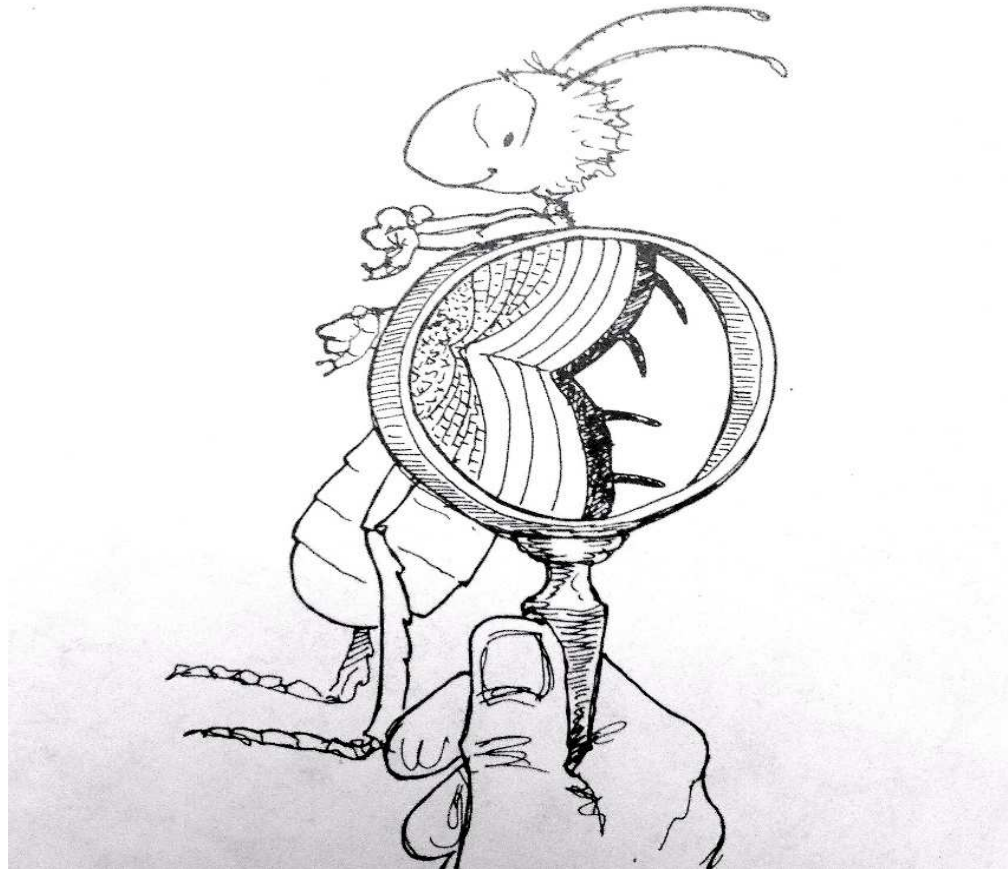


# Bi6760 Základy entomologie

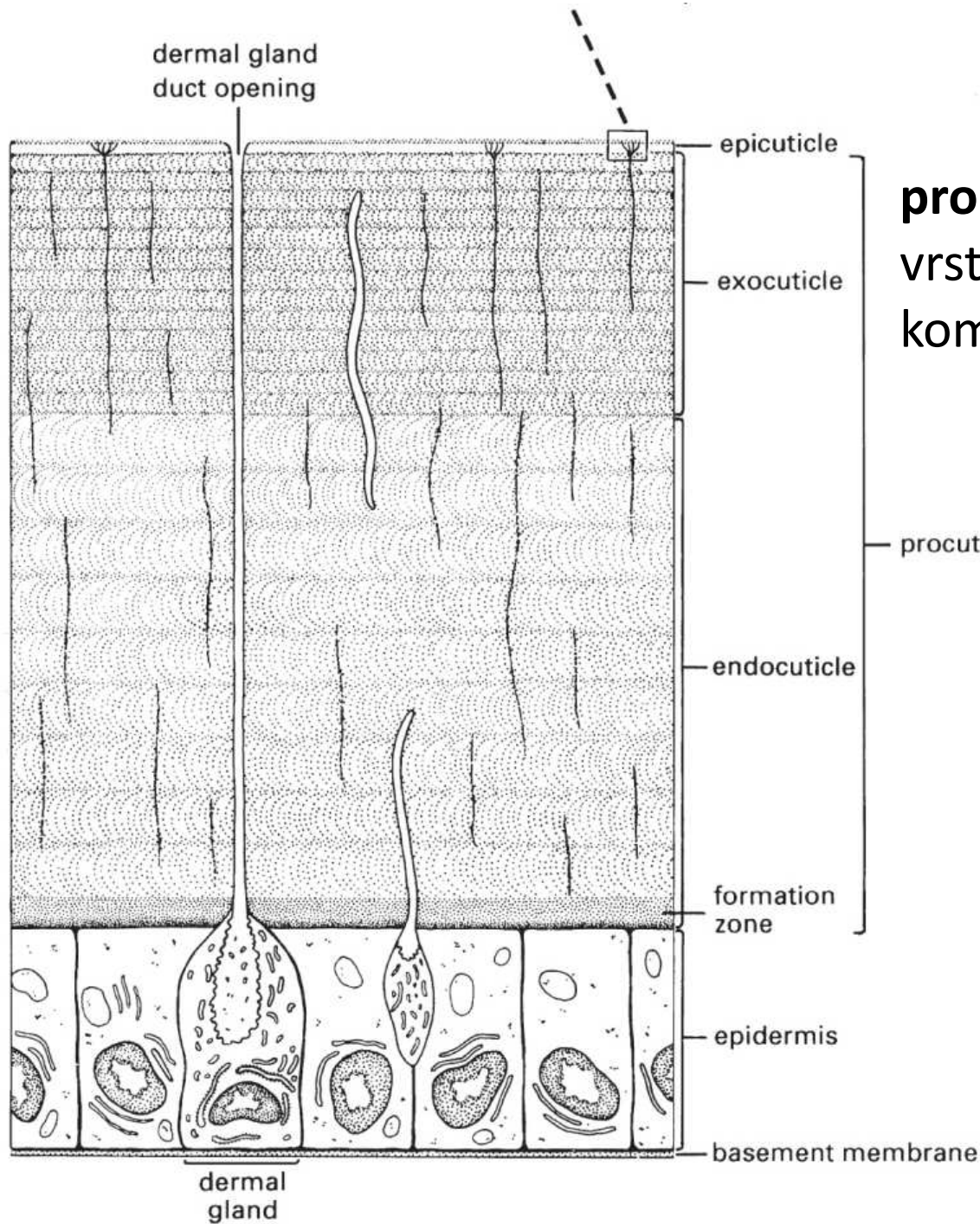
## 6. Integument a tracheální systém



Andrea Tóthová, Igor Malenovský  
*A31-111, tothova@sci.muni.cz*

# Kutikula

- vytváří tvrdý **exoskelet** těla a končetin, **apodemy** pro vnitřní napojení svalů, **klouby, křídla** a výstelku **trachejí, vývodů žláz** a části **trávicí trubice** (stomodea a proctodea)
- tvrdé brnění (např. brouci)/tenká a pružná vrstva (larvy)
- brání ztrátě vody – klíčový předpoklad úspěchu hmyzu na souši
- antibakteriální a antimykotická ochrana
- nese **smyslové orgány**
- epidermis + kutikula = **integument**

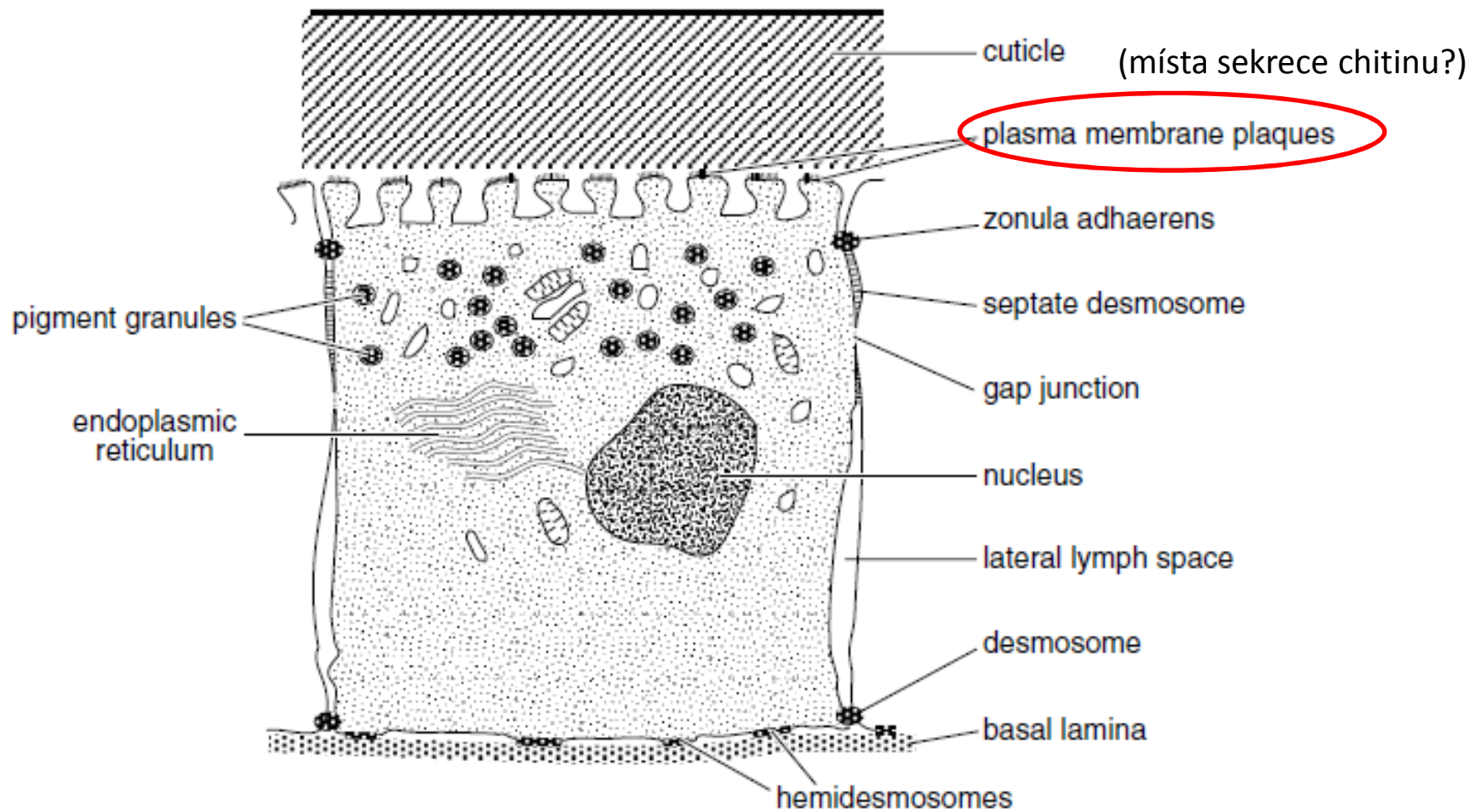


**prokutikula:** 0,15– 200  $\mu\text{m}$ , 2 vrstvy (endo- a exokutikula): komplex chitinu a bílkovin

**epidermis:** 1 vrstva buněk, produkuje navenek kutikulu, vosk, cement, feromony apod., dovnitř bazální membránu

# Epidermální buňka

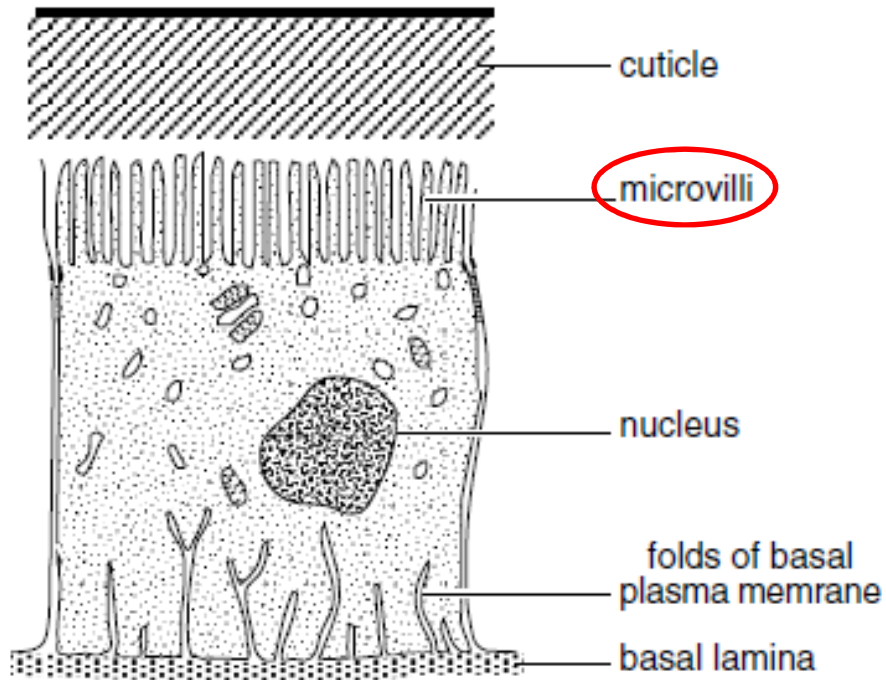
a) epidermal cell



# Epidermální žláznaté buňky

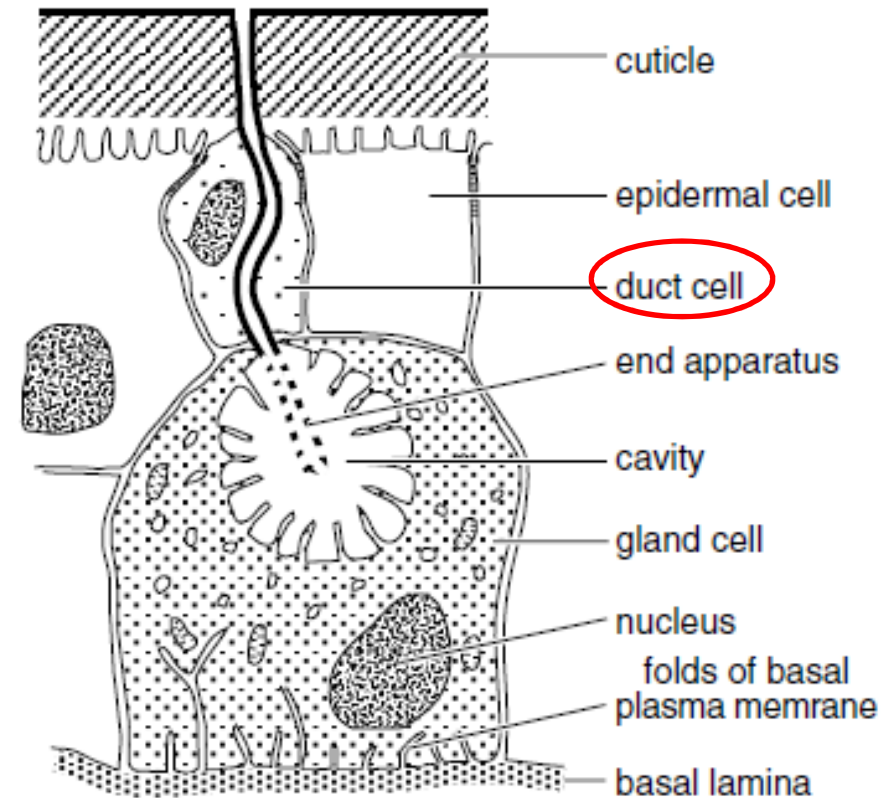
(např. produkce feromonů)

b) class 1 gland cell

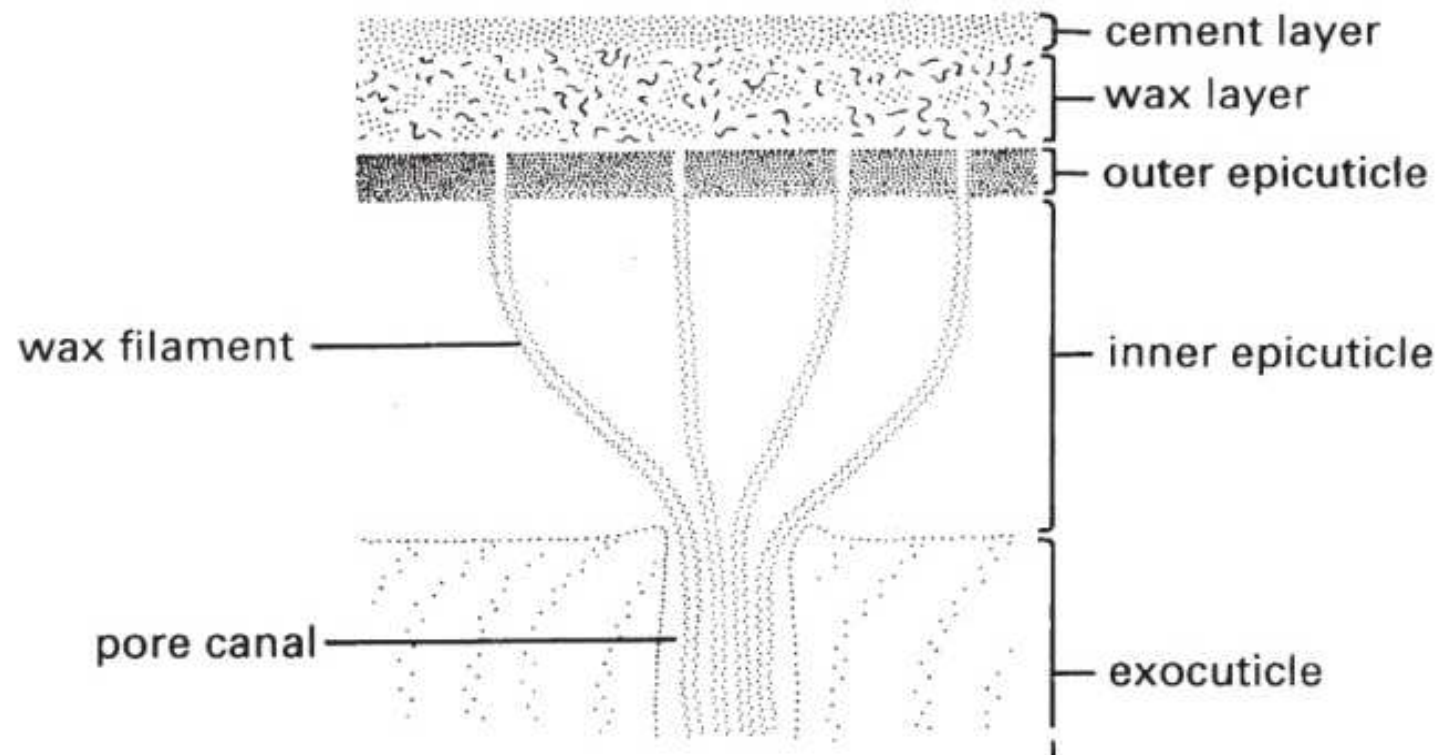


(např. produkce cementu, hydrofobních a obranných látek a feromonů)

