for a shorter duration than T2. (E) Volume transmission (or paracrine release) provides a diffuse spread of neuroactive compounds over large parts of synaptotoneuronal neuropil. Here a neuropeptide is released nonsynaptically from a varicosity of a neuron (VTN). The action of the peptide on its targets is limited by the distance to cognate receptors: the peptide can be diluted with distance, but also inactivated by membrane bound peptidases. In this example the diffusing peptide can act on different types of targets (T1-T2): peptide cotransmission at T1, peptidergic action at another part of the same neuron (T1b), "presynaptic" action at T2 to modulate transmitter release (acting on T3). This figure is altered from Nassel (2009), a figure which in part was based on concepts in a figure from Szapiro and Barbour (2009).

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

Stomatogastrický-frontální g., front. konektivy. Z mozku n. connectivus a nad střevem n. recurrelis a hypocerebrální g.: řídí činnost střeva a srdce

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 symp. sst: nn vycházejí z posledního zadečkového ganglia a inervují pohlavní orgány a zadní konec střeva

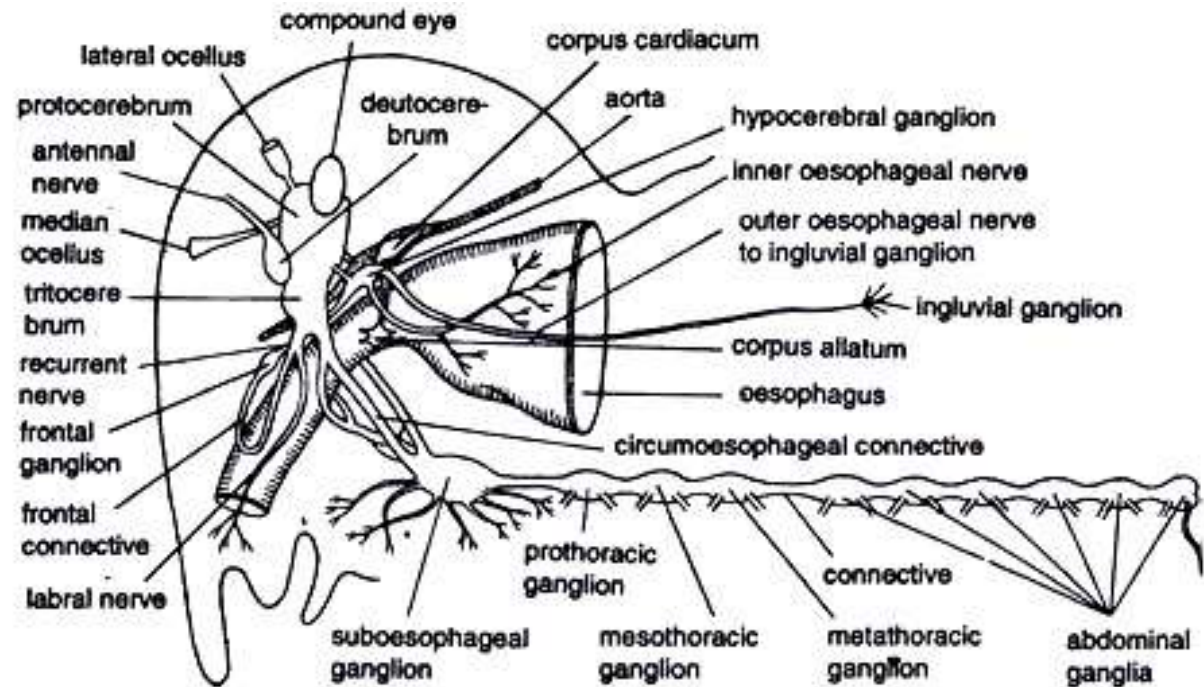


Fig. 6.6 : *Periplaneta sp.* Visceral nervous system (Lateral view)





