

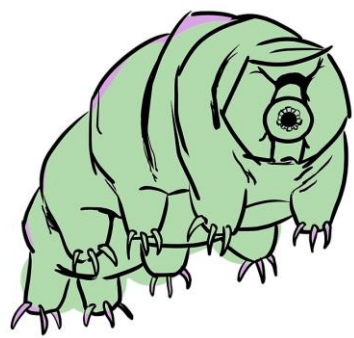
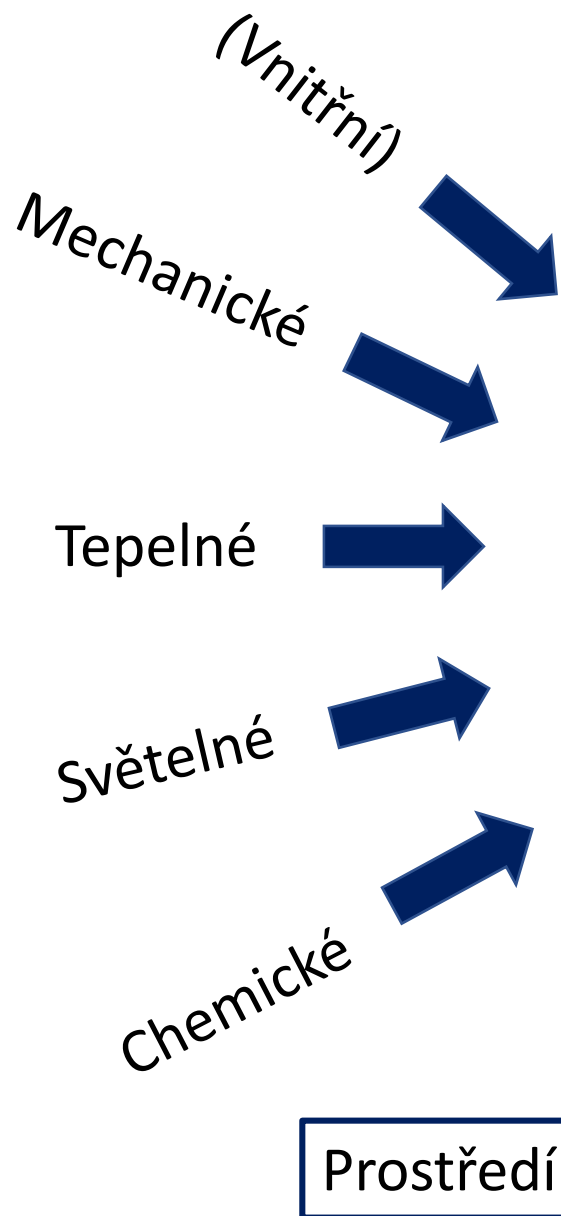


# Nervová soustava

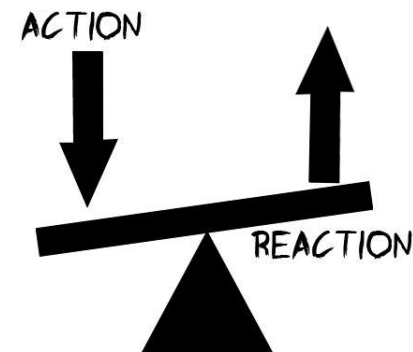
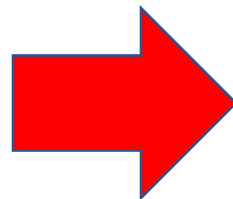
Evolve bezobratlých pro pokročilé

Vladislav Ilík

# K čemu slouží nervová soustava??



Organismus



Reakce na podnět

# Jak funguje nervová soustava??

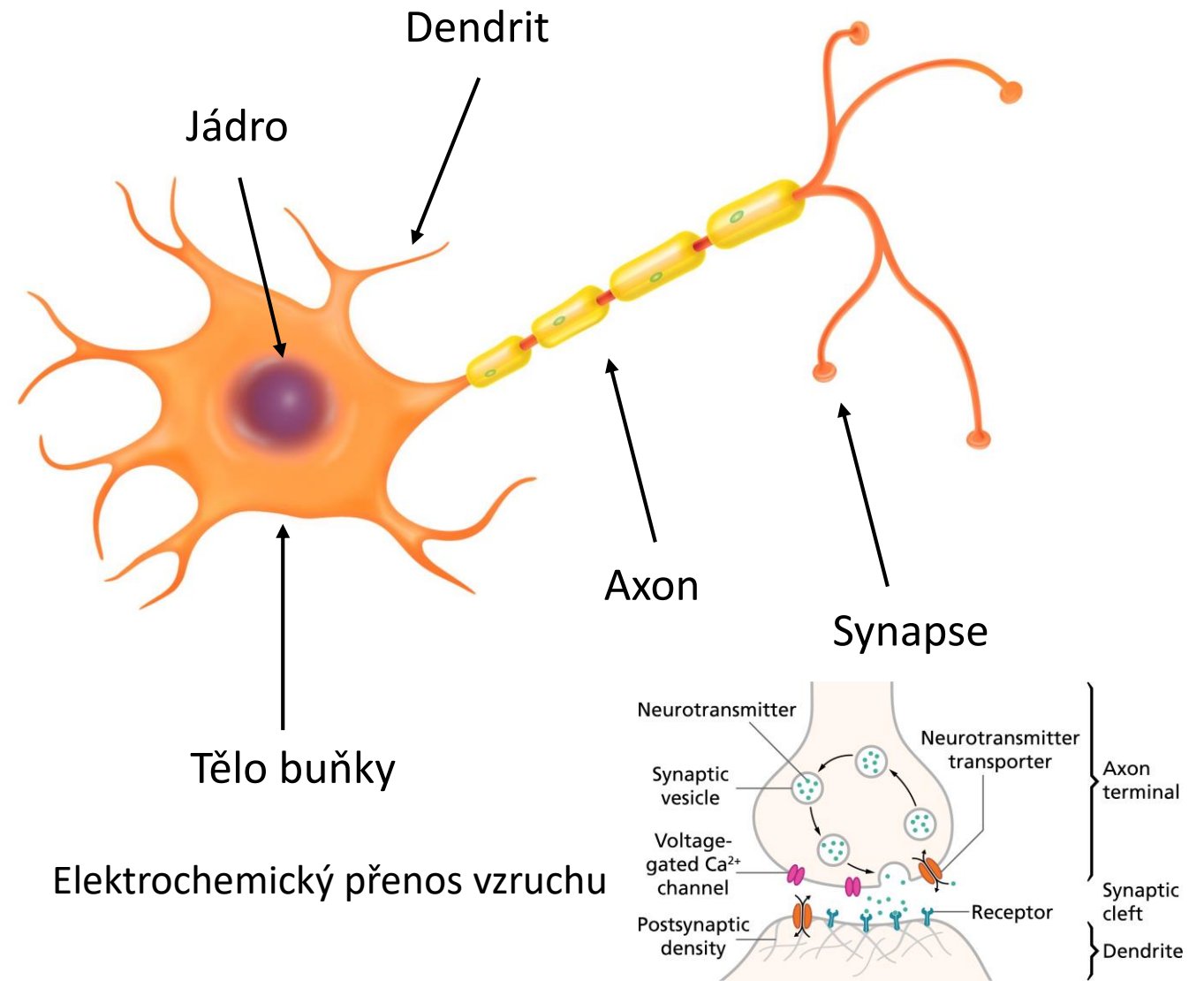
Neuron

Receptor (smyslový orgán)  
Efektor (sval, žláza)

Receptory

Exteroreceptory  
Prostředí

Interoreceptory  
Trávicí trubice  
Cévy

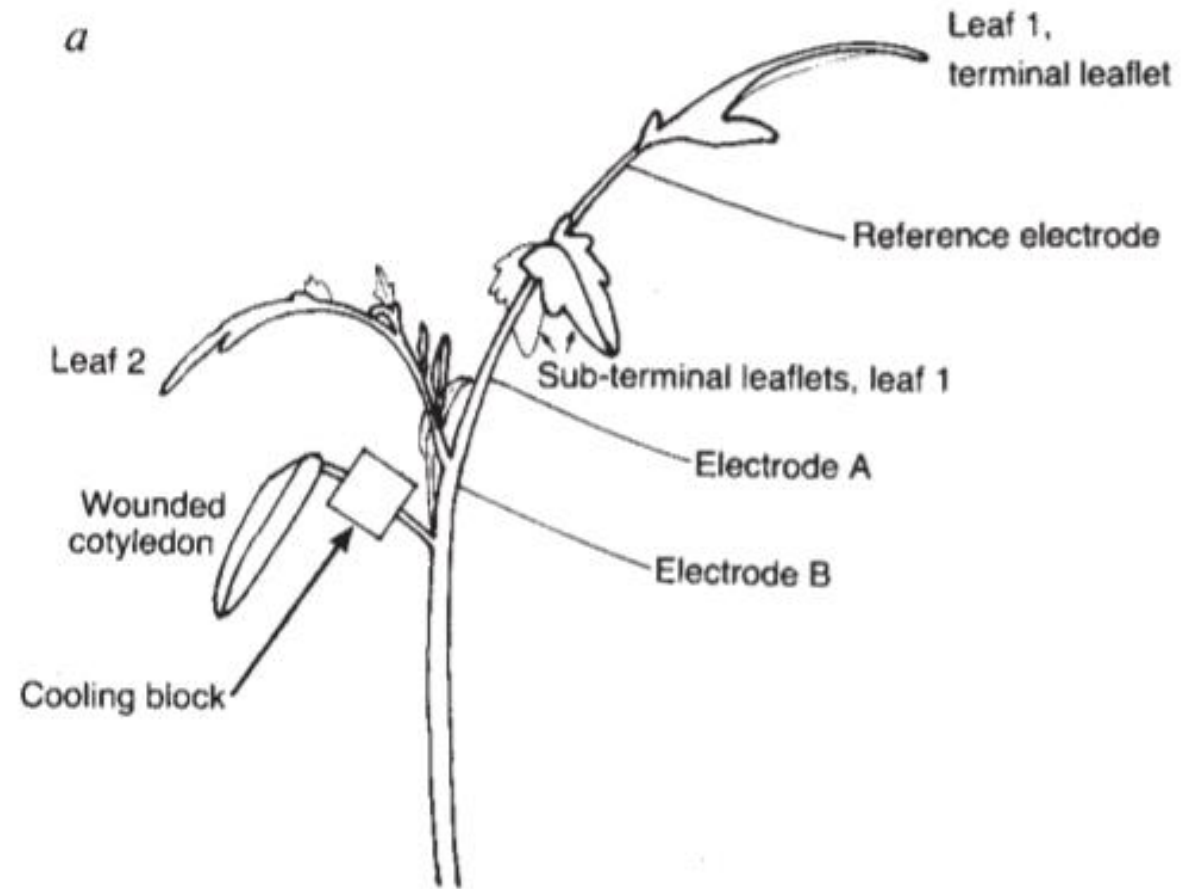


Elektrochemický přenos vzruchu

# Přenos signálů bez nervové soustavy

## Rostliny

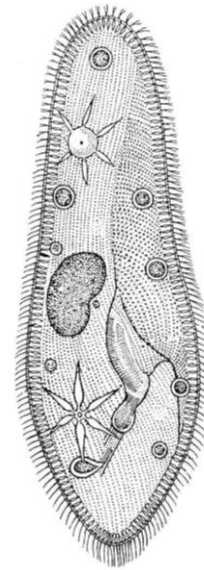
- Wildon *et al.* 1992
- Podnět: Poranění housenkou
- Reakce: Tvorba el. potenciálu poraněných listů u rajčat
- Efekt: Syntéza toxických látek



