

Náměty na pokusy a pozorování vodních živočichů ve školním akváriu II – dýchání vodních živočichů

Subject Matters of Experiments and Observations of Water Animals in School Aquarium II—Breathing of Water Animals

Lubomír Hanel, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, Katedra biologie
a environmentálních studií, lubomir.hanel@pedf.cuni.cz

Abstract

Aquatic animals also need oxygen to live. They have to breathe in oxygen that is dissolved in water or from the air above the water, using various structural adaptations (gill, gill chambers, skin, air tube, air bubble, special nostrils, blowhole). Some water animals can be used in school aquaria for demonstration of various kinds of breathing. Simple diffusion over a relatively thin integument is known e.g. in sludge worms (Tubifex tubifex). Extraction of oxygen from water using a plastron or physical gill can be presented in lesser water boatman (Corixa punctata) or benthic water bug (Aphelocheirus aestivalis). Water nymphs of insect often used tracheal gills (stonefly nymphs /Plecoptera/ have gills on their thorax and mayfly nymphs /Ephemeroptera/ have gills on their abdomen). Diving beetles (Dytiscidae) have air supply in the cavity under the elytra. Water scavenger beetles (Hydrophilidae) replenish their air supply by breaking the surface of the water with their antennae and then holding their air supply bubbles in place using a dense mat of hair under the body. Some animals like water scorpions (Nepa cinerea), water stick insect (Ranatra linearis) or mosquito larvae and pupae take oxygen from surface via breathing tubes (siphons). The pond snail (Lymnaea stagnalis) has a gas-filled mantle cavity and ventilation is accomplished by opening and closing movements of the apex of a muscular tube (the pneumostome) that forms the entrance to the mantle cavity. Water spider (Argyroneta aquatica) builds diving bell under the water surface and fills it with air. In fish water flows in through the mouth, than water flows over the gills, than out of the fish. Some fish have accessory respiratory organs, e.g. supra-branchial chamber called as labyrinthine organ (e.g. Siamese fighting fish Betta splendens, paradise fish Macropodus opercularis). Frogs start life as aquatic tadpoles, breathing underwater through internal gills and their skin. Adult water frogs (e.g. African clawed frog, Xenopus laevis) breath through lungs.

Klíčová slova

školní akvárium, dýchání živočichů, vodní živočichové

Keywords

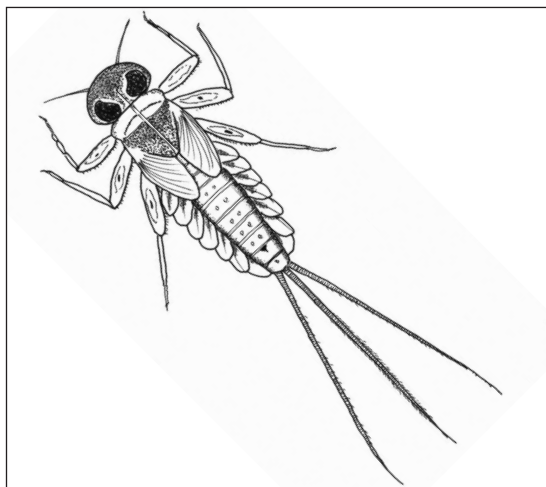
school aquarium, animal breathing, water animals

Významným životním projevem živočichů je dýchání. Vodní živočichové využívají k dýchání kyslík rozpuštěný ve vodě či dýchají vzdušný kyslík, nebo mohou oba způsoby kombinovat (Maina 1998).

A/ Dýchání ve vodě rozpuštěného kyslíku

K demonstrování tohoto způsobu dýchání můžeme použít známé nitěnky (Tubificidae), patřící mezi kroužkovce (Annelida). U nich je známo, že kromě kožního dýchání využívají ještě dýchání stěnou střevní, přičemž výměnu vody obstarávají svaly a obrvený epitel na konci střeva. Nitěnka obecná (*Tubifex tubifex*) dokáže žít i delší čas ve vodě zcela bez kyslíku (jako zdroj energie je při tomto stavu ve zvýšené míře používán glykogen). Velký podíl na schopnosti tohoto druhu obývat vodu s nízkou koncentrací kyslíku má také hemoglobin rozpuštěný v hemolymfě. Nitěnky žijící v prostředí s nízkým obsahem kyslíku jsou více červené, než ty žijící ve vodě s dostatkem kyslíku. Nitěnky reagují na množství rozpuštěného kyslíku také svým chováním, což lze dobře demonstrovat v akváriu. Při dostatku rozpuštěného kyslíku ve vodě jsou nitěnky zavrtány téměř zcela do dna a vyčnívá jim jen několik posledních tělních článků, které se nepohybují. Při postupném poklesu množství rozpuštěného kyslíku se vysunuje stále větší a větší část těla ze dna ven a tato vysunutá část těla provádí rytmické vlnivé pohyby, jejichž intenzita stále stoupá, a to až do doby poklesu kyslíku k nulové hodnotě, kdy

nitěnky zalézají zpět do dna a přestávají se pohybovat. Vlnivé pohyby vyčnívající části těla mají dva účely: jednak umožňují výměnu plynů na větší části těla a jednak přihání z okolí k tělu vodu bohatší na kyslík (Walker 1970, Lellák a kol. 1972). Podle Alsterberga (1922) vydrží nitěnka obecná 25 dnů ve vodě bez kyslíku. Zjistil, že schopnost anoxybiózy je do značné míry závislá na teplotě vody (při teplotách 2–3 °C přežilo 30 % jedinců anoxii po 48 dnů, zatímco při 18–20 °C byli již 9. den všichni jedinci mrtví. Zajímavé zjištění u nitének rodu *Tubifex* přinesli Famme & Knudsen (1985), kteří u nich potvrdili negativní aerotaxi, tzn. preferenci k místům s nedostatkem až absencí kyslíku.