# Mozek hmyzu

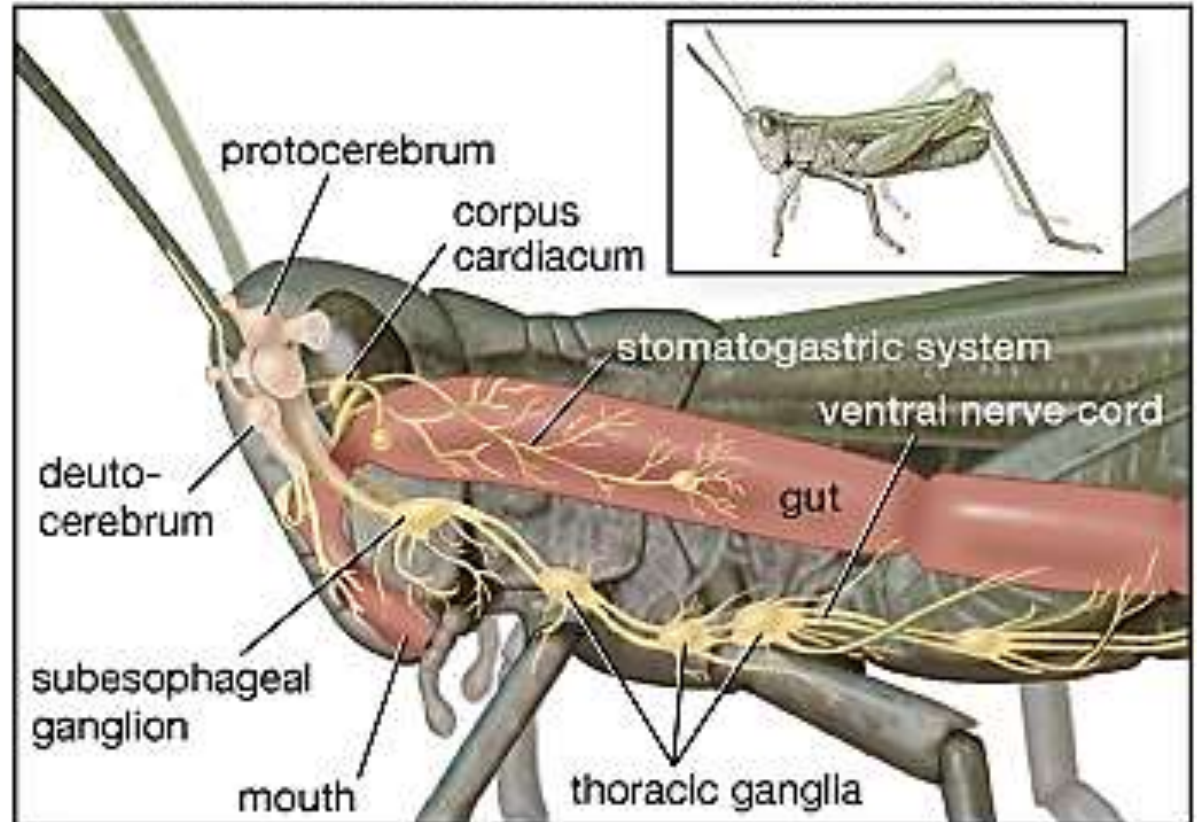
## Autonomie vs. centrální řízení (inhibice)

Reflexní pohyby jednotlivých tělních segmentů samy o sobě jsou účelné pouze v omezeném rozsahu. Jsou-li však koordinovány mozkiem, jsou účelné i z hlediska celého organismu.

Např. čistící pohyby u včely mohou po odstranění mozku a ponechání podjícnové uzliny pokračovat celé hodiny.

Mozek zpravidla tlumí aktivitu tělních ganglií. Páření kudlanky. Tělo samce bez hlavy dokončí páření ještě intenzivněji.