c) class 3 gland cell



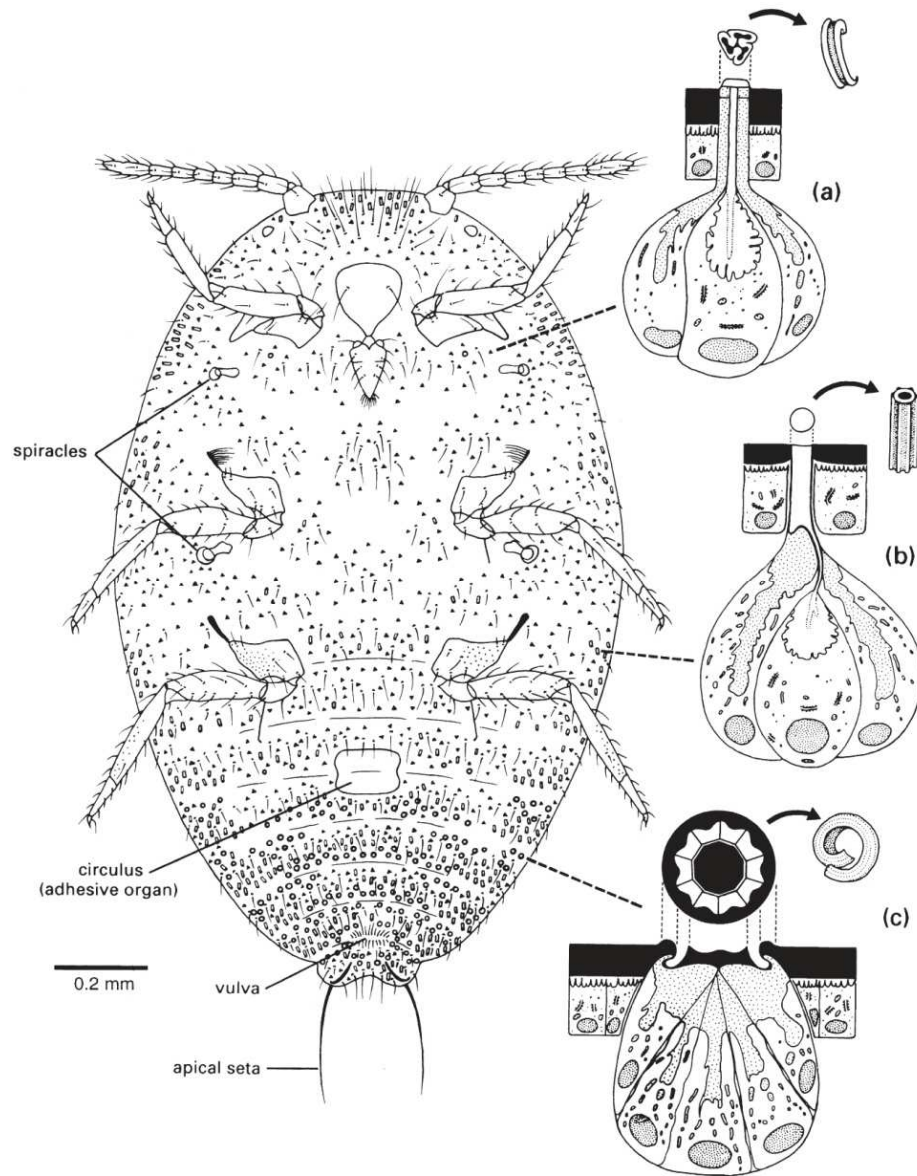
- epikutikula:** nepružná a měkká, 0,1 – 4  $\mu\text{m}$ , 3–4 vrstvy:
  - proteinová/lipoproteinová vnitřní vrstva je pokryta vnější vrstvou z polymerizovaných lipidů („kutikulin“), voskovou vrstvou (uhlovodíky a alkoholy s dlouhými řetězci) a cementovou vrstvou (mukopolysacharidy + lipidy) – brání ztrátě vody, odpuzuje predátory, podílí se na zbarvení (kamoufláž, mimikry), odráží sluneční a UV záření a má význam při vnitrodruhovém rozpoznávání (kutikulární uhlovodíky)





# Voskové žlázy

- časté např. u Hemiptera (červci, mšice, molice, mery, křísi) a včel
- ochrana před kontaminací medovicí, ochrana vajíček (ovisaky)

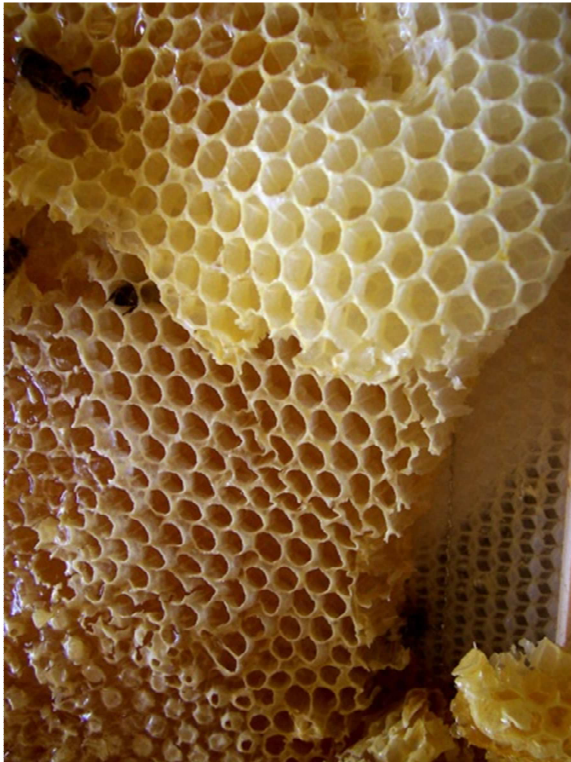


*Planococcus citri* (Hemiptera: Coccoidea: Pseudococcidae)



- **včelí vosk:**

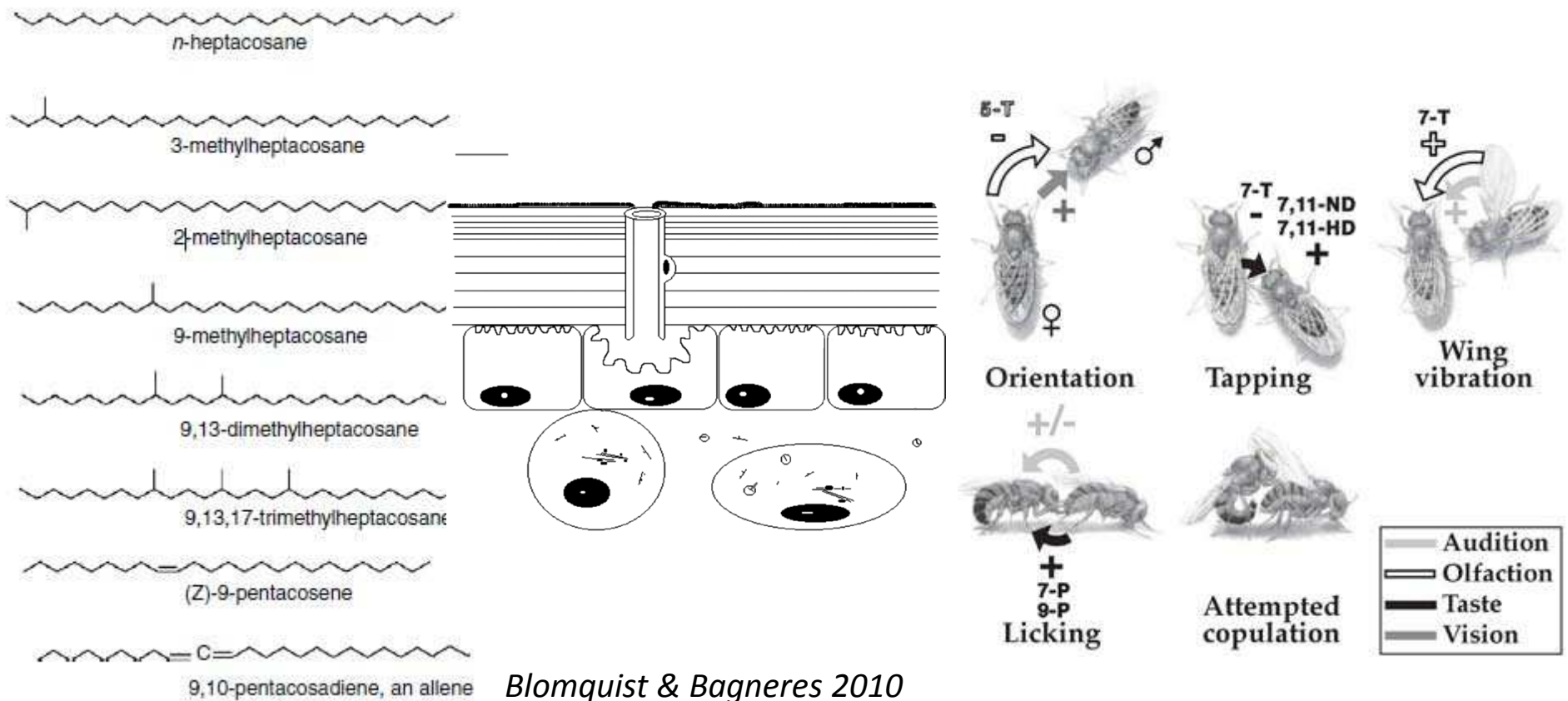
- směs více než 300 látek, dominují monoestery (35%), uhlovodíky (14%) a diestery a polyestery (12%)
- směs alkoholů s dlouhým řetězcem: např. policosanol

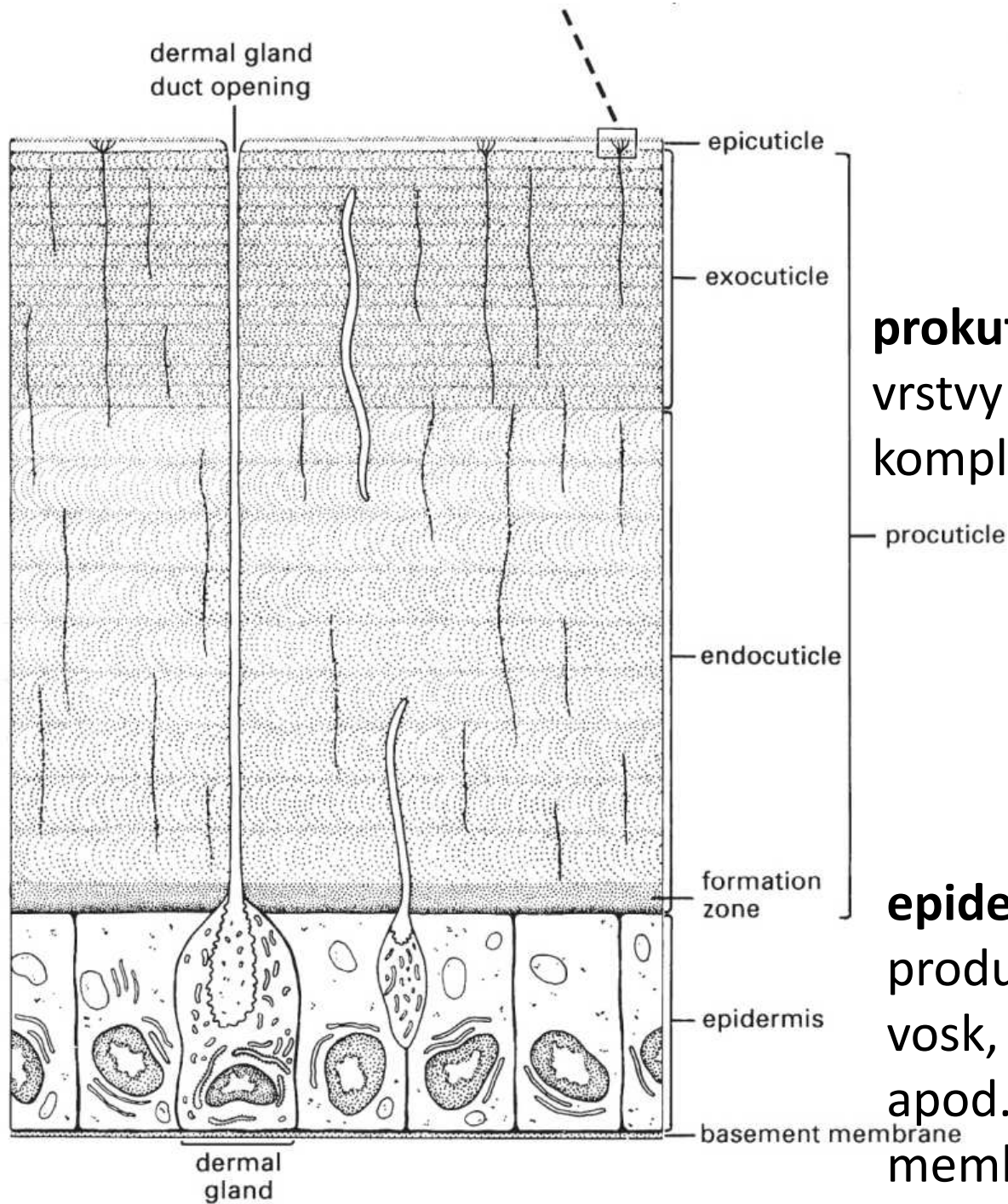




# Cementová vrstva - kutikulární uhlovodíky: kontaktní feromony

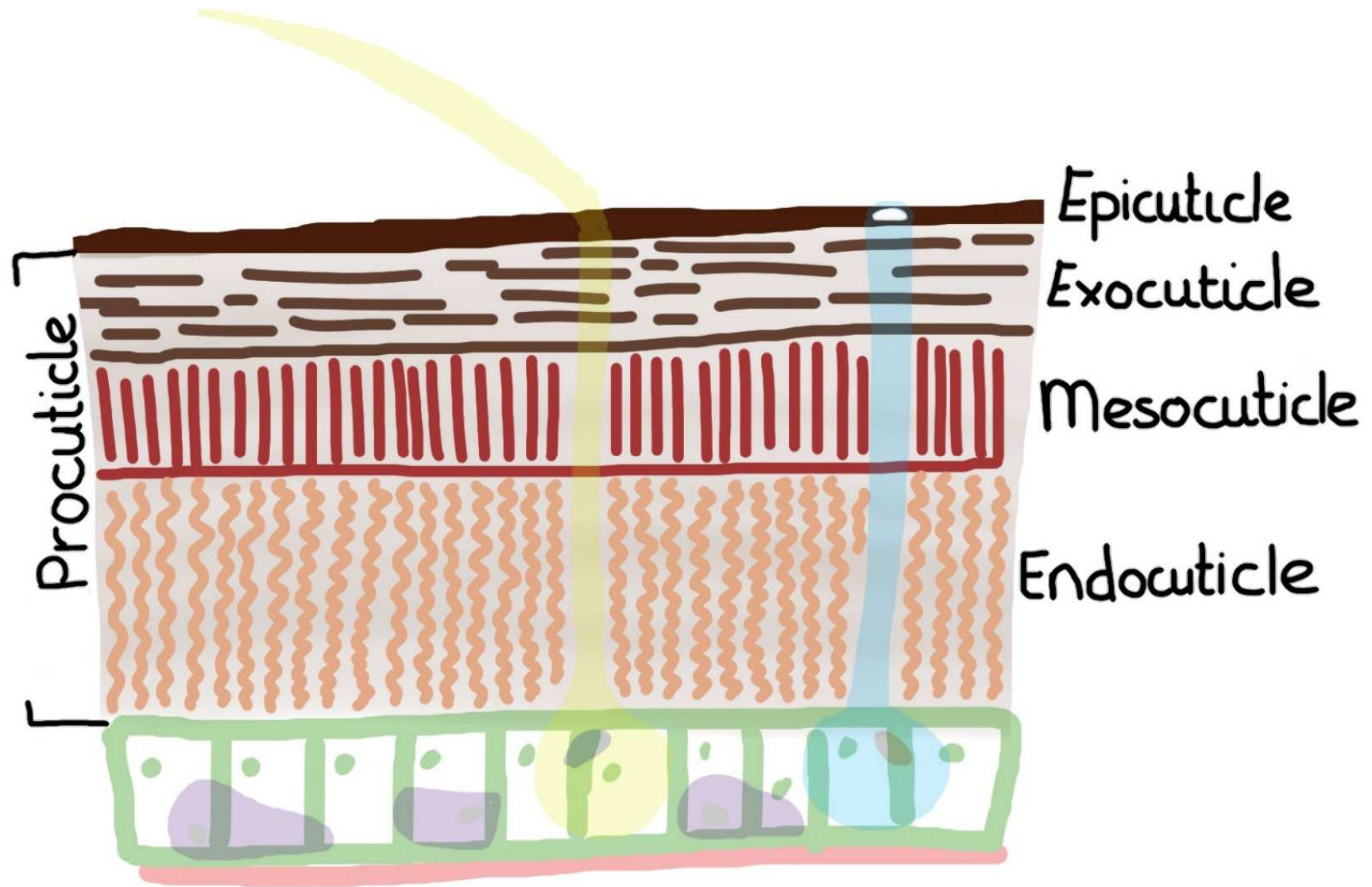
- individuální „otisky prstů“, často jedinečná kombinace druhově/pohlavně specifických látek a látek z prostředí (hnízd, potrava, jiní jedinci)
- rozpoznání pohlavního partnera (např. hrobaříci, tesaříci, octomilky, cvrčci)
- sociální hmyz: rozpoznání jedince ze stejné kolonie (učení u mladých dospělců krátce po vylíhnutí z kukly), kasty, stádia, dominance apod.





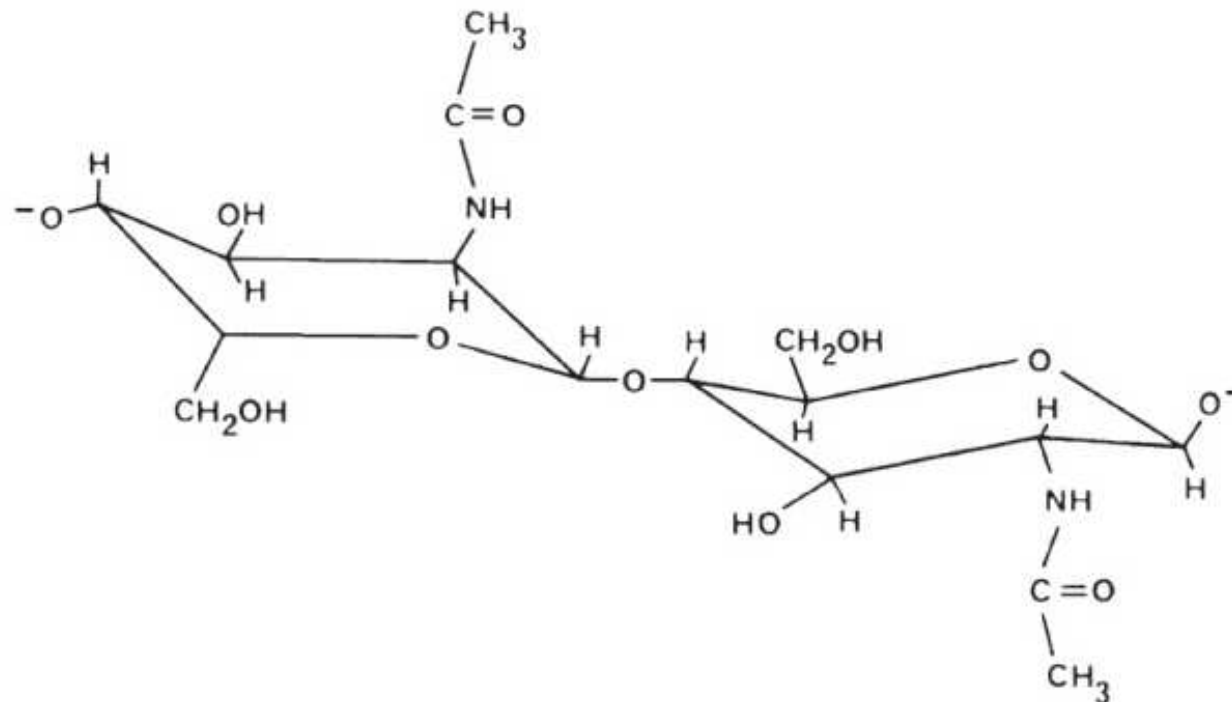
**prokutikula:** 0,15– 200  $\mu\text{m}$ , 2 vrstvy (endo- a exokutikula): komplex chitinu a bílkovin

