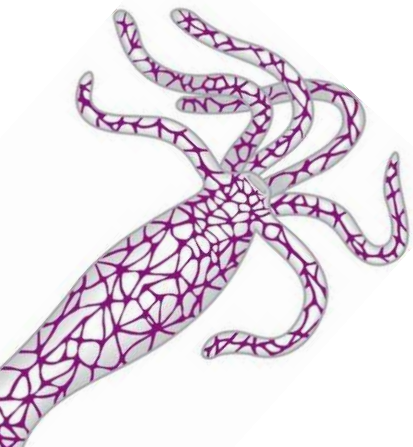


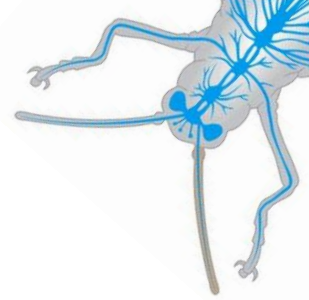


Nervová soustava bezobratlých

Tomáš Havlík



Funkce nervové soustavy

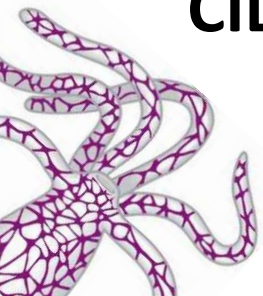


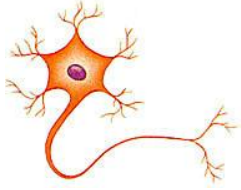
- ✦ vedení informace skrz tělo za pomocí **elektrických a chemických** signálů

ALE

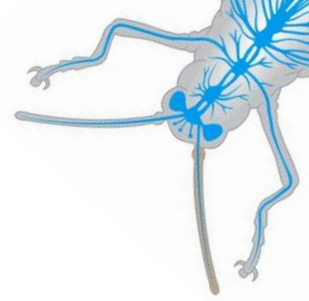
- ✦ elektrické impulzy se mohou tkání šířit nezávisle na NS (menší přesnost a rychlost)
- ✦ chemické substance jsou použity jako signalizační nástroje i v jiných soustavách (hormony v cirkulačním systému)

- ✦ **NERVOVÁ SOUSTAVA JE SPECIALIZACÍ PRO RYCHLÉ A CÍLENÉ VEDENÍ TĚCHTO SIGNÁLŮ**





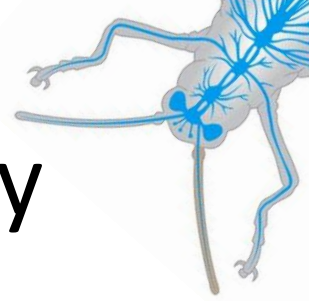
Nervová buňka



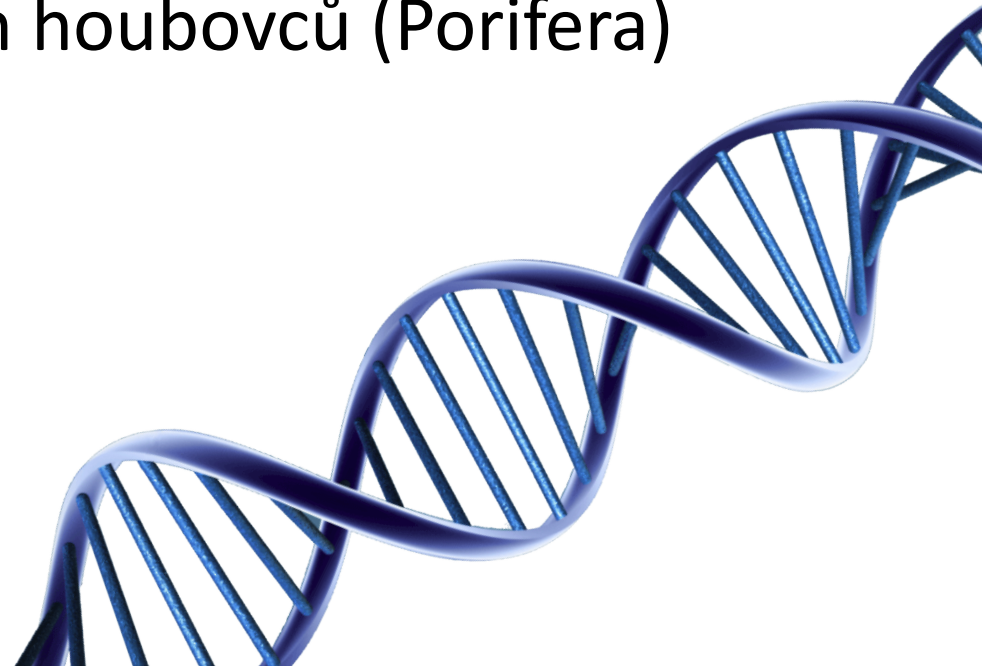
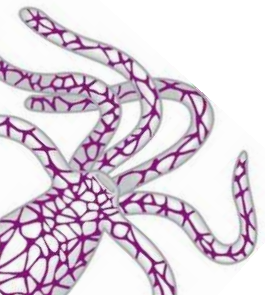
- ✧ vyvinula se u předka všech eumetazoi
- ✧ typické výběžky – **dendrity** a **axony**
- ✧ intracelulární komponenty se výrazně neliší od komponentů ostatních buněk
- ✧ významné jsou pro buňku **transmembránové iontové kanály** a **vezikulární transport**
- ✧ elektrické vedení informace akčními potenciály pomocí dendritů a axonů (**synapse**)
- ✧ podobný mechanismus je znám také u rostlin – list rajčete s živící se housenkou vysílá akční potenciály, které spouští syntézu toxických látek u sousedních listů