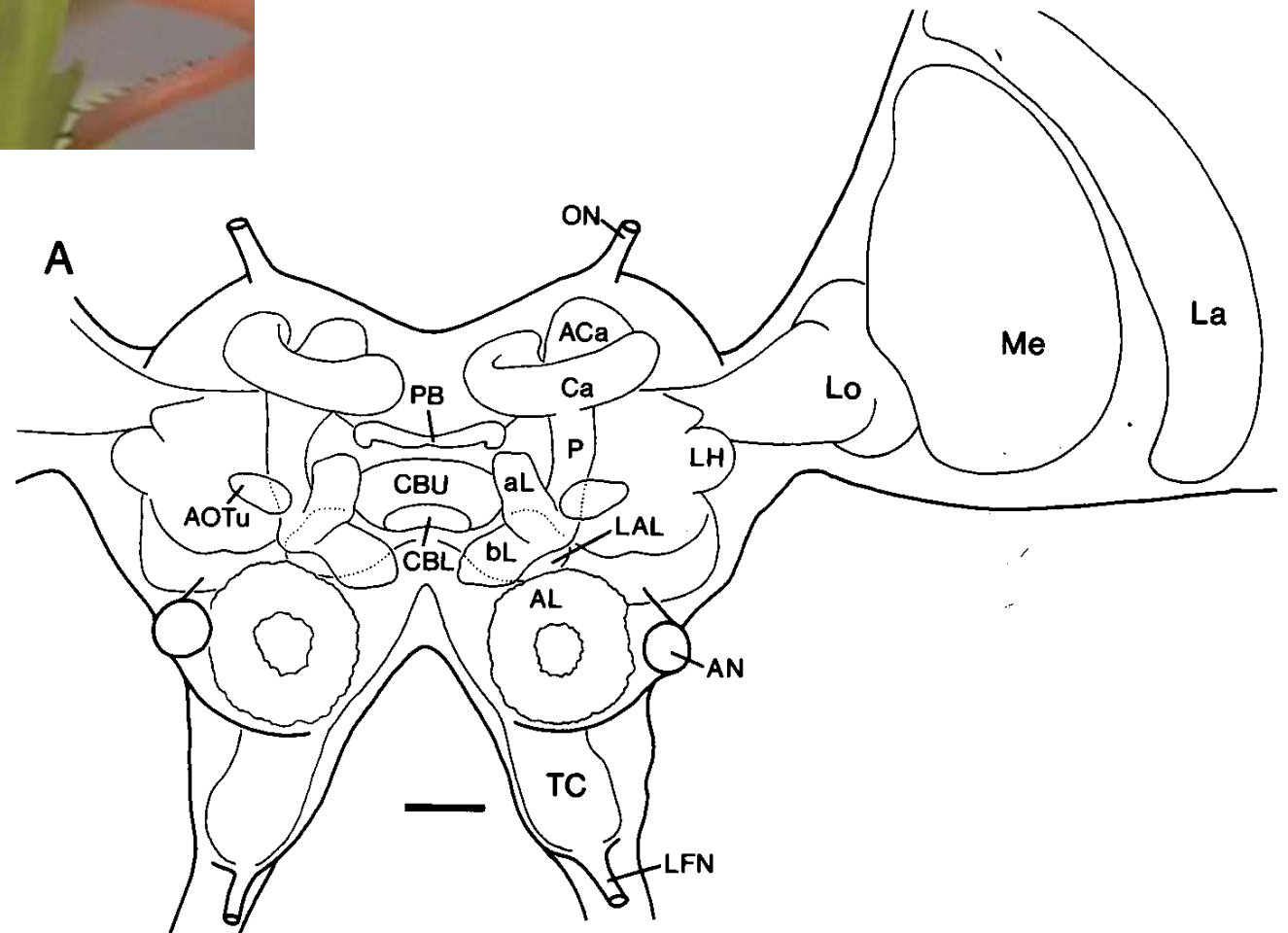
## Nervous system of the arthropod (grasshopper)





