

# Nervová soustava bezobratlých

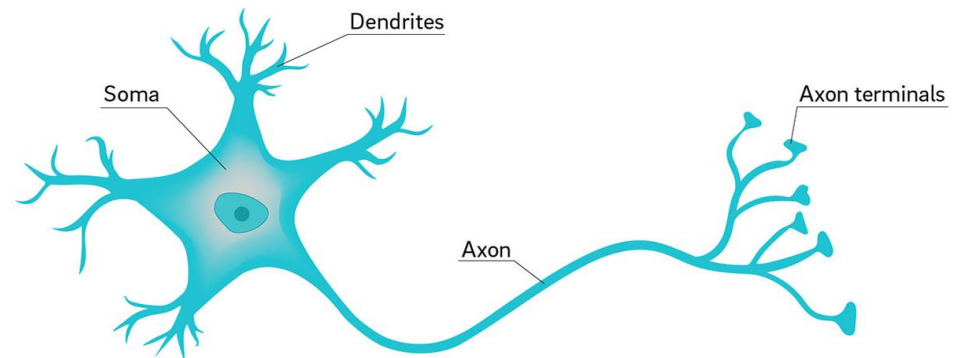
Kateřina Jelínková

# Nervová soustava

- Vede informace řízenou cestou tělem živočichů
- Vést informace lze i bez NS, ovšem z menší přesností
- Informace vedeny elektrickými a/nebo chemickými signály
- Signální nástroje – specializované buňky, ale i chemické substance (např. hormony)
- NS = specializace pro rychlé a mířené vedení informací
- Pokud je přítomna larva, stavba nervového systému se typicky liší od dospělého

# Nervové komponenty před Metazoa

- Elektrické signály se neobjevují Metazoa, najdeme i u rostlin
- Nervová buňka se vyznačuje dendrity a axony
- Její intracelulární stavba je ale v základu stejná jako ostatní buňky
  - Transmembránové intové kanálky a vezikulární transportní systém
- Chemické transmitery – přemostují mezeru mezi nervovými buňkami



# Houby

- Nemají nervový systém, tedy žádnou tkáň ani buňky jí podobné
- Přesto jsou schopny vést informace
- Elektrické signály – Hexactinellida – usnadněno syncytiálním uspořádáním
- Chemické signály – nepotvrzeno



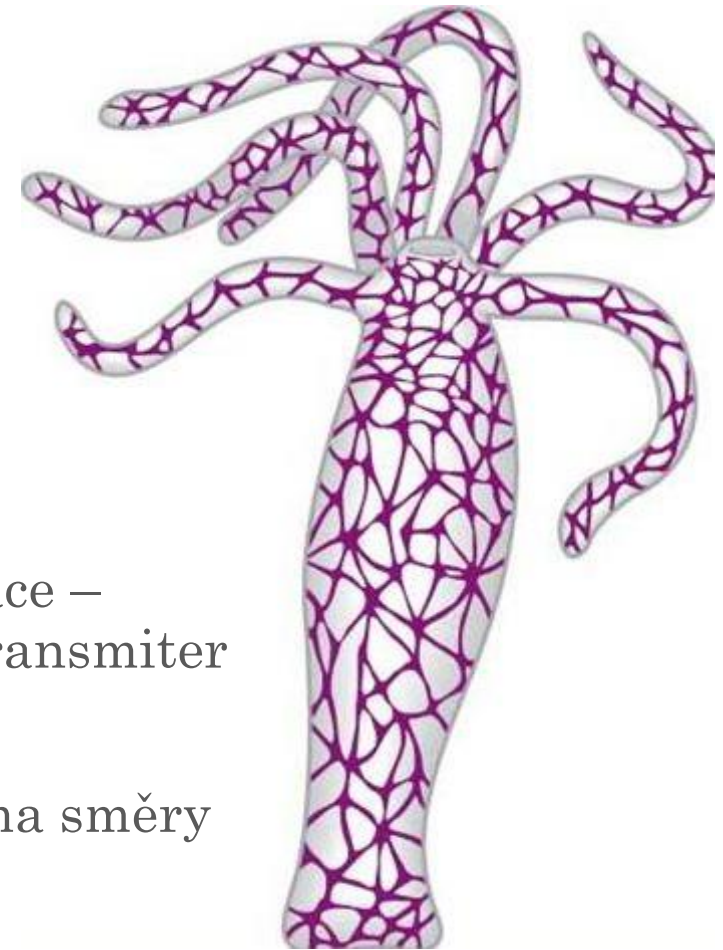
*Geodia cydonium* (Demospongia)  
Přítomné 2 molekuly ze senzoričkého systému Metazoi – neznámá funkce



