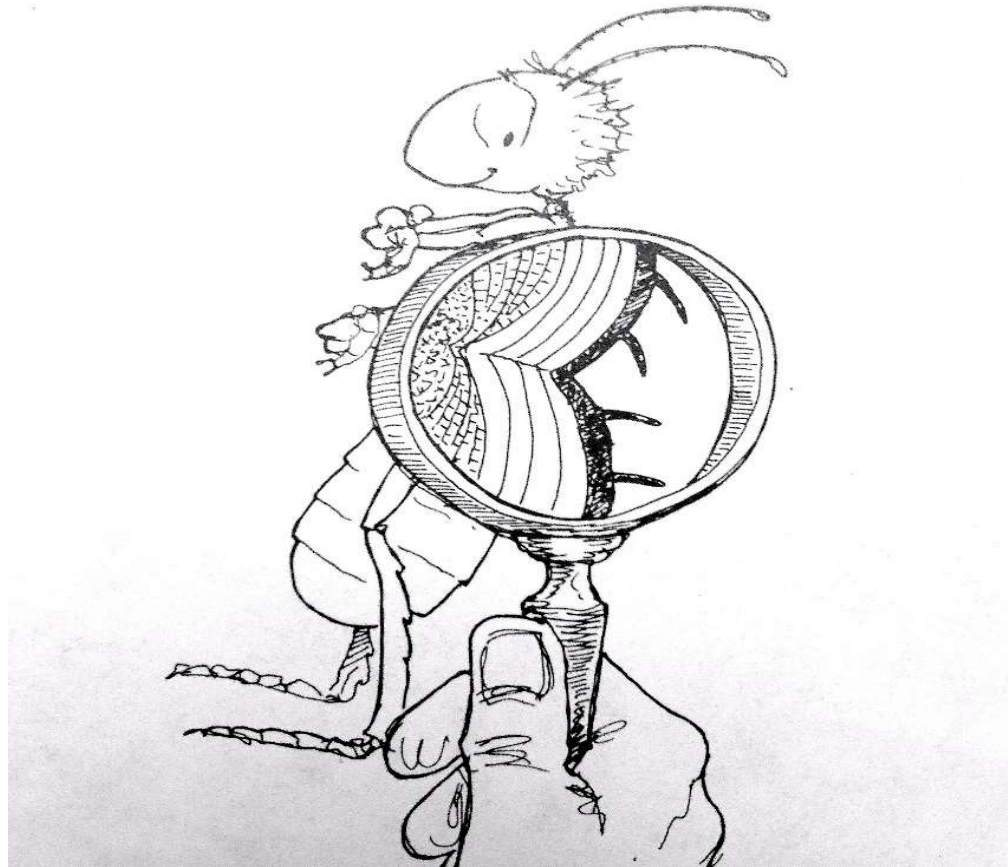


Bi6760 Základy entomologie

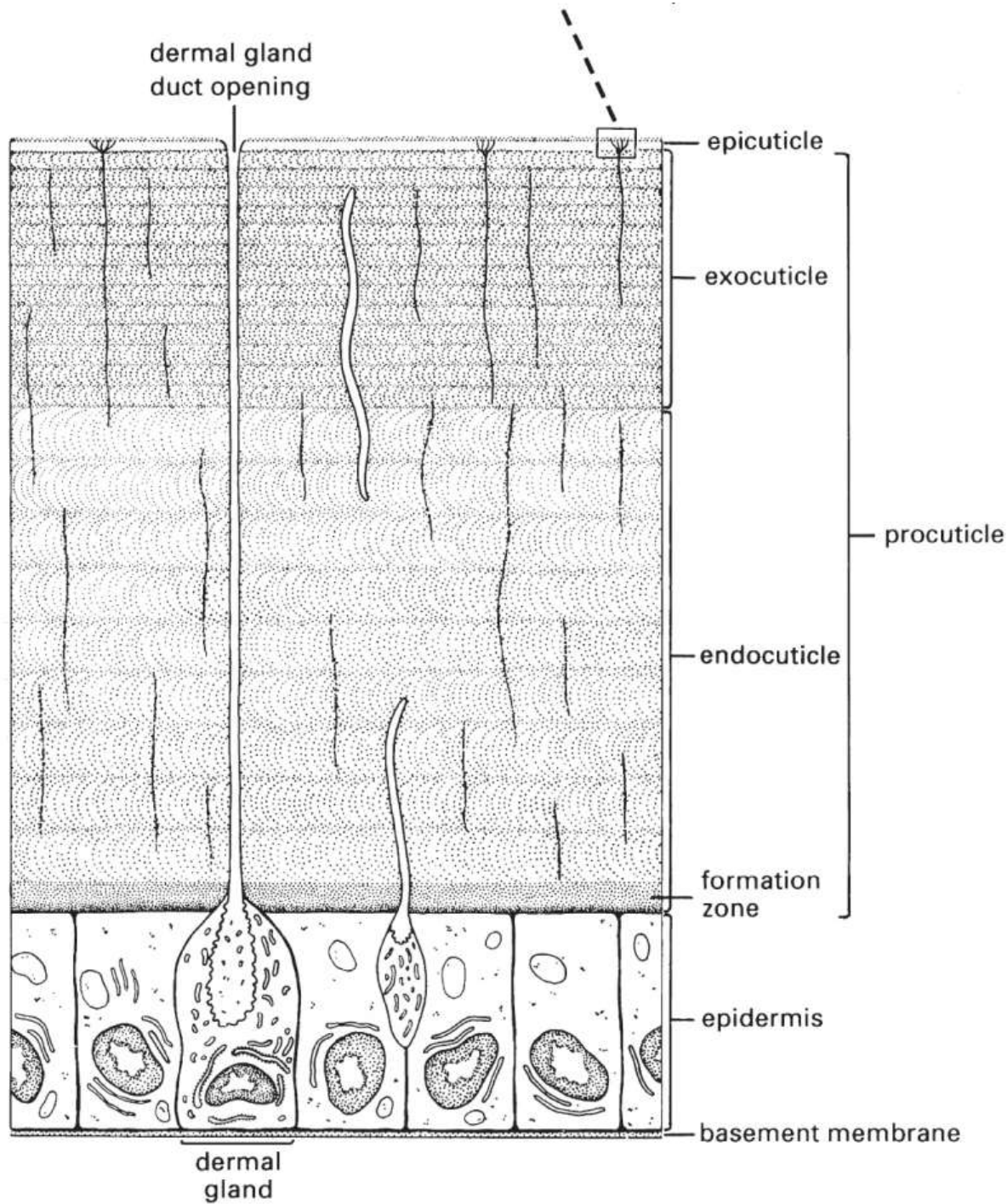
6. Integument a tracheální systém



Andrea Tóthová, Igor Malenovský
D31-108, tothova@sci.muni.cz

Kutikula

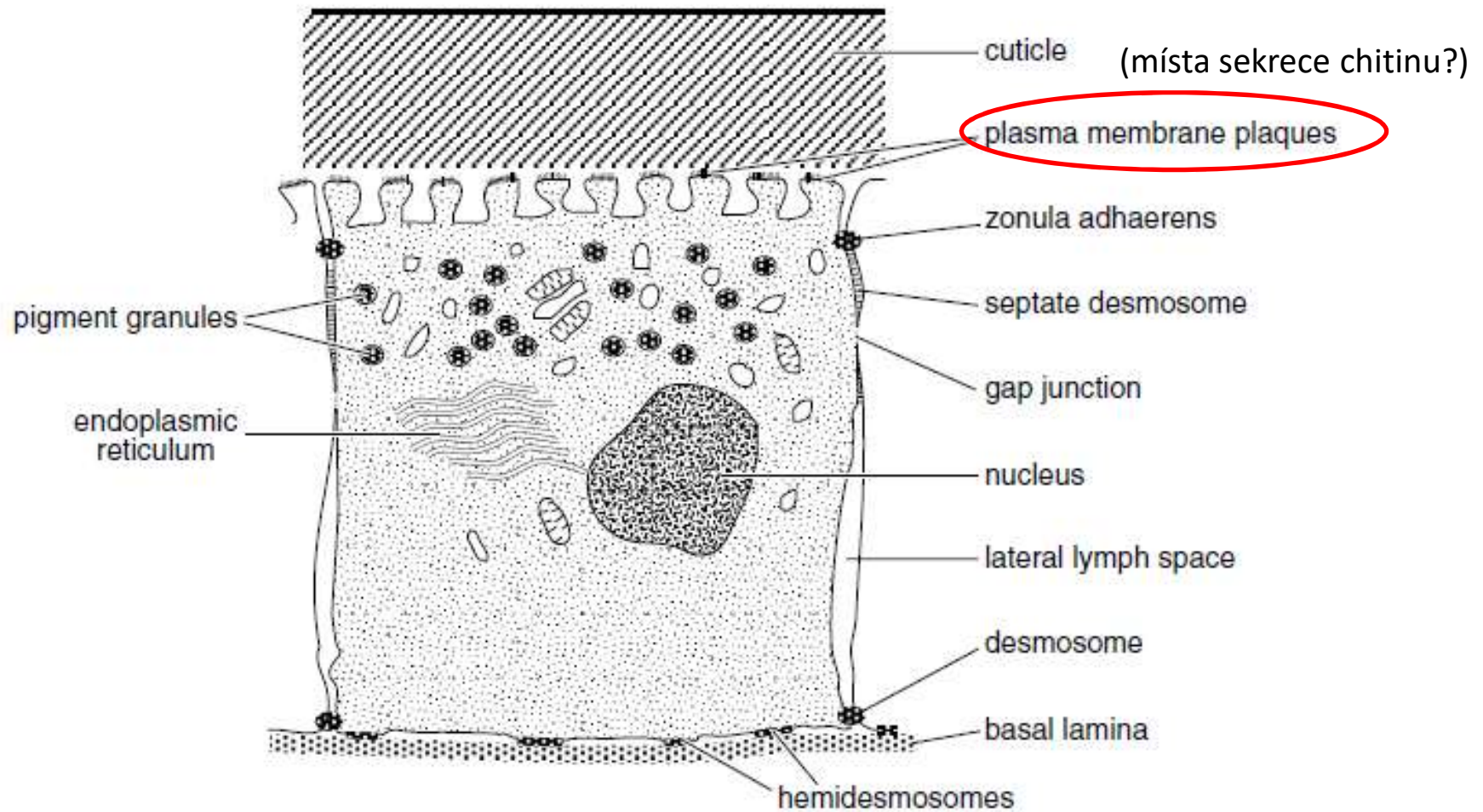
- vytváří tvrdý **exoskelet** těla a končetin, **apodemy** pro vnitřní napojení svalů, **klouby, křídla** a výstelku **trachejí, vývodů žláz** a části **trávící trubice** (stomodea a proctodea)
- tvrdé brnění (např. brouci)/tenká a pružná vrstva (larvy)
- brání ztrátě vody – klíčový předpoklad úspěchu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



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

Epidermální buňka

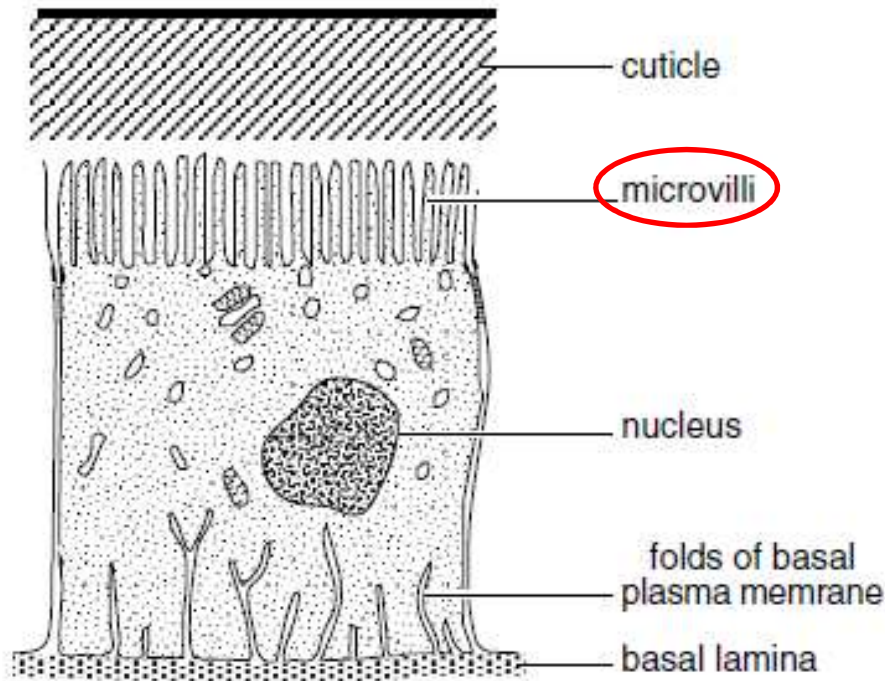
a) epidermal cell



Epidermální žláznaté buňky

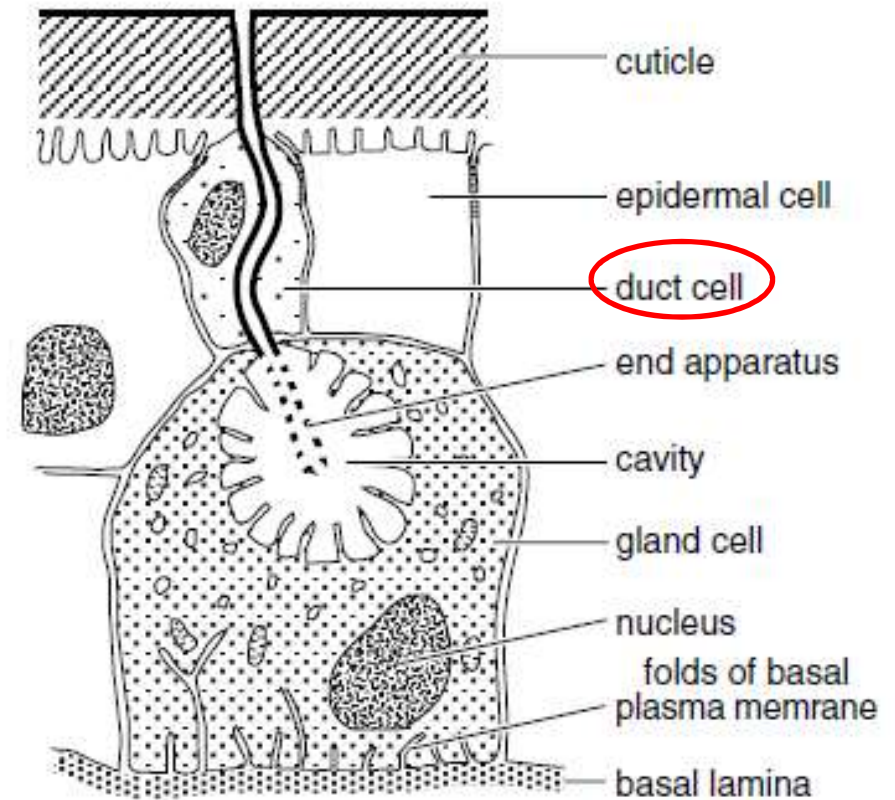
(např. produkce feromonů)