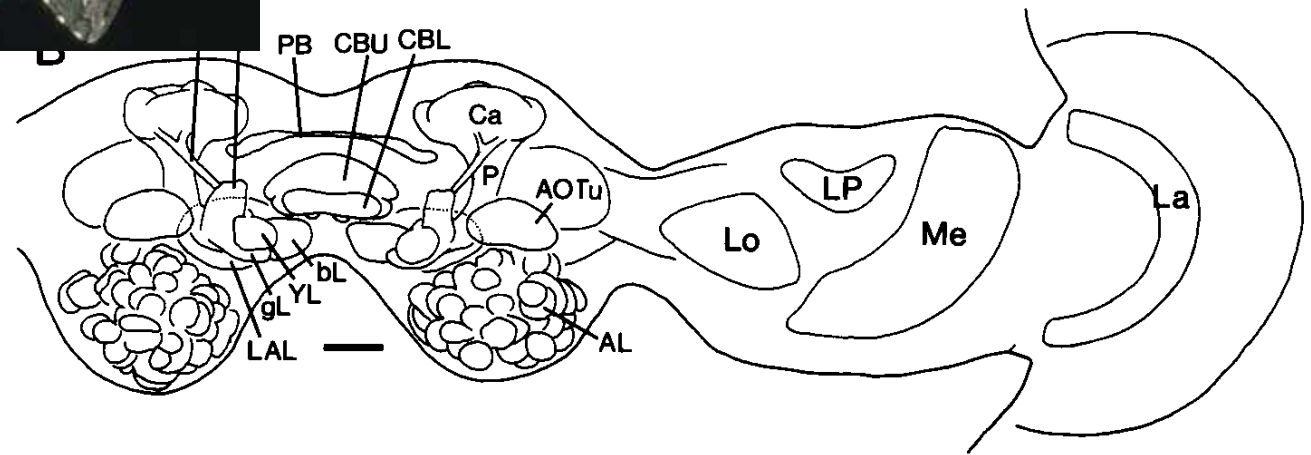
Modelový druh: *Schistocerca gregaria*

- Lamina
- Medula
- Lobula
- Antenal lobes
- Mushroom bodies
- Central Complex:
- Central Body
- Protocerebral Bridge
- Lateral Acc. Lobe