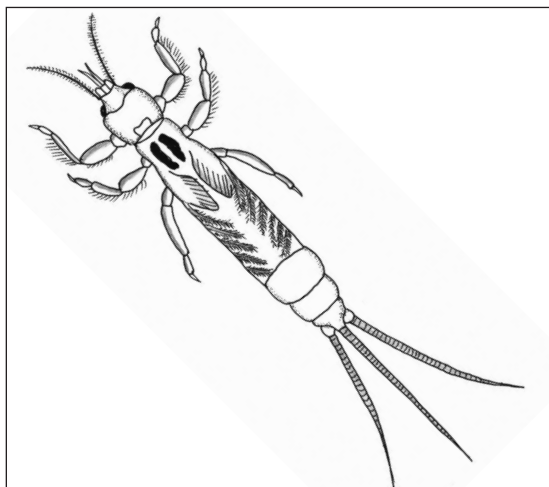
Obr. 1 Larva jepice rodu *Rhithrogena* s lupinkovitými tracheálními žábry umístěnými na boční straně zadečku. Kresba autor.

Činnost tracheálních žaber můžeme dobře demonstrovat u starších larev jepic (první larvální stádium ještě abdominální tracheální larvy nemá), které je mají umístěny na zadečku (obr. 1). U larev jepic rodu *Cloeon* vykonává prvních šest párů žaberních lupínek metachronický rytmický pohyb, tzn. že v obou řadách žaberních lupínek probíhá postupný pohyb odpředu dozadu. Jednotlivé páry tracheálních žaberních lístků kmitají současně. Poslední pár žaberních lístků je nepohyblivý, stojí kolmo na směr pohybu žaber a vody, a stáčí proud vody do stran. U larev rodu *Caenis* se páry žaberních lístků nepohybují současně, ale střídavě. Vytvořený proud vody nejde ve směru podélné osy těla, nýbrž kolmo na ni. Poslední pár žaber je nehybný a obrací proud vody vzhůru k povrchu dna, prorazí je a vytvoří v substrátu kráterovitý otvor. Jde o ekologickou adaptaci na bentický způsob života. Druhý pár žaberních lístků je přeměněn v ochranné krovkovité štítky chránící ostatní lístky před znečištěním a poškozením. A protože jsou široké ochranné žaberní lupínky nepohyblivé, přívod čerstvé vody ke spodním lupínkům je možný pouze jejich asynchronním pohybem vyvolávajícím

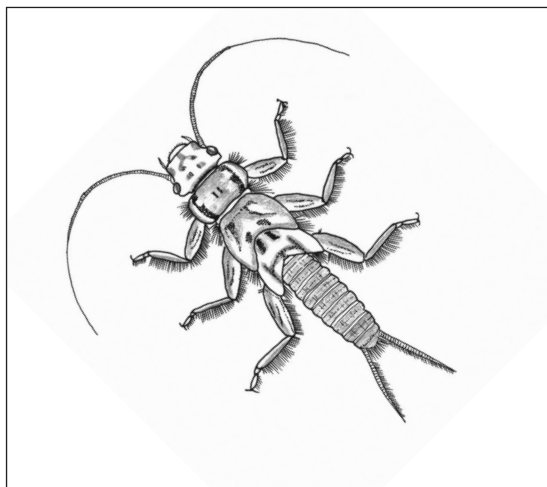
cím příčný proud vody, který navíc jen velmi málo narušuje ochrannou vrstvu bahna.

Hrabavé larvy jepic rodu *Ephemera* (obr. 2) můžeme nalézt v písčitoštěrkovitém substrátu čistých toků. Žábry nejsou umístěny po stranách zadečku jako u jiných jepic, ale na jeho hřbetní straně. Larva se zahrabává asi centimetr hluboko do substrátu (v akváriu lze použít jemnější písek). Potom rozhazuje před sebou a nad hlavou předníma nohama substrát, až vytvoří okrouhlou jamku, na jejímž dně vyčnívá její hlava a přední nohy. Takto usazená larva začne pohybovat žábrami, jejichž pohyb tvoří vlnu postupující zpředu dozadu a způsobuje proud vody téhož směru. Poslední pár žaber je nehybný a obrací proud vody nahoru k povrchu dna, prorazí je a vytváří kráterovitý otvor.

Larvy pošvatek (Plecoptera) dýchají povrchem těla a tracheálními žábrami, umístěnými na hrudi (obr. 3). U druhů pocházejících z chladných tekoucích vod (např. rody *Perla*, *Perlodes*) můžeme při vyšších teplotách vody pozorovat jakési „kliky“, zvláštní rytmické pohyby těla, které mají za cíl vý-



Obr. 2 Larva hrabavé jepice rodu *Ephemera* s tracheálními žábrami na horní straně zadečku. Kresba autor.



Obr. 3 Larva pošvatek s tracheálními žábrami umístěnými na hrudi. Kresba autor.

měnu vody v nejbližším okolí larvy. Někdy může být intenzita těchto pohybů až 100 za minutu. Nápadně vyvinuté tracheální žábry lze pozorovat také u larvy střechatky (*Sialis*), viz obr. 4.

Nymfy vážek a šídel (Odonata) získávají kyslík pomocí střevního dýchání (tzv. střevními tracheálními žabrami), kdy vodu nasají do konečníku, kde se nachází hustá síť tracheol, a odtud se kyslík vstřebává rovnou do jejich hemolymfy (dýchací pohyby lze pozorovat na rozšiřujícím a zužujícím se zadečku). U některých zástupců vodního hmyzu (např. pakomáři čeledi Chironomidae), se v zásobování tkání kyslíkem uplatňuje krevní barvivo hemoglobin, způsobující jejich červené zbarvení. Larvy pakomárů sytí svůj hemoglobin kyslíkem tak, že kmitají tělem v okysličené vodě a urychlují tak pronikání kyslíku přes kutikulu a jeho vazbu na hemoglobin.