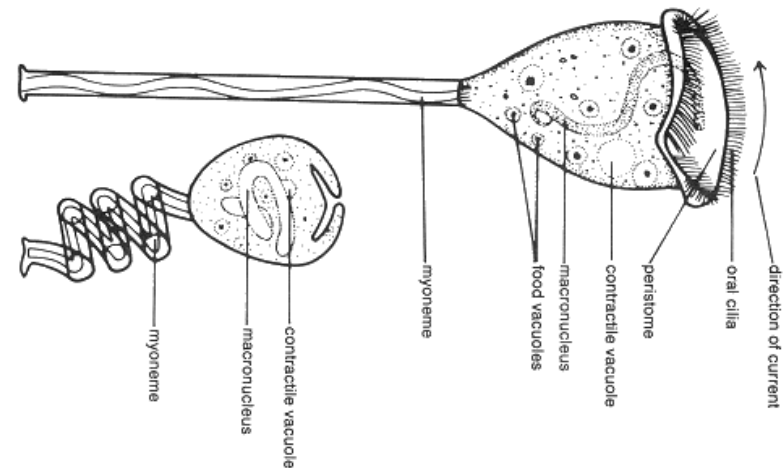
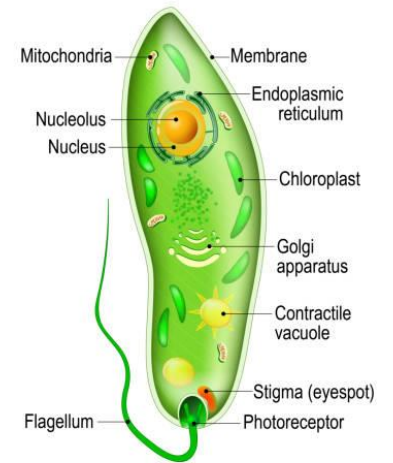
# Přenos signálů bez nervové soustavy

## Jednobuněční

- Receptory (foto-, mechano-, chemo-)
- Bičíky, brvy (cilie), Stigma
- Potrava, pohyb (fototaxe, chemotaxe, ...)
- Koordinovaný pohyb (*Paramecium* sp.)
- Excavata (Flagellata), Protozoa (Ciliophora)



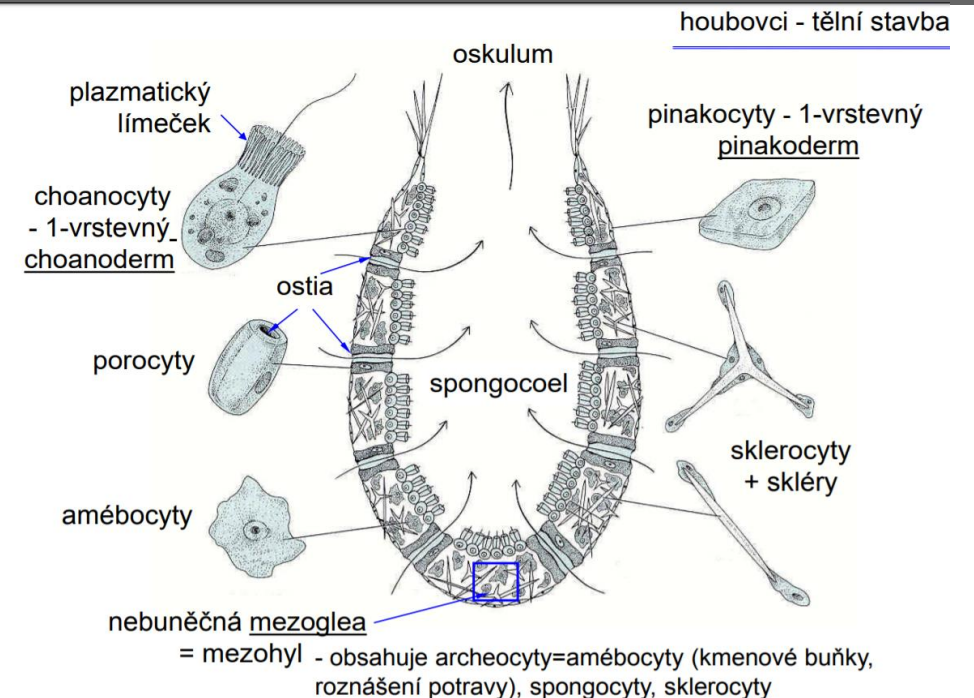
*Euglena*



# Přenos signálů bez nervové soustavy

## Porifera

- Žádné nervové buňky ani smyslové orgány
- Otevírání/uzavírání oskula
- Pravidelné/nepřavidelné kontrakce
- Uzavření systému před proudící vodou
- Mechanické stimuly sousedních buněk?
- Hexactinellida – syncytiální povrch těla
- Přenos elektrických vzruchů



# Fylogeneze nervové soustavy

VERGLEICHENDE ANATOMIE  
DES NERVENSYSTEMS DER  
WIRBELLOSEN TIERE

UNTER BERÜCKSICHTIGUNG  
SEINER FUNKTION

VON

DR. BERTIL HANSTRÖM

DOZENT DER ZOOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT LUND

MIT 650 ABBILDUNGEN

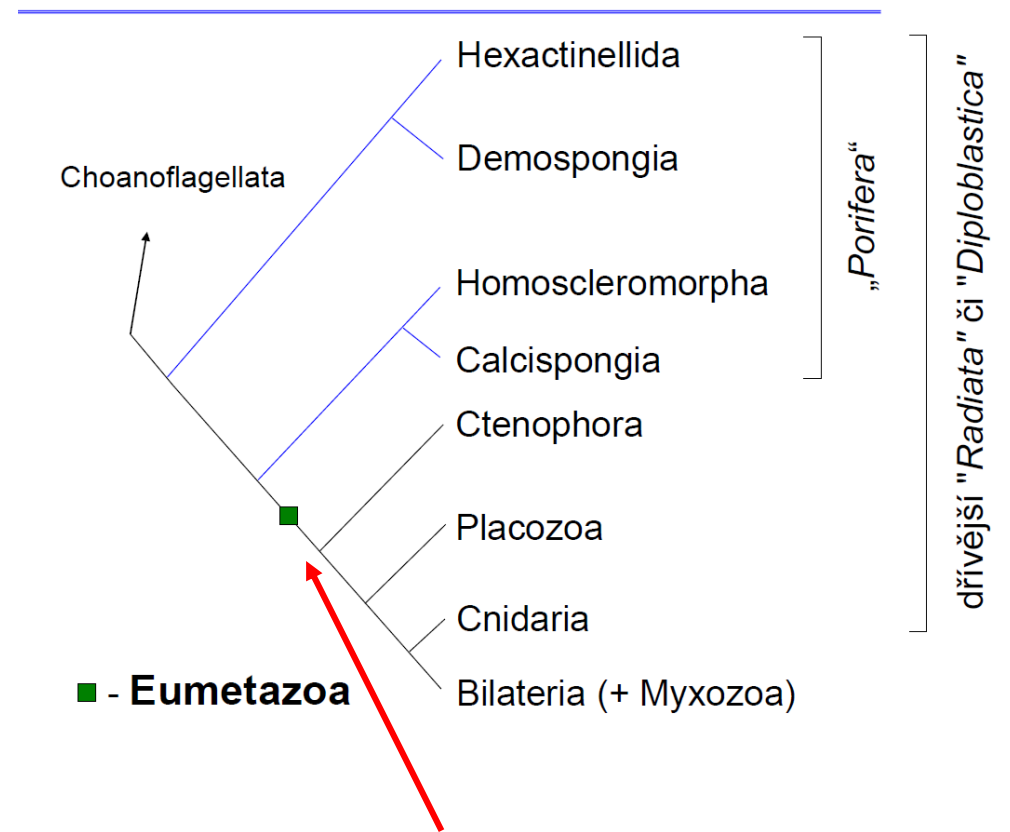
REPRINT  
A. ASHER & CO.  
AMSTERDAM 1968

88/6013

# Difúzní nervová soustava

- „The ‘first’ nerves recognizable at a cellular level“
- Síť propojených nervových buněk (neuronů), bez zřetelné koncentrace ve větší shluky
- Přenos vzruchů převážně přes symetrické synapse (oboustranný přenos)
- Od Bilateria synapse pouze asymetrické (jednostranné)
- Lze nalézt u kmene Cnidaria

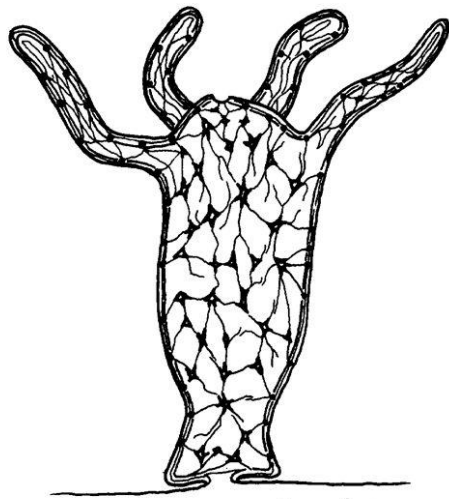
Bazální mnohobuněční (Metazoa) - fylogeneze



Přibližné místo vzniku nervové soustavy



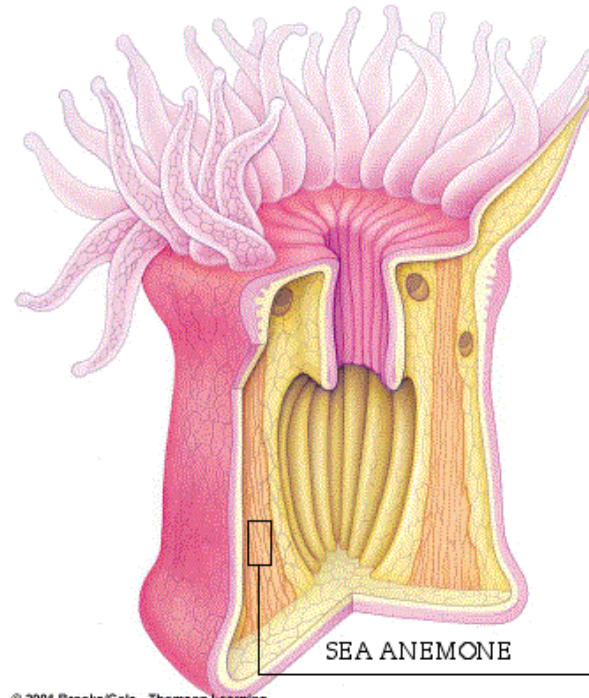
# Difúzní nervová soustava



Livingstone, © BIODIDAC

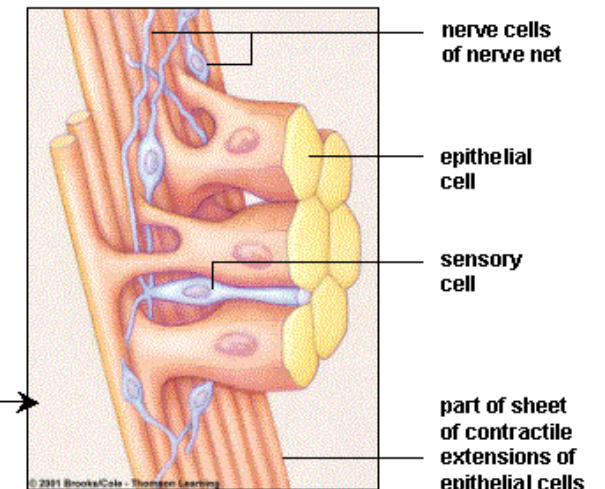
- ◆ Cnidarians do not have a BRAIN, but do have nerve nets throughout the body.
- ◆ The NERVE NET is concentrated around the mouth.

