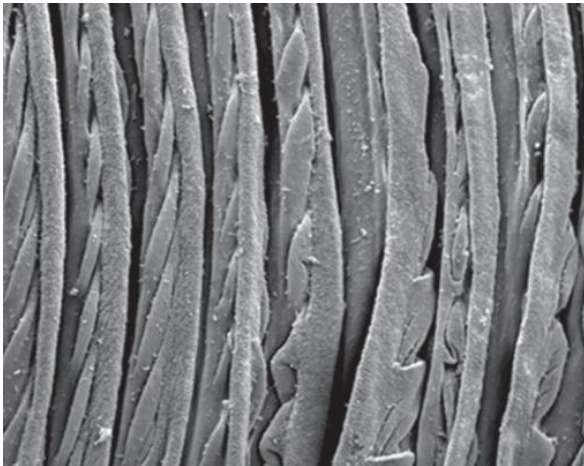
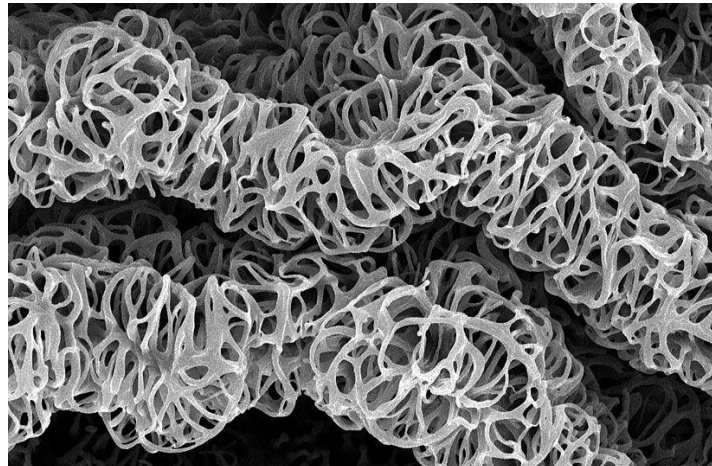


Dýchacia sústava

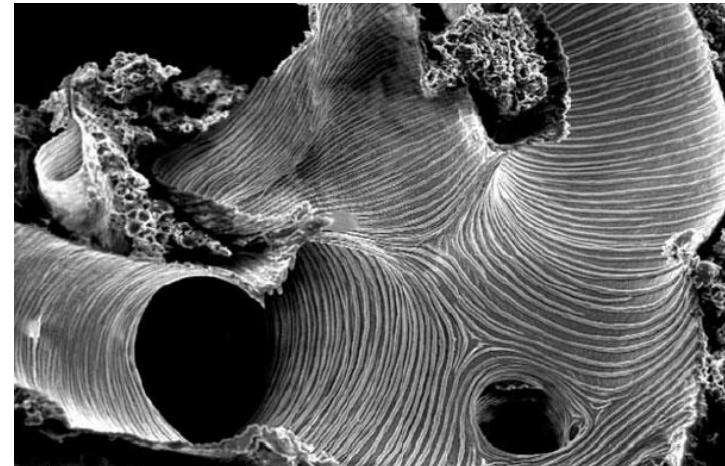
EVOLUCE BEZOBRATLÝCH PRO POKROČILÉ
ALŽBETA DEVÁNOVÁ



SEM: žiabre mäkkýša (Bivalvia)