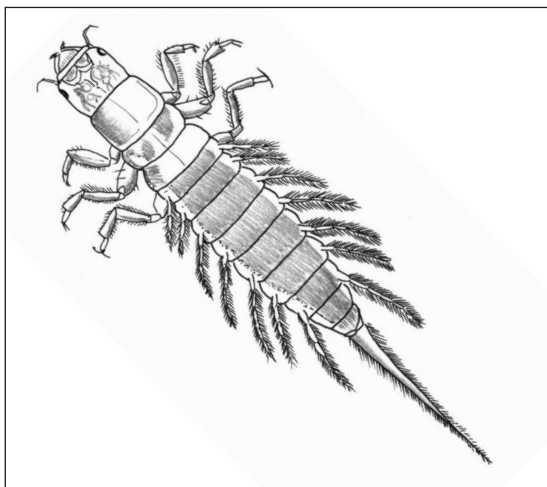
Tělo hlubenky skryté (*Aphelocheirus aestivalis*) je celé pokryto hustými chloupky, mezi kterými se udržuje trvalá vrstvička vzduchu zvaná plastron (obr. 5). Vzduch je zde držen chloupky dlouhými

5-6 μm o průměru 0,2 μm s hustotou 2,5 milionu/ mm^2 – takováto vrstva chloupků je schopna vydržet tlak až 400 kN/m^2 (Kodrík 2000). Jedná se o jedinou naši vodní ploštic, která se nemusí vynořovat k hladině. K dýchání ve vodě jí plně stačí toto plastronové dýchání, které funguje na principu tzv. fyzikálních žaber, kdy kyslík proniká difúzí z vody přímo do vrstvičky vzduchu na povrchu těla (Pápáček 2012).

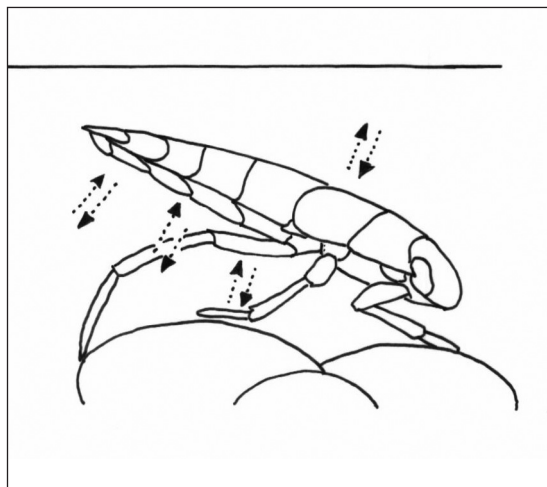
Ryby dýchají především žabrami. Nejprve otevrou tlamu a do úst a žaberní dutiny naberou vodu. Pak se tlama zavře a skulinami po rozevření skřelí dojde k vypuzení vody přes žábry, kde dochází k vstřebání ve vodě rozpuštěného kyslíku (obr. 6). Frekvence dýchacích pohybů se zvyšuje s nárůstem teploty vody, kdy klesá obsah ve vodě rozpuštěného kyslíku.

B/ Kombinované dýchání

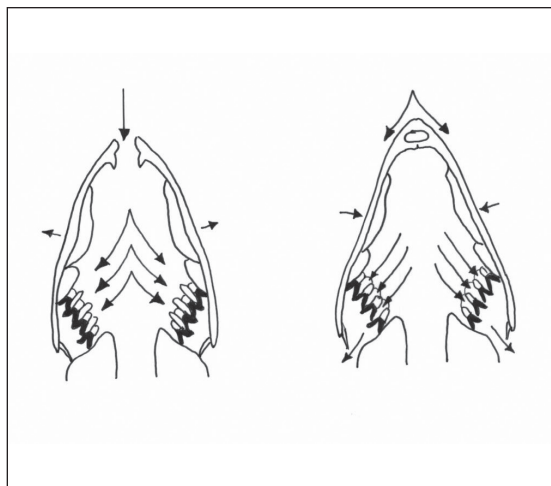
K předožábrým plžům patří akvaristům známé americké ampulárky (*Pomacea*). U nich můžeme



Obr. 4 Larva střechatky s tracheálními žabrami na zadečku. Kresba autor.

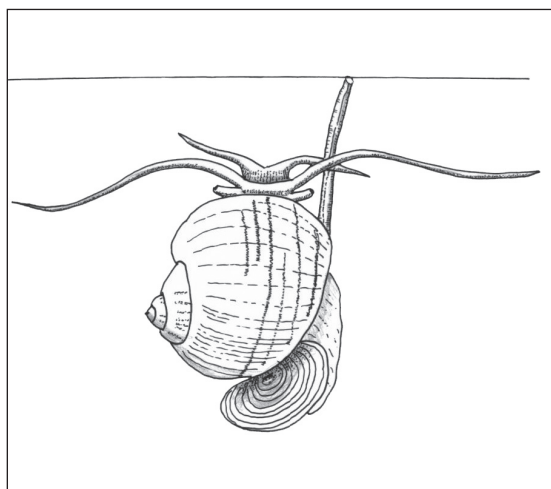


Obr. 5 Princip plastronového dýchání u ploštic hlubenky skryté, *Aphelocheirus aestivalis* (šipky naznačují výměnu plynů). Kresba autor.



Obr. 6 Princip dýchání ryb. Vlevo nasávání vody ústy při zavřených skřelích, vlevo vytlačování vody přes žábry při pootevřených skřelích (šipky naznačují proudění vody). Kresba autor.

vidět, jak v případě nedostatku rozpuštěného kyslíku ve vodě vylézají k hladině a vysunují dlouhý chobotovitě protažený sifon (obr. 7), kterým čerpají vzdušný kyslík do plášťové dutiny, přeměněné v jednoduchý plicní vak. Ve vodě však dýchají pomocí žaber.



Obr. 7 Respirační poloha plže ampulárky (*Pomacea*) s nataženým sifonem k hladině. Kresba autor. Na str. 46 zvětšeno.