## Nerve Net



© 2001 Brooks/Cole - Thomson Learning

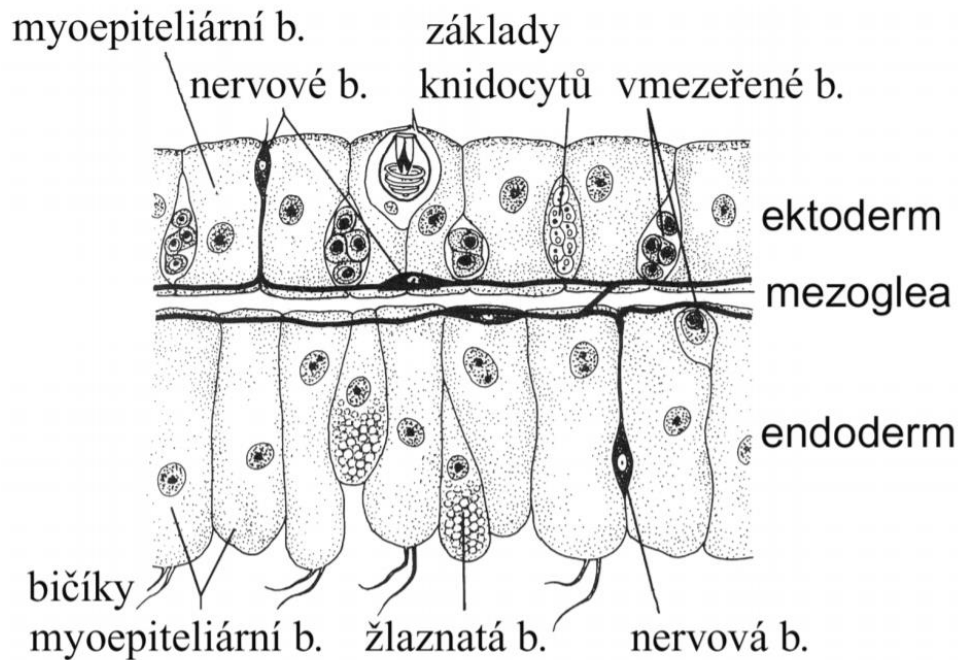
- Diffuse mesh of nerve cells that take part in simple reflex pathways
- Nerve cells interact with sensory and contractile cells



© 2001 Brooks/Cole - Thomson Learning

# Difúzní nervová soustava

Průřez tělní stěnou nezmara



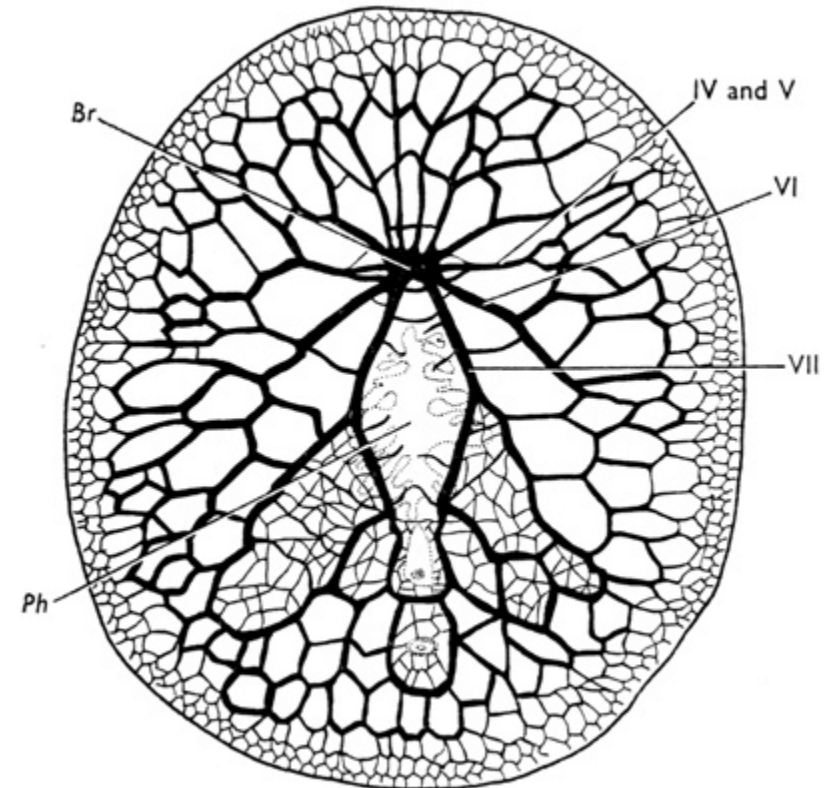
- U Cnidaria dvě vrstvy nervové sítě: Baziopiteliární a druhá hlouběji u trávicího epitelu (gastrodermu), obvykle s rozdílnou hustotou
- Každý okrsek reaguje autonomně (každá oddělená část si zachovává vlastnosti celé soustavy – regenerace)
- U medúz kromě sítě i prstencovité koncentrace neuronů při bázi zvonu (stahy)
- U Ctenophora a Placozoa také nervová síť s několika výraznými velkými nervy

# Používaná terminologie

- *Mozek* – jakákoliv akumulace neuronů v přední části těla
- *Nervové provazce (pruhy)* – silné vlákna z většího počtu neuronů
- *Ganglion* – shluk neuronů akumulovaných do viditelné koncentrace (mozek = cerebrální ganglion)
- *Periferní nervový systém (PNS)* – nervy lokalizované v blízkosti epidermis a vedoucí z/do CNS
- *Centrální nervový systém (CNS)* – nervy uložené hlouběji v těle

# Centralizace nervové soustavy – Bilateria

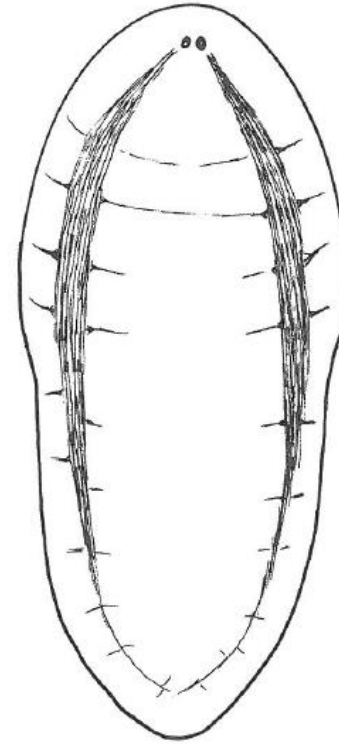
- Část sítě se kumuluje do tzv. **nervových center**, které jsou součástí CNS (zpracování informace a koordinace reakce eferentními nervy)
- Periferní nervová soustava vede vzruchy do CNS aferentními nervy
- Takto uspořádaná nervová soustava se nazývá **centralizovaná**
- Kumulace hmoty v hlavové části a vznik bilaterálně souměrných nervových pruhů, vedoucích z hlavové části těla
- U Bilateria poprvé přítomnost **pravých ganglií!**



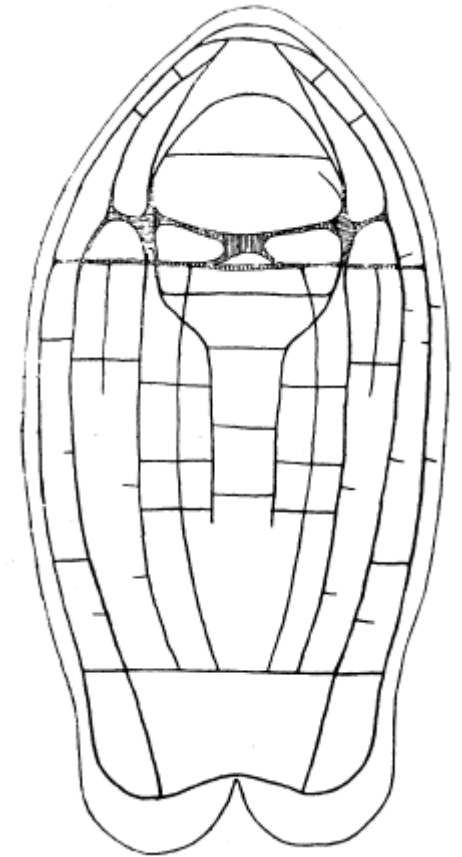
*Planocera* sp. – Turbellaria

# Centralizace nervové soustavy – Bilateria

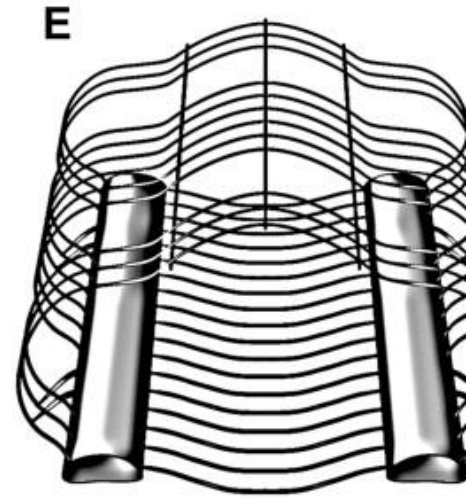
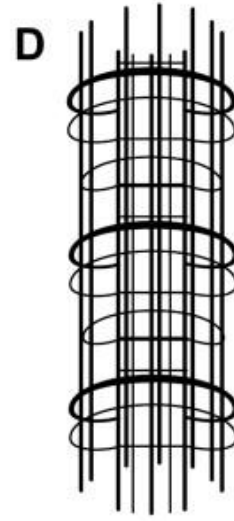
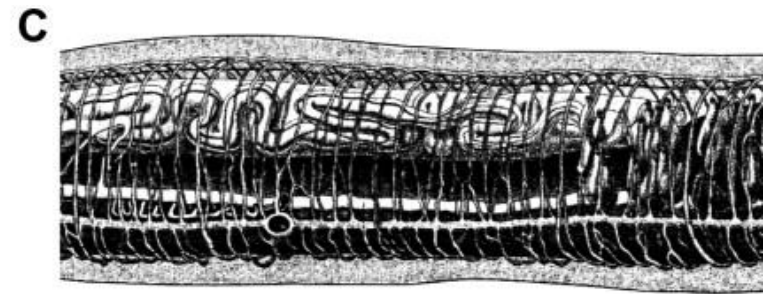
- Pokud je CNS tvořena řadou shluků nervových buněk (ganglií) – **gangliová nervová soustava**
- Největší ganglion v hlavové části těla – cerebrální ganglion. Z něj vystupují nervové provazce – táhnou přes celé tělo, a vytvářejí uzliny
- Do uzlin se dostávají vzruchy z periferních nervů a tyto a současně vedou reakční podnět k výkonnému orgánu
- Typicky u **Acoelomorpha**, ale lze nalézt i u Platyhelminthes



*Meara stichopi*  
– Acoelomorpha



*Polychoerus* sp.  
– Turbellaria



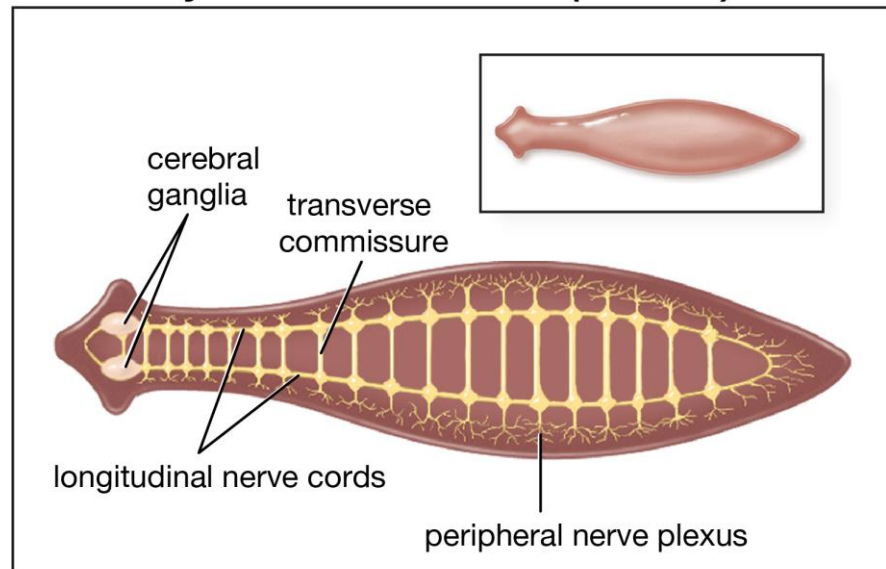
Vládne Orthogon všem bezobratlým?