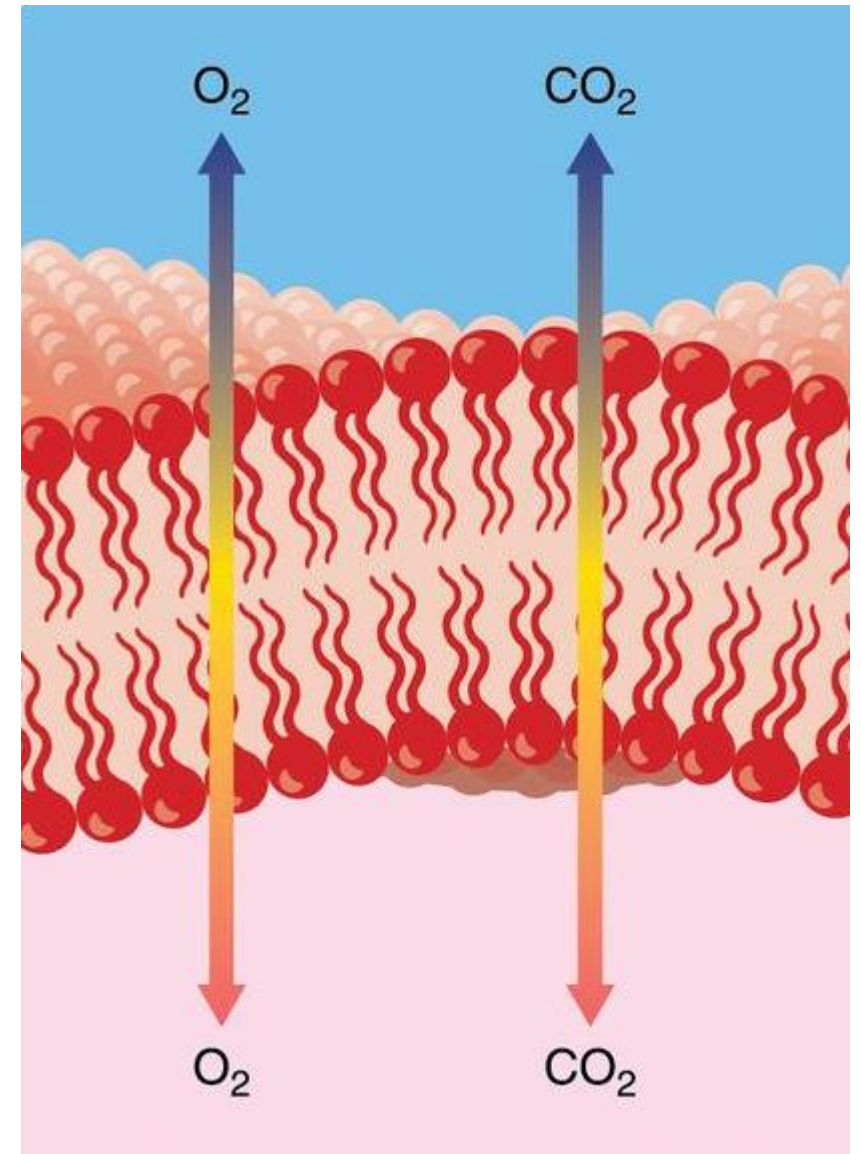
SEM: pľúcne vaky pavúka



SEM: vzdušnice chrobáka

Dýchacia sústava

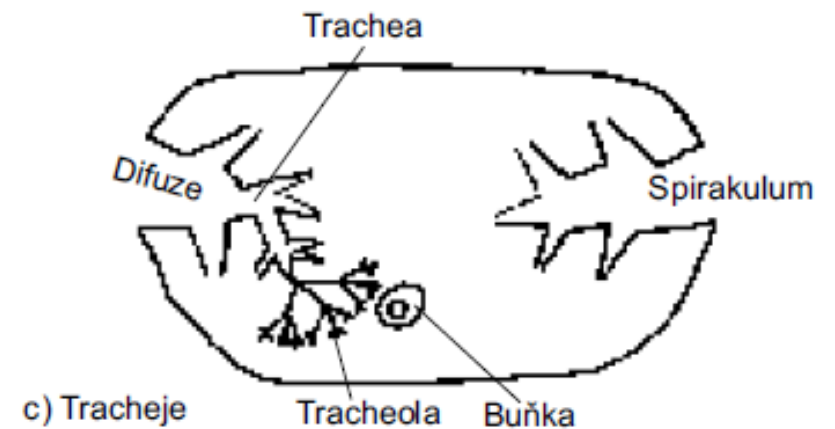
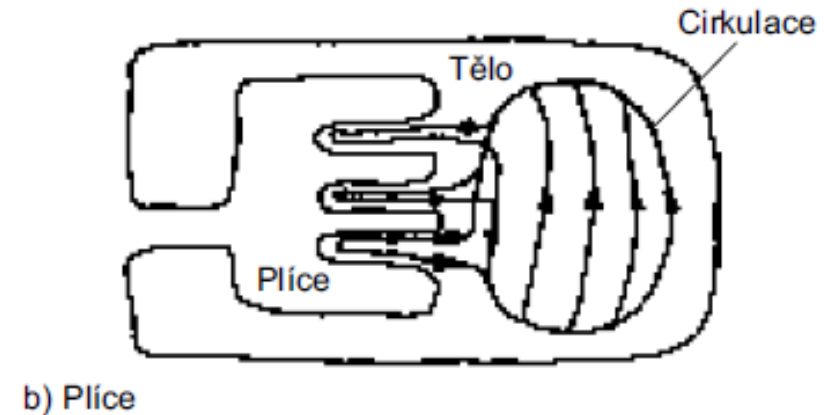
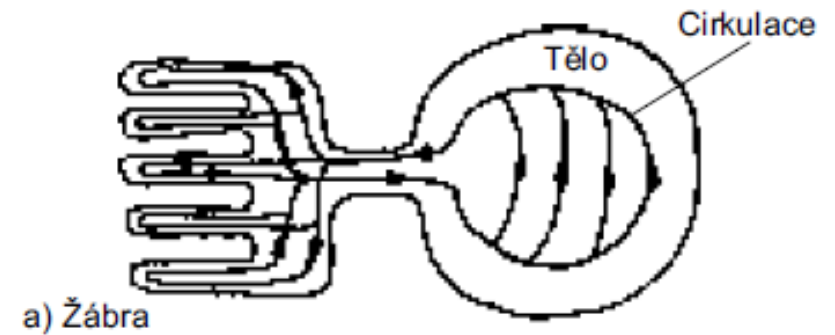
- aeróbne organizmy
- príjem O_2 z prostredia (vzduch, voda)
- výdaj CO_2 z organizmu do prostredia
- O_2 : metabolické procesy: oxidácia-
uvoľnenie energie z chemických väzieb
- CO_2 : odpadný produkt metabolizmu
- difúzia dýchacích plynov cez bunkovú
membránu po koncentračnom spáde



difúzia dýchacích plynov cez
cytoplazmatickú membránu

Dýchacie orgány

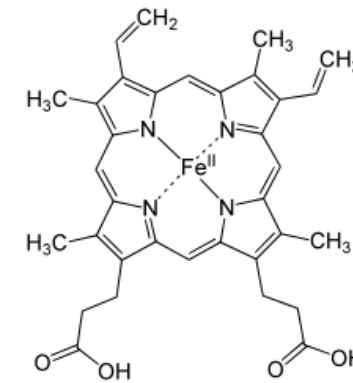
- maximalizácia kontaktu povrchu dýchacích orgánov s vonkajším prostredím
- minimalizácia hrúbky tkaniva medzi vonkajším prostredím a telesnou tekutinou/bunkami
- evolúcia dýchacích orgánov: prispôsobenie veľkosti tela a podmienkam prostredia
- O_2 z vody: žiabre
- O_2 zo vzduchu: pľúca



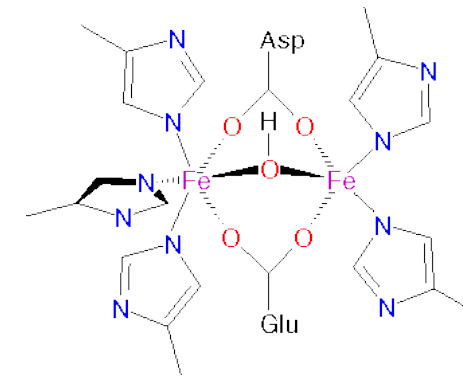
Základné dýchacie orgány: žiabre, pľúca, vzdušnice,
zdroj: M. Vácha: Srovnávací fyziologie živočichů (2002)

Dýchacie pigmenty

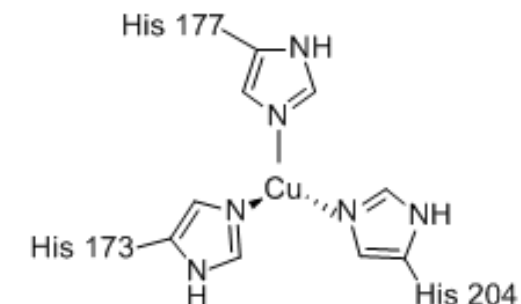
- nezávislý vývoj 3 typov pigmentov:
- **hemoglobín**: hem (porfyrínový kruh s centrálnym atómom Fe, ktoré viaže O₂) + globin (bielkovina); rôzne typy: monoméry, diméry, tetraméry, polyméry, intracelulárne, extracelulárne; väčšina živočíchov
- **hemoerytrín**: obsahuje Fe viažuce O₂ (ale bez porfyrínu); Priapula, Sipunculida, Brachiopoda, niektoré Annelida
- **hemocyanín**: Cu viažuca O₂ naviazaná priamo na globín; v oxidovanej forme: modrý, v redukovanej forme: bezfarebný; Mollusca, niektoré Arthropoda



hemoglobín



hemoerytrín

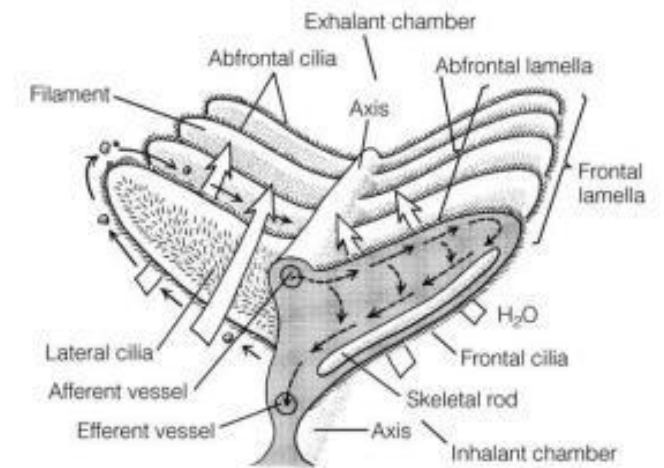
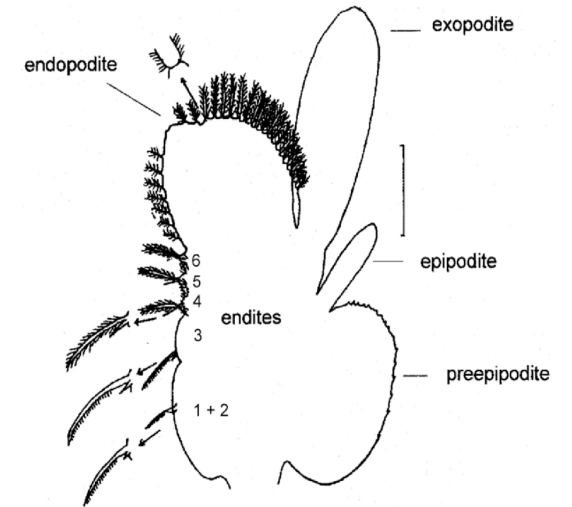


hemocyanín

Spôsoby dýchania u bezstavovcov:

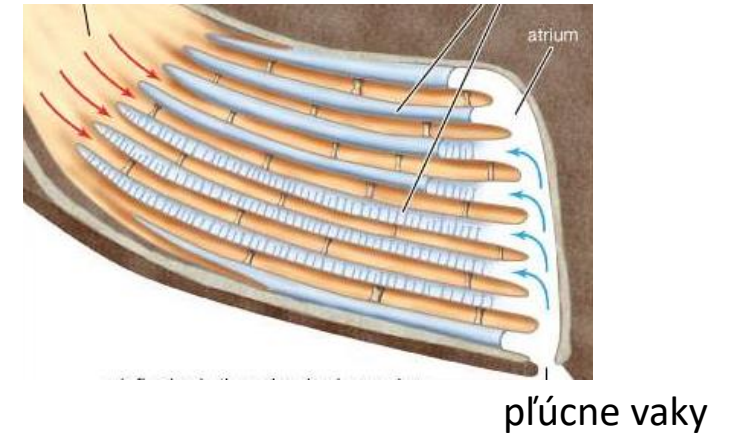
- **epidermálne dýchanie:** celým povrchom tela, podmienka: vlhký povrch; menšie živočíchy a vodné bezstavovce (+ k tomu môžu dýchať aj ďalším spôsobom)
- **črevné dýchanie:** povrchom tráviacej sústavy – cez stenu (rozvetveného) čreva; vodné bezstavovce
- **žiabre:** vychlípené časti povrchu tela (ektodermálny pôvod), výmena O_2 medzi vonkajším prostredím a telesnou tekutinou; vodné bezstavovce, vznik u mnohých skupín- nehomologický pôvod, prívesky na parapódiach, epipodity, ctenídie,...

Žiabre u mnohých skupín vznikli z orgánov, ktorých funkcia bola primárne filtračná: žiabre mlžov, chápadielka sumýšovcov, žiabrové štrbiny žaludovcov,...



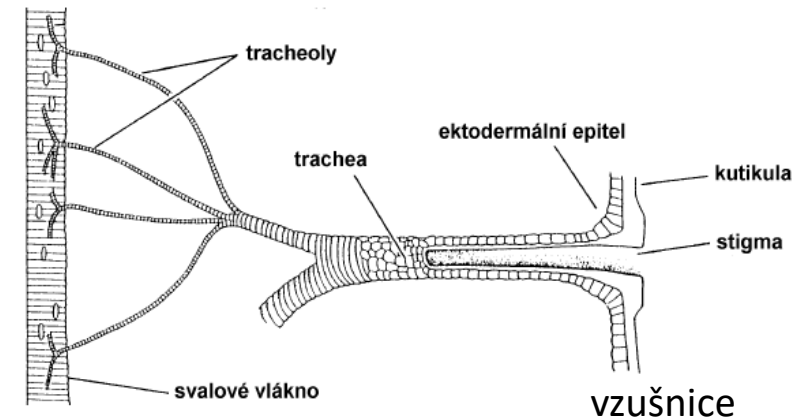
žiabre kôrovcov: epipoditové prívesky a mäkkýšov: bipektinátne ctenídie

plúcne vaky: “žiabre” zanorené do povrchu tela, vaky so zriasenými lištami na povrch ústiace len malým otvorom = stigma; suchozemské bezstavovce

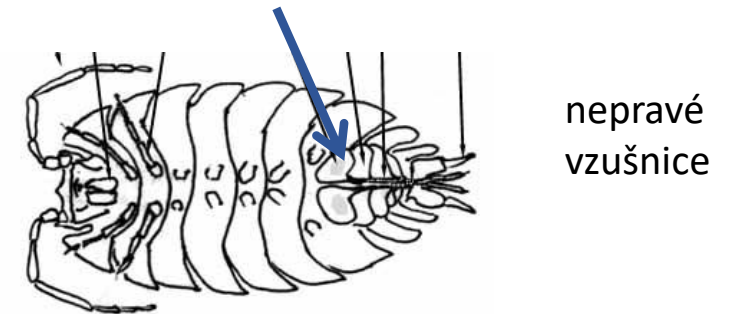


plúca: vznik zo steny plášťa, na povrch ústi pneumostom; primárne suchozemské bezstavovce (Pulmonata)

vzdušnice: vchlípeniny ektodermu, bohato vetvené (a navzájom sa prepojujúce) trubice vystužené chitinóznymi špirálami= taenidie, privádzajú O_2 priamo k bunkám, na povrch ústia otvorom= stigma; primárne suchozemské bezstavovce



nepravé vzdušnice: tenkostenné vetvené invaginácie ektodermu nezasahujúce až k jednotlivým bunkám, O_2 vymieňajú s telesnou tekutinou; suchozemské kôrovce



Dýchacie orgány a pigmenty u bezstavovcov zo skupiny Metazoa:

- “Porifera”
- Cnidaria
- Ectoprocta
- Gastrotricha
- Platyhelminthes
- Mollusca
- Brachiozoa
- Nemertea
- Sipuncula
- Annelida
- Nematoda
- Scolidophora
- Onychophora
- Arthropoda
- Hemichordata
- Echinodermata

“Porifera” (houbovci)

- Dýchacia sústava nevyvinutá



Cnidaria (žahavci)

- Dýchacia sústava nevyvinutá, dýchanie povrhom tela



Ectoprocta (mechovci)

- epidermálne dýchanie, obzvlášť na chápadielkach



Gastrotricha (břichobrvky)

- žádné dýchací orgány
- hemoglobín *Neodasys* sp. / bez hemoglobínu *Turbanella ocellate*