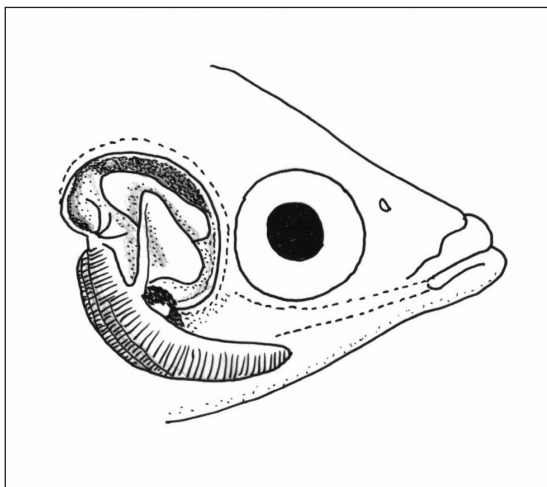
Unikátní způsob využití vzdušného kyslíku nacházíme u vodoucha stříbřitého (*Argyroneta aquatica*). Ten si nosí zásobu vzduchu mezi hustými chloupky porůstajícími tělo; tato vrstva funguje jako již dříve zmíněné fyzikální žábry. Navíc si staví pod vodou pavučinový kokon, který postupně naplní vzduchem (de Bakker et al. 2006, Seymour & Matthews 2013). Nejdříve utká mezi vodními rostlinami horizontální pavučinovou plachetku a upřede jedno vodící vlákno směrem k hladině. Potom vysune konec zadečku a překříženými zadními nohama nad hladinou zachytí pomocí chloupků na vzduchu velkou vzduchovou bublinu a po vodícím vlákně se s ní ponoří pod hladinu. Bublinu si na zadečku přidržuje pomocí zadních nohou. Když se dostane k plachetce, vlezle si pod ni a uvolní bublinu, která hnízdo kopulovitě vyklene. Tento transport vzduchu se několikrát opakuje, až získá vodouchův úkryt požadovanou velikost a tvar. Pak pavouk ještě dodatečně vyztuží zvon dalšími pavučinami. Vzniklý útvar vydrží obvykle několik týdnů až měsíců, pavouk ale čas od času musí doplnit jeho vzduchový obsah. Je-li vzduch ve zvonu vydýchán, vodouch nahoře zvon proděraví, vypustí jeho obsah a opět ho vyspraví. Pak postupně nanosí novou zásobu čerstvého vzduchu. Ve vzduchovém zvonu (obr. 19) probíhají veškeré životní pochody pavouka – příjem potravy, svlékání, páření a kladební vajíček. Žijí v něm i nejmladší vývojová stádia vodoucha (Hanel 1997).

Ke kombinovanému způsobu dýchání můžeme zařadit některý vodní hmyz, který kromě dýchání vzdušného kyslíku u hladiny využívá ve vodě jako doplňkové dýchání fyzikální žábry. U bodule obecné (*Ilyocoris cimicoides*), která se občas vynořuje k nadechnutí k hladině (obr. 10), je tato vrstvička vzduchu na spodní straně těla.

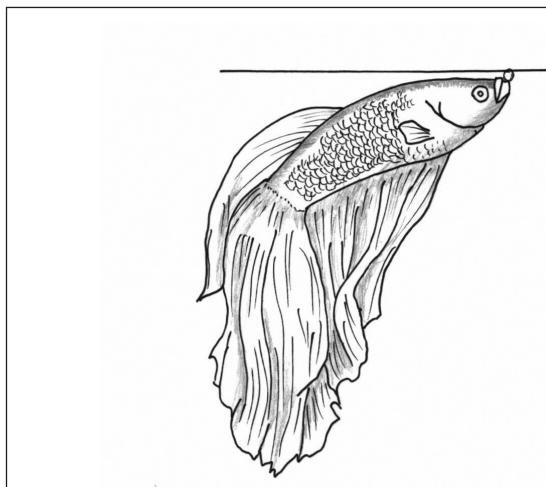
Téměř celý povrch ploštěnce znakoplavky (*Notonecta*) je kryt tenkým filmem vzduchu drženým

na těle hydrofobními chloupky. Proto se celé tělo pod vodou stříbřitě leskne. Tykadla znakoplavky spočívají trvale na vzduchové bublině a fungují jako kontrolní orgán spotřeby vzduchu. Jakmile se bublina, kterou tykadla objímají, zmenší na určitou míru, živočich zaregistruje odchylku v hydrostatickém tlaku. Pro znakoplavku je to signál k vyplutí k hladině pro novou rezervu vzduchu (obr. 11). Pokusně bylo dokázáno, že po amputaci tykadel není schopna kontrolovat množství spotřeby kyslíku a může se i utopit. U znakoplavky můžeme pozorovat nápadnou překompenzovanost těla zásobou vzduchu, takže jedinec je trvale pasivně vynášen k vodní hladině. Díky nesmáčivému povrchu těla je znakoplavka schopna po opuštění vody během velmi krátké doby vzlétnout. Bodule i znakoplavka se při respirační poloze dotýkají vodní hladiny zadečkem. Ploštice klešťanky (*Corixidae*) vyplouvají k hladině hlavou napřed a nabírají vzduch do hřbetních komor. Při zanořování pod vodu se čerstvá bublinka vzduchu dostává do dalších komor a k dalším stigmatům. Nabrání vzduchu u hladiny v tomto případě trvá jen zlomek vteřiny.