## Manduca sexta

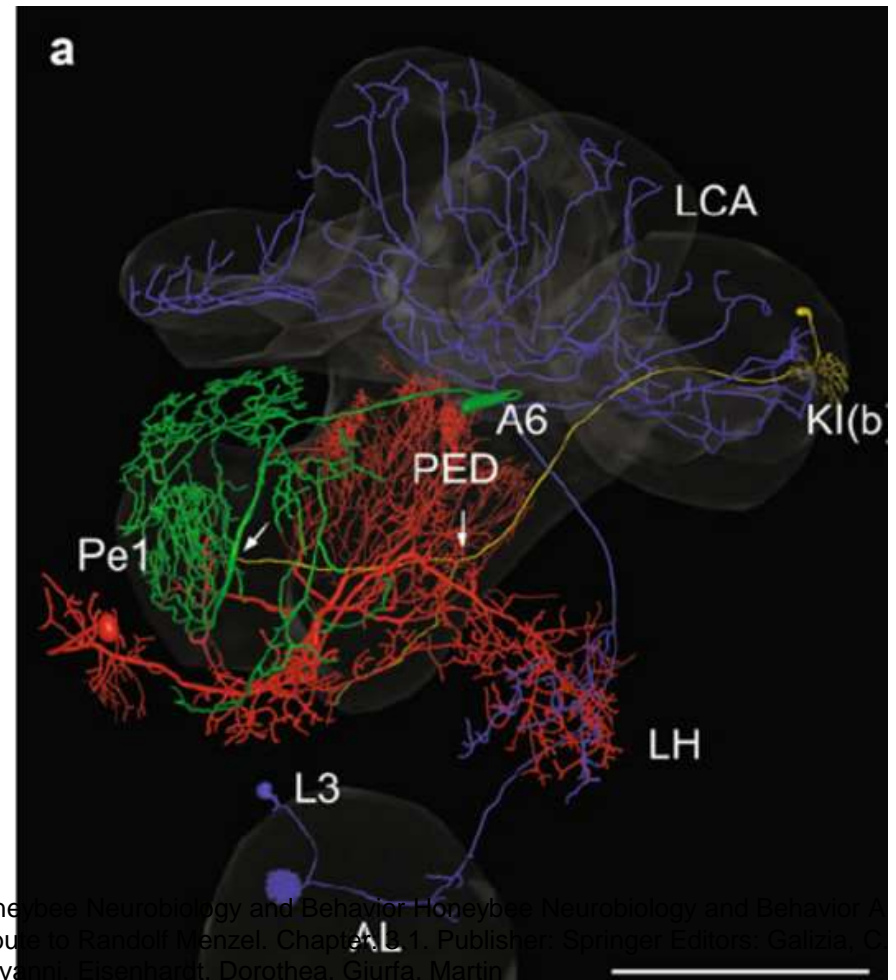
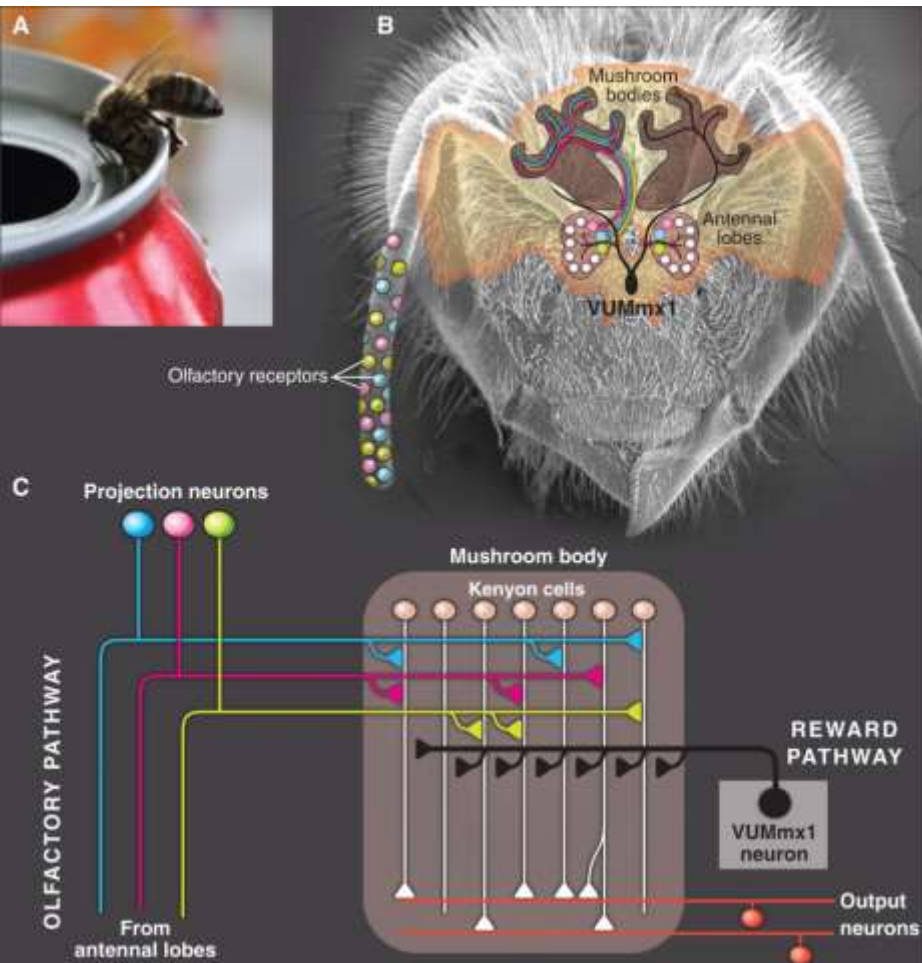