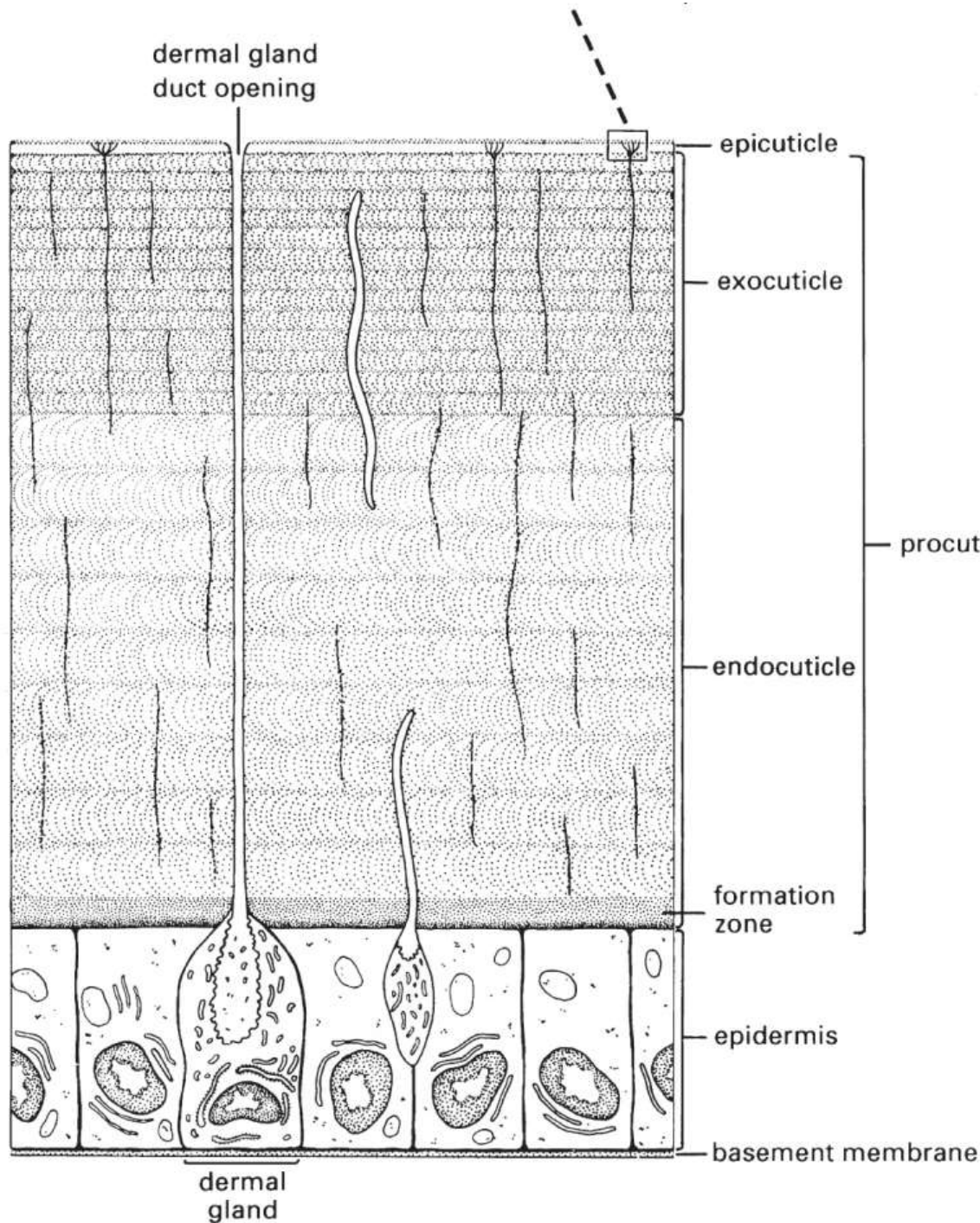
b) class 1 gland cell



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

c) class 3 gland cell



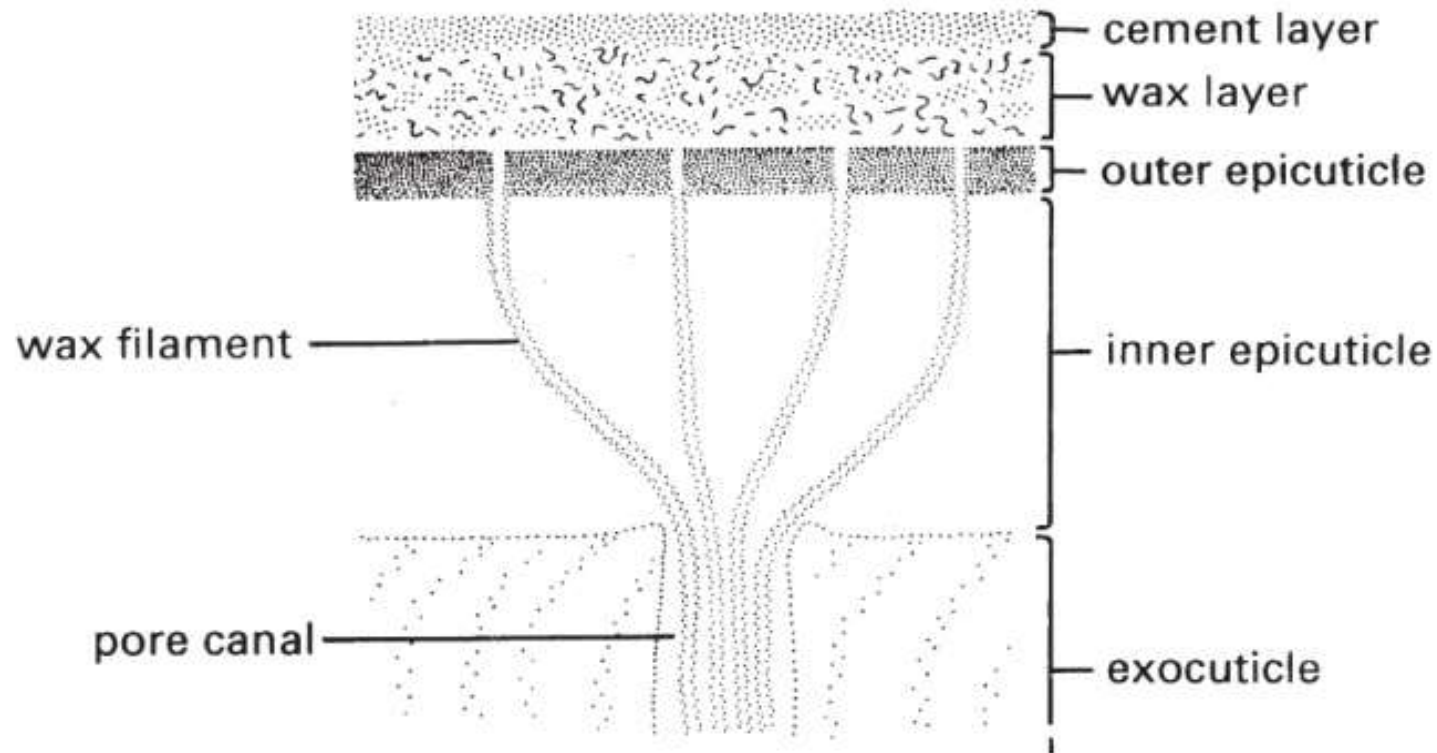


Prokutikula: 0,15–200 μm , 2 vrstvy (endo- a exokutikula): komplex chitinu a bílkovin

Endokutikula – bezbarvá, elastická, nediferencovaná

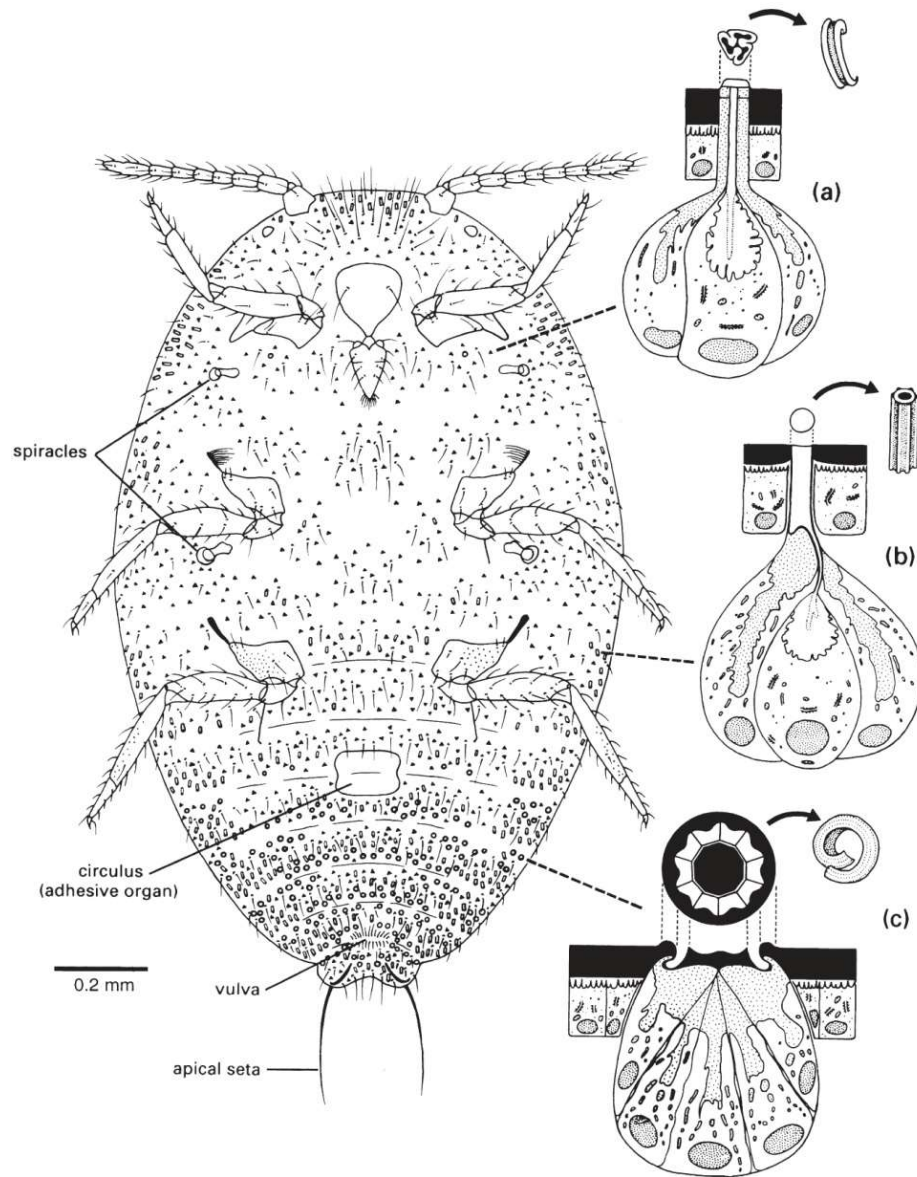
Exokutikula – hustá struktura, tmavá, bílkoviny se propojí a jsou nerozpustné

- **Epikutikula:** nepružná a měkká, 0,1 – 4 μm, 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)



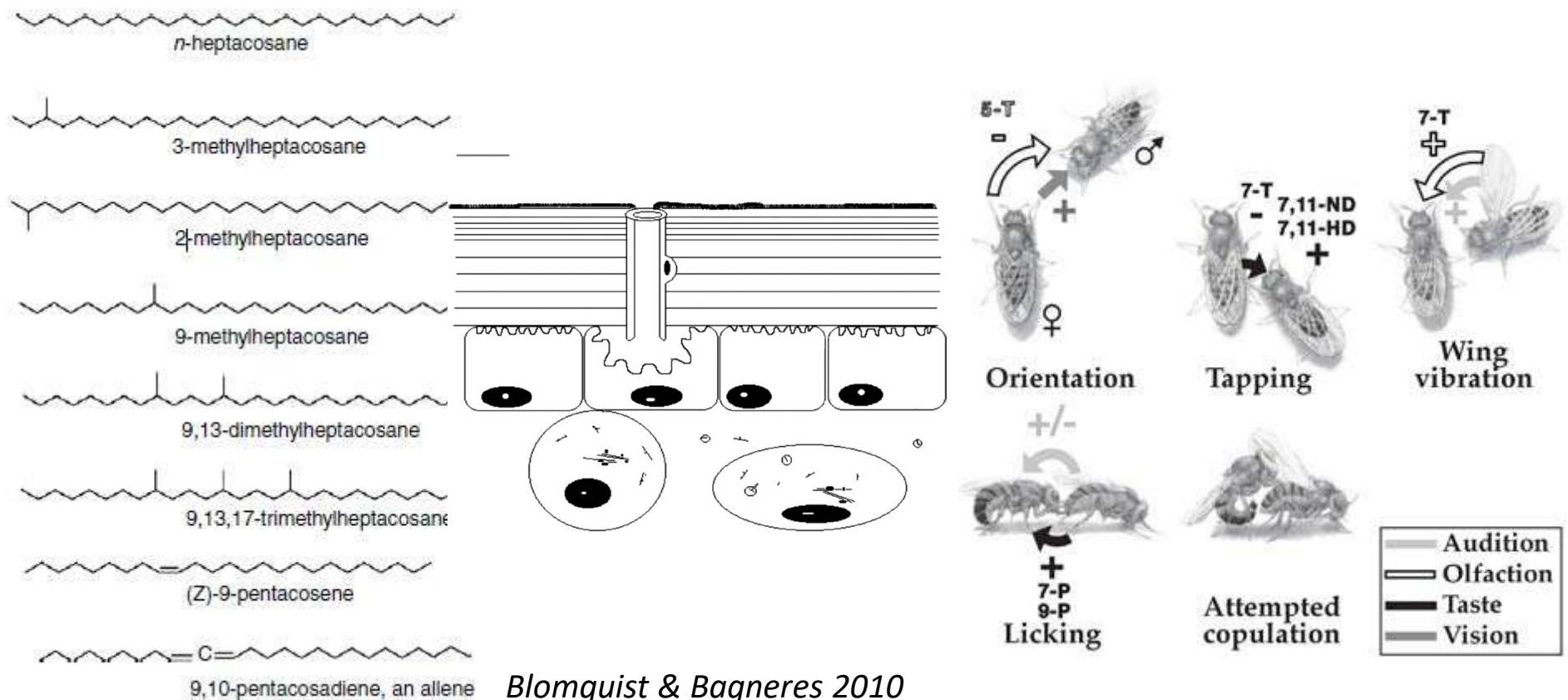
- **včelí vosk:**

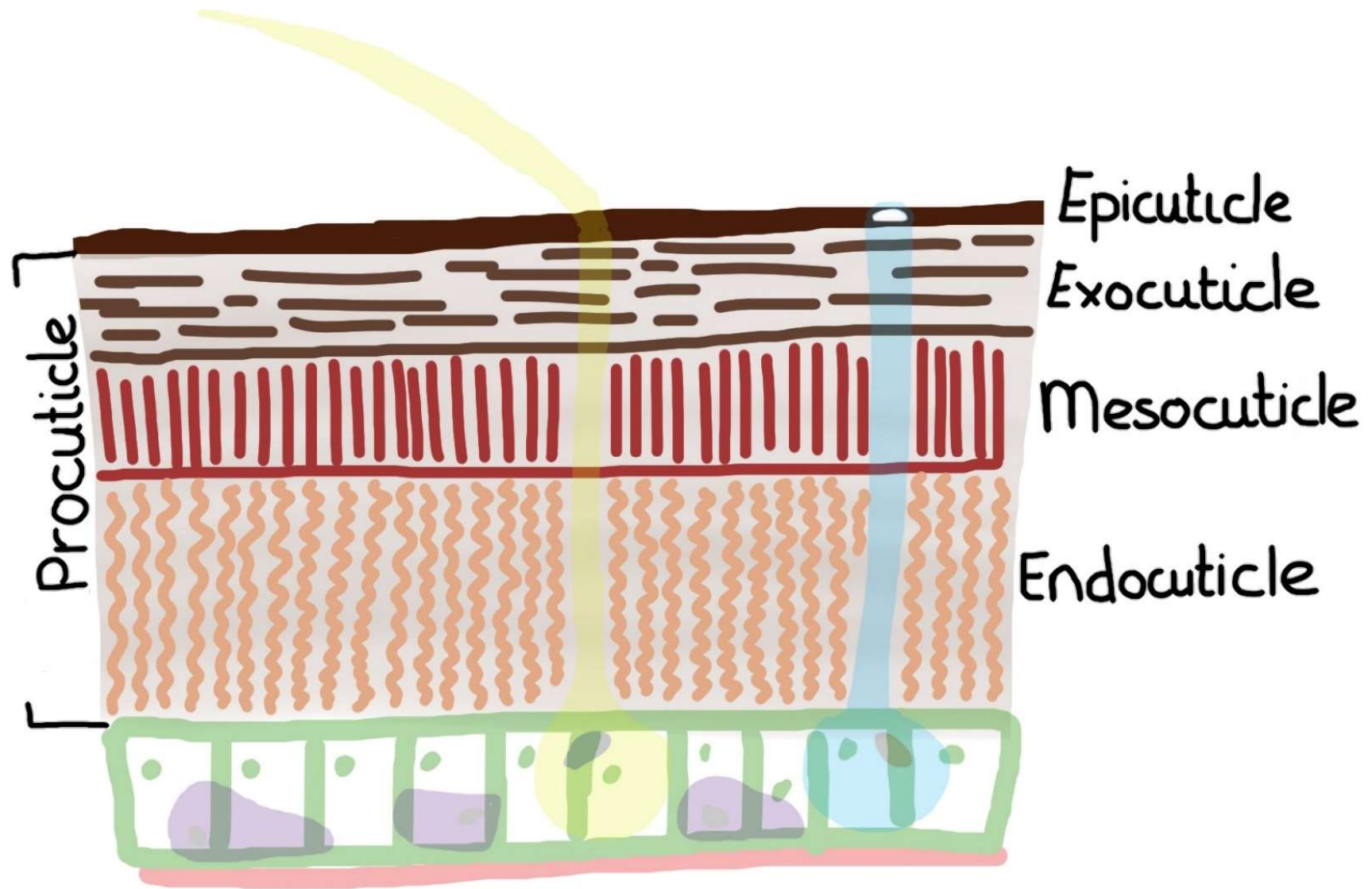
- směs více než 300 látek, dominují monoestery (35%), uhlovodíky (14%) a diestery a polyestery (12%)
- směs alkoholů s dlouhým řetězcem: např. policosanol



Cementová vrstva - kutikulární uhlovodíky: kontaktní feromony

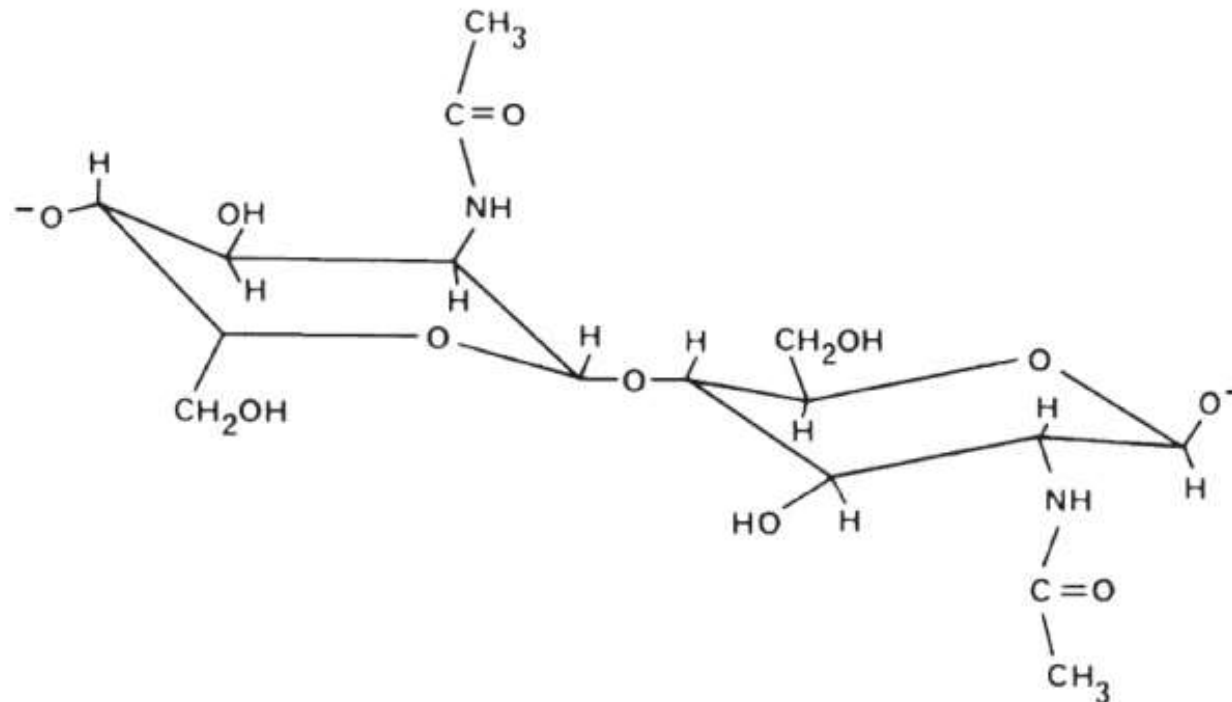
- individuální „otisky prstů“, často jedinečná kombinace druhově/pohlavně specifických látek a látek z prostředí (hnízd, potrava, jiní jedinci)
- rozpoznání pohlavního partnera (např. hrobaříci, tesaříci, octomilky, cvrčci)
- sociální hmyz: rozpoznání jedince ze stejné kolonie (učení u mladých dospělců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