Zvláštní respirační polohu nacházíme u vodních brouků vodomilů. K hladině se přibližují přední částí těla, paličkovitými tykadly proráží povrchovou vodní blanku a tím otevrou spojení mezi zásobou vzduchu na břišní straně těla a vzduchem nad hladinou (obr. 12). Nabrání vzduchu trvá delší chvíli. Respirační poloha brouků potápníků je jiná než u vodomilů, přibližují se k hladině zadečkem, kterým protřnou hladinovou blanku a mohou nabrat čerstvý vzduch (obr. 13). Rezerva vzduchu u potápníků pod krovkami nemá jen funkci respirační, ale také hydrostatickou. Kdyby se na tělo potápníka přilepila krychlička polystyrenu, brouk by nevyplouval k hladině pro nový vzduch ani po kritickém vyčerpání kyslíku a zmenšení respirační zásoby vzduchu, naopak by se snažil usilovněji udržovat u dna, až by mohlo dojít k jeho utopení (Lellák a kol. 1972). U potápníků může při nízké teplotě vody (např. v zimě pod ledem) sloužit vzduchová bublina na konci zadečku také jako fyzikální žábry, neboť jim pak stačí prostá difúze kyslíku z vody a nemusí se vůbec vynořovat nad hladinu. Do bubliny ústí klasické spirakulum, kterým proudí vzduch dále do tracheálního sys-



Obr. 8 Schéma umístění labyrintu nad žábrami u labyrintní ryby. Kresba autor.

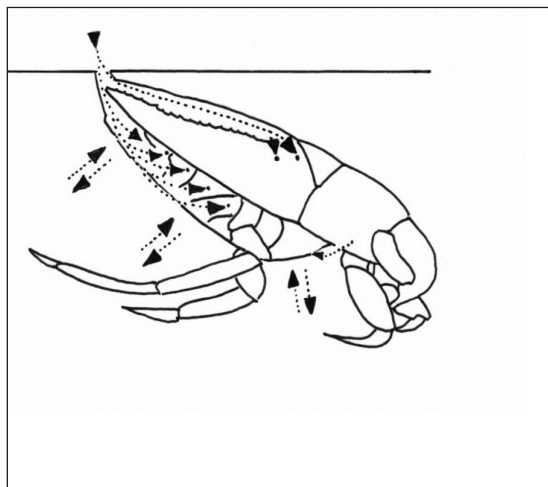


Obr. 9 Bojovnice (*Betta*) musí občas připlavat k hladině a zde nadechnout vzduch, který pak prochází labyrintem. Kresba autor.

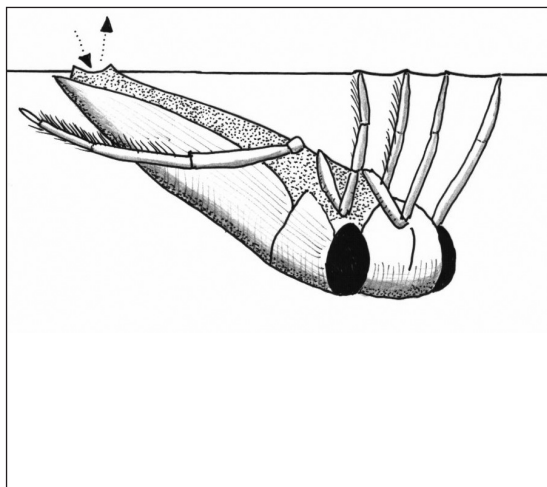
tému. Podobné chování můžeme navodit, když potápníka umístíme v nádobce s vodou do spodní části ledničky, kde není tak nízká teplota, aby voda zmrzla.

Příkladem kombinovaného dýchání jsou také tzv. labyrintní ryby, které jsou vybaveny přídavným dýchacím orgánem zvaným labyrint (obr. 8) a kromě dýchání žábry se musí občas vynořit k hladině a nabrat čerstvý vzduch do labyrintu. Mezi řadou akvariijních ryb tohoto typu si uveďme známého rájovce dlouhoploutvého (*Marcopodus opercularis*) či oblíbené bojovnice (*Betta*, obr. 9). Dýchání pouze žábry jim nestačí, a pokud bychom jim zabránili nadechování na hladině, udusily by se. Doplňkové střevní dýchání nacházíme u piskoře (*Misgurnus*), kdy ryba polkne u hladiny vzduch, který projde trávicím traktem, kde se vstřebává kyslík, a nakonec je vzduch vypuzen řitním otvorem. Akvaristé dobře znají toto chování i u některých sumecků, např. jihoamerických pancéřníků rodu *Corydoras*.

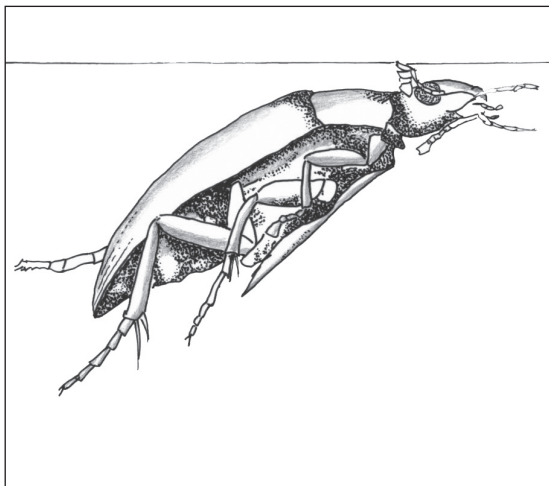
U kapra můžeme někdy v přeplněných kádích při vánočních prodejkách pozorovat i nouzové dýchání dutinou ústní, které se projevuje při nedostatku kyslíku ve vodě. Tento způsob dýchání bývá označován také jako „troubení ryb“. Kapři plavou šikmo s hlavou u hladiny a ústy nabírají vzduch do ústní dutiny, kde se kyslík vstřebává do krve přes prokrvenou ústní sliznici. Pro úplnost lze doplnit, že u dvojdyšných ryb bahníků (*Dipnoi*) nacházíme kromě žaber jeden nebo dva plicní vaky a u kostlínů (*Lepisosteiformes*) slouží jako doplňkový dýchací orgán plynový měchýř. Zástupce těchto exotických ryb lze spatřit ve veřejném akváriu v areálu Výstaviště v Holešovicích. Kompletní přehled čeledí ryb s různými dalšími typy doplňkových dýchacích orgánů uvádějí Helfman a kol. (2009) a Ishimatsu (2012). Jako pozoruhodnou zajímavost lze uvést odolnost karase obecného (*Carassius carassius*) k anoxii (absenci kyslíku) ve vodě s nízkou teplotou, kde dokážou přežít i několik měsíců. Klíčem k jeho toleranci je schopnost produkovat etanol jako hlavní produkt anaerobního metabolismu (Blažka 1985, Blažka a Okrouhlík 2005). Odolný na nedostatek kyslíku je také úhoř