**epidermis:** 1 vrstva buněk, produkuje navenek kutikulu, vosk, cement, feromony apod., dovnitř bazální membránu

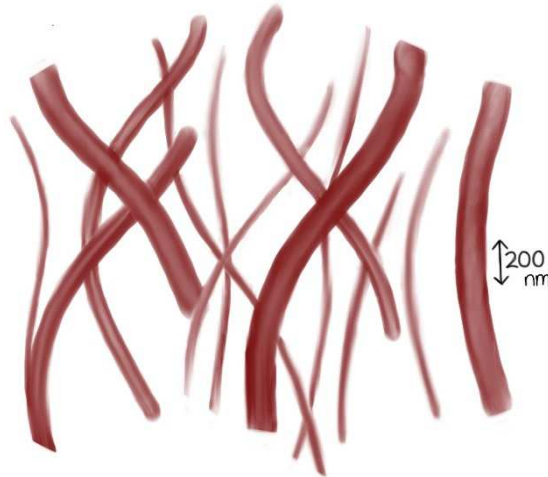
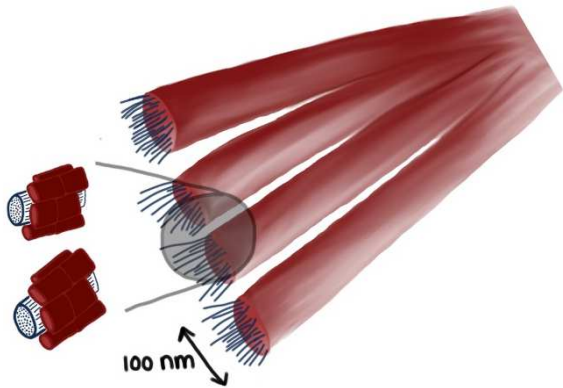
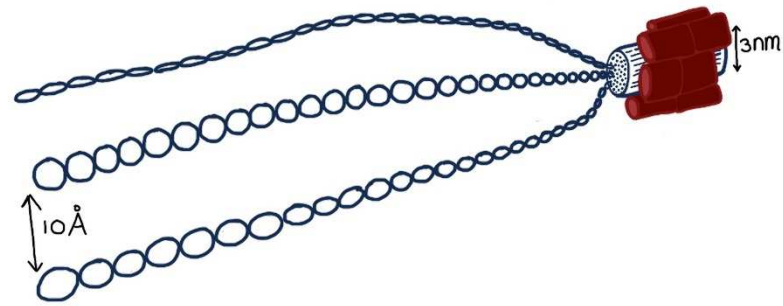
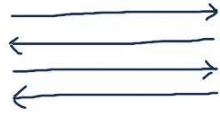
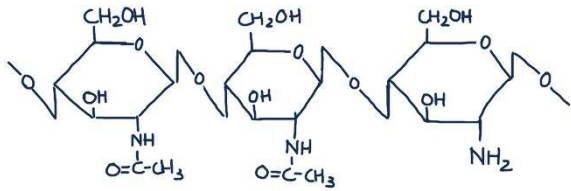


# Chitin

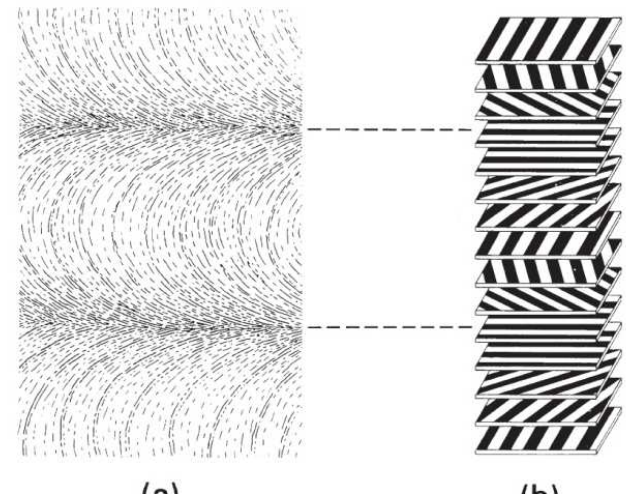
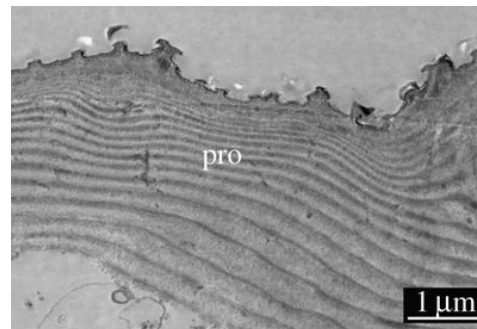
- 20–50 % váhy kutikuly
- nevětvený polymer s vysokou molekulární hmotností, aminopolysacharid složený z N-acetyl-D-glukosaminových jednotek
- řetězce chitinu jsou uspořádané ve svazcích po ca. 20, spojených vodíkovými můstky, které skládají nanofibrily (průměr 3 nm), které jsou zabudovány do proteinové matrice (mikrofibrily) – velká pevnost v tahu







orientace rovnoběžných fibril v různých vrstvách exokutikuly se mírně mění – lamelární dojem na řezu v TEM



# Proteiny v kutikule

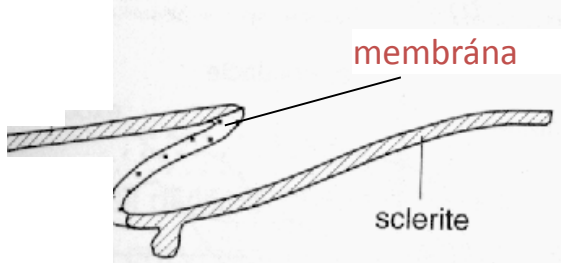
- 10–100 typů bílkovin, určují pevnost/pružnost (složení se mění mezi druhy i během vývoje jedince)
- **sklerotizace**: nevratný proces, zpevňuje a ztmavuje exokutikulu, bílkoviny se mění na nerozpustné ve vodě – fenolické vazby příčně mezi řetězci nebo dehydratace, snížení rel. obsahu chitinu
- tmavé zbarvení: melanin, chinony
- minerální látky: extrémní pevnost mandibul: depozice zinku/manganu, u Diptera a Coleoptera vápník a hořčík
- pružné spojení – 50% chitinu a 40–75% vody, někdy resilin (blechy, křisi, skládání křídel apod.)

# Typy kutikuly

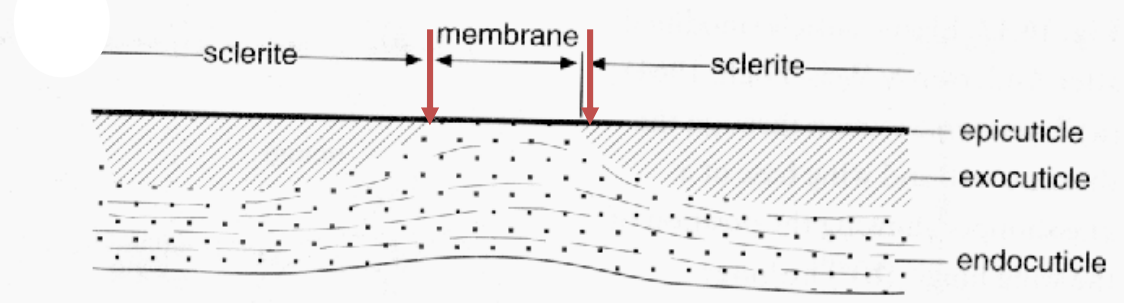
- Tvrdá a pevná – rozsah sklerotizace různý mezi vývoj. stádii i částmi těla; další zpevnění – invaginací – sulci (NE sutury), columnae, phragmae (tentórium, pleur. sulcus etc.)
- Membranózní – arthroidální memb., některé spojení skleritů, ekdysiální linie
- Elastická – resilínové polštářky – při zakloubení křídel, v klypeolabrální oblasti, mezi pleurál.výběžkem a 2 Ax, potravní pumpa zákeřnicovitých, 3.p. končetin Siphonaptera

# Flexibilita kutikuly

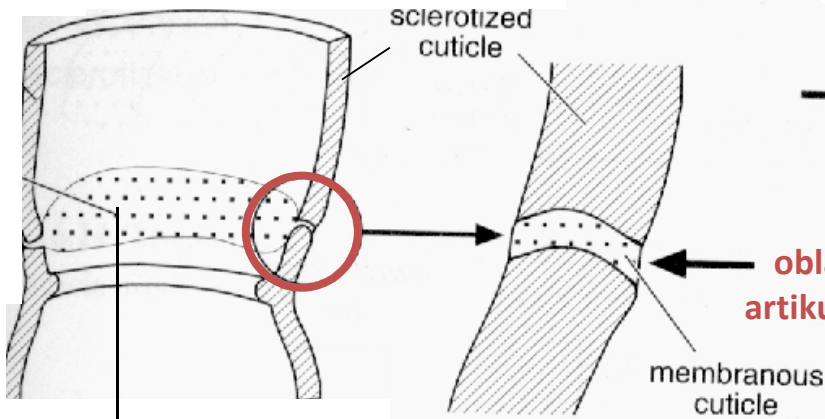
intersegmentální membrána



membranózní kutikula

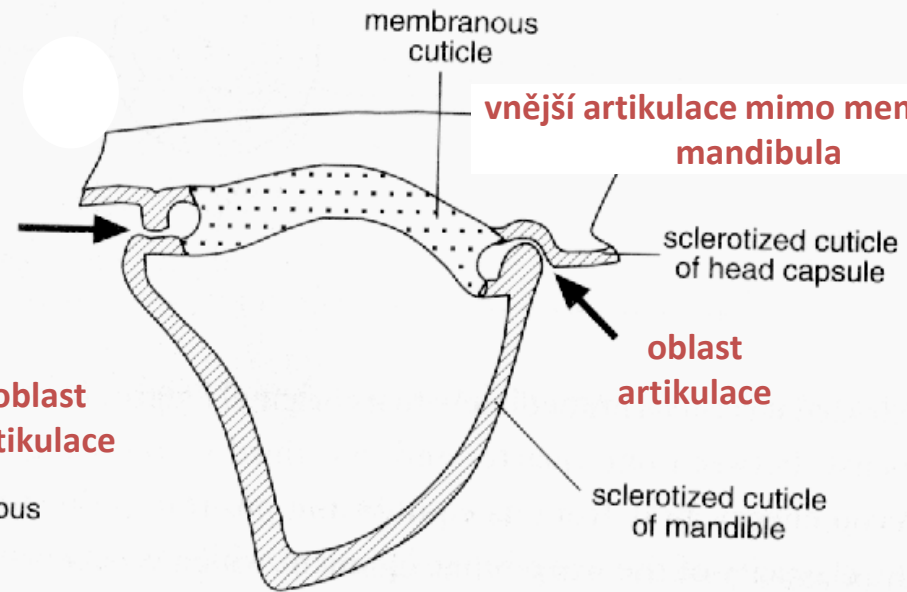


vnitřní artikulace v membráně -  
noha

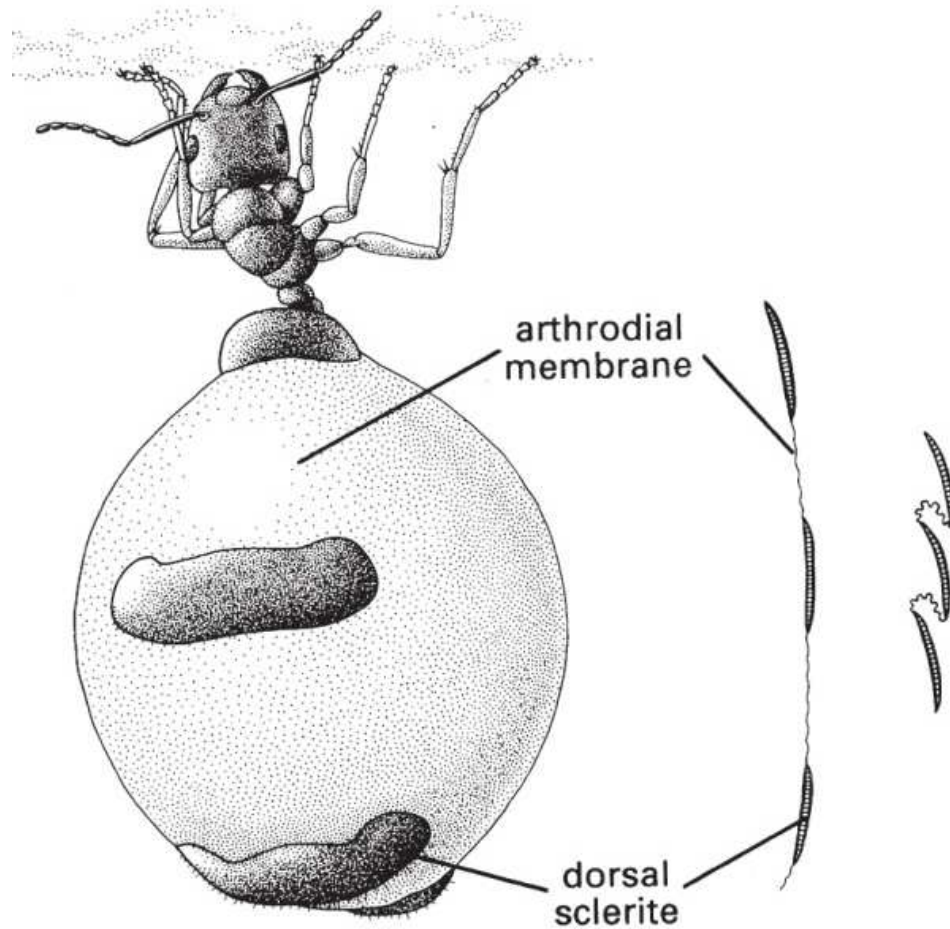


membranózní kutikula s  
kutikulárním proteinem **resilinem**

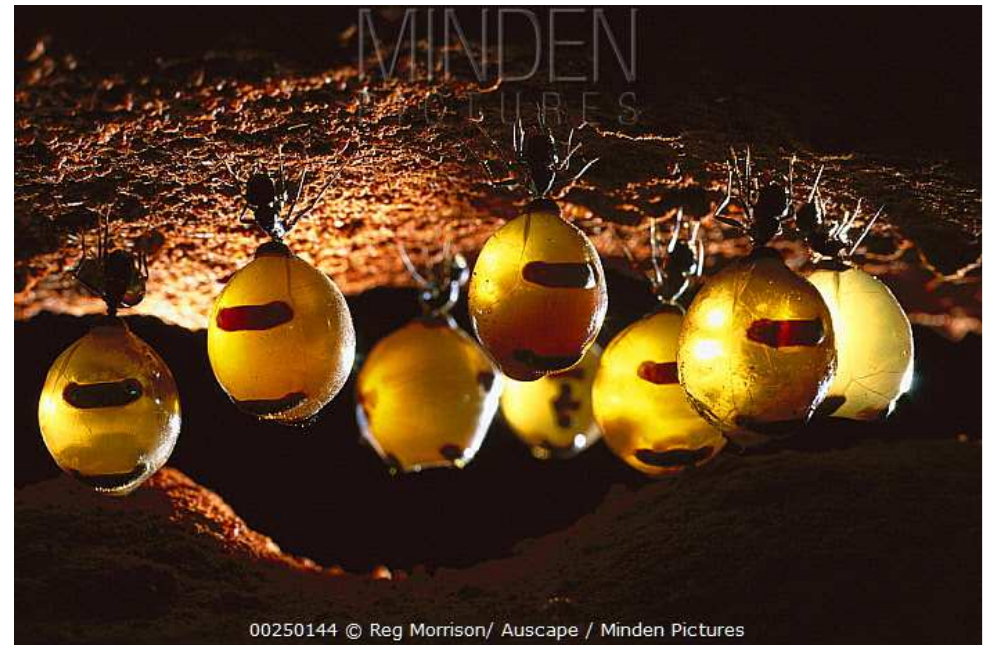
vnější artikulace mimo membránu -  
mandibula



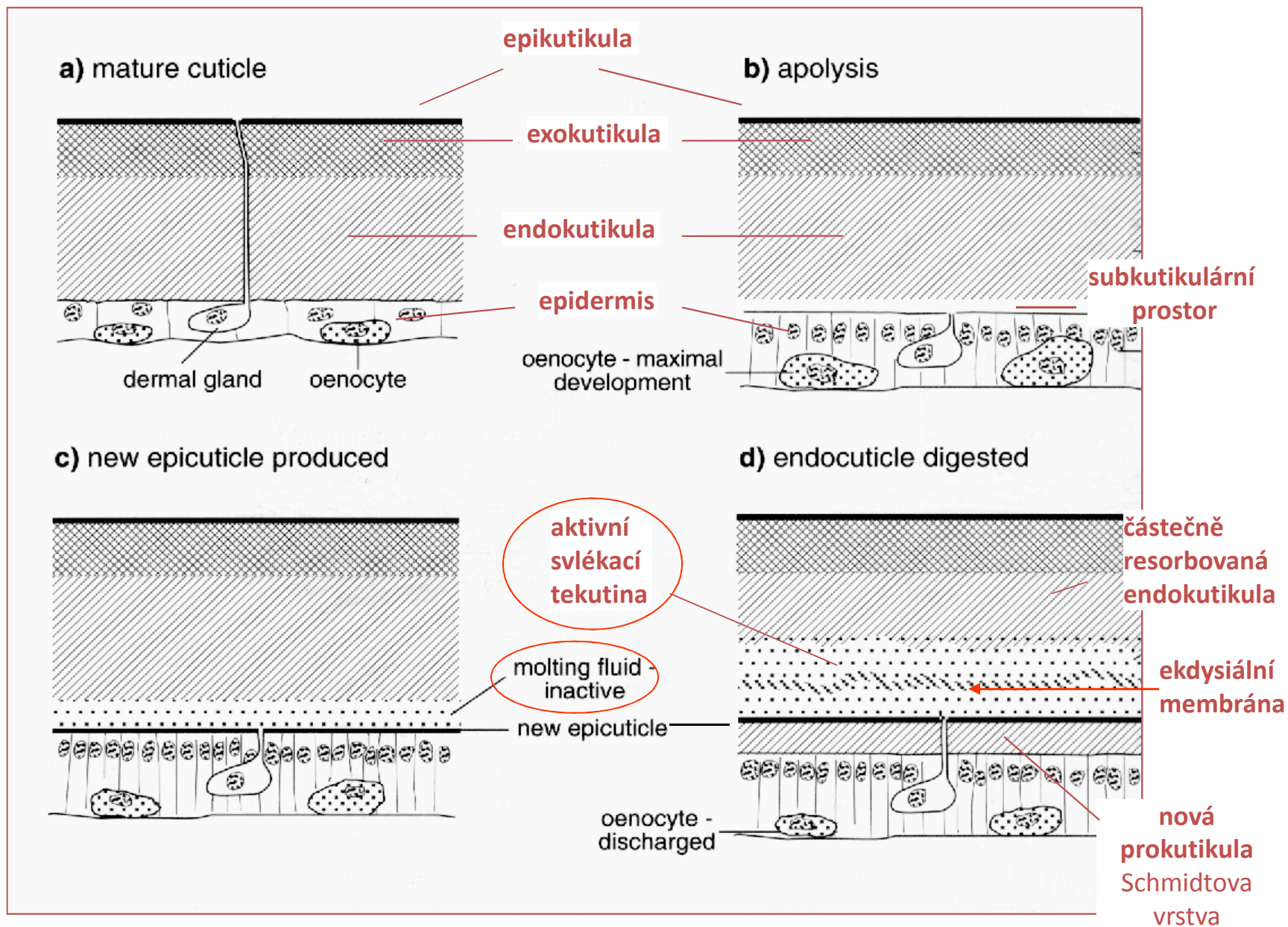


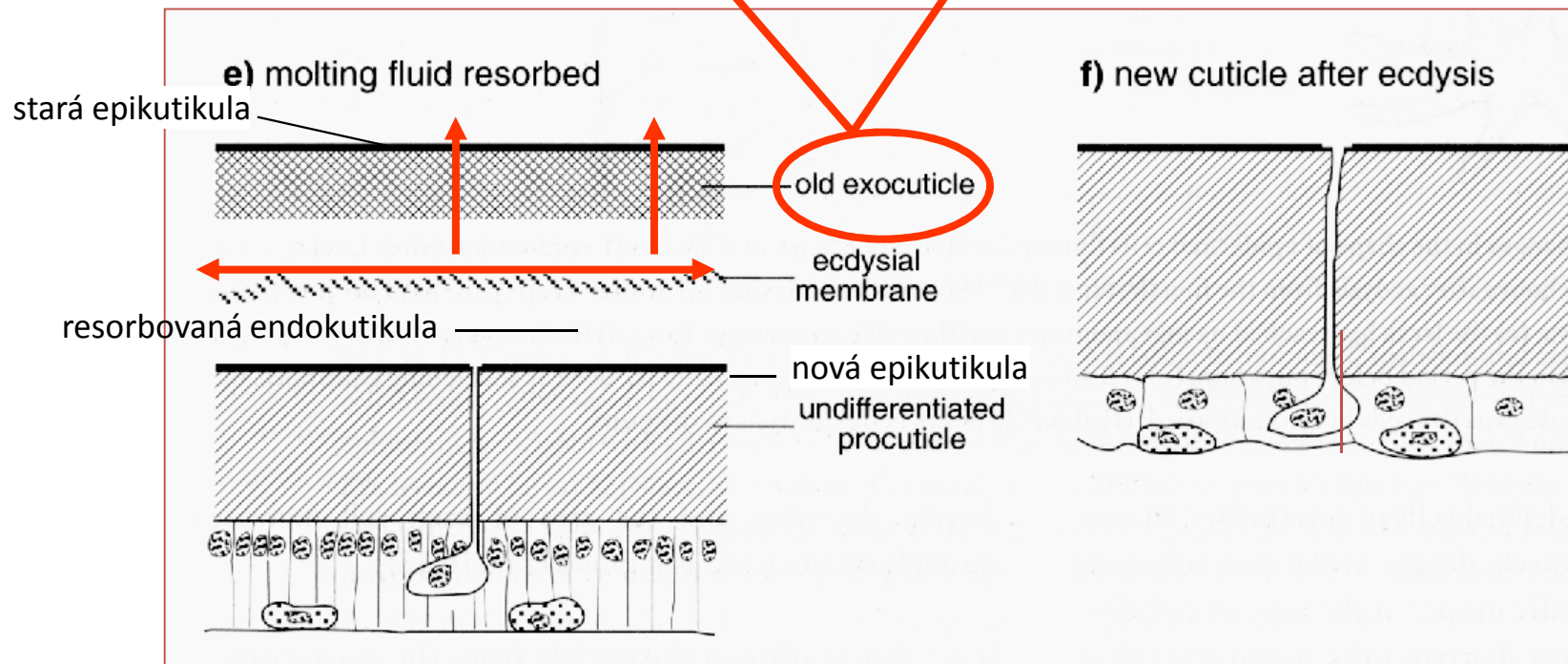


- arthrodiální membrána – roztažitelné nesklerotizované intersegmentální membrány – gravidní samice (termiti, saranče), krevsající hmyz, dělnice (repletes) mravenců *Camponotus inflatus* a *Myrmecocystus* spp. a dalších



