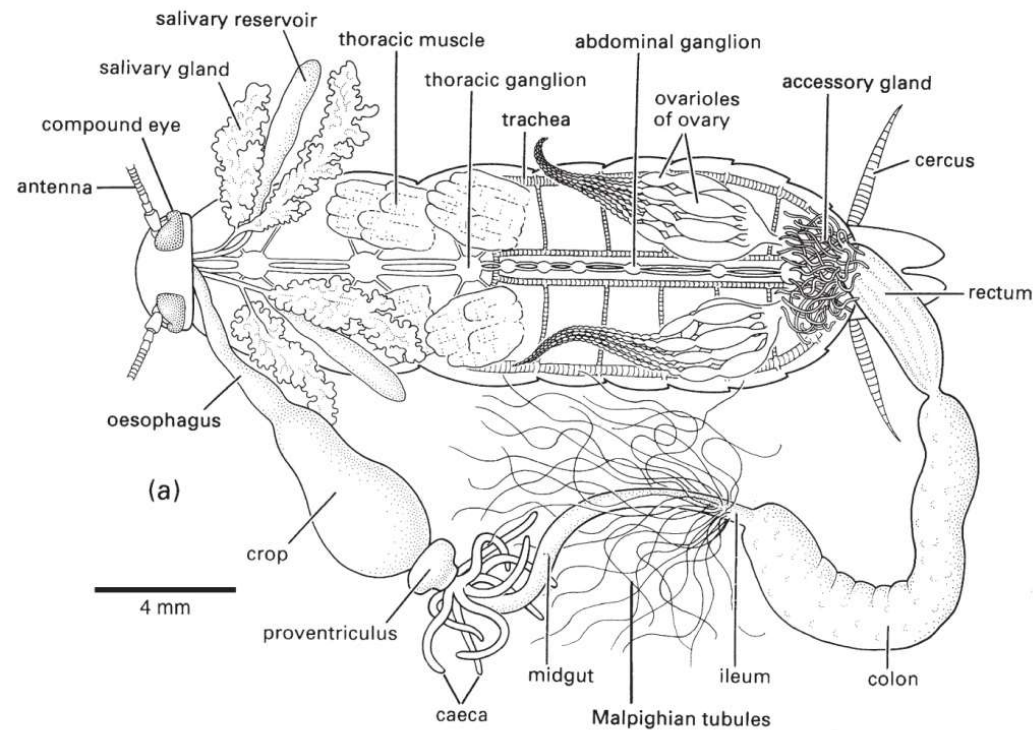


# Bi6760 Základy entomologie

## 1. Úvod



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

# Základy entomologie

Program semestru, jaro 2025

D31-238, úterý 13:00-14:50 přednášky  
D36-223, čtvrtek 13:00-14:50 cvičení

RNDr. A. Špalek Tóthová, Ph.D.  
Kontakt: Ústav botaniky a zoologie  
Univerzitní kampus Bohunice D31-108  
Tel.: 549 49 8085  
e-mail: tothova@sci.muni.cz

lekce/datum	Přednáška, úpělá - orientace
<b>I</b> 18.2.	<b>Úvod:</b> organizace výuky entomologie na UBZ, doporučená studijní literatura <b>Význam, diverzita a původ hmyzu</b> <b>Obecné schéma</b> hmyzího těla, segmentace, anatomie.
<b>II</b> 25.2.	<b>Hlava:</b> generalizované cranium, sklerity, švy, tentorium, rykadla, ústní ústrojí, jeho postavení a typ hlavové schránky, zvláštní případy utváření ústního ústrojí.
<b>III</b> 4.3.	<b>Hrud'</b> : stavba a členění, struktura neokřídleného a okřídleného segmentu, vnitřní kostra hrudi. Noha, základní schéma, zvláštní případy utváření končetin.
<b>IV</b> 11.3.	<b>Křídlo:</b> stavba, žilnatina. Bazální elementy křídla, zakloubení, skládání křídel. Modifikace křídel, spojení obou párů, redukce, polymorfie. Létací svaly, mechanika letu.
<b>V</b> 18.3.	<b>Zadeček:</b> stavba, segmentace a přívěsky, styly, koxální vřčky, cerky, pařát, zadečkové končetiny larev. Zevní pohlavní orgány samců a samic, typy kladělek a jejich modifikace, přenos spermatu, pohlavní dimorfismus.
<b>VI</b> 25.3.	<b>Integument:</b> struktura kutikuly, růst, regulace kutikulárních změn, zbarvení. <b>Dýchací systém:</b> stavba a funkce tracheálního systému, uspořádání stigmat, dýchání ve vodě.
<b>VII</b> 1.4.	<b>Nervový systém:</b> Centrální nervová soustava, mozek a břišní nervová páska, viscerální nervový systém, chování. <b>Smyslové orgány:</b> smyslová seta, sklopidium, mechanoreceptory, proprioreceptivní orgány, sluchové orgány, chemoreceptory, termoreceptory, hygromoreceptory, zrakové orgány.
<b>VIII</b> 8.4.	<b>Komunikace hmyzu:</b> vizuální, vibrační a akustická, chemická. Světelné a zvukotvorné orgány, exokrinní žlázy, semiochemikálie.
<b>IX</b> 15.4.	<b>Endokrinní systém:</b> žlázy s vnitřní sekrecí, hormony. <b>Oběhový systém a hemolymfa:</b> Tělní dutina, cévy, krevní oběh, složení a funkce hemolymfy, oenocyty. Termoregulace. <b>Zaživací systém:</b> trávicí trubice a její části, stomodeum, mezenteron, proctodeum, slinné a snovací žlázy, výživa, fyziologie trávení, příjem potravy a její zdroje, filtrační komora, symbiotické mikroorganismy, tukové těleso. <b>Vylučovací systém:</b> Malpighiho trubice, odpadní látky, chemická obrana (sekvestrace).
<b>X</b> 22.4.	<b>Reprodukční systém:</b> Vnitřní pohlavní orgány samců a spermatogeneze, vnitřní pohlavní orgány samic, oogeneze, přenos spermatu, oplození, pohlavní dimorfismus. <b>Embryonální vývoj:</b> Vajíčko, rýhování, embryologie, tvorba zárodečných listů, zárodečné obaly, blastokineze, organogeneze. <b>Postembryonální vývoj:</b> způsoby metamorfózy, typy larev a kulek.
<b>XI</b> 29.4.	<b>Systém hmyzu:</b> synapomorfie a diagnostické znaky skupin na úrovni řádů, jejich diverzita, vzájemné fylogenetické vztahy a diverzita, Entognatha, Ectognatha, Palaeoptera, Neoptera, Polyneoptera.
<b>XII</b> 6.5.	<b>Systém hmyzu (pokračování):</b> Paraneoptera, Holometabola.
<b>XIII</b> 13.5., 20.5.	<b>Náhrada</b>

# Související předměty

**Bi0055** Terénní cvičení z entomologie (jaro, každoročně)

**Bi7770** Metodologie molekulární taxonomie a fylogeneze hmyzu (podzim, každoročně, omezená kapacita <5)

**Bi8780** Systém a fylogeneze hmyzu (jaro sudých let)

**Bi9790** Entomologie pro pokročilé (podzim lichých let)

**Bi7980** Aplikovaná entomologie (podzim sudých let)

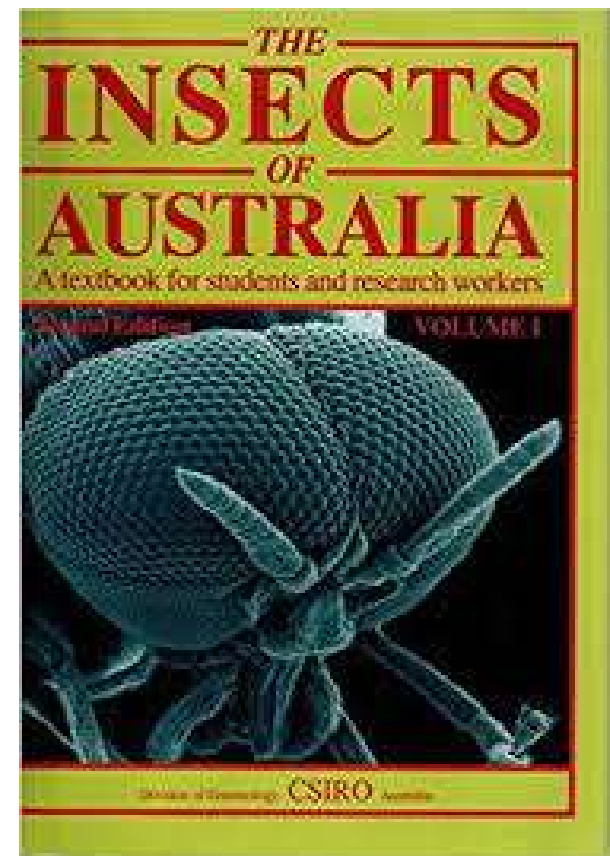
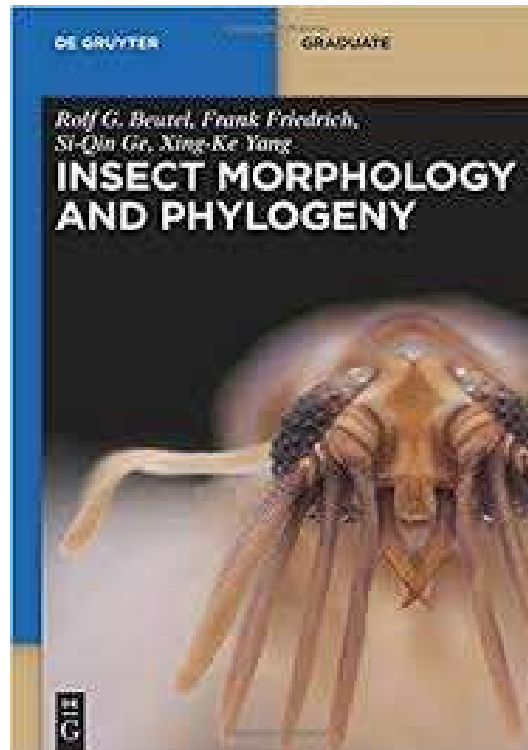
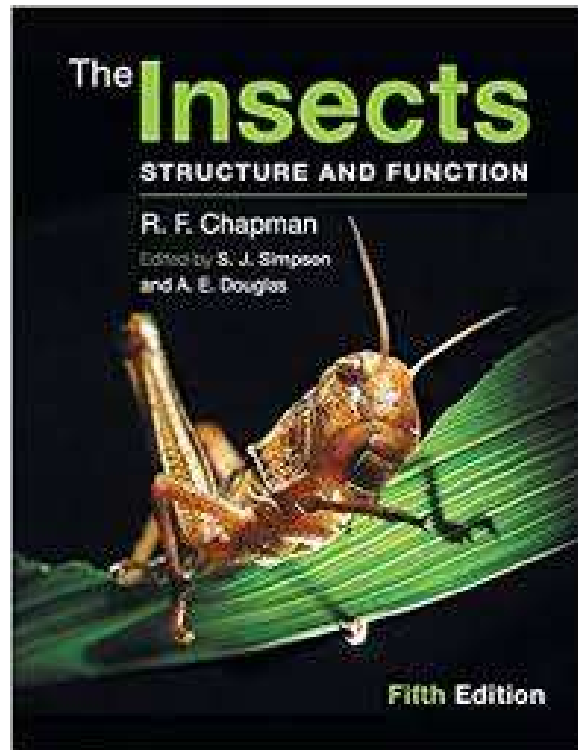
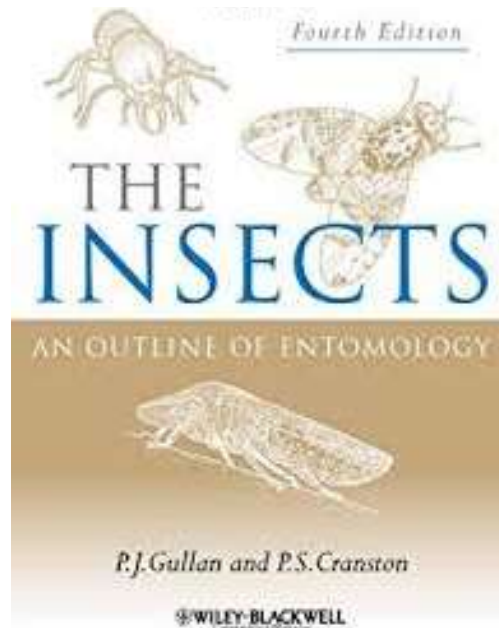
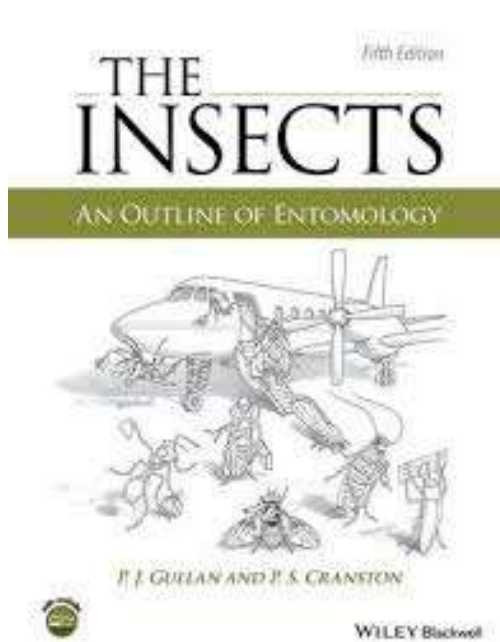
**Bi7451** Biologie vodních bezobratlých (jaro, každoročně)