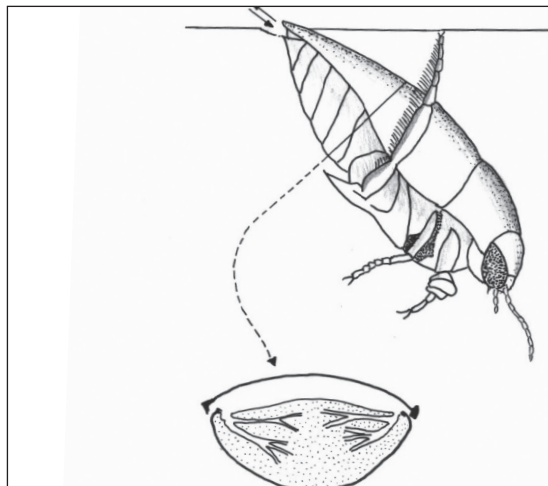
Obr. 10 Respirační poloha ploštyce bodule (*Naucoris*) a princip kombinovaného dýchání s využitím tzv. fyzikálních plic (šipky naznačují výměnu plynů). Kresba autor.



Obr. 11 Respirační poloha u ploštyce znakoplavky (*Notonecta*). Kresba autor.



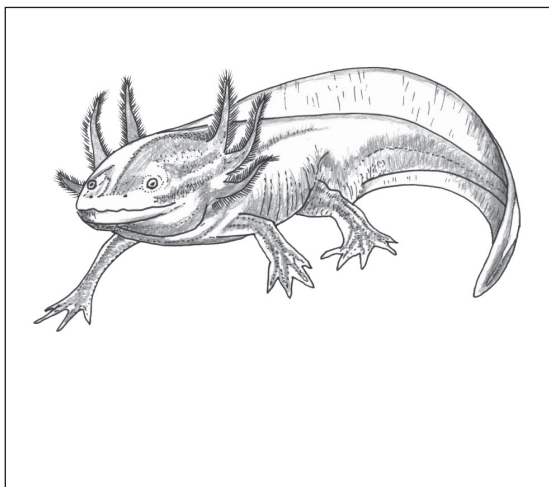
Obr. 12 Respirační poloha vodomila (*Hydrous*). Kresba autor. Na str. 46 zvětšeno.



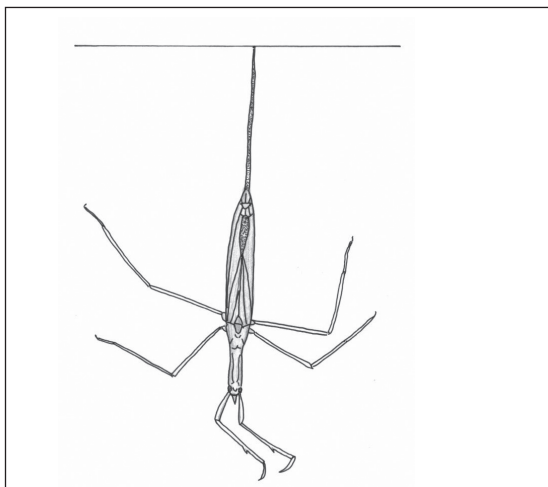
Obr. 13 Respirační poloha potápníka (*Dytiscus*) s vyznačením napojení vzduchové zásoby pod krovkami na tracheje. Kresba autor.

říční (*Anguilla anguilla*) schopný přežít i několik hodin ve vodě zcela bez kyslíku díky minimálním nárokům na kyslík následkem výrazného snížení intenzity svého metabolismu (van Waarde et al. 1983, Cruz-Neto & Steffensen 1997).

U dospělých obojživelníků, např. trvale ve vodě žijících žab (africké drápatky a drápatečky) můžeme sledovat občasné vyplouvání k hladině a nadechování vzduchu do plic, ve vodě se do určité míry uplatňuje i kožní dýchání. Jejich larvy (pulci) ale dýchají ve vodě žábami. Často chovaný obojživelní-



Obr. 14 Larva axolotla mexického (*Ambystoma mexicanum*) s nápadnými vnějšími žábami. Kresba autor. Na str. 47 zvětšeno.



Obr. 15 Respirační poloha ploštice jehlanky válcovité (*Ranatra linearis*). Kresba autor.

ník axolotl mexický (*Ambystoma mexicanum*) v larválním stádiu ve vodě dýchá vnějšími žábrami (obr. 14) a v menší míře i kůží. Žábrami občas pohybuje, čímž si k nim přivádí čerstvou vodu a odstraňuje z nich případně usazený kal. Je příkladem obojživelníka, u něhož se objevuje neotenie (schopnost se rozmnožovat v larválním stádiu), viz Plachý a Horáček (1975).