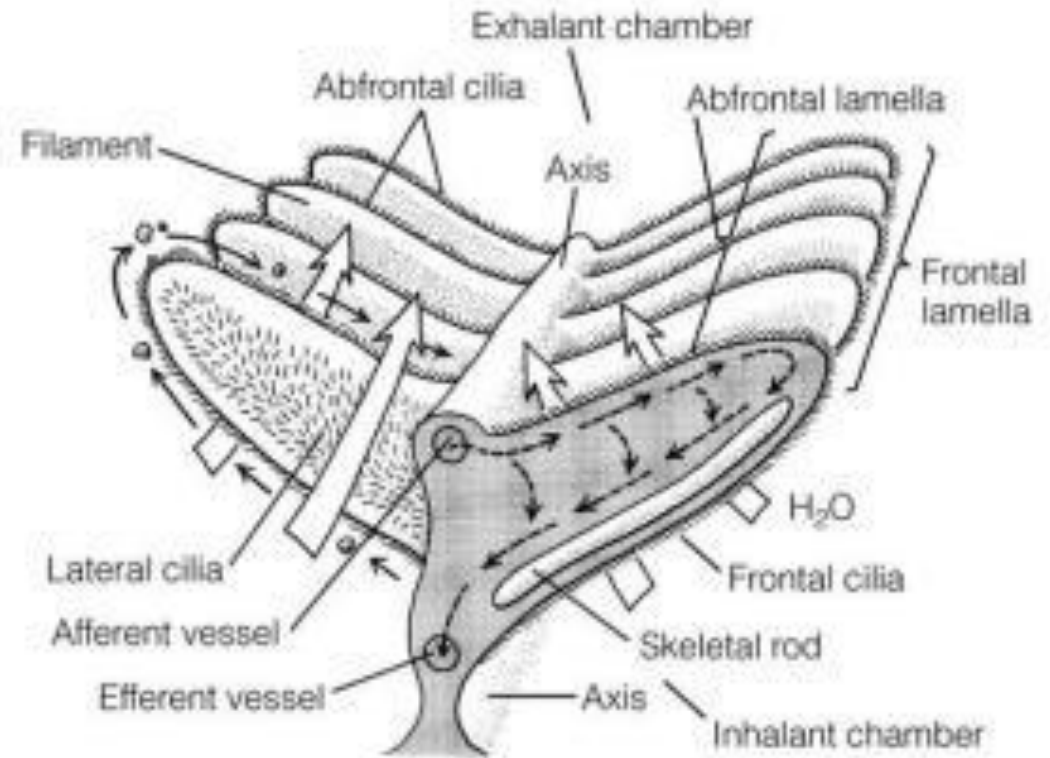
Platyhelminthes (ploštěnci)

- žiadne dýchacie orgány
- bez farbív - menšie, voľne žijúce
druhy: difúzia O_2 povrchom tela
- hemoglobín – hlavne
endosymbionti a endoparaziti:
príjem O_2 z tela hostiteľa



Mollusca (měkkýši)

- dýchacie orgány (žiabre / pľúca) umiestnené v plášťovej dutine
- ancestrálne dýchacie orgány: žiabre- ctenídie, obrvené s výnimkou taxónu Cephalopoda
- dýchacie farbivá:
 - hlavný pigment: hemocyanín
 - hemoglobíny: podpora dodávky O_2 do niektorých tkanív



bipektinátne ctenídie

- **Aplacophora** (červovci):

 - **Neomeniomorpha** (rýhonožky): bez žiabier,

 - **Chaetodermomorpha** (červovky): 1 pár bipektinálnych ctenídií

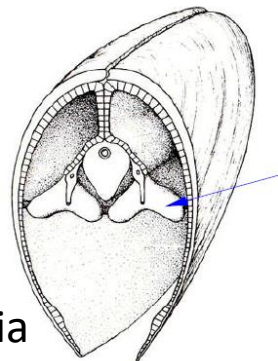
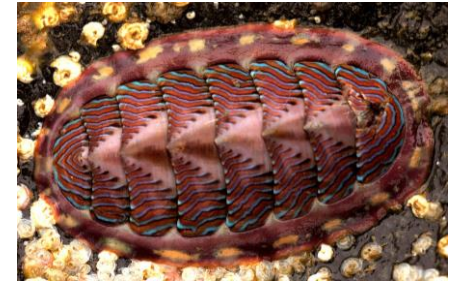
- **Polyplacophora** (chroustnatky): 6–88 párov bipektinálnych ctenídií v plášťovej dutine v tvare ryhy okolo spodnej strany tela

- **Bivalvia** (mlži): voda vteká do plášťovej dutiny inhalačným a vyteká exhalačným otvorom

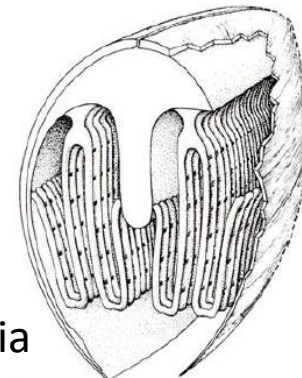
 - **Protobranchia** (perožábří): 1 pár bipektinálnych ctenídií,

 - **Filibranchia** (nitkožábří): 2 páry vláknitých žiabier zahnutých do tvaru W, bez inhalačného a exhalačného otvoru

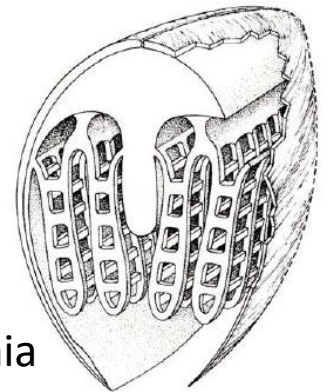
 - **Eulamellibranchia** (listožábří): 2 páry žiabier z dvojlupenitých vláknien s priečnymi spojkami



Protobranchia



Filibranchia



Eulamellibranchia

- **Gastropoda** (plži): pôvodne 1 pár bipektinálnych ctenídií,
“Prosobranchia” (“předožábří”) : žiabre v prednej časti plášťovej dutiny pred srdcom, pôvodne 1 pár žiabier, u pokročilejších strata pravej ctenídie
Opistobranchia (zadožábří): žiabre v dôsledku spätného otočenia za srdcom, u nahožábřích (Nudibranchia) starata aj ľavej ctenídie: dýchajú pokožkovými výrastkami na chrbte útrobného vaku
Pulmonata (plicnatí): pľúca= silne prekrvená stena plášťovej dutiny
- **Scaphopoda**(kelnatky): redukcia žiabier
- **Cephalopoda** (hlavonožci):
Nautiloidea (čtyřžábří): 2 páry bipektinálnych ctenídií,
Coleoidea (dvoužábří): 1 pár bipektinálnych ctenídií
- **Monoplacophora** (přílipkovci): 3–6 párov monopektinálnych ctenídií v plášťovej dutine tvaru ryhy na spodnej strane tela



Brachiozoa

- **Phoronida (Chapadlovky):** žiadne dýchacie orgány, dýchanie povrchom najmä chápadiel
- dýchací pigment: intracelulárny hemoglobín

- **“Brachiopoda” (“ramenonožci”): Craniiformea (kranie), Linguliformea (jazovky), Rhynchonelliformea (opornatky):** žiadne dýchacie orgány, dýchanie povrchom tela,
- dýchací pigment: hemoerytrín



Nemertea (pásnice)