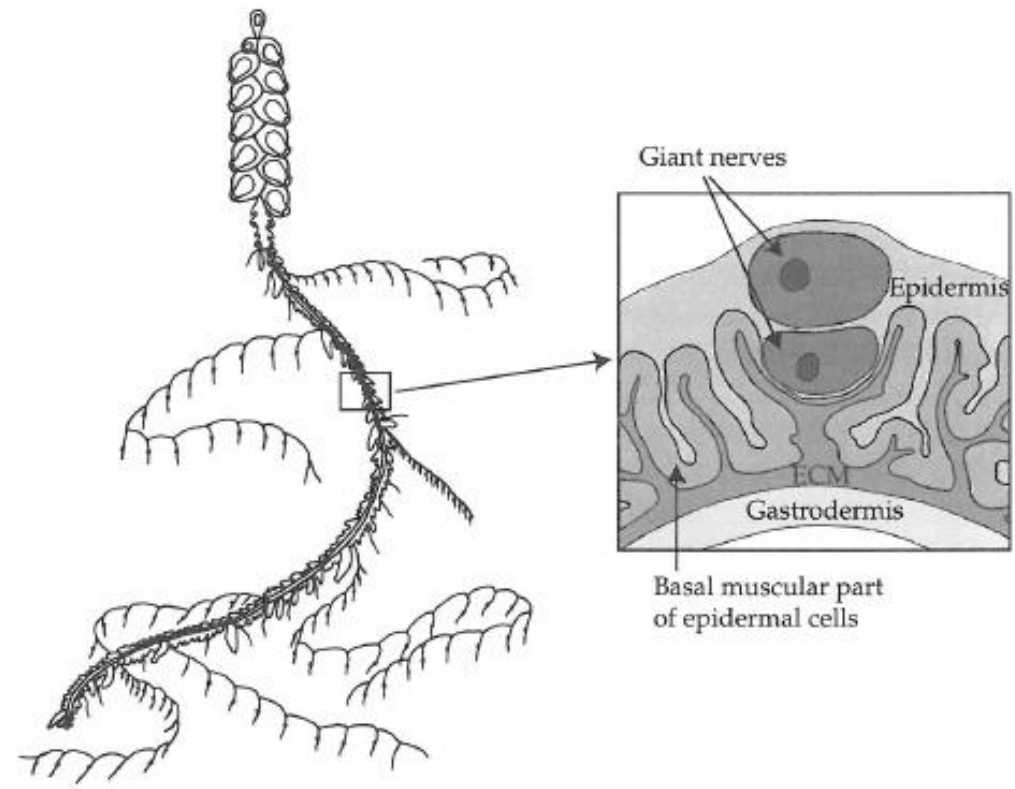
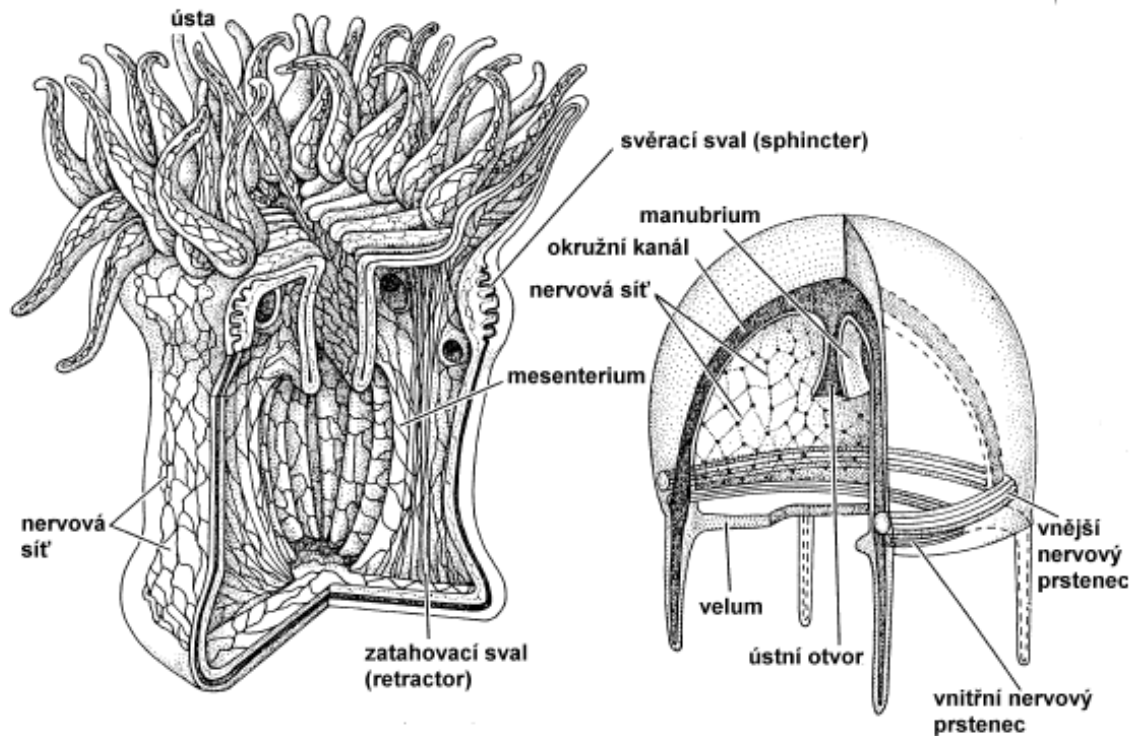
*Teadania ignis* (Demospongia)  
Imunoreaktivita proti serotoninu

# Ctenophora (žebernatky) a Cnidaria (žahavci)

- Jednoduchá nervová síť
- „První“ nervy na buněčné úrovni
- Zásadní novinka – buňky si mezi sebou předávají informace – pomocí synapsí, tedy elektrická synapse nebo chemický transmittér (chemická synapse)
- Symetrické synapse – chemické synapse mohou vést oběma směry (u Bilateria pouze asymetrické)
- Hlavní stavba – multipolární nervové buňky formující síť
- Nervové buňky napojeny na neurosenzorické buňky (ty jsou integrovány v epidermis)



- *Nanomia bijuga* (Cnidaria: Siphonophora) – dva obrovské neurony



- Stavba u polypa a Medúzy

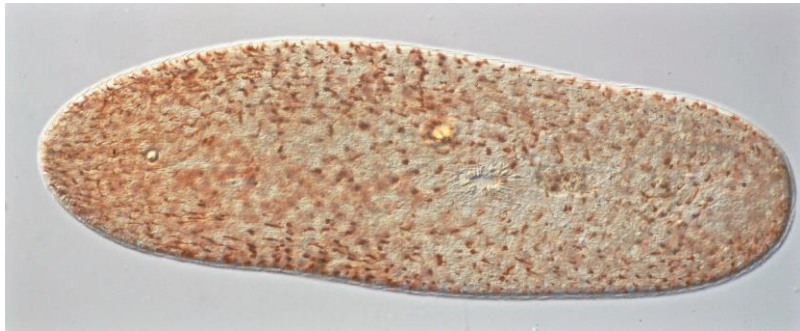


# Bilateria

- Poprvé mozek a provazce
- Ganglion = viditelná kumulace neuronů
- Mozek = kumulace neuronů na předním konci těla
- Provazec = silná vlákna sestávající z mnoha neuronů (nebo jejich axonů)
- Somata (střed těla neuronů) mohou být rozprostřeny podél nervových provazců nebo mohou být koncentrovány v gangliu
- CNS = centrální nervový systém – hlouběji v těle
- PNS = periferní nervový systém – mezi epidermálními nebo bazálními buňkami, ale pořád v kontaktu s tělní stěnou