# Svlékání kutikuly: apolysis + ecdysis

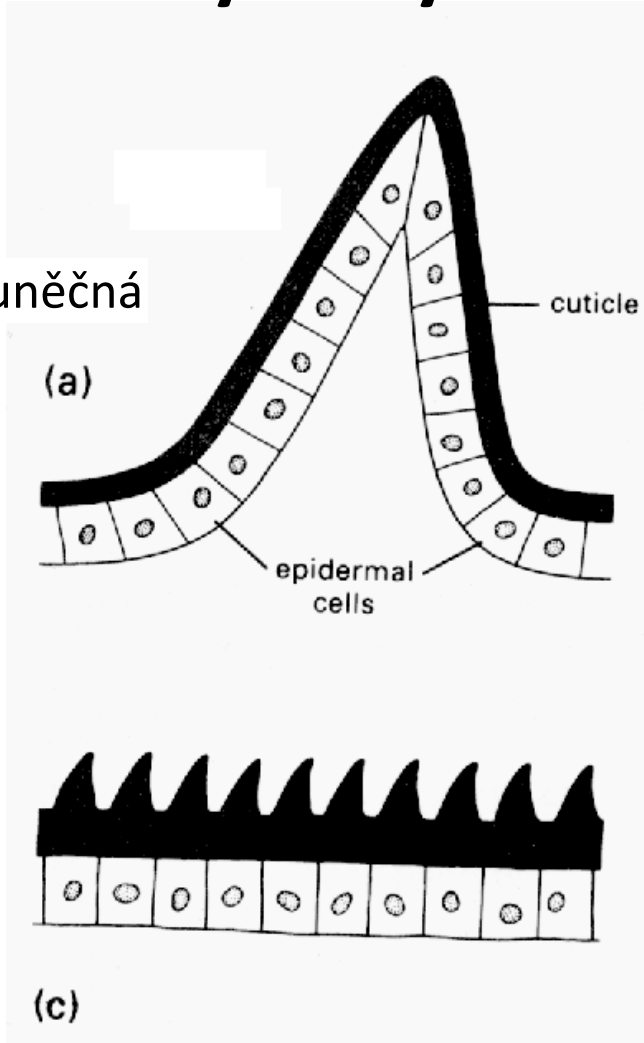






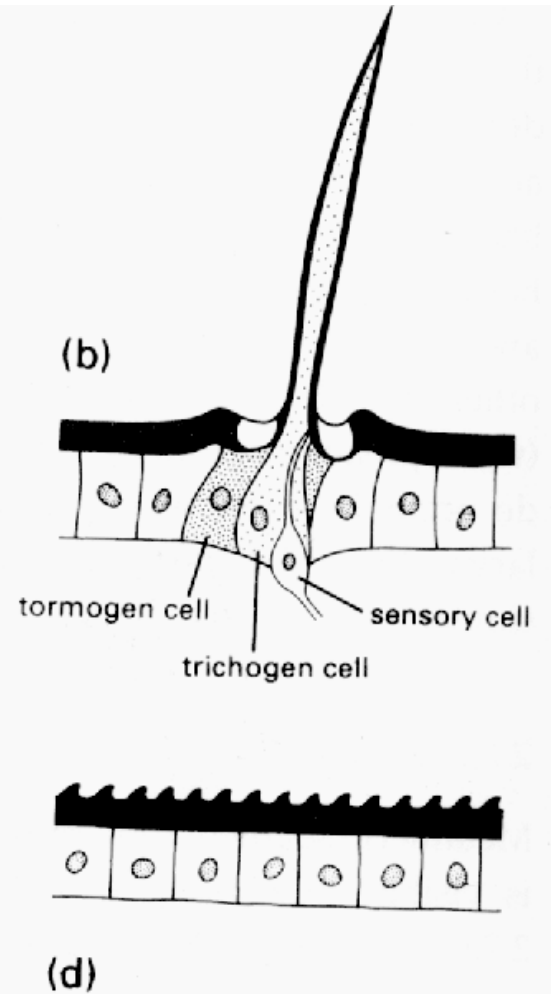
# Kutikulární výběžky

**spina** - vícebuněčná



**acanthae**-  
jednobuněčné

**seta, makrotrichie, trichoidní sensillum**  
vícebuněčné se  
specializovanými buňkami



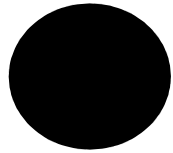
**mikrotrichie** - mnoho výběžků  
na jedné buňce



# Zbarvení povrchu těla

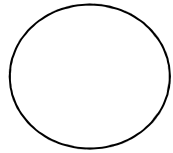
- interakce světla s kutikulou/buňkami nebo tekutinami pod ní:
- fyzikální (strukturální) zbarvení
  - **interference** na epi- nebo exokutikule (např. iridescence, UV) a jejich výběžcích (šupiny apod.)
  - **lom světla** na nerovnostech, závisí na vlnové délce
- pigmentové zbarvení – pohlcení viditelného světla chemickými látkami (v kutikule, epidermis, hemolymfě, tukovém tělese)
  - produkty metabolismu hmyzu
  - pigmenty sekvastrované ze živných rostlin
  - produkty symbiotických mikroorganismů

# Integument - typy zbarvení pigmentem nebo fyzikálním procesem



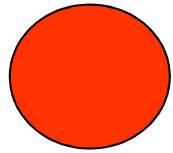
- melanin v kutikule

- Diptera, Coleoptera



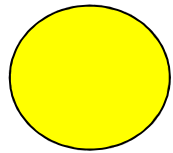
- fyzikální odraz: matná běl vytvářena náhodně  
- perlová běl s pigmentem leucopterinem (šupinky na křídlech)

- Lepidoptera



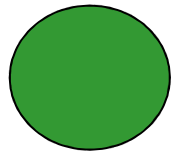
- karotenoidy  
- ommochromatidy (vnějšek i vnitřní orgány)  
- pteriny: zejména jako oční pigment

- Coccinellidae  
- Odonata, Nymphalidae  
- Coccoidea, Aphidoidea  
- Lepidoptera, Hemiptera



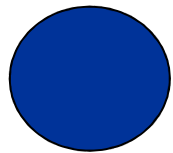
- fyzikální interference: mosazná žluť, karotenoidy, pteriny  
- papiliochromy  
- flavony

- Lepidoptera  
- Papilionidae  
- Satyrinae



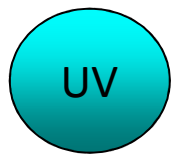
- fyzikální interference: kovová zeleň  
- žlučový pigment  
- mix: žlučový pigment a karotenoidy

- Lepidoptera, Coleoptera  
- Chironomidae  
- Orthoptera



- fyzikální interference  
- fyzikální lom

- Lepidoptera  
- Odonata

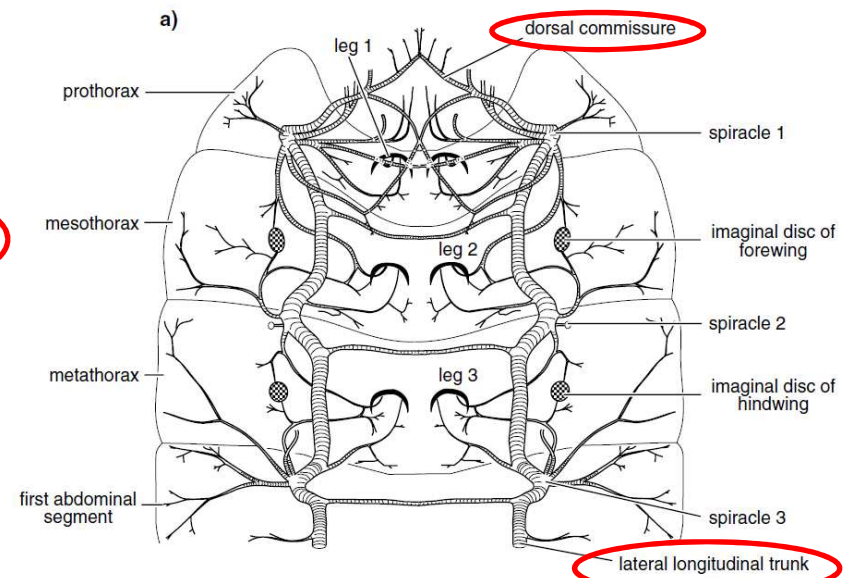
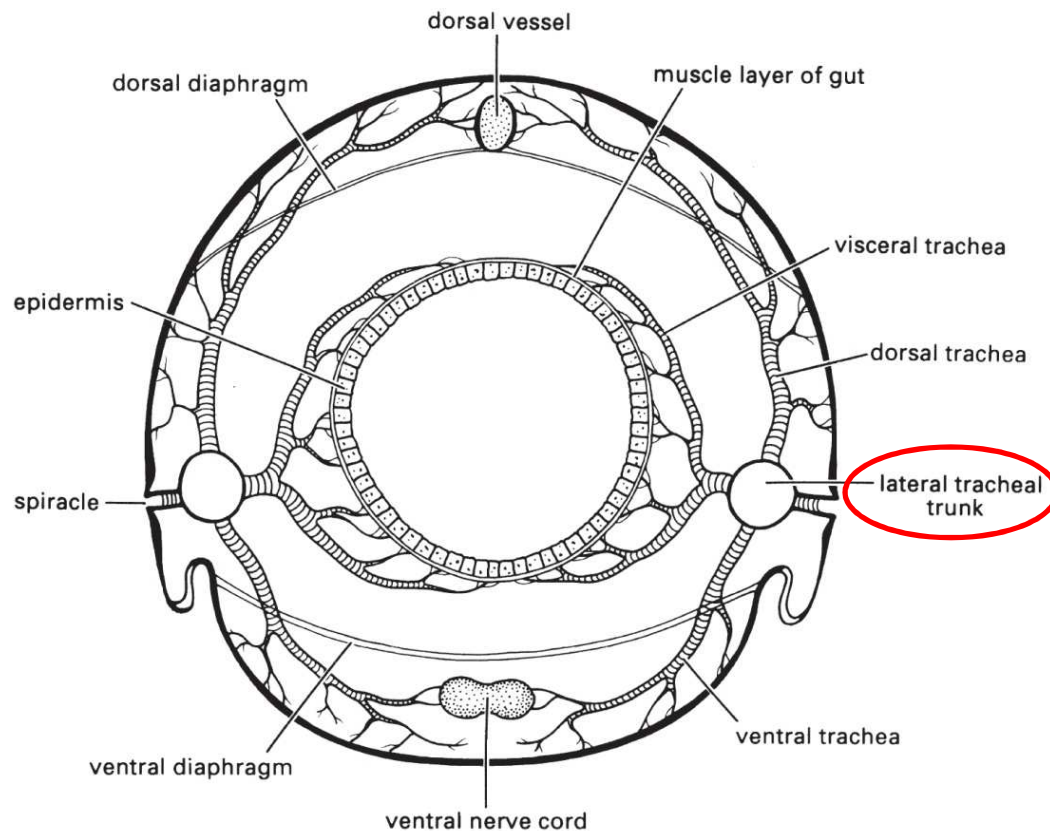


- fyzikální interference

- Pieridae

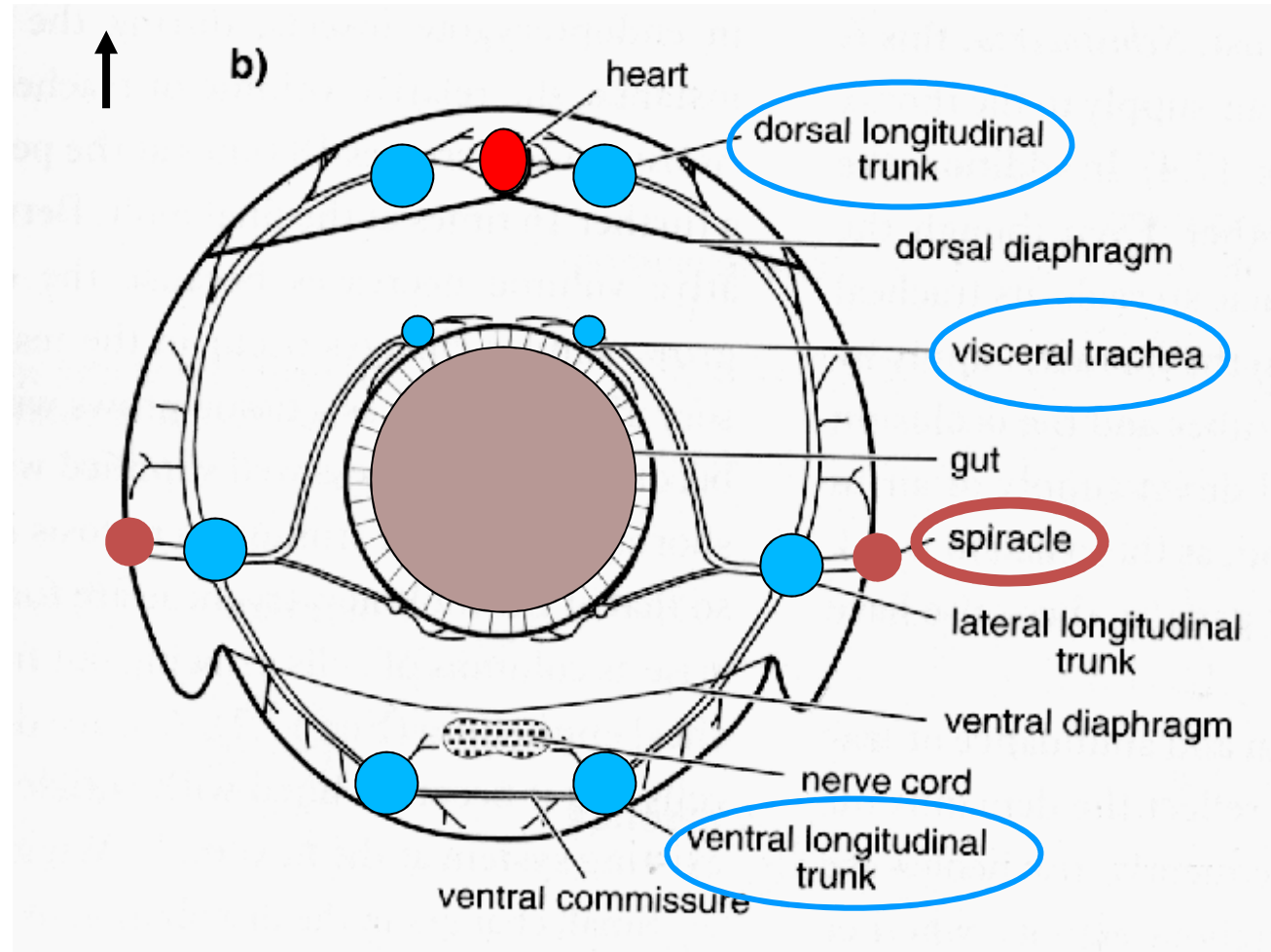
# Tracheální systém

- výměna plynů prostřednictvím větvících se trubic naplněných vzduchem a vedoucích od stigmat (spirakul) k jednotlivým orgánům a tkáním, 5-50% objemu těla