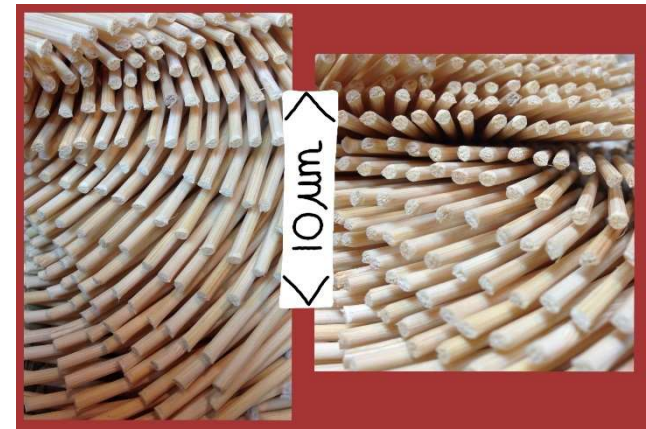
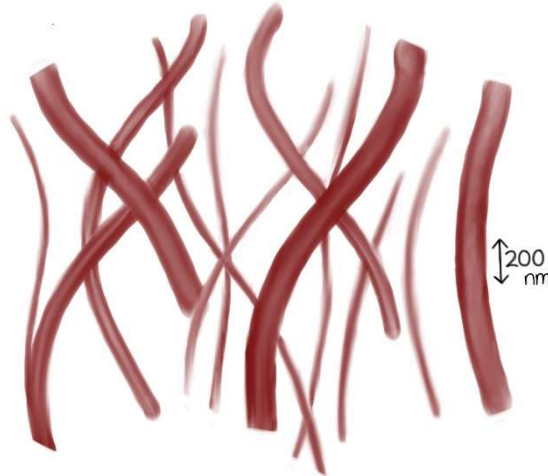
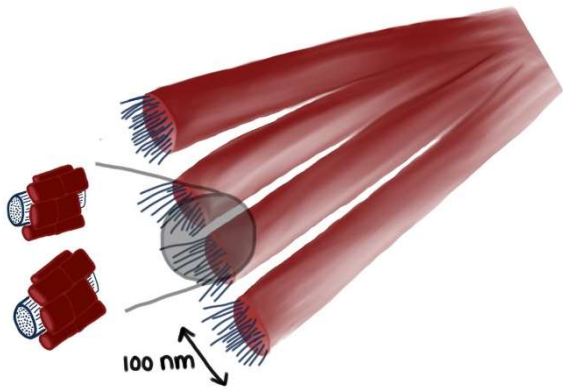
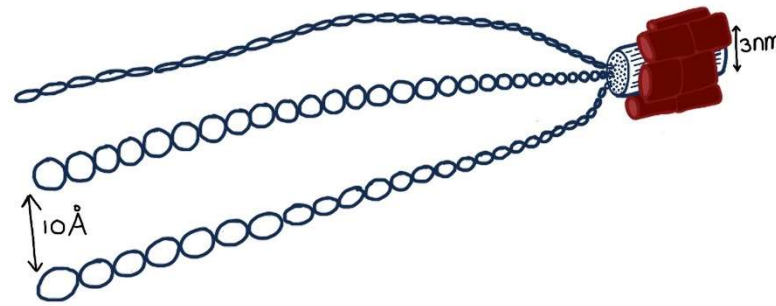
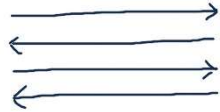
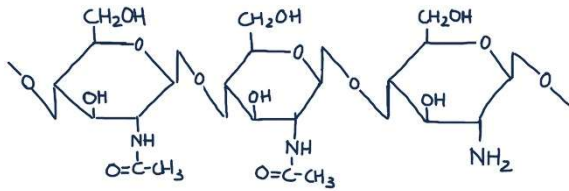




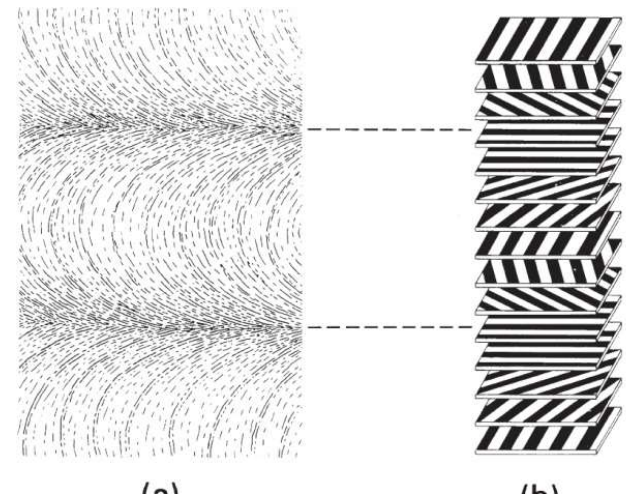
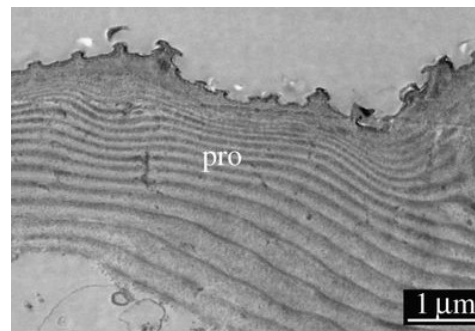
Chitin

- 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

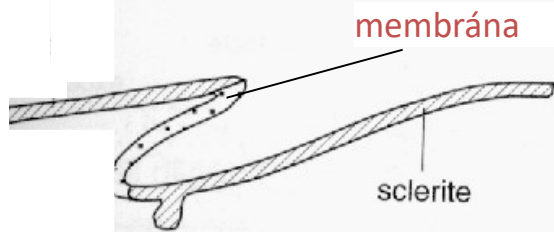
- 10–100 typů bílkovin, určují pevnost/pružnost (složení se mění mezi druhy i během vývoje jedince)
- **sklerotizace**: nevratný proces, zpevňuje a ztmavuje exokutikulu, bílkoviny se mění na nerozpustné ve vodě – fenolické vazby příčně mezi řetězci nebo dehydratace, snížení rel. obsahu chitinu
- tmavé 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

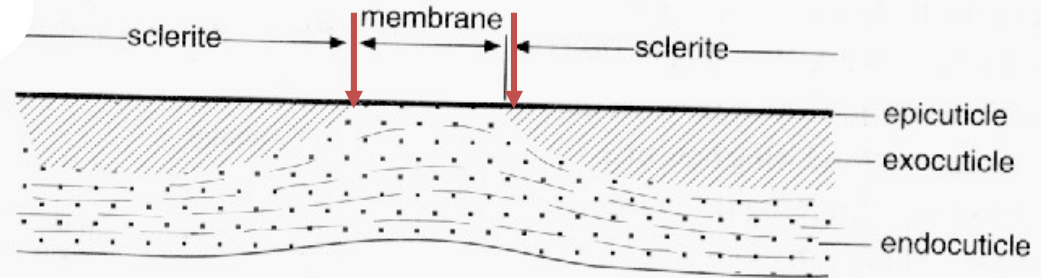
- Tvrdá a pevná – rozsah sklerotizace různý mezi vývoj. stádii i částmi těla; další zpevnění – invaginací – sulci (NE sutury), columnae, phragmae (tentórium, pleurální sulcus, etc.)
- Membranózní – arthroidální memb., některé spojení skleritů, ekdysiální linie
- Elastická – resilínové polštářky – při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

Flexibilita kutikuly

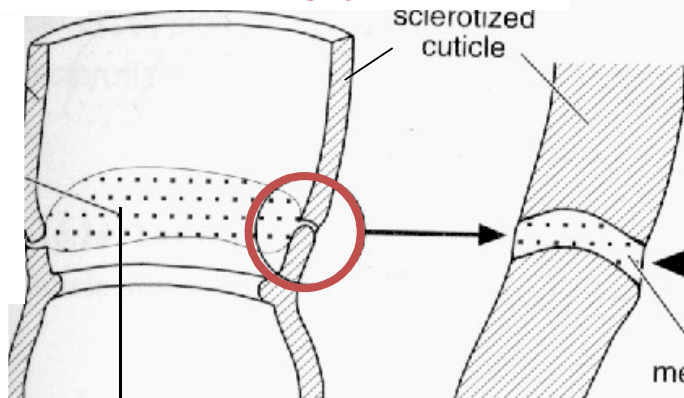
intersegmentální membrána



membranózní kutikula



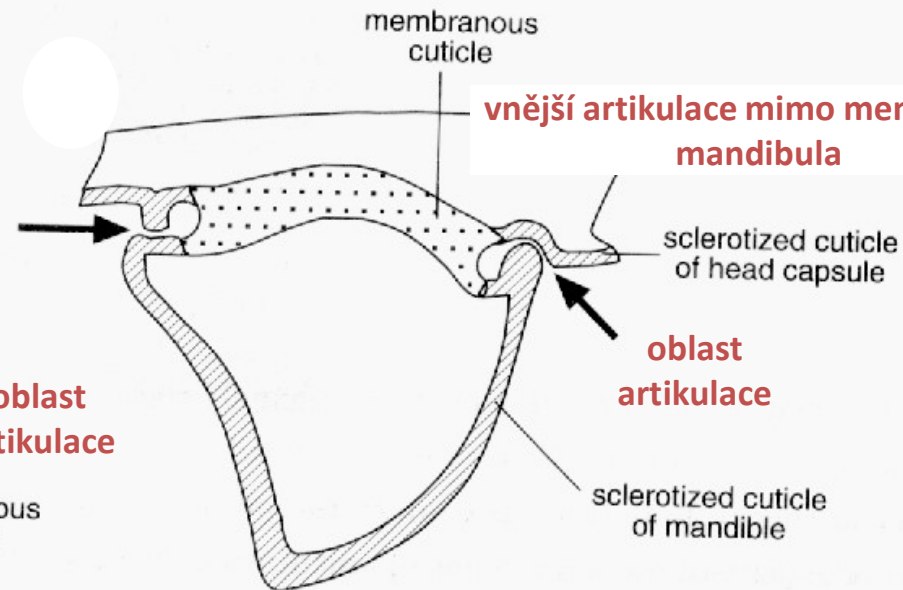
vnitřní artikulace v membráně -
noha

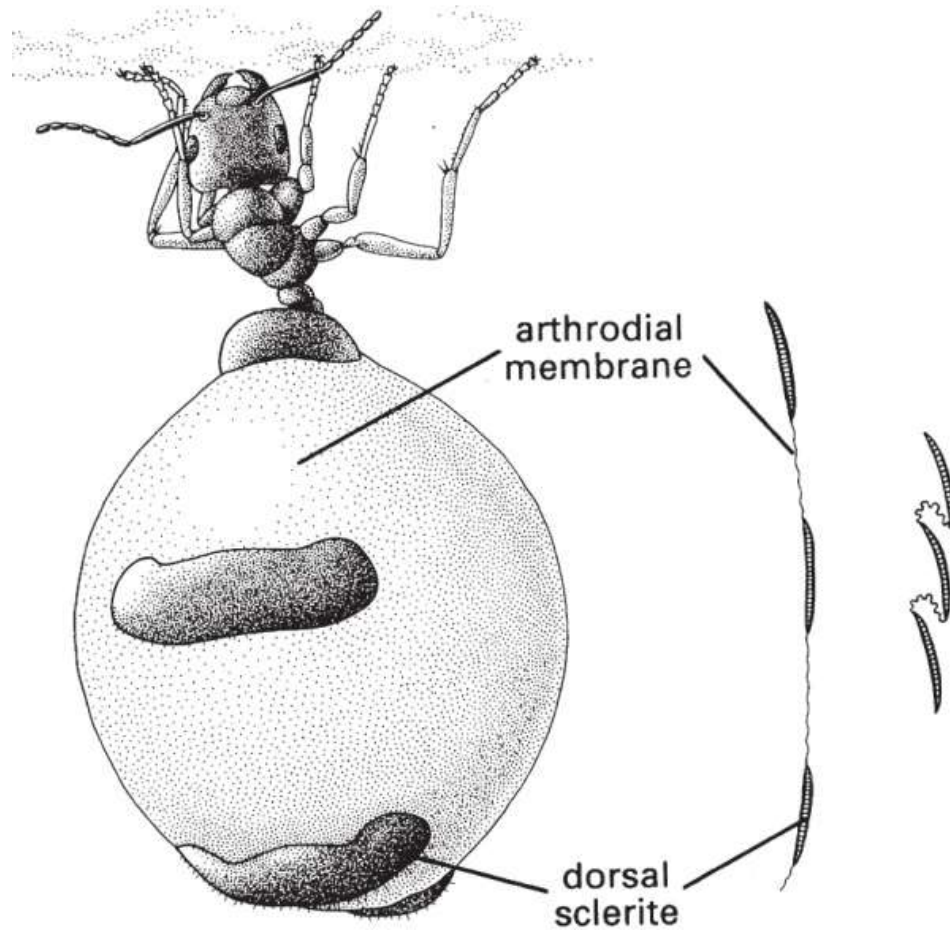


oblast artikulace

membranózní kutikula s
kutikulárním proteinem **resilinem**

vnější artikulace mimo membránu -
mandibula

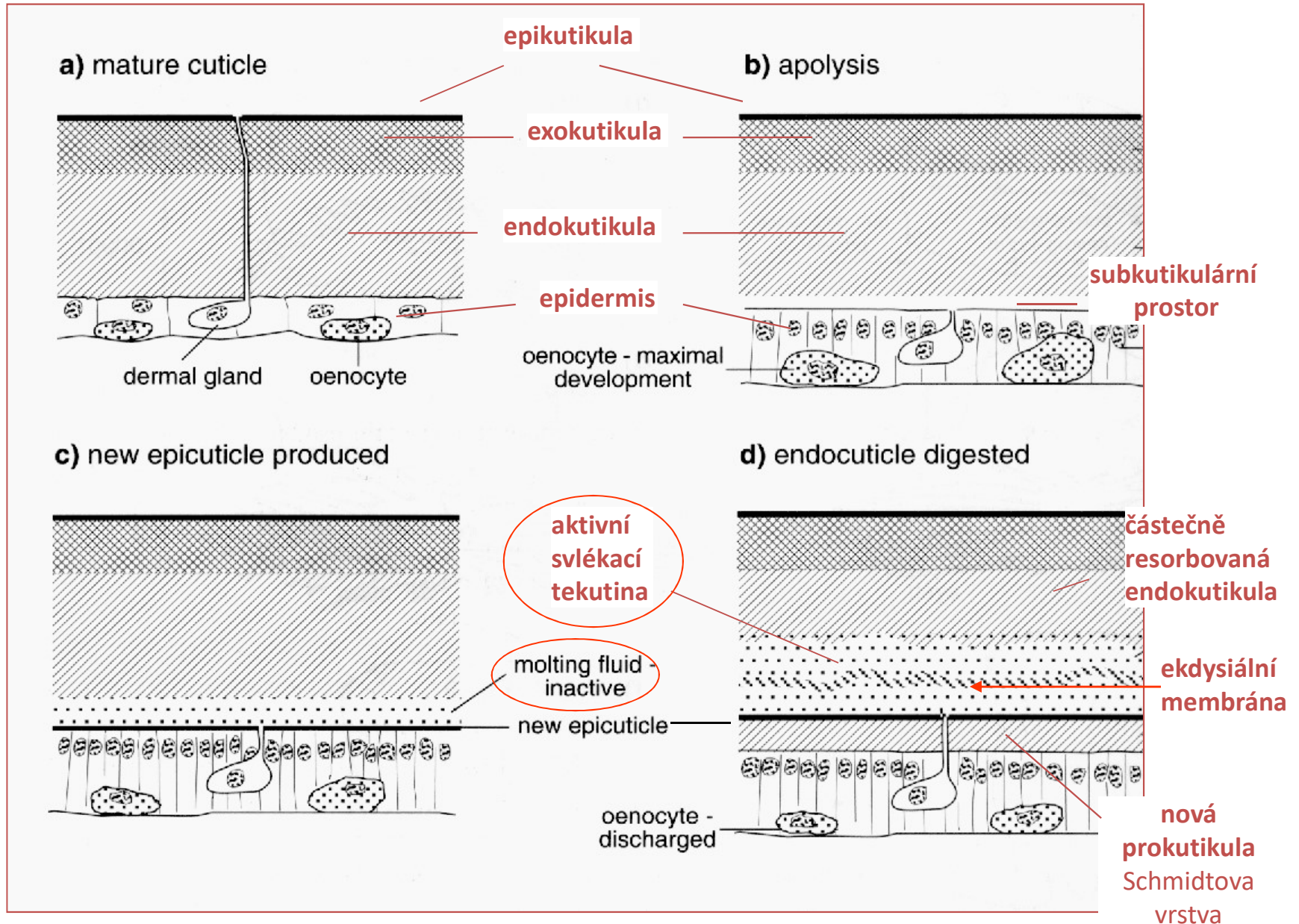


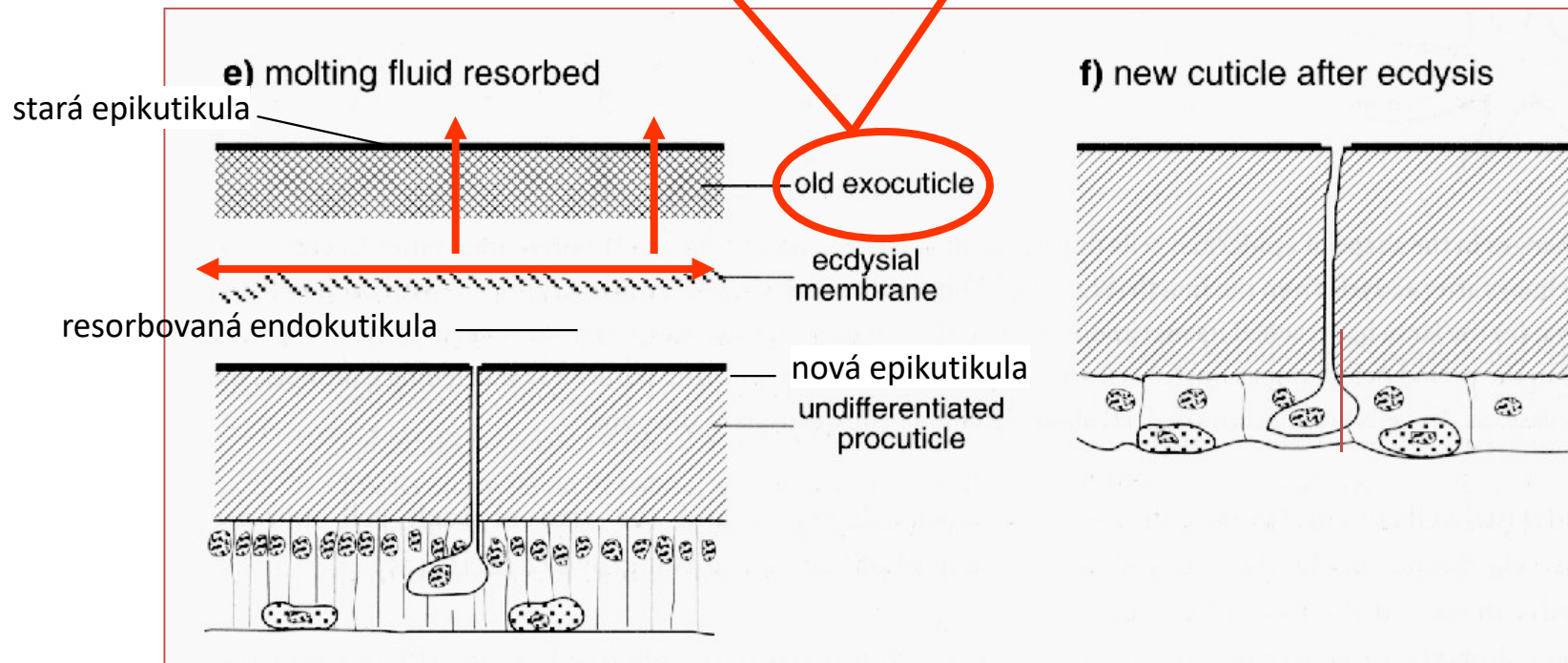


- arthrodiální membrána – roztažitelné nesklerotizované intersegmentální membrány – gravidní samice (termiti, saranče), krevsající hmyz, dělnice (repletes) mravenců *Camponotus inflatus* a *Myrmecocystus* spp. a dalších