# Acoelomorpha (praploštěnci)

- Variabilní nervový systém, více či méně žebříčkovitá nervová soustava
- Orthogon – hypotetické ancestrální uspořádání = žebříčkovitá nervová soustava - systém několika podélných nervových provazců
- Někdy jen podélné provazce, někdy i mozek, někdy i komisury

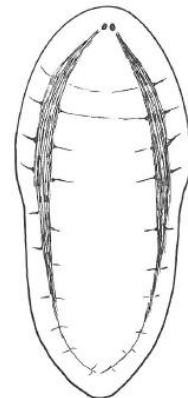


*Anaperus*

- Pouze podélné provazce

*Meara stichopi*

- Jen jeden pár buněk s imunoreaktivitou proti serotoninu

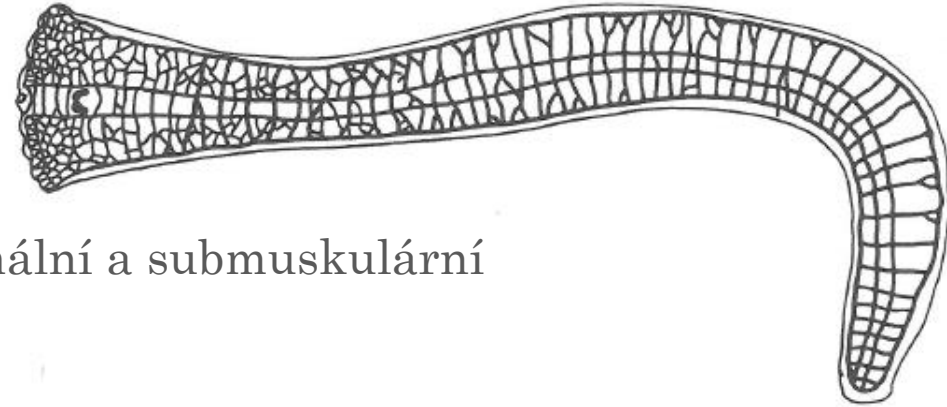




# Žebříčková soustava u Lophotrochozoa

## Platyhelminthes (ploštěnci)

- Variabilní žebříčková soustava
- Až tři plexy – baziepidermální, subepidermální a submuskulární
- Mozek s dvěma laloky
- Podélné nervy a komisury – různé počty



## Gnathifera

- Bilaterálně organizovaný nebo nepárový mozek + dva ventrolaterální nervové provazce
- Může být ganglium
- Odvození od orthogonu pouze spekulace