# Tracheální soustava - průběh tracheálních kmenů abdomenem

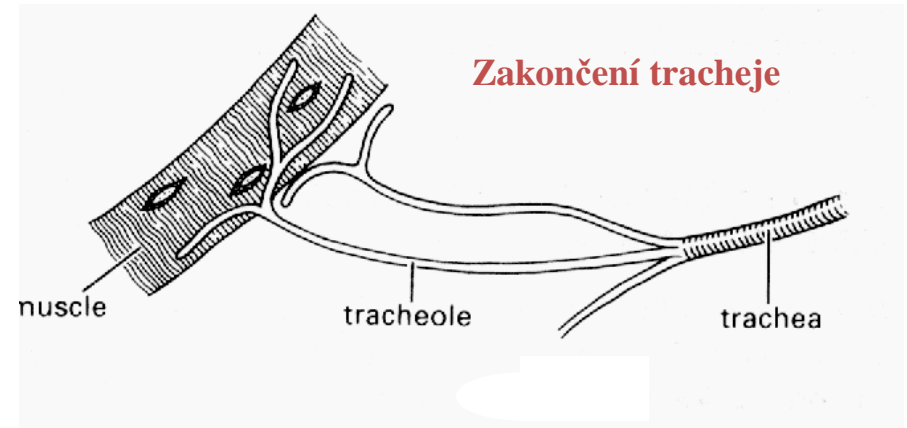
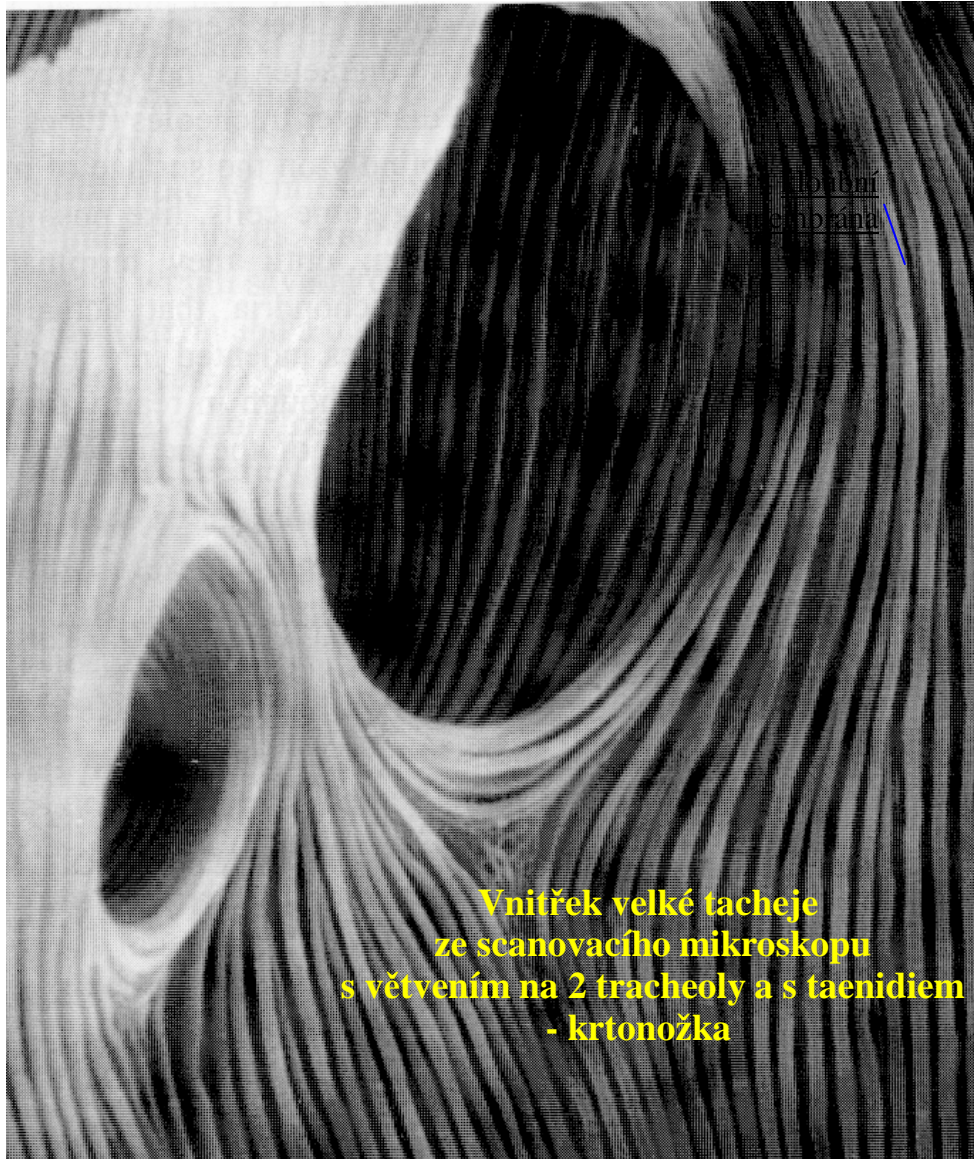
řez v transversální rovině - posteriorní pohled



- u Collembola a Archaeognatha nejsou tracheje vedoucí od stigmat propojeny kmeny

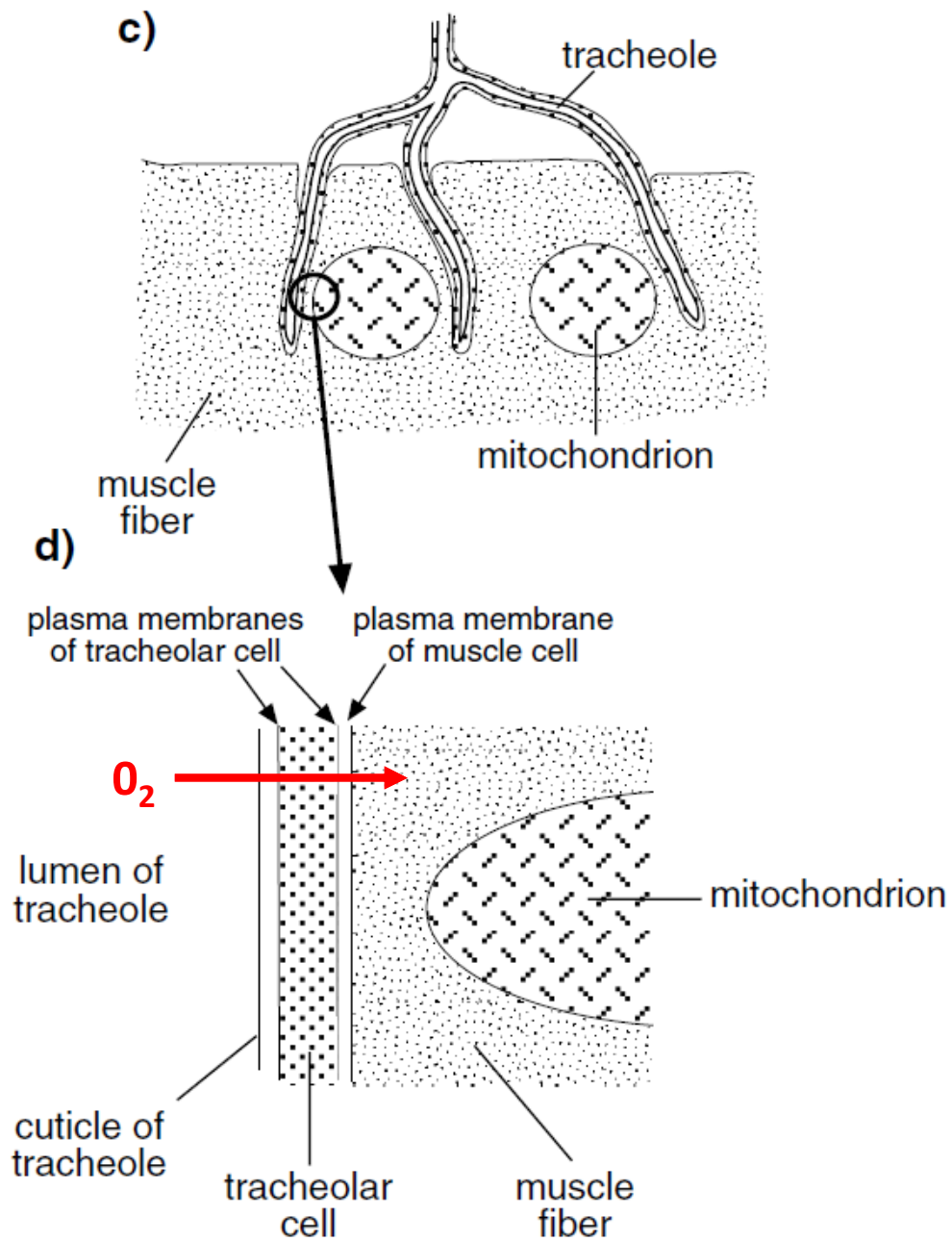


# Ultrastruktura tracheje



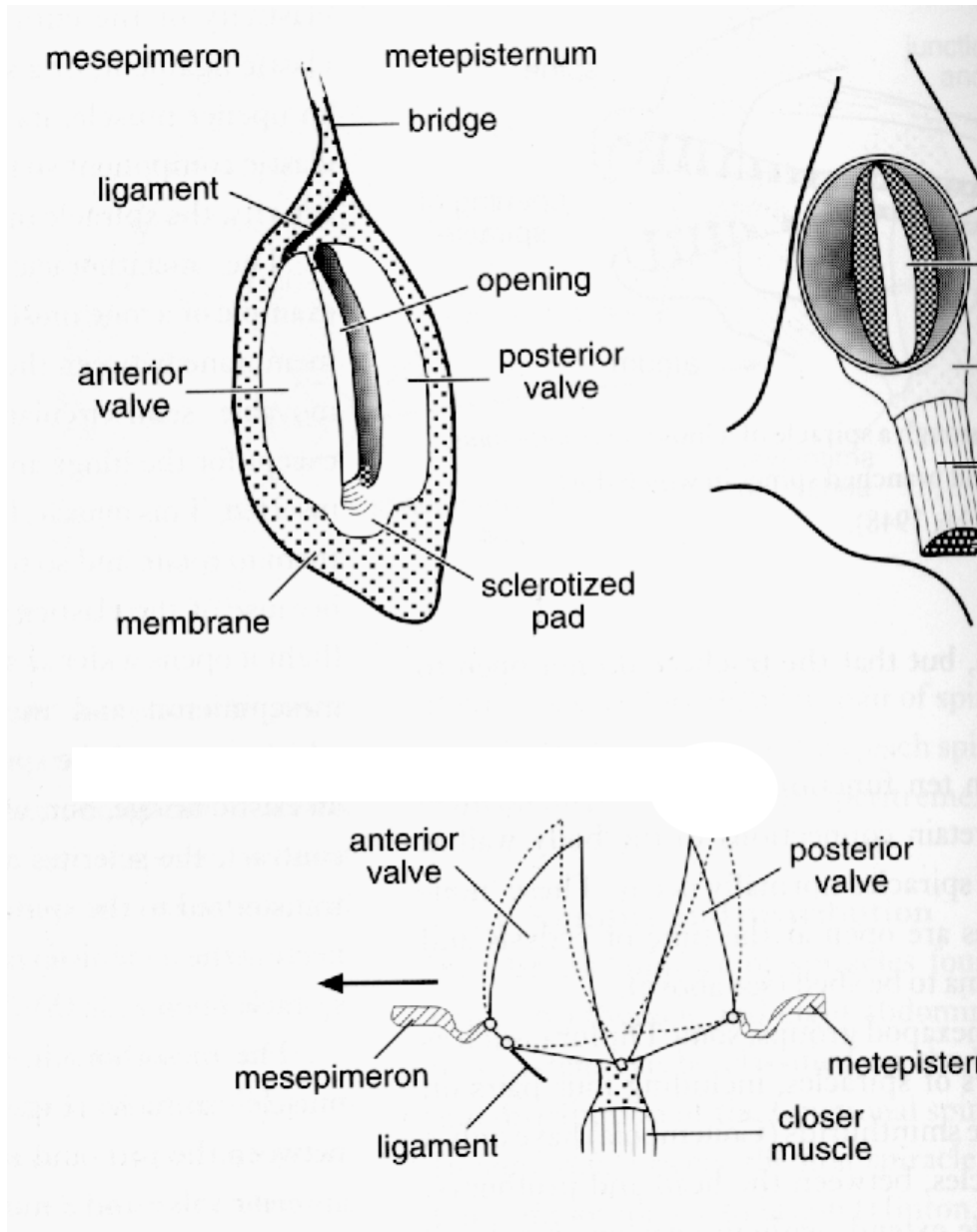
- přenos plynů difúzí (pasivně) a konvekcí (aktivně)
- spirálovité ztluštění kutikulární výstelky (intima) – **taenidium**: pružnost a odolnost vůči stlačení (jako hadice od vysavače)
- výstelka trachejí se svléká spolu se zbytkem kutikuly až na část tracheol
- **tracheoly** – průměr 0,2–2  $\mu\text{m}$  (limit pro difúzi kyslíku), terminální výběžky tracheálních buněk, přímý kontakt s tkáněmi/buňkami

# Výměna plynů ve svalovém vlákně



Vysoké požadavky na kyslík hl. v létacích svalech – izolace od zbytku těla a také zvlášť P a L část

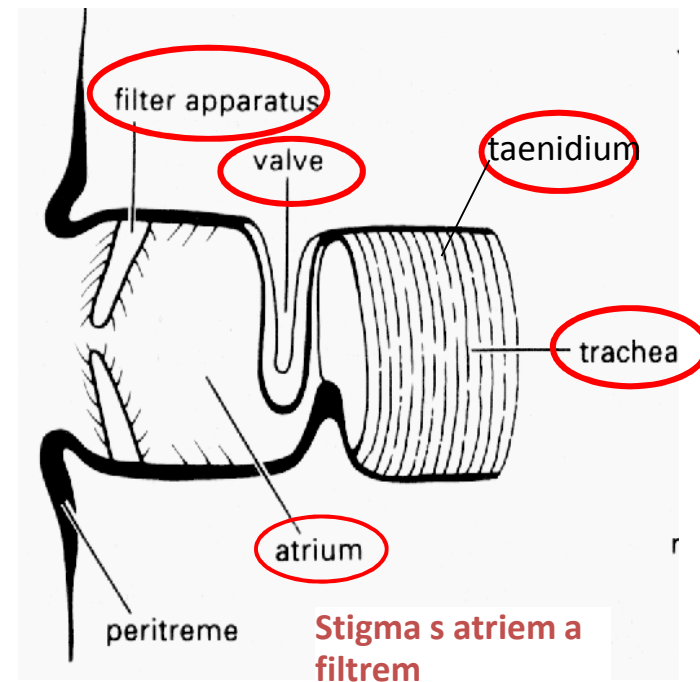
# Metathorakální stigma s jedním svalem (saranče *Schistocerca*)