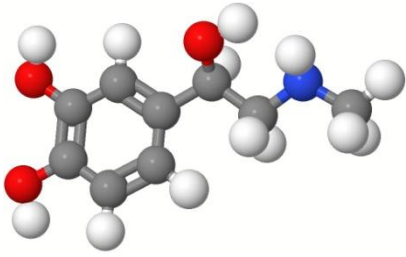


Ortology genů nervové soustavy

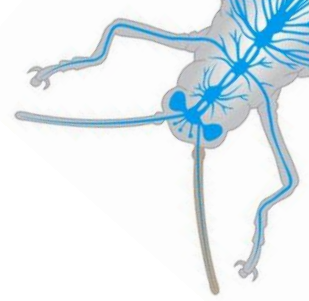


- ✧ evolučně velmi staré – před oddělením houbovců a ostatních mnohobuněčných
- ✧ komponenty nervových buněk pravých mnohobuněčných nalezneme i v jednobuněčných organismech a buňkách houbovců (Porifera)

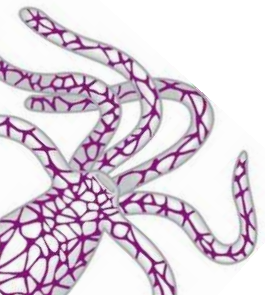




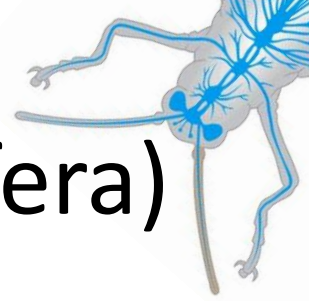
Neurotransmitery



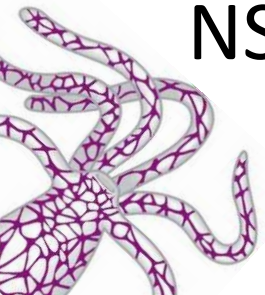
- ✧ různé druhy – lepší rozlišení příchozí informace (různé typy receptorů ještě navyšují tuto diverzitu)
- ✧ **snadno syntetizovatelné** – malé molekuly (např. peptidy) nebo větší molekuly z běžných metabolických drah (metabolismus tyrosinu nebo tryptofanu)
- ✧ v živočišné říši běžně rozšířené, evolučně staré (jednobuněční, houbovci)
- ✧ acetylcholin, oktopamin – autapomorfie trojlistých (Bilateria)
- ✧ biogenní aminy – serotonin, histamin, katecholaminy (dopamin, oktopamin, adrenalin, noradrenalin)



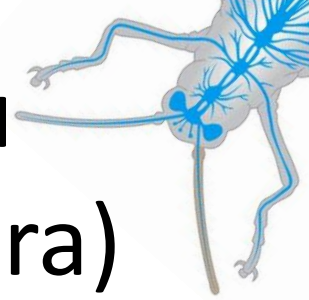
Nervová soustava houbovců (Porifera)



- ✦ **žádné buňky připomínající buňky nervové**
- ✦ schopny se však pravidelně smršťovat nebo koordinovaně přerušit filtraci potravy pomocí elektrických signálů
- ✦ u křemitých (Hexactinellida) je vedení těchto signálů usnadněno syncytiálním povrchem těla
- ✦ podobné molekulární komponenty a receptory NS jako u ostatních mnohobuněčných

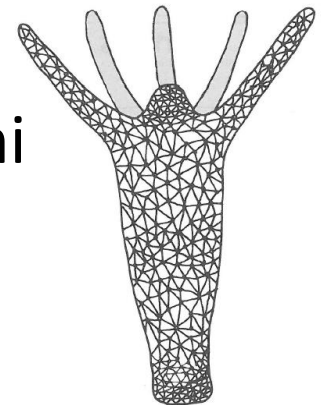
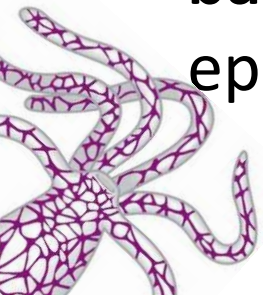


Jednoduchá nervová síť žahavců (Cnidaria) a žebernatek (Ctenophora)

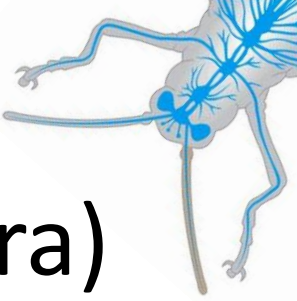


ŽAHAVCI

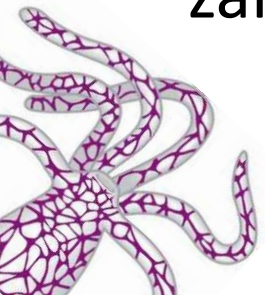
- ✦ objevují se první nervové buňky (multipolární)
- ✦ tyto buňky tvoří **difuzní síť s lokálními zhuštěninami** (trend koncentrace se objevuje i u trojlistých)
 - ✦ u polypovců (Hydrozoa) síť často zhuštěna okolo úst
 - ✦ zhuštěná síť poblíž rhopalií u medúz (Scyphozoa)
 - ✦ velké motoneurony připojené ke svalům umbrelly (plavání)
 - ✦ tvorba nervových prstenců u čtyřhranek (Cubozoa)
- ✦ **baziepiteliální** umístění – mezi bazálními částmi epidermálních a gastrodermálních buňek



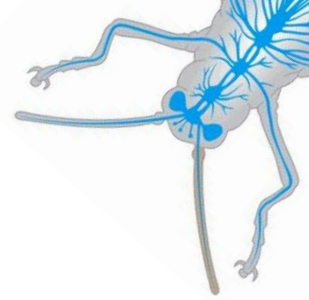
Jednoduchá nervová síť žahavců (Cnidaria) a žebernatek (Ctenophora)