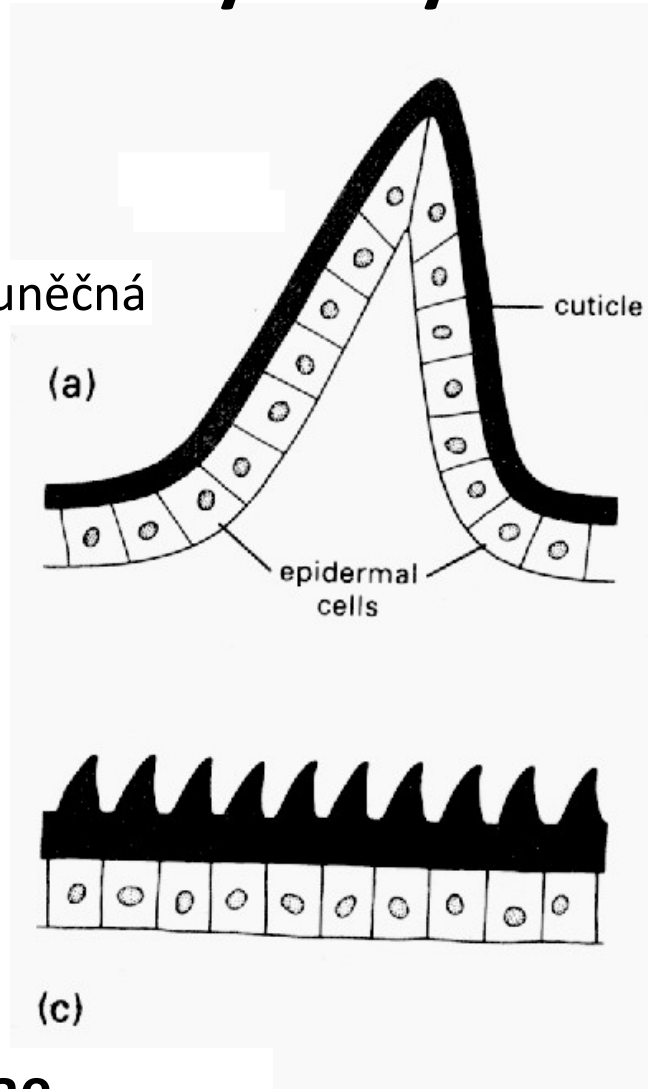
Svlékání kutikuly: apolysis + ecdysis





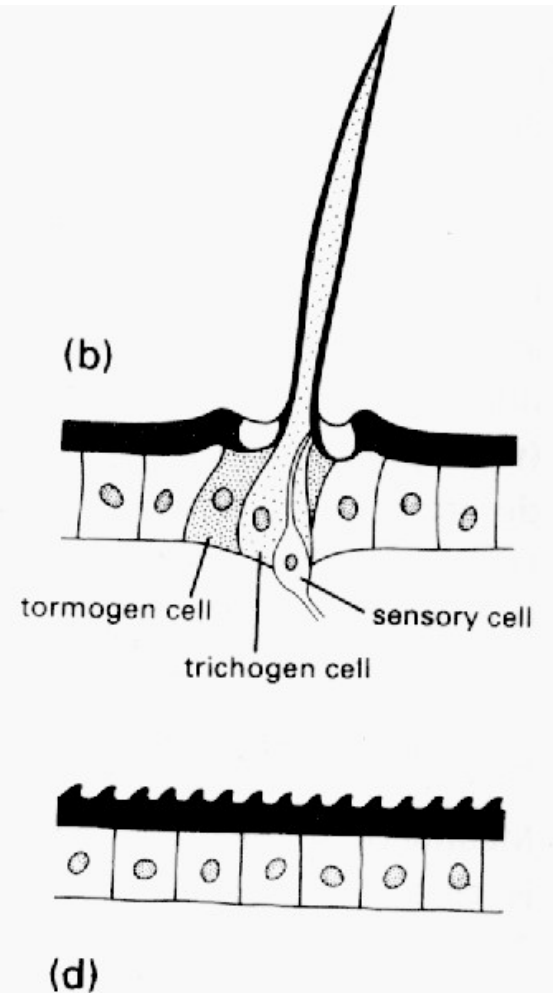
Kutikulární výběžky

spina - vícebuněčná



acanthae-
jednobuněčné

seta, makrotrichie, trichoidní sensillum
vícebuněčné se
specializovanými buňkami

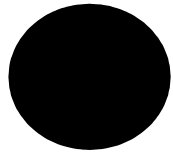


mikrotrichie - mnoho výběžků
na jedné buňce

Zbarvení povrchu těla

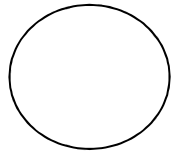
- interakce světla s kutikulou/buňkami nebo tekutinami pod ní:
- fyzikální (strukturální) zbarvení
 - **interference** na epi- nebo exokutikule (např. iridescence, UV) a jejich výběžcích (šupiny apod.)
 - **lom světla** na nerovnostech, závisí na vlnové délce
- pigmentové zbarvení – pohlcení viditelného 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



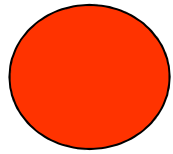
- melanin v kutikule

- Diptera, Coleoptera



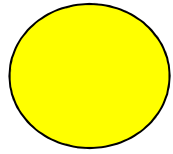
- fyzikální odraz: matná běl vytvářena náhodně
- perlová běl s pigmentem leucopterinem (šupinky na křídlech)

- Lepidoptera



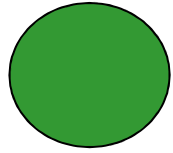
- karotenoidy
- ommochromatidy (vnějšek i vnitřní orgány)
- pteriny: zejména jako oční pigment

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



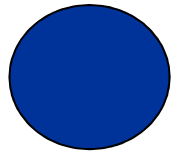
- fyzikální interference: mosazná žluť, karotenoidy, pteriny
- papiliochromy
- flavony

- Lepidoptera
- Papilionidae
- Satyrinae



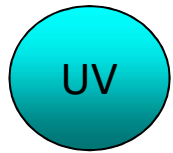
- fyzikální interference: kovová zeleň
- žlučový pigment
- mix: žlučový pigment a karotenoidy

- Lepidoptera, Coleoptera
- Chironomidae
- Orthoptera



- fyzikální interference
- fyzikální lom

- Lepidoptera
- Odonata

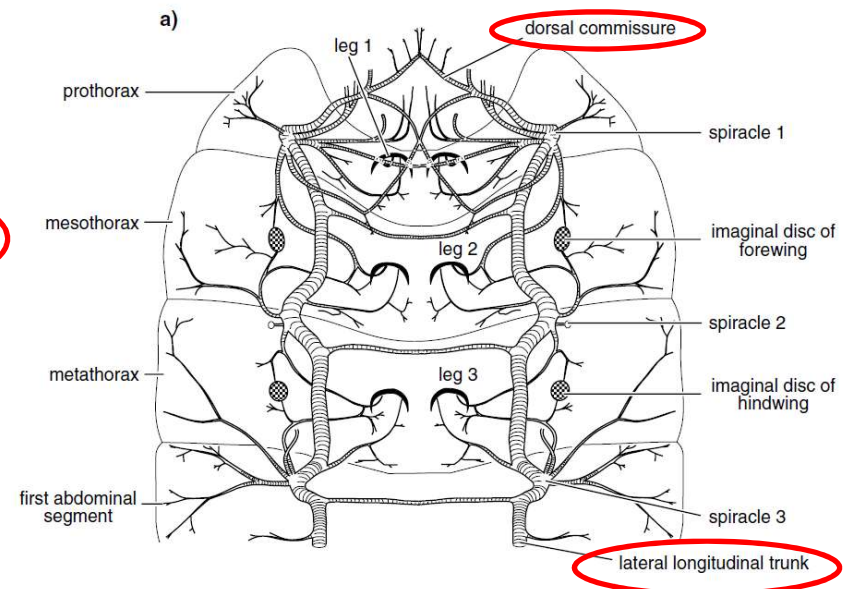
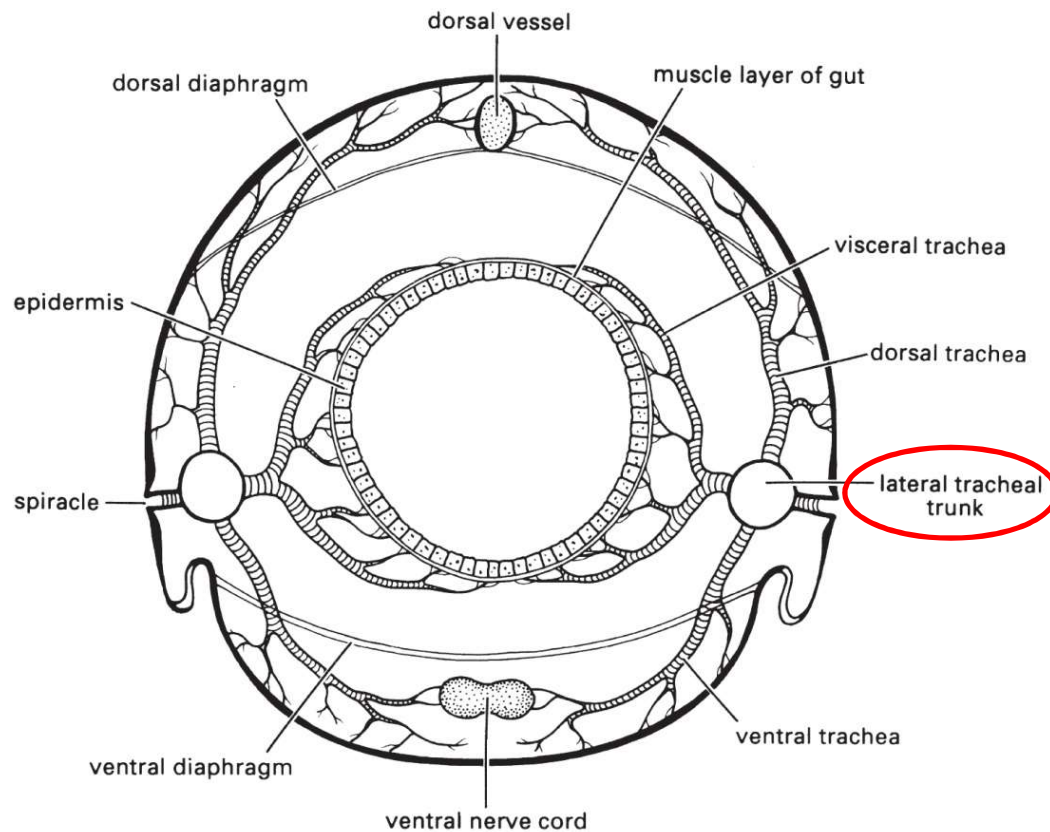