**Bi8160** Speciální botanicko-zoologické cvičení v terénu (léto, každoročně)

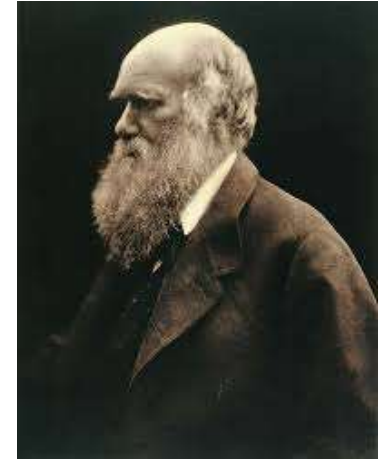
**Bi8761** Úvod do terénní zoologie bezobratlých (jednorázová přednáška, jaro, každoročně)

# Doporučená studijní literatura

- GULLAN P. J. & CRANSTON P. S. 2014: *The Insects. An Outline of Entomology*. 5th edition. Wiley-Blackwell, Chichester, 595 pp.
- CHAPMAN R. F. 2013: *The Insects: Structure and Function*. 5th edition, edited by Simpson S. J. & Douglas A. E. Cambridge University Press, Cambridge, 929 pp.
- BEUTEL R. G., FRIEDRICH F., GE S.-G. & YANG X.-K. 2014: *Insect Morphology and Phylogeny*. De Gruyter, Berlin/Boston, 516 pp.
- LAWRENCE J.F., NIELSEN E.S. & MACKERRAS I.M., 1992: 1<sup>st</sup> chapter: Skeletal Anatomy and Key to Orders. In: NAUMANN I.D., *The Insects of Australia. A textbook for students and research workers*. Vol. 1. Melbourne Univ. Press., pp. 3-23.
- CHAPMAN R. F., 1992: 2<sup>nd</sup> chapter: General Anatomy and Function. In: NAUMANN I.D. (Ed.), *The Insects of Australia. A textbook for students and research workers*. Vol. 1. Melbourne Univ. Press., pp. 33-67.
- MCGAVIN G.C., 2001: *Essential Entomology*. University Press, Oxford, 318 pp.
- MEYER J. R. 2013: *General Entomology Course*. North Carolina State University <https://www.cals.ncsu.edu/course/ent425/course/modules/index.html>



# Začátky entomologie – 18. st. – s rozvojem základních optických nástrojů, věnovali se jí převážně „amatéři“ (Charles Darwin – brouci, Alfred Wallace)



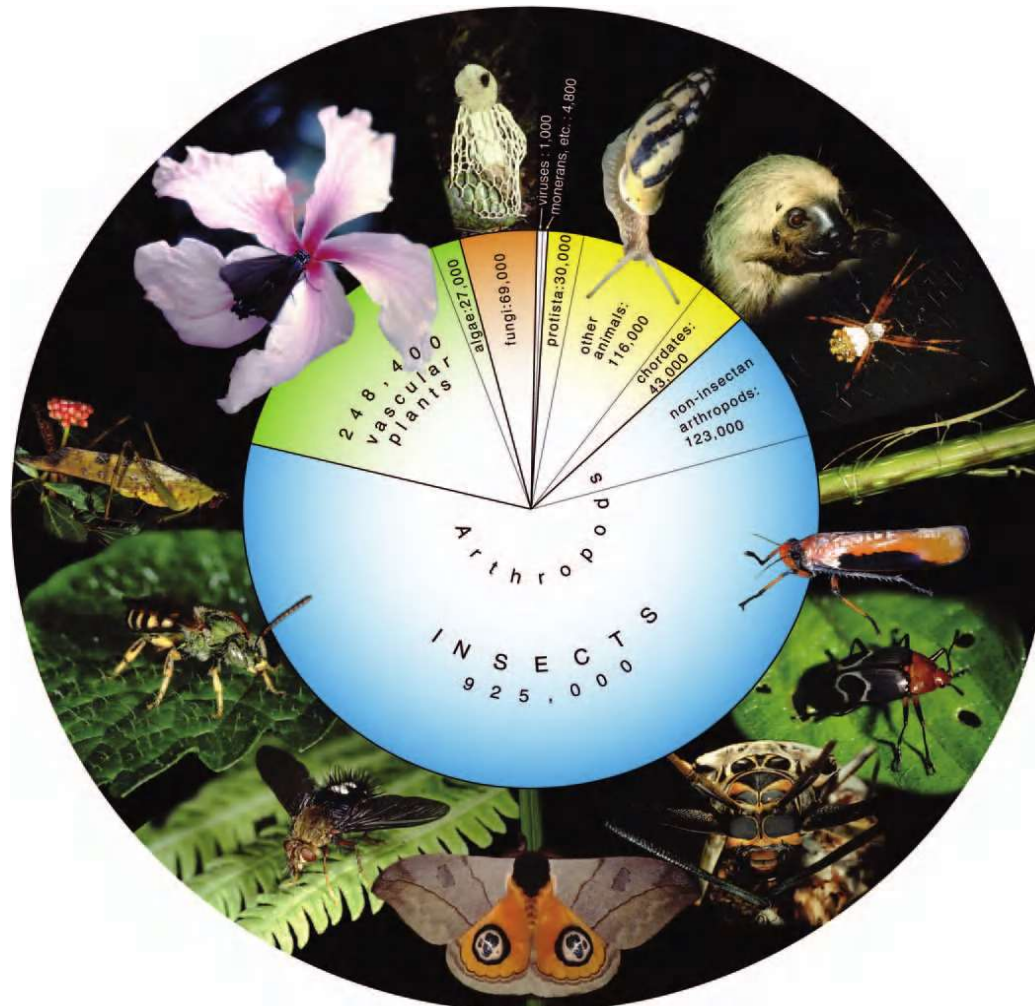
- Studium především atraktivních zástupců – brouci, motýli
- Entomologie není pouze o stavbě těla hmyzu, propojuje disciplíny jako ekologie, etologie, fyziologie, biochemie, genetika a molekulární biologie
- Koncept druhu – kromě klasického přístupu se přistupuje i k alternativním definicím druhu – na základě DNA, zvuku, neuropeptidů, etc.

# Význam hmyzu

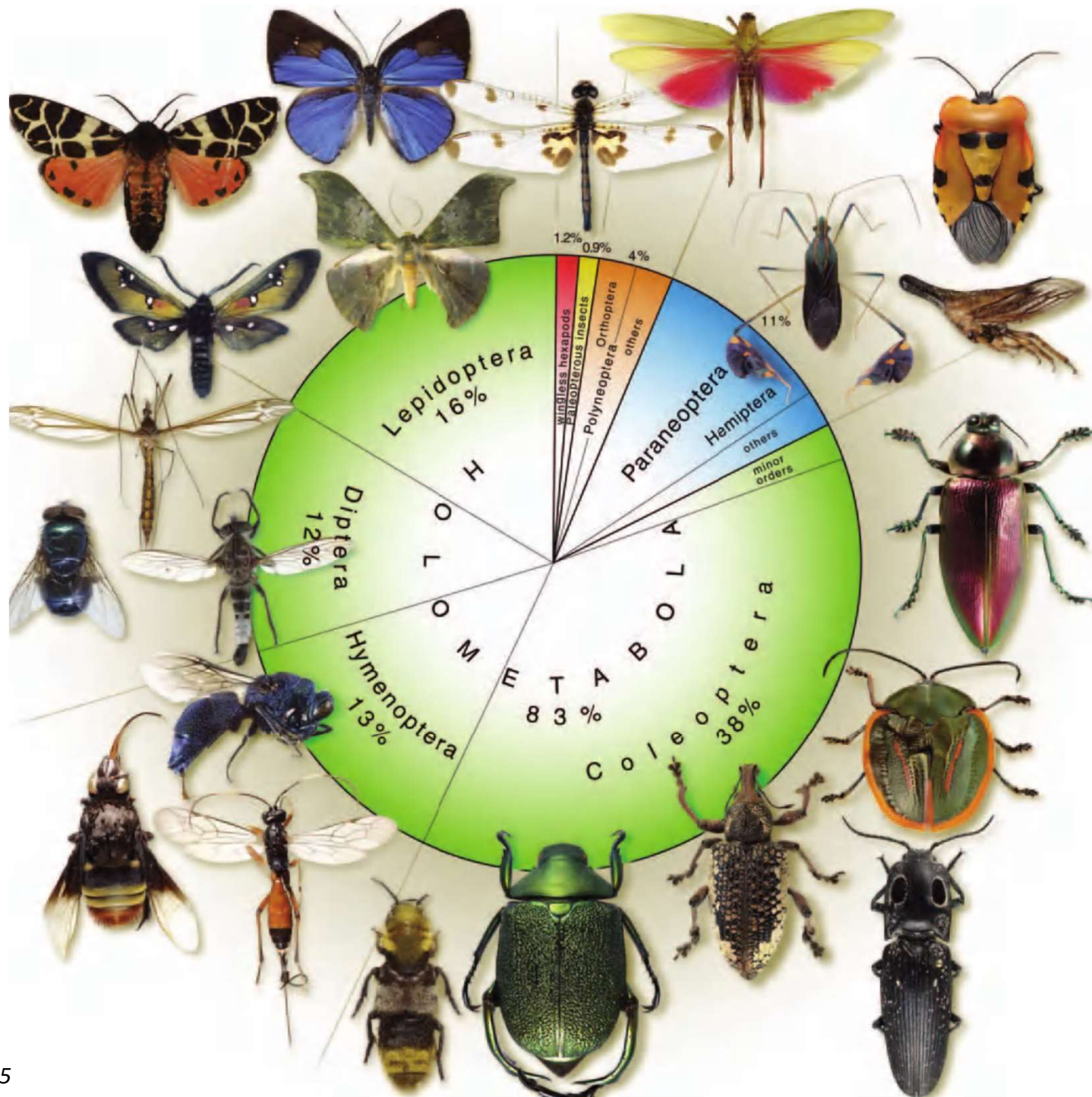
- dominuje potravním sítím v suchozemských a sladkovodních biotopech (v každém okamžiku je na Zemi ca.  $10^{19}$  jedinců hmyzu) – udržuje strukturu rostlinných společenstev, představuje potravu pro obratlovce, predátory, parazity a vektory chorob
- opyluje většinu kvetoucích rostlin (2/3 krytosemenných)
- recykluje živiny, rozkládá dřevo, mršiny a výkaly, obohacuje a kypří půdu, šíří houby (řada klíčových druhů: *keystone species*)
- zkonsumuje v průměru 15–20% veškeré úrody + škody na dřevěných stavbách
- přenáší patogenní mikroorganismy (1/6 lidí trpí nemocemi přenášenými hmyzem – malárie, žlutá zimnice, dengue, Chagasova nemoc, spavá nemoc, říční slepota, filarióza, leishmanióza,...)
- zdroj medu, hedvábí, barviv, chemických látek
- základní laboratorní modely: *Drosophila melanogaster*, *Periplaneta americana*, *Schistocerca gregaria*, *Phormia regina*, *Rhodnius prolixus*, *Tribolium* spp., *Manduca sexta*, *Galleria mellonella*...