- žiadne dýchacie orgány –
príjem O_2 celým povrchom tela
- hemoglobín

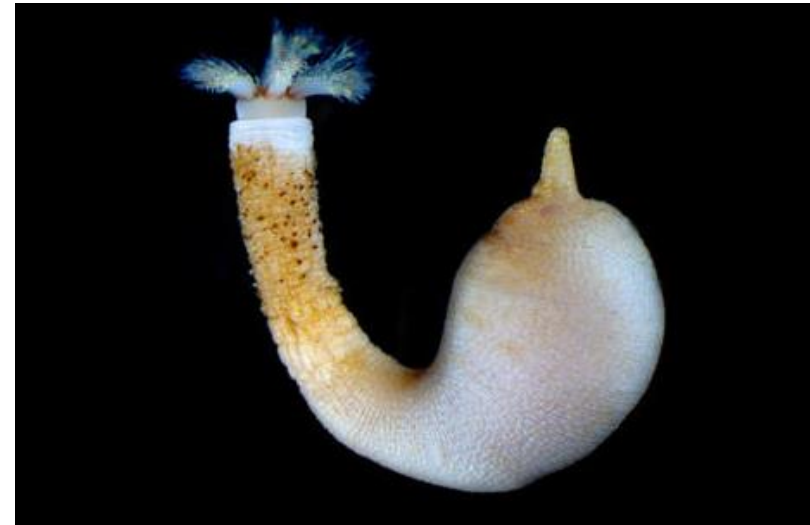


Sipuncula (sumýšovci)

- respirácia sústredená na introvert / chápadlá alebo dýchanie celým povrchom tela
- dýchací pigment: hemoerytrín



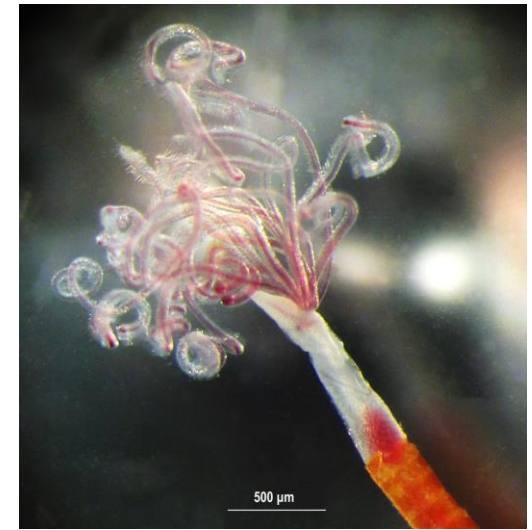
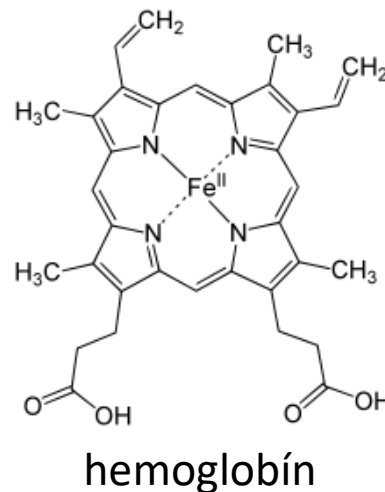
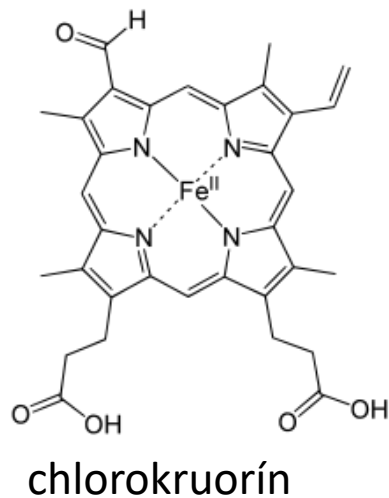
Siphonosoma sp.: dýcha celým povrchom tela
(chápadlá majú funkciu pri získavaní potravy)



Dendrostomum sp.: dýcha povrchom chápadiel

Annelida (kroužkovci)

- príjem O_2 celým povrchom tela, u rypohlavcov (Echiurida) aj análne vačky, u “mnohoštetinavcov” (“Polychaeta”) žiabrové prívesky na parapódiách, Siboglinidae (pogonofóry): peristomiálne palpy
- dýchacie pigmenty: rôzne typy hemoglobínu, chlorokruorín (zelený, formylová skupina + hem); hemoerytrín



peristomiálne palpy pogonofór s dýchacou funkciou



Sabella sp. druh s dýchacím pigmentom chlorokruorínom, prostomiálne palpy majú potravnú funkciu

Nematoda (hlístice)

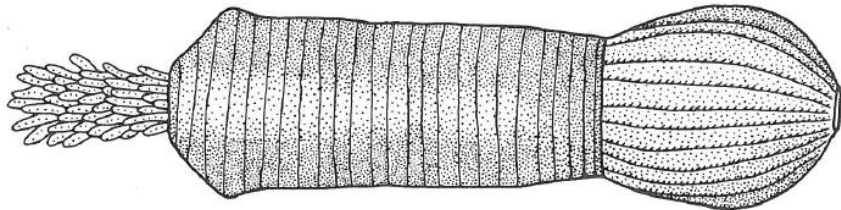
- žiadne dýchacie orgány – príjem O_2 cez kutikulu / často anoxický metabolizmus
- bez dýchacích farbív: menšie, väčšina voľne žijúcich
- nemoglobíny= intracelulárne a extracelulárne hemoglobíny: väčšie, parazitické a malé množstvo voľne žijúcich druhov adaptovaných na nízke hladiny O_2



Enoplus brevis: voľne žijúci druh s väčším množstvom hemoglobínu. Obýva sediment s nízkou koncentráciou O_2 .

Scalidophora (chobotovci)

- dýchacie orgány: žiadne- dýchanie povrchom tela, u niektorých hlavatcov (Priapula) zatahnutelné kaudálne žiabrové výbežky
- hemoerytrín



Priapulus caudatus:
druh s kaudálnymi výbežkami



Halicryptus spinulosus:
druh bez kaudálnych výbežkov

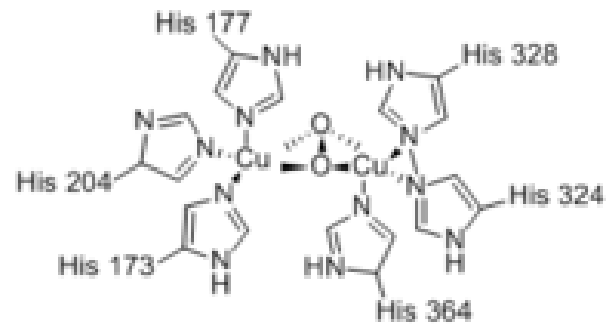
Onychophora (drápkovci)

- kríčkované vzdušnice, veľa stigmat (do 75 na 1 segmente) na báze končatín
- dýchacie farbivo: hemocyanín



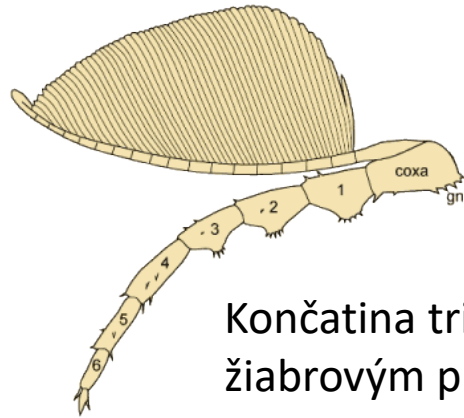
Arthropoda (členovci)

- dýchacie orgány prítomné, chýbajú len u malých zástupcov
- dýchacie pigmenty: najčastejšie hemocyanin
niektoré skupiny kôrovcov (napr. Branchiopoda) a hmyzu:
hemoglobín