- fyzikální interference

- Pieridae

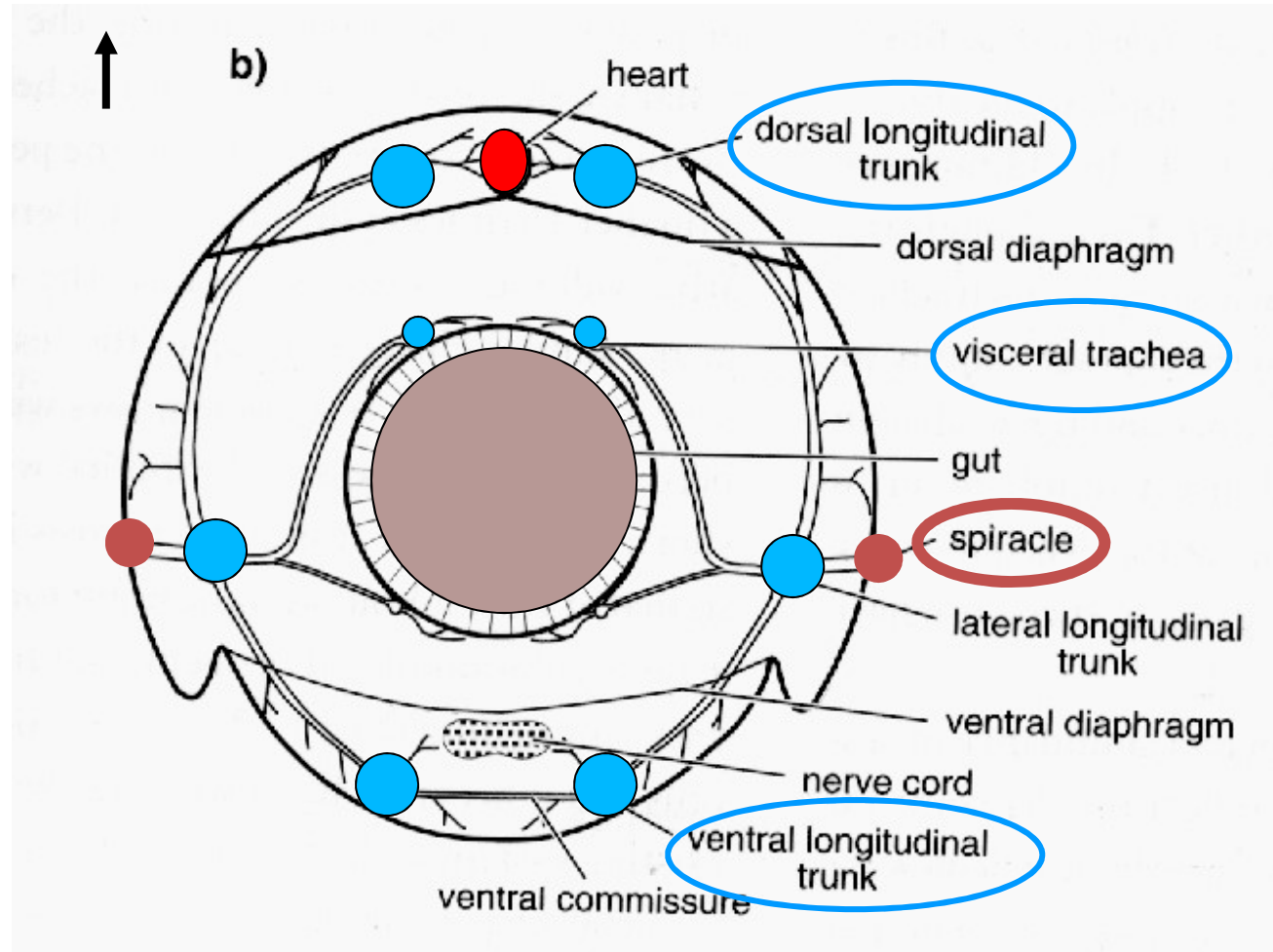
Tracheální systém

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



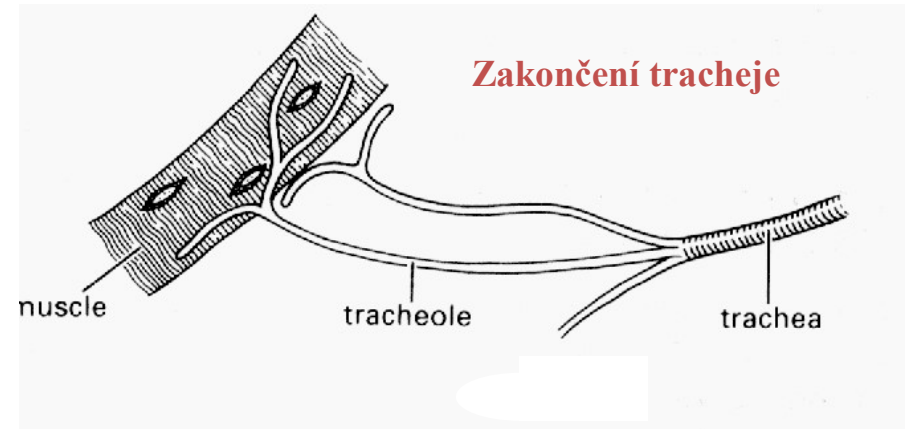
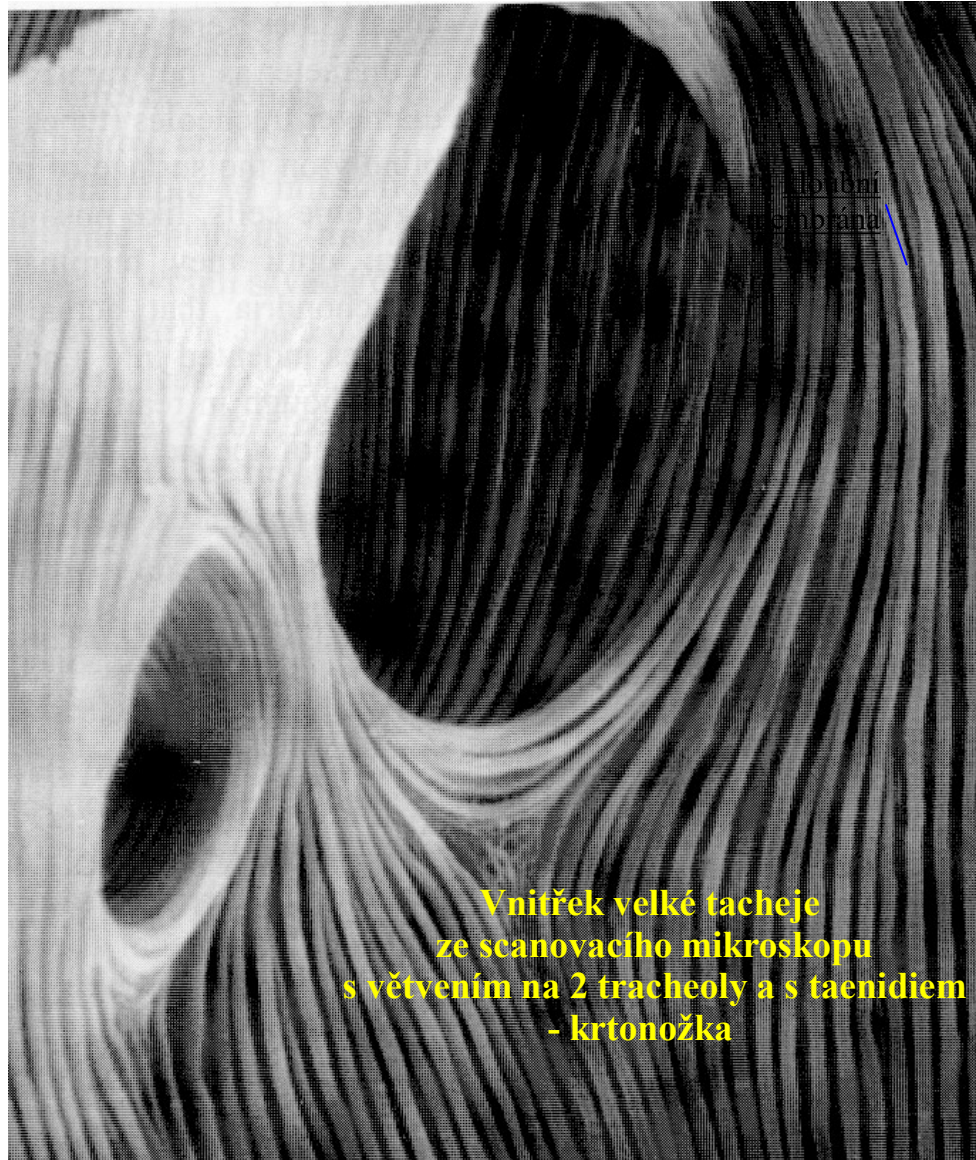
Tracheální soustava - průběh tracheálních kmenů abdomenem

řez v transversální rovině - posteriorní pohled



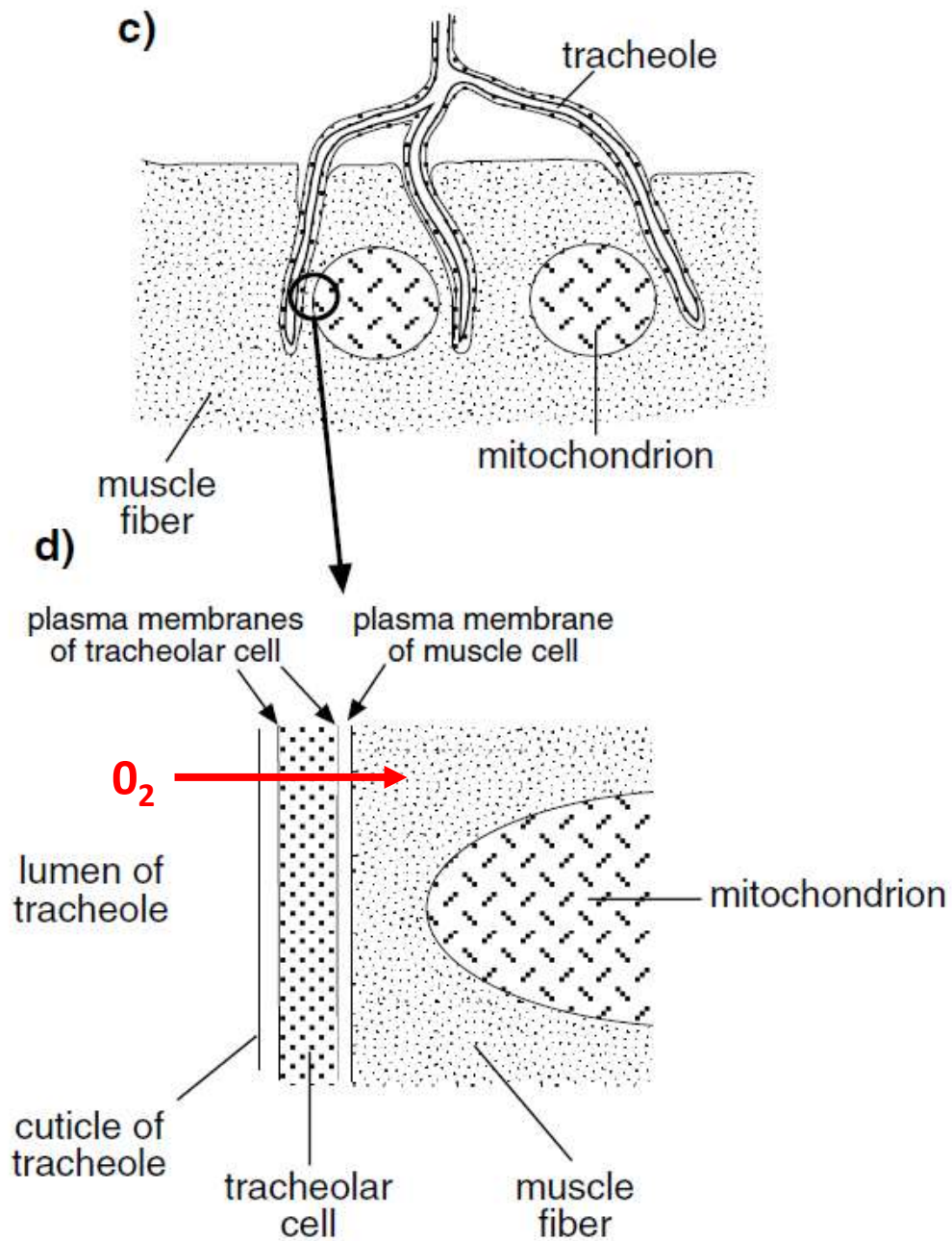
- u Collembola a Archaeognatha nejsou tracheje vedoucí od stigmat propojeny kmeny

Ultrastruktura tracheje



- přenos plynů difúzí (pasivně) a konvekcí (aktivně)
- spirálovité ztlustění 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 μm (limit pro difúzi kyslíku), terminální výběžky tracheálních buněk, přímý kontakt s tkáněmi/buňkami

Výměna plynů ve svalovém vláknu

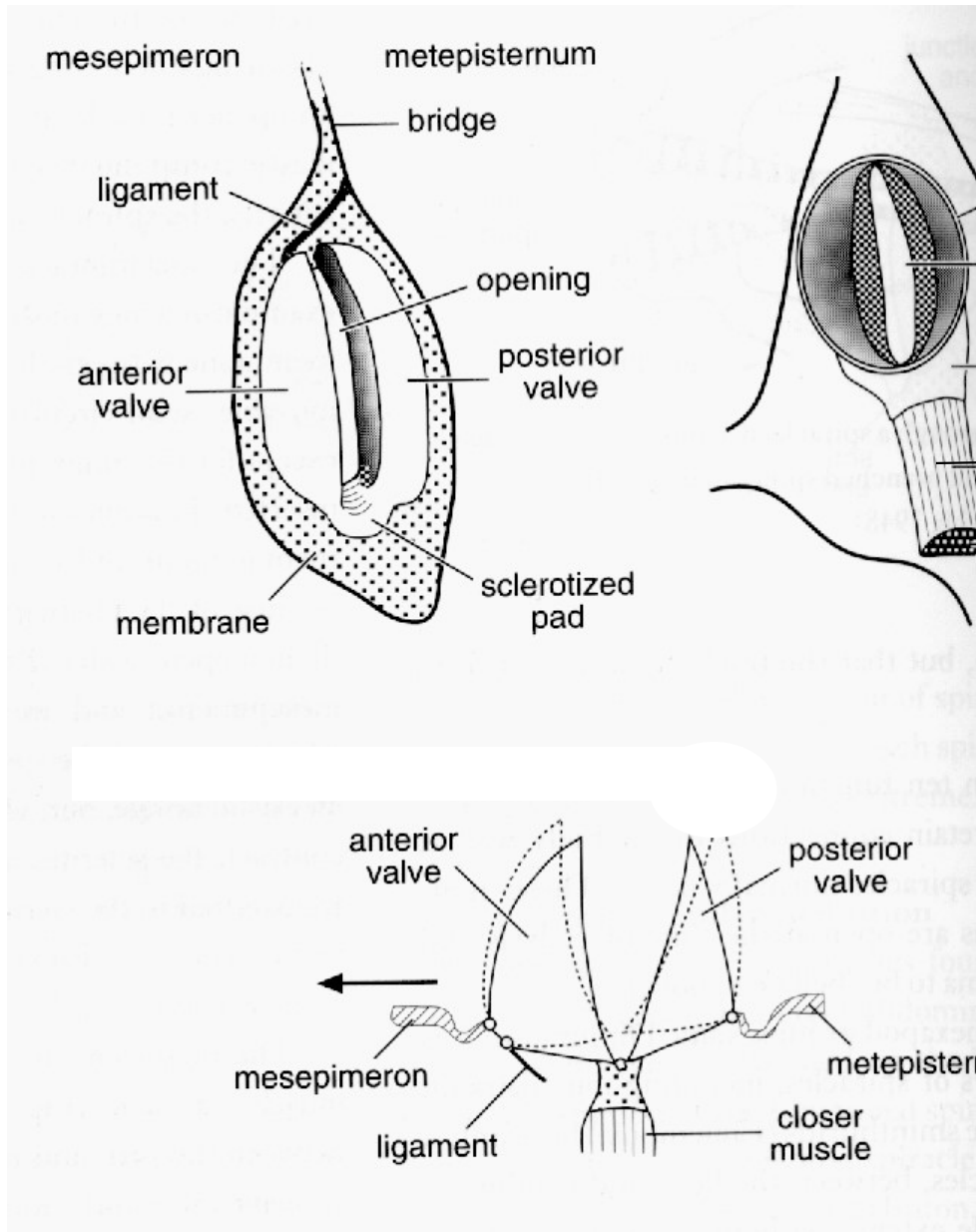


Vysoké požadavky na kyslík hl. v létacích svalech – izolace od zbytku těla a také zvlášť P a L část

Spirákuly (stigmata)

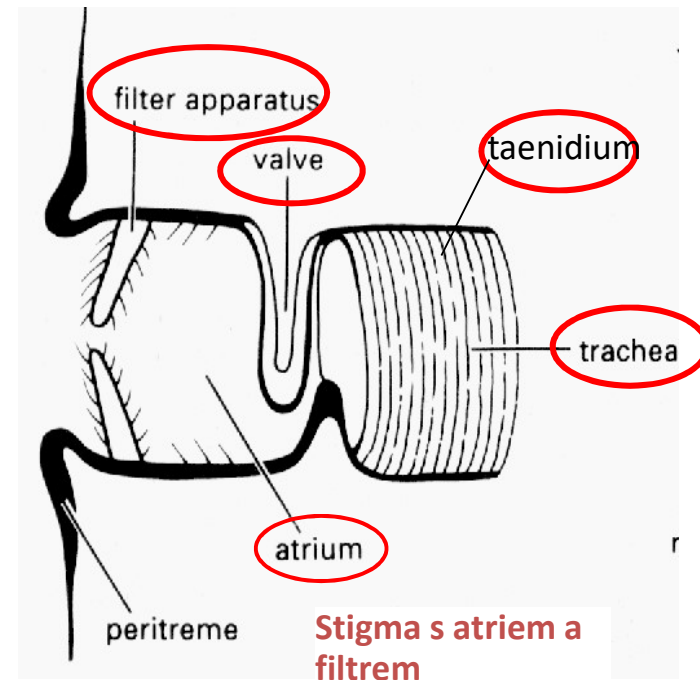
- Vnější otvor dýchací soustavy, nejčastěji na pleuronu, v malém skleritu – peritrema
- Atrium – filtrovací zařízení, sítkovitá ploténka, chloupky
- Zavírací mechanismus – 1-2 valvuly
- Hlavní funkce – zabránit ztrátě vody

Metathorakální stigma s jedním svalem (saranče *Schistocerca*)



peritrema (sklerotizovaná kutikulární destička okolo stigmatu)

stigma
sval



Stigma s atriem a filtrem

Tracheální systém - podle počtu stigmat se larvy dělí na:

Na každé straně těla je:

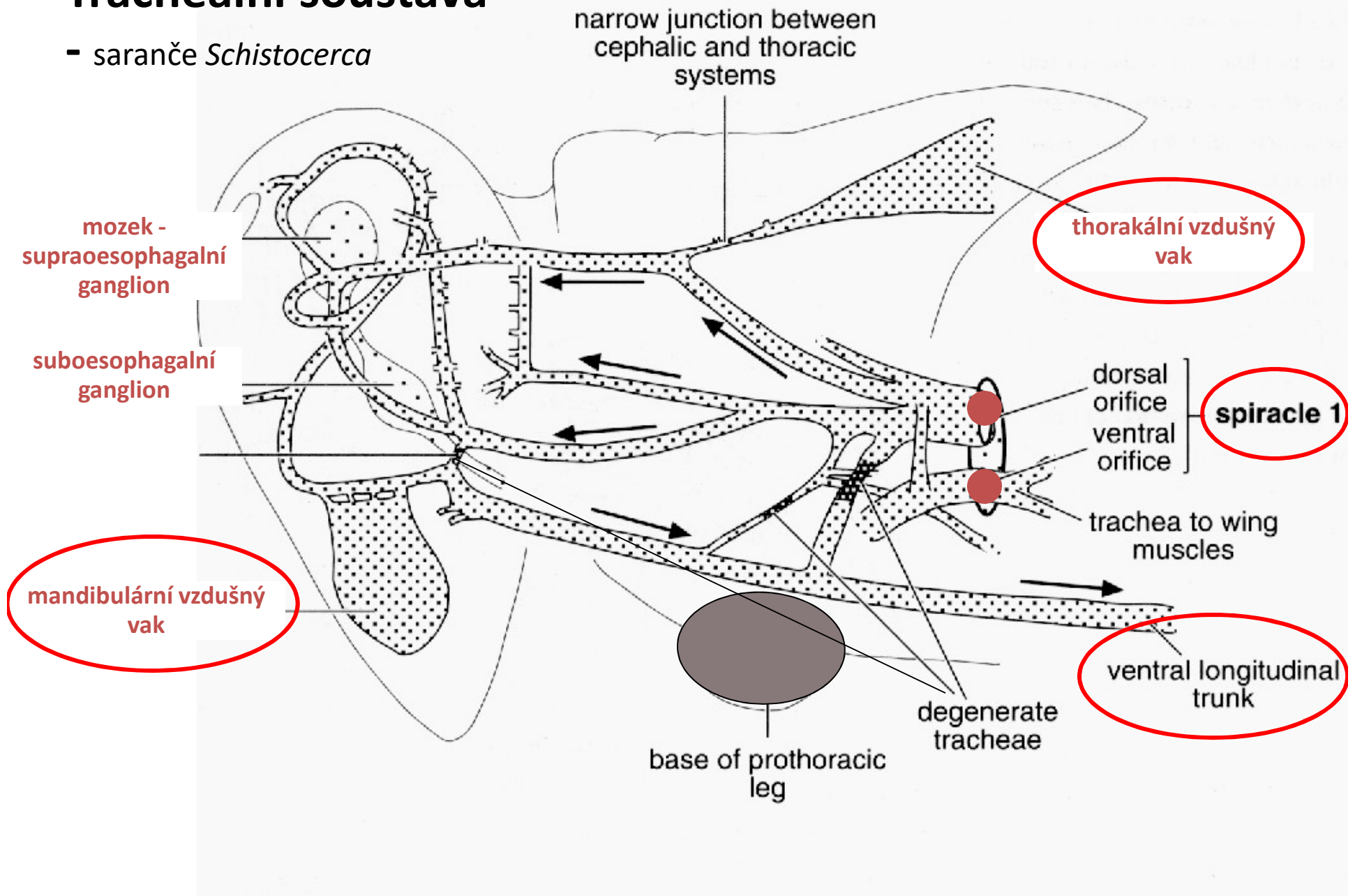
- **Polypneustické** - nejméně 8 funkčních stigmat:
 - **Holo** - 2 thoracic + 8 abdominal – Odonata, Blattodea, Siph., Hymen., Dipt.
 - **Peri** – 1 + 8 - larvy Cecidomyidae, housenky
 - **Hemi** – 1 + 7 - larvy Mycetophilidae
- **Oligopneustické** - 1 nebo 2 funkční stigmata na každé straně:
 - **Amphi**- 1 + 1 postabdominal - larvy Psychodidae
 - **Meta**- 0 + 1 postabdominal - larvy Culicidae
 - **Pro** - 1 mesothoracic + 0 - kukly Culicidae
- **Apneustické** – 0 - mnoho larev aquatického hmyzu