- ✦ vedení přímo skrz **elektrické synapse**, nebo chemické transmitery (peptigerní NS) – **chemické synapse**
- ✦ obousměrné vedení – synaptické váčky na obou stranách spoje – **tzv. symetrické synapse** (Bilateria pouze asymetrické) ale i asymetrické (např. planula)
- ✦ nervové buňky jsou napojeny na **neurosenzorické buňky** (integrální část epidermis)
- ✦ ŽEBERNATKY – nervová soustava se téměř neliší od NS žahavců – **difuzní síť** (zhuštění na lupíncích a tykadlech)

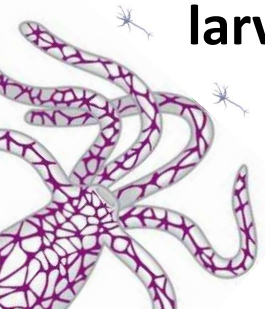


Předkové trojlistých (Bilateria)

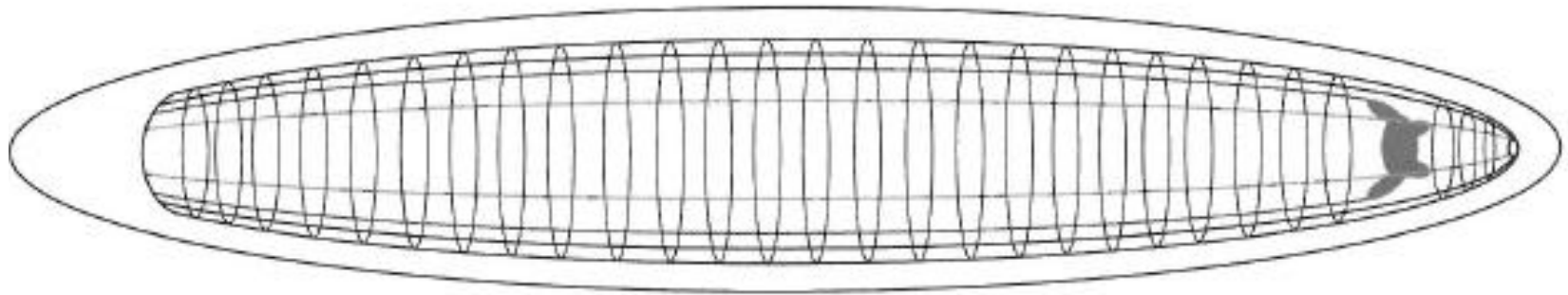
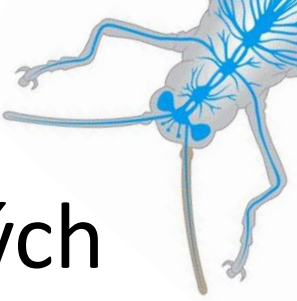


- ✦ **bilaterální symetrie, řízená lokomoce, předozadní uspořádání těla**
↕
- ✦ **koncentrace senzoričkových buněk a nervů (centralizace) v anteriorní části (akumulace neuronů v mozek), jemnější větvení nervových cest**
↕
- ✦ **autapomorfie – „mozek“ s longitudinálními nervy**
↕
- ✦ **asymetrické synapse** (jednosměrné vedení) – nutná diferenciace presynaptické (*release-recapture*) a postsynaptické membrány (příjem, modulace)
↕
- ✦ **ortogonální nervová soustava** – hypotetické ancestrální uspořádání; longitudinální nervové provazce propojené pseudometamericky uspořádanými kruhovými spojkami (recentně u některých spiralií)
↕
- ✦ **larvy** – často odlišná anatomie nervové soustavy od dospělců
↕
- ✦ **častá koncentrace nervových buněk pod apikálním orgánem**

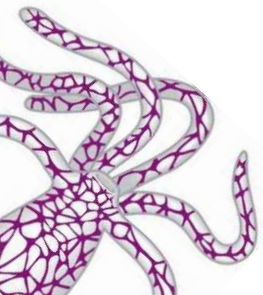
„mozek“ = *cerebrální ganglium*



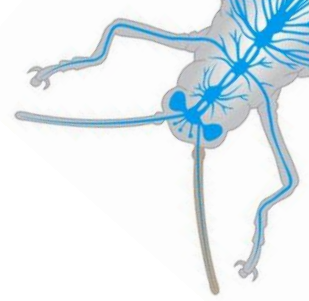
Ortogon – hypotetické ancestrální uspořádání nervové soustavy trojlistých



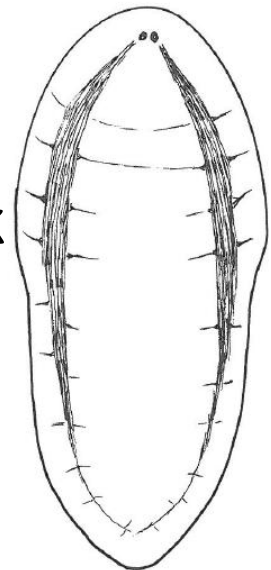
Reisinger (1924) – longitudinální nervové provazce propojené pseudometamericky uspořádanými kruhovými spojkami



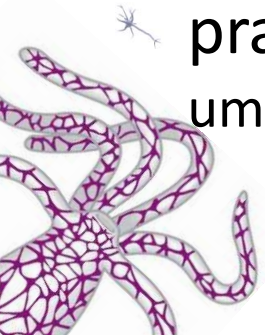
Praploštěnci (Acoelomorpha)



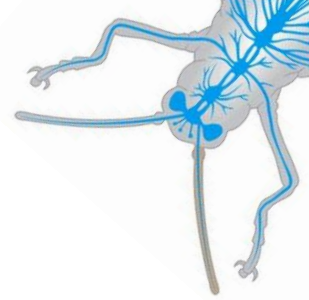
- ✦ **velká variabilita v uspořádání NS**
(více či méně ortogonální uspořádání)
- ✦ tvorba ventrolaterálních akumulací nervových provazců
- ✦ tř. praploštěnky (Nemertodermatida)
kruhová koncentrace nervů v hlavové části,
někdy pouze pár (serotogerních) buněk
- ✦ tř. bezstřevky (Acoela)
cerebrální ganglium (nahloučení nervů, stále
rozeznatlené dráhy) nebo tzv. **komisurální mozek**
pravidelné větvení periferních nervů
umístění NS – intra a baziepidermální, někdy submuskulární