## Nemertea (pásnice)

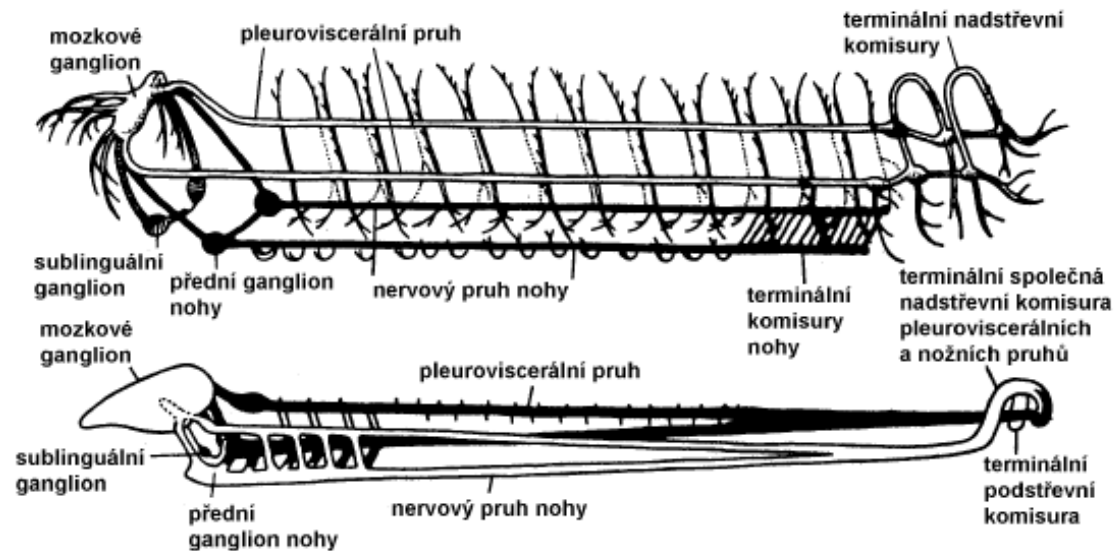
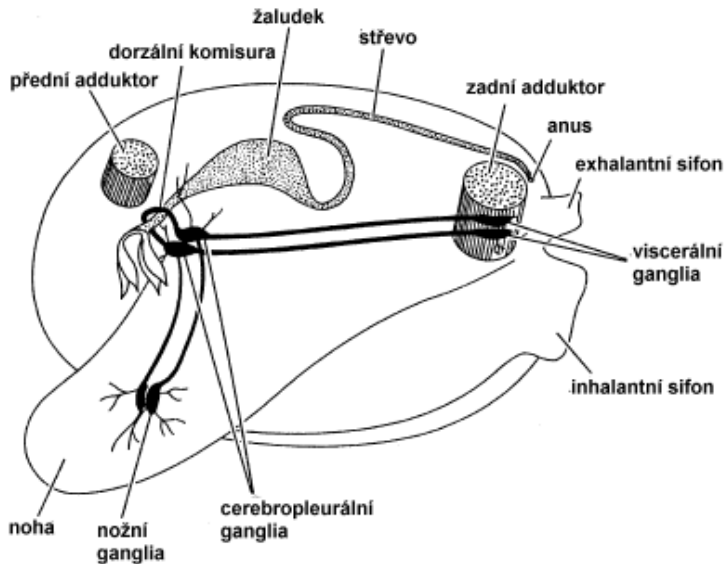
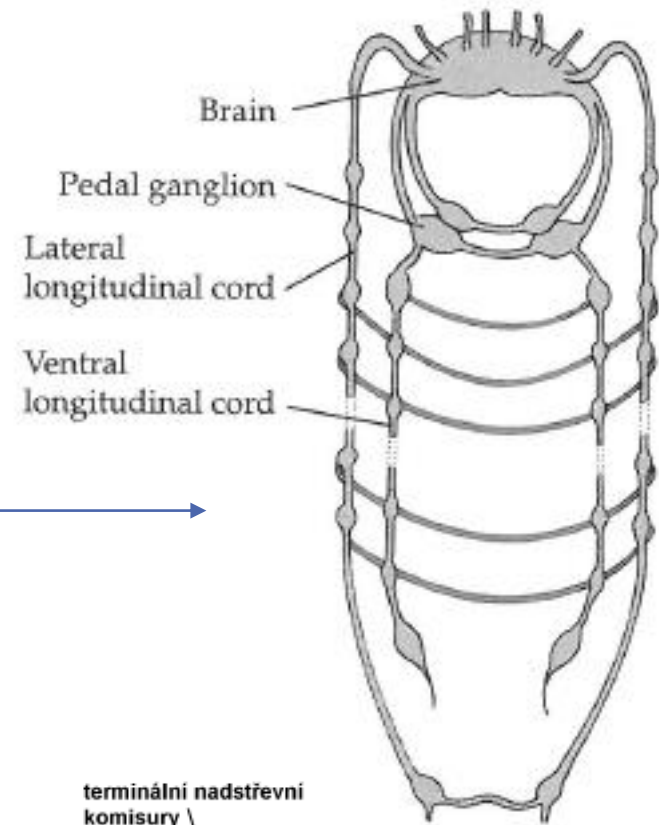
- Bilaterálně symetrický mozek s párovým dorzálním a ventrálním lalokem
- Minimálně 1 podélný provazec
- + baziepidermální nervový plexus

## Kamptozoa

- Párový cerebrální ganglion a další malá ganglia na bázi chapadel – u sensorických orgánů
- Pár menších nervů

## Mollusca (měkkýši)

- Bazální taxony (Neomeniomorpha, Polyplacophora a Monoplacophora) – bilaterálně symetrický mozek, ze kterého vedou čtyři podélné nervové provazce – spojené mnoha komisurami
- Ostatní taxony – silná koncentrace nervového systému v ganglia a několik provazců



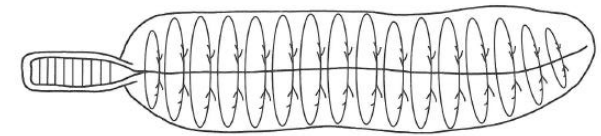
## Annelida (kroužkovci)

- Nervový systém silně strukturovaný (žebříčkový) – segmentace těla nebo orthogon?
- Mozek je napojen na ventrální nervový provazec se spojeními okolo střeva
- Dva hlavní nervové provazce – somata soustředěná v párových gangliích
- Navíc periferní nervový systém
- Počet podélných nervových provazců – 0 až 17
- *Saccocirrus papillocerus* – podélný a kruhový nerv formují perfektní mříž – identickou s orthogonem



## Echiurida

- Mozek není
- Ventrální nervový provazec tvoří subesofageální ganglion v přední části



## Sipunculida

- Bez stopy orthogonu
- Podélný provazce nepárový
- Větví se mnoho nervů bez pravidelného schématu
- Subepidermální plexus

# Daší stopy orthogonu?

- Důkazy orthogonu nejsou dále tak jasné
- Podobnost v segmentovaně uspořádaném nervovém systému
- U živočichů se segmentovaným uspořádáním těla je těžké rozeznat, jestli jsou tyto ventrální nervové provazce spojené komisurami a spojkami zbytky orthogonu nebo výsledek přesunu orgánů v rámci segmentace těla
- **Mozek u Cycloneuralia (Scalidophora + Nematoida)**
  - Mozek u Lophotrochozoa je vždy lokalizován dorzálně a má centrální neuropil s periferními somaty
  - Mozek u cycloneuralia obestírá přední část střeva a je rozdělen ve tři podélné části s předními somaty, středním neuropilem a zadními somaty
  - Výjimkou jsou pouze Nematomorpha, kteří mají subesofageální mozek