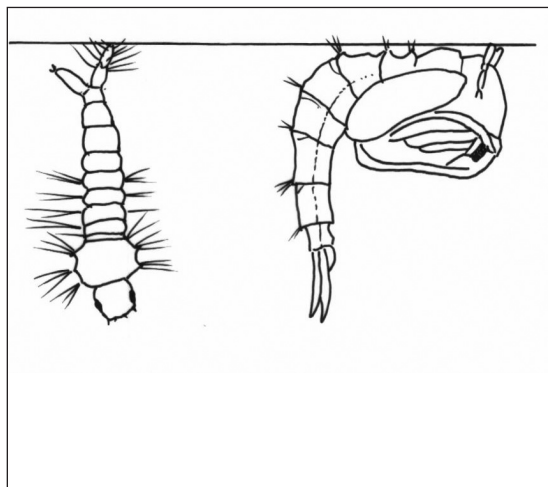
C/ Dýchání vzdušného kyslíku

U těchto živočichů, kteří využívají k dýchání takřka výlučně kyslík vzdušný, můžeme pozorovat víceméně pravidelné vynořování k hladině, kde zaujímají různou respirační polohu.

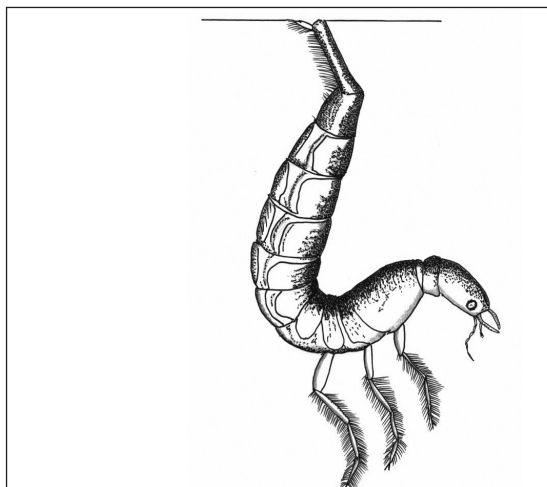
- U plicnatých plžů probíhá výměna plynů na stěnách plášťové dutiny, která je naplněna vzduchem. Vzduch v dutině je vyměňován u hladiny, kam plži pravidelně vystupují. Frekvence nabírání čerstvého vzduchu je závislá na obsahu kyslíku ve vodě a tudíž na její teplotě. Zajímavé sledování můžeme provést

u plicnatého plže plovatky bahenní (*Lymnaea stagnalis*), u níž je známo, že při teplotě 15 °C téměř nevystupuje k hladině, při vyšší teplotě dochází k výměně vzduchu 7-20x za hodinu. S klesajícím obsahem rozpuštěného kyslíku při nárůstu teploty vody se frekvence zvyšuje (výhodné je, máme-li možnost změřit obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě). Plovatka přiblíží otvor do plášťové dutiny (dosud uzavřený) ke hladině a s mlaskavým zvukem ho otevře. Svá pozorování v akváriu lze vyjádřit jednoduchým grafem závislosti frekvence vystupování k hladině na teplotě vody (viz Lellák a kol. 1972).

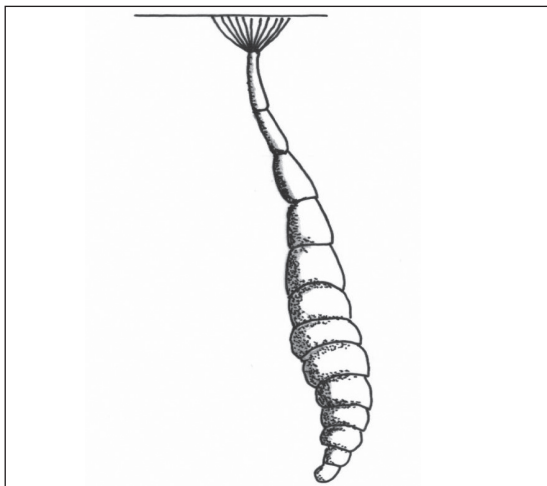
- U kráčivých forem dravých vodních ploštic (splešťule blátivá *Nepa cinerea*, jehlanka válcovitá *Ranatra linearis*), které neplavou, nacházíme u dospělých dlouhou rourku na konci zadečku, složenou ze dvou podélných, těsně k sobě přiložených žlábků. Na jejím konci je věnec hydrofobních chloupků, které zabraňují zalití rourky vodou. Rourkou je veden vzduch do stigmat na konci osmého zadečkového článku (přivádí atmosférický vzduch do tracheálního



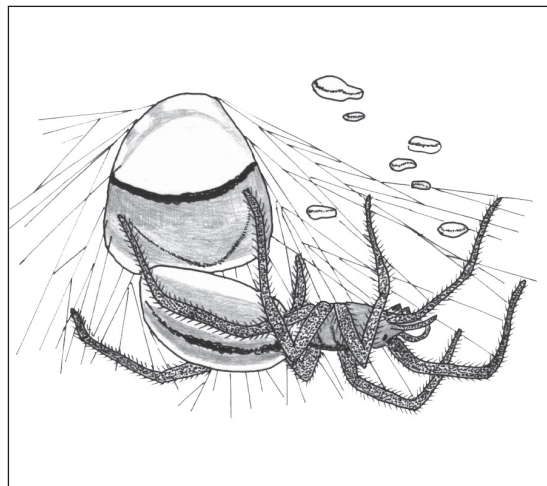
Obr. 16 Respirační poloha larvy (vlevo) a kukly (vpravo) komára. Kresba autor.



Obr. 17 Larva potápníka



Obr. 18 Respirační poloha larvy mouchy bráněnky. Kresba autor.



Obr. 19 Vodouch stříbřitý (*Argyroneta aquatica*) a jeho pavučinový zvon. Kresba autor. Na str. 47 zvětšeno.

systému) a také do vzdušných komor po stranách hrudi, do kterých ústí dva páry hrudních stigmat. Tyto plošnice mohou nehybně číhat na potravu pod hladinou a k dýchání jim stačí nenápadný kontakt konce dýchací rourky s hladinou (obr. 15).

