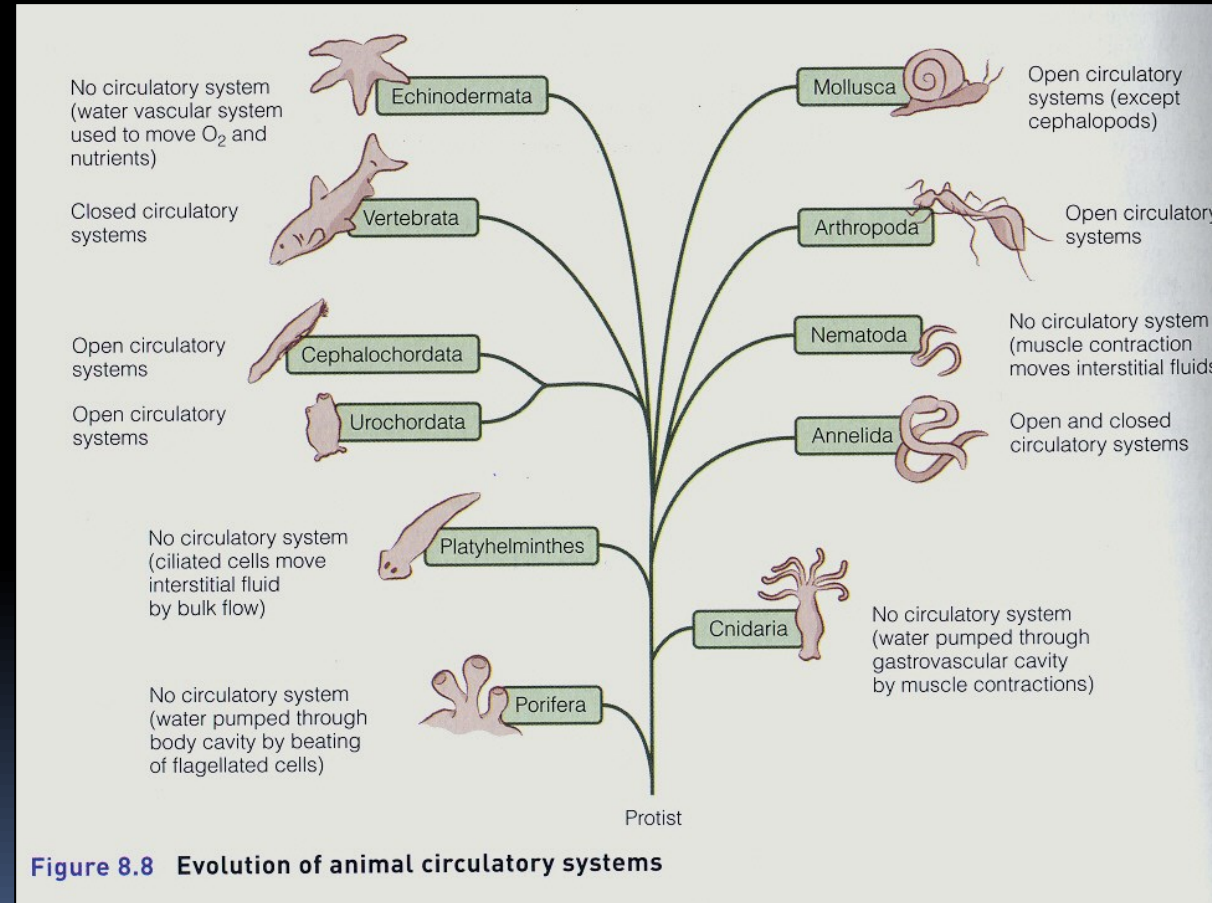


Oběhový systém a imunita

Krev nebo hemolymfa propojuje tkáně vzájemně i s okolním světem - transport, obrana, hydrostatická fce.



Do určité velikosti a aktivity není cirkulace nezbytná. Neexistuje pravá vnitřní tělní tekutina. Bičíky a svaly obstarají výměnu vody v gastrovaskulární dutině.

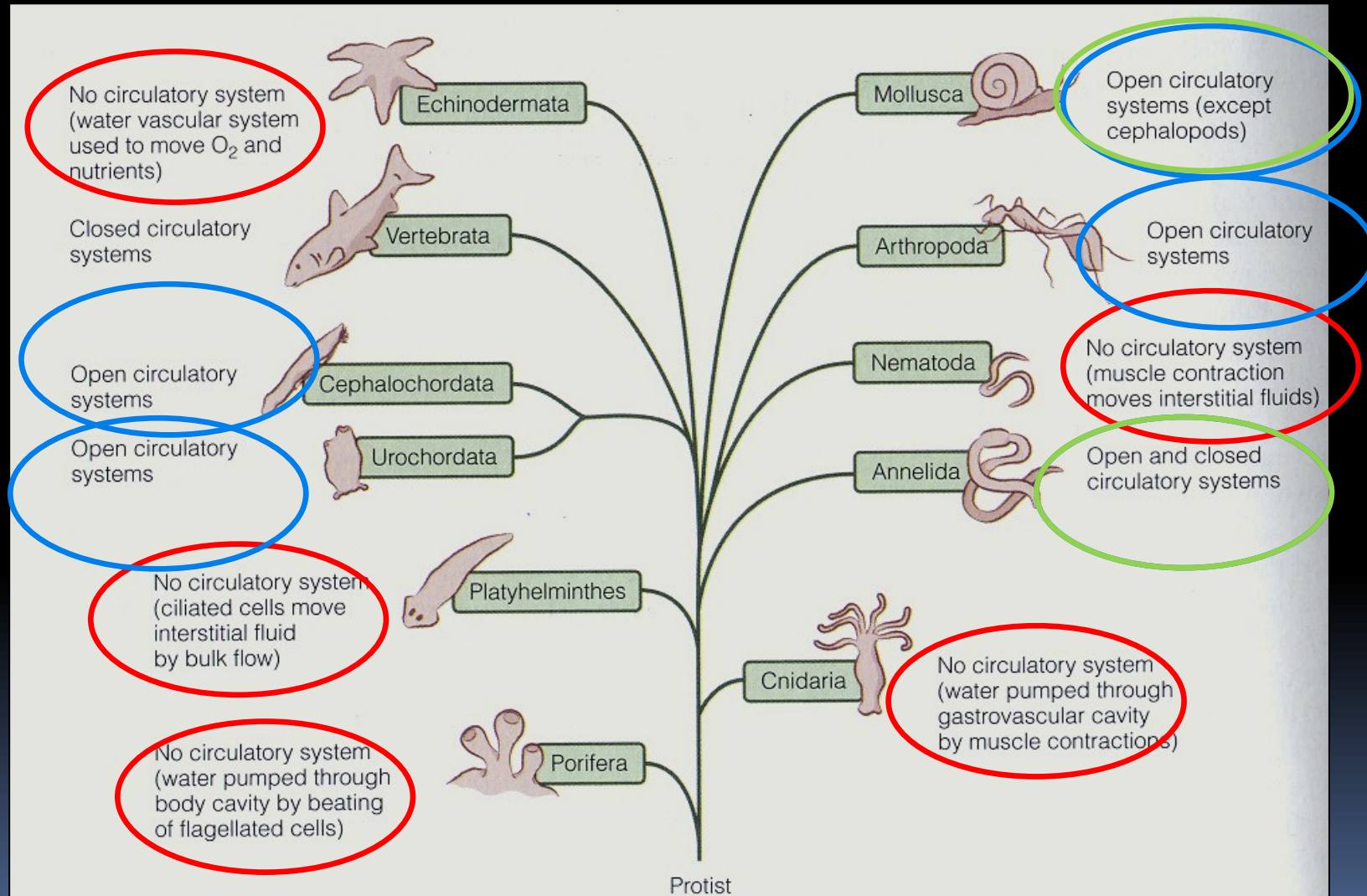


Figure 8.8 Evolution of animal circulatory systems

Do určité velikosti a aktivity není cirkulace nezbytná. Neexistuje pravá vnitřní tělní tekutina. Bičinky a svaly obstarají výměnu vody v gastrovaskulární dutině.

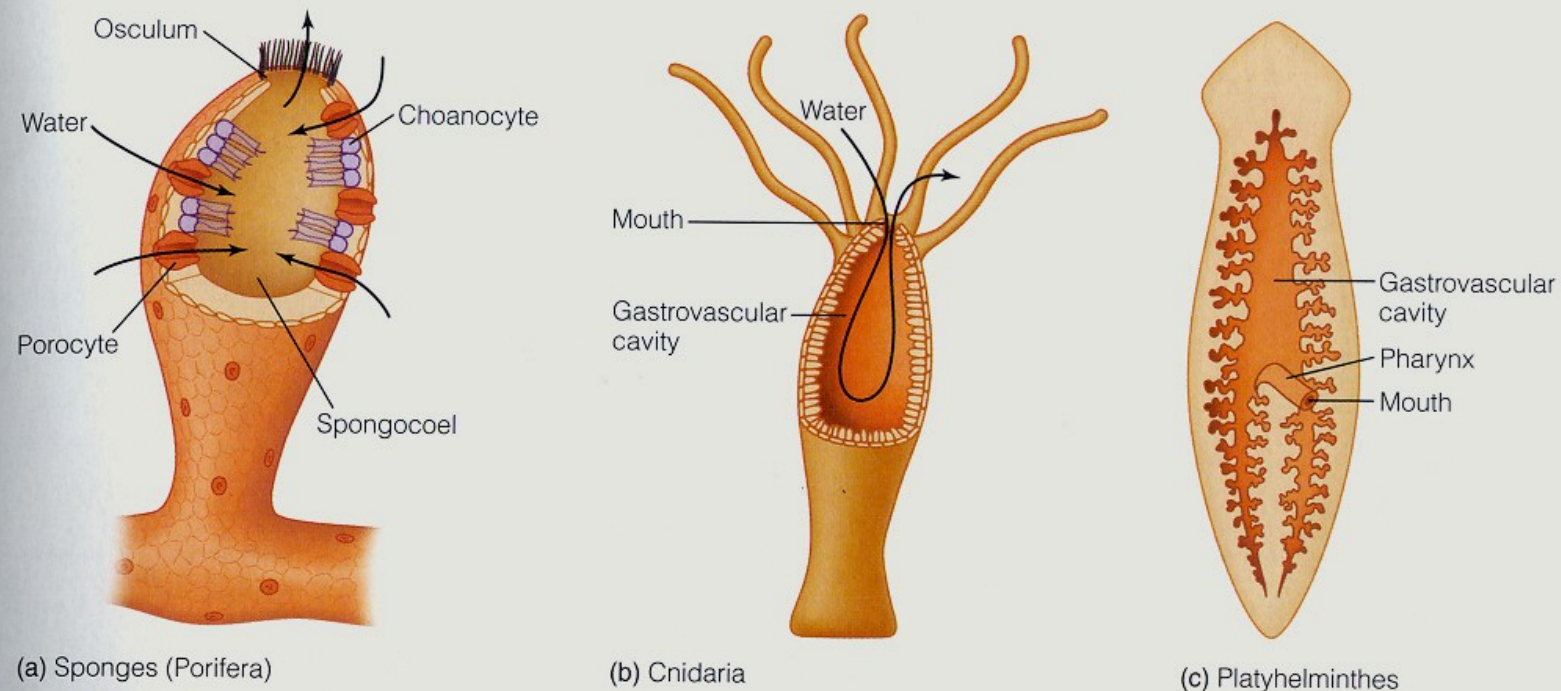
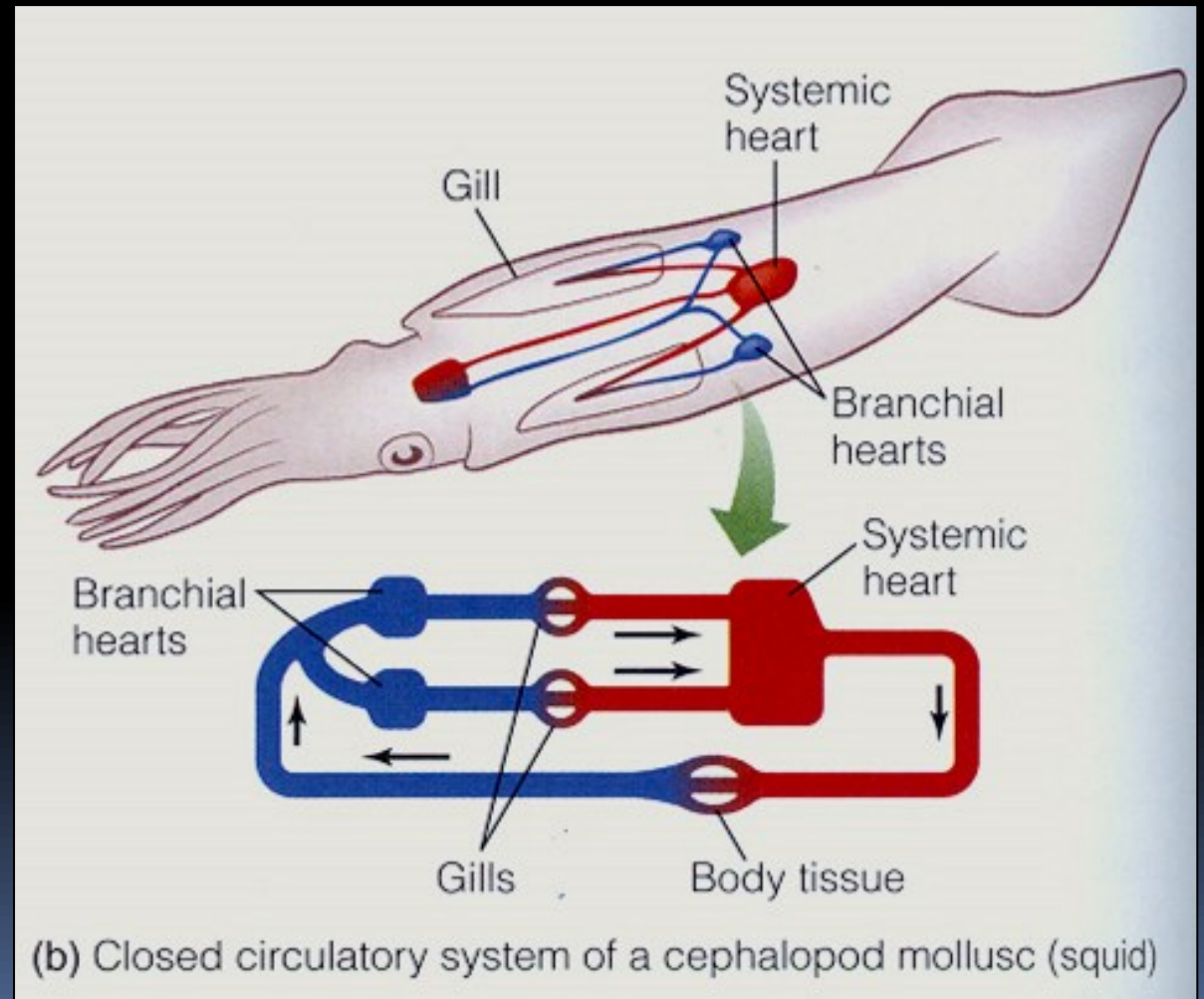
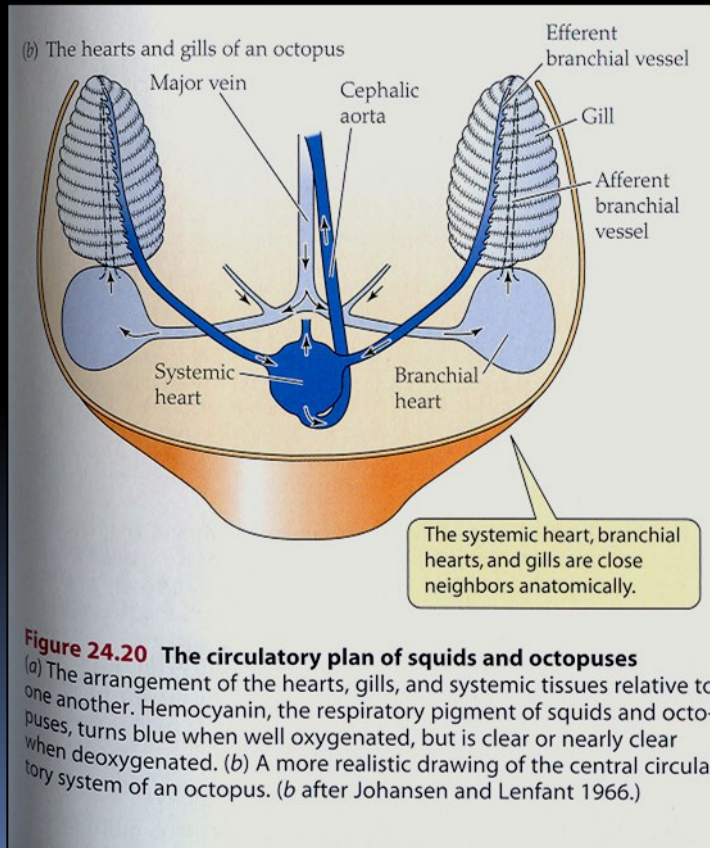