## Kinorhyncha (rypečky)

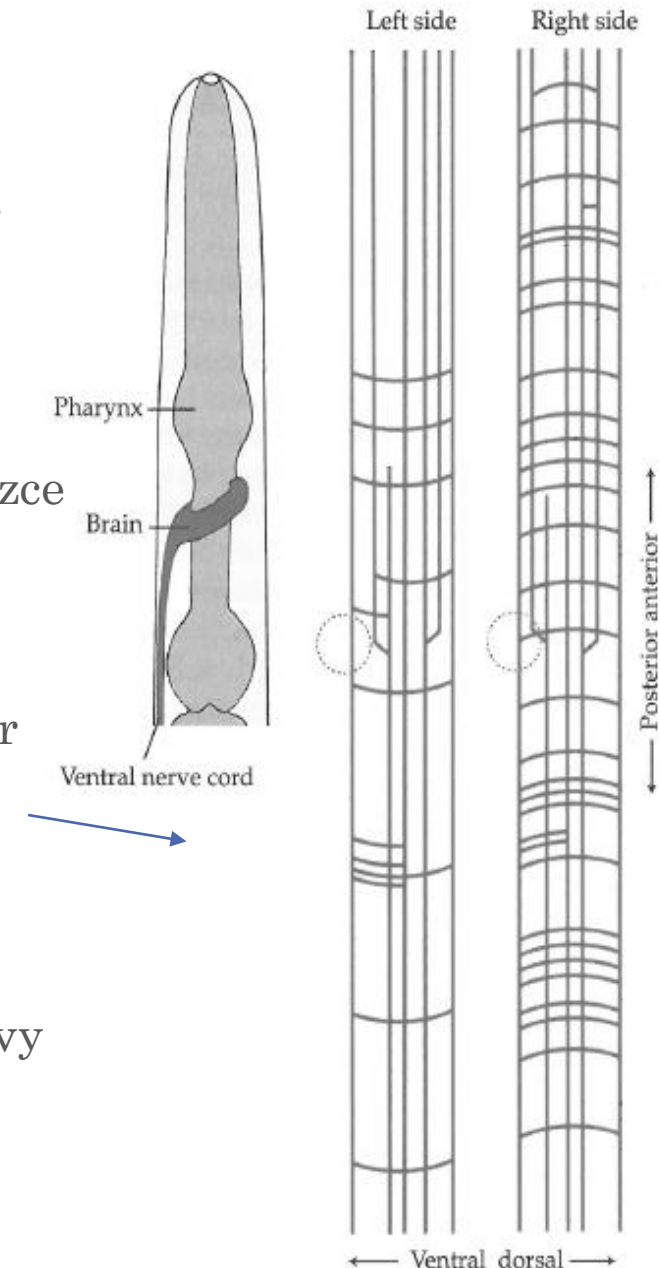
- má párové nervové provazce + 6 podélných nervů, podélné nervy jsou spojené komisurami = orthogonální uspořádání

## Nematoda, Priapulida a Loricifera (hlístice, hlavatci a korzetky)

- Nervový systém je intraepidermální
- Párové (Loricifera) i nepárové (Nematoda, Priapulida) nervové provazce
- Přídavné podélné nervy; 13 u Priapulida, 10 u Loricifera a 5 či více u Nematoda
- *Caenorhabditis elegans* – podélné provazce spojené komisurami, ale nepravidelné uspořádání – pravá a levá strana se liší počtem komisur

## Nematomorpha (strunovci)

- Jen rod *Nectonema* intraepidermální ventrální a dorzální provazec
- *Gordiida* mají jen subepidermální ventrální provazec
- Periferní nervový plexus přítomný, nezahrnuje ale další zřetelné nervy



## Gastrotricha (břichobrvky)

- Žádná podobnost s orthogonem
- Dva lateroventrální nervové provazce
- Půlkruhový mozek

## Onychofora (drápkovci)

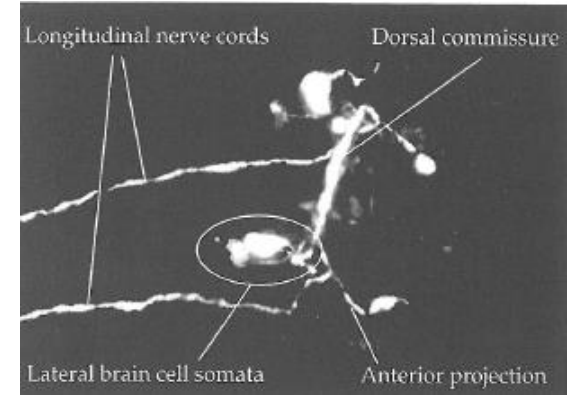
- Sporný segmentovaný charakter mozku
- Dospělci nemají segmentaci mozku, ale během embryonálního vývoje tři ventrální orgány zformují ganglia a ty se pak zformují do mozku
- Podobnost s mozkem Chelicerata
- Ventrální nervový provazec – mnoho komisur ale chybějící ganglium

## Tardigrada (želvušky)

- Segmentace dorzálního mozku chybí
- Čtyři ganglia, ale komisury chybí

## Arthropoda (členovci)

- Mozek = dorzální ganglia a tři části – proto-, deuto- a tritocerebrum
- Deuto- a tritocerebrum inervuje hlavový přívěsek, anteny a chelicery
- Chelicery jsou inervovány i protocerebrem
- Nervy vedou od ganglií na periferii, ale chybí podélné provazce



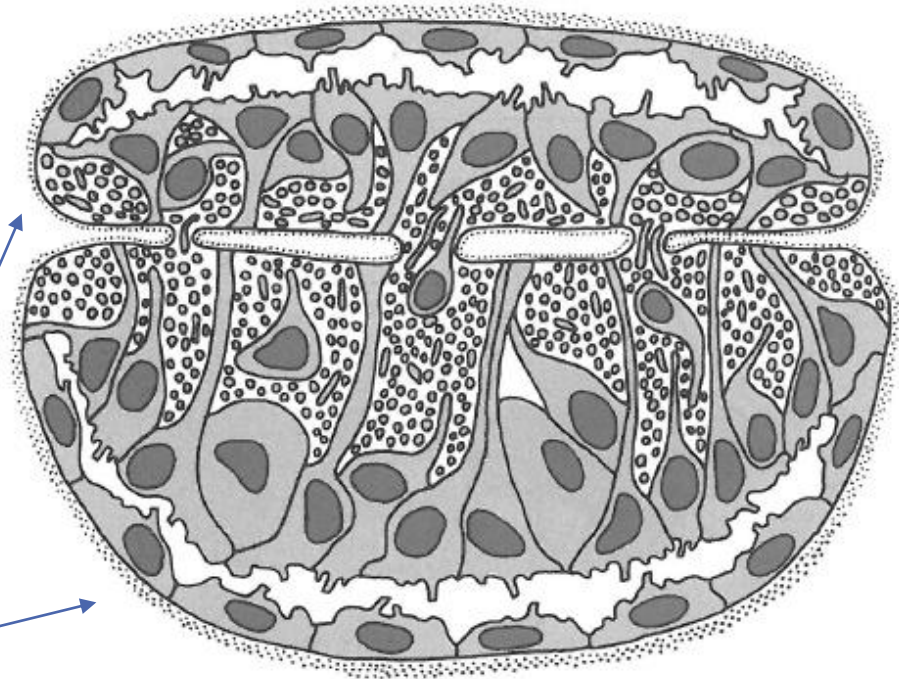
*Turbanella cornuta*  
(Gastrotricha)