# Diverzita hmyzu

- popsáno něco málo přes 1 milion druhů (Adler & Footitt 2009: 1,004,898 spp.) = 58–67 % veškerých druhů na Zemi)







# Proč je hmyz celosvětově rozšířený a druhově bohatý?

- malá velikost těla (limitace dýcháním vzdušnicemi a váhou kutikuly) – schopnost využít různé mikrohabitaty a potravní zdroje
- dobře vyvinuté smyslové orgány a neuromotorický systém
- krátký generační čas a vysoká plodnost – genetická rozrůzněnost v rámci druhu, přizpůsobivost ke změnám na gen. úrovni
- významná role pohlavního výběru a vnitrodruhové komunikace
- koevoluční vztahy s jinými organizmy, zejména rostlinami, jinými živočichy (u parazitů a parazitoidů), houbami a mikroorganismy
- druhová rozmanitost jednotlivých vývojových linií je ale značně odlišná: většina druhů patří jen do 5 řádů!

# Hmyz v kultuře a komerci

- Skarabeus – vrchol slávy hmyzu bez ekonomického či jiného významu
- Cikáda – v Číně symbol znovuzrození a nesmrtelnosti
- Kudlanka – pozice kung-fu, stvoření, trpělivost v zenu – čekání na San
- Cvrčci, koníci , roháči, cikády atd. – mazlíčci v JPN

Chov hmyzu – obrovská komerce např. v Malajsii

Entomofágie – cca 1000 druhů jedlých po celém světě

- larvy motýlů, termitů, nosatců
- potrava pro domácí zvířata (ryby, drůbež, prasata, norci)
- kulturní bariéry



# Hmyz jako jídlo?

## Afrika

Dospělce č. Termitidae (smažené na palmovém oleji), larvy Saturnidae (60-70% proteinů, po odstranění střeva se vaří ve vodě, pečou či suší na slunci), larvy Curculionidae (smaží se na oleji)

## Asie

Krtonožky, saranče, chrousti ...

## Mexico

vajíčka Notonectidae a Corixidae jako kaviár...

## Austrálie

Larvy motýlů (Cossidae, Hepialidae) – „witjuti“ v kořenech akácií, hálky *Cystococcus pommiformis* (Hemiptera) na eukalyptech – „bush coconuts“, dělnice *Melophorus* a *Camponotus* – „honeypot ants“



# Rozměry hmyzu

Délka 0,21-330 mm, hranice velikosti dány mechanickými a funkčními vlastnostmi těla; kolísání velikosti uvnitř druhů - podmínky vývoje, potrava, mikroklimatické faktory