**peritrema** (sklerotizovaná kutikulární destička okolo stigmatu)

stigma

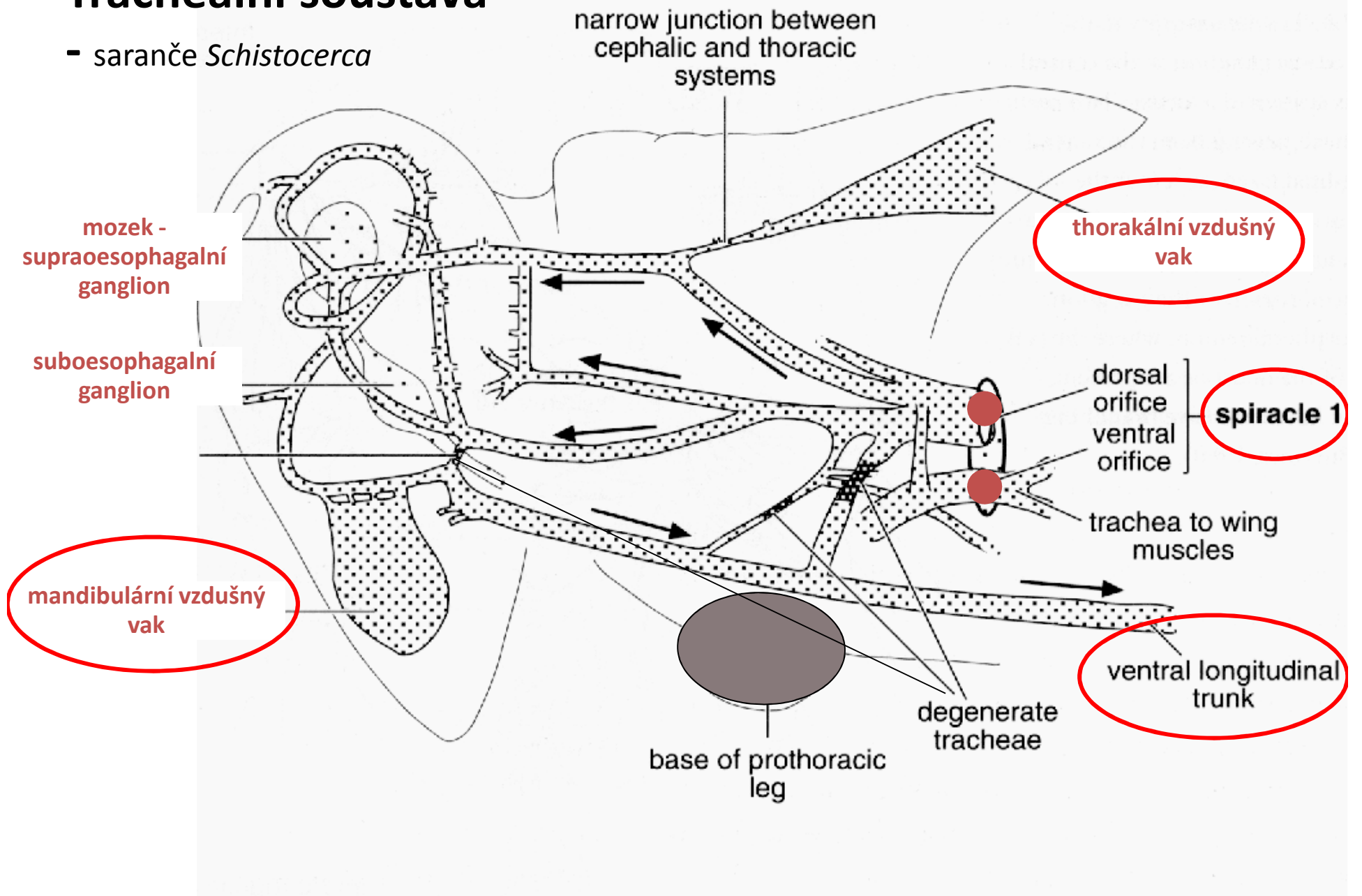
sval





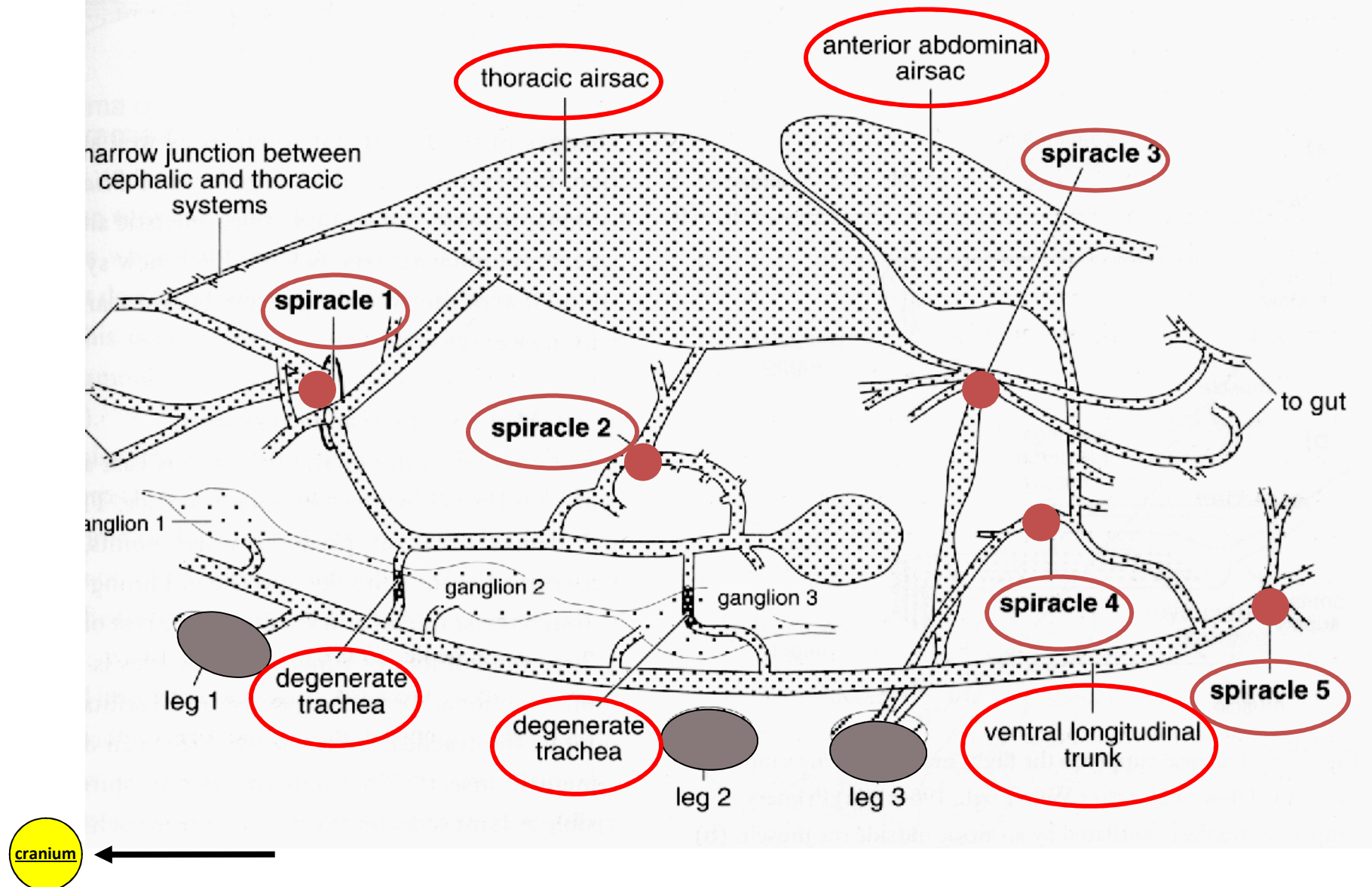
# Tracheální soustava

- saranče *Schistocerca*



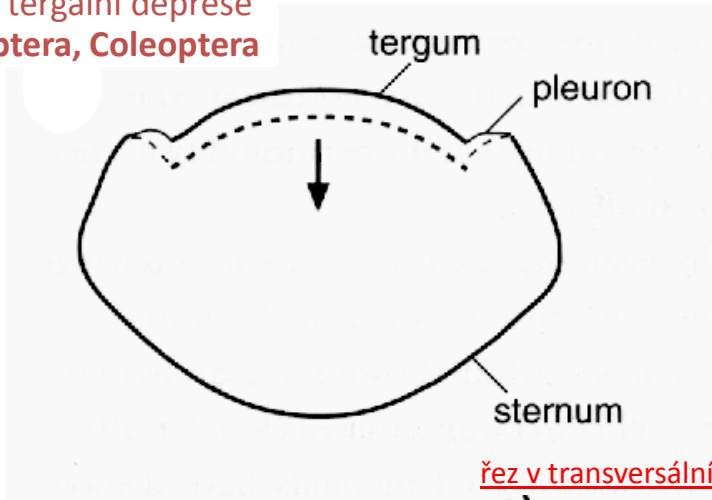


# Tracheální soustava - saranče *Schistocerca*

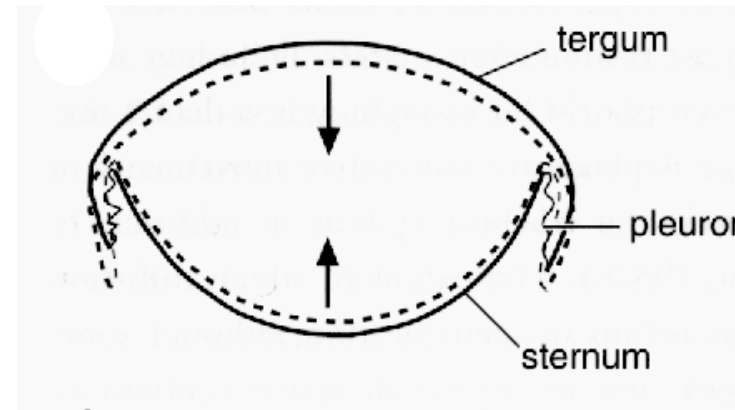


# Ventilace, pumpování zadečkem/hrudí (tečkovaně zmenšený objem při expiraci)

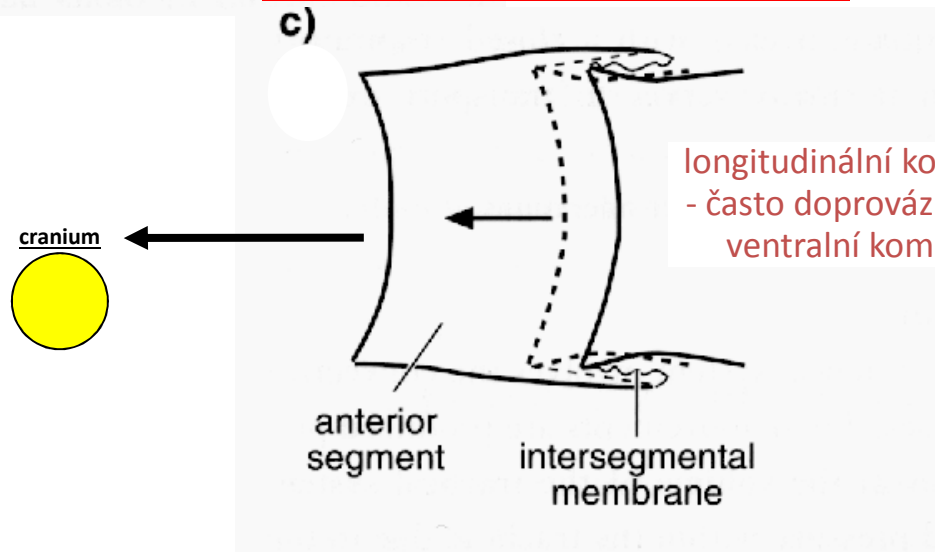
dorso-ventralní komprese s  
využitím tergální deprese  
- **Heteroptera, Coleoptera**



dorso-ventralní komprese  
- **Odonata, Orthoptera,  
Hymenoptera, Diptera**

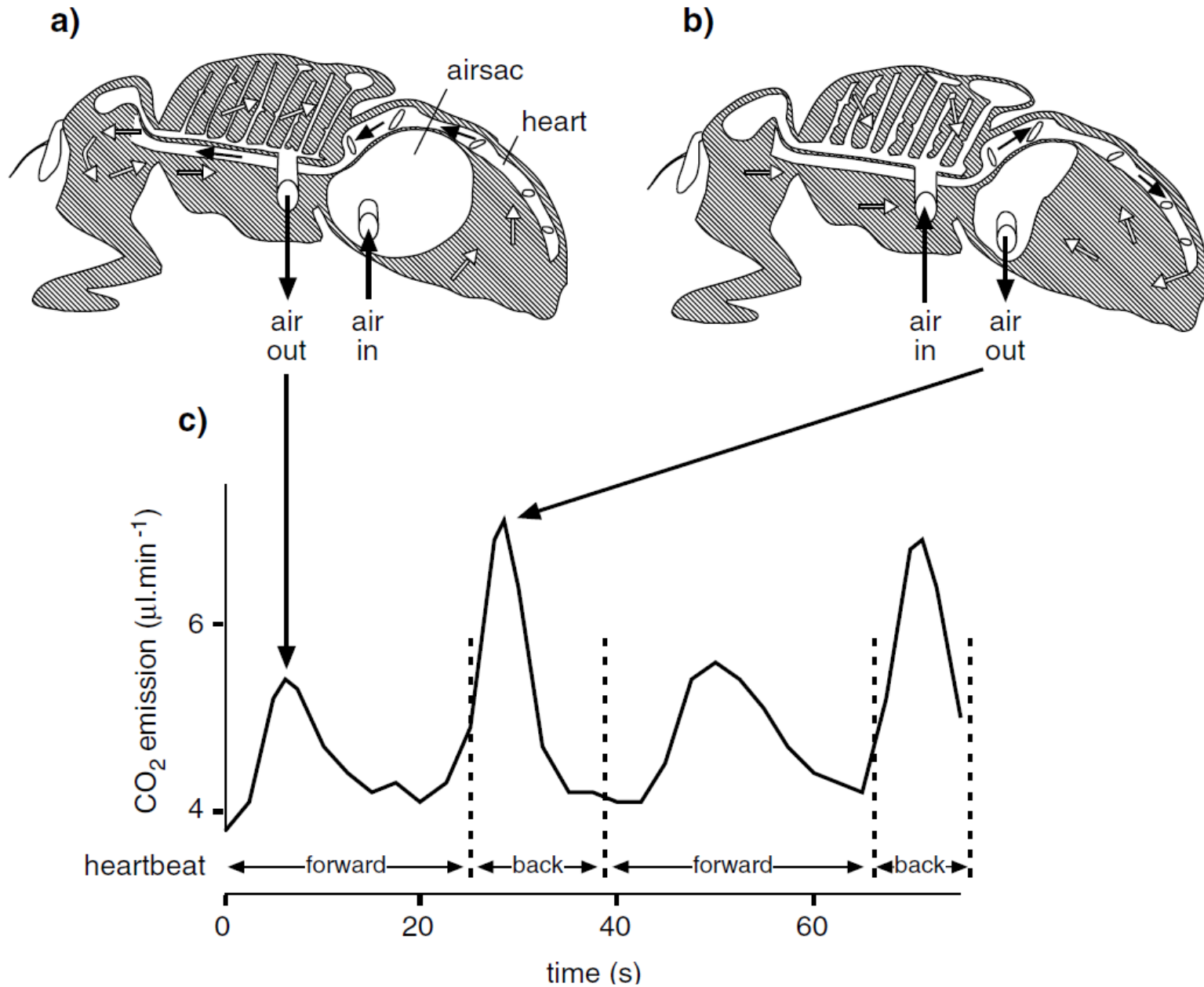


řez v transversální rovině - posteriorní pohled



**Nespojitá ventilace** – spirákuly zavřené až 8h – při diapauze, nízkých teplotách, nízké metabol. aktivitě, u kukel

# Reverzní stahy srdce (u Diptera 2-5x/min)



# Umístění a počet stigmat

- laterálně, původně na každém článku s výjimkou hlavy, předohrudi a postabdomenu, max. 10 párů (2 na hrudi, 8 na zadečku – holopneustické, např. vážky, saranče, švábi, blechy, larvy některých Diptera a Hymenoptera)
- Diplura: *Japyx*: 11 párů (4 na hrudi)
- většinou část redukována, obvykle 8 nebo 9 stigmat (peri-/hemipneustické), ale i 1, 2 či 3 (oligopneustické, např. larvy a kukly komárů, chvostokoci – 1 pár mezi hlavou a hrudí)
- otevřený vs. uzavřený tracheální systém (apneustické, endoparaziti, vodní larvy)
- absence tracheálního systému: jen u velmi malých druhů s vysokým poměrem povrch/objem těla: Protura, většina Collembola – difúze plynů skrz povrch těla a hemolymfu

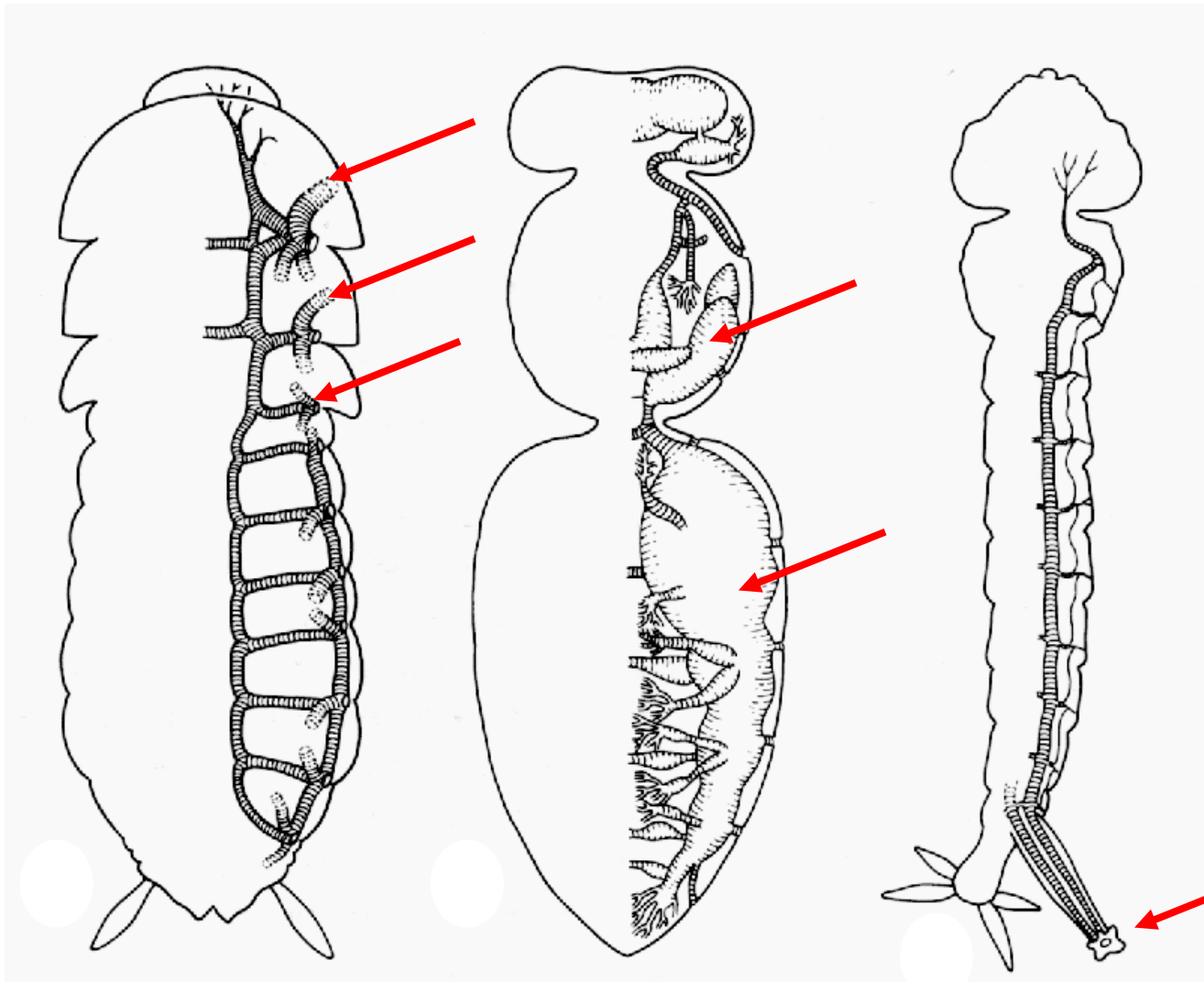


# Tracheální systém - podle počtu stigmat se larvy dělí na:

Na každé straně těla je:

- **Polypneustic** - nejméně 8 funkčních stigmat:
  - **Holo** - 2 thoracic + 8 abdominal – Odonata, Blattodea, Siph., Hymen., Dipt.
  - **Peri** – 1 + 8 - larvy Cecidomyidae, housenky
  - **Hemi** – 1 + 7 - larvy Mycetophilidae
- **Oligopneustic** - 1 nebo 2 funkční stigmata na každé straně:
  - **amphi**- 1 + 1 postabdominal - larvy Psychodidae
  - **meta**- 0 + 1 postabdominal - larvy Culicidae
  - **propneustic**- 1 mesothoracic + 0 - kukly Culicidae
- **Apneustic** – 0 - mnoho larev aquatického hmyzu

# Tracheální soustava - modifikace

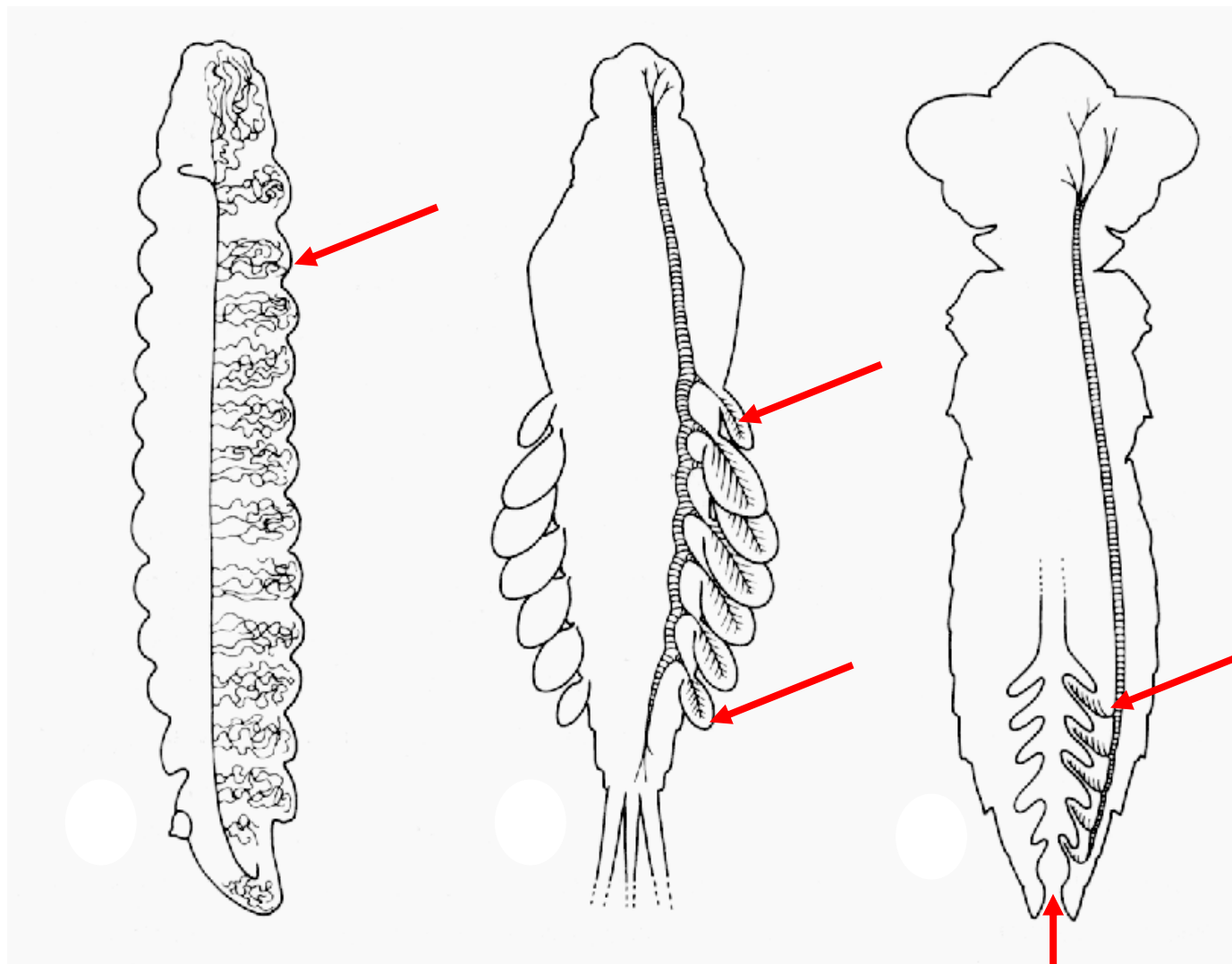


jednoduchý systém se stigmaty - **šváb**

systém umožňující mechanickou ventilaci vzdušnými vaky - **včela**

metapneustický systém s 1 stigmatem - **larva komára**

# Tracheální soustava - modifikace



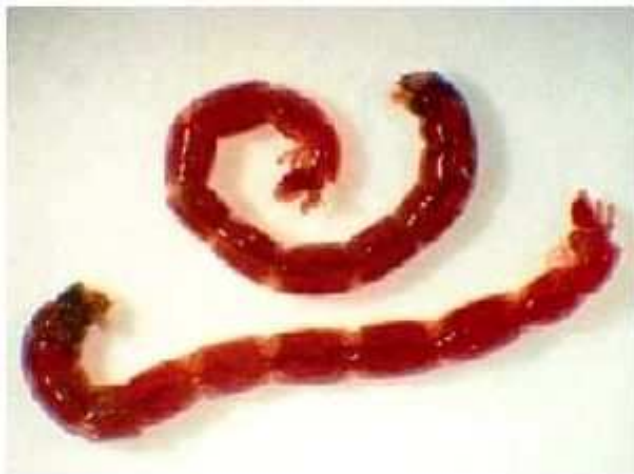
uzavřený systém s kutikulární výměnou plynů - **larvy parazitoidů**

uzavřený systém s abdominálními tracheálními žábry - **larvy jepic**

uzavřený systém s rektálními tracheálními žábry - **larvy vážek**

# Dýchací pigmenty

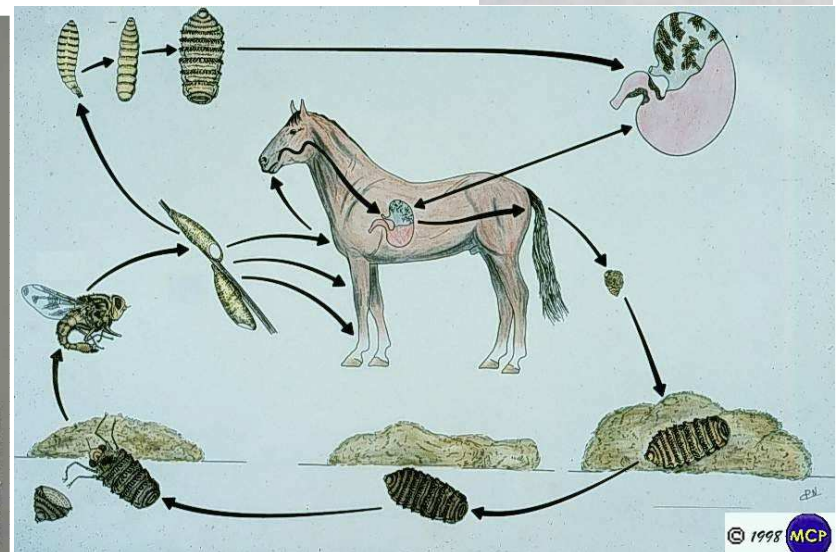
- adaptace zejména na hypoxickém prostředí (voda, paraziti)
- hemoglobiny: pakomáři rodu *Chironomus* v hemolymfě, střechci rodu *Gasterophilus* ve zvláštních hemoglobinových buňkách, u většiny hmyzu intracelulárně v tracheálních buňkách a tukovém tělese
- hemocyaniny (podobné složení jako u korýšů) – v hemolymfě Collembola, Archaeognatha, Dermaptera, Orthoptera, Phasmodea, Mantodea, Blattodea



*Chironomus* sp.