# Deuterostomia

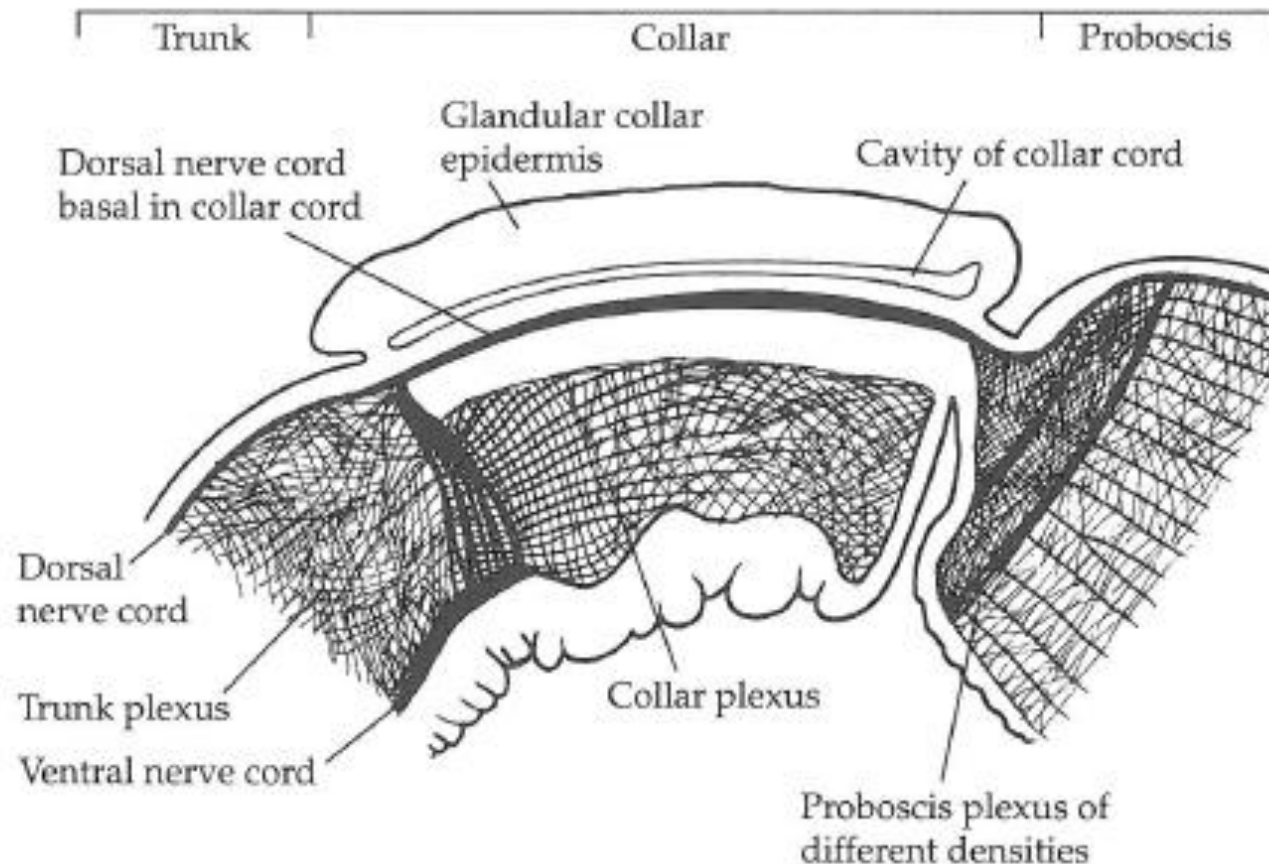
## Echinodermata (ostnokožci)

- Chybí koncentrace, tedy mozek nebo ganglia
- Dva subsystémy
  - Hyponeurální, který se vyvíjí v epitelu coelomu
  - Ektoneurální, který se vyvíjí v epidermis
- Oba systémy jsou prostorově oddělené a jsou propojeny pouze pár nervy
- Oba systémy tvoří provazce a obvodové a radiální nervy
- Nervový systém je intraepiteliální i přesto, že jsou přítomny rozeznatelné nervy
- U **Echinidea** a **Asteroidea** přítomný intraepidermální plexus
- Crinoidea – neutoneurální nervový systém intraepidermální nervový systém + dva další – jeden formuje ústní kruh a radiální nervy, druhý je lokalizován v zadní části = tento systém je důležitý i jako pohybový



## Hemichordata (polostrunatci)

- Nervový systém ovládán intraepidermálním plexem, ale některé elementy jsou zřetelné
- Mozek chybí
- **Pterobranchia** – nahloučení plexů v ústním štítu a na bázi tentakul
- **Enteropneusta** - dorzální a ventrální nervový provazec v trupu a dorzální nerv v chobotku
  - V límci je přítomný límcový provazec