Umístění a počet stigmat

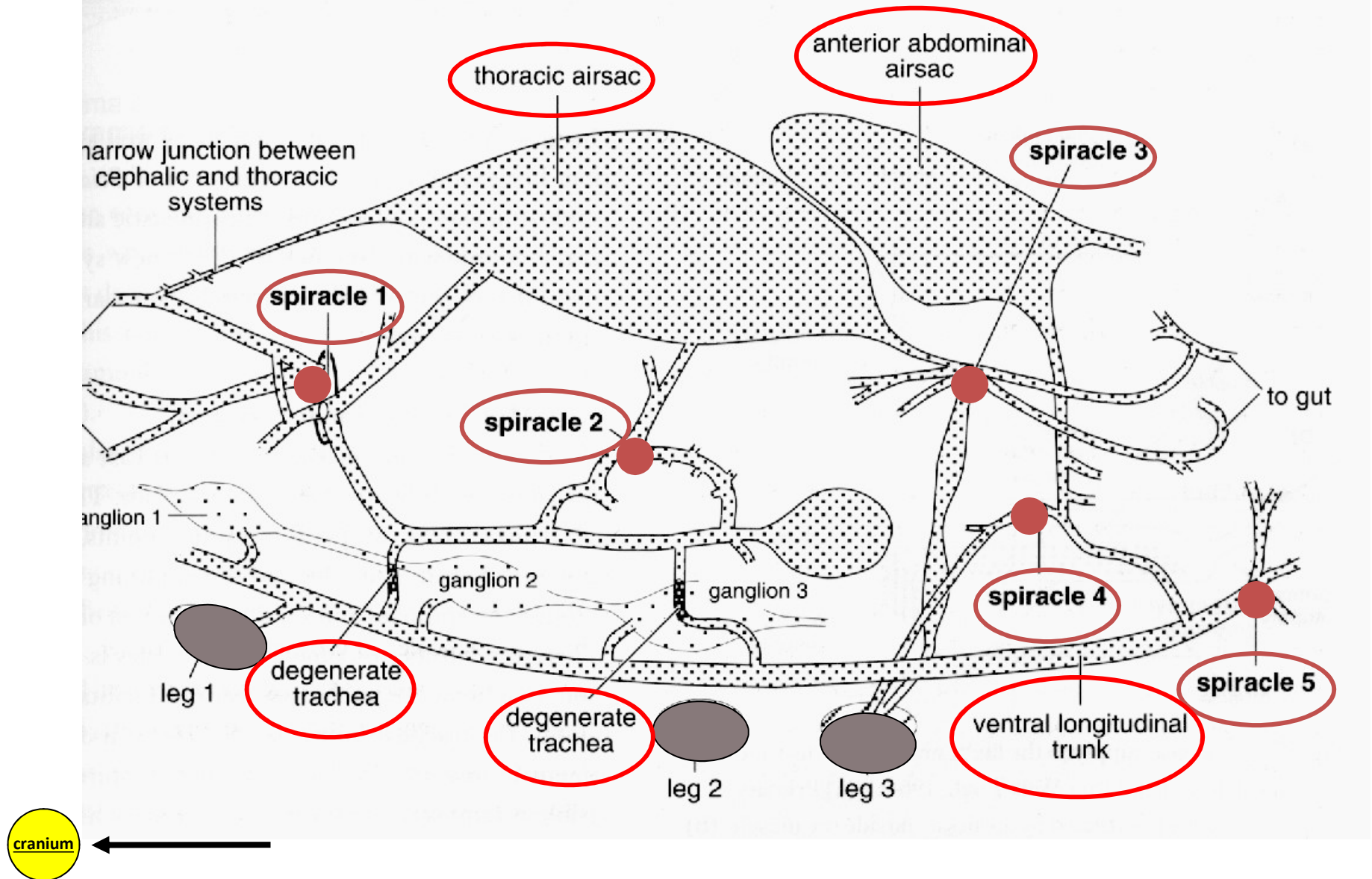
- laterálně, původně na každém článku s výjimkou hlavy, předohrudi a postabdomenu, max. 10 párů (2 na hrudi, 8 na zadečku – holopneustické, např. vážky, saranče, švábi, blechy, larvy některých Diptera a Hymenoptera)
- Diplura: *Japyx*: 11 párů (4 na hrudi)
- většinou část redukována, obvykle 8 nebo 9 stigmat (peri-/hemipneustické), ale i 1, 2 či 3 (oligopneustické, např. larvy a kukly komárů, chvostoskoci – 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 soustava

- saranče *Schistocerca*

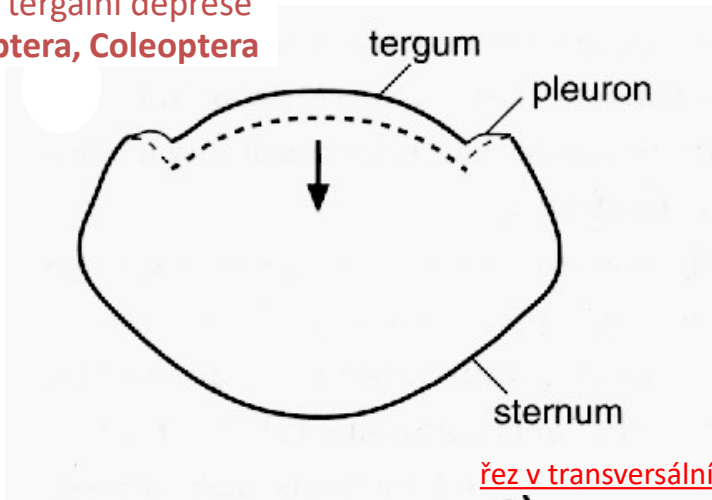


Tracheální soustava - saranče *Schistocerca*

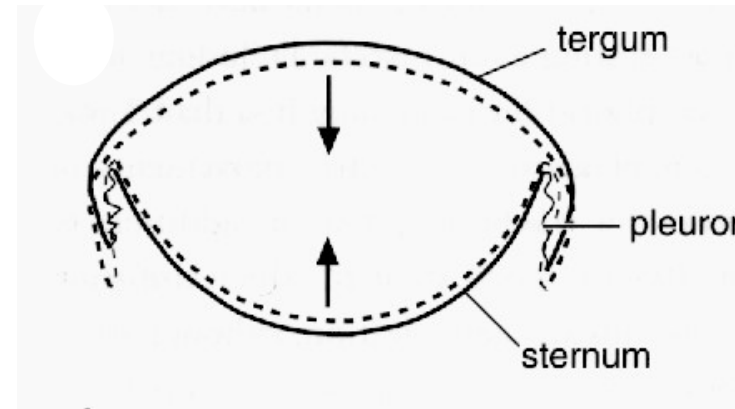


Ventilace, pumpování zadečkem/hrudí (tečkovaně zmenšený objem při expiraci)

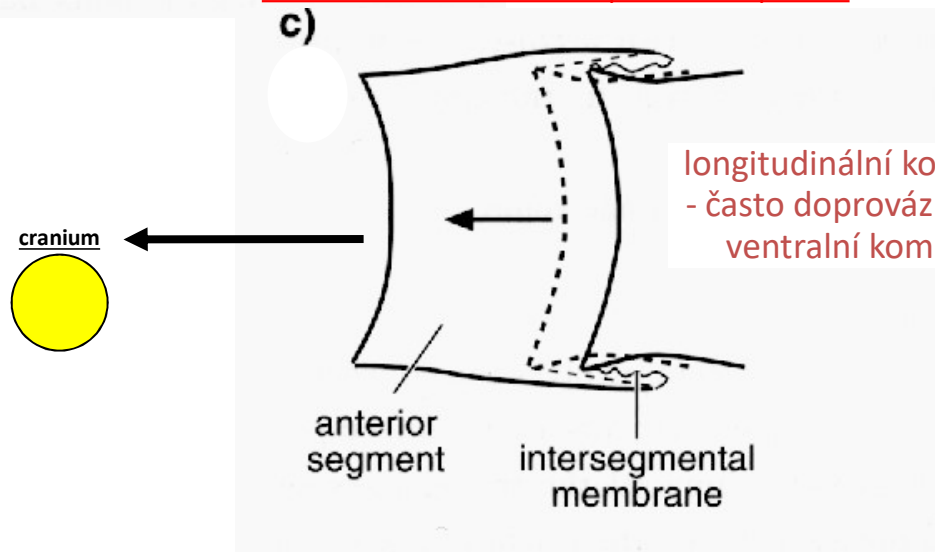
dorso-ventralní komprese s
využitím tergální deprese
- **Heteroptera, Coleoptera**



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

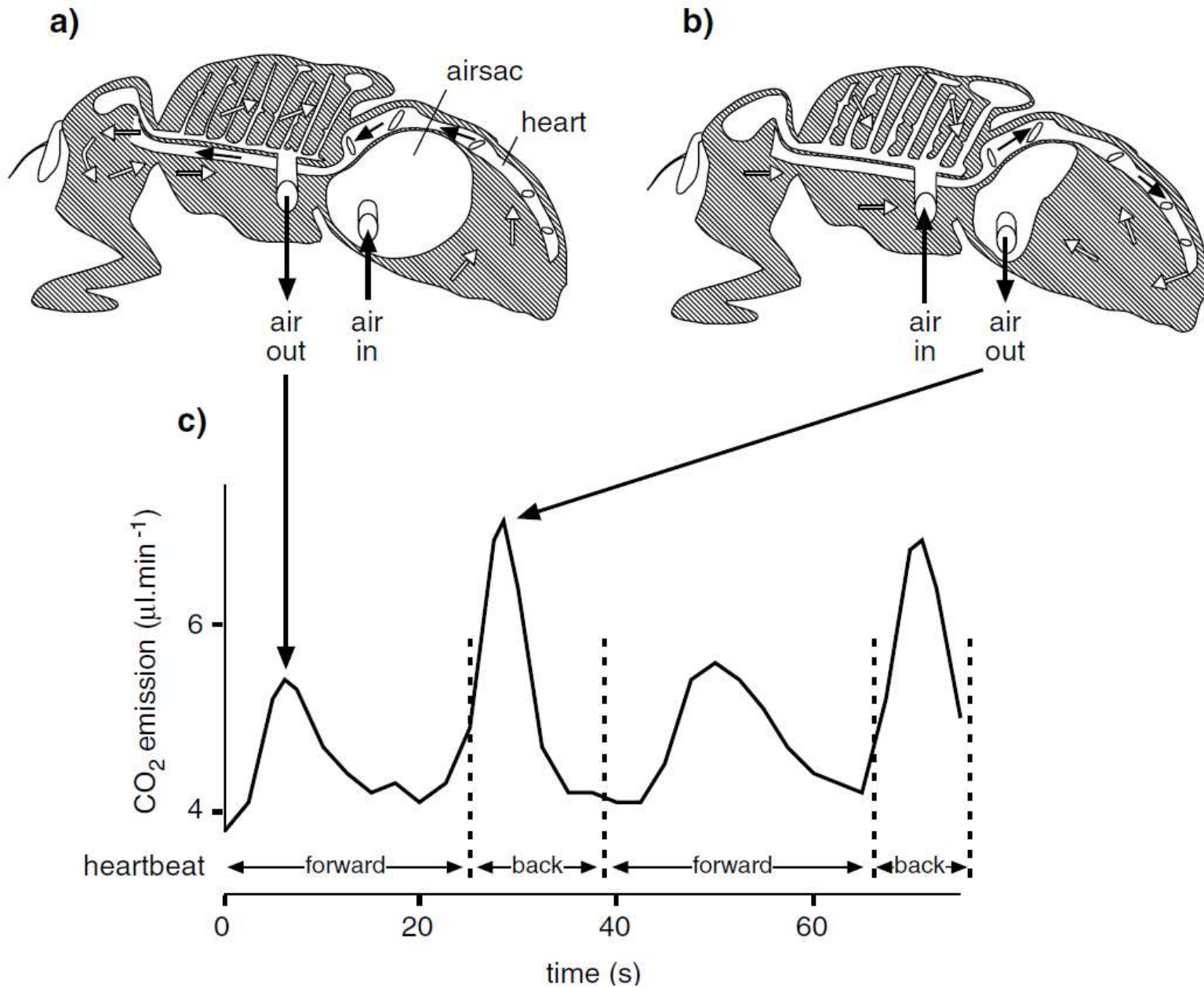


řez v transversální rovině - posteriorní pohled

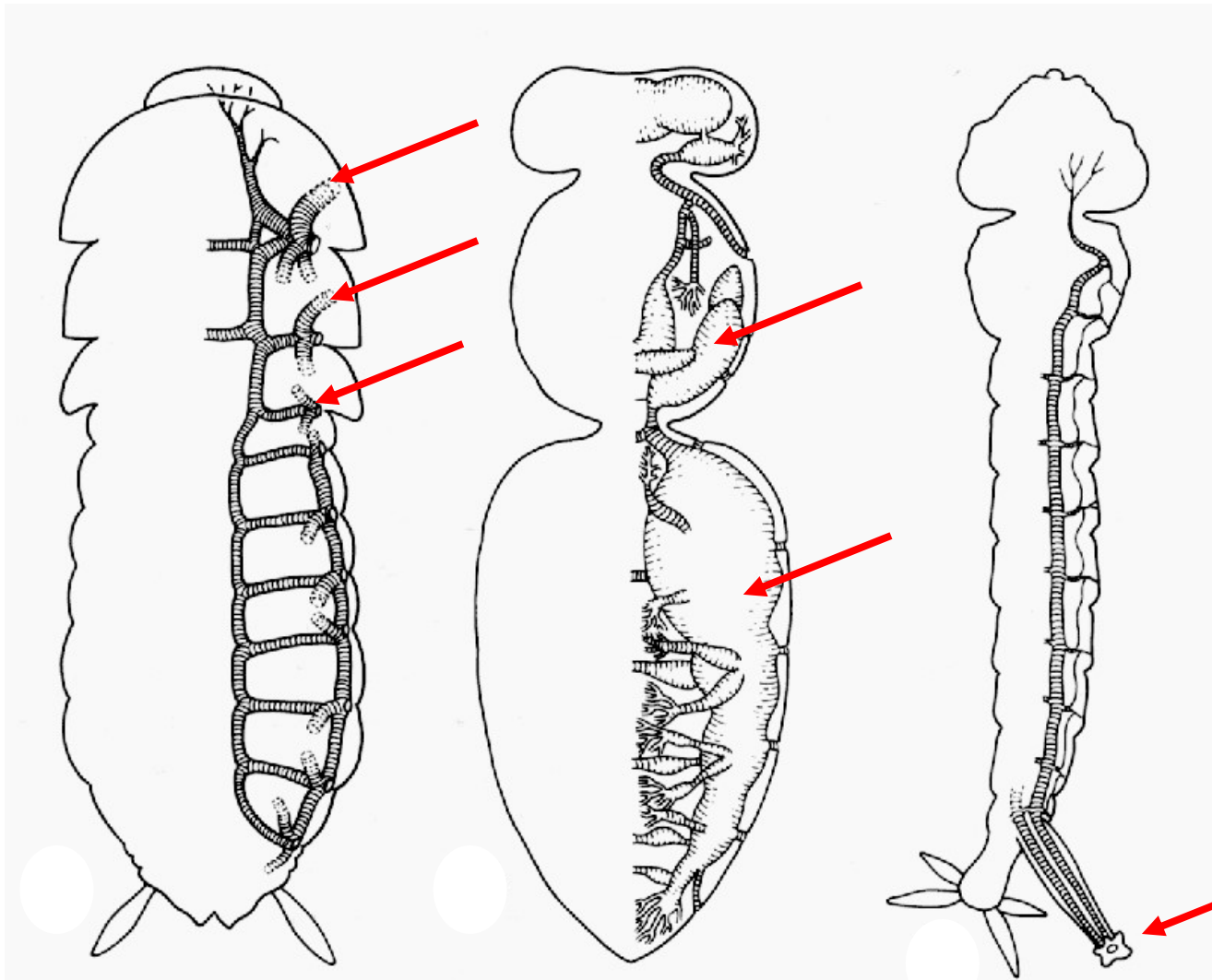


Nespojitá ventilace – spirákuly zavřené až 8h – při diapauze, nízkých teplotách, nízké metabol. aktivitě, u kukel