Samozřejmě že **NE!**

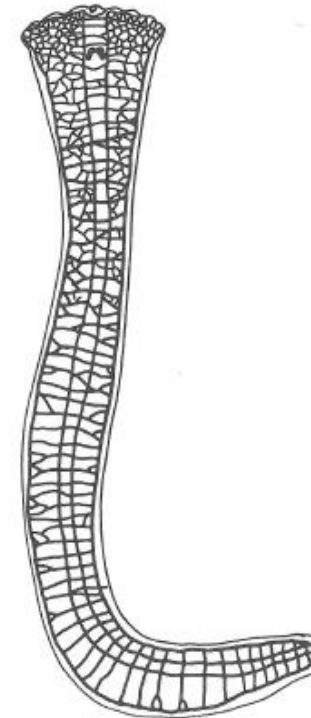
# Centralizace nervové soustavy – Bilateria

- Pokud jsou provazce propojeny spojkami, jedná se o **nervovou soustavu žebříčkovitou (orthogonální)**
- Typické pro kmen **Platyhelminthes**

Nervous system of the flatworm (*Planaria*)



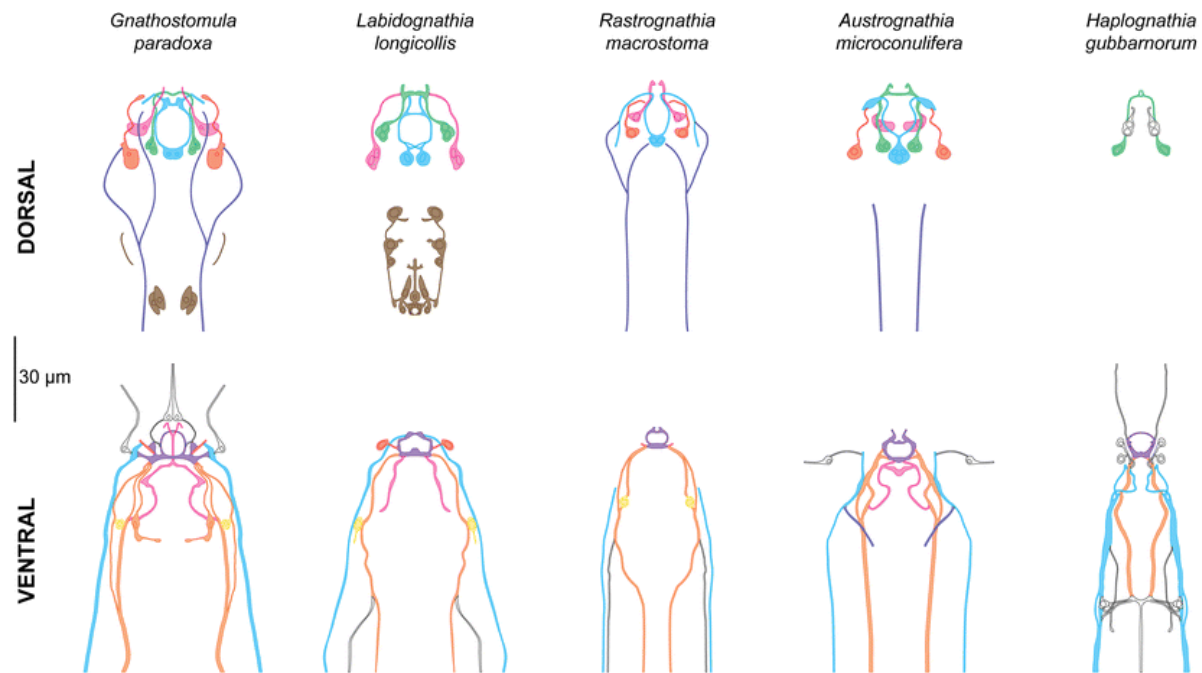
© 2014 Encyclopædia Britannica, Inc.



Orthogon



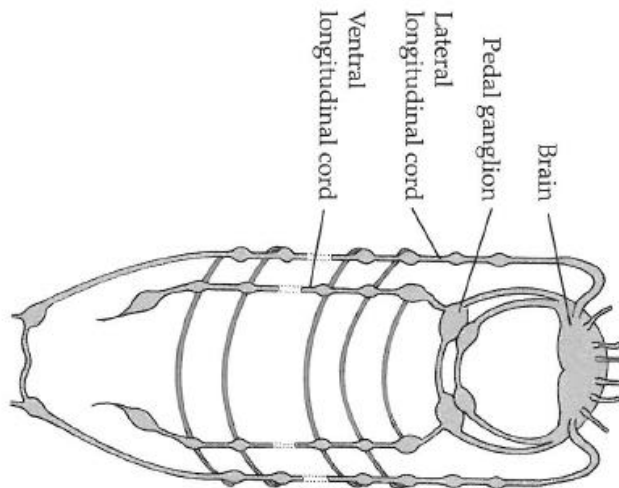
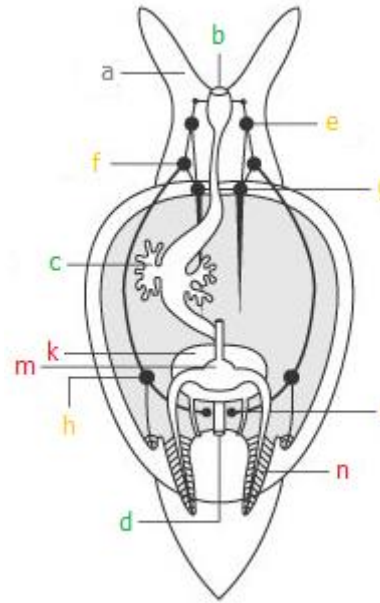
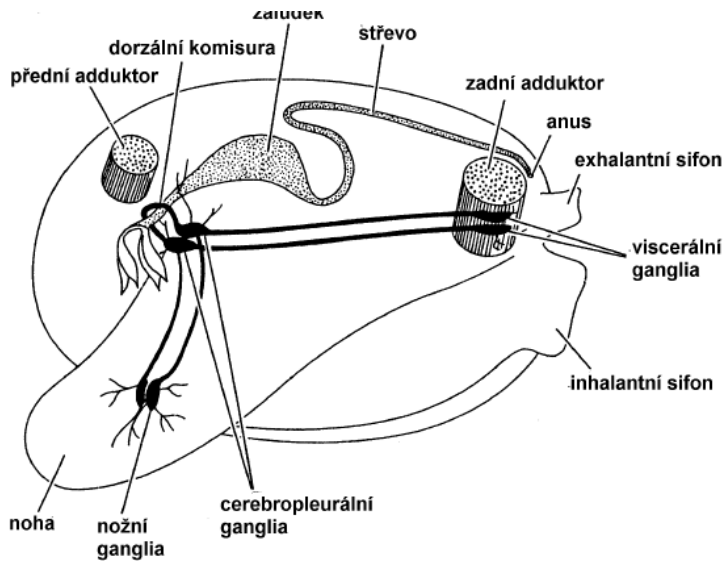
# Centralizace nervové soustavy – Bilateria



- Základní morfologické rysy orthogonální soustavy se zachovávají u mnoha skupin bezobratlých
- U Gnathifera trend bilaterálně symetrického nepárového mozku a 2-6 hlavních nervových provazců.
- Tento trend směřuje až k výrazné centralizaci nervové soustavy u Mollusca



# Centralizace nervové soustavy – Mollusca



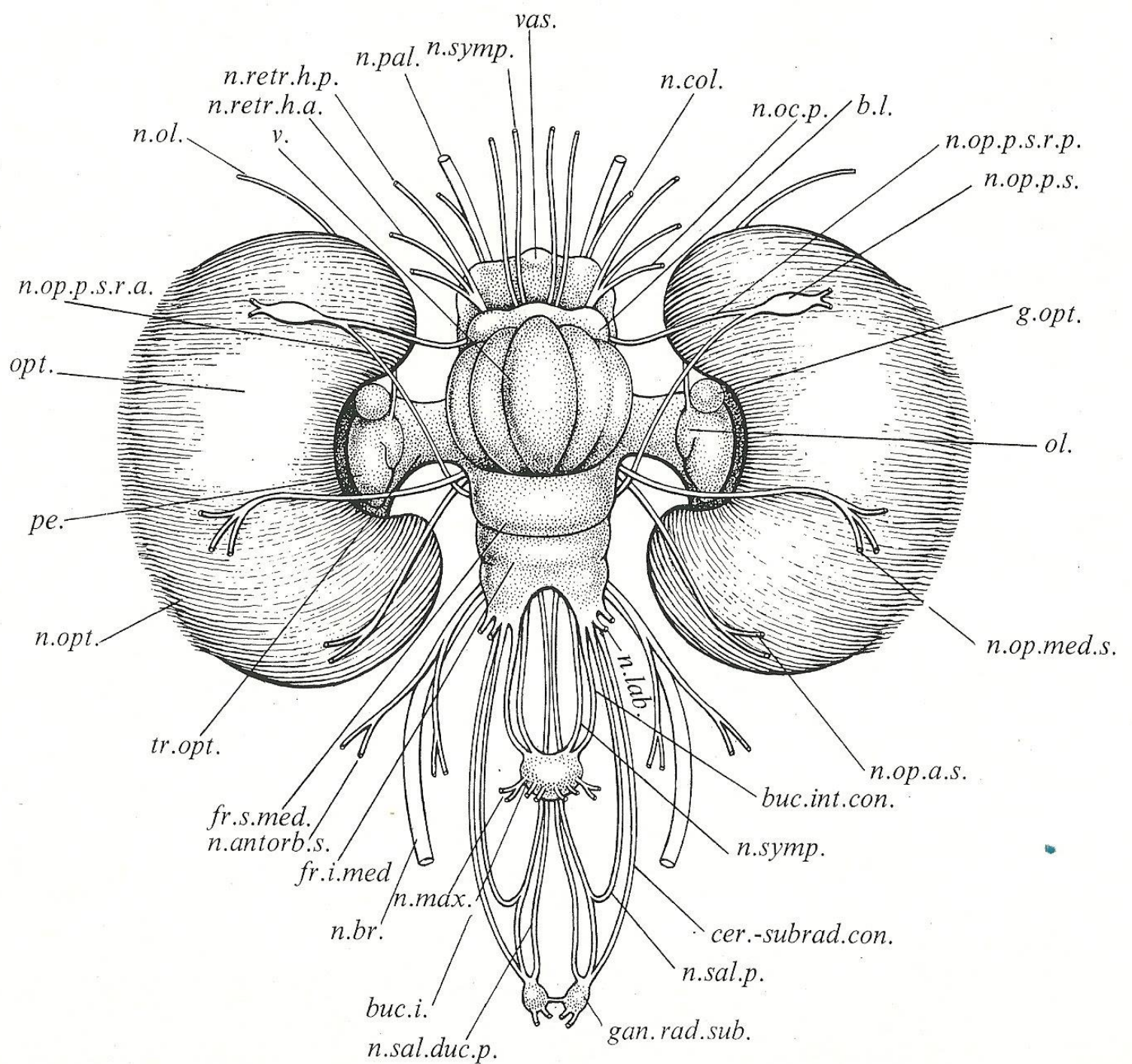
- Typicky gangliová nervová soustava, často s dominantním cerebrálním ganglion nebo několika páry ganglií (plži – 5, mlži – 3)
- Tělo bez výraznější segmentace = redukce komisurových spojení a zánik žebříčkovitého uspořádání
- Zhmotnění uzlin v hlavové oblasti – dobře vyvinutá mozková ganglia a přední ganglia nohy
- Basální skupiny (Aplacophora, Polyplacophora, Monoplacophora) vykazují orthogonální uspořádání – bilaterálně symetrický mozek + 4 provazce spojeny komisurami