Oxyhemocyanin

- **Trilobitomorpha** (trilobiti):
 - žiabrové prívesky na končatinách



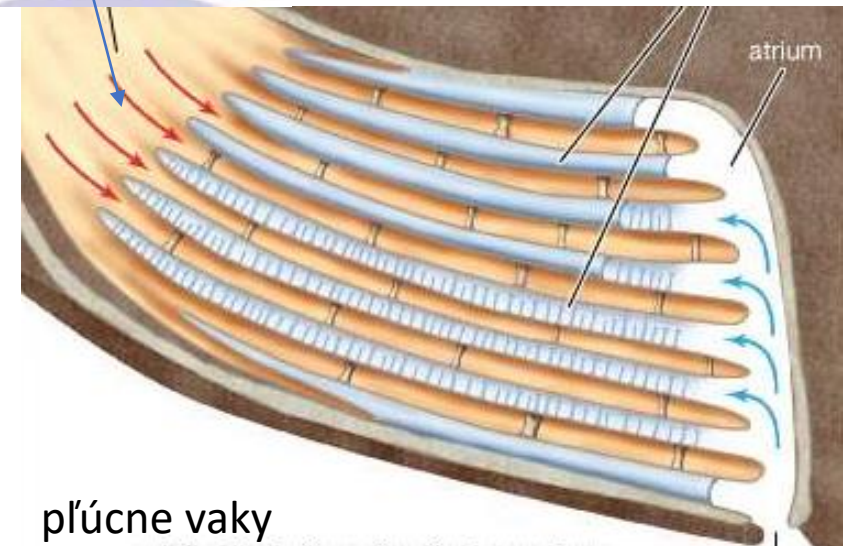
Končatina trilobita s
žiabrovým príveskom



- **Xiphosura** (ostrorepi):
 - žiabre na 5 posledných pároch zadočkových končatín



- **Arachnida (pavoukovci):**
- plúcne vaky:
 - Skorpionida (štíři): 4 páry,
 - Uropygi (bičovci): 1 alebo 2 páry,
 - Amblypygi (krabovci): 2 páry,
 - bazálne taxóny pavúkov (Araneida):
 Mesothelae (sklípkoši), Orthognatha (sklípkaní): 2 páry
- vzdušnice (omývané hemolymfou) + 1 pár plúcnych vakov:
 - odvodené skupiny pavúkov (Araneida):
 Labidognatha (dvouplicní)
- vzdušnice:
 - Pseudoscorpionida (štírci), Solifugida (solifugy), Opilionida (sekáči), niektorí Acari (roztoči)
- dýchanie povrhom tela:
 - niektorí roztoči (Acari)- Acaridida (zákožkovci)



- **Miriapoda** (stonožkovci):

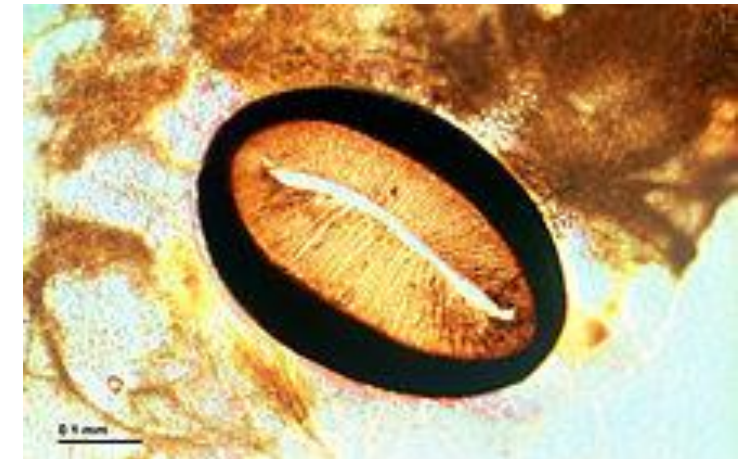
- dýchacia sústava: vzdušnice, podobné hmyzím = trubicovité vchlípeniny pokožky (ektoderm) zasahujúce k jednotlivým orgánom, vystužené chitinóznou špirálovitou intimou a na povrch ústiace stigmaty. Pri zvliekaní sa pravidelne obnovujú.
- Dýchacia sústava chýba u drobnušiek (Pauropoda) a stonoženek (Symphyla).



Symphyla (stonoženky): nemajú vyvinutú dýchaciu sústavu



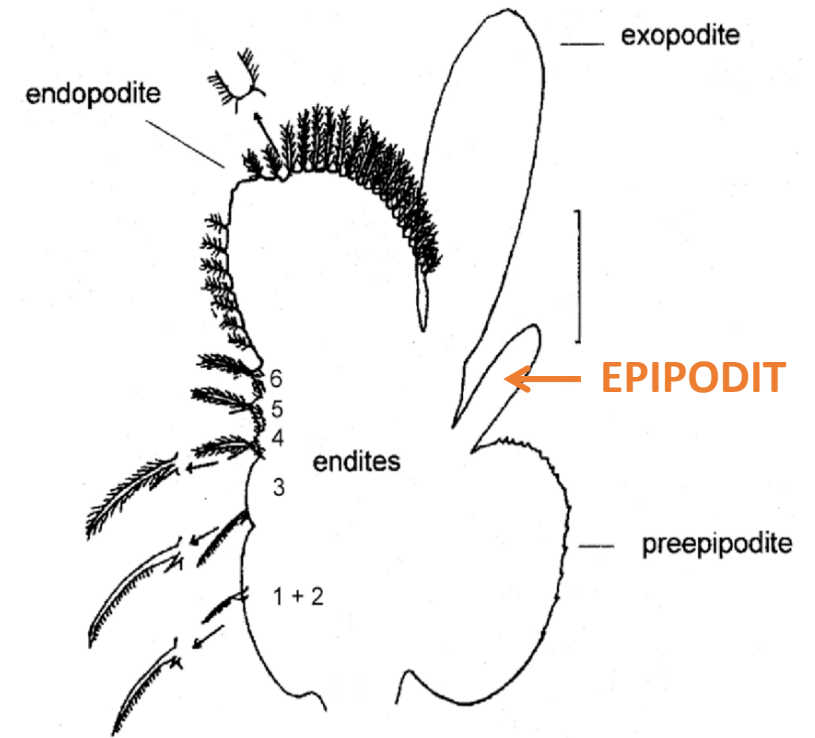
Pauropoda (drobnušky): nemajú vyvinutú dýchaciu sústavu



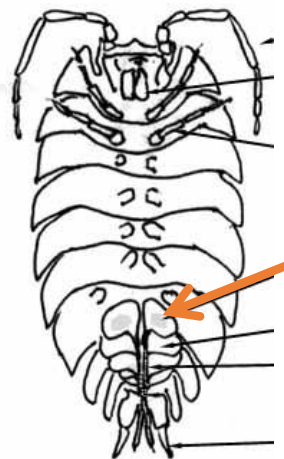
stigma: otvor do vzdušnic

- “Crustacea” (“korýši”):

- väčšina druhov: žiabrové epipoditové prívesky na končatinách
- Decapoda: otvorená žiabrová dutina pod karapaxom, dendrobranchie / fylobranchie / trichobbranchie
- suchozemské druhy stejnonožcov (Isopoda) zo skupiny Oniscoidea: buď sú žiabrové prívesky na zadočkových nohách zvlhčované vylučovanou telesnou tekutinou, alebo sú vyvinuté vzdušnicové pľúca = nepravé vzdušnice: rozvetvené vchlípeniny v lupenitých zadočkových nohách, vznikajú vchlípením pokožky exopoditov
- u klanonožcov (Copepoda) a lasúrnatiek (Ostracoda) dýchacia sústava nie je vyvinutá