Figure 8.3 Bulk flow in animals that lack circulatory systems (a) The body wall of a sponge is full of pores that lead into an inner cavity called the spongocoel. The beating of flagellated choanocytes propels water through the pores into the spongocoel and out the osculum. (b) Cnidarians use muscular contractions to propel water into the mouth and through the gastrovascular cavity. (c) Platyhelminths and nematodes use contractions of a muscular pharynx to propel fluid through their gastrovascular cavity.

Hlavonožci mají dobře vyvinutý uzavřený cirkulační sst. Jak chobotnice tak sépie mají relativně vysoký krevní tlak – během aktivity až 75 torrů. Stejně jako u obratlovců artérie slouží jako rezervoár kinetické energie při systole a rozepnou se. Struktura elastických bílkovin ve stěnách je však odlišná od obratlovců – jde o nezávislý evoluční znak.

Arteriální systémové srdce a s. pomocná



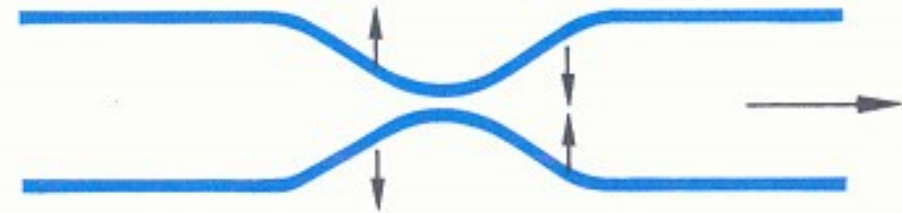
Tři typy pump:

Samotný pohyb krve je možný díky několika fenoménům:

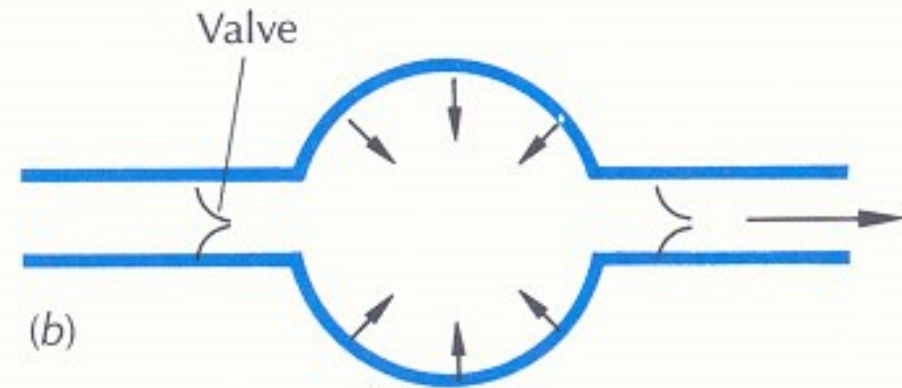
a) **peristaltické kontrakce hladké svaloviny samotných cév.**

b) síla vznikající rytmickými kontrakcemi **komorového srdce s chlopněmi**, návrat z naplněných cév (problém plnění při diastole u otevřených soustav)

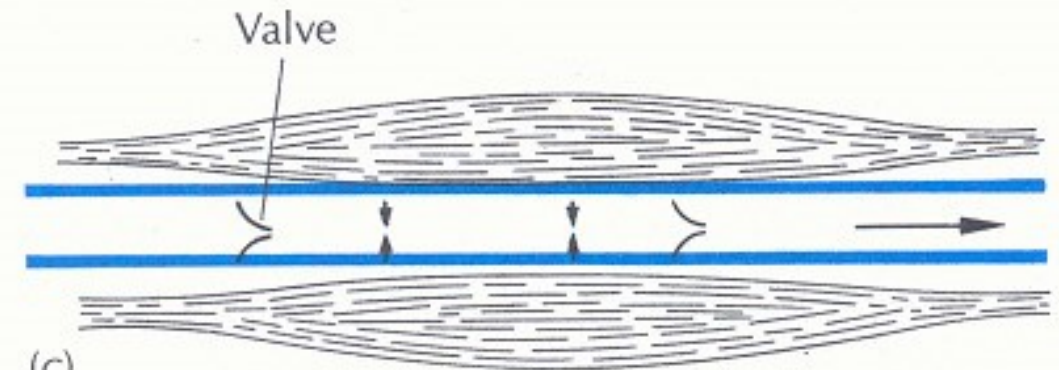
c) **stlačování cév při pohybu kosterních svalů s chlopněmi,**



(a)



(b)

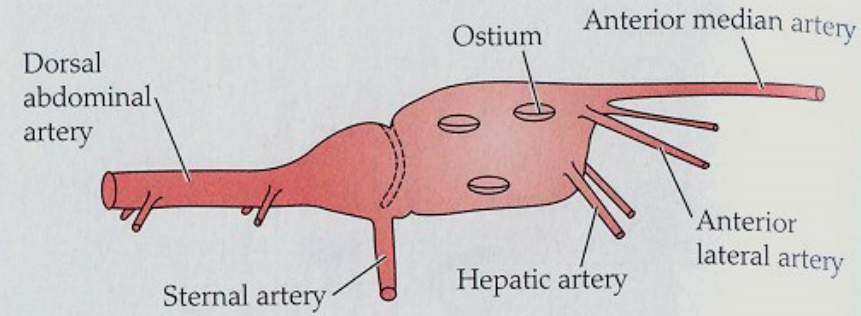


(c)

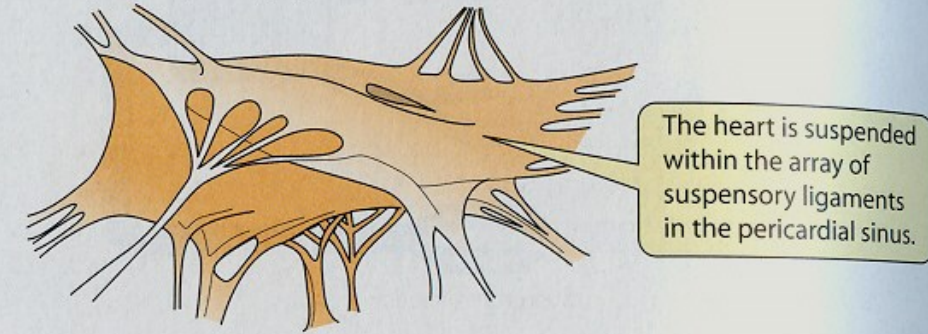
Srdce korýšů (desetinožců)

Srdce má jen tepny (ne žíly).
Krev se nasává podtlakem ostiemi.
Srdce je zavěšeno pomocí pružných vazů v perikardiálním sinu

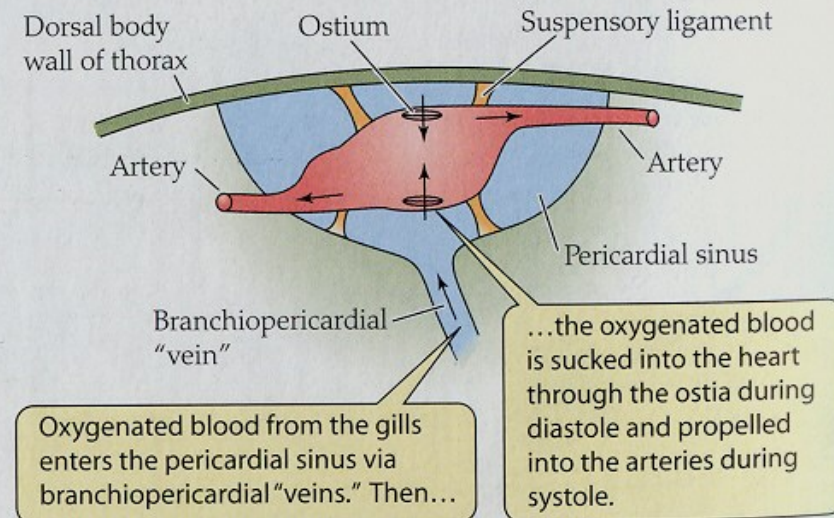
(a) The heart and the arteries emanating from the heart



(b) The array of suspensory ligaments around the heart



(c) Flow of blood through the central circulation



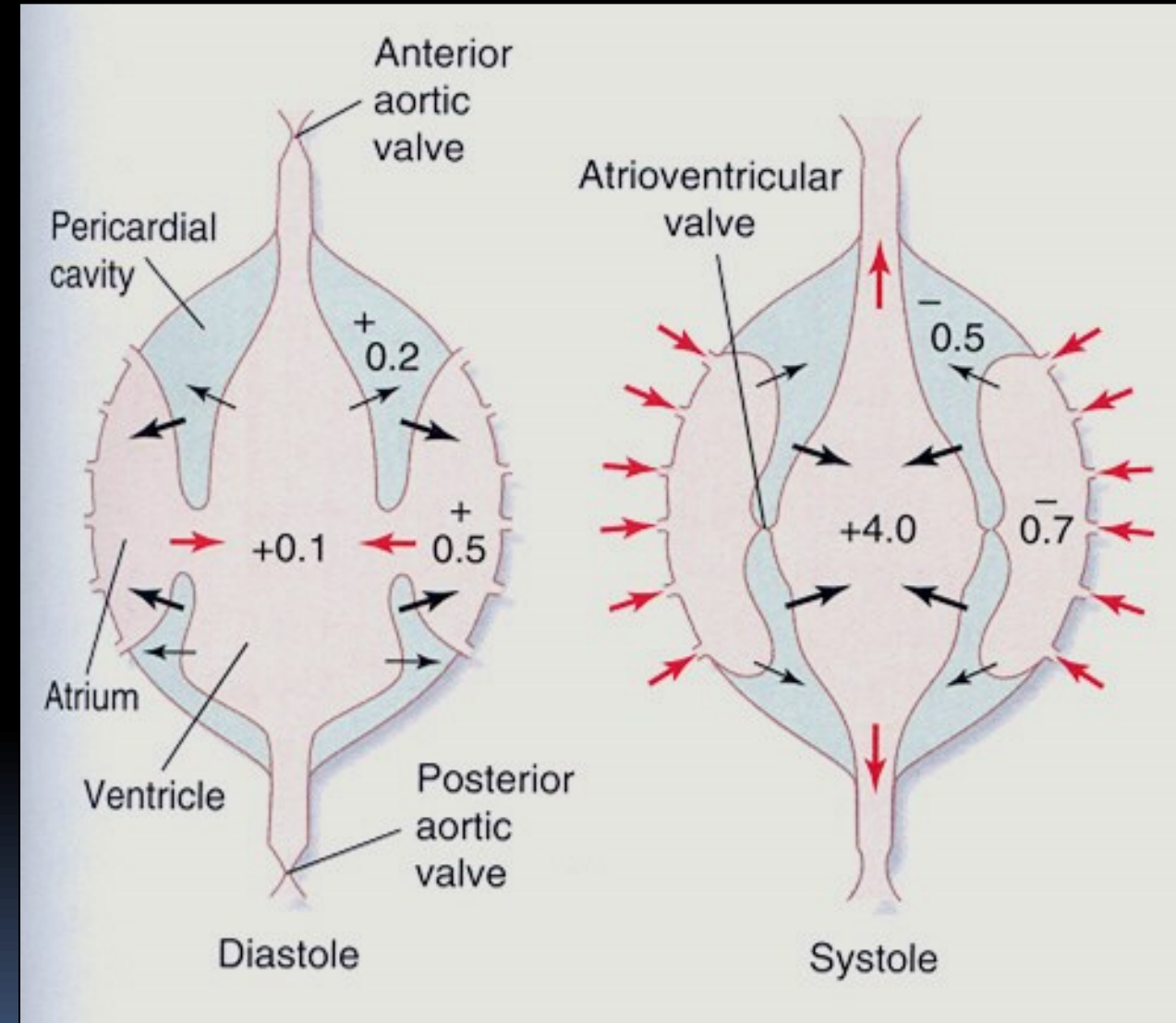
Problém s návratem krve otevřených systémů

Srdce je obklopeno pojivovou membránou zvanou perikard. Tlak v dutině perikardu se mění podle činnosti srdce a velikost oscilací. Závisí jednak na změně objemu srdce, jednak na rigiditě (tuhosti) perikardu. Například u žraloků je perikard tuhý. Podobný najdeme u korýšů a mlžů (Obr. *Anodonta*).

Systola komory pak znamená pokles tlaku v dutině perikardu a vznik podtlaku působí roztažení předsíní a usnadňuje žilný návrat krve. Takto je energie komorové systoly využito dvakrát.



Velevrub *Anodonta*



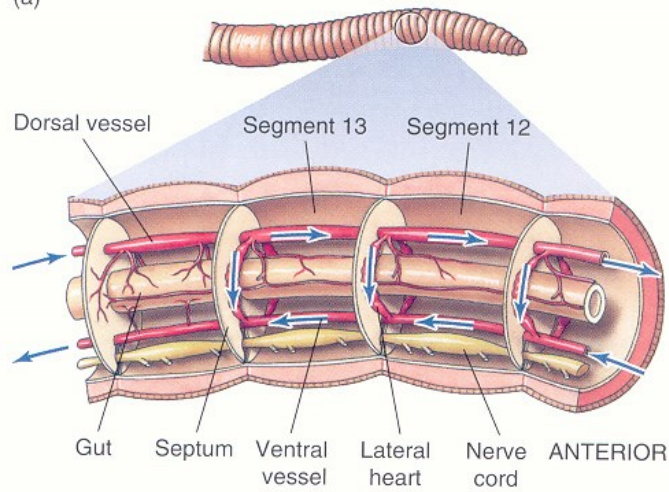
Otevřené a uzavřené sst.