# Cephalopoda: první „reálný mozek“?

- Výrazná kumulace neurální hmoty v hlavové části – tvorba orgánu, který lze označit jako mozek (uložen v chrupavčité schránce)
- Výrazné zrakové nervy, vybíhající ke každé oční bulvě
- Mohutné ramenní a nálevkové nervy, ve kterých jsou nervové provazce s motorickými vlákny – rychlý a účinný pohyb
- Tvorba podmíněných reflexů – jako **jediní bezobratlí**

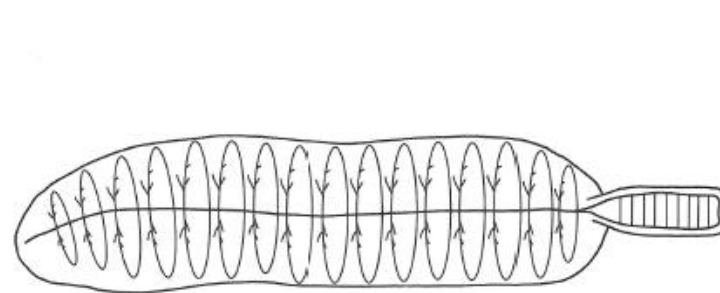


# Cephalopoda: první „reálný mozek“?

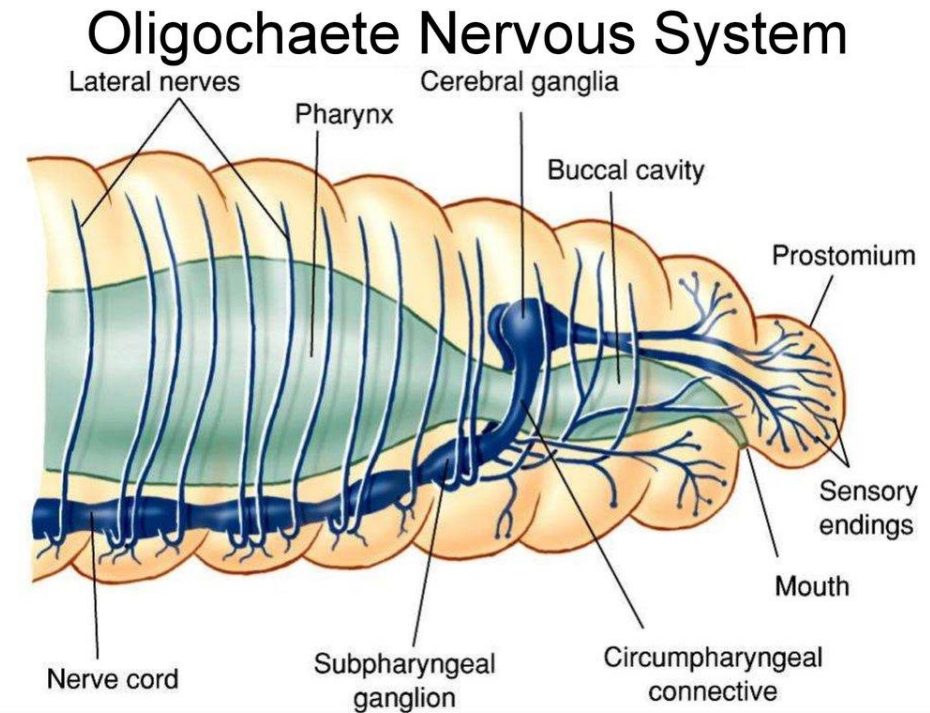


# Centralizace nervové soustavy – Annelida

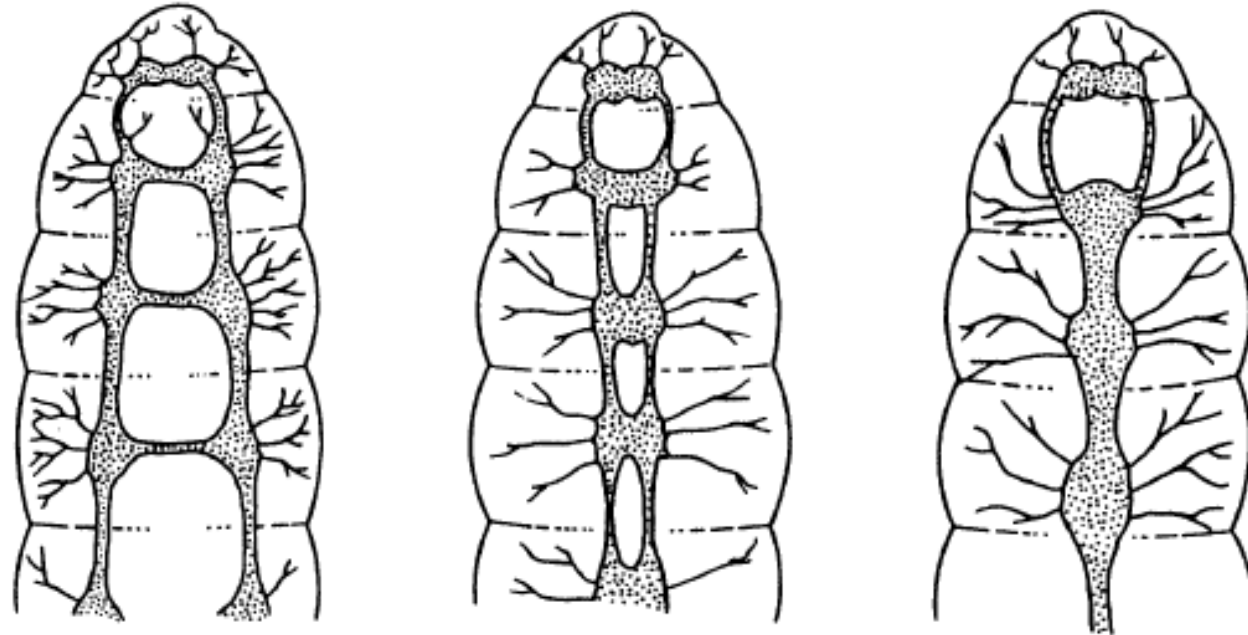
- Metamerie (segmentace) nervové soustavy – odraz tělní segmentace
- Orthogonální struktura, ale i modifikace
- Často mozek + 1-2 hlavní ventrální nervové provazce
- Hlavní evoluční trend Annelida – redukce počtu podélných pruhů, splývání nervových pruhů do nepárové nervové pásky a koncentrace ganglií do větších celků
- Bohatý periferní nervový systém 0-17 nervových provazců



Echiurida



# Centralizace nervové soustavy – Annelida

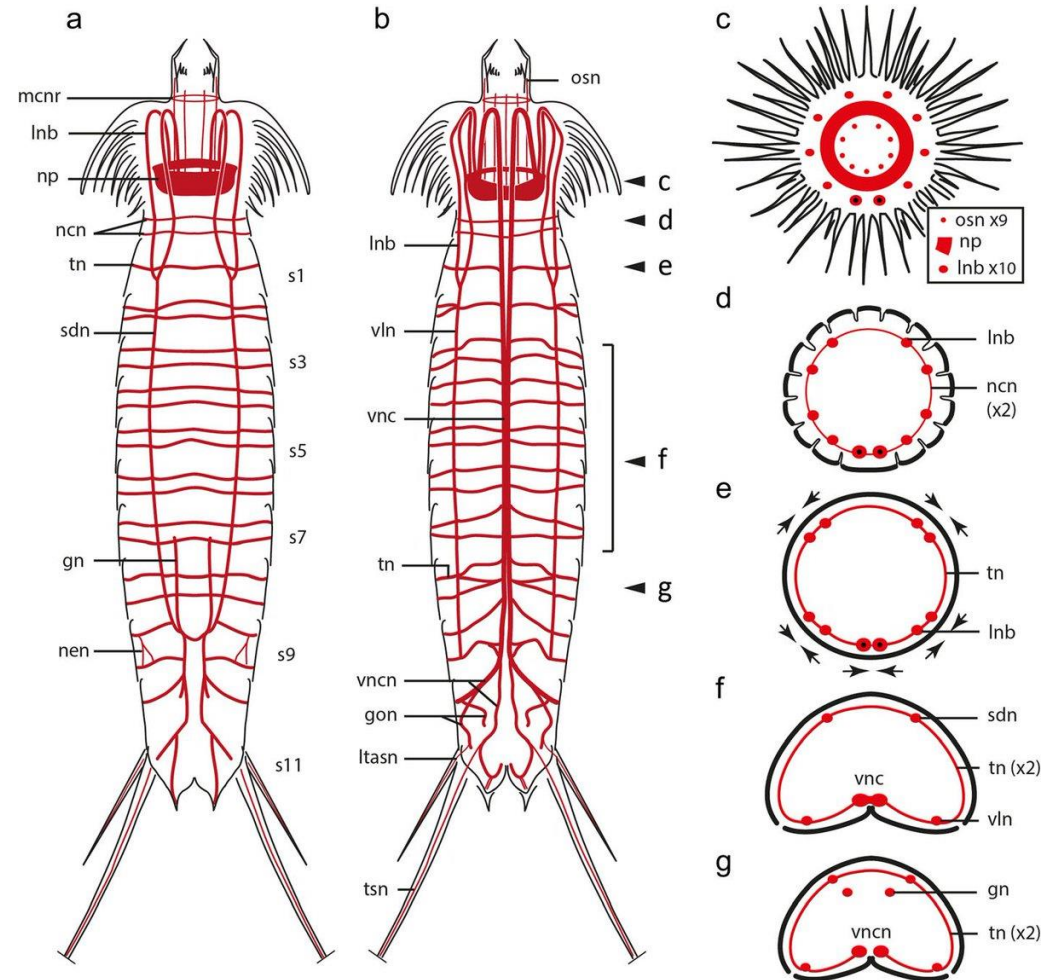


Splývání podélných pruhů do jednoho centrálního nervového provazce – Annelida

# Cycloneuralia – Pozůstatky orthogonální struktury?

## Kinorhyncha

- Struktura podobná orthogonální
- Spirálovitý mozek + několik párů hlavních nervových provazců, často spojených dvěma páry komisur
- Nelze přesně určit, zda je to pozůstatek orthogonálního uspořádání nebo důsledek segmentace těla a uložení vnitřních orgánů