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



Tracheální soustava - modifikace

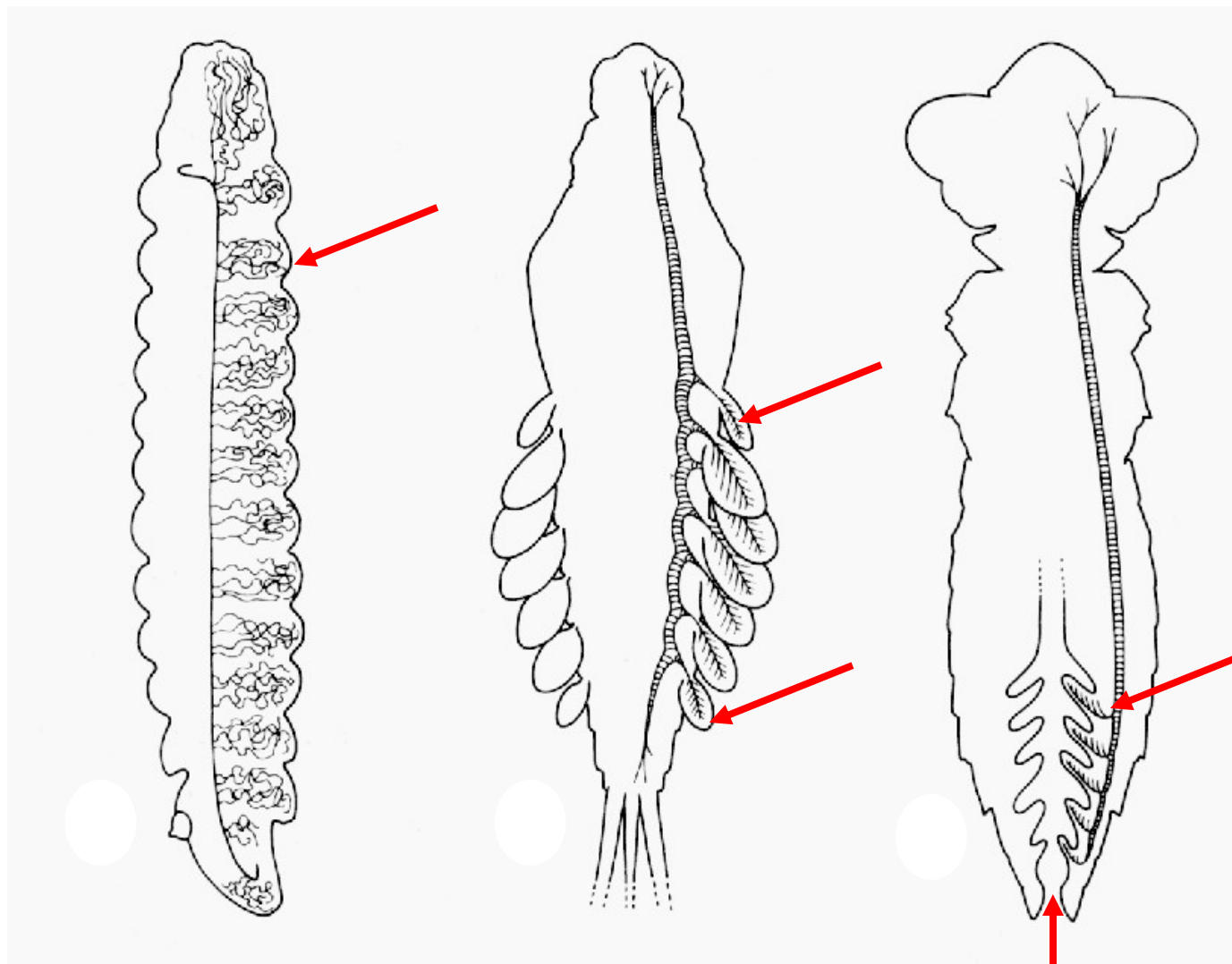


jednoduchý systém se stigmaty - šváb

systém umožňující mechanickou ventilaci vzdušnými vaky - včela

metapneustický systém s 1 stigmatem - larva komára

Tracheální soustava - modifikace



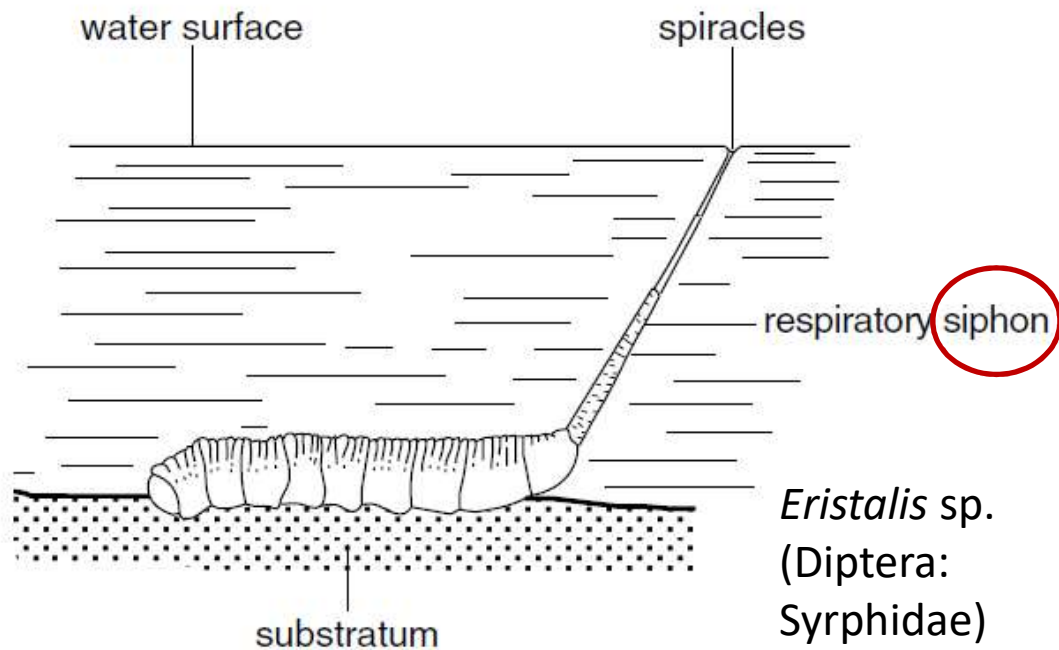
uzavřený systém s kutikulární výměnou plynů - **larvy parazitoidů**

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

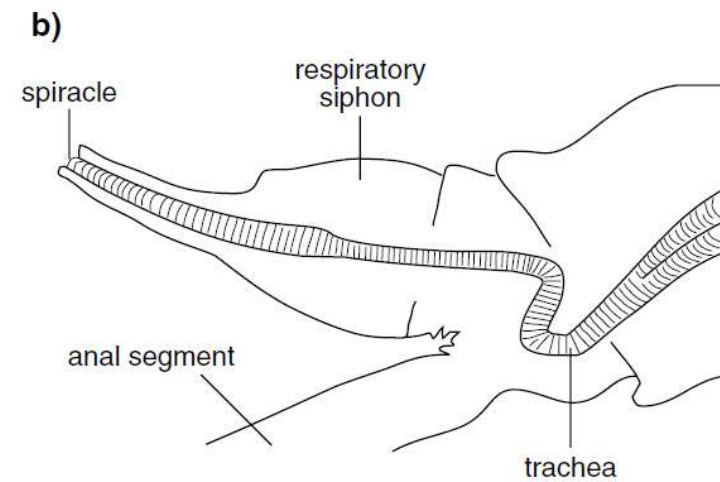
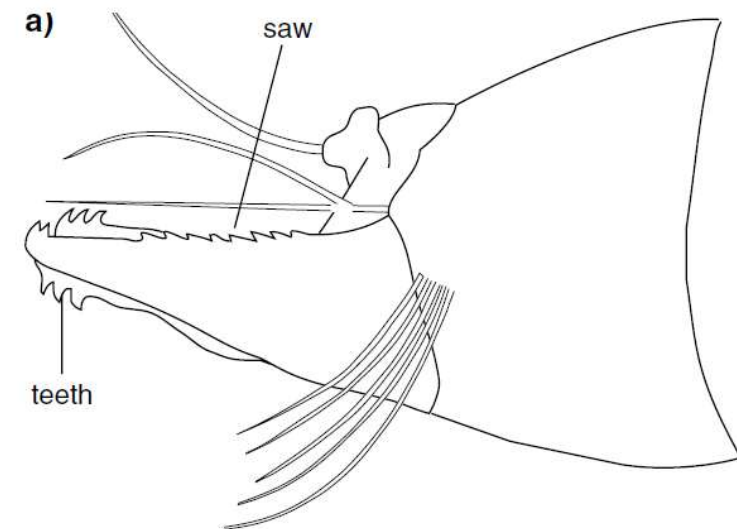
uzavřený systém s rektálními tracheálními žábry - **larvy vážek**

Příjem kyslíku u vodního hmyzu

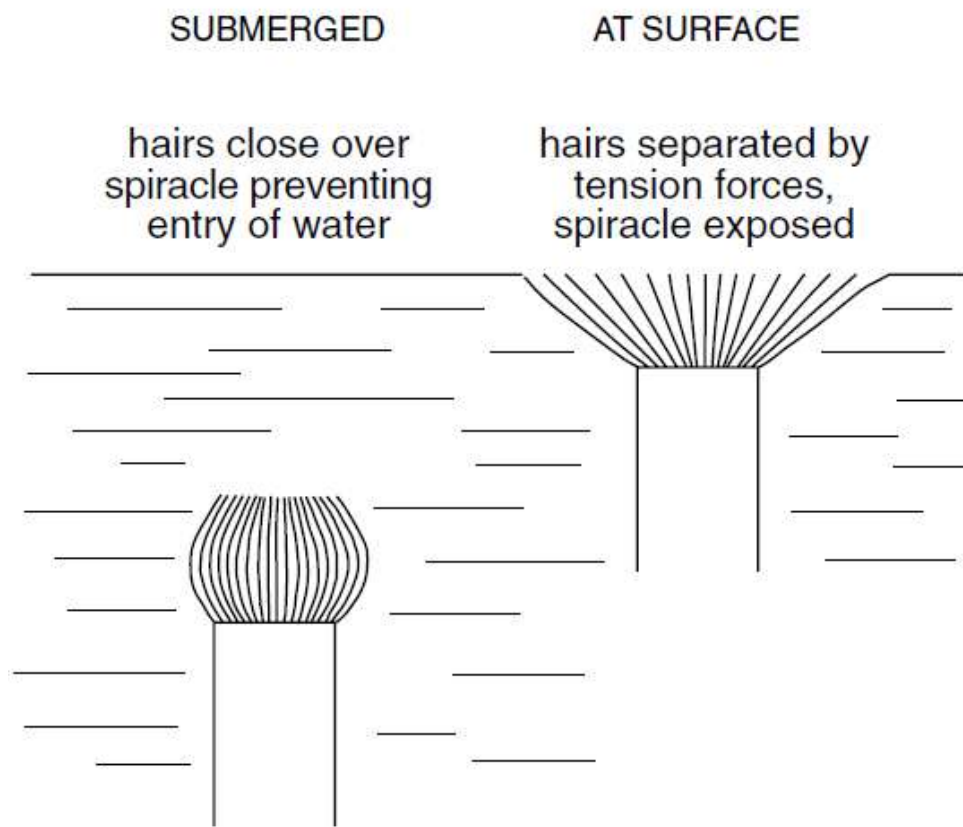
- přímo ze vzduchu nad hladinou
- dýchací výběžky (*sipho*)



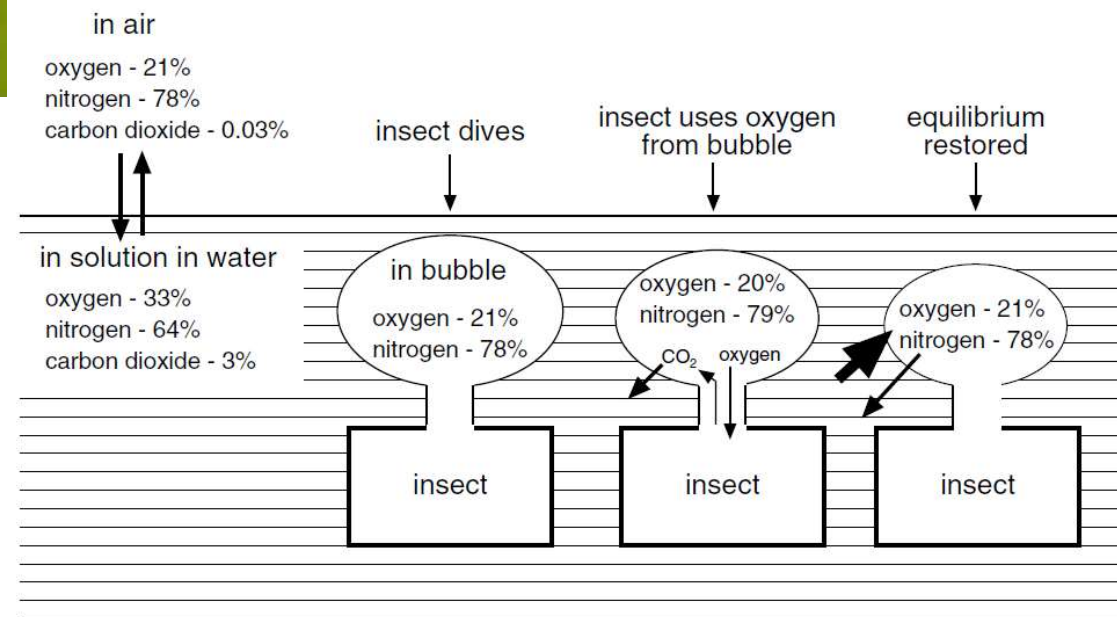
- z aerenchymu rostlin (např. Diptera: Culicidae: *Mansonia*,
Coleoptera: Chrysomelidae: *Donacia*)



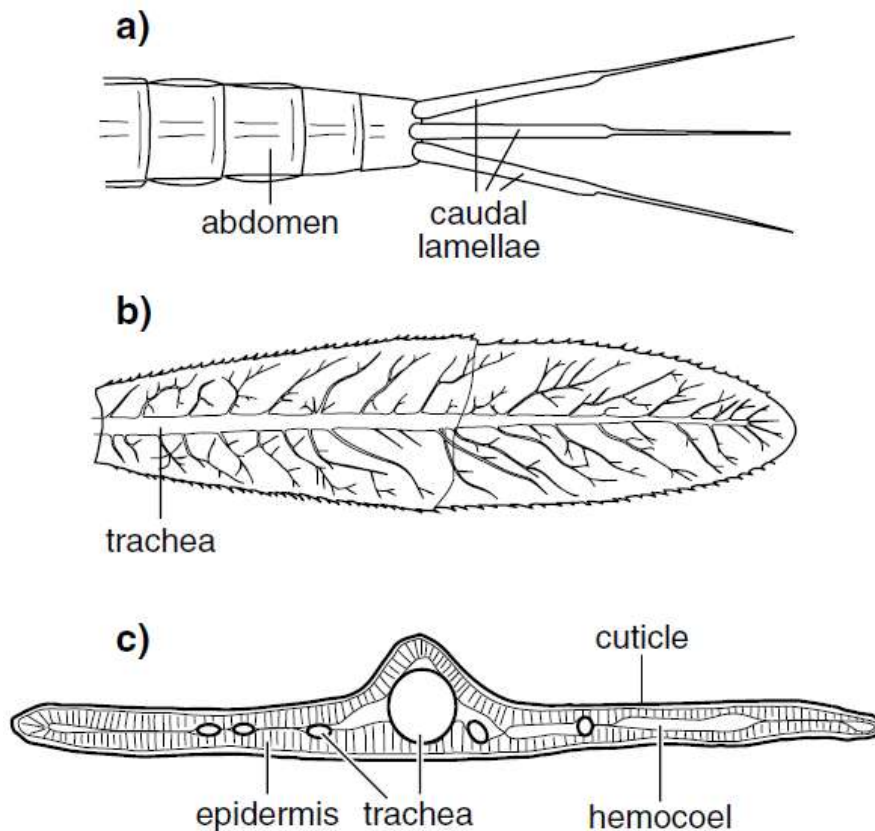
- periodické vynořování – problém otevírání a uzavírání stigmat – často věnec hydrofobních chloupků
- často vynořován jen 1 pár stigmat vzadu na těle (larvy komárů, Ephydriidae, Nepidae)



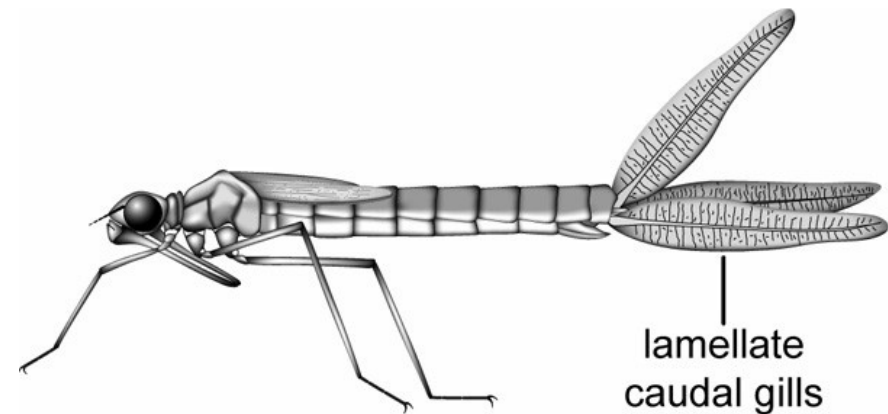
- vzduchová bublina – rezervoár vzduchu mimo tracheje
 - pod krovkami (potápníci rodu *Dytiscus*)
 - na ventrální straně těla, pod křídly a na dorsální straně křídel – hydrofobní chloupky (znakoplavky rodu *Notonecta*)
 - funguje jako dočasné fyzikální žábry – účinné zj. při nízkých teplotách a ve vodách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

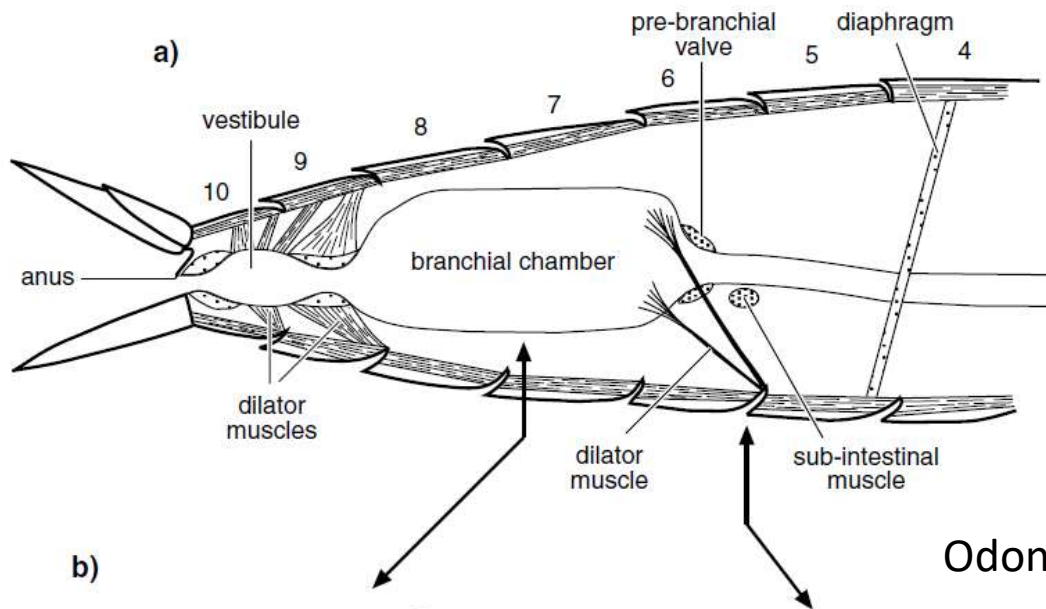


- rozpuštěný kyslík ve vodě:
 - difúze z vody přes kutikulu přímo do haemolymfy (jen malé druhy, např. larvy muchniček a pakomárů)
 - difúze z vody do plynné fáze trachejí přes tenkostěnné žábry