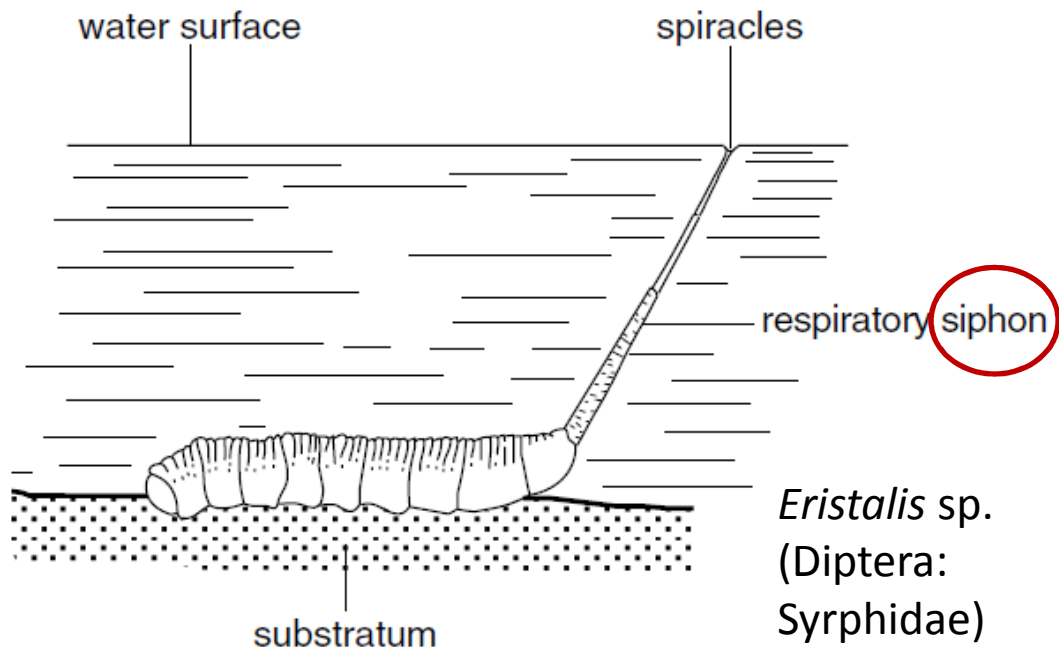
*Gasterophilus intestinalis*



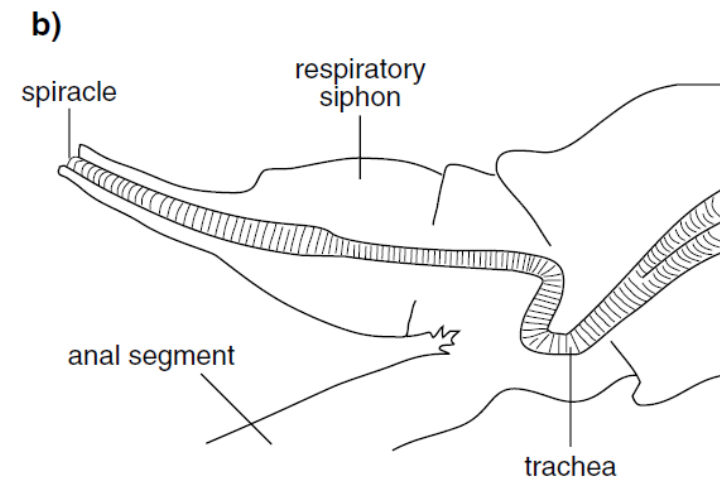
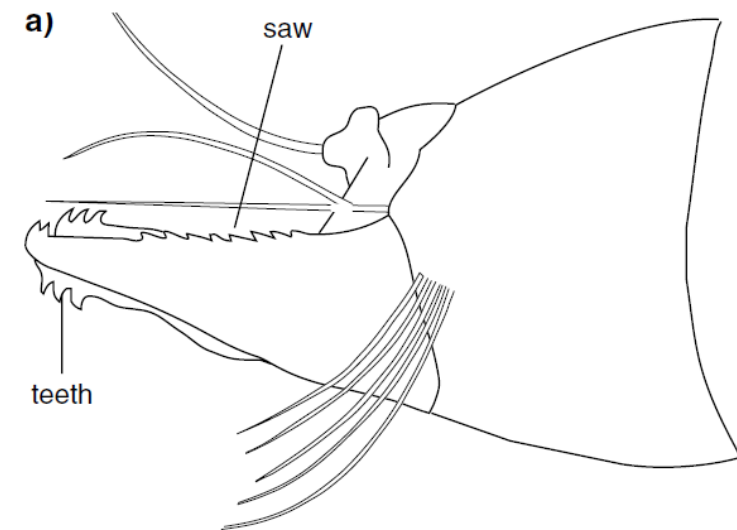
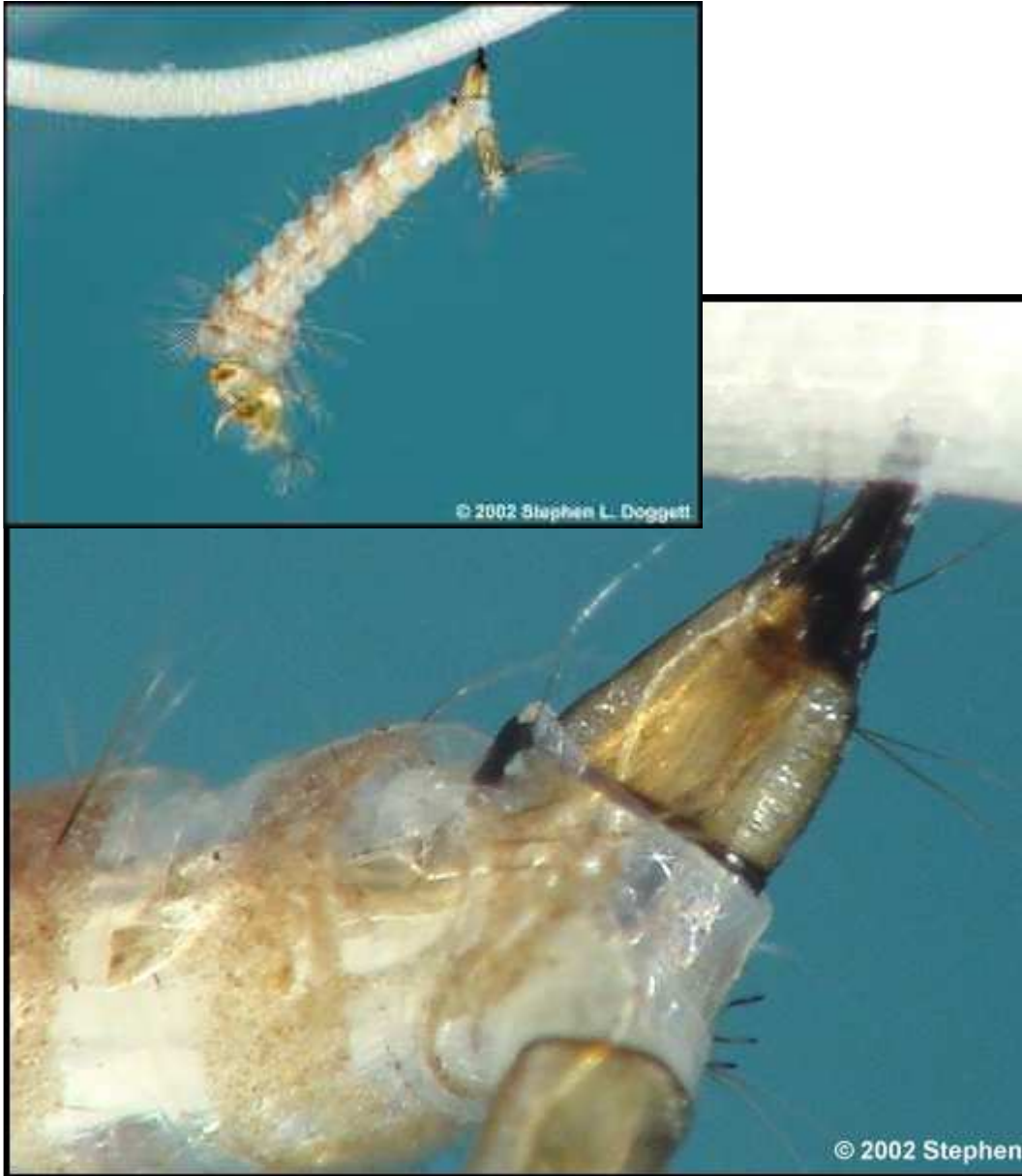


# Příjem kyslíku u vodního hmyzu

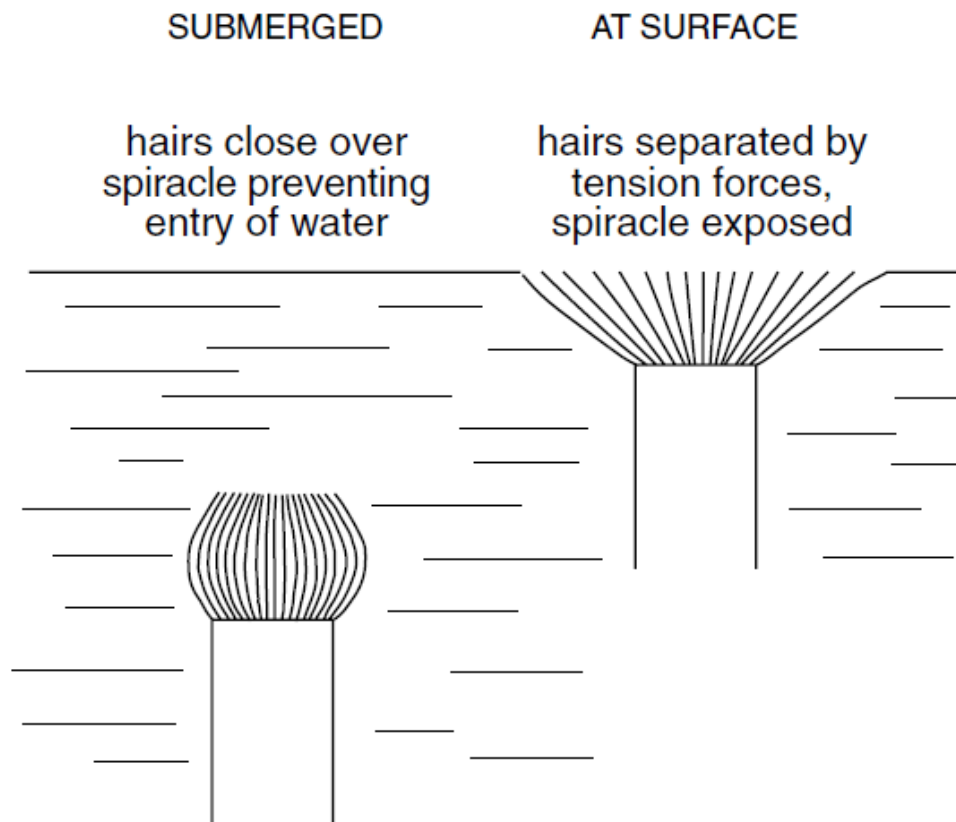
- přímo ze vzduchu nad hladinou
- dýchací výběžky (*sipho*)



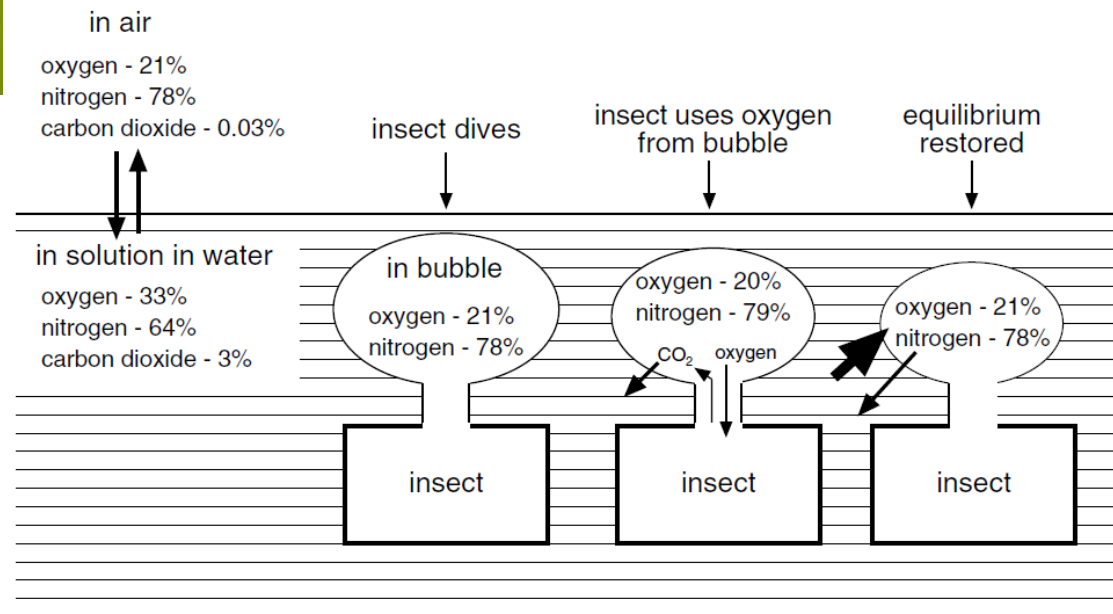
- z aerenchymu rostlin (např. Diptera: Culicidae: *Mansonia*, Coleoptera: Chrysomelidae: *Donacia*)



- periodické vynořování – problém otevírání a uzavírání stigmat – často věnec hydrofobních chloupků
- často vynořován jen 1 pár stigmat vzadu na těle (larvy komárů, Ephydriidae, Nepidae)

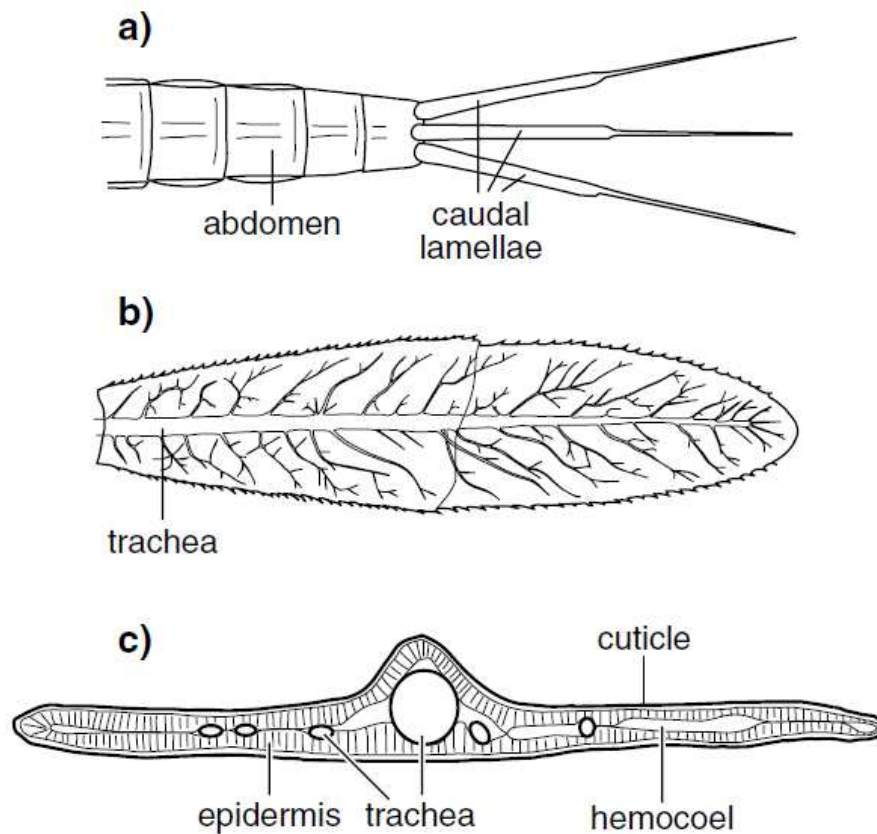


- vzduchová bublina – rezervoár vzduchu mimo tracheje
  - pod krovkami (potápníci rodu *Dytiscus*)
  - na ventrální straně těla, pod křídly a na dorsální straně křídel – hydrofobní chloupky (znakoplavky rodu *Notonecta*)
  - funguje jako dočasné fyzikální žábry – účinné zj. při nízkých teplotách a ve vodách bohatých na kyslík

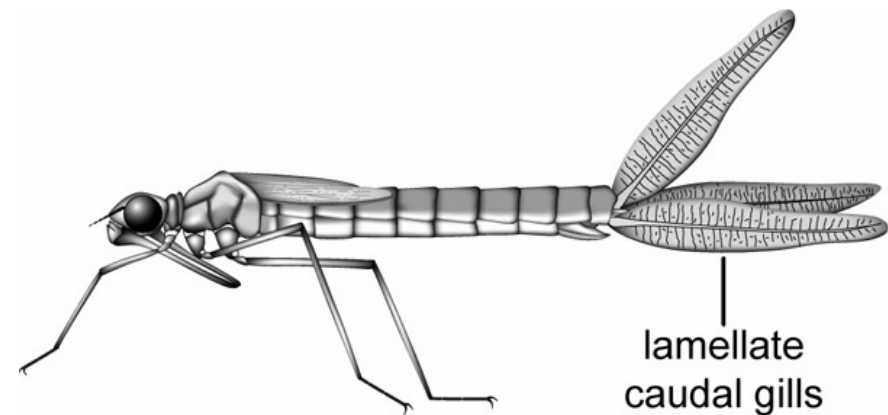




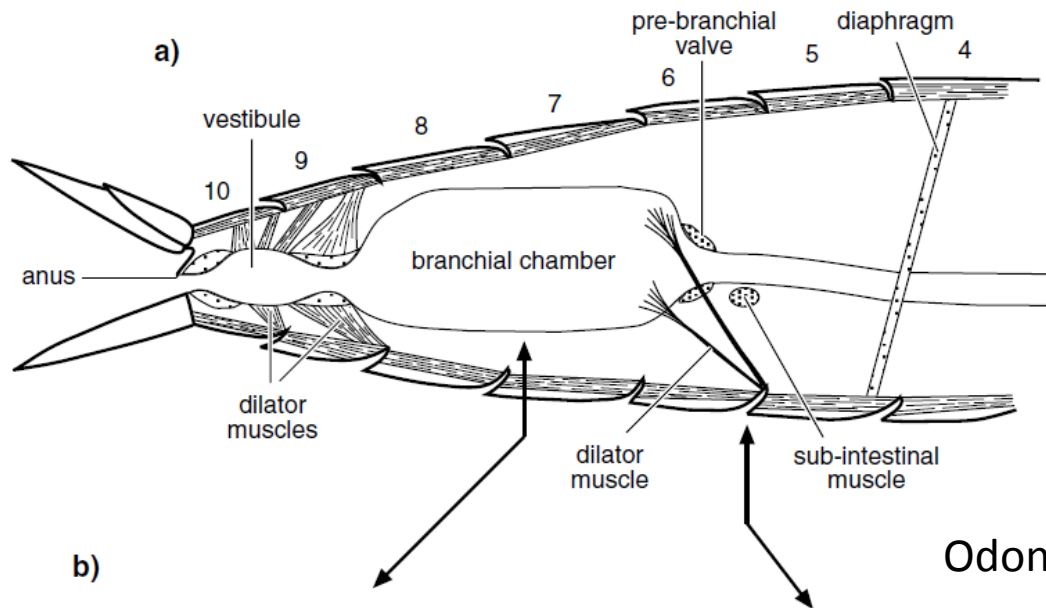
- rozpuštěný kyslík ve vodě:
  - difúze z vody přes kutikulu přímo do haemolymfy (jen malé druhy, např. larvy muchniček a pakomárů)
  - difúze z vody do plynné fáze trachejí přes tenkostěnné žábry