**Fig. 1:** Neuropil structures in the insect brain. **A.** Frontal diagram of the brain of the locust *Schistocerca gregaria*. **B.** Horizontal view of the brain of the sphinx moth *Manduca sexta*. In both figures the left optic lobe has been omitted. The optic lobe consists of the lamina (La), the medulla (Me), and the lobula complex (Lo). In the moth, the lobula plate (LP) can be distinguished from the lobula proper. Subdivisions of the mushroom body are the calyx (Ca), the pedunculus (P), and the  $\alpha$ - and  $\beta$ -lobe (aL, bL). In the locust mushroom body, an accessory calyx (ACa) and, in the moth, a secondary pedunculus (SP), a  $\gamma$ -lobe (gL), and a Y-lobe (YL) are present. The central complex consists of the upper and lower division of the central body (CBU, CBL) and the protocerebral bridge (PB). In **A**, the antennal, the ocellar and the labro-frontal nerves (AN, ON, LFN) are shown. Other brain areas: AL, antennal lobe; AOTu, anterior optic tubercle; LAL, lateral accessory lobe; LH, lateral horn of the protocerebrum; TC, tritocerebrum. Scale bar: 200  $\mu$ m.



**Tzv. houbovitá tělíska (*corpora pedunculata*) v mozku, tvořená skupinami vmezeřených neuronů, jsou považována za asociační centra regulující chování hmyzu. Jsou spolu s centrálním tělesem značně vyvinuta u společenského hmyzu (mravenců a včel).**

Nutné pro čichovou paměť. Laterální roh dostává informace z antenálního laloku. U některých druhů zpracovávají také zrakové a mechanosensorické vstupy. Jsou nezbytné pro vytvoření paměťových stop.



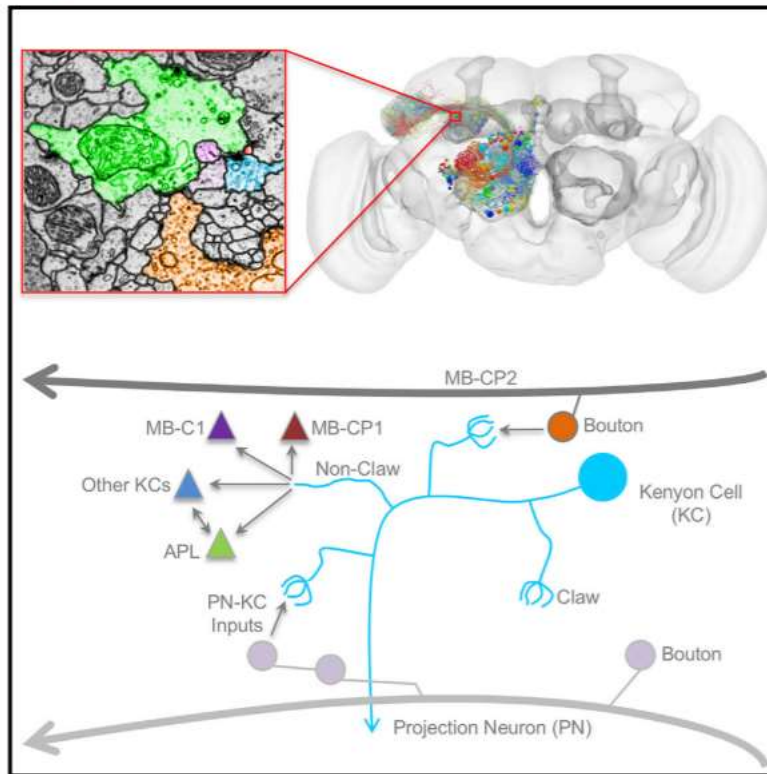
# Mozek hmyzu

Cesta k pochopení rozhodování, paměti.

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