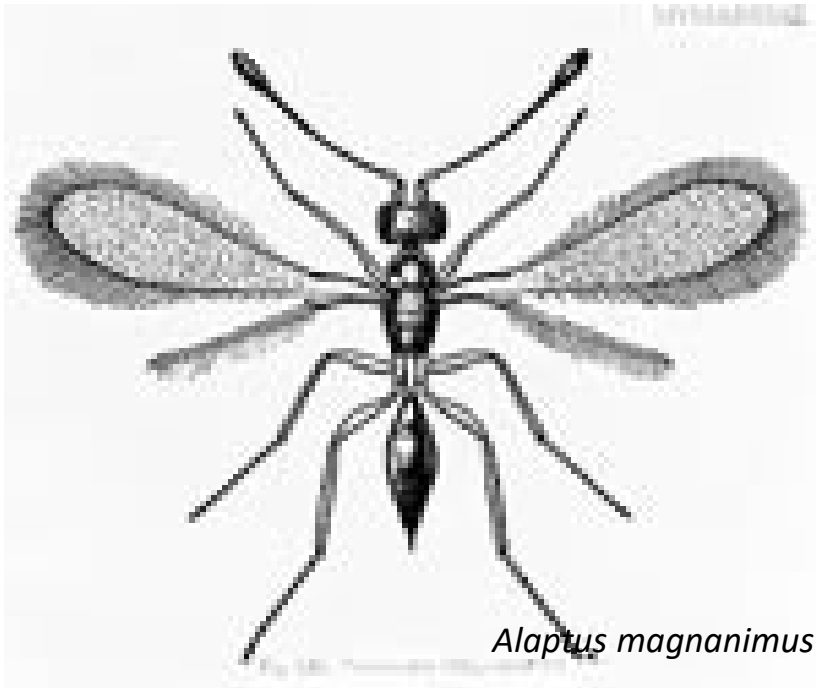
*Acanthocorydalus kolbei*



*Erebus agrippina*



*Mydas heros*



*Alaptus magnanimus*



Ptiliidae

# Tvar těla hmyzu

Tyčinkovitý



Polokulovitý

Plochý



Laterálně zploštěný

Válcovitý



Mravencovitý

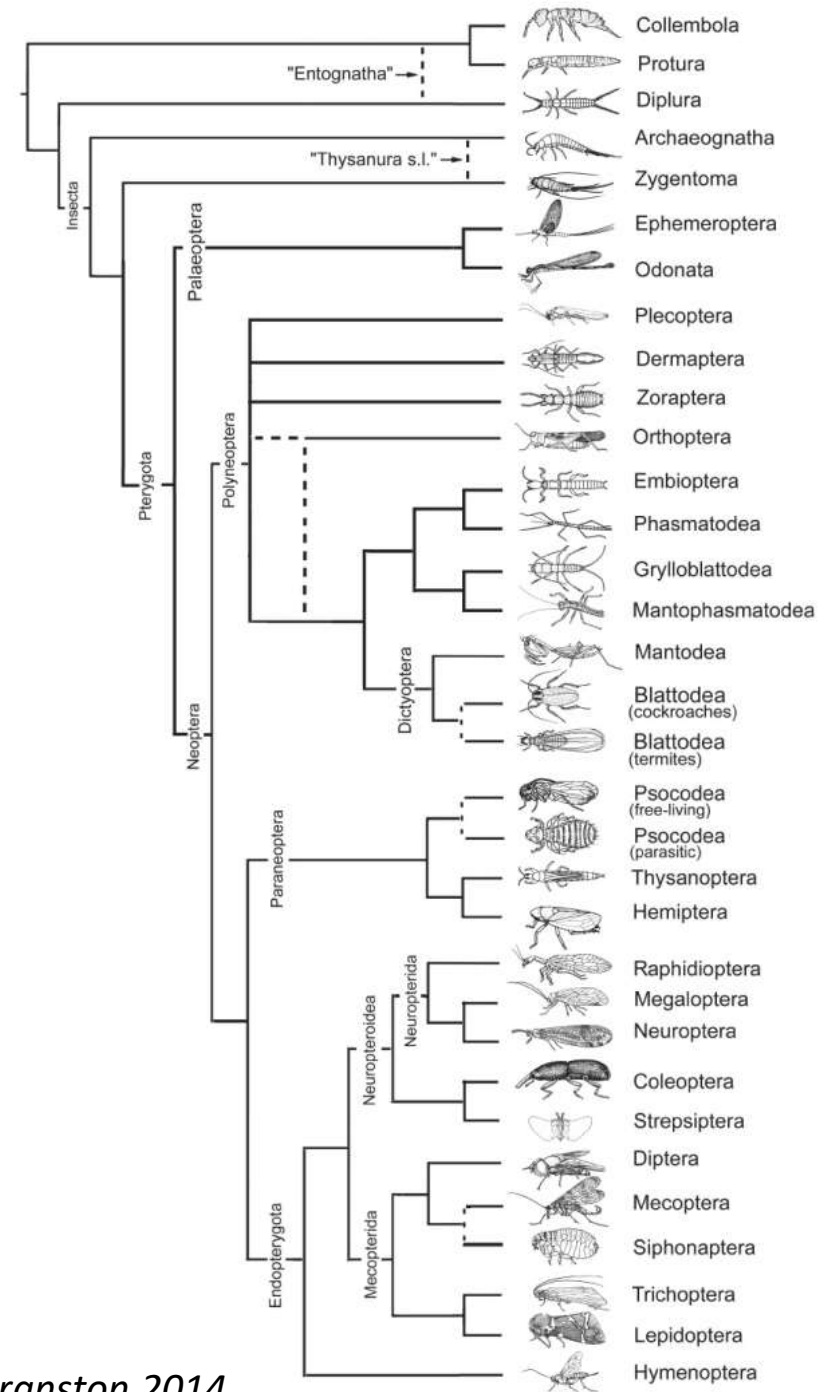
Jeskynné formy

Hypertelické útvary,  
polymorfie



# System a fylogeneze hmyzu (Hexapoda)

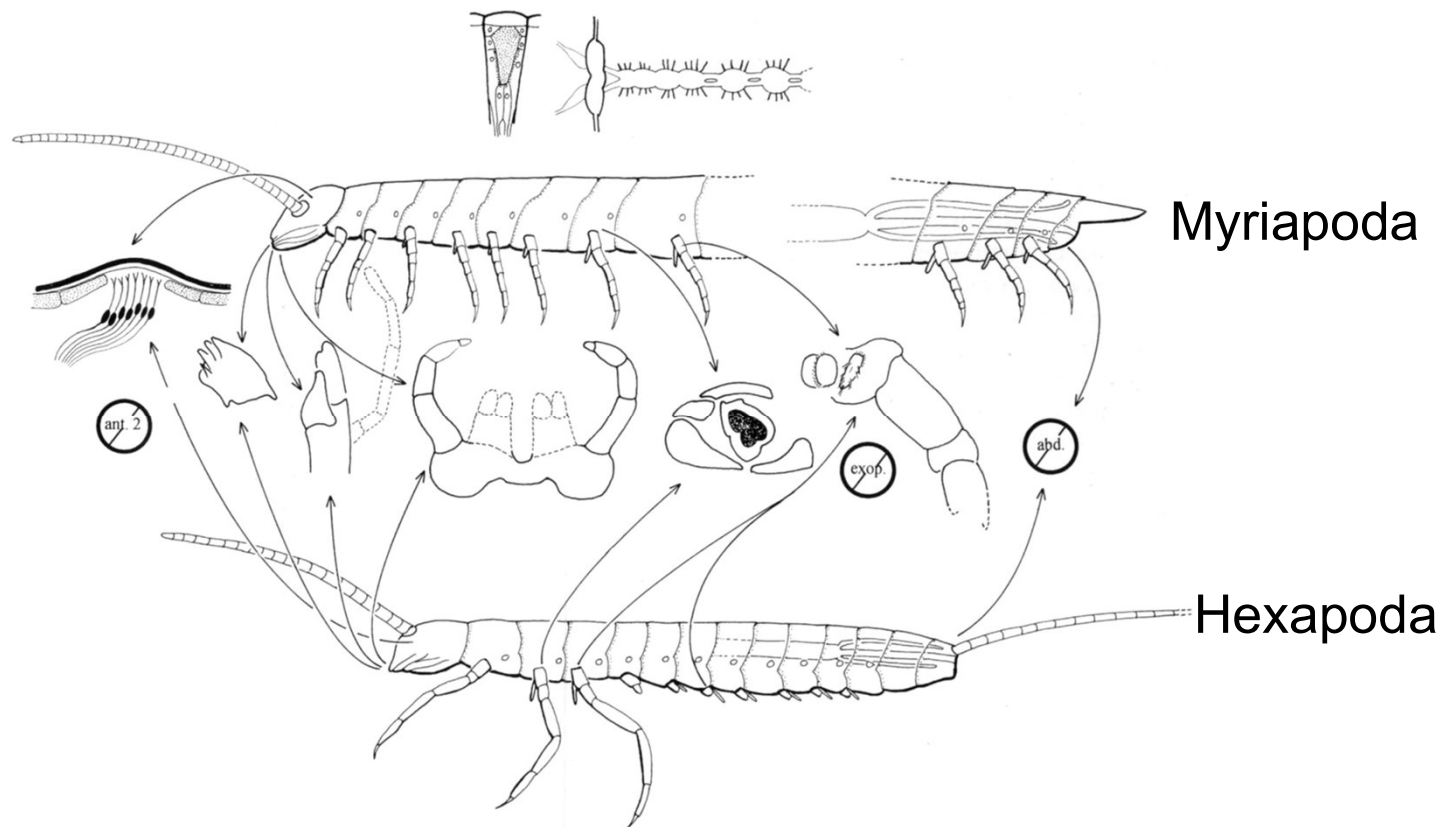
- současné pojetí recentních řádů:
- 3 řády Entognatha
- 28 řádů Ectognatha

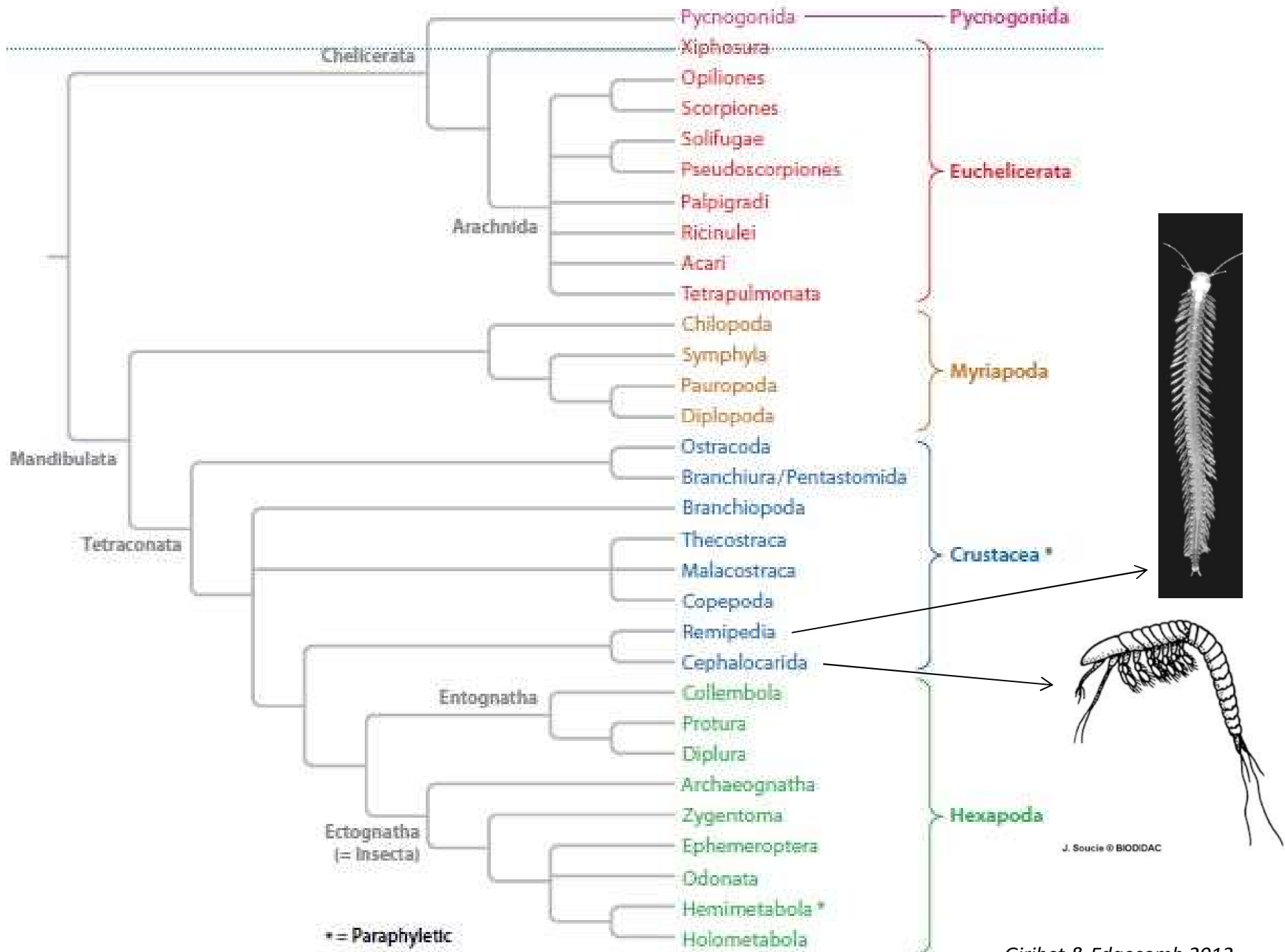




# Příbuzní hmyzu (šestinohých)

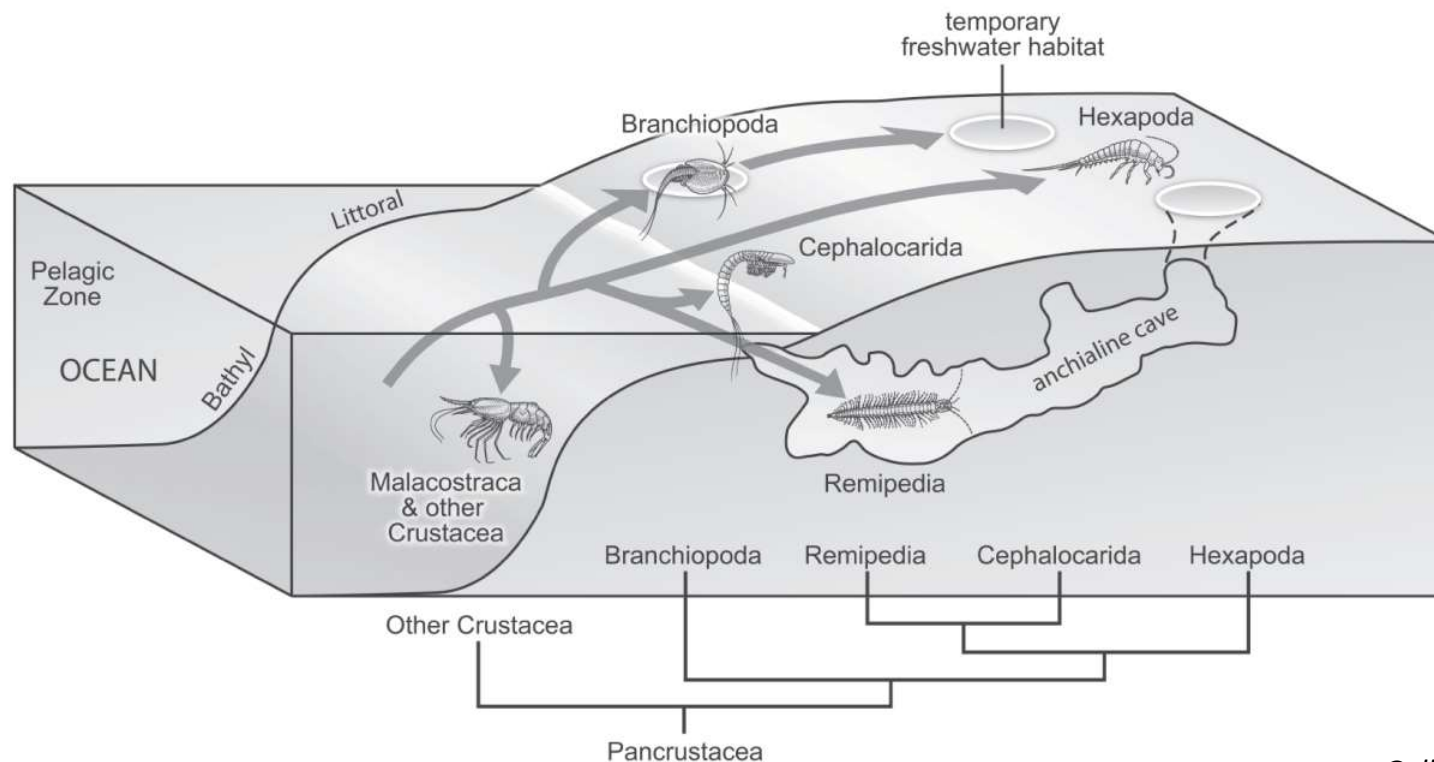
- hypotéza Atelocerata=Tracheata (vzdušnicovci): např. Snodgrass (1938)
- většina morfologických podobností se stonožkovci (Myriapoda) je dnes považována za konvergence