- 1) Rozdíl mezi systolickým a diastolickým tlakem je malý.
- 2) Periferní odpor je malý, s čímž souvisí i malá intenzita srdeční činnosti (výkon srdce).
- 3) Krev neproudí plynule.
- 4) Podmínky výměny látek s tkáněmi jsou horší vzhledem k menší ploše styku hemolymfy s tkáněmi.
- 5) Transportní mechanismus je sice méně energeticky náročný, je však také méně výkonný.
- 6) Omezená možnost regulace prokrvení a tlaku,
- 7) Mísí se krev nesoucí živiny a kyslík s metabolity

Hemocél leží mezi ekto a entodermem a může zabírat až 40% tělesného objemu. Tlak je malý – asi jen 5-10 Torrů. Vyšší tlak nepř u Helix nebo mlžů je výjimečný. Někdy je tvořen činností srdce, ale u mlžů spíše tlakem svaloviny nohy. Všeobecně mají zvířata s otevřeným systémem limitované možnosti měnit intenzitu průtoku a distribuci krve do různých částí těla. Důsledkem je poměrně malá účinnost výměny kyslíku.

Nicméně krabi, humři, langusty mají také už možnost kontroly nad srdečním výkonem a distribucí krve a dosahují vysokých metabolických výkonů.

(a)



Otevřené a uzavřené sst.

Closed systems	Open systems
Usually high-pressure systems	Usually low-pressure systems
High pressure requires high peripheral resistance	Sustained pressure possible
High pressure sustained between heartbeats, requires elastic walls	Similar to closed systems
Blood conveyed directly to organs	Distribution of blood less readily regulated
Distribution to different organs well regulated	Blood return to heart often slow
Blood return to heart rapid	

Table 3.1 Major characteristics of closed and open circulatory systems.

Figure 12-1 In the giant earthworm (*Megascolides australis*), peristaltic contractions of the dorsal vessel and pumping by the lateral hearts are both important in moving blood. **(a)** Blood flows from the dorsal vessel into the lateral hearts, present in the 13 anterior segments, and then is pumped into the ventral vessel. **(b)** Peak blood pressure in the dorsal vessel is about twice as high as in the ventral vessel owing to peristaltic contractions. [Adapted from Jones et al., 1994.]

Konkrétně: Otevřené a uzavřené oběhové soustavy – srovnání. Výkon +/- stejný, jiné řešení. Podobný rozvod kyslíku, 3x rychlejší proudění, rychlejší frekvence, menší rozdíly tlaků a systémový odpor, větší venózní tlak, ale menší kapacita přenosu – díky krevním barvivům.

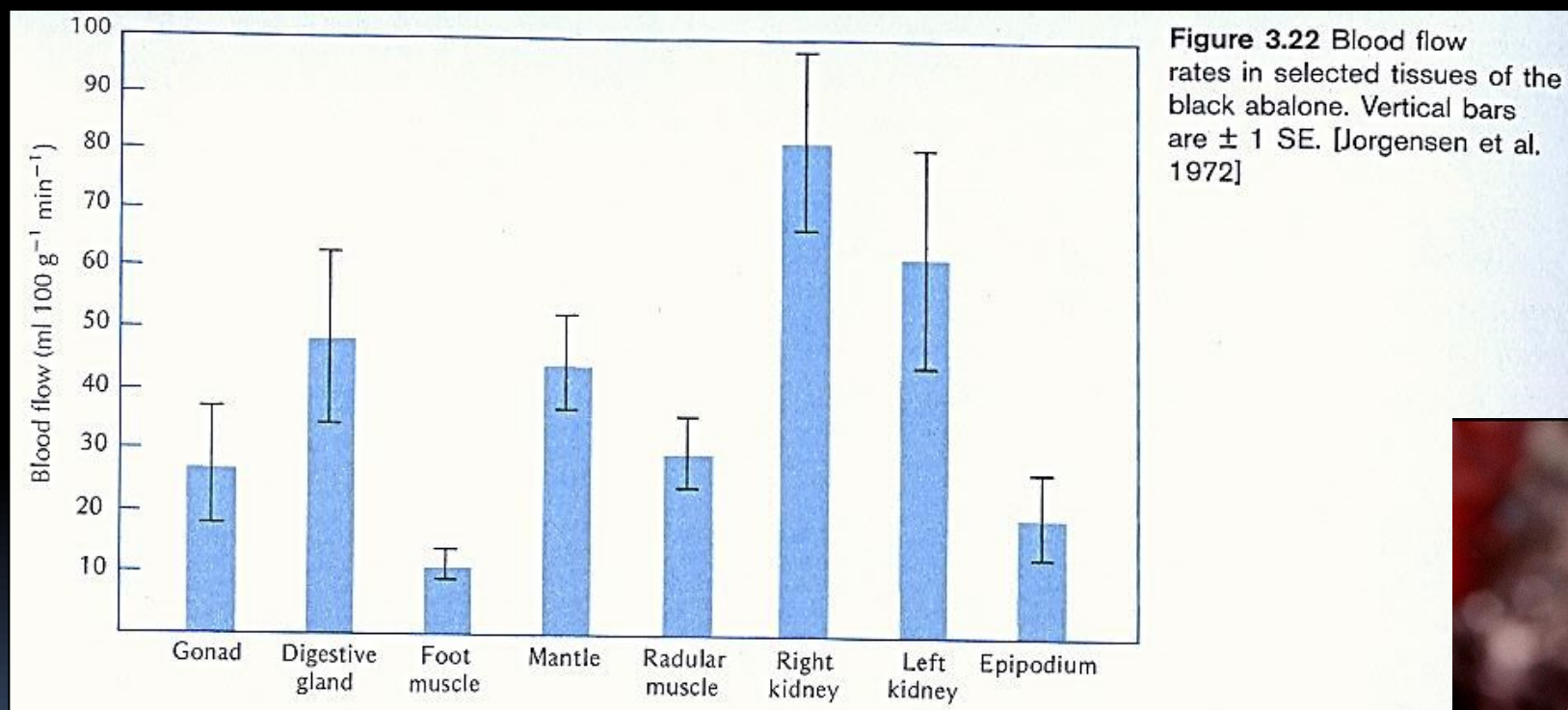
TABLE 24.2 Systemic circulatory function in two decapod crustaceans and two fish of similar body sizes

Characteristics of circulatory function	Spiny lobster (<i>Panulirus interruptus</i>)	Rock crab ^a (<i>Cancer productus</i>)	Starry flounder (<i>Platichthys stellatus</i>)	Rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
Principal features of circulatory function				
Rate of O ₂ delivery to tissues (mL O ₂ /kg·min) ^b	0.80	0.60	0.46	0.65
Rate of blood flow through systemic circuit (mL blood/kg·min) ^c	128–148	125	39	18
Pressure change to perfuse systemic circuit (mm Hg) ^d	14	3	16	22
Systemic resistance (pressure change divided by flow rate) ^e	0.1	0.03	0.4	1.2
Secondary information				
Heart rate (beats/min)	65	101	35	63
Stroke volume (mL/kg·stroke)	2.1	1.2	1.2	0.3
Blood pressure in major systemic arteries (mm Hg) ^d	35	10	18	26
Blood pressure in major systemic veins or venous sinuses (mm Hg) ^d	21	7	2	4
Blood oxygen-carrying capacity (vol %)	2.0	1.3	5.7	7.8
Temperature during studies (°C)	16	12–16	8–11	9–15
Body weight (g)	515	~370	684	~210



Menší možnost regulace prokrvení, ale i u otevřených cévních systémů je možná jistá prostorová a časová regulace prokrvení lakunárními kanály.

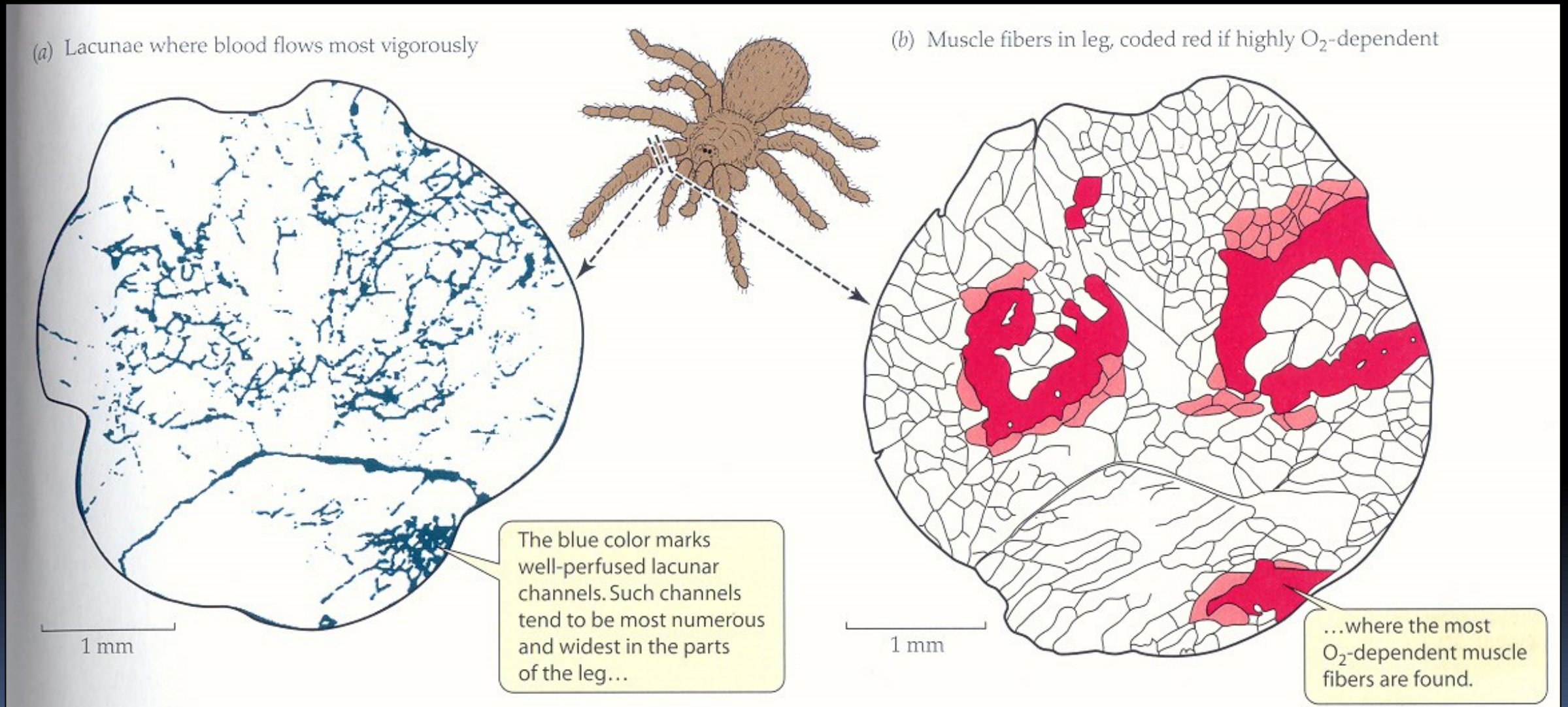
Různě metabolicky aktivní tkáně dostávají na jednotku hmotnosti různý podíl cirkulující hemolymfy. Takže není proporční hmotnosti, ale spotřebě kyslíku



Různé tkáně dostávají různý průtok - Ušeň černá



I v otevřených systémech existuje systém lakun vedoucích krev především do míst s největší metabolickou potřebou.



Noha tarantule, hemocyanin (vlevo) produkce ATP (vpravo)

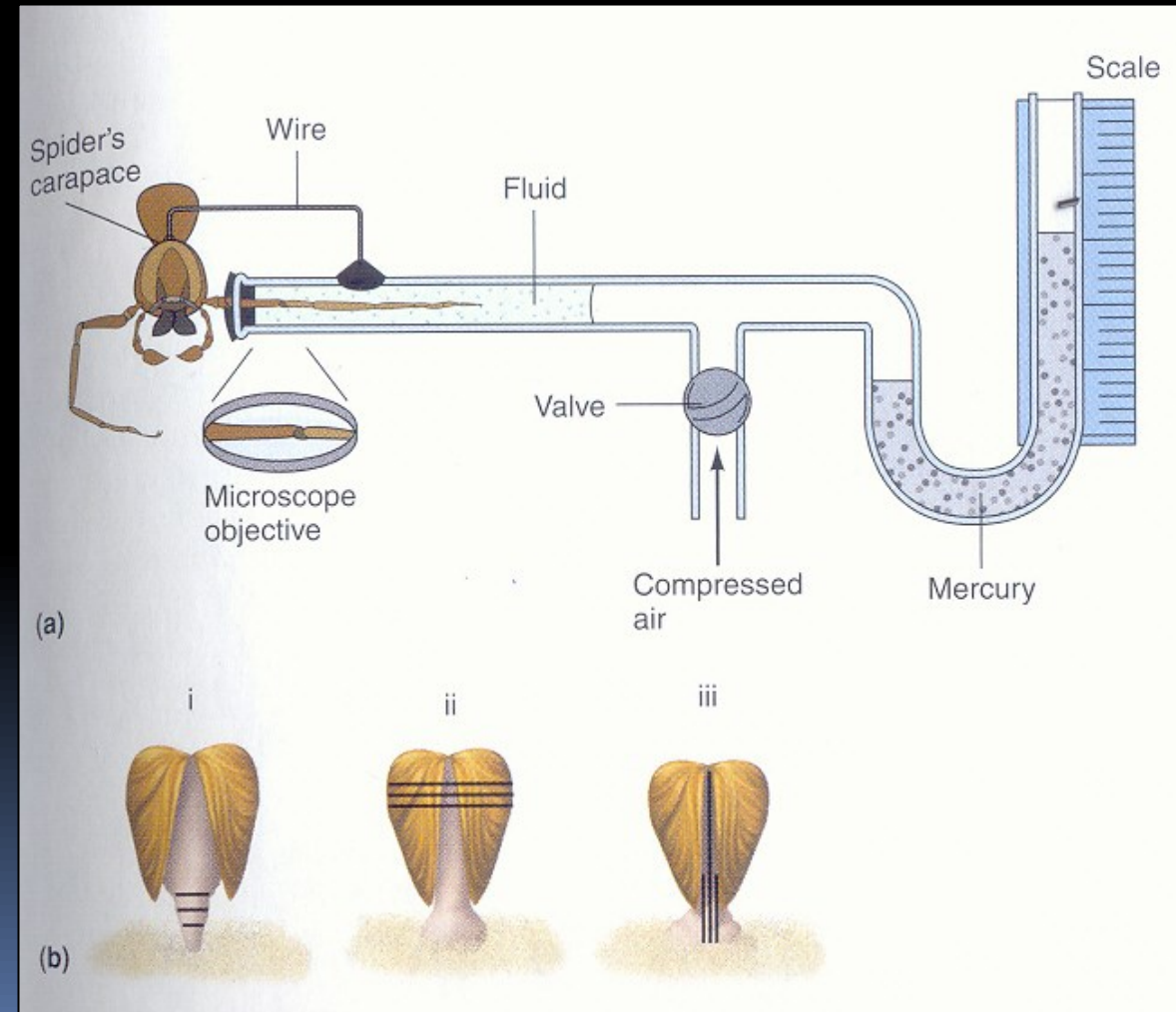
Tlak hemolymfy

U pavouků a štírů je oběh podobný hmyzu, ale může mít větší roli při dýchání. Hemolymfa štírů může obsahovat hemocyanin a obě skupiny mají jasně definované plíce promývané hemolymfou.