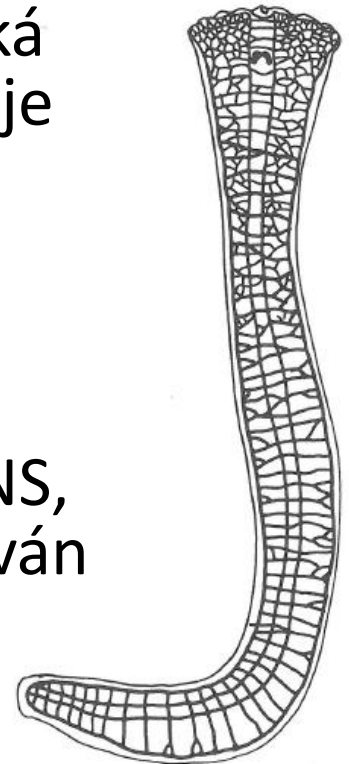
Meara stichopi



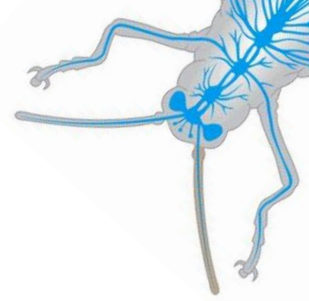
Ploštěnci (Platyhelminthes)



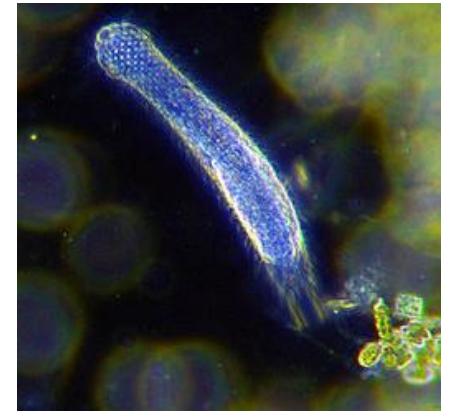
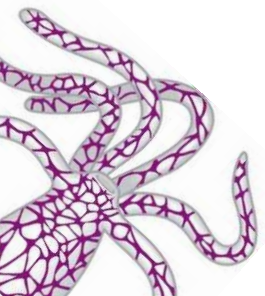
- ✦ **mají ortogon** (modelová skupina), ale jistá variabilita
- ✦ často **velký počet longitudálních** (hlavní a vedlejší) **nervových provazců s příčnými spojkami** – počet variabilní
- ✦ **párové** (dvojlaločné) **hlavové ganglium** – vzniká nezávisle na ortogonu (ontogeneticky dříve) – je submuskulární a dorzální
- ✦ až tři plexi – bazi-epidermální, subepidermální, submuskulární plexus
- ✦ problém – ortogon je jinak odvozen od bazi-epidermální NS, zde vzniká ze submuskulární NS, zatímco bazi-epidermální plexus zůstává zachován



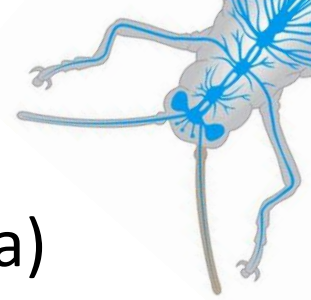
Břichobrvky (Gastrotricha)



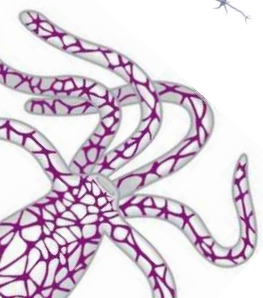
- ✦ **půlkruhový „mozek“** (nadhltanová spojka), případně může být vytvořena také podhltanová spojka
- ✦ **pár ventrolaterálních nervových provazců**
- ✦ nevykazují známky ortogonu – žádné další longitudinální nervy nebo cirkulární elementy (nejasné fylogenetické postavení?)
- ✦ pokud jsou břichobrvky příbuzné cycloneuraliím pravděpodobně došlo k propojení půlkruhu na ventrální straně



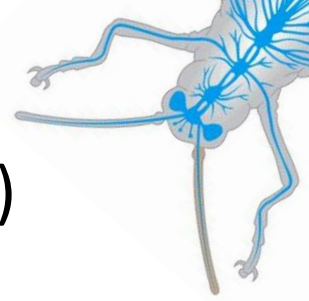
Gnathifera (= Gnathostomulida + Micrognathozoa + „Rotifera“ + Acanthocephala)



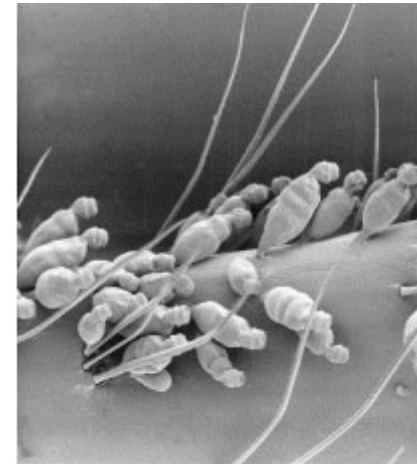
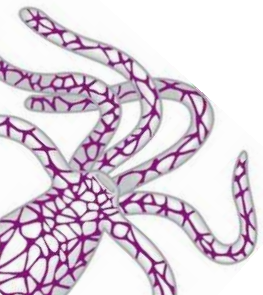
- ✧ odvozeniny ortogonu (žádné zřetelné znaky ortogonu)
- ✧ **bilaterálně organizovaný** nebo **nepárový dorzální „mozek“** a **dva ventrolaterální nervové provazce**, někdy koncentrace tvořící ganglia:
 - ✧ čelistovky (Gnathostomulida) – bukální ganglium
 - ✧ oknozubky (Micrognathozoa) – hrudní a kaudální ganglia
 - ✧ Eurotifera – ganglium mastaxu a kaudální ganglium
 - ✧ žábrovci (Seisonida) – subesophagální ganglium
 - ✧ vrtejši (Acanthocephala) – ♂ genitální a burzální ganglium