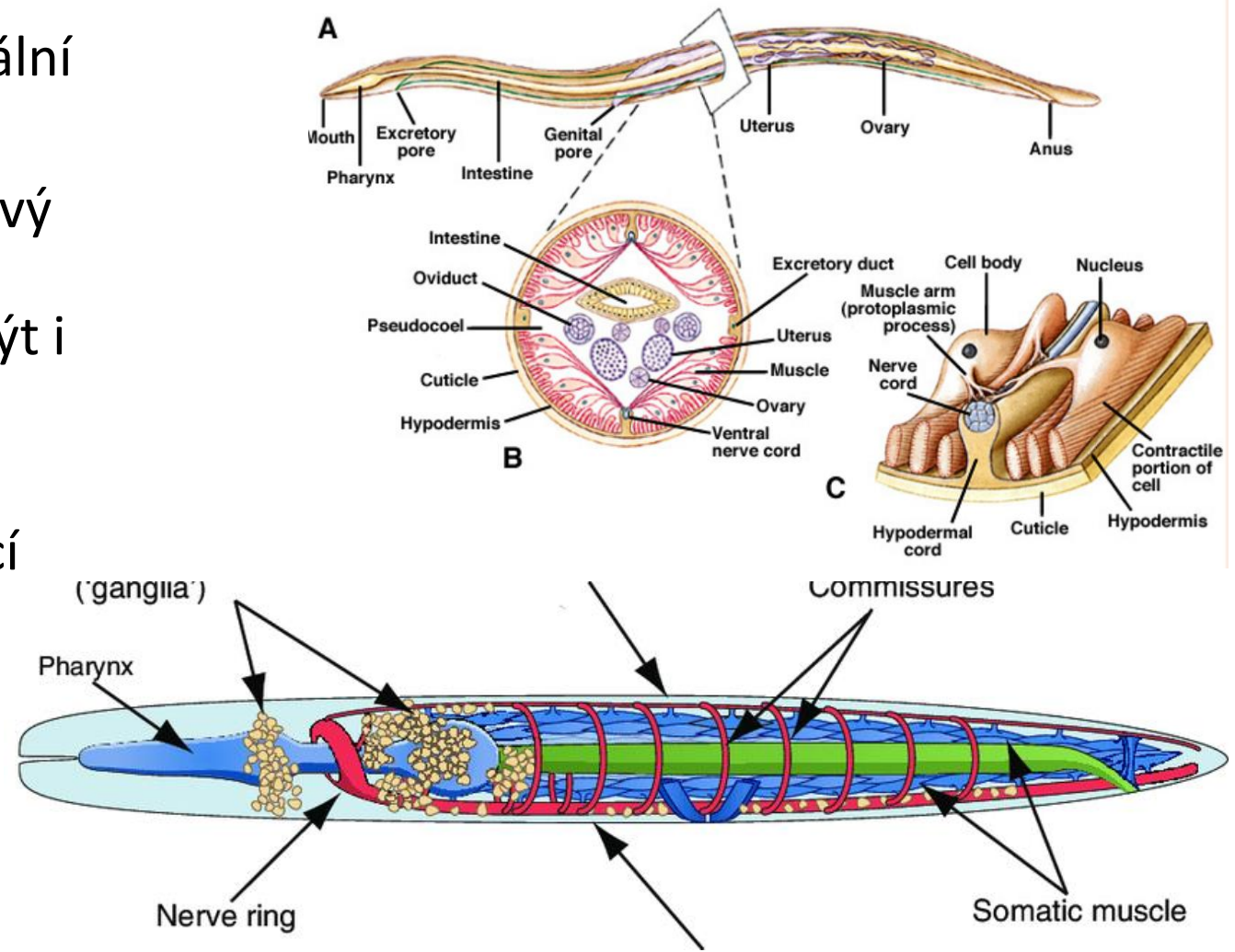


# Cycloneuralia – Pozůstatky orthogonální struktury?

## Nematoda

- Nervová soustava intraepidermální (pod kutikulou, v hypodermis)
- Circumorální mozek nebo nervový prstenec napojený na hlavní nervový provazec, který může být i párový, spojený komisurami
- U některých druhů přítomny longitudinální nervy, koordinující svalová vlákna

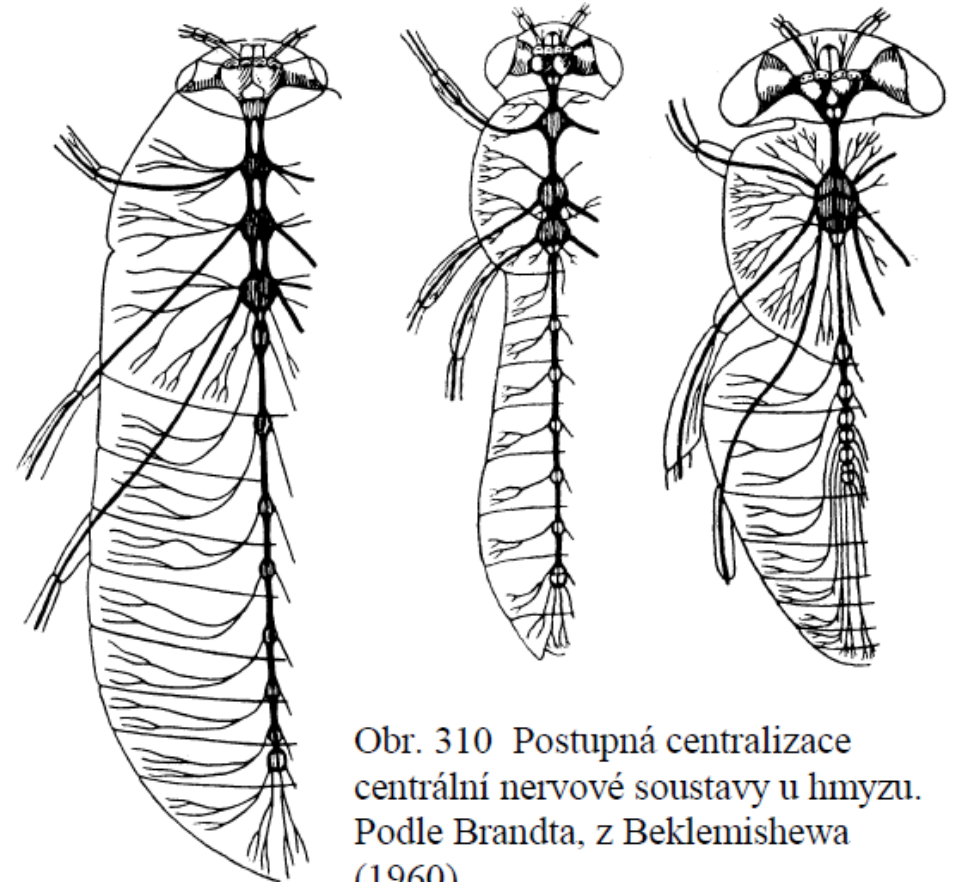
### Structures of a nematode



# Pozůstatky orthogonální struktury?

## Arthropoda

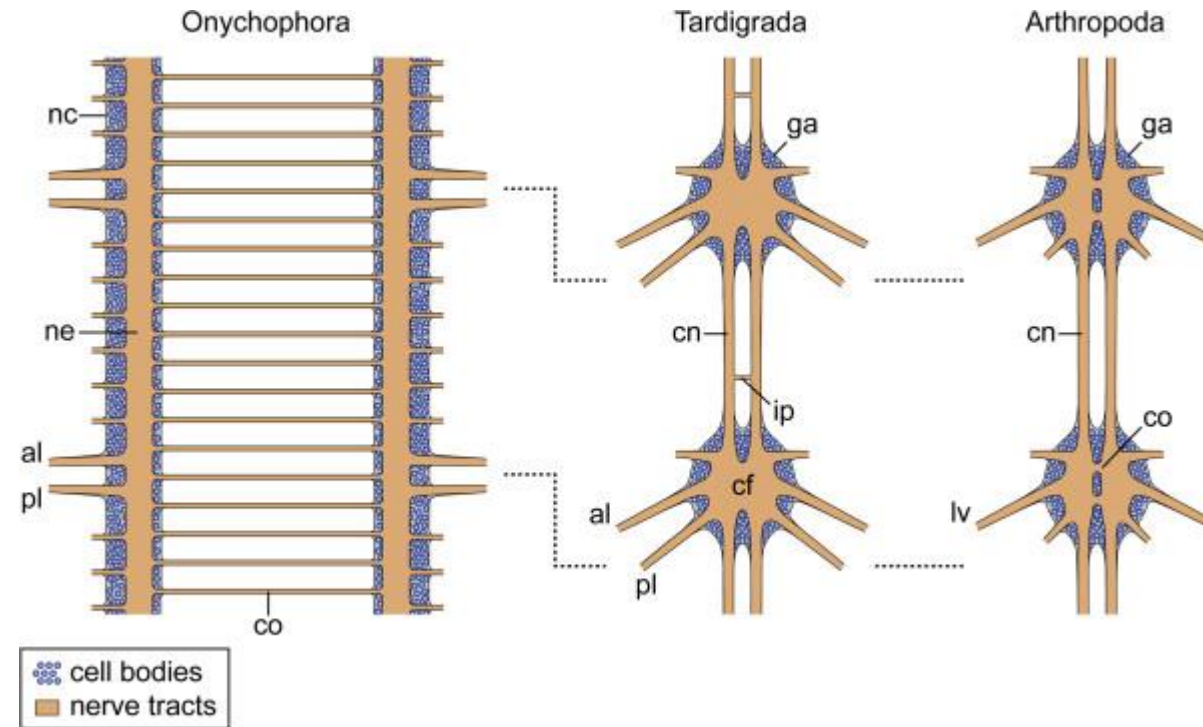
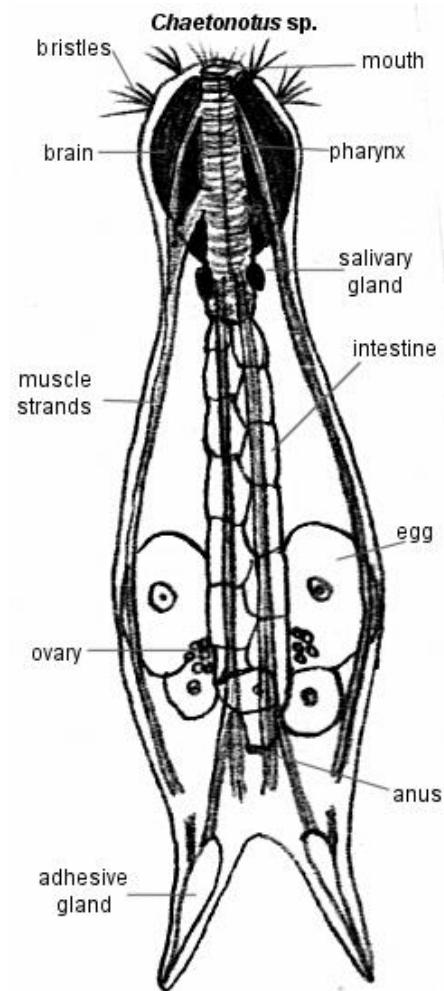
- Velmi rozmanitá, ale obecně se dá nazvat jako ganglionová – hrudní a zadečkové uzliny + břišní nervový provazec
- Dominující uzliny v přední části těla – nadhltnová (mozek) a podhltnová
- Mozek ze tří částí – proto-, deuto- a tritocerebrum
- Deuto- a tritocerebrum inervuje hlavový přívěsek, anteny a chelicery
- Periferní nervová soustava chybí, povrch těla pokryt kutikulou
- Nervy proto vedou od ganglií na periferii, ale o periferní nervy se nejedná
- Chybí více podélných provazců – nejedná se o orthogon. Důsledek segmentace těla?



Obr. 310 Postupná centralizace centrální nervové soustavy u hmyzu. Podle Brandta, z Beklemishewa (1960).