Thoracopod (hrudná noha)
žiabronôžky (Anostraca)

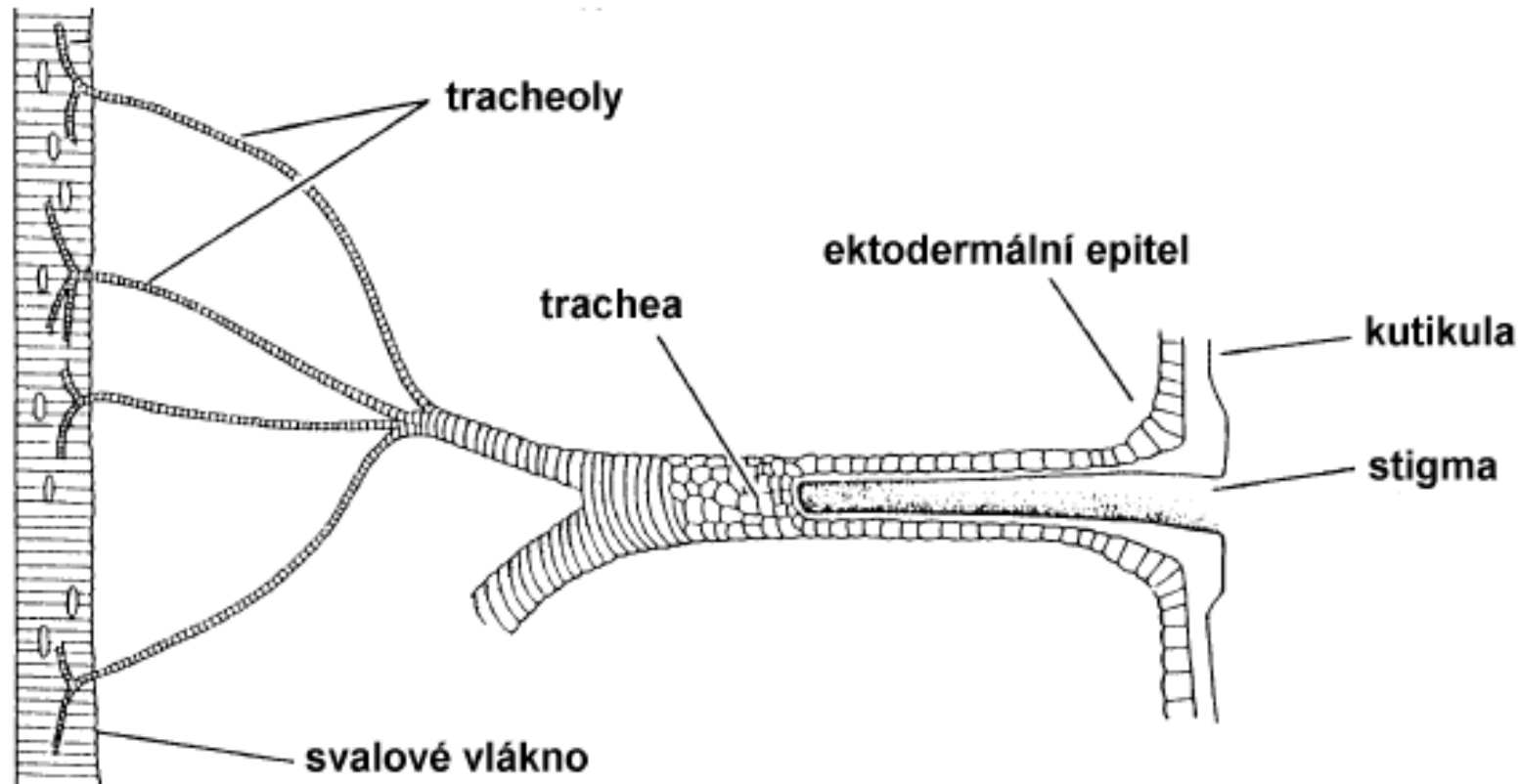


Porcellio scaber:
vzdušnicové
pľúca v 1. páre
pleopod



- **Ectognatha (hmyz):**

- dýchacia sústava tracheálna = vzdušnice, na povrch ústí 8-10 párov stigmat, tracheje sú vystužené špirálovitou chitínovou intimou



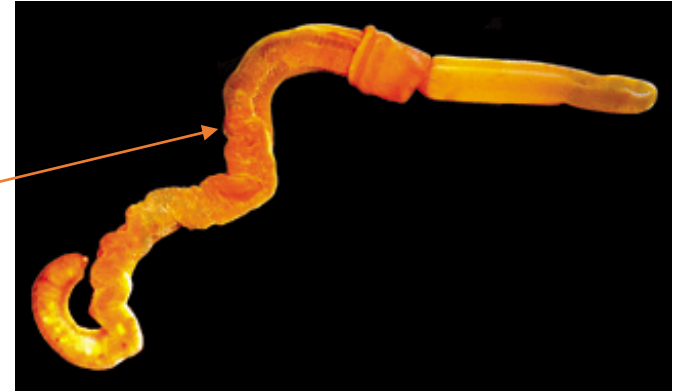
Vzdušnice

- U vodných lariev hmyzu väčšinou nie sú stigmata:
- tracheje navonok pokračujú do kožných výbežkov = vonkajšie tracheálne žiabre: lupenité / trubičkovité / kríčkované: Ephemeroptera, Plecoptera, Zygoptera, Megaloptera, Trichoptera
- tracheje sa vchlipujú do rekta = vnútorné tracheálne žiabre, rektálne dýchanie (črevné dýchanie): Anisoptera
- tracheje sú zvedené do dýchacej trubičky (otvorený tracheálny systém): Diptera
- tracheje ústia do plastronu alebo vzduchovej bublinky



Hemichordata (polostrunatci)

- **Enteropneusta** (žaludovci): dýchacie orgány: žiabrové štrbiny tvaru U (do 200) v 2 radoch v oblasti metasoma-
dýchacia a filtračná (potravná) funkcia, pigment: pravdepodobne hemoglobín
- **Pterobranchia** (křídložábříci): 1 pár žiabrových pórov (*Cephalodiscus*) / bez dýchacích orgánov (*Rhabdopleura*), dýchanie povrchnom tela, obzvlášť na chápadielkach



Enteropneusta



Pterobranchia

Echinodermata (ostnokožci)

- dýchacia funkcia: žiabre= tenkostenné vchlípeniny / vychlípeniny celomových dutín
- **Crinoida** (lilijice): ambulakrálne podie,
- **Asteroida** (hvězdice): podie + papuly (vychlípeniny- ako podie ale bez prísaviek),
- **Ophiuroida** (hadice): podie + bursy (10 vchlípenín v okolí ústneho otvoru),
- **Echinoida** (ježovky): podie + peristomiálne žiabre (vychlípitelné vačky v okolí ústneho otvoru),
- **Holothuroida** (sumýši): podie + celý povrch tela (redukcia exoskeletu) + u niektorých vetvené chápadlá v okolí ústneho otvoru + u väčšiny vodné pľúca (párové vetvené kontraktilné vačky v kloake – nasávanie vody)
- dýchacie pigmenty: väčšinou žiadne,
hemoglobín: niektorí zástupcovia Holothuroida a Ophiuroida, ktorí nemajú burzálne vačky
Transport O₂ zabezpečujú celomocyty.