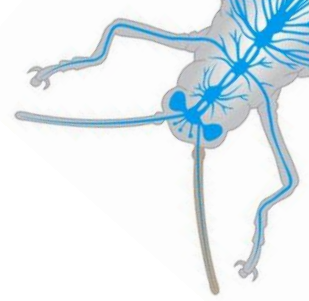
Kamptozoa (= Entoprocta + Cyclophora)



- ✧ **párové cerebrální ganglium** s menšími ganglii na bázi chapadel (Entoprocta) a poblíž bočních senzorických orgánů
- ✧ další menší nervy pravděpodobně homologní s ventrálními a ventrolaterálními longitud. nervy ostatních spirálií



Měkkýši (Mollusca)



červovci (Aplacophora: Solenogastres), chroustnatky (Polyplacophora), přílipkovci (Monoplacophora)

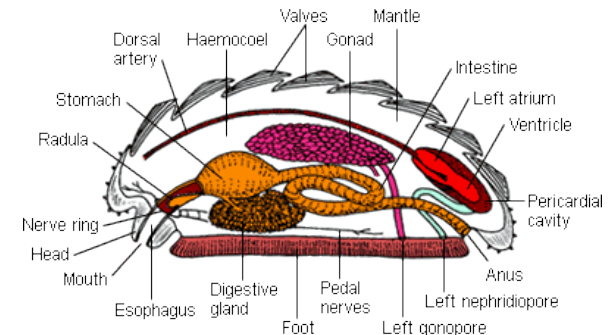
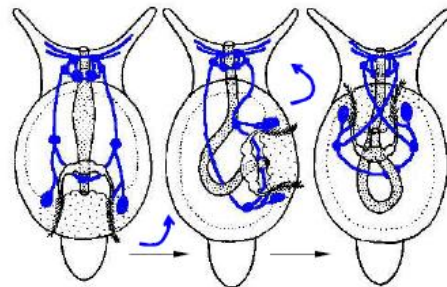
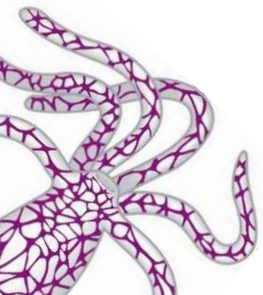
bilaterálně symetrický mozek

4 longitudinální n. provazce (ventralní a laterální)
+ mnoho spojek (ortogon?)

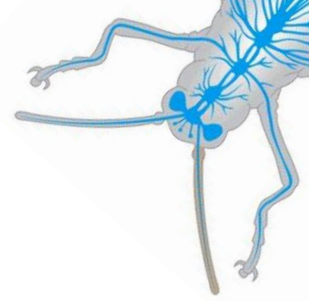
Ganglioneura (plži + mlži + hlavonožci + kelnatky)

silná koncentrace neuronů v ganglia (**gangliová NS**)

méně longitudinálních n. provazců



Měkkýši (Mollusca)



plži (Gastropoda)

5 párů ganglií (cerebrální, pedální, pleurální, parietální, viscerální)

mlži (Bivalvia)

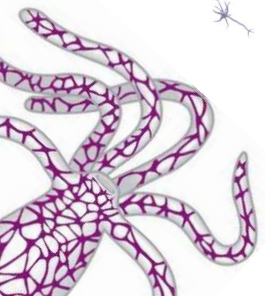
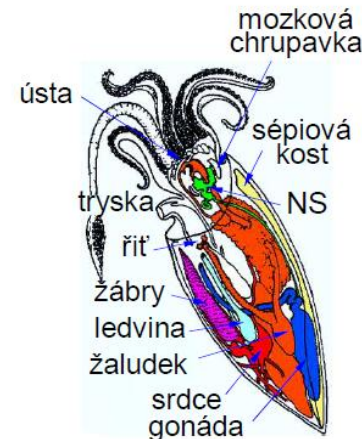
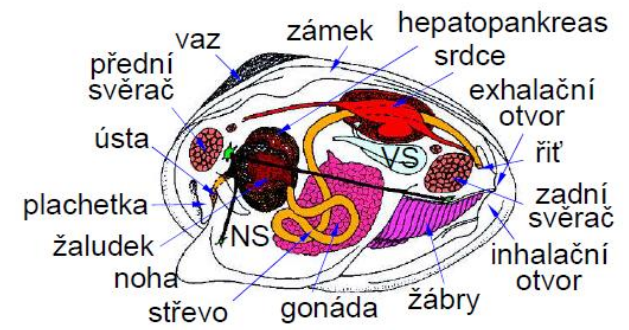
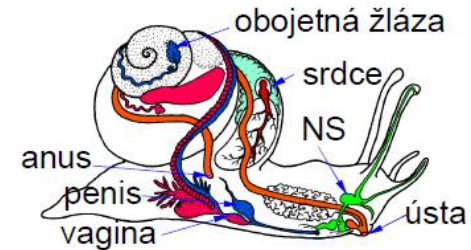
3 páry ganglií

hlavonožci (Cephalopoda)

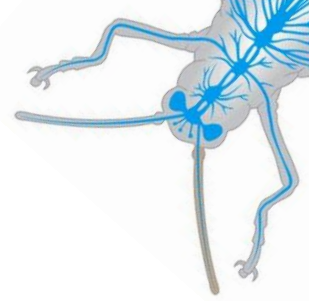
výrazná **cerebralizace**

(nahloučení nervových uzlin – **mozek**)