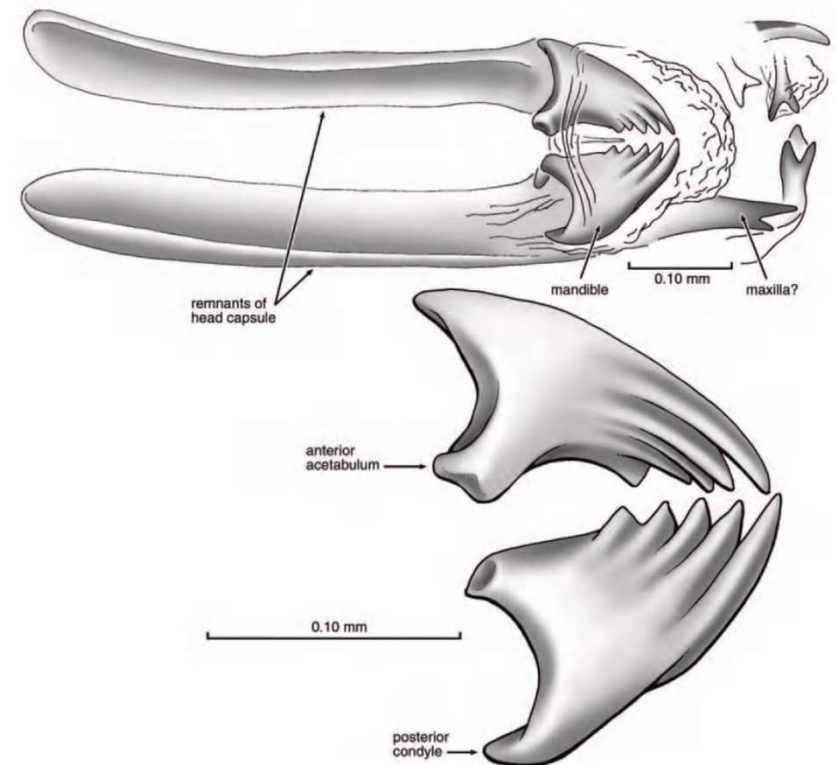
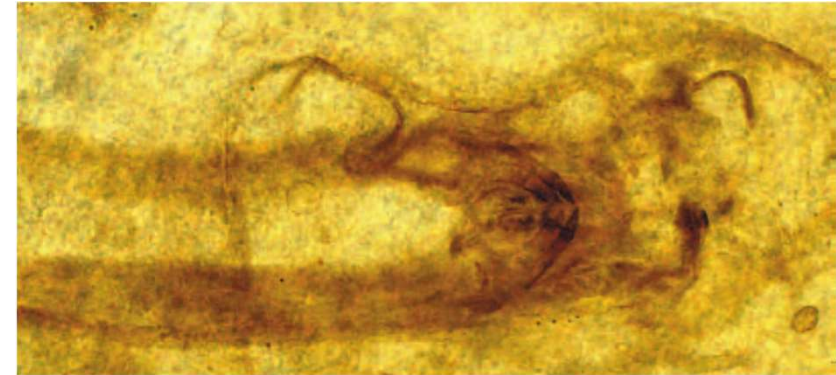
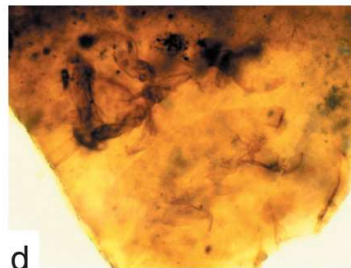
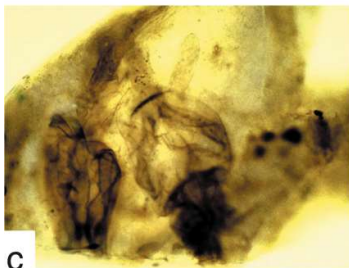
# Příbuzní hmyzu (šestinohých)

- hypotéza Pancrustacea (=Tetraconata):
- hmyz pravděpodobně sdílí společného předka s některou skupinou korýšů, snad s Xenocarida (Cephalocarida+Remipedia) nebo Branchiopoda
- ommatidia složených očí tvořena 4 buňkami, podobnosti v embryonálním vývoji nervové soustavy a sekvencích a funkci Hox-genů

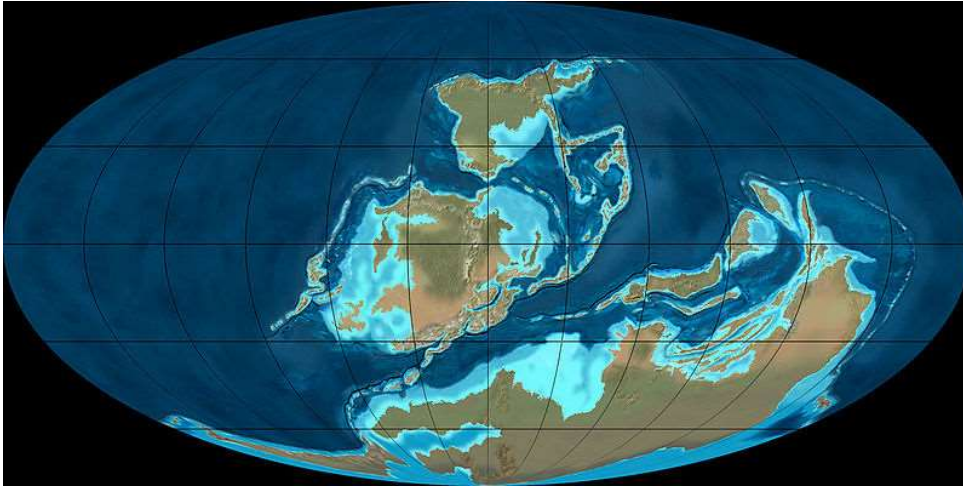


# Nejstarší dochované fosílie hmyzu

- spodní devon – 400 milionů let, Skotsko
- *Rhyniognatha hirsti*: zachováno jen ústní ústrojí – náleželo již zástupci okřídleného hmyzu?
- *Rhyniella praecursor* – chvostoskok podobný dnešním



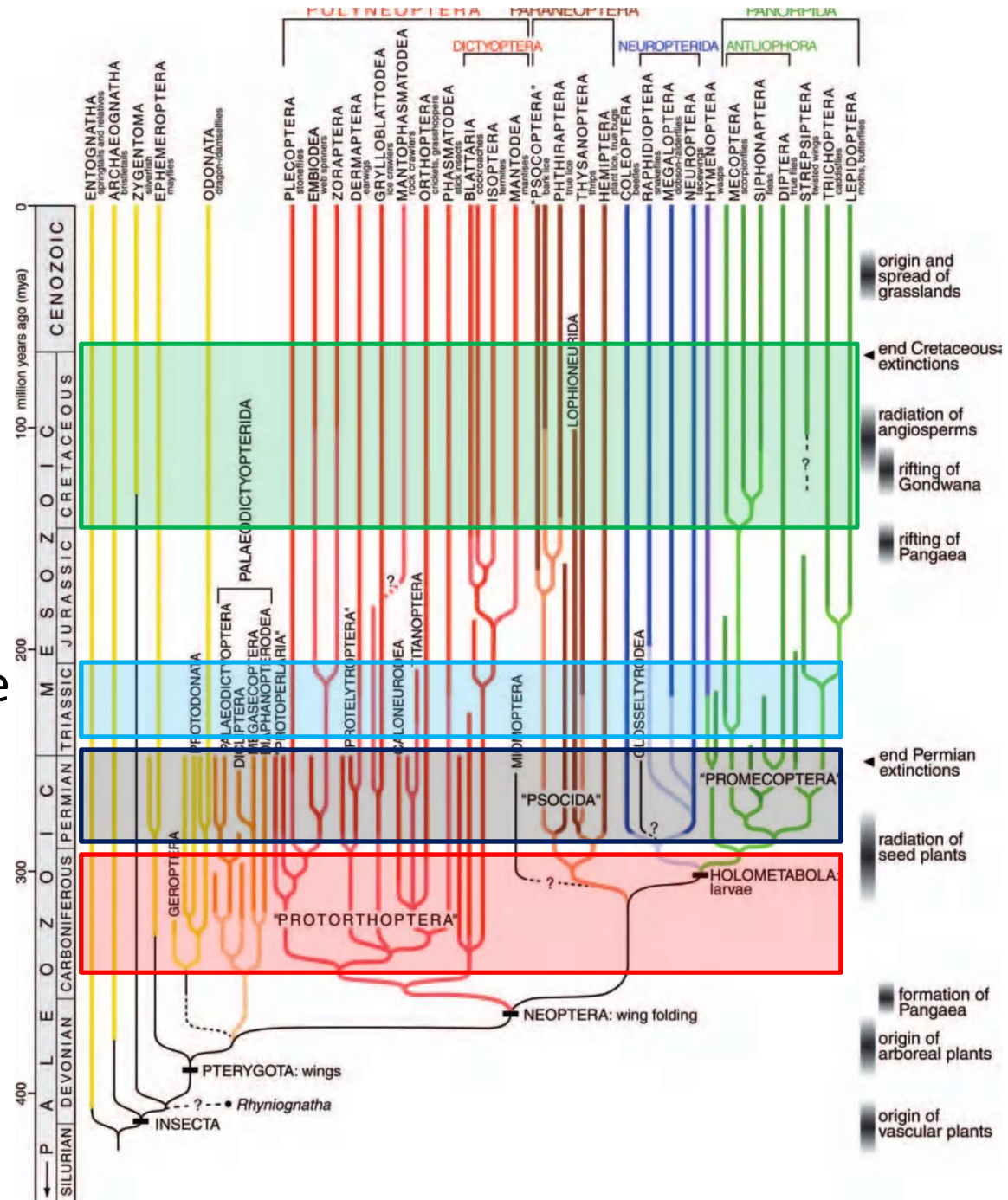
# Devon (416 – 360 milionu let B.P.)



Rozvoj života na souši:

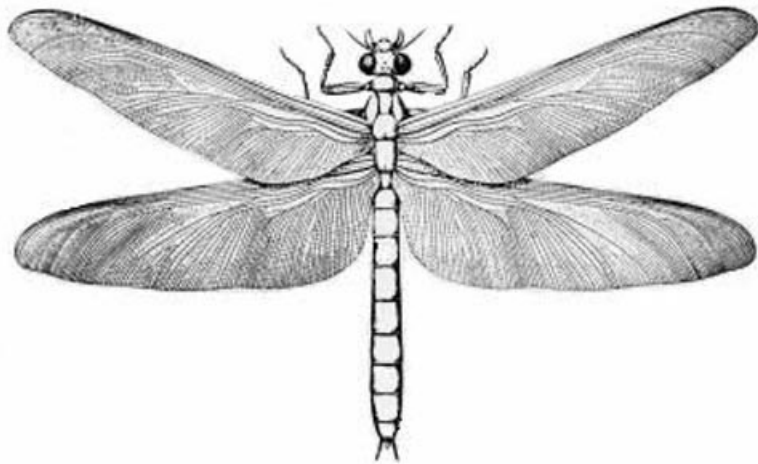
- lesy plavuní, přesliček a kapradin, první nahosemenné rostliny – stabilizace prostředí (vlhkost), vznik půd
- rozvoj suchozemských členovců, první obojživelníci

- mohutná radiace ve **svrchním karbonu**
- v **permu** již 30 řádů, některé na konci vymřely
- v **triasu** již zástupci některých dnešních čeledí
- **křída** – masivní radiace fytofágních skupin, objevují se některé dnešní rody
- **kvartér** – zcela současná fauna