Adaptácie na nízky obsah O₂

- prostredie s nedostatkom O₂ / anoxické prostredie: vodné a suchozemské sedimenty, jaskyne, prostredie iného organizmu (paraziti)
- u rôznych skupín
- mechanizmus:
 - spomalenie metabolizmu (najčastejšie)
 - kryptobióza (reverzibilné zastavenie metabolizmu u niektorých hlístic)
 - efektívne využitie malého množstva O₂
 - anaeróbny metabolizmus: u niektorých parazitov hemoglobín viaže O₂, tým ho imobilizuje a chráni tak anaeróbne procesy
 - fakultatívny / obligátne



Halicryptus spinulosus (Priapula):
znižuje metabolizmus na 2 %.



Niektorí zástupcovia skupiny
Nematoda majú schopnosť
kryptobiózy.



Euzonus mucronata (Annelida):
fakultatívne využíva anaeróbny
metabolizmus.

Zhrnutie

Dýchacie orgány

vyšší taxón	taxón	dýchacie orgány	charakteristika dýchacej sústavy
	"Porifera"	žiadne	
	Cnidaria	žiadne	povrchom tela
	Ectoprocta	žiadne	epidermálne dýchanie, obzvlášť v oblasti chápadielok
	Gastrotricha	žiadne	
	Platyhelminthes	žiadne	difúzia cez povrch tela

vyšší taxón	taxón	dýchacie orgány	charakteristika dýchacej sústavy
Mollusca	Neomeniomorpha	žiadne	
Mollusca	Chaetodermomorpha	žiabre	1 pár bipektinálnych ctenídií
Mollusca	Polyplacophora	žiabre	6 – 88 párov bipektinálnych ctenídií
Mollusca	Protobranchia	žiabre	1 pár bipektinálnych ctenídií
Mollusca	Filibranchia	žiabre	2 páry vláknitých žiabre zahnutých do tvaru W
Mollusca	Eulamellibranchia	žiabre	2 páry žiabier z dvojlupenitých vlákien s priečnymi spojkami
Mollusca	„Prosobranchia”	žiabre	pred srdcom; pôvodne 1 pár bipektinálnych ctenídií, u pokročilejších strata pravej ctenídie
Mollusca	Opisthobranchia	žiabre	za srdcom; bipektinátne ctenídie, u Nudibranchia starata aj ľavej ctenídie: pokožkové výrastky na chrbte útrobného vaku
Mollusca	Pulmonata	pľúca	prekrvená stena plášťovej dutiny
Mollusca	Scaphopoda	žiadne	
Mollusca	Nautiloidea	žiabre	2 páry bipektinálnych ctenídií
Mollusca	Coleoidea	žiabre	1 pár bipektinálnych ctenídií
Mollusca	Monoplacophora	žiabre	3–6 párov monopektinálnych ctenídií
	Nemertea	žiadne	dýchanie povrchom tela
	Sipuncula	žiadne	dýchanie celým povrchom tela / respirácia sústredená na introvert/chápadlá
	Annelida	žiadne/žiabrové prívesky	dýchanie povrchom tela, Echiurida aj análne vačky, “Polychaeta” žiabrové prívesky na parapódiách, Siboglinidae: peristomiálne palpy

vyšší taxón	taxón	dýchacie orgány	charakteristika dýchacej sústavy
	Nematoda	žiadne	príjem cez kutikulu, u parazitov adaptácia na nízke hladiny kyslíka
	Scalidophora	žiadne/ žiabrové výbežky	dýchanie povrchom tela/ vetvené kaudálne výbežky
	Onychophora	vzdušnice	kríčkovité vzdušnice
Arthropoda	Trilobitomorpha	žiabre	žiabrové prívesky na končatinách
Arthropoda	Xiphosura	žiabre	žiabre na 5 posledných pároch zadočkových končatín
Arthropoda	Arachnida	plúcne vaky/ vzdušnice/ žiadne	
Arthropoda	Myriapoda	vzdušnice/ žiadne	
Arthropoda	"Crustacea"	žiabre/ vzdušnicové plúca/ žiadne	žiabre: epipoditové prívesky na končatinách vzdušnicové plúca: vchlýpeniny v pleopódach obmývané hemolymfou
Arthropoda	Ectognatha	vzdušnice	8-10 párov stigmat, chitinová intima
Hemichordata	Pterobranchia	žiabrové štrbiny	žiabrové štrbiny v tvare U
Hemichordata	Enteropneusta	žiabrové póry/ žiadne	
Echinodermata	Crinoida	žiabre	ambulakrálne podie
Echinodermata	Asteroida	žiabre	ambulakrálne podie, papuly
Echinodermata	Ophiuroida	žiabre	ambulakrálne podie, bursy
Echinodermata	Echinoida	žiabre	ambulakrálne podie, peristomiálne žiabre
Echinodermata	Holothuroida	žiabre, vodné plúca	ambulakrálne podie, celý povrch tela, u niektorých vetvené chápadlá v okolí ústneho otvoru, u väčšiny vodné plúca

Dýchacie pigmenty

vyšší taxón	taxón	dýchacie pigmenty	charakteristika pigmentov
	"Porifera"	žiadne	
	Cnidaria	žiadne	
	Ectoprocta	žiadne	
	Gastrotricha	hemoglobín/žiadne	intracelulárny
	Platyhelminthes	hemoglobín/žiadne	monomérický, intracelulárny
	Mollusca	hemocyanín, hemoglobín	intracelulárny/extracelulárny
Brachiozoa	Phoronida	hemoglobín	intracelulárny; mono/dimerický
Brachiozoa	"Brachiopoda"	hemoerytrín	intracelulárny
	Nemertea	hemoglobín	intracelulárny, extracelulárny
	Sipuncula	hemoerytrín	intracelulárny
	Annelida	hemoglobín/ chlorokruorín/ hemoerytrín	intracelulárny/extracelulárny monomérický/polymerický
	Nematoda	hemoglobíny (nemoglobíny)/ žiadne	intracelulárny/extracelulárny; mono/tetra/oktamerický
	Scalidophora	hemoerytrín	intracelulárny
	Onychophora	hemocyanín	extracelulárny
	Arthropoda	hemocyanín/ hemoglobín	extracelulárny, hemoglobín mono/polymerický
	Pterobranchia	hemoglobín	
	Echinodermata	žiadne/ hemoglobín	di/tetramerický

Zdroje:

- Roček, Z. (1998). *Obecná morfologie živočichů*. Přírodovědecká fakulta MU.
- Schmidt-Rhaesa, A. (2007). *The evolution of organ systems*. Oxford University Press.
- Vácha, M., Bičík, V., Petrásek, R., Šimek, V., & Fellnerová, I. (2002). *Srovnávací fyziologie živočichů*. Přírodovědecká fakulta MU.
- přednášky predmetu Fylogeneze a diverzita bezobratlých (M. Horsák, 2014)