U pavouků vedou do nohou samostatné artérie, protože relativně vysoký krevní tlak je důležitý pro lokomoci. Pavoučí nohy nemají extenzorové svaly, takže tlak hemolymfy působí natažení nohou. U skákavek dosahuje tlak hemolymfy impresivních 400 Torrů.



Využití tlaku hemolymfy pro pohyb těla.
Pavouk v klidu 5 Torr, 45 po stimulaci.
Zakotvení mlže
Expanze těla hmyzu



Tlak hemolymfy

U obrovské žížaly *Megascolides australis* (dlouhé až 6m) peristaltické kontrakce hřbetní cévy ženou krev do hlavového konce a plní sérii laterálních srdcí pumpujících krev do cévy břišní. Prvních 13 segmentů těla má mnohem výraznější cirkulaci než zbytek těla, který nemá laterální srdce. Díky hřbetní peristaltice je tlak v hřbetní cévě mnohem výraznější než v břišní.

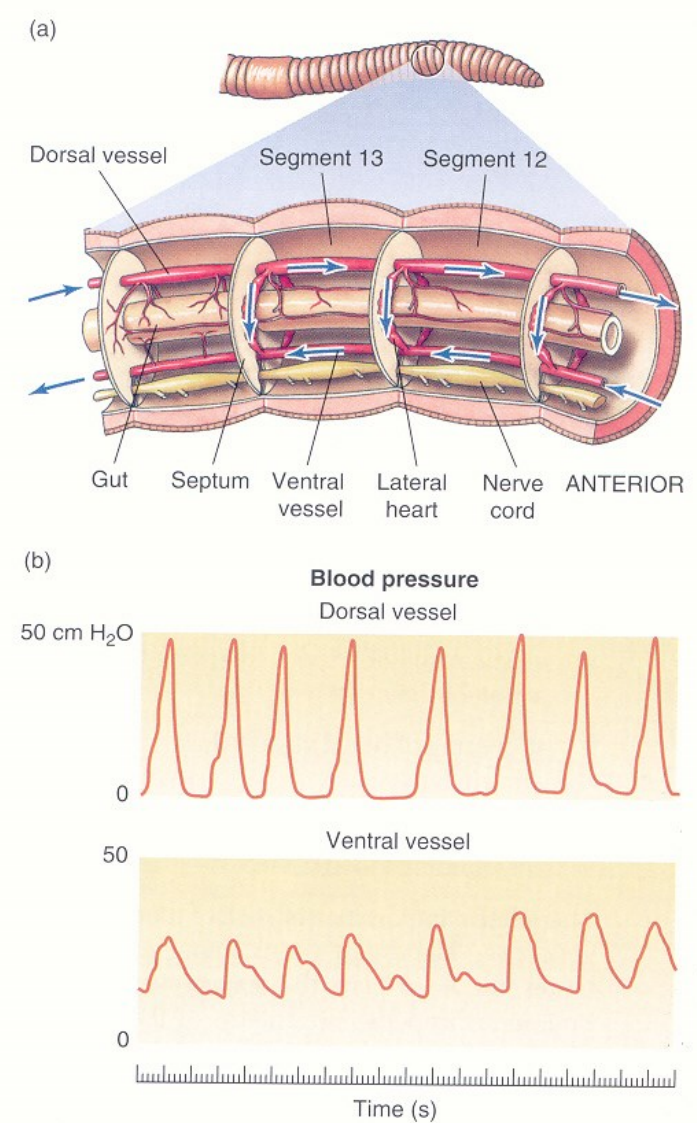
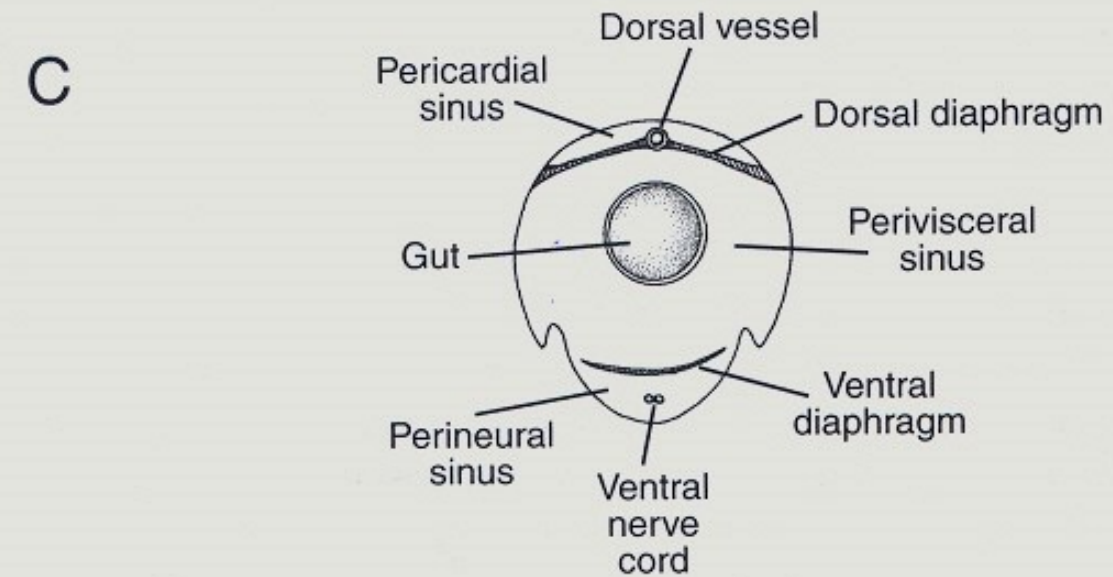
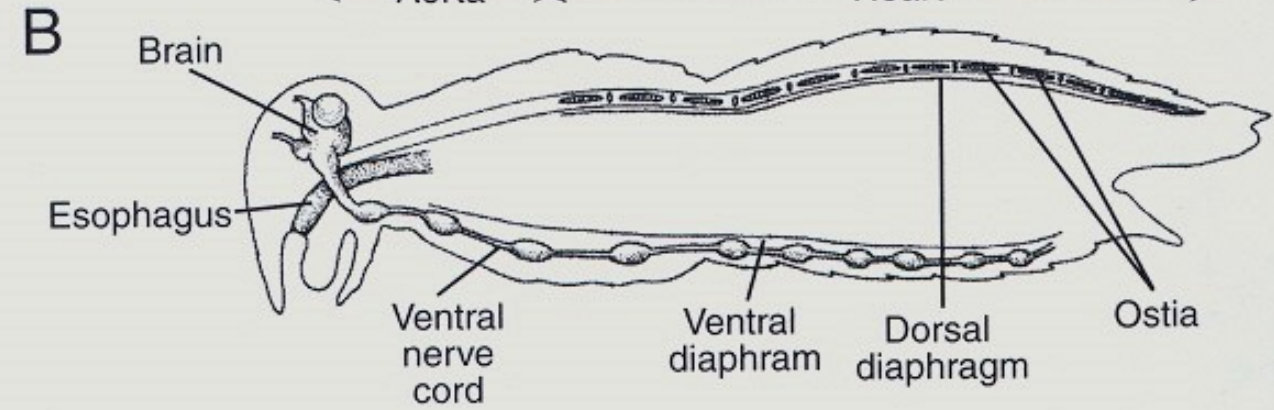
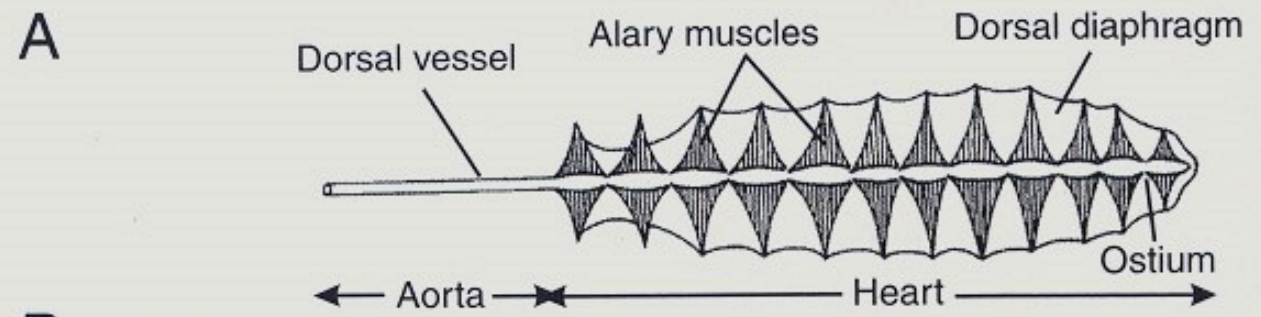


Figure 12-1 In the giant earthworm (*Megascolides australis*), peristaltic contractions of the dorsal vessel and pumping by the lateral hearts are both important in moving blood. (a) Blood flows from the dorsal vessel into the lateral hearts, present in the 13 anterior segments, and then is pumped into the ventral vessel. (b) Peak blood pressure in the dorsal vessel is about twice as high as in the ventral vessel owing to peristaltic contractions. [Adapted from Jones et al., 1994.]

Oběh hmyzu:
Septa (diafragmy), siny,
pomocná srdce.

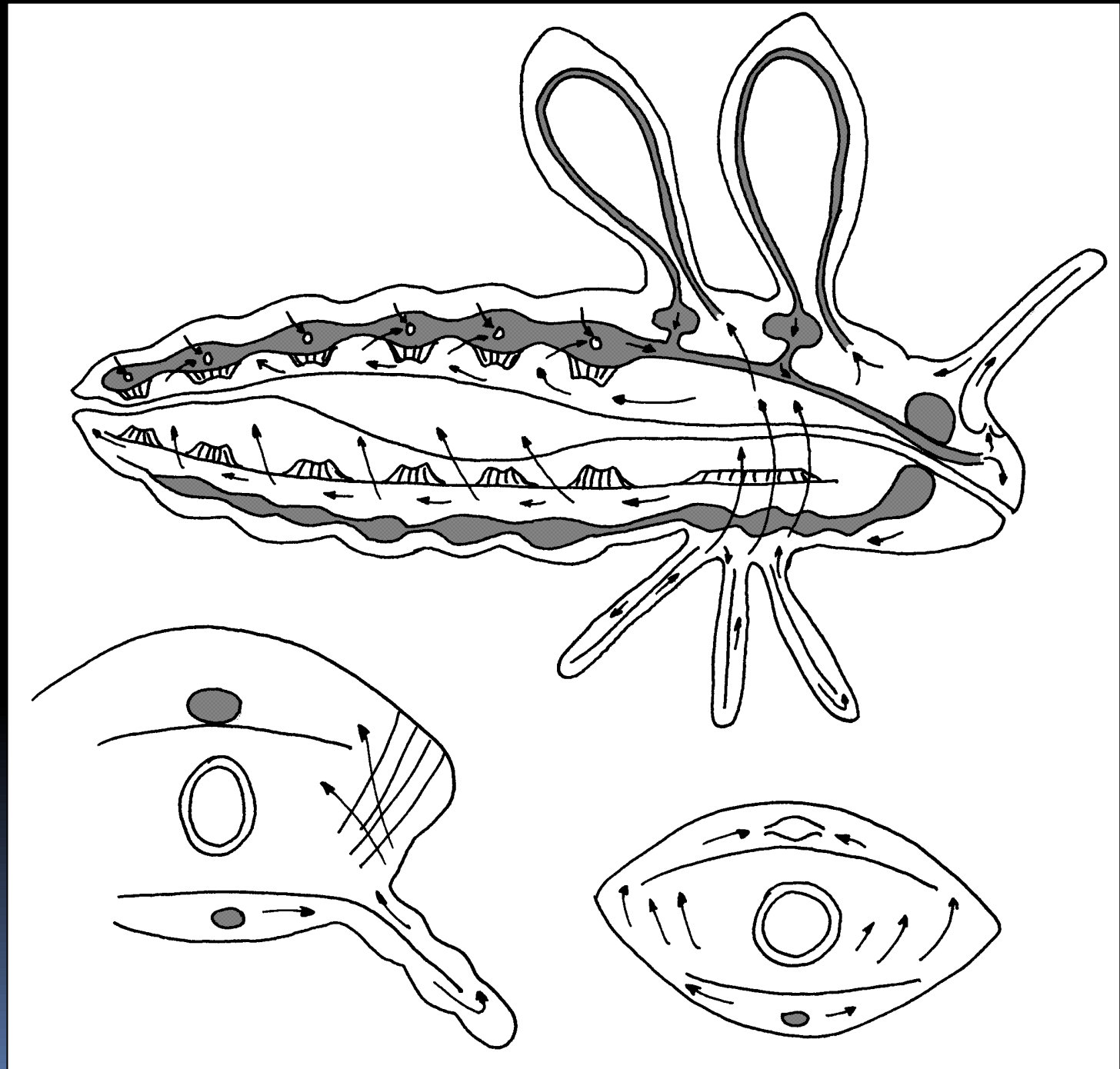


Oběh hmyzu:
septa, siny, pomocná srdce.