- Na spodní straně povrchové vodní blanky se při čerpání vzduchu zavěšují také např. larvy a kukly komárů (obr. 16) i larvy potápníků (obr. 17). Respirační polohu u hladiny nacházíme i u larev bráněnky (*Stratiomys*), které tak tráví většinu času (obr. 18). Při vyrušení ale prudce stáhne věnec brv, vytlačí přebytek vzduchu z těla a klesne ke dnu, do něhož se případně i zahrabává. Nazpět se larva dostává tím způsobem, že vytlačí z respirační komory bub-

linky vzduchu, čímž zvětší svůj objem a vznese se k hladině, kde bublinka praskne a věnec brv se opět rozloží na hladině a uvolní se i stigmata. Larvy jsou ale schopny po určitou dobu dýchat pod vodou i povrchem svého těla.

Výše popsané náměty na pozorování by měly umožnit ve školním akváriu u vybraných druhů vodních živočichů názorně prezentovat různé způsoby jejich dýchání a tudíž i rozmanitost adaptací živočichů, jak si zajistit dostatek kyslíku. Jedná se o pozorování jak krátkodobá, tak i dlouhodobější, což lze využít i v mimoškolních aktivitách žáků, např. přírodovědných kroužcích. Příští část bude věnována potravnímu chování vybraných druhů sladkovodních živočichů.

Literatura

- ALSTERBERG, G. (1922): Die Respiratorischen Mechanismen der Tubificiden. Lunds. Univ. Årsskr. 18: 1-222.
- DE BAKKER, D., BAETENS, K., VAN NIMMEN, E., GELLYNCK, K., MERTENS, J., VAN LANGENHOVE, L. & KIEKENS, P. (2006): Description of the structure of different silk threads produced by the water spider *Argyroneta aquatica* (Clerck, 1757) (Araneae: Cybaeidae). Belg. J. Zool., 136 (2): 137-143.

- BLAŽKA, P. (1958): The anaerobic metabolism of fish. *Physiological Zoology* 31, 117-128; <https://doi.org/10.1086/physzool.31.2.30155385>
- BLAŽKA, P. & OKROUHLÍK, J. (2005): Život bez kyslíku. Jak se nepřítomnosti kyslíku brání nižší obratlovci. *Vesmír* 84: 604-607.
- CRUZ-NETO, A. P. & STEFFENSEN J. F. (1997): The effects of acute hypoxia and hypercapnia on oxygen consumption of the freshwater European eel. *Journal of Fish Biology*, 50: 759-769. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01970.x>
- FAMME, P. & KNUDSEN, J. (1985): *Oecologia*, 65: 599. <https://doi.org/10.1007/BF00379679>
- GRAHAM, J. B. (1997): *Air-breathing Fishes: Evolution, Diversity, and Adaptation*, Academic Press, San Diego.
- HANEL, L. (2001): *Akvaristika. Biologie a chov vodních živočichů. I. Obecná část. Skriptum Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy*, 228 s.
- HANEL, L. (2004): *Akvaristika. Biologie a chov vodních živočichů. II. Speciální část. Skriptum Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy*, 260 s.
- HANEL, L. (1997): Vodouch stříbřitý v akváriu. *Akvárium terárium*, 6: 13.
- HELFMAN, G. S., COLLETTE, B. B., FACEY, D. E. & BOWEN, B. W. (2009): *The diversity of fishes. Biology, Evolution, and ecology*. Wiley-Blackwell, 720 pp.
- ISHIMATSU, A. (2012): Evolution of the Cardiorespiratory System in Air-Breathing Fishes. *Aqua-BioScience Monographs*, 5, 1: 1–28. <https://doi.org/10.5047/absm.2012.00501.0001>
- KODRÍK, D. (2000): Fyziologie hmyzu. Učební texty. Entomologický ústav Akademie věd České republiky a Biologická fakulta, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, 1-107.
- LELLÁK, J., KOŘÍNEK, V., FOTT, J., KOŘÍNKOVÁ, J. & PUNČOCHÁŘ, P. (1972): *Biologie vodních živočichů. Skriptum přírodovědecké fakulty UK Praha*, 218 s.
- MAINA, J. N. (1998): The gas exchangers. Structure, function, and evolution of respiratory processes. *Zoophysiology*, 37. Springer Sciences and Business Media, 498 pp.
- NILSSON, G. E. & RENSHAW, G. M. C. (2004): Hypoxic survival strategies in two fishes: extreme anoxia tolerance in the North European crucian carp and natural hypoxic preconditioning in a coral-reef shark, *Journal of Experimental Biology* 207, 3131-3139. <https://doi.org/10.1242/jeb.00979>
- PAPÁČEK, M. (2012): On the benthic water bug *Aphelocheirus aestivalis* (FABRICIUS 1794) (Heteroptera, Aphelocheiridae): Minireview. *Entomologica Austriaca* 19: 9-19.
- PLACHÝ, J. & HORÁČEK, J. (1975): Dýchání larev axolotla mexického. *Živa* 2: 71-72.
- POPHAM, E. J. (1954): A new and simple method of demonstrating the physical gill of aquatic insects. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London. Series A, General Entomology*, 29: 51-54. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1954.tb01197.x>
- SEYMOUR, R. S. & MATTHEWS, P. G. (2013): Physical gills in diving insects and spiders: theory and experiment. *Journal of Experimental Biology* 216: 164-170. <https://doi.org/10.1242/jeb.070276>
- VORNANEN, M., STECYK, J. A. W. & NILSSON G. E. (2009): 9. The anoxia tolerant Crucian carp (*Carassius carassius* L.). *Fish physiology, Hypoxia*, 27: 397-441. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)00009-5](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)00009-5)
- VAN WAARDE, A., VAN DEN THILLART, G. E. E. J. & KESBEKE, F. (1983): Anaerobic energy metabolism of the European Eel, *Anguilla anguilla* L. *Journal of Comparative Physiology* 149(4): 469-475. <https://doi.org/10.1007/BF00690005>
- WALKER, R. M. & JOHANSEN, P. H. (1977): Anaerobic metabolism in goldfish (*Carassius auratus*), *Canadian Journal of Zoology* 55, 1304-1311. <https://doi.org/10.1139/z77-170>