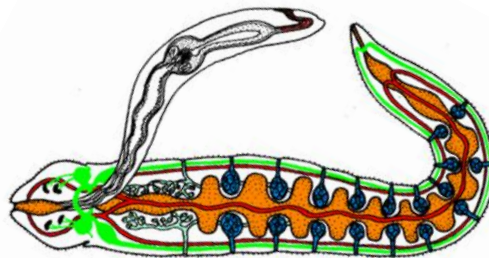
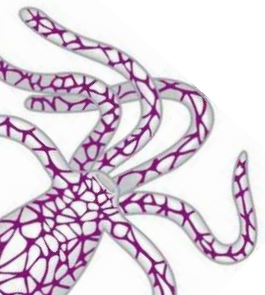
mozek je kryt chrupavkou



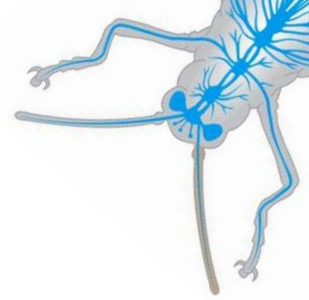
Pásnice (Nemertea)



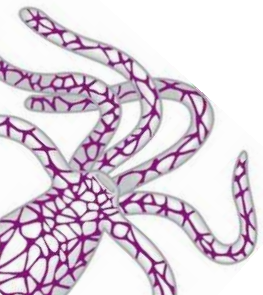
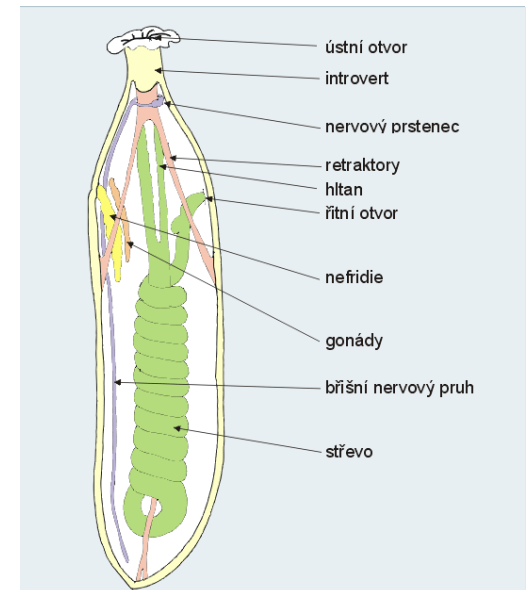
- ✦ bilaterálně symetrický „mozek“ s **párovými dorzálními a ventrálními laloky**, které jsou **spojeny a obklopují střevo** (rhynchocoel)
- ✦ z „mozku“ vybíhá minimálně **jeden pár lateroventrálních longitudinálních nervových provazců** (není jisté zda jsou propojeny spojkami – v literatuře zmínky o pravidelných kruhových spojkách, nebo pouze jedné posteriorní spojce)
- ✦ **baziepidermální plexus** napojený na longitudální nervové provazce



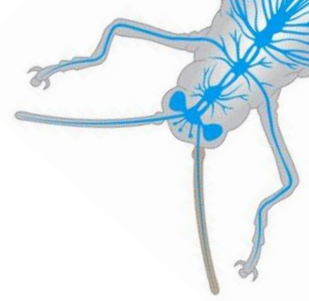
Sumýšovci (Sipuncula)



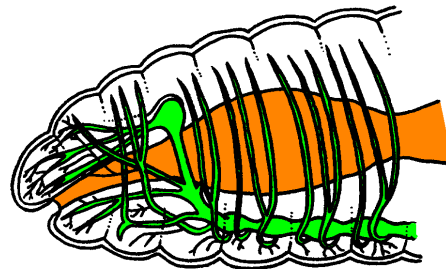
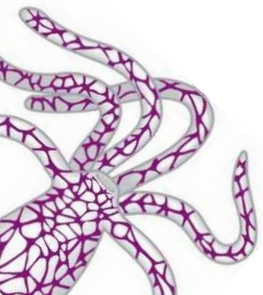
- ✦ **ventrální nervový provazec nepárový, nervový prstenec**
- ✦ žádné stopy po ortogonálním uspořádání
- ✦ žádný pravidelný patern
- ✦ subepidermální plexus, ale žádné výrazné větvení nebo zhuštění (longitudinální či cirkulární)



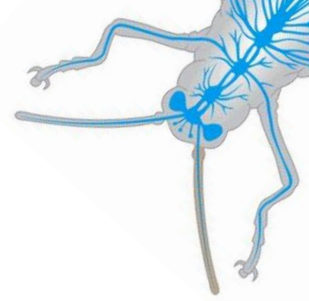
Kroužkovci (Annelida)



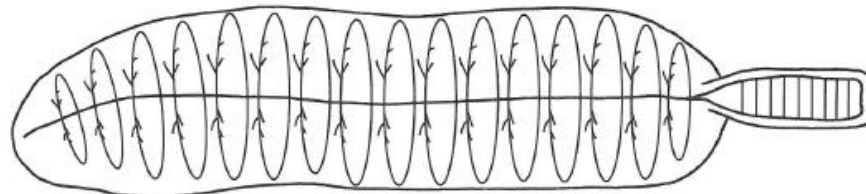
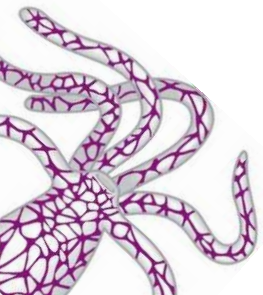
- * **silně strukturováno tělní segmentací – žebříčková NS**
(mohla však být odvozena od ortogonu)
- * **nadhltnový „mozek“** ze splynulého páru ganglií z nichž se každé připojuje k **ventrálním nervovým provazcům**
- * **1 pár hlavních n. provazců** (vent. nebo ventlat.) se somaty koncentrovaných do **segmentálních párů ganglií** (ta jsou spojena různým počtem příčných spojek = **komisur**, x **konektivy** = podélné spojky)
- * PNS – intra a subepidermální, **1 -17 vedlejších longitudinálních** (+ cirkulární nervy – připomíná ortogon)
- * některé roupice (Enchytraeidae) nevykazují během ontogenetického vývoje žádný ganglioidní charakter ventrálního n. provazce
- * trochofory polychaet, *Saccocirrus papillocerus* (Polychaeta) – typický ortogon