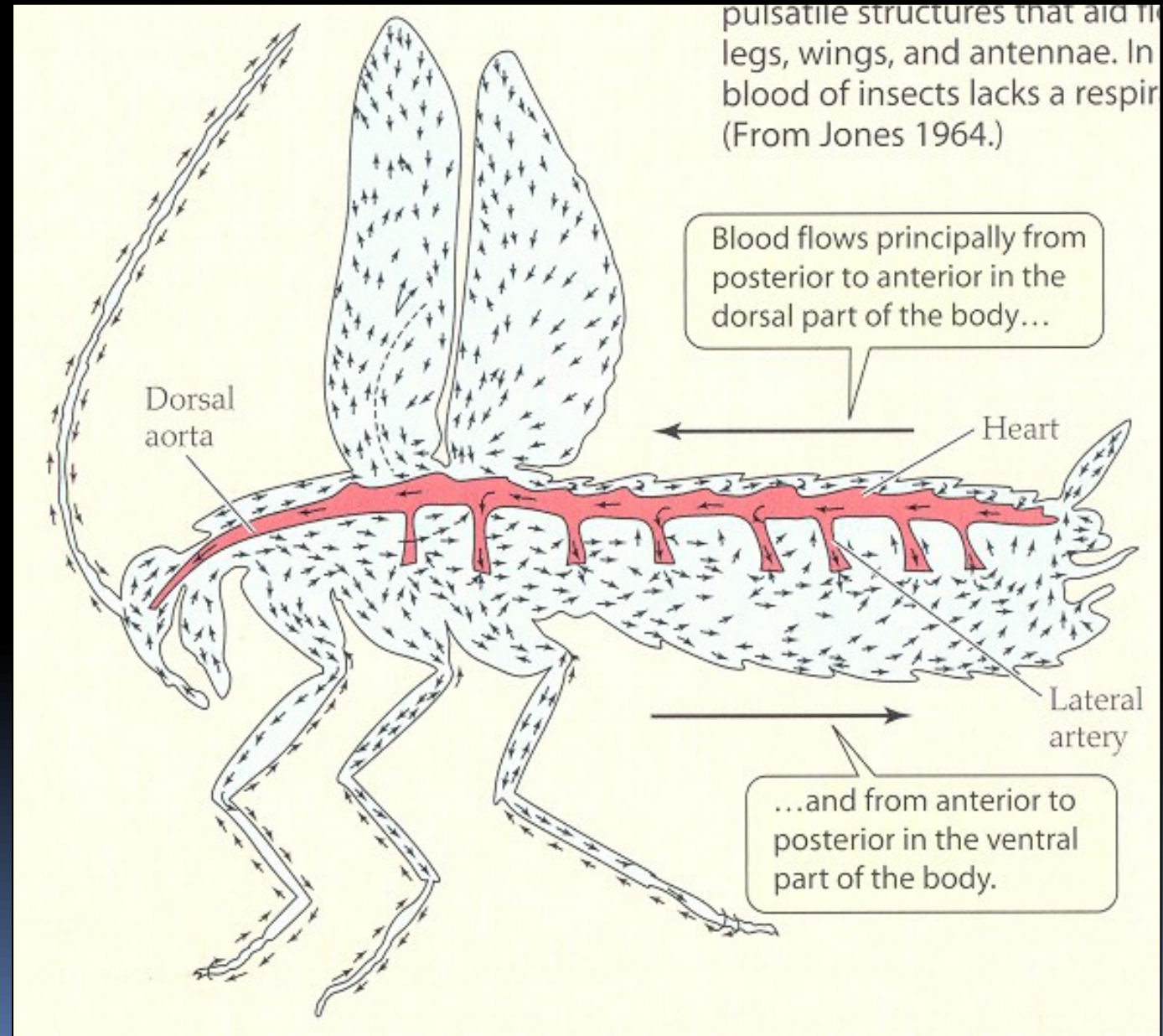
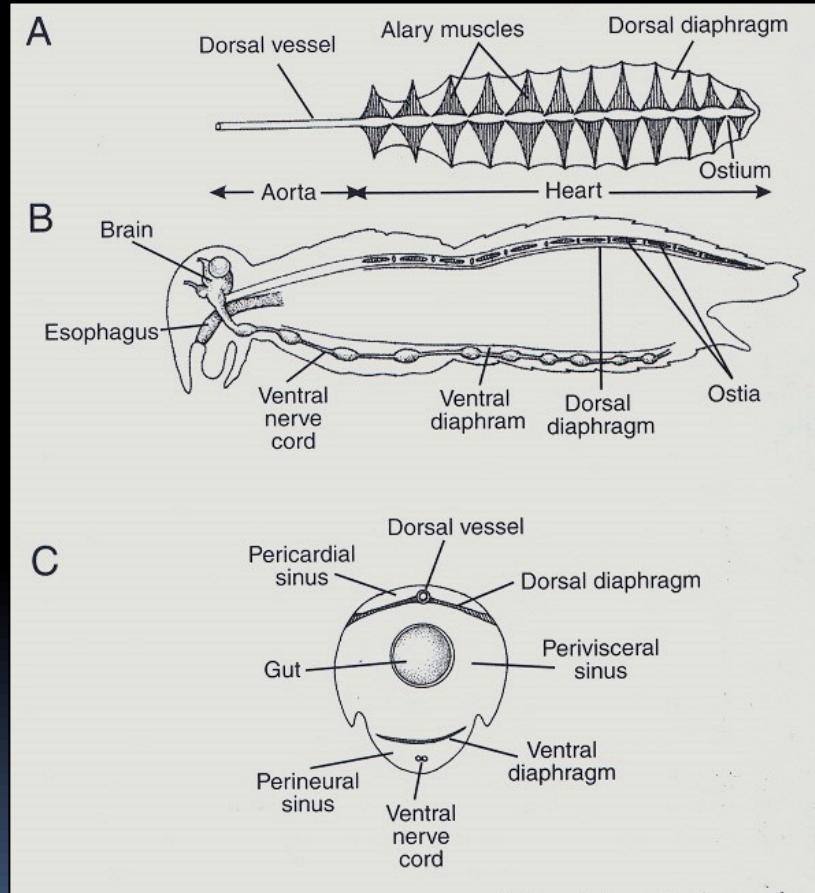
Po průchodu kolem mozku nad jícnem (oesophagem) aorta náhle končí a předává hemolymfu do tělní dutiny, přes sinus, který probíhá za mozkem podél eosophagu.

Tykadla a končetiny jsou často rozděleny podélnou membránou - septem, přičemž krev přichází do tykadla nebo končetiny na jedné straně a opouští ji na druhé straně septa.

Mimoto břišní dutina některých druhů hmyzu je rozdělena dvěma horizontálními septy (dorzálním a ventrálním) na tři části – siny: perikardiální, perineurální (zahrnující břišní nervovou pásku a viscerální).



Hemolymfa proudí ho hlavové části dorzální stranou a vrací se zpět ventrální stranou těla.



Septa vstupují i do končetin, pomocná srdce na bázi nohou pomáhají prokrvit a řízení směru průtoku je řízeno pomocí chlopní.

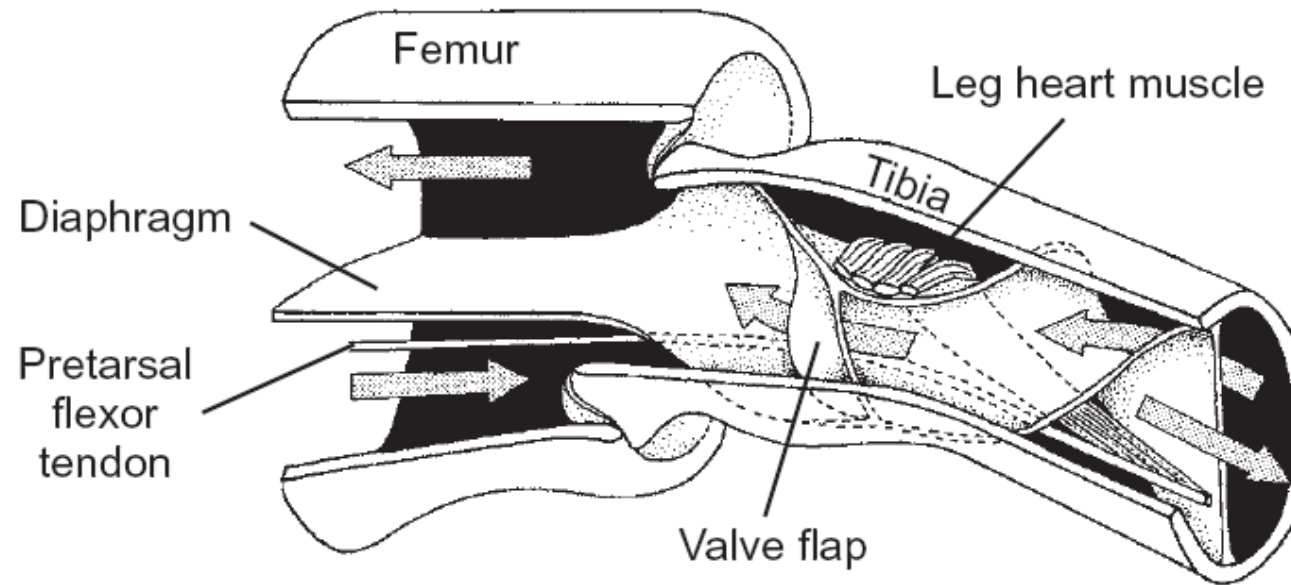


FIGURE 7.5. An accessory pulsatile organ in the insect leg. Arrows show the direction of hemolymph flow. From Hantschk (1991). Reprinted with permission.

Problémem otevřené cévní soustavy je dostatečné zásobení slepých výběžků. K tomu slouží přídatné pulzatické orgány. Na bázi nohou pumpují hemolymfu z perineurálního sinu do perikardiálního.

Pomocná srdce na bázi tykadel.

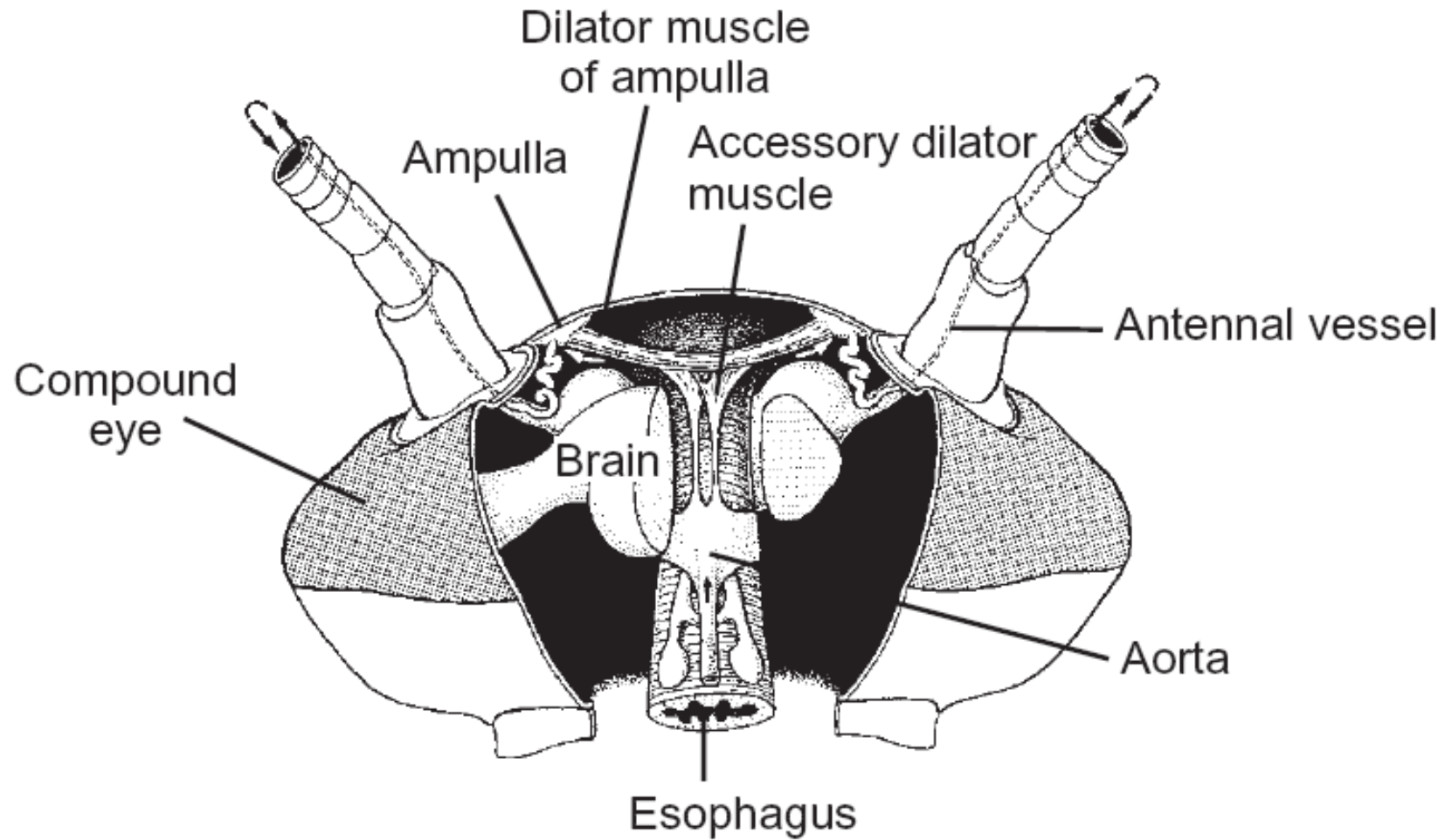
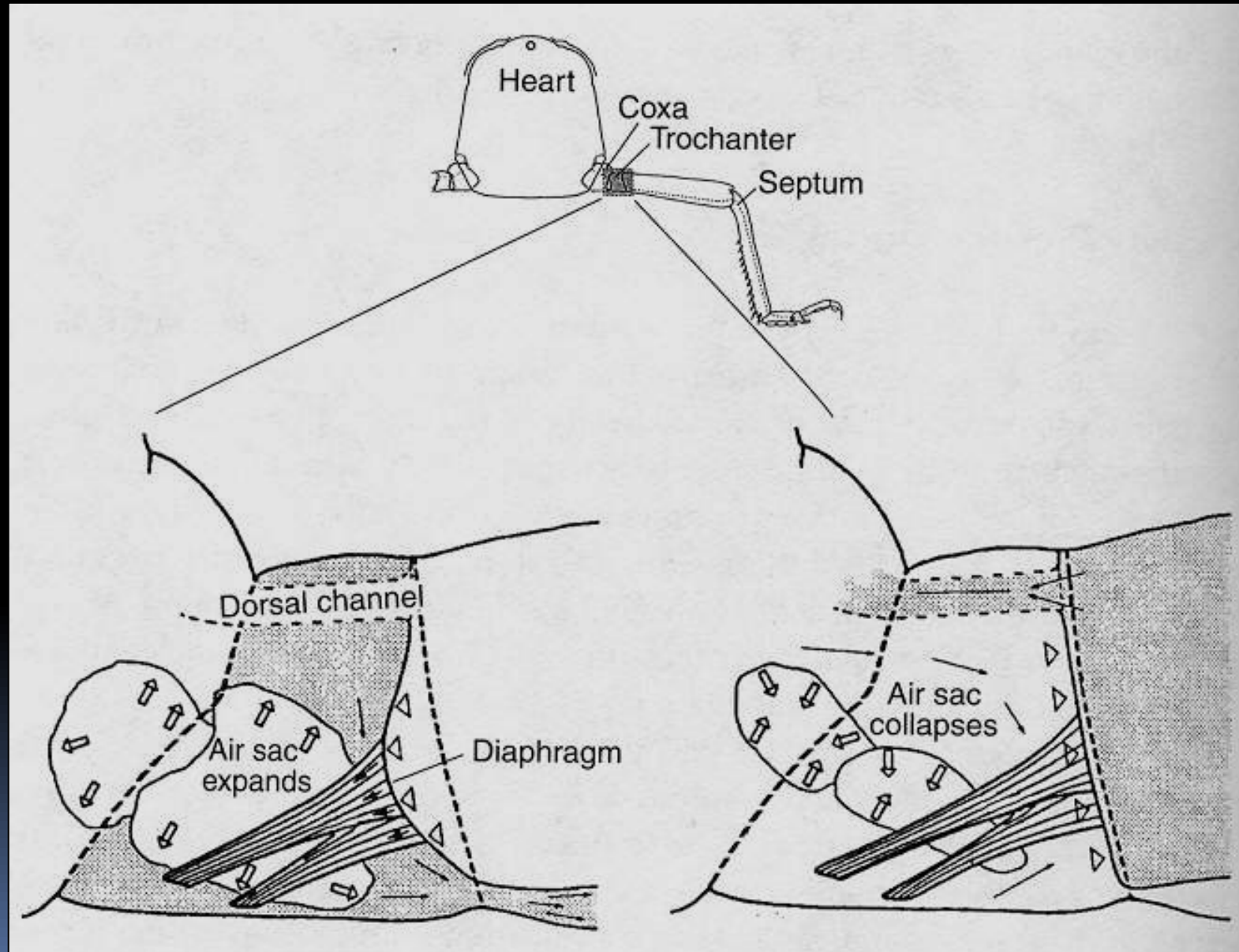
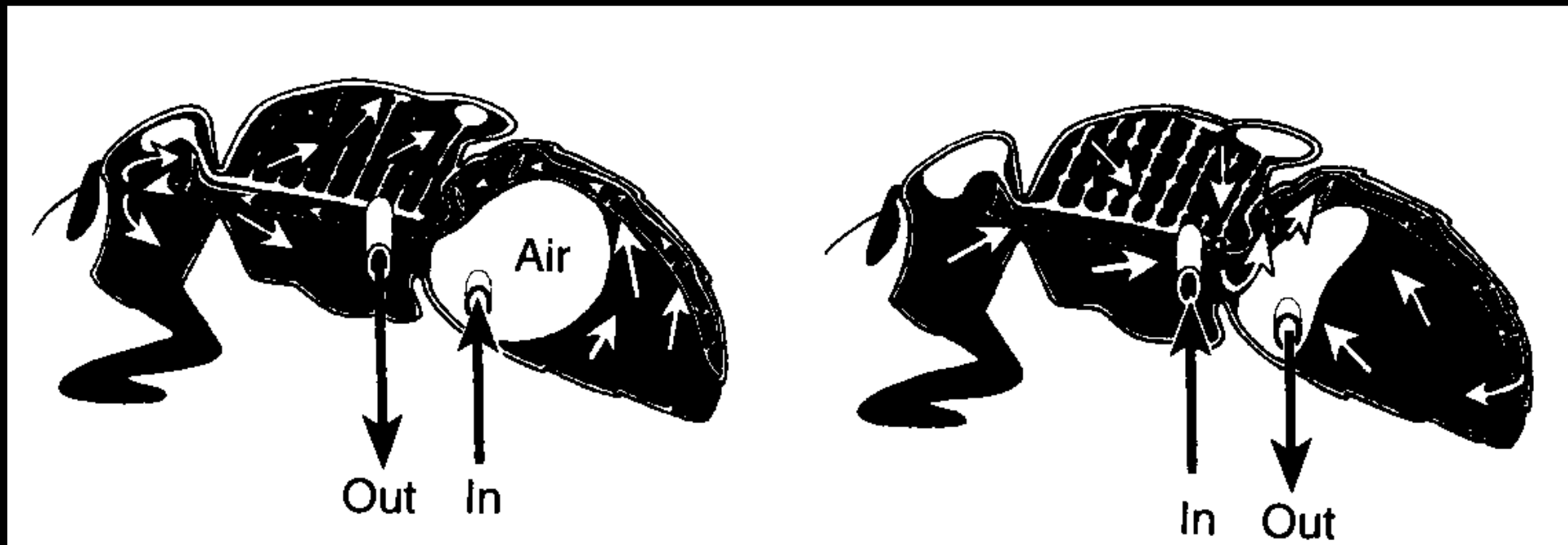