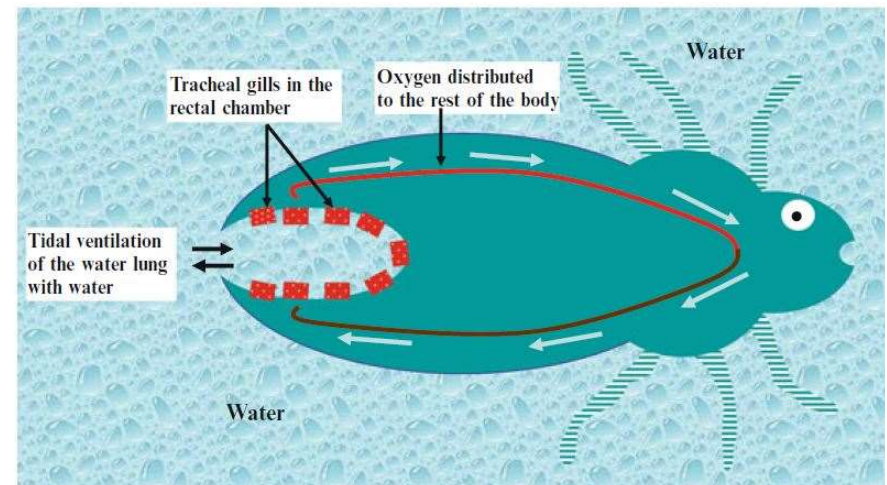
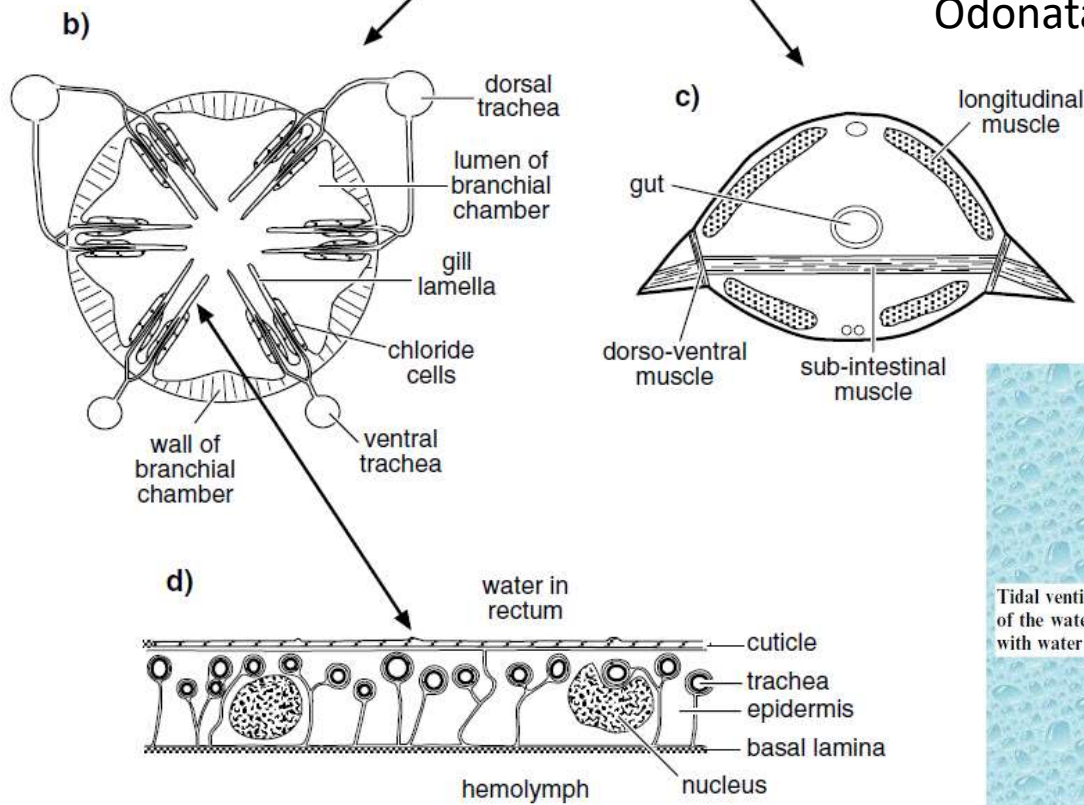


Odonata: Zygoptera (motýlice)



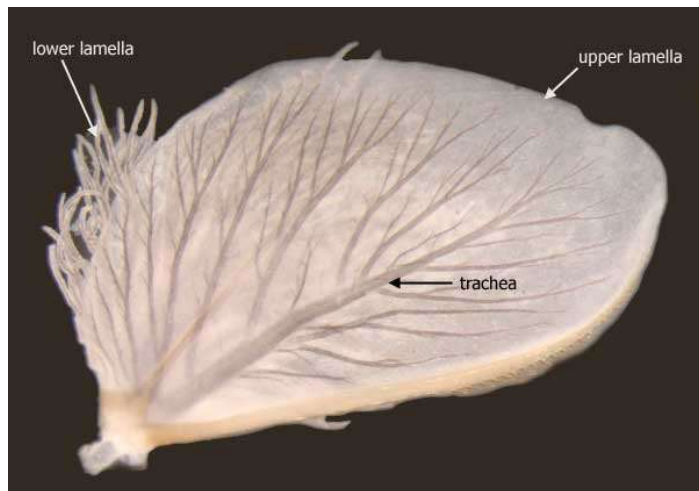


Odonata: Anisoptera (různokřídlice, šídla)



Žábry na zadečku vodních larev

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



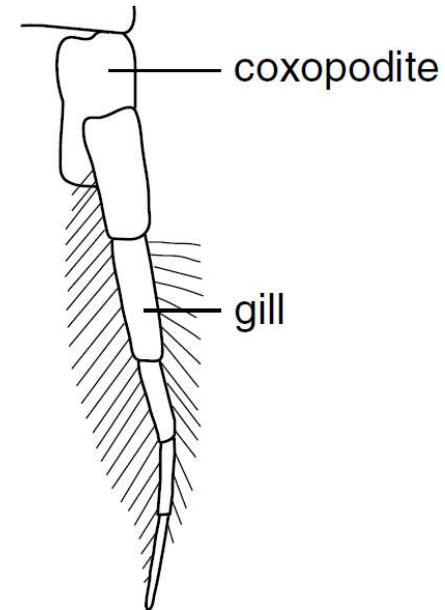
Ephemeroptera



Plecoptera

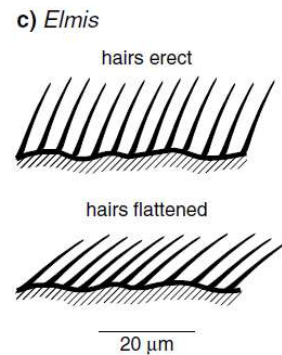
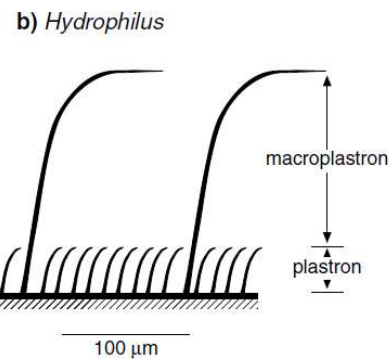
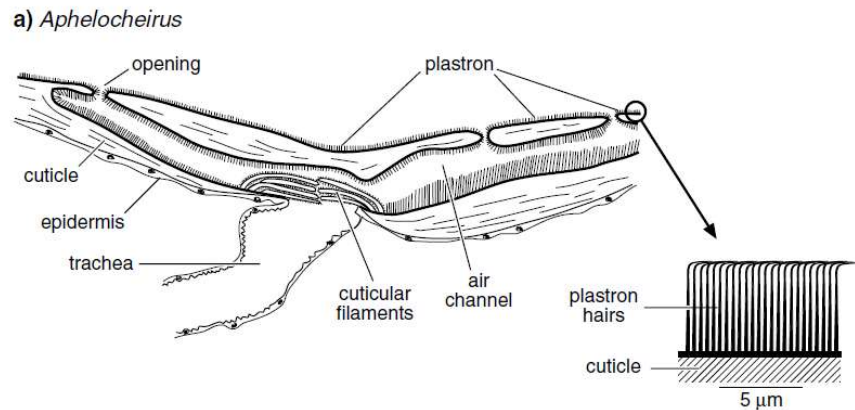


Trichoptera

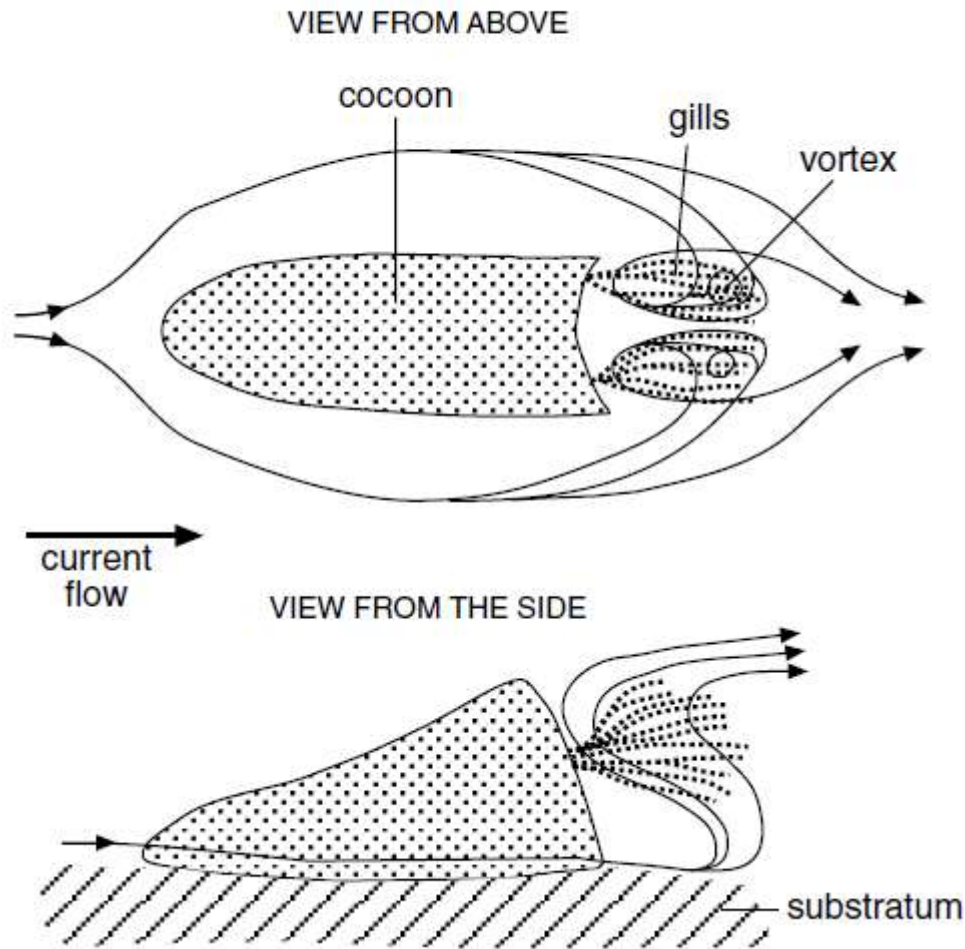


Megaloptera: *Sialis* (střechatka)

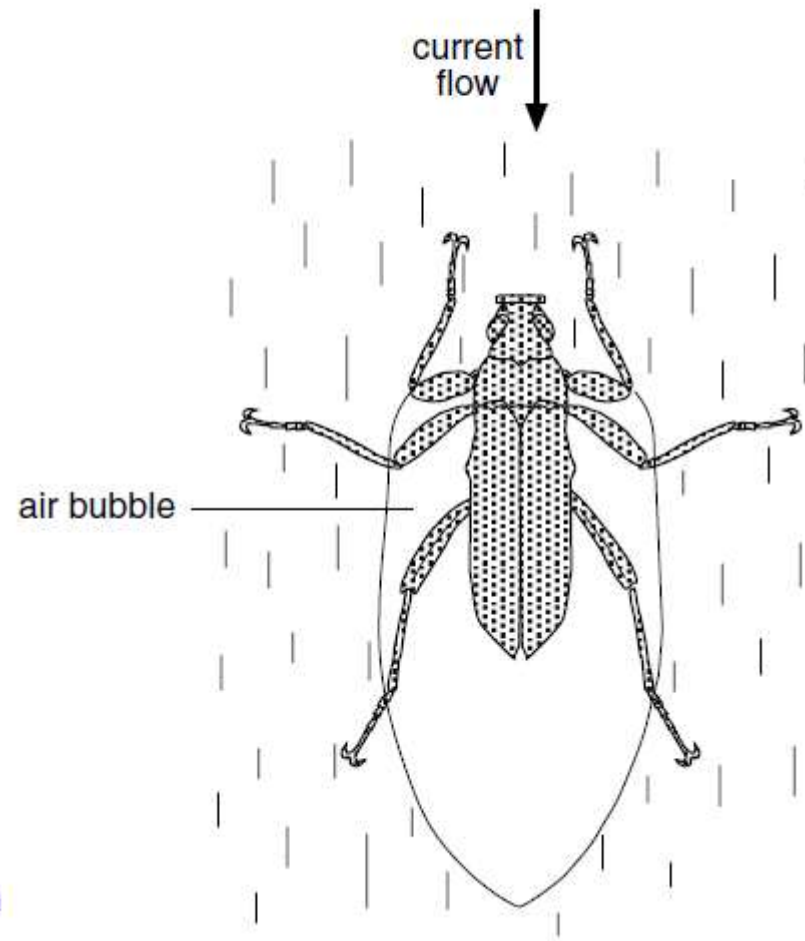
- rozpuštěný kyslík ve vodě:
 - z tenké povrchové vrstvy vzduchu při povrchu těla (**plastron**), do které se otevírají stigmata – nutný hydrofobní povrch (husté jemné chloupky), objem vzduchové vrstvy je konstantní



a) *Simulium*



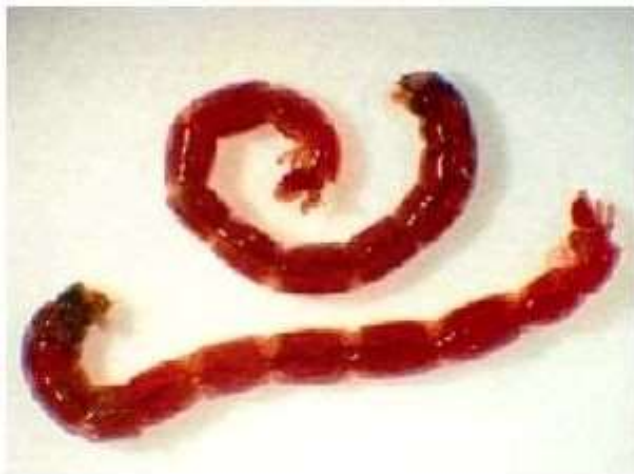
b) *Potamodytes*



- orientace těla vytváří víry a usnadňuje výměnu plynů z vody

Dýchací pigmenty

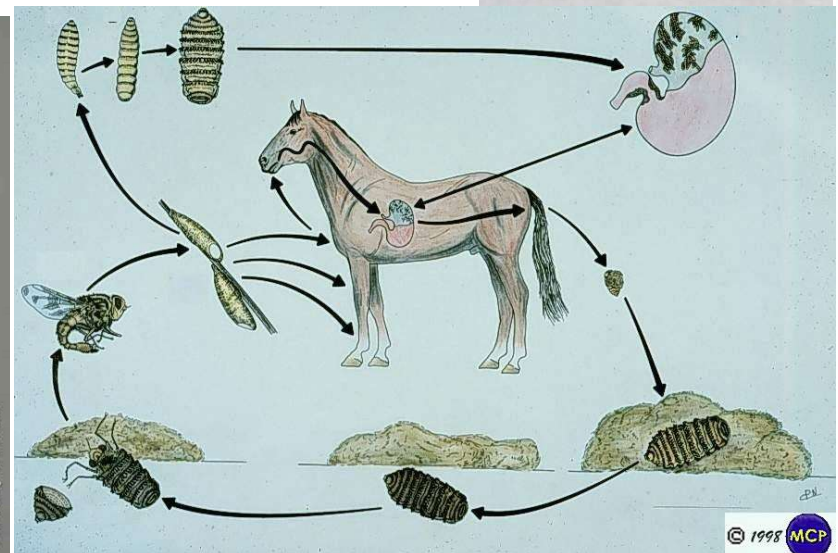
- adaptace zejména na hypoxickém prostředí (voda, paraziti)
- hemoglobiny: pakomáři rodu *Chironomus* v hemolymfě, střečci rodu *Gasterophilus* ve zvláštních hemoglobinových buňkách, u většiny hmyzu intracelulárně v tracheálních buňkách a tukovém tělese
- hemocyaniny (podobné složení jako u korýšů) –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



Chironomus sp.

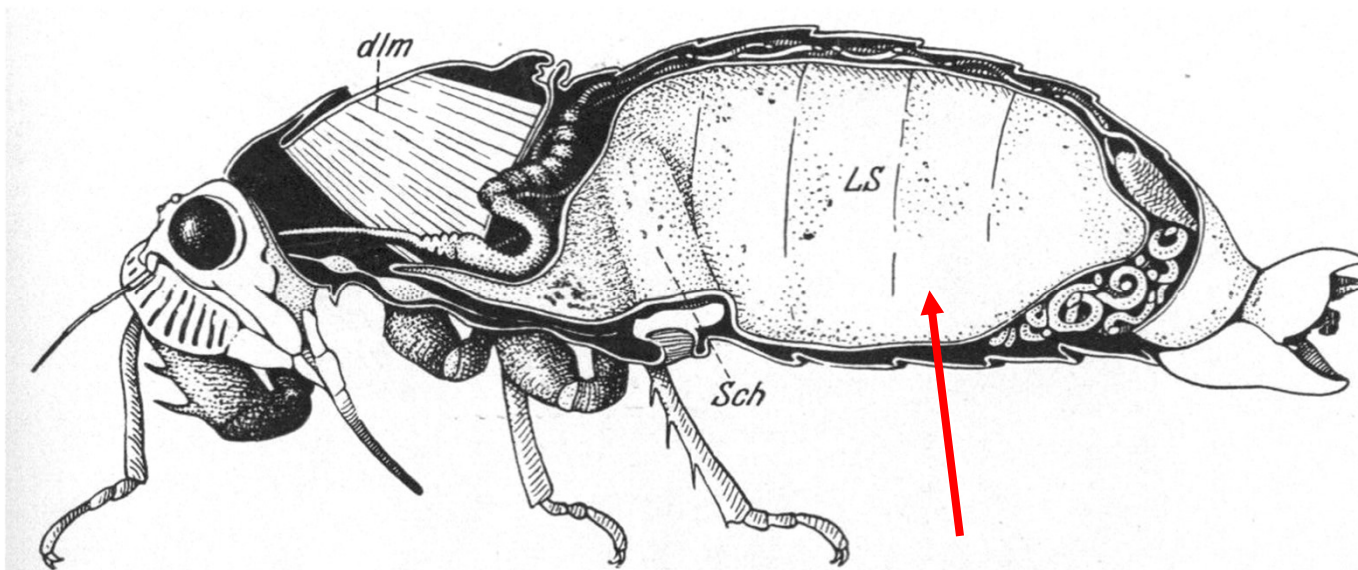


Gasterophilus intestinalis



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