Rypohlavci (Echiurida)

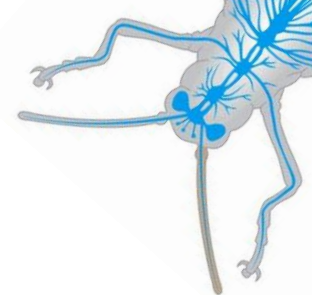


- ✦ **dorzální „mozek“ chybí**
- ✦ **ventrální n. provazec tvoří subesophagální ganglion s circumesophagálními spojkami**
- ✦ metamerické uspořádání NS (=> vyvinuli se ze segmentovaných předků – odvození kroužkovci?, sesterská skupina kroužkovců?)
- ✦ *Echiurus abyssalis* – prstence v pravidelných vzdálenostech vedoucí k sensorickým papilám (papily také v kruzích)

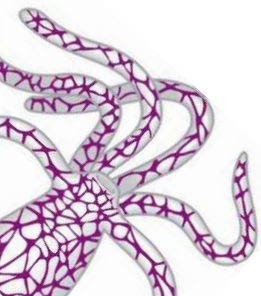


Chobotovci (Scalidophora)

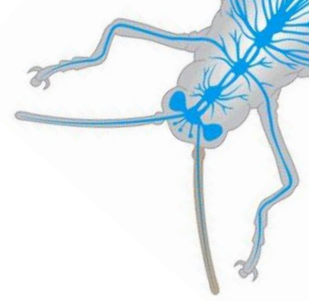
(Priapula + Loricifera + Kinorhyncha)



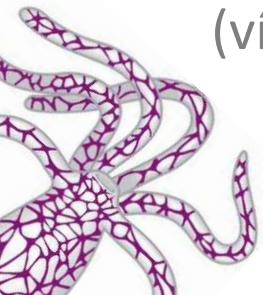
- ✦ **prstencovitý „mozek“** (= Cycloneuralia)
- ✦ hlavatci (Priapula) – nepárový ventrální nervový provazec, přídatné longitudinální provazce – 13, kaudální ganglium
- ✦ korzetky (Loricifera) – párový ventrální nervový provazec, přídatné longitudinální provazce – 10, kaudální ganglium
- ✦ rypečky (Kinorhyncha) – párový ventrální nervový provazec, přídatné longitudinální provazce – 6, metamericky uspořádaná ganglia spojená komisurami mezi segmenty konektivy (pozůstatek ortogonu nebo vznik díky segmentaci?)
- ✦ Priapula, Loricifera – intrapidernální NS, ortogon s cirkulárními elementy redukovanými



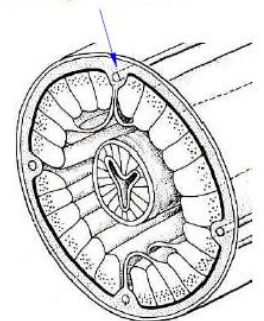
Nematoida



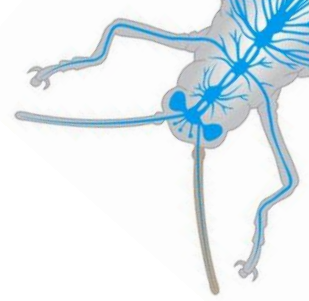
- ✧ strunovci (Nematomorpha) – **podjícnový „mozek“** (nadjícnová část slabá), subepidermální ventrální nervový provazec – translokace z intraepidermální během ontogenetického vývoje (*Nectonema* sp. | – mořský zástupce, také dorzální nervová páska)
- ✧ hlístice (Nematoda) – **prstencovitý „mozek“**, ventrální nervový provazec + přídatné longitudinální provazce (5), ganglia v zadní části těla, svalové výběžky k neuronům
- ✧ *Cenorhabditis elegans* – longitudální spojení komisurami (více na pravé straně) – připomíná ortogon



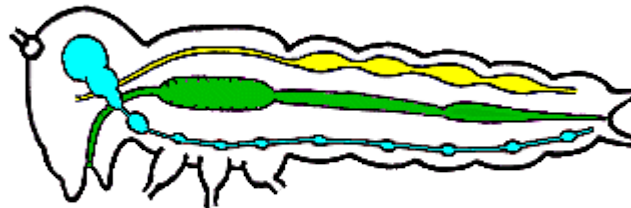
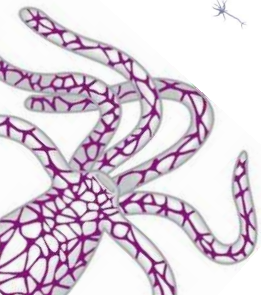
nerv. provazec



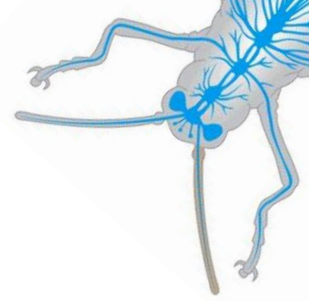
Panarthropoda



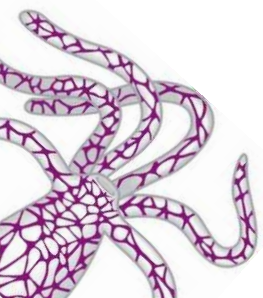
- * drápkovci (Onychophora) – **nadhltanový mozek** (sporný segmentální charakter), pár gangliových ventrálních nervových provazců s metamerními komisurami (9 – 10 na segment), circumintestinální konektivy
- * želvušky (Tradigrada) – mozek – **2 podhltanová a 2 nadhltanová ganglia** (sporný segmentální charakter), pár ventrálních nervových provazců s metamerními ganglii (žádné komisury), circumintestinální konektivy
- * nedostatečné informace o drápkovcích a želvuškách – náročné zrekonstruovat předka všech členovců (podobnost předka s kroužkovci?)
- * členovci (Arthropoda) – mozek – dorzální ganglia ze třech segmentů – **proto- , deuto- , tritocerebrum** (i chelicerata), pár gangliových ventrálních nervových provazců se segmentálními komisurami, circumintest. konektivy
 - * deuto + tritocerebrum – inervuje přívěsky hlavy např. tykadla, chelicery (x chelifery nohatek inervovány protocerebrem)
 - * NS členovců – pozůstatek ortogonu nebo vznik díky segmentaci?
 - * u hmyzu časté splývání hrudních a zadečkových uzlin