FIGURE 7.8. An ampulla and its dilator muscles that pump hemolymph into the antennae. From Pass (1985). Reprinted with permission.

Vzdušné vaky hmyzu stlačované svaly se podílejí na čerpání hemolymfy a řízení směru průtoku – pomáhají cirkulaci. Přepínají tok mezi dorzálním a ventrálním sinem v končetině hmyzu.





Svaly mohou tlačit na vzdušný vak a ten uvede do pohybu a usměrní tok hemolymfy v zadečku včely (Klowden).

Oběh hemolymfy ve výběžcích těla je kromě pulzatilních orgánů zajišťován:

1. částečně pohybem jejich vlastní svaloviny

2. částečně změnami tlaku v abdomenu způsobovanými *dýchacími pohyby* (larvy *Aeschna*, jepic), přičemž pulzové vlny v nohách jsou synchronizovány nikoliv s pulzem srdce, nýbrž s dýchacími pohyby

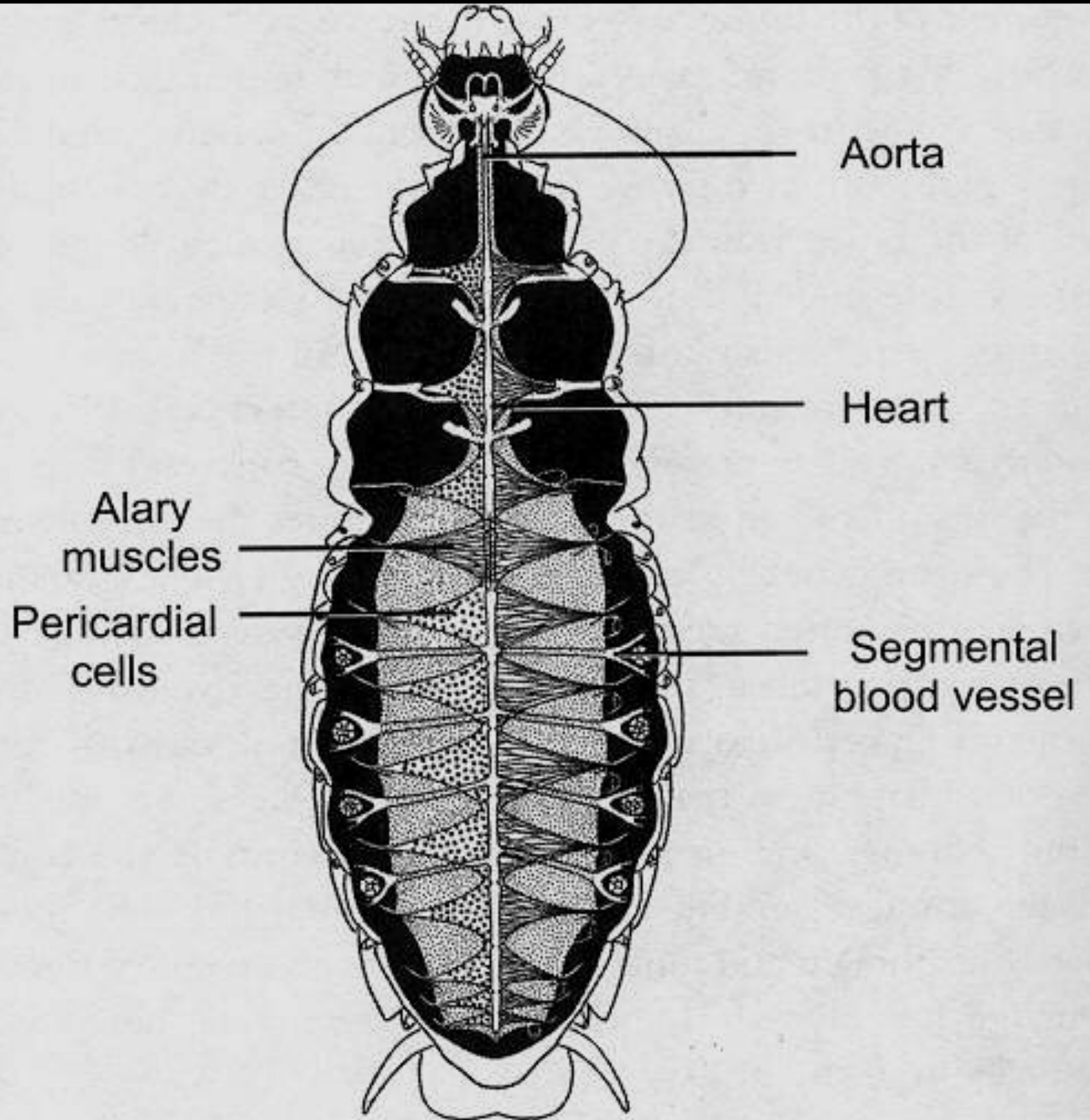
3. částečně tím, že zadní část přepažené nohy (nebo jiného tělního přívěsku) je spojena s perikardiálním sinem v němž je poměrně vysoký tlak, kdežto přední část končetiny je spojena s periviscerálním sinem, kde je tlak nižší. Pohyb hemolymfy v končetině je následkem jak činnosti srdce, tak pulzujících orgánů v thoraxu.

4. U těch druhů, u nichž je *břišní přepážka* (septum) dobře vyvinuta (Orthoptera, Hymenoptera, Lepidoptera), může obsahovat svalová vlákna a *vlnovitými kontrakcemi* aktivně napomáhat při čerpání krve směrem dozadu a do stran.

Křídlaté svaly-
nezbytné pro plnění u otevřené
soustavy bez pevného perikardu.

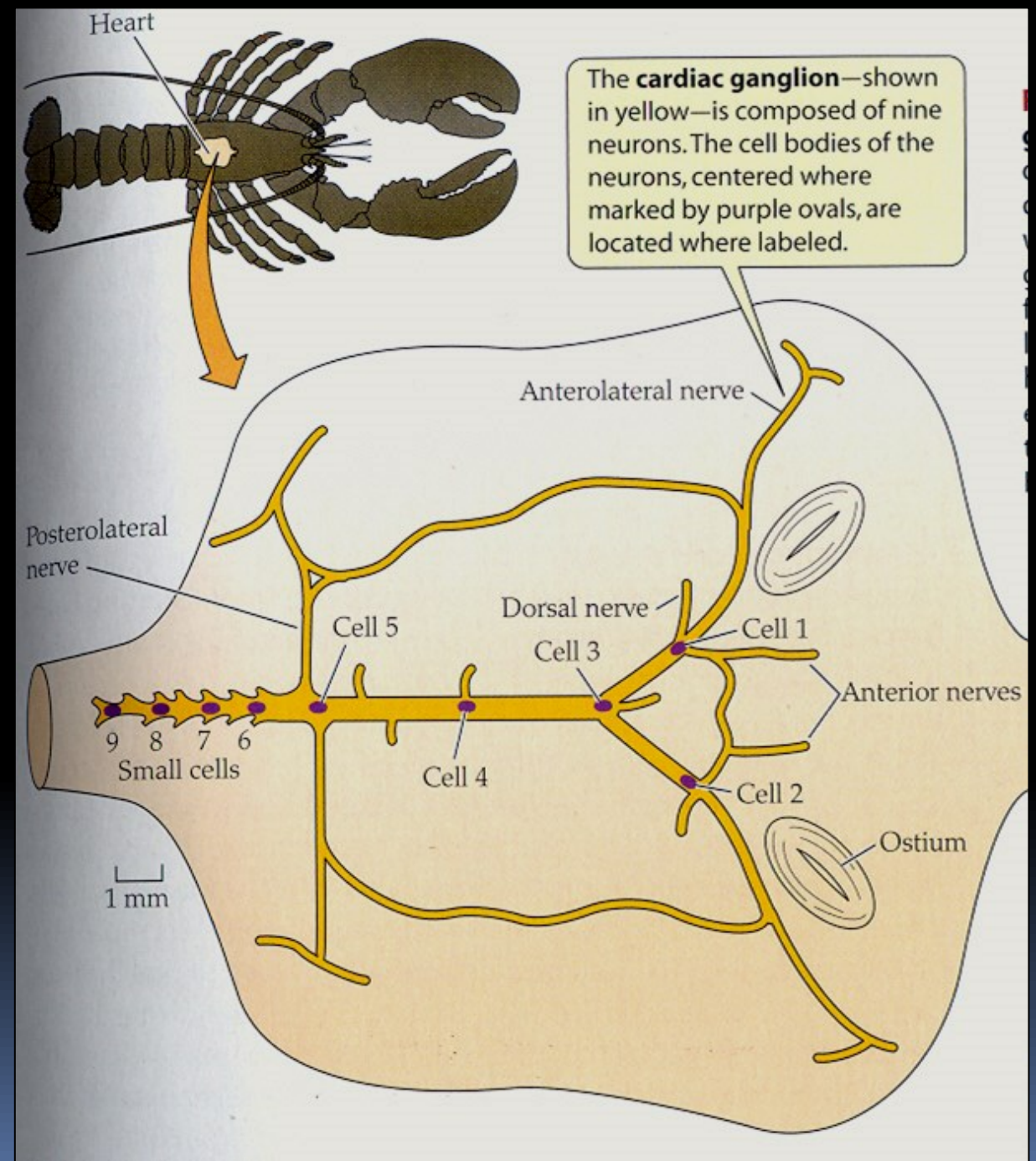
V diastole spolu s dor. diafragmou
vytváří podtlak. Jako u savců, i u
hmyzu se uplatňuje negativní tlak
při diastole. Krev přitom vniká do
srdce ostiemi.

Stah srdce při systole je vykonáván
srdeční svalovinou, v srdci vzniká
přetlak a krev je tlačena dopředu
(srdce bývá vzadu většinou
uzavřené).



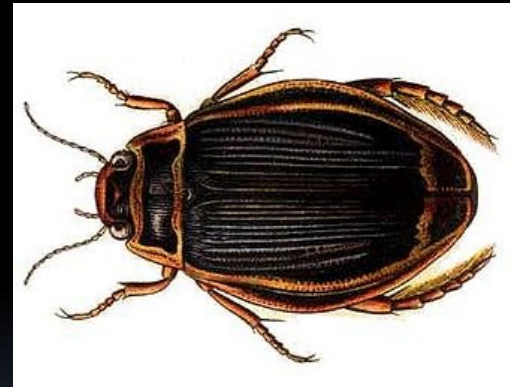
Srdce myogenní a neurogenní (Decapoda, pavouci, štíři)

Humr – neurogenní. Srdeční ganglium je tvořeno 9 neurony. Regulační povely z CNS vstupují do ganglia jako dorzální nerv.



Srdce švába je spojeno vpředu dvěma laterálními nervy obsahujícími srdeční uzlinu s ganglii **viscerální** nervové soustavy. Mimoto je srdce spojeno senzitivními a motorickými vlákny se **segmentální uzlinou** břišní nervové pásky. Přesto, že činnost srdce je ovlivňována nervově i hormonálně, je schopnost rytmických kontrakcí vázána na srdeční svalovinu. Srdeční tep švába je tedy myogenický.

U řady druhů hmyzu (larvy vážek *Aeschna*, *Anax*) není srdce ve spojení s žádnými nervovými buňkami nebo ganglii a přece může i zcela izolované srdce nebo jen jeho fragment pokračovat v rytmické činnosti. Tato rytmická činnost je do značné míry ovlivněna elastickým pnutím perikardiálních svalů, nebo dokonce tahem podmíněným jejich kontrakcí. Tak např. srdce potápníka *Dytiscus* tepe 30 - 70 krát za minutu, kdežto po přetětí perikardiálních svalů klesá frekvence tepů na 15 za min.