# Pozůstatky orthogonální struktury?

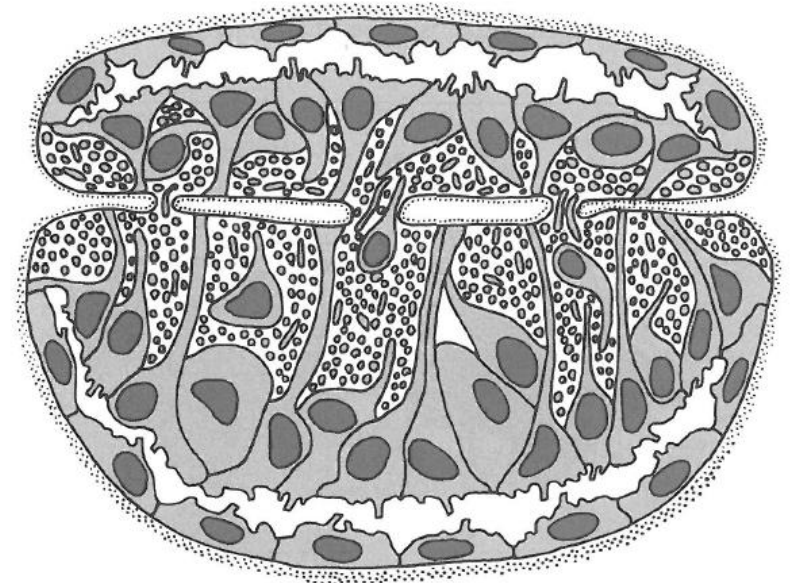
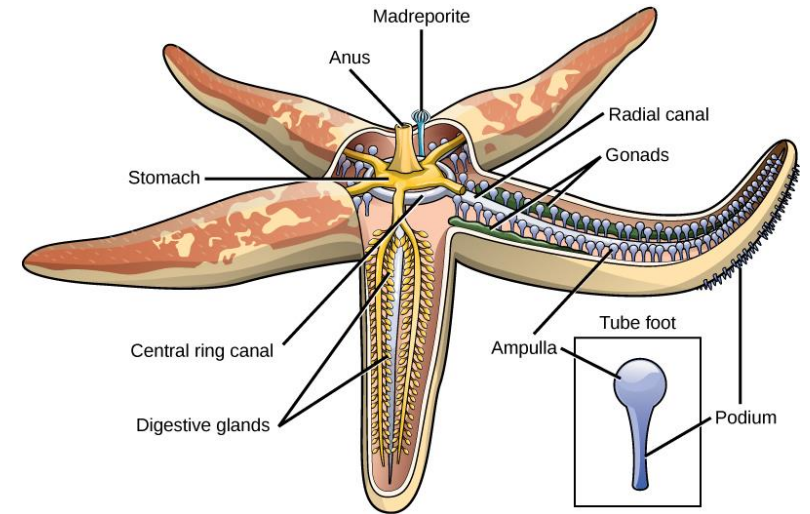


Gastrotricha, Onychophora, Tardigrada, Arthropoda – porovnání NS

# Ve zkratce: Deuterostomia

## Echinodermata

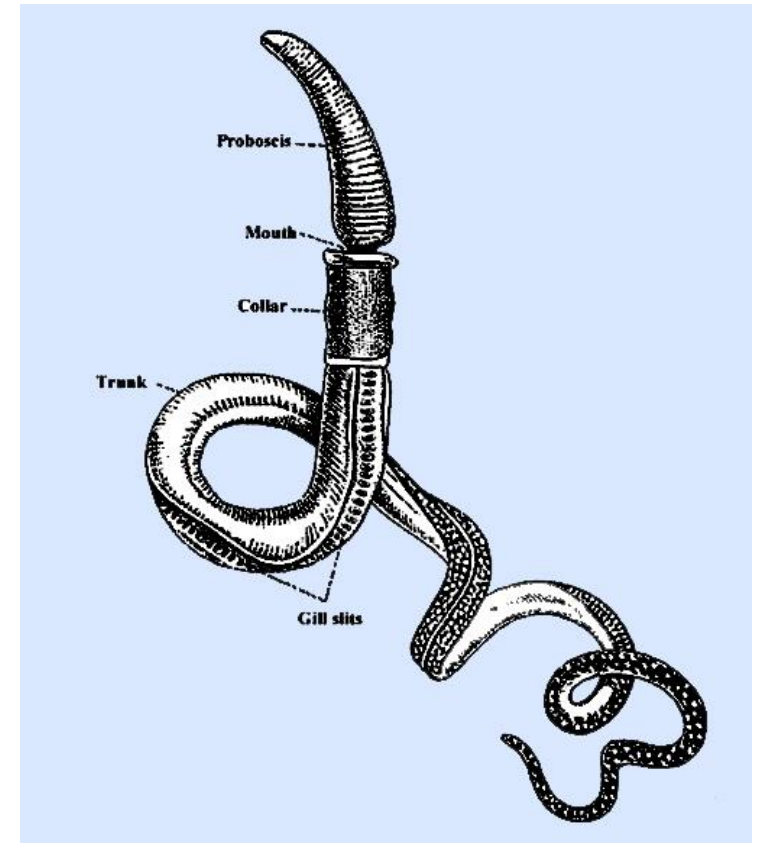
- Mozek nebo ganglia chybí, často nervový prstenec
- Dva systémy: Ektoneurální + Hyponeurální
- Ektoneurální vývoj v Epidermis, hyponeurální v epiteliálním coelom = intraepiteliální lokalizace
- Dohromady tvoří nervové provazce, ale jsou prostorově odděleny a propojeny pouze pár nervy
- U Echinoida a Asteroidea intraepiteliální plexus
- U Ophiurida, Holothuroidea a Echinoida cirkumorální a radiální nervy procházející trubicovitými kanálky epitelu



# Ve zkratce: Deuterostomia

## Hemichordata

- Mozek chybí
- NS ovládána nervovým plexem
- Pterobranchia – nervové plexy v ústním štítu a na bázi tentakul
- Enteropneusta – nervové provazce v trupu a dorzální nerv v chobotku, límcový provazec v límci



# Ve zkratce: Deuterostomia

## Chordata

- Typická přítomnost nervové trubice (nerve chord) – dutý dorzální nervový provazec (autapomorfie)
- Na předním konci těla cerebrální váček a před ním senzorní váček se statocystou a fotoreceptorem

## Ascidiacea

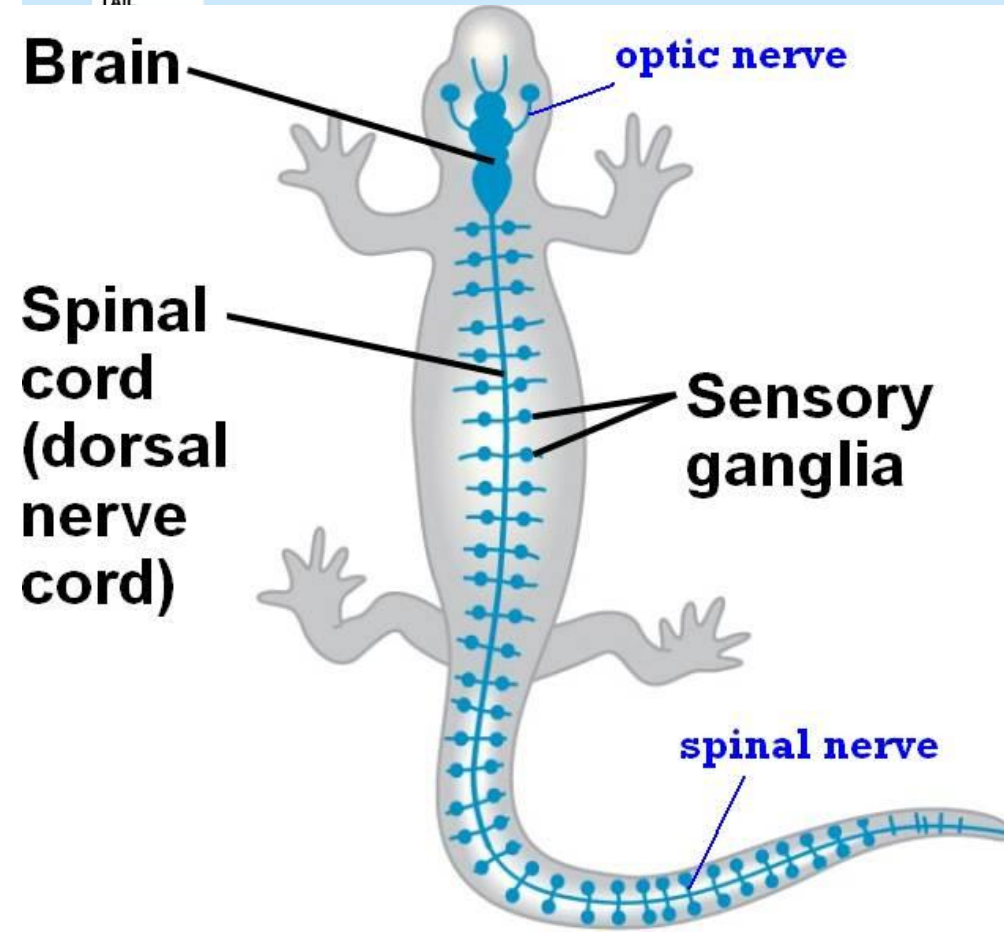
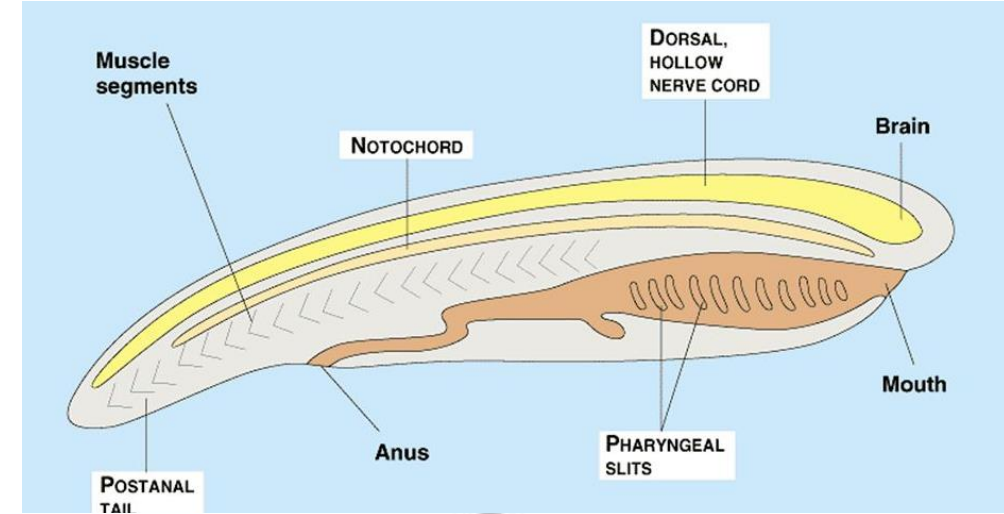
- Vysoce modifikovaná NS, mozek + několik hlavních nervů, doplněn nervovou žlázou

## Acrania

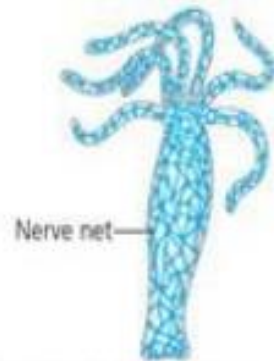
- Na přední straně cerebrální váček – mozek
- Nervová trubice po celé délce těla a otevírá se skrz malý pór ven