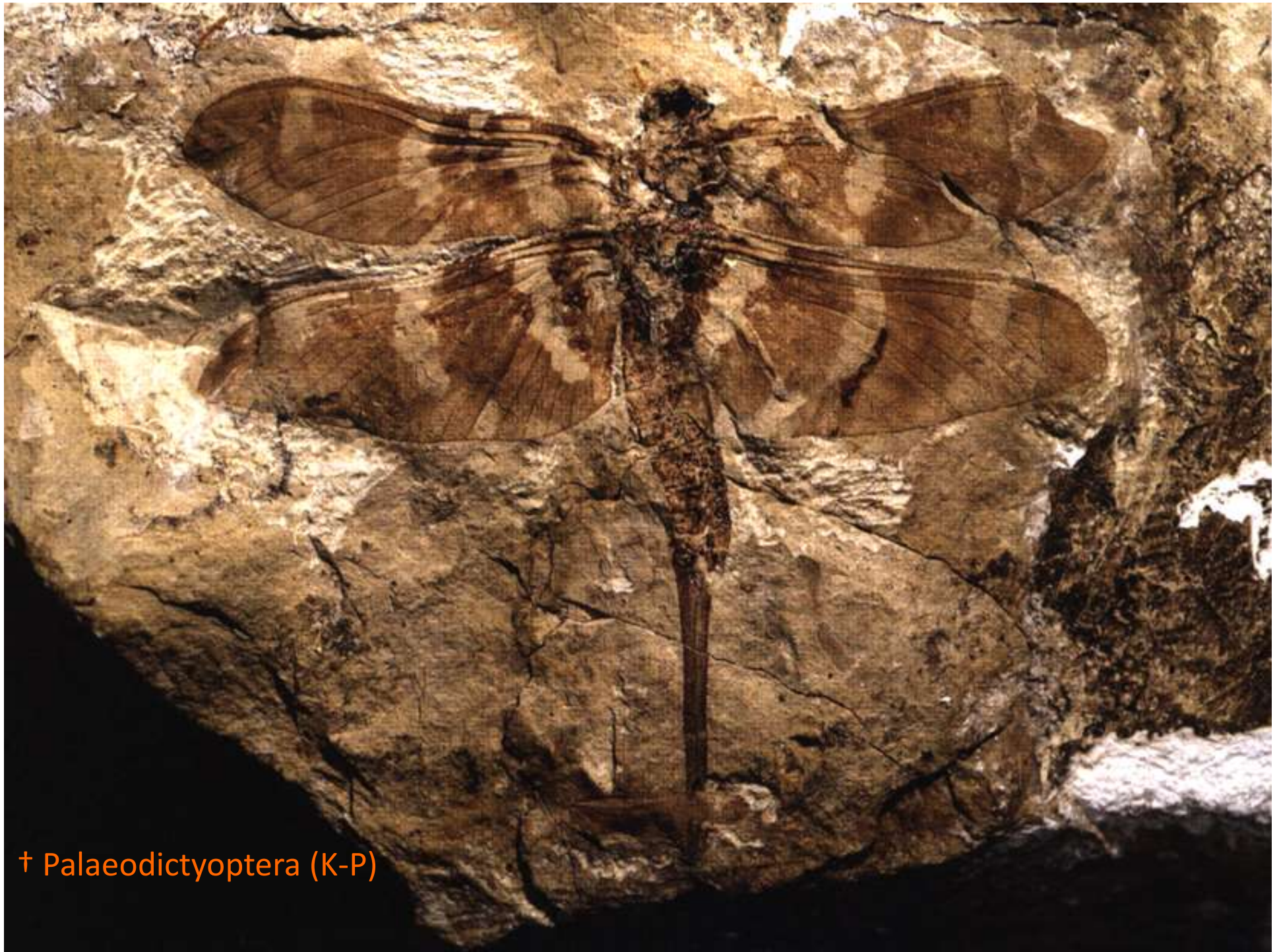
# Řád PROTODONATA: „praváčky“

- největší hmyz všech dob: *Meganeuropsis permiana* (rozpětí 71 cm) – svrchní perm (Kansas, Oklahoma)
- příčina gigantismu: vysoký obsah kyslíku v atmosféře (velikost hmyzu je jinak limitována možnostmi pasivní difúze kyslíku do tracheálního systému)
- pravděpodobně vrcholoví predátoři lovcí ve vzduchu (velká kusadla, oči a otrněné nohy)
- nymfy neznámé
- vymřely na konci permu



*Meganeuropsis permiana*



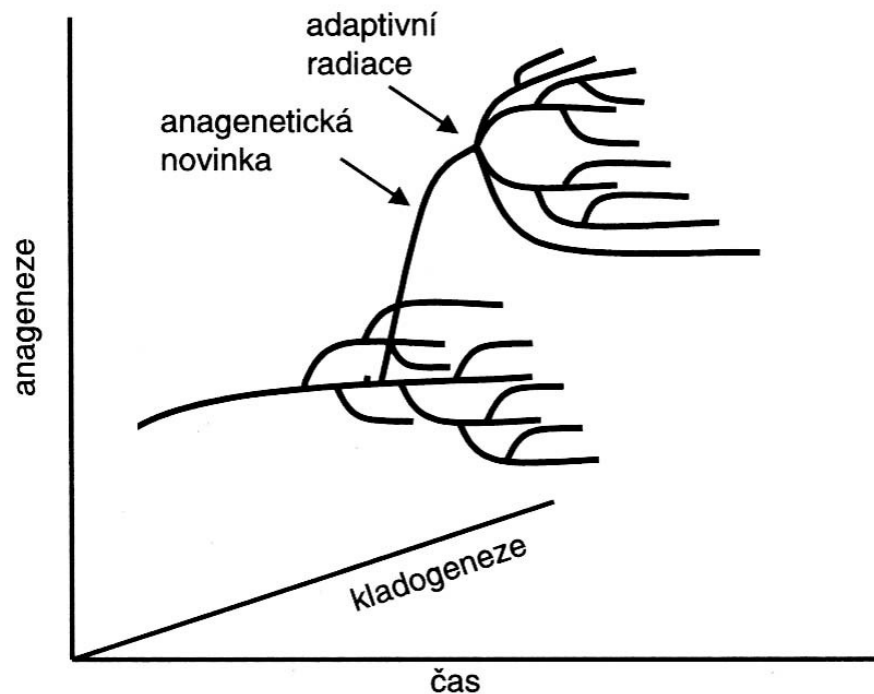


† Palaeodictyoptera (K-P)



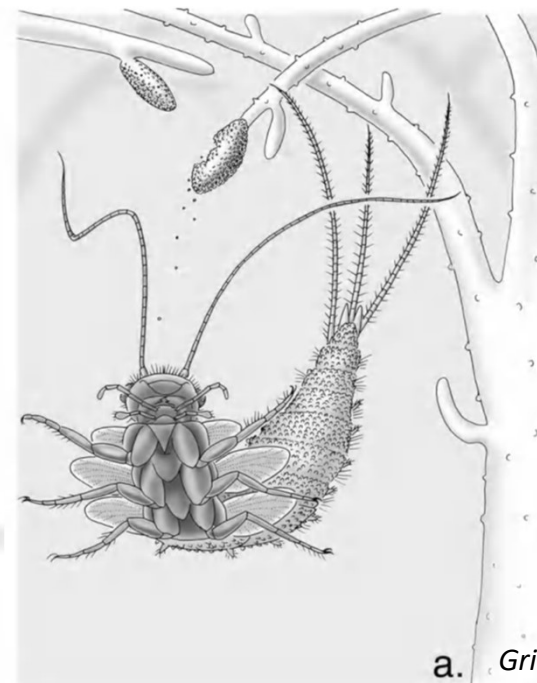
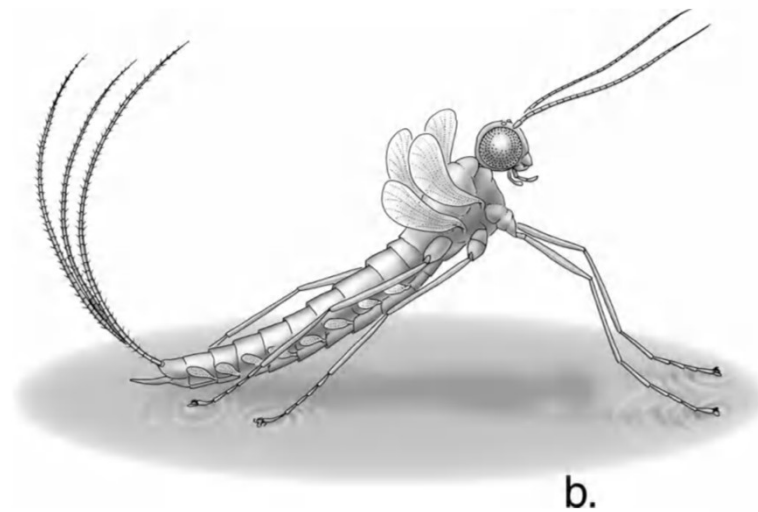
# Adaptivní radiace

- rychlé rozštěpení na velké množství druhů, z nichž každý může dát vznik samostatným vývojovým liniím v důsledku:
  - vzniku klíčové evoluční inovace, která svým nositelům umožní obsadit novou adaptivní zónu (využívat dříve nepřístupný soubor nik nebo podstatně lépe využít dostupné zdroje)
  - proniknutí na území neobsazené jinými druhy (např. ostrovy)



# Zásadní evoluční novinky

- vznik křídla (silur-devon?)



*Grimaldi & Engel 2005*

# Zásadní evoluční novinky

- **proměna dokonalá**  
(metamorfóza, spodní karbon?):
  - využití dalších mikrohabitatů (vnitřek rostlin, dřevo, půda, tekutiny)
  - snížení vnitrodruhové kompetice mezi larvami a dospělci
  - dokonalejší kontrola vývoje a přizpůsobení změně podmínek (např. přezimování)
  - zkrácení vývoje (lepší využití zdrojů a energie, menší náročnost růstu, např. syntézy kutikuly)



# Orientace těla a jeho částí

## Roviny

### **Sagitální (mediální) rovina**

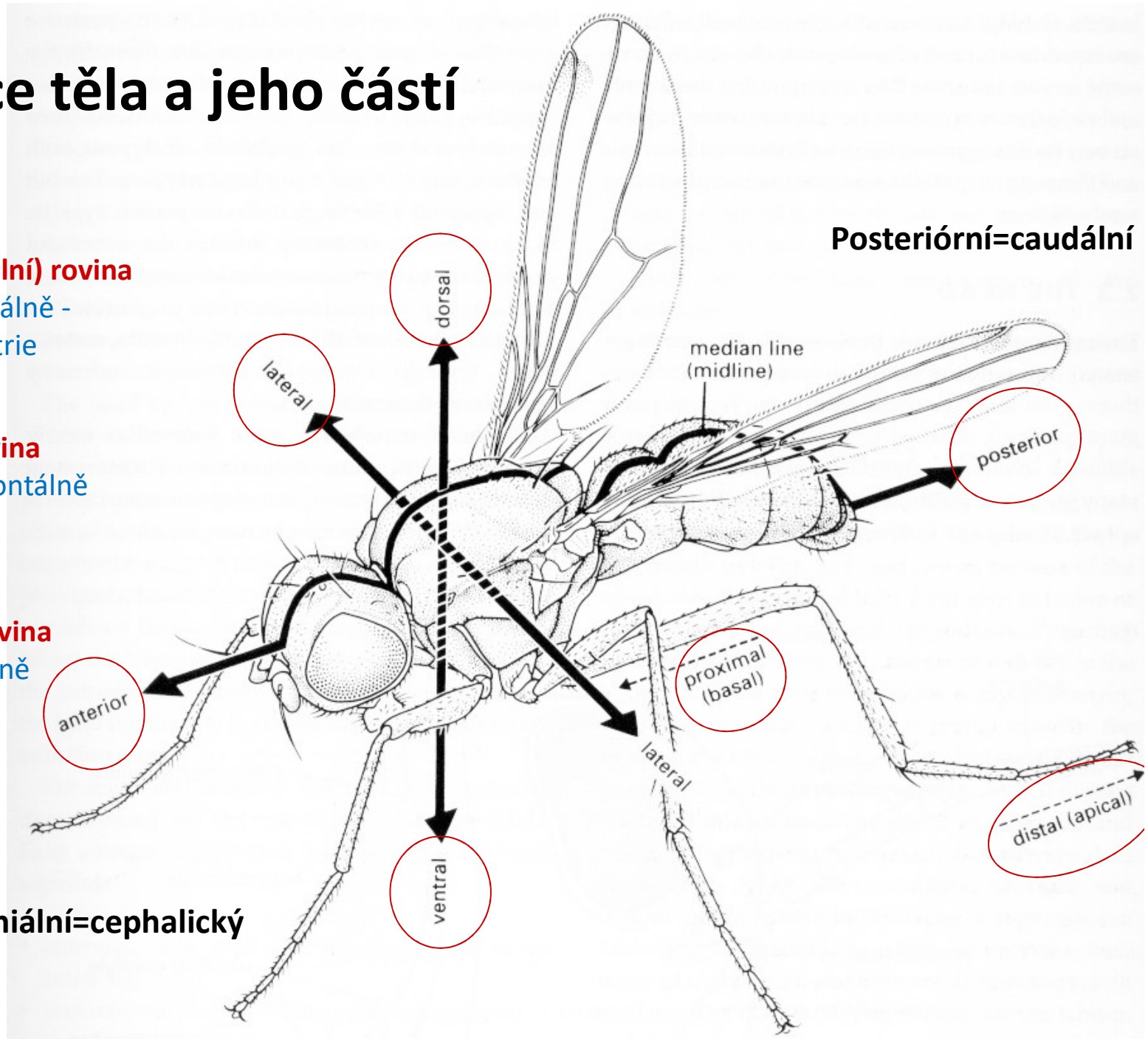
- podélně, vertikálně -  
bilaterální symetrie