Acetylcholin působí zrychlení činnosti. **Adrenalin** ale vyvolává také zrychlení. Po nakrmení švába *Periplaneta americana* je stimulována činnost corpora cardiaca a dalších neurohemálních org. i v blízkosti aorty, které uvolňují **cardioaktivní peptidy**. Ty zvyšují frekvenci a intenzitu srdečního tepu. Také při rozepínání křídel, letu.

Frekvence tepů hřbetní cévy značně kolísá z mnoha důvodů. Je nižší např. u méně aktivních vývojových stadií, jakým je kukla: u housenek *Sphinx ligustri* je frekvence 40-45 tepů za min., kdežto u kukly klesne na 20-10 za min.

Působením zvýšené teploty se zvyšuje i frekvence tepů.

Zvyšuje se také vlivem pohybové aktivity: u imága *Sphinx ligustri* je frekvence tepů v klidu 40-50 za min, během letu se zvýší na 110-140 za min. K podobnému kolísání tepu dochází u pomocných pulzujících orgánů.



Složení hemolymfy hmyzu

Hemolymfa hmyzu bývá zelenavá nebo žlutavá, někdy i bezbarvá tekutina. Hustota se pohybuje okolo 1.03. Reakce bývá slabě kyselá (pH=6.4-6.8), může se ovšem měnit během vývoje.

Pufrovací schopnost hemolymfy je dána přítomností bikarbonátů, fosfátů, aminokyselin a bílkovin. Celková **molární koncentrace** je dosti **vysoká**. Vyjádřeno koncentrací izotonického roztoku NaCl, obdržíme místo 0.9% (hodnota obvyklá u savců) 1.5-2.1%.

Iontové složení velmi různé, závislé na potravě. **Poměr Na/K může** u různých druhů značně kolísat. U četných druhů hmyzu je koncentrace K v hemolymfě tak vysoká, že může teoreticky zabránit přenosu vzruchů nervovou membránou. Není však narušena proto, že buňky perineuria (uložené pod vláknitým obalem, který pokrývá nervový systém) udržují kolem axonů tkáňovou tekutinu s velmi nízkým obsahem K.

Jinou zvláštností u hmyzu je vysoký obsah **aminokyselin** (20-30krát vyšší než u savců a člověka). Prolin pro let, Tyrozin pro sklerotizaci, glutamát jako neurotransmitter.

Obsah **bílkovin** v hemolymfě může být buď **podobný** jako v plazmě savců (kolem 6%) nebo bývá obvykle nižší. Vitelogeniny, enzymy, transportní lipoforiny, imunitní b., hemoglobin, termálně histerezní, zásobní (u housenky i pro další stádia, která už nežerou)

Sacharidy: musejí být ve **větších koncentracích** díky horší cirkulaci. Hlavně (až 5%) trehalóza, t.j. neredukující a nekvasitelný disacharid, štěpený trehalázou na 2 molekuly glukózy. Glc je v potravě běžná a nízká koncentrace v hemolymfě usnadňuje její **transport ze střeva**. Užití trehalozy umožňuje udržet vysoké koncentrace krevního cukru a neohrožit difuzí ze střeva. Pouze u některých druhů hmyzu je hlavním cukrem v hemolymfě glukóza (např. včela)

Cytologie, hemocyty.

Hemocyty jsou v hemolymfě hmyzu nebo přisedlé ke tkáním, tvarově velmi proměnlivé.

Počet hemocytů se zvětšuje během **metamorfózy**, kdy odstraňují produkty histolýzy. Při **poranění** se hemocyty hromadí na okrajích rány, zabraňují vytékání hemolymfy a účastní se na hojení rány.

Pohlcejí bakterie vniklé do těla, obklopují cizorodá tělíska i parazity a uzavírají je do váčků (kapsulí).

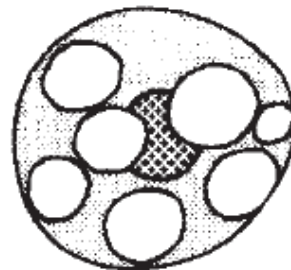
Prohemocyte



Plasmatocytes



Adipohemocyte



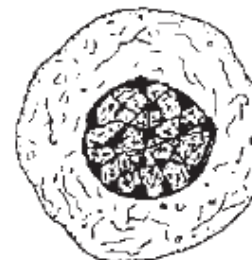
Granulocyte



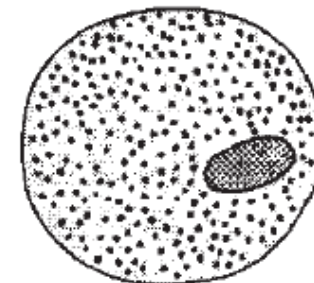
Spherule cell



Coagulocyte



Oenocytoid



Imunitní reakce bezobratlých.

Všechny organismy mají jistou vrozenou všeobecnou imunitu kombinující různé mechanismy jako je **fagocytóza** krevních nebo tkáňových buněk, destrukce pomocí **enzymů** nebo kyselými sekrety žaludku, **enkapsulace**, kožní nebo kutikulová **bariéra**, nebo přítomnost **látek v krvi** (komplement, protilátky), které napadají a likvidují cizí materiály.

Všichni živočichové mají jistou formu vnitřní dutiny vyplněné tekutinou. V té nalézáme cestující hemocyty (**amoebocyty**). Hlídkují a vyhledávají cizí vetřelce, zvláště ty, označené opsoniny. Získaná, vysoce specifická imunitní odpověď je vlastní obratlovcům. Ale náznaky změny reakce existují i u bezobratlých – v posledních letech se nachází víc a víc důkazů pro ni.

Rozeznání vlastního od cizího má dávné kořeny. Protozoa jsou schopni rozeznat a odvrhnout cizí, transplantované jádro.

Houby tvoří kolonie agregovaných jedinců se schopností odvrhovat jedince transplantované z cizí kolonie ale přijmout jedince z kolonie vlastní.

Totéž platí pro **láčkovce** (např. sasanky). Dokonce opakované odmítnutí cizího štěpu, transplantátu proběhne rychleji než při prvním setkání – existuje zde paměťová komponenta odvržení.

Imunitní reakce bezobratlých.

Kroužkovci mají v hemolymfě baktericidní substance a amoebocyty schopné fagocytózy. Není tu však imunizace – následná odpověď je stejná jako první. Podobně jako jiní bezobratlí, reagují na invazi parazitů **enkapsulací**. Například proniknuvší hlísti (stejně jako inertní materiál) jsou obklopeni amoebocyty a pak enkapsulováni a obaleni vláknitým obalem, který může později kalcifikovat.

Měkkýši obecně postrádají silnou adaptivní odpověď na cizí částice nebo bakteriální invazi. Může to být volbou jiného obranného systému – totiž **slizového obalu** nepropouštějícího bakterie – na podráždění se jeho sekrece zvyšuje. Jinak ale platí, že jejich krev obsahuje řadu hemocytů schopných fagocytózy, dále aglutinujících proteinů.

Imunitní reakce bezobratlých.

Summary of the development of immunity in animals. (Modified from Stites, Caldwell, and Pavia 1980.)

	Graft Rejection	Immunologic Specificity of Graft Rejection	Immunologic Memory	Phagocytosis	Encapsulation	Non-specific Humoral Factors	Phagocytic Ameboid Coelomocytes	Leukocyte Differentiation	Antibodies
Protozoans	Yes	No	No	Yes	No	No	No	No	No
Poriferans	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	No
Cnidarians	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	No
Annelids	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Probable	No
Mollusks	Yes	?	?	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Arthropods	Yes	?	?	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Echinoderms	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Tunicates	Yes	Probable	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Vertebrates	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes

Imunitní reakce hmyzu má buněčnou i humorální složku.

Při **buněčné reakci** jsou mikroorganismy nebo mrtvé buňky fagocytovány, zachyceny do nodulí nebo enkapsulovány hemocyty.

Při **humorální** obraně jsou spuštěny tři rychlé reakce:

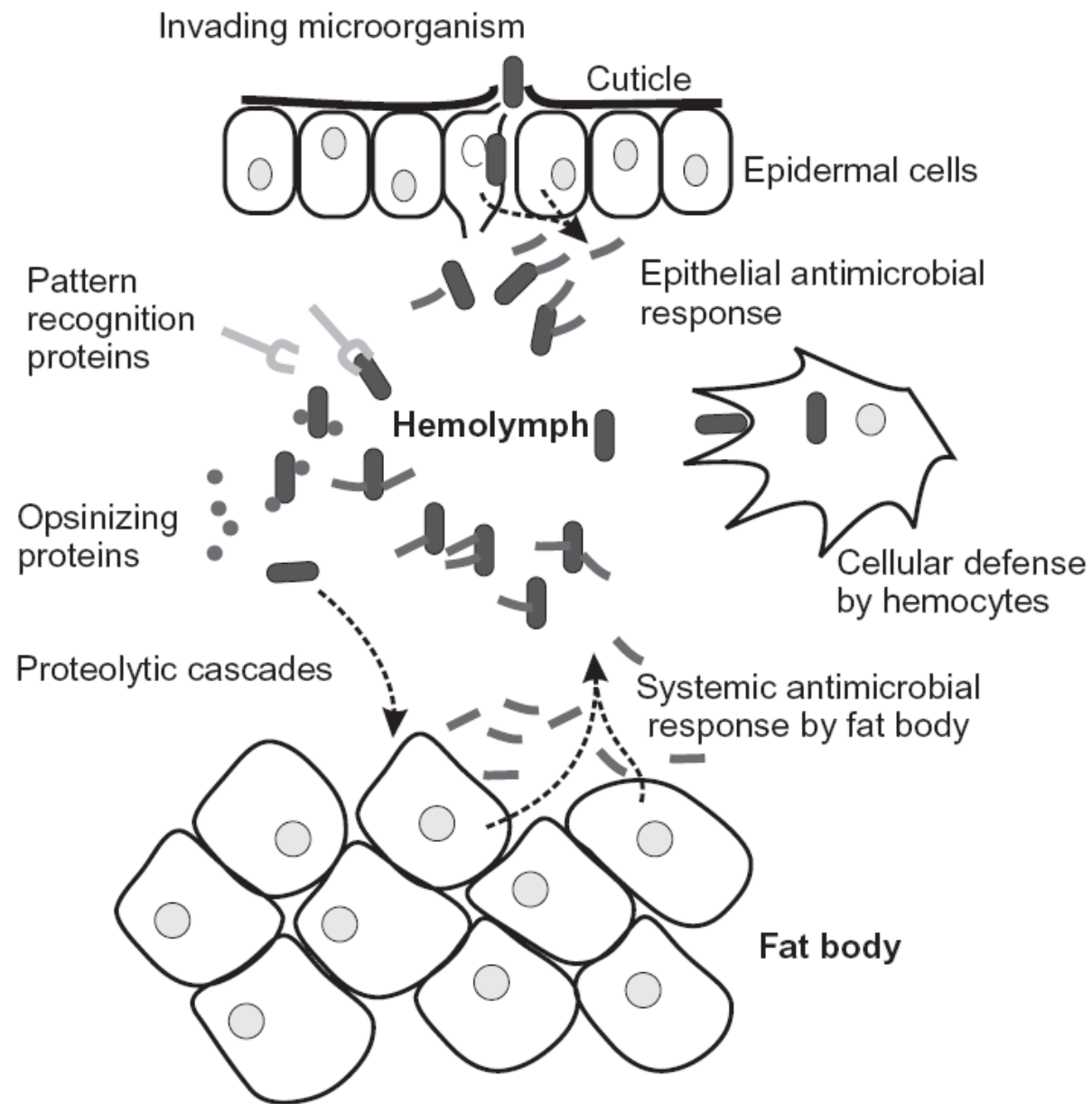
- melanizace,
- tvorba zátky
- syntéza antimikrobiálních peptidů.

Hmyz: Buněčná i látková odpověď, nespecifická.

Epidermální buňky, hemocyty i tukové těleso produkují :

- Pattern Recognition Proteins (PRP)
- Oponizující proteiny
- Antimikrobiální proteiny

Označené patogeny jsou fagocytovány.



Rozeznání vlastního a cizího je zajišťováno specifickými **pattern recognition proteins** (PRP). U savců jsou to např. Toll-like receptors. Dostaly jméno podle Toll receptorů objevených u *Drosophily*, kde se podílejí na rozeznávání povrchových značek jak při imunitě tak ve vývoji.

PRP hmyzu cirkulují rozpuštěné v hemolymfě a vážou se na bakterie. Po této aktivaci se vážou na Toll receptory imunitních buněk a zapínají v nich geny pro produkci efektorových proteinů jako je např. drosomycin.

Améboocyty (hemocyty) participují na inflammation-like odpovědi na zranění nebo infekci: jsou lákány chemotaxí do místa zranění, kde fagocytují invadující patogeny. U některých bezobratlých produkují **reaktivní oxidové radikály** zabíjející mikroby - stejně jako u savců. Podílejí se na **enkapsulaci** a produkci **antimikrobiálních peptidů**.

Pouze čelistnatí obratlovci jsou majiteli protilátek adaptivní imunity, většina ostatních má také vrozené proteiny s příbuznou rolí: opsonizovat – označit patogeny pro fagocytózu. Společným typem jsou tzv. **lektiny** vážící se na glykoproteiny cizích buněčných povrchů. To vede i ke shlukování patogenů. Také existují opsonizující proteiny patřící do rodiny Ig. Mohou to být předchůdci Ig. Příkladem je **hemolin** známý od nočních motýlů.

I u bezobratlých spolu imunitní buňky komunikují látkami podobnými **interleukinům**. Tyto cytokiny vedou k lákání fagocytů k místu infekce. Jde tedy nejspíše o starobylou funkci.

Pro bezobratlé typické: **nodulace a enkapsulace**.

Vetřelec, který je příliš velký na fagocytování, je uvězněn. U některých druhů hmyzu je používána proti parazitickým červům, houbám, vajíčkům od parazitických vosiček atd.

Povrchové proteiny na vetřelci spustí kaskádu enzymatických reakcí, které vedou k aktivaci pro-fenoloxidázy na aktivní formu. Uvolňuje se při prasknutí hemocytů.

Další faktory lákají další hemocyty. Hemocyty obklopí v několika vrstvách patogen nebo porušenou kutikulu a dojde k vytvrzení a uzavření nepropustné schránky.