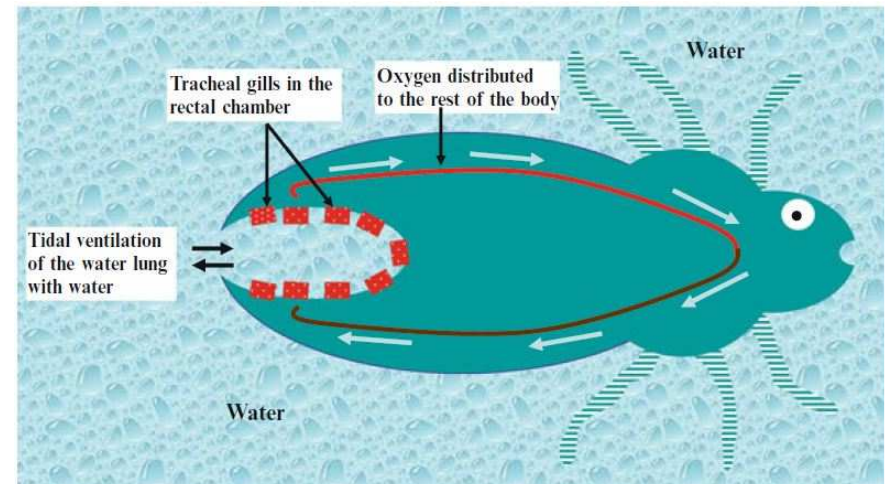
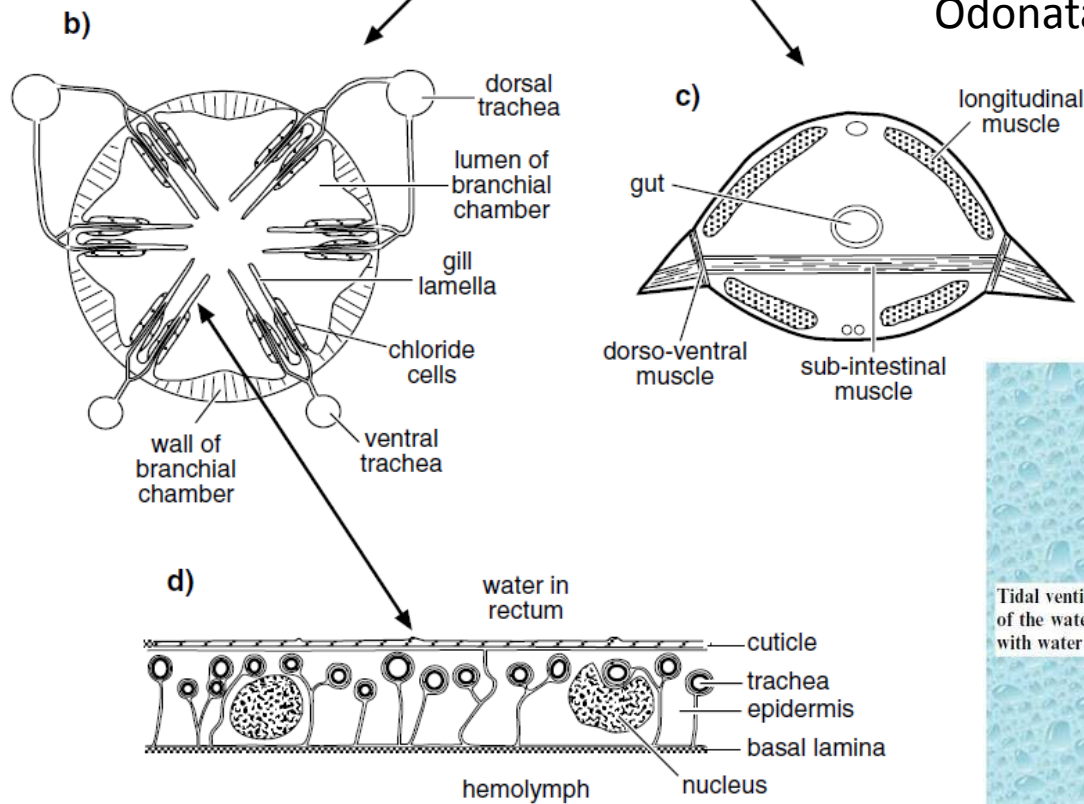
Odonata: Zygoptera (motýlice)





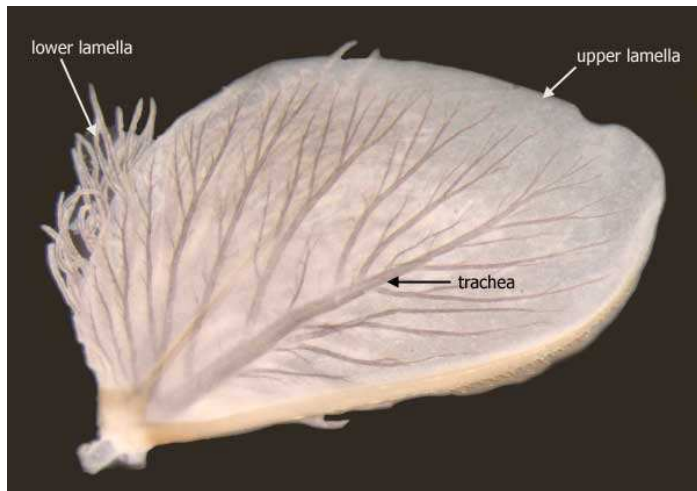


Odonata: Anisoptera (různokřídlice, šídla)



# Žábry na zadečku vodních larev

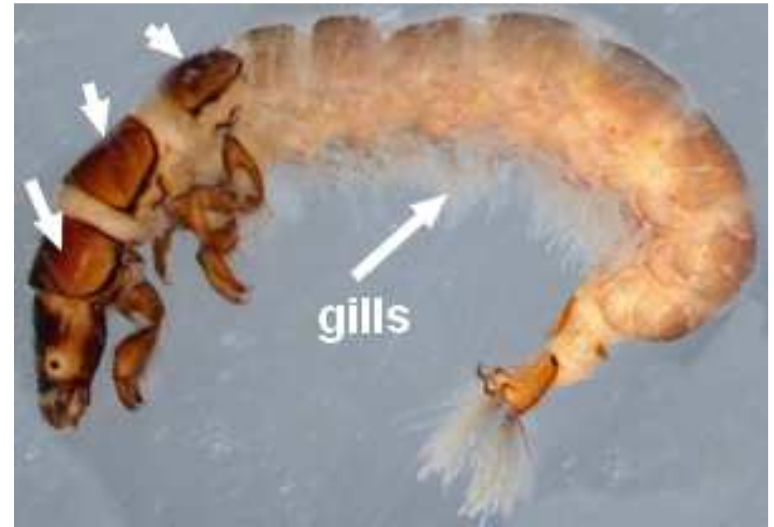
- Ephemeroptera: 6-7 párů lístkovitých nebo plátkovitých žaber pohyblivých svaly
- Plecoptera: na prvních 1-3 článcích zadečku nebo v anální oblasti
- Megaloptera (*Sialis*) – 7 párů 5-členných žaber
- některá Coleoptera – několik nečlámkovaných výrůstků
- Trichoptera: vláskovité žábry v dorzální, laterální a ventrální řadě



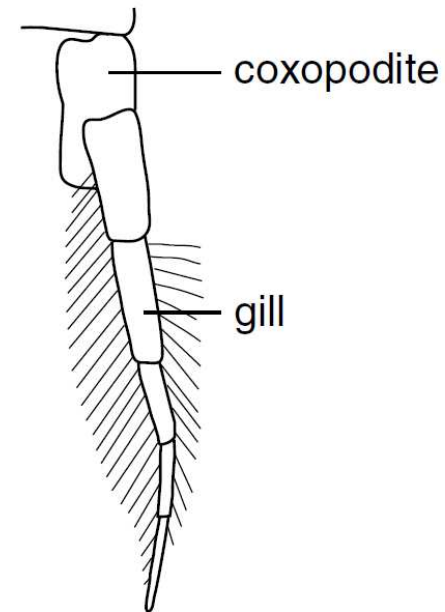
Ephemeroptera



Plecoptera



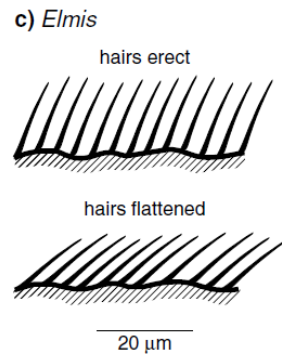
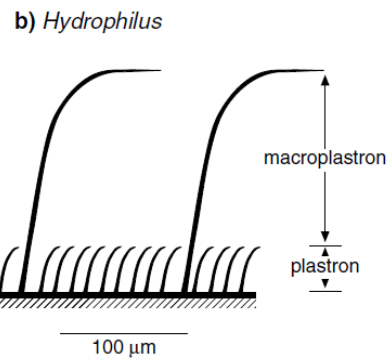
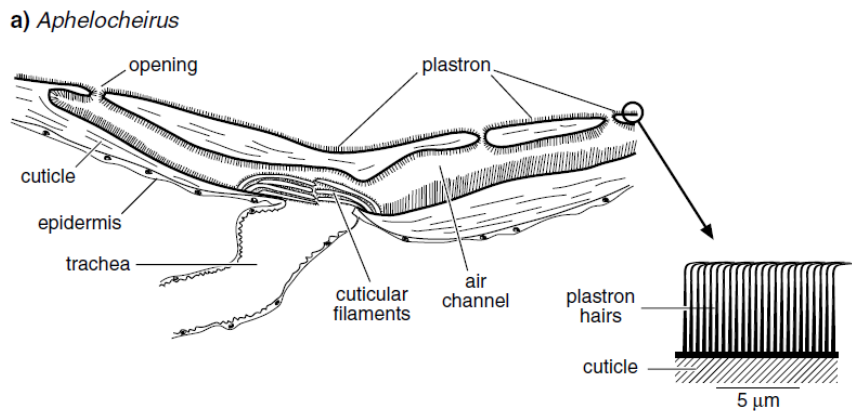
Trichoptera



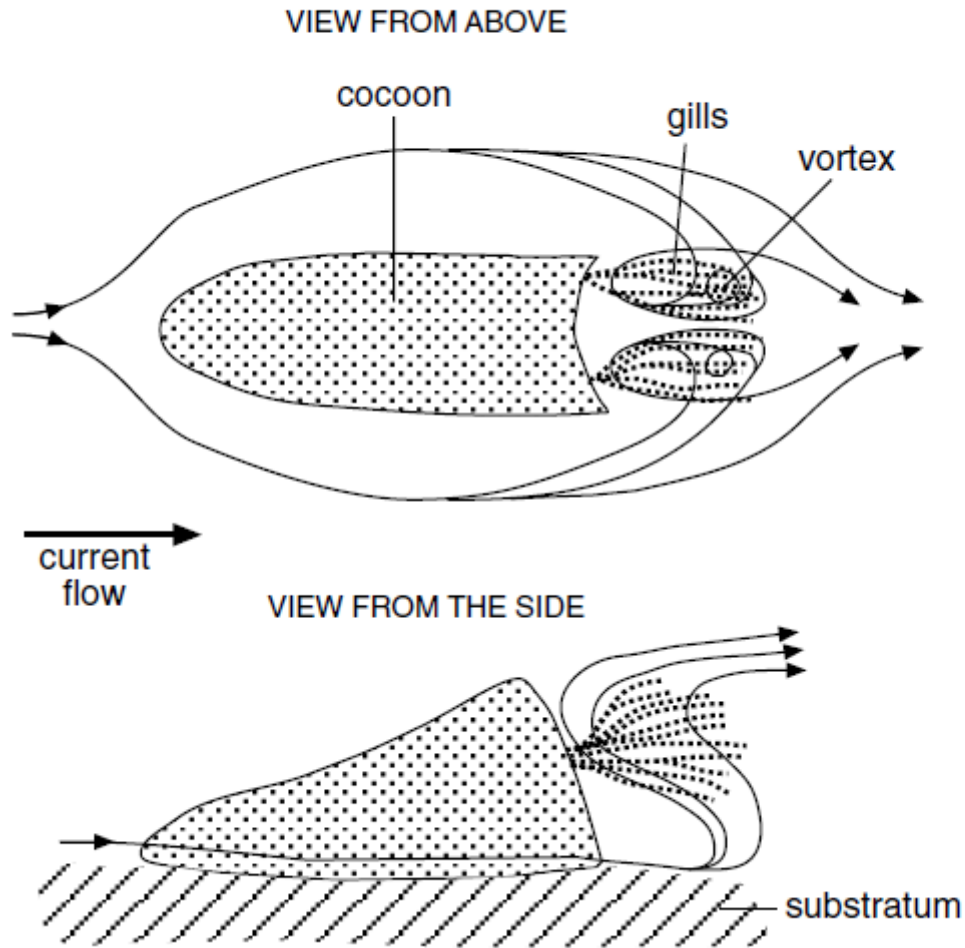
Megaloptera: *Sialis* (střechatka)



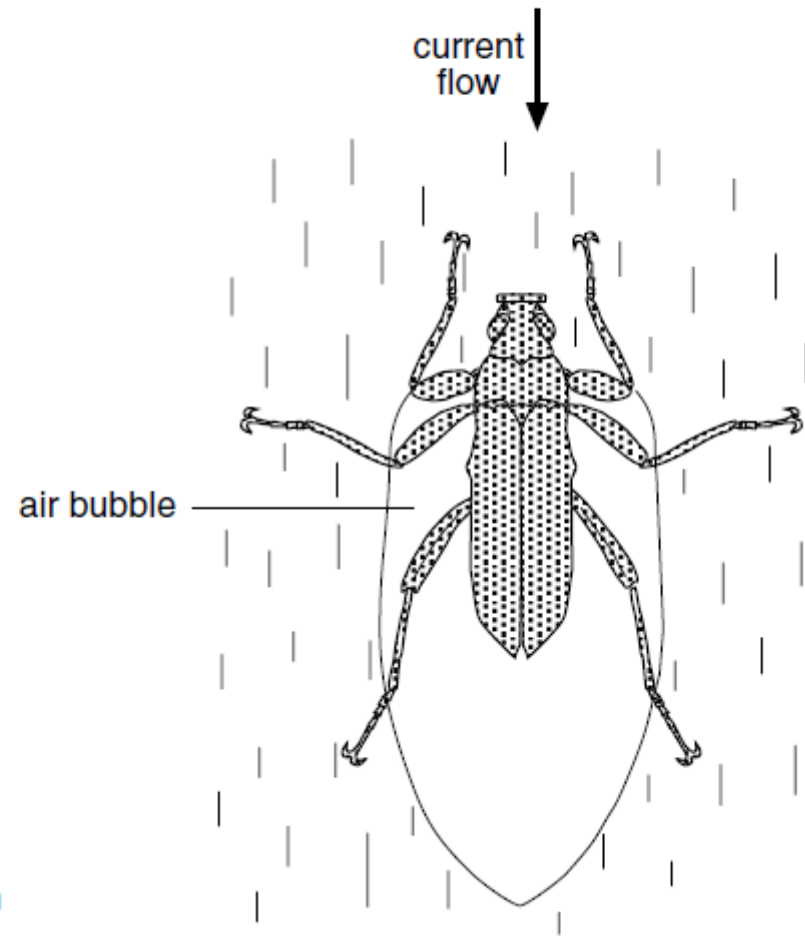
- rozpuštěný kyslík ve vodě:
  - z tenké povrchové vrstvy vzduchu při povrchu těla (**plastron**), do které se otevírají stigmata – nutný hydrofobní povrch (husté jemné chloupky), objem vzduchové vrstvy je konstantní



a) *Simulium*



b) *Potamodytes*

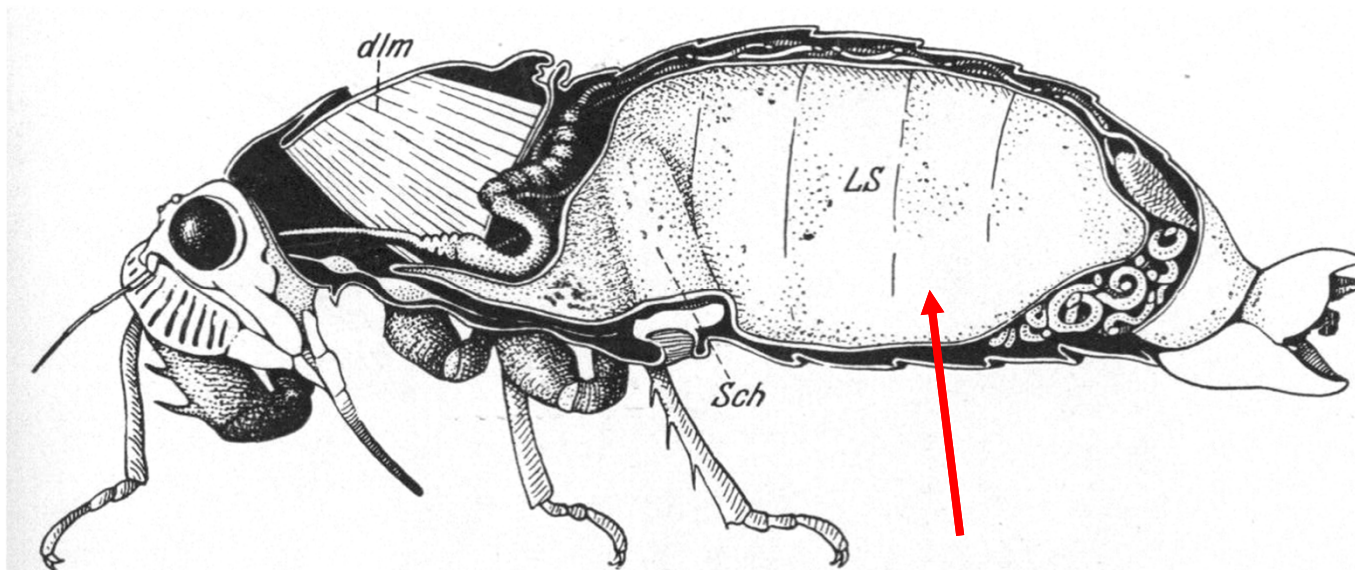


- orientace těla vytváří víry a usnadňuje výměnu plynů z vody



## Další funkce tracheálního systému:

- snižuje specifickou váhu těla
- nadnáší ve vodě
- regulace teploty (izolace thoraxu a abdomenu)
- tapetum v oku nočních motýlů (Noctuidae) – odraz světla
- podílí se na tvorbě zvuku (cikády, švábi rodu *Gromphadorina*)



Weber 1930