### **Horizontální rovina**

- podélně, horizontálně

### **Transversální rovina**

- příčně, vertikálně

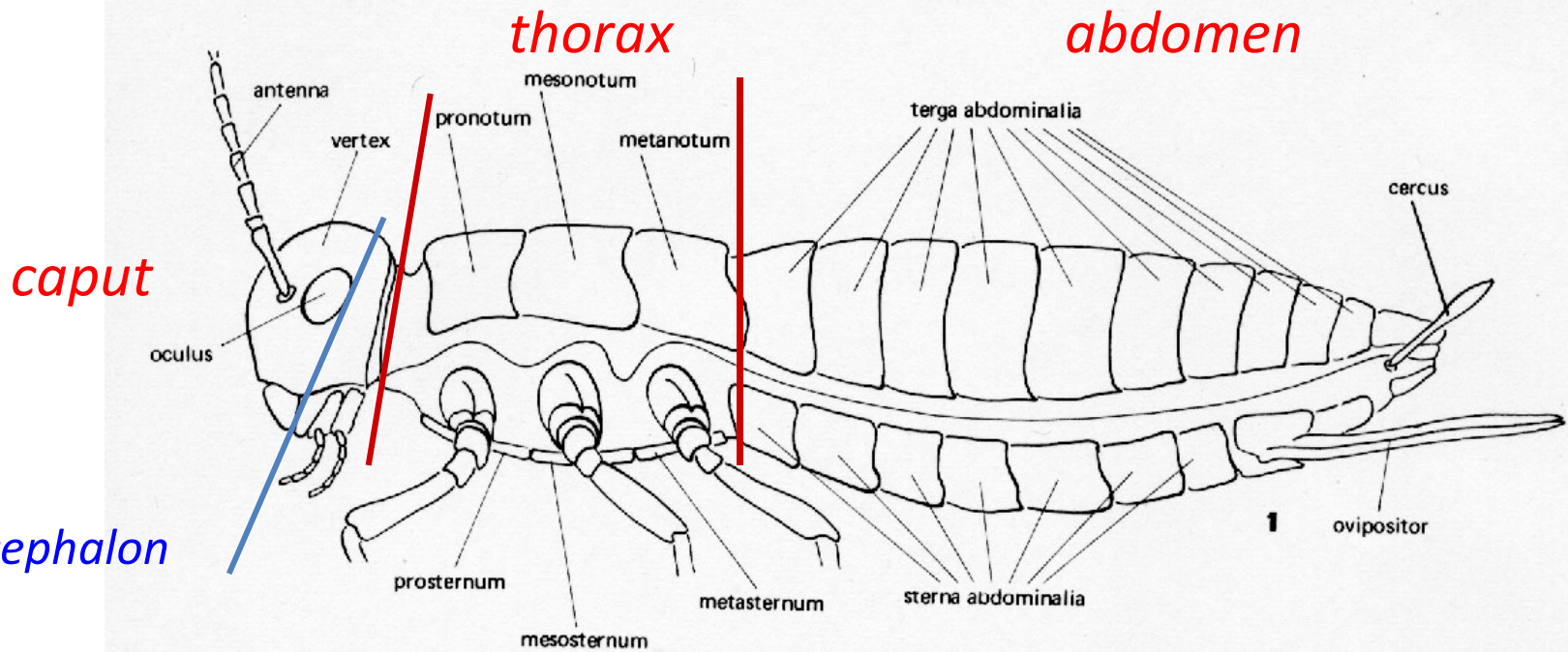


Posteriorní=caudální

Anteriorní=craniální=cephalický

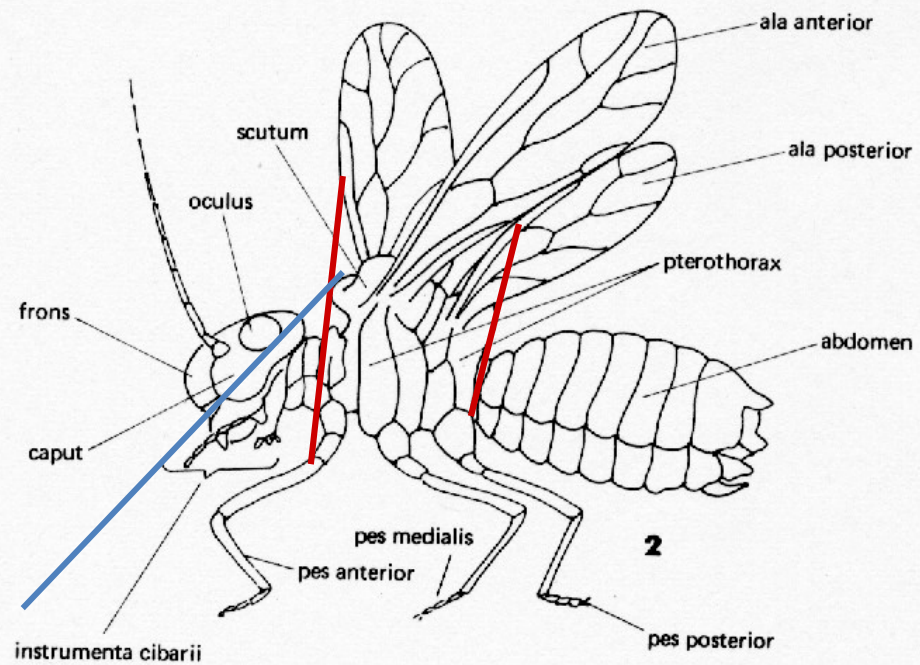
# Základní stavební plán těla hmyzu

- kmen ARTHROPODA, nadtřída HEXAPODA (šestinožci, šestinozí)
- Ideální schéma představující soubor plesiomorfních znaků – **PROTENTOMON** (Paul Mayer)
- jedinečná tagmatizace těla: hlava (původně 6 článků), hrud' (3 články), zadeček (původně 11 článků a telson)
- ústní ústrojí: mandibuly (bez přívěšků), maxilly, 2. pár čelistí srostl ve spodní pysk (*labium*)
- jediný pár tykadel (2. pár přetvořený v labrum)
- hrud' se 3 páry 6-článekovaných končetin sloužícími k pohybu (drápky, pleura s trochantinem, redukce pately)
- redukce/změna končetin na zadečku, ztráta artikulace
- Spojení hlavy s hrudí – cervicalia; flexibilní artikulace přívěšků
- Tělo kryto chlupy, macrotrichiemi (spines, scales) a microtrichiemi



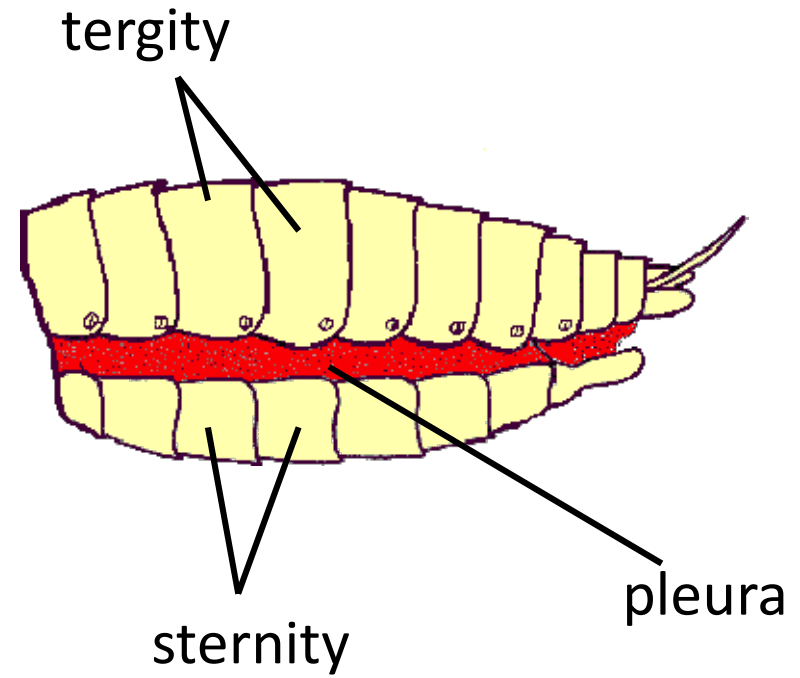
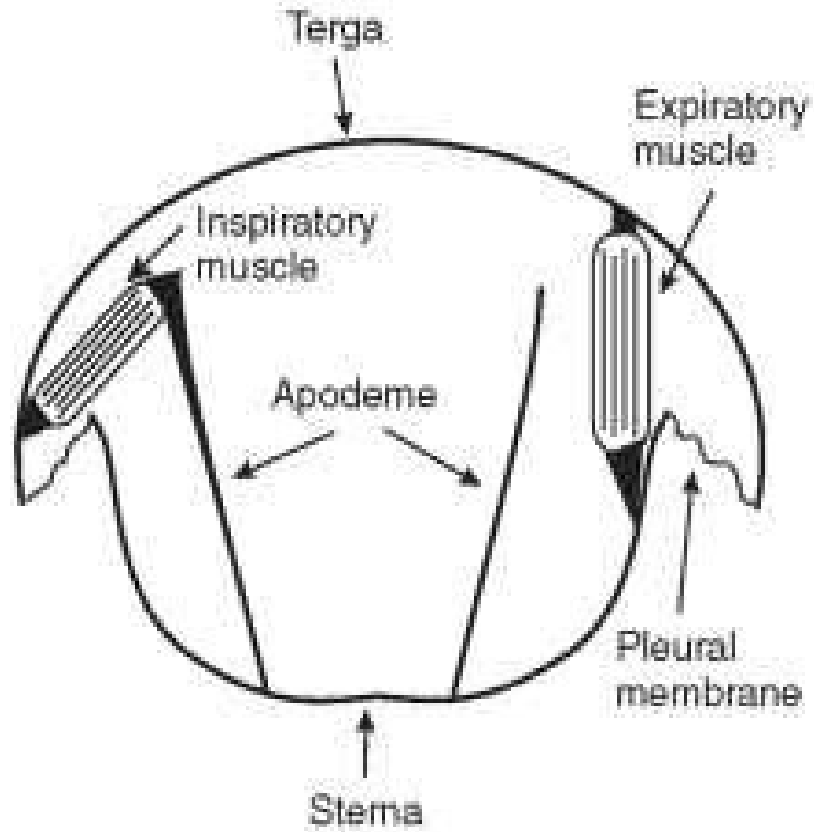
*procephalon*