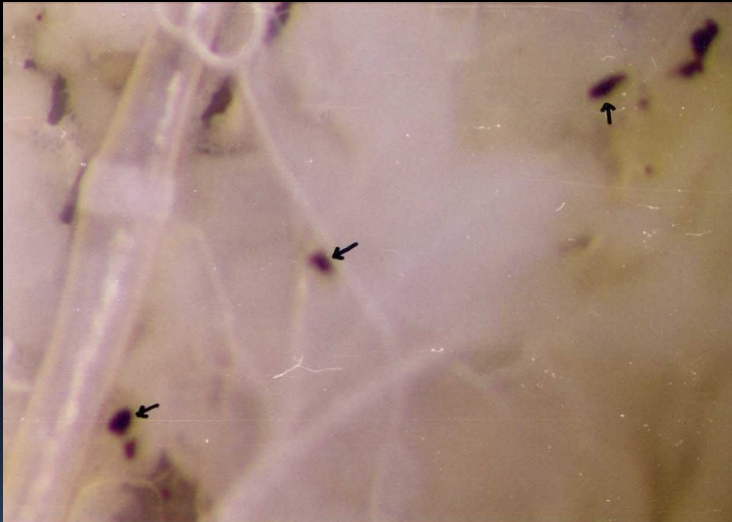


Figure 10: Nodule formation in fatbody and trachea of *B.mori*. Magnification 60X

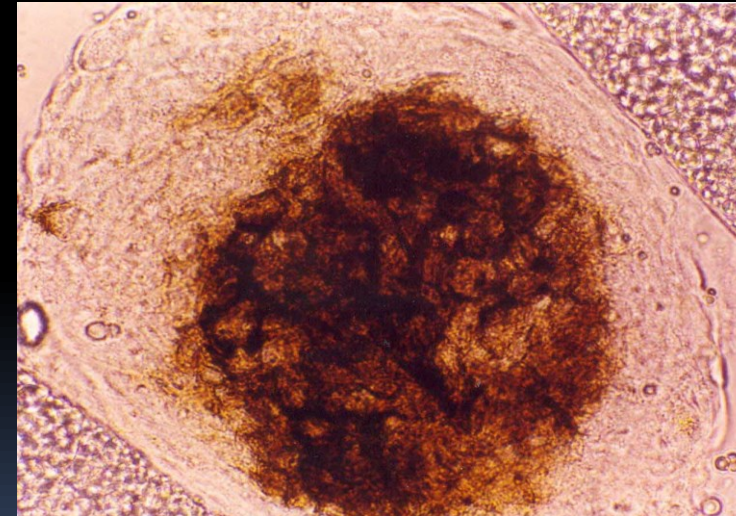


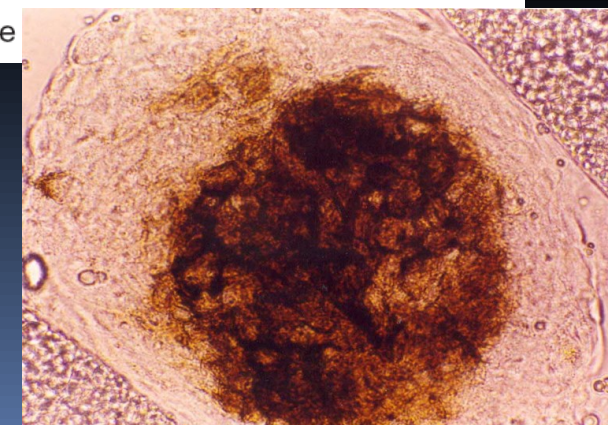
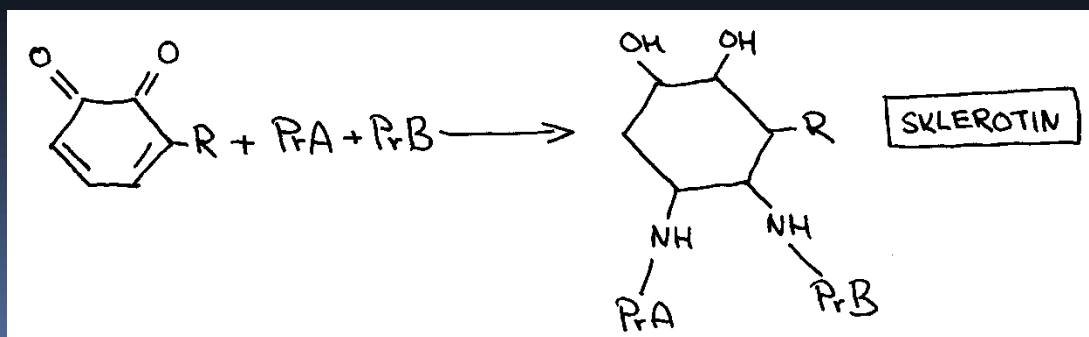
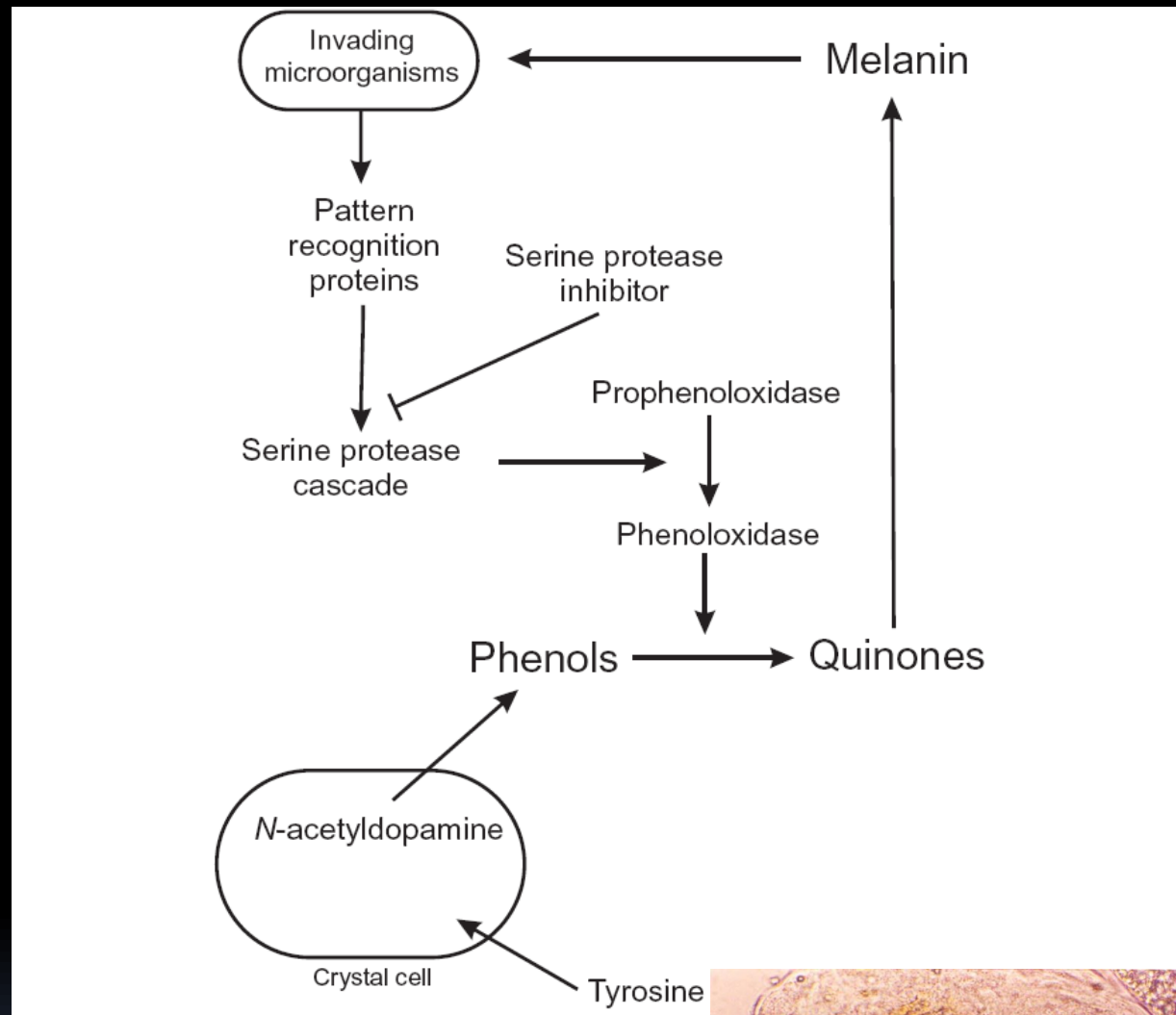
Figure 11: Mature dark melanized nodule of *B.mori* as observed under phase contrast microscope at 600X magnification

Enkapsulace a nodulace. Fenoloxidázová kaskáda.

Vytvoří melanizovaný, toxický a nepropustný obal pro mikroorganismy podobný kutikule.

Tvorba tmavého pigmentu melaninu je katalyzována enzymem fenoloxidázou, který je konvertován na svou aktivní formu serin proteázovou kaskádou.

Inaktivní proenzym profenoloxidáza je syntetizován v hemocytech a po jejich prasknutí je uvolněn do hemolymfy. V kutikule se po aktivaci účastní tvorby zátky nebo enkapsulace parazitů.

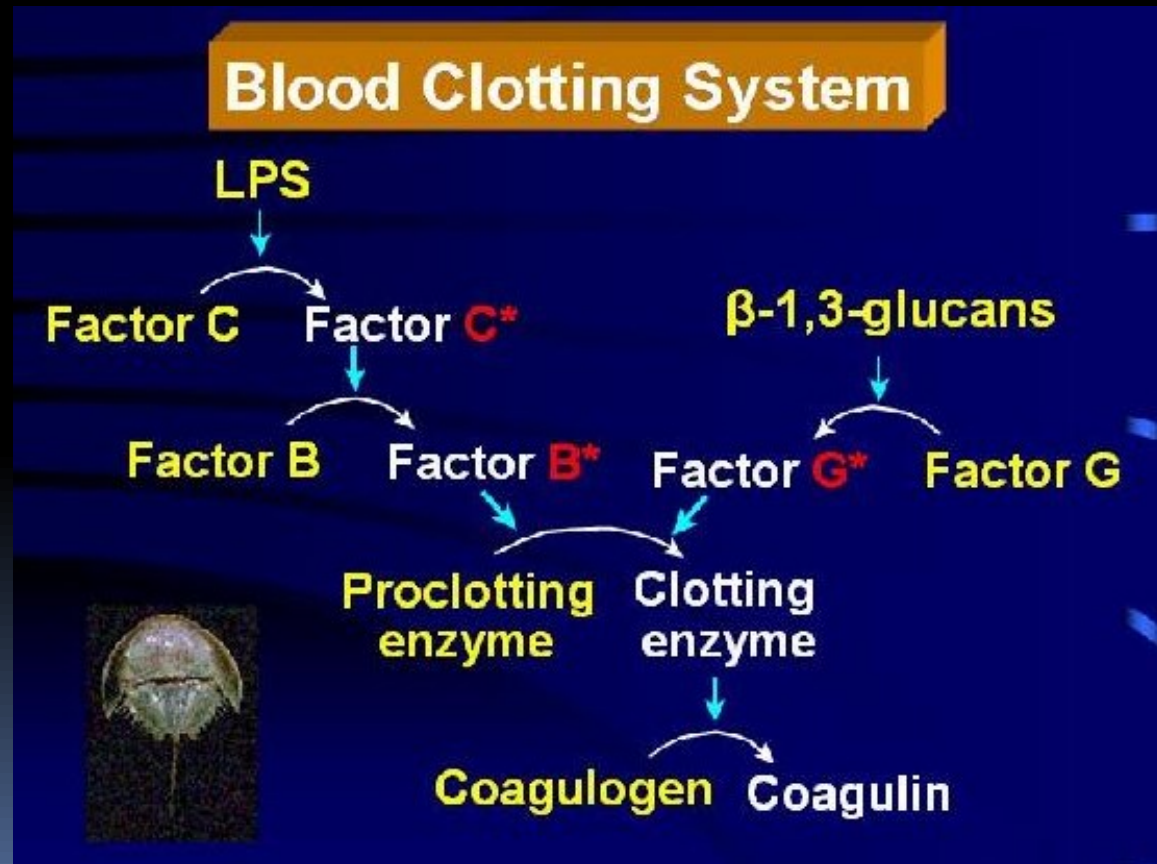


Propojení imunitní a hemokoagulační reakce.

Zástavě krvácení napomáhá stažení svalů v okolí rány a aktivace tvorby zátky, která melanizací vytvrdne.

Jsou zapojeny jiné proteiny než u obratlovců, protože heparin je bez účinku a zapojují se jiné spouštěcí mechanismy nutné pro otevřený cirkulační systém.

Tvorba krevní zátky ostrorepa může být aktivována bakteriálními lipopolysacharidy (LPS) jejich membrány. Podobně B-glukany ze stěn bakterií a hub.



Imunitní antimikrobiální proteiny

- Humorální reakcí na infekci je rychlá de novo syntéza mnoha antimikrobiálních peptidů. Hlavním místem syntézy je tukové těleso, ale také hemocyty, kutikulární epitelové buňky, střevo, slinné žlázy a také reprodukční trakt.
- U hmyzu popsáno téměř 60 peptidových antibiotik. Ačkoli mají různorodou strukturu, jsou to v podstatě amfipatické molekuly působící na membrány, a tím nakonec usmrcují cílovou buňku lýzou.
- Hmyzí antimikrobiální proteiny jsou rozděleny do skupin na základě strukturní a sekvenční podobnosti a jejich cíle v bakteriální buněčné stěně.
- Proteiny indukovatelné bakteriemi (attacinu podobné) byly identifikovány u motýlů a u drozofily. Tyto proteiny jsou aktivní pouze proti gramnegativním organismům, u nichž **ovlivňují mechanismy buněčného dělení tím, že inhibují syntézu proteinů vnější membrány.**

- **Lysozym hydrolyzuje β -(1,4)-glykosidické vazby v peptidoglykanu bakteriální buněčné stěny.** Hmyzí lysozomy jsou proteiny (14 kDa) se sekvenční podobností s lysozomy obratlovců. U drozofily jsou lysozomy kódovány nejméně sedmi geny a jsou exprimovány v různých částech trávicího traktu a v různých fázích vývoje.
- **Cekropiny mají antibakteriální aktivitu proti grampozitivním i gramnegativním bakteriím, protože interagují s lipidovými membránami a vytvářejí iontové kanály závislé na napětí.** Jsou i u obratlovců
- **Defensiny napadají především grampozitivní bakterie na rozdíl od antibakteriálních peptidů podobných attacinu.** Působí na cytoplazmatickou membránu a lyzují buňky vytvořením membránových kanálků. U různých druhů hmyzu bylo charakterizováno asi třicet defensinů. Přestože byla řada defensinů izolována ze savců a z rostlin, další analýzy ukázaly, že nejsou homologní s defensiny hmyzu.

- **Antimikrobiální peptidy bohaté na prolin rozkládají gramnegativní bakterie zvýšením propustnosti membrány.** Do této rodiny patří apaedicin a abaecin ze včely medonosné, drosocin a metchnikowin z *Drosophily*, pyrrhocoricin, lebocin a metalnikowin.
- **Diptericiny byly dosud popsány pouze u druhů dipter.** Diptericiny jsou lytické pro gramnegativní bakterie, což může být způsobeno podobným způsobem účinku jako u attacinů.
- Z hmyzu byly izolovány další indukovatelné antibakteriální proteiny, které nepatří do výše popsaných skupin. Coleptericin, holotricin-2, hemiptericin a gallysin-1 působí na gramnegativní bakterie, zatímco moricin, thanatin (homologní s antimikrobiálními peptidy žabí kůže z rodiny brevininů) a hymenoptaecin mohou lyzovat jak gramnegativní, tak grampozitivní bakterie.
- U hmyzu byla objevena indukovatelná **peptidová antibiotika proti plísním.** Peptid pojmenovaný AFP, tenecin-3 a holotricin-3 mají společné rysy, zatímco drosomycin vykazuje významnou homologii s rodinou rostlinných antimykotických peptidů. Antibakteriální peptidy metchnikowin a thanatin mají navíc antifungální aktivitu.