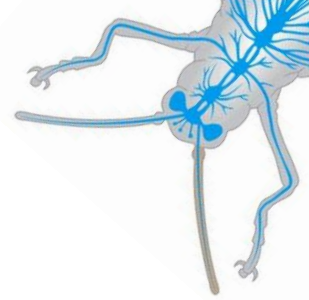
Mechovci, chapadlovky, a „ramenonožci“



- ✧ mechovci (Bryozoa) – nepárový „mozek“ + viscerální ganglium
- ✧ chapadlovky (Phoronida) – nepárový „mozek“ + nervový prstenec na bázi lofoforu
- ✧ ramenonožci („Brachiopoda“) – „mozek“ = nepárová nadjícnová a podjícnová ganglia (z nich vybíhá několik nervových provazců) + supraentrické ganglium



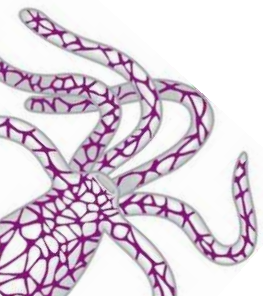
Ploutvenky (Chaetognatha)

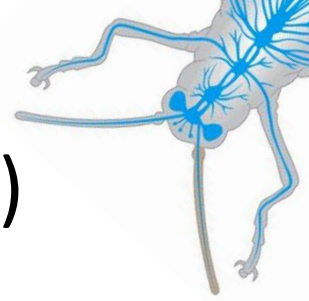


- ✧ dorzálně umístěný „mozek“ + 5 hlavových ganglií
- ✧ velké břišní ganglium s řadou radiálních nervů

Mlžojedi (Xenoturbellida)

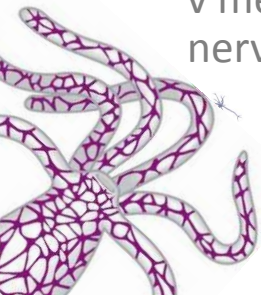
- ✧ intraepidermální plexus (síťovitá NS)

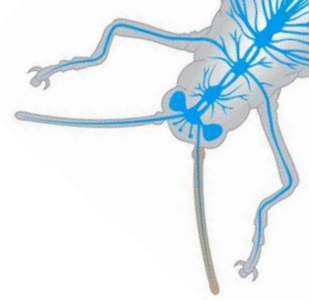




Ostnokožci (Echinodermata)

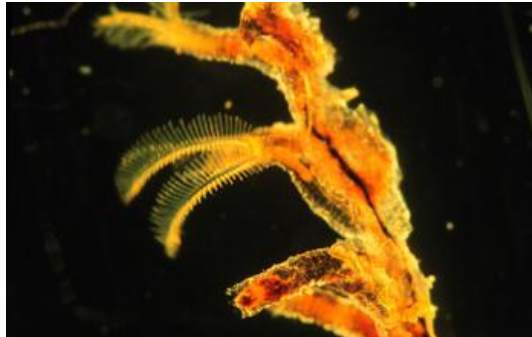
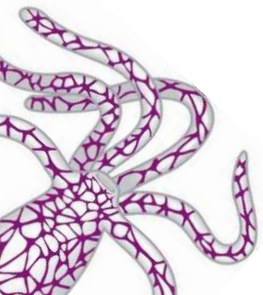
- * **chybí ganglia i „mozek“** – ancestrální znaky
(není jasné zda tato organizace reflektuje primitivní uspořádání nebo je odvozeninou sesilního, hemisesilního způsobu života)
- * připomíná nervový systém žahavců (více než prvoústých nebo strunatců) – **intraepiteliální nervová soustava**
- * dva subsystémy (ty propojeny několika nervy):
 - * **ektoneurální** (epidermis, senzorická část)
 - * **hyponeurální** (coelomový epitel, motorická část) – ta tvoří **circumoralní a radiální nervy** (tvarem kopírují ambulakrální soustavu)
- * hadice (Ophiuroida), ježovky (Echinoidea), sumýši (Holothuroidea) – circumoralní a radiální nervy vznikají z tubulárního epitelu (**podobné neurulaci chordat**) – nervová trubice
- * ježovky (Echinoidea) a hvězdice (Asteroidea) mají navíc intraepidermální n. plexus
- * lilijice (Crinoidea) – ektoneurální sbs. = intraepidermální; orální prstenec a radiální nervy v mezibuněčné hmotě (homolog hyponeurálního sbs.); „cup shaped“ region a radiální nervy = **ENTONEURÁLNÍ sbs.** – motorický systém lilijic
- * u sumýšů – možno měnit tuhost pojivové kolagenní tkáně pomocí NS





Polostrunatci (Hemichordata)

- ✧ **také ancestrální znaky** (koncentrace podobné mozku chybí)
- ✧ křídložábřící (Pterobranchia) – **dominuje intraepidermální plexus** (některé elementy zvýrazněny, koncentrace plexu v ústním štítu a chapadlech) + gangliová koncentrace na bázi chapadel
- ✧ žaludovci (Enteropneusta) – v límci (mesosoma) subepidermální **dutý límcový provazec**, dorzální a ventrální nervový provazec + dorzální nerv v prosoma
- ✧ Ptychoderidae – dutý nervový provazec, který se otevírá ven póry





Děkuji za pozornost!