## Craniota

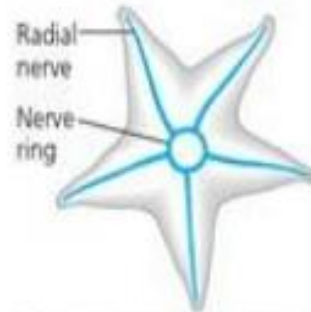
- Mozek z 5 částí, nervová trubice uzavřená



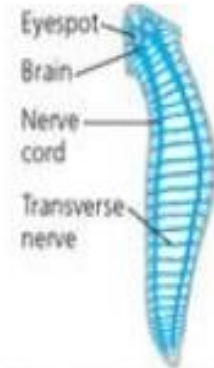
# Nervous system of representative organisms



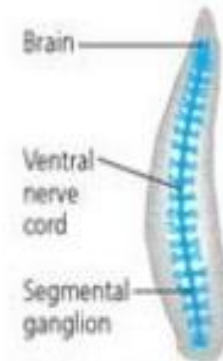
(a) Hydra (cnidarian)



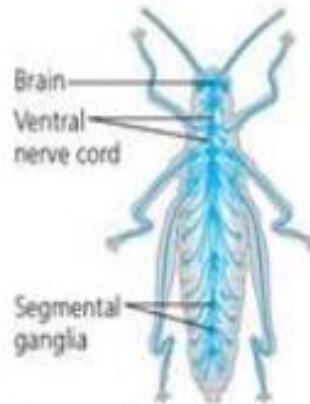
(b) Sea star (echinoderm)



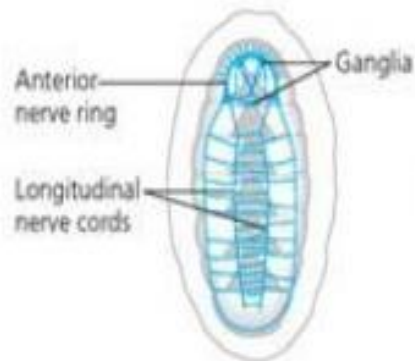
(c) Planarian (flatworm)



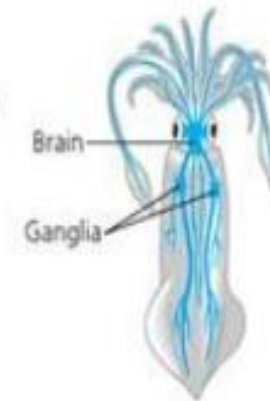
(d) Leech (annelid)



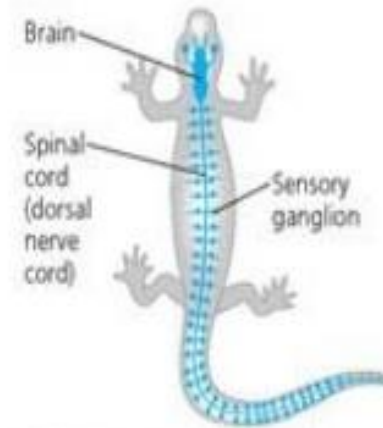
(e) Insect (arthropod)



(f) Chiton (mollusc)



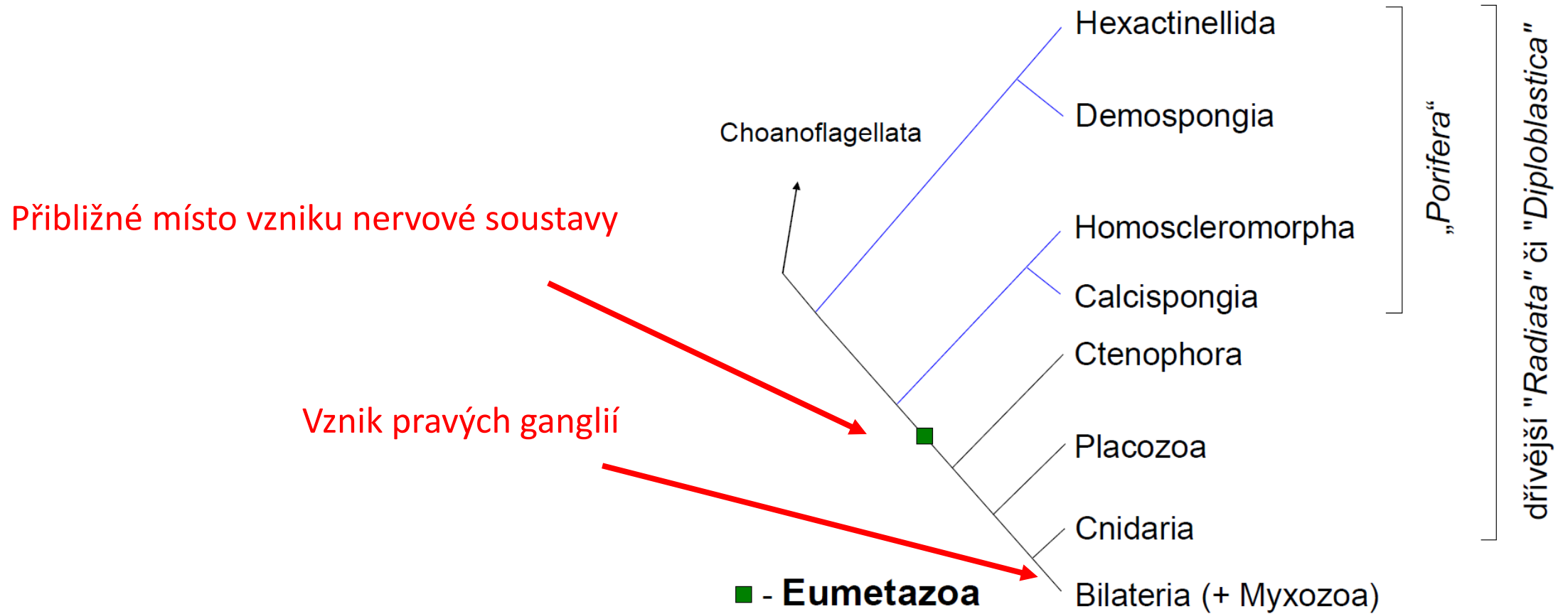
(g) Squid (mollusc)



(h) Salamander (chordate)

# Vznik NS

## Bazální mnohobuněční (Metazoa) - fylogeneze



# Závěrem



- Nervový systém se vyvinul u předka Eumetazoa
- Jednoduché přenosy signálů lze nalézt i u jednoduchých živočichů jako jsou Houby a jednobuněční živočichové

## Trendy Eumetazoa

- Difúzní systém → Definované nervy
- Systém bez koordinačních center → systém s funkčním mozkiem
- Periferní nervový systém → Centrální nervový systém
- Obousměrné synapse → Jednosměrné synapse
- Od jednoduchých (orthogon) typů, až po specializované komplexní typy inervace

Skupina	Nervová soustava
Porifera, Jednobuněční	Bez NS
Cnidaria	Difúzní NS
Acoelomorpha	Mozek a variabilní počet hlavních nervových provazců (HNP) a komisur (některé druhy i orthogonální typ NS)
Platyhelminthes	Mozek a orthogonální typ NS
Gnathifera	Mozek a 1-3 páry ventrálních HNP
Kamptozoa	Párový cerebrální ganglion + malá ganglia
Nemertea	Mozek se dvěma laloky, 1 a více nervových provazců
Mollusca	Typicky gangliová NS, 5 nebo 3 páry ganglií, popř. symetrický mozek a 4 HNP
Annelida	Segmentovaná orthogonální NS, jeden nebo dva hlavní provazce

**Bilateria**

**Lophotrochozoa**



Skupina	Nervová soustava
<b>Nematoda, Priapula, Loricifera</b>	Intraepidermální NS, nervové prstence, nervové provazce + někdy longitudinální nervy
<b>Nematomorpha</b>	Nervový plexus + intraepidermální/subepidermální nervový provazec
<b>Gastrotricha</b>	Půlkruhový mozek + dva nervové provazce
<b>Tardigrada</b>	Nesegmentovaný mozek + ganglia
<b>Onychophora</b>	Mozek + nervové provazce spojeny mnoha komisurami
<b>Arthropoda</b>	Mozek na 3 části (proto-, deuto- a tritocerebrum), bez podélných provazců
<b>Echinodermata</b>	Ektoneurální a hyponeurální systém, nervové prstence, bez mozku i ganglií
<b>Hemichordata</b>	Bez mozku, nervový plexus
<b>Chordata</b>	Cerebrální váček (mozek) + nervová trubice

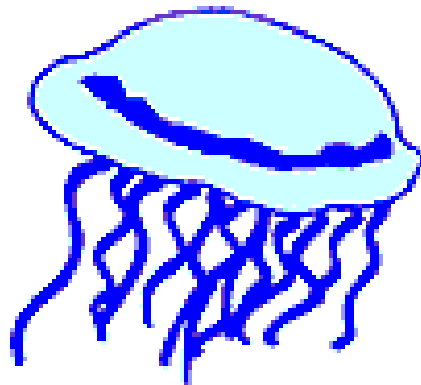
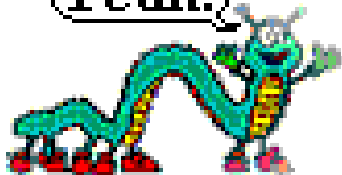
**Deuterostomia**

# Díky za pozornost

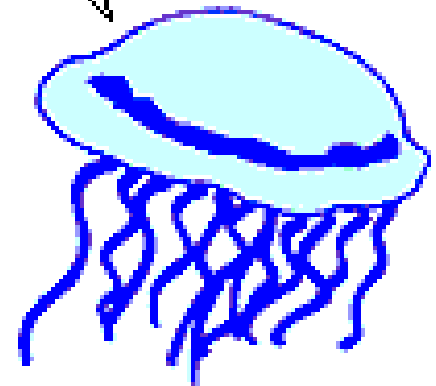
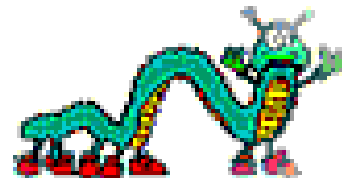
You're nothing but a spineless jellyfish!



Yeah!



I hate to tell you this, but you both are spineless too. We are all invertebrates.



# Zdroje

- Wildon *et al.* 1992. Electrical signalling and systemic proteinase inhibitor induction in the wounded plant. *Nature*, 360, 62-65
- Horsák, M. Fylogeneze a diverzita bezobratlých, přednášky.
- Roček, Z. Obecná morfologie živočichů, skripta.
- Whitington, P. M. & Mayer, G. 2011. The origins of the arthropod nervous system: Insights from the Onychophora. *Arthropod Structure & Development*, 40(30), 193-209
- Gasiorowski *et al.* 2017. Morphology and evolution of the nervous system in Gnathostomulida (Gnathifera, Spiralia). *Organisms Diversity & Evolution*. 17(2), 447-475
- Herranz *et al.* 2019. Neuroanatomy of mud dragons: a comprehensive view of the nervous system in *Echinoderes* (Kinorhyncha) by confocal laser scanning microscopy. *BMC Evolutionary Biology*, 19(86), 1-20
- Schafer W. R. 2016. Nematode nervous system. *Current Biology*, 26(20), 955-959
- <https://www.britannica.com/science/nervous-system/Diffuse-nervous-systems>
- [https://cs.wikipedia.org/wiki/Smyslov%C3%BD\\_org%C3%A1n](https://cs.wikipedia.org/wiki/Smyslov%C3%BD_org%C3%A1n)
- <https://www.britannica.com/science/nervous-system/Organelle-systems>