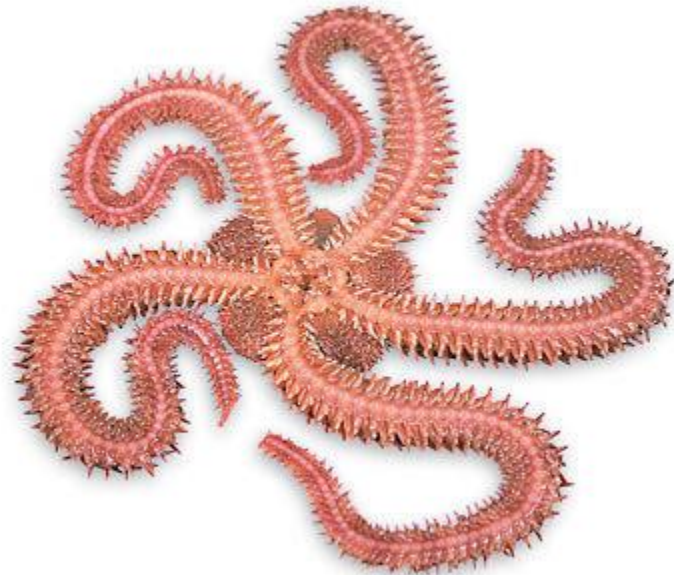


## Chordata (strunatci)

- Typičtí přítomností nervové trubice = dutý dorzální nervový provazec
- Nervová trubice je autapomorfie Chordat
- Na předním konci těla je cerebrální váček a před ním senzorní váček se statocystemem a fotoreceptorem
- **Ascidacea** – NS vysoce modifikován (důsledek přisedlého způsobu života)
  - Mozek, ze kterého vychází několik nervů
  - Mozek doplněn nervovou žlázou
- **Acrania**
  - Nervová trubice podél celé délky těla a otevírá se skrz malý pór ven
  - Na přední straně – cerebrální váček neboli mozek
  - V trubici jsou buňky epiteliálně uspořádané a mají cílie vedené do dutiny
- **Craniota**
  - Nervová trubice uzavřená
  - Výrazný mozek s pěti částmi

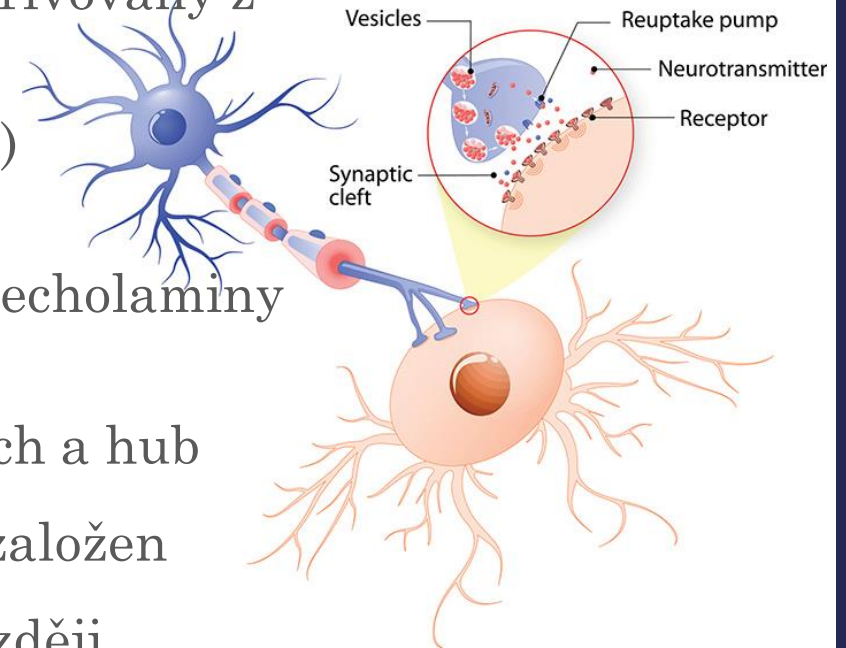
# Hypotéza: Acoelomorpha jsou bazální Bilateria

- Pokud jsou Acoelomorpha sesterskou skupinou zbylých Bilateria
- Mozek s podelnými nervy je autapomorfie Bilaterií = „Komisurální mozek“
- U Deuterstomia byl nervový systém nejdříve redukován a později znovu rozvíjen (Craniota)
- Echinodermata a Hemichordata pravděpodobně redukce kvůli přisedlému a polo-přisedlému způsobu života