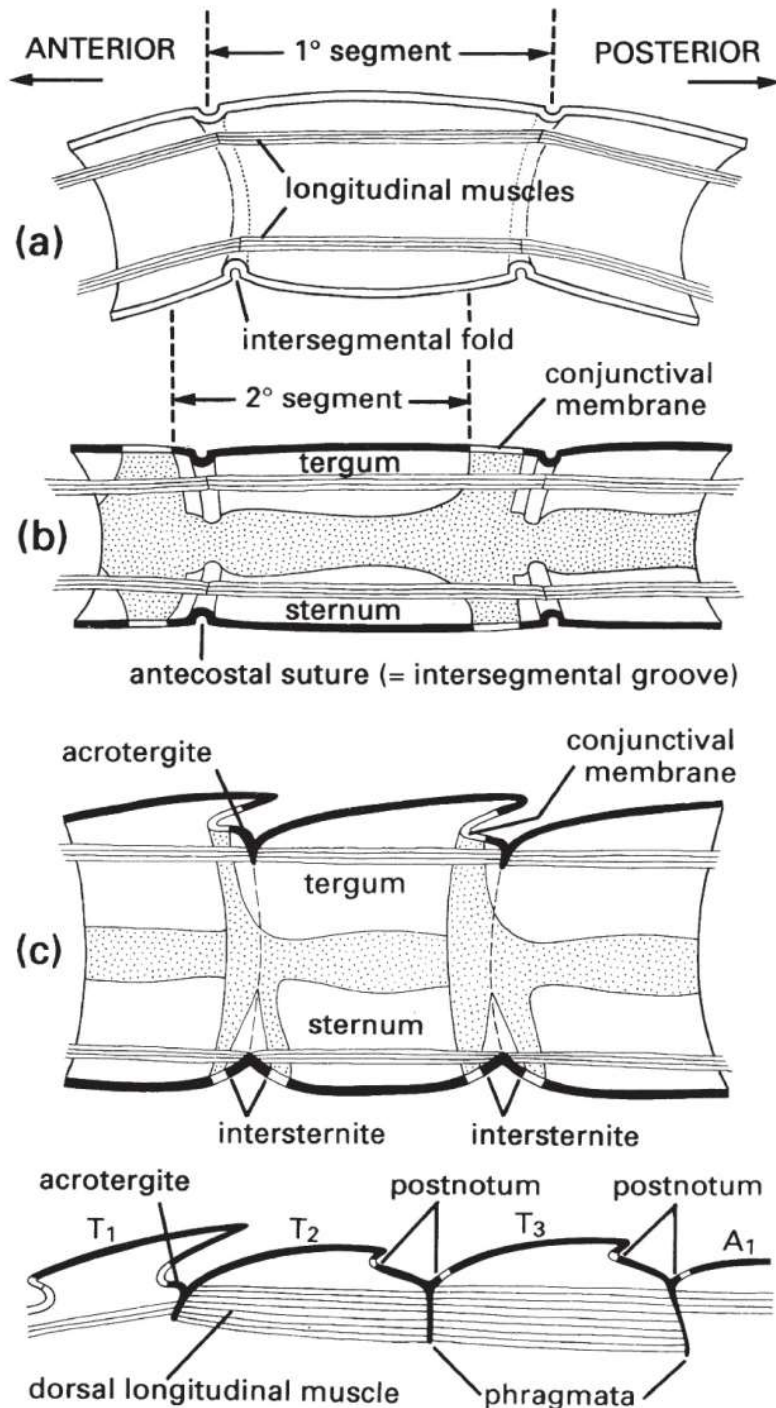
*gnathocephalon*



**Obecné schéma  
těla hmyzu**

# Sklerity





## Primární (metamerická) segmentace

- patrná u larev s nesklerotizovanou kutikulou

## Sekundární segmentace

- každý viditelný segment začíná PŘED hranicí primárního segmentu, naopak konec primárního segmentu NENÍ sklerotizován a vytváří intersegmentální membránu

- antekostální švy, akrotergity a intersternity vytvářejí pevná místa pro upnutí svalů

## Hrud' okřídleného hmyzu

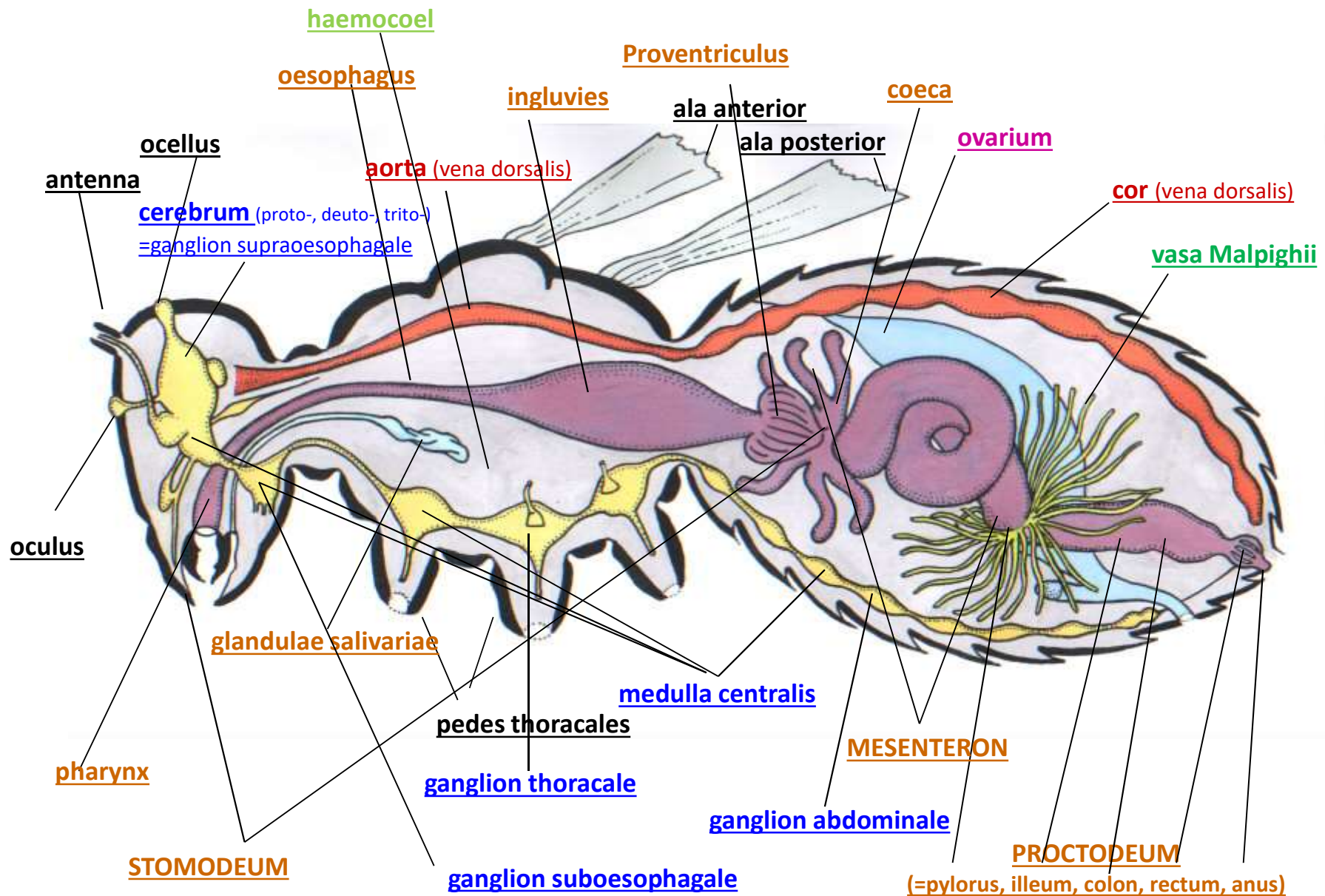
- akrotergity jsou zvětšené a vytváří postnota

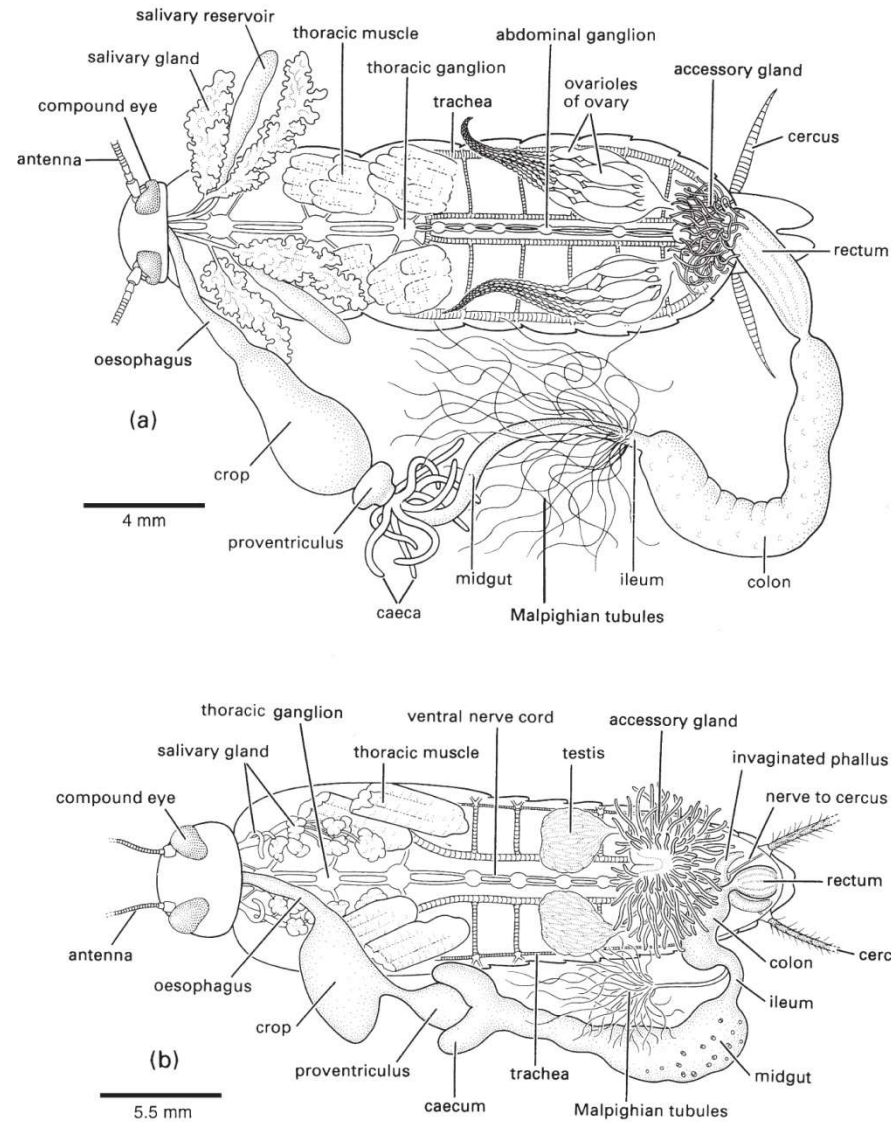


# Základní anatomické schéma protentomonu

- **Trávící s.** - 3 oddíly – stomodeum (EKT), mezenteron (END), proktodeum (EKT)
- **Nervová s.** - mozek (proto-, deuto-, tritocerebrum = g. supraoesophagale), břišní nervová páska (g. suboesophagale, 3 thorakální + 9 abdominálních ganglií)
- **Oběhová s.** – dorzální céva (srdce s ostiemi + aorta)
- **Dýchací s.** - tracheální systém s laterálními stigmaty (spirakuly 2+8)
- **Vylučovací s.** - Malpighiho žlázy (původně 6)
- **Pohlavní s.** – párové testes/ovaria, tvorba vesiculae seminales/spermathecae, nepárový vývod

# Obecné schéma anatomie hmyzu





**Fig. 3.1** Dissections of: (a) a female American cockroach, *Periplaneta americana* (Blattodea: Blattidae); and (b) a male black field cricket, *Teleogryllus commodus* (Orthoptera: Gryllidae). The fat body and most of the tracheae have been removed; most details of the nervous system are not shown.