# Evoluce neurotransmiterů

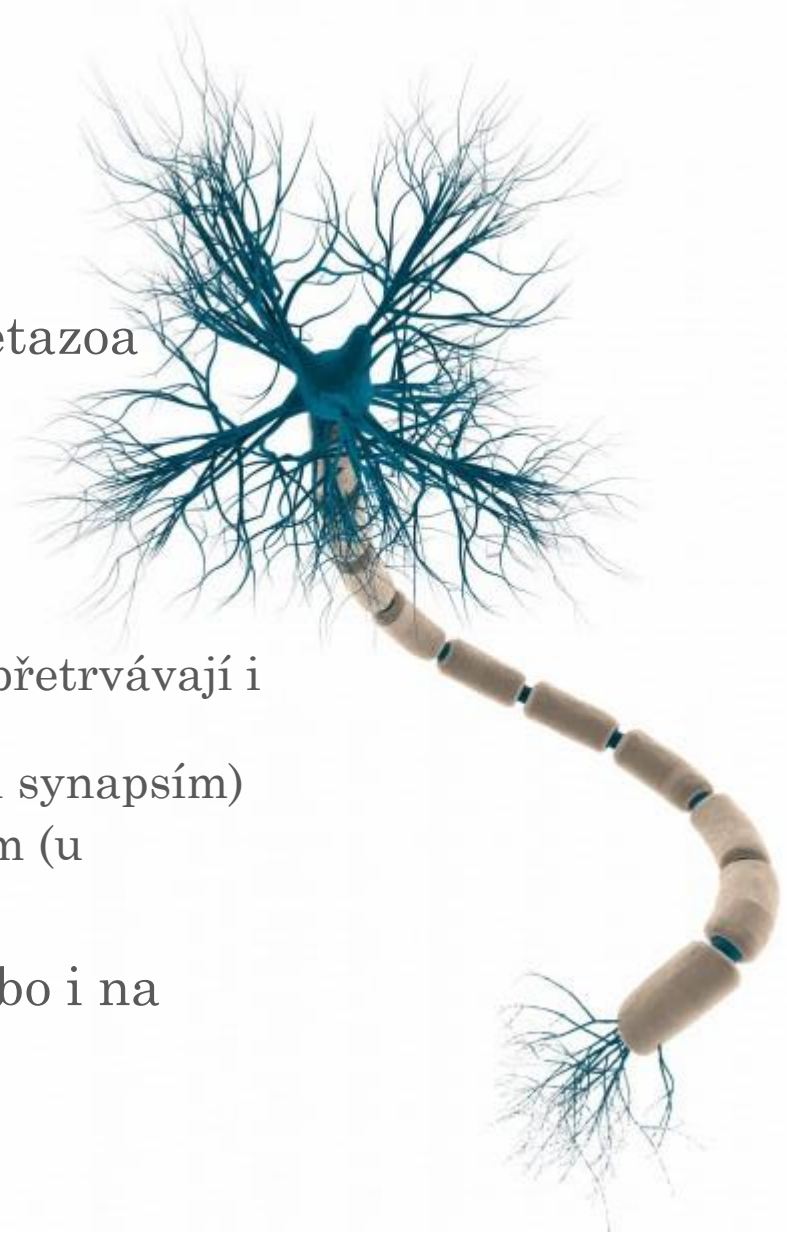
- Široké spektrum neurotransmiterů v chemických synapsích
- Lepší rozlišení mezi přicházejícími informacemi v cílovém neuronu
- Neurotransmitery jsou peptidy anebo velké molekuly derivovány z „běžných“ metabolických procesů v buňce
- Např. aminokyseliny (GABA), cholinestery (acetylcholin) a biogenní aminy
- Nejznámější biogenní aminy – serotonin, histamin a katecholaminy (dopamin, oktopamin, adrenalin a noradrenalin)
- Katecholaminy a serotonin nalezeny už u jednobuněčných a hub
- Cnidaria – běžně neuropeptidy, na kterých je jejich NS založen
- Acetylcholin a oktopamin se pravděpodobně vyvinuli později
- Acetylcholin vyvinut jako autapomorfie Bilateria, oktopamin možná taky





# Závěry

- Nervový systém se vyvinul u ancestorů Eumetazoa
- Některé komponenty mohou být nalezeny u hub a non-metazoa organismů
- V rámci eumetazoa mohou být pozorovány obecné trendy:
  - Od difuzních sítí po definované nervy
  - Od systému bez koordinačních center k systému s mozkem
  - Od periferních k centralizovaným systémům (periferní běžně přetrvávají i u centralizovaných)
  - Od neřízeného k řízenému (od obousměrných k jednosměrným synapsím)
  - Od pravidelné sítě (orthogon) k více specializovaným inervacím (u Protostoma)
- Tyto trendy se mohou objevovat opakovaně - paralelně nebo i na jiných úrovních

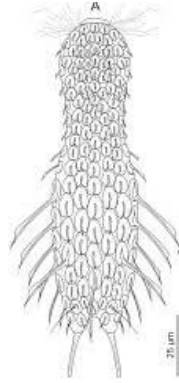
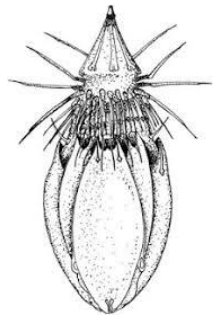






## Lophotrochozoa

Pre-metazoan	Cnidaria a Ctenophora	Bilateria	Acoelomorpha	Platyhelminthes	Gnathifera	Nemertea	Kamptozoa	Mollusca	Annelida
Elektrické signály	Jednoduchá nervová síť	Mozek	Orthogon/žebříčkovitá NS	Variabilní žebříčkovitá soustava	Bilaterálně organizovaný nebo nepárový mozek	Mozek s dvěma laloky	Párový cerebrální ganglion + malá ganglia	Bazální taxony: symetrický mozek se čtyřmi provazci	Silně segmentovaný - žebříčkový
Intracelulární transportní systém	„První“ nervy	Ganglia	Komisury	Až tři plexy: baziepidermální, subepidermální a submuskulární	Dva nervové provazce	Min. 1 nervový provazec		Koncentrace v pár ganglií a nervových provazců	Dva hlavní nervové provazce
Chemické transmittery	Předávání informací mezi buňkami - synapse	Provazce		Mozek s dvěma laloky		Baziepidermální nervový plexus			Navíc PNS
	Nervový prstenec	CNS a PNS							



Deuterostomia

Nematoda, Priapulida a Loricifera	Nematomorpha	Gastrotricha	Tardigrada	Onychofora	Arthropoda	Echinodermata	Hemichordata	Chordata
Intraepidermální NS	Nervový plexus	Dva nervové provazce	Chybí segmentace mozku	Nervový provazec - noho komisur	Mozek se 3 částmi proto-, deuto- a tritocerebrum	Chybí mozek a ganglia	Mozek chybí	Nervová trubice
Nervové provazce	Intraepidermální/ subepidermální nervový provazec	Půlkruhový mozek	Čtyři ganglia	Chybí ganglium	Chybí podélné provazce	Hyponeurální systém	Intraepidermální plexus	Cerebrální váček
Přídavné podélné nervy						Ektoneurální systém		Senzorní váček
						NS je		

Děkuji za pozornost