Teoria da Aula-Prática

Adaptação à Exposição ao Ar em Crustáceos

Apesar da maioria dos crustáceos ser aquática e passar todo o seu ciclo de vida submersa, existem algumas espécies que são terrestres ou semi-terrestres. Entre os fatores que limitam a ocupação do ambiente terrestre pelos crustáceos, dois se destacam: um é a existência de uma fase larval dependente do ambiente aquático para o seu desenvolvimento, e o outro é a existência de brânquias como órgão respiratório. Nesta aula analisamos quais são os problemas enfrentados pelos animais que possuem brânquias ao respirar no ar e, quais as principais adaptações do sistema respiratório encontradas nos crustáceos terrestres ou semi-terrestres que permitem a sua sobrevivência fora da água.

As brânquias são embriologicamente evaginações, isto é, dobras para fora da superfície respiratória que apresentam íntima associação com o sistema circulatório. Essas estruturas são os principais órgãos respiratórios não só de crustáceos, mas da grande maioria dos animais de respiração aquática. As brânquias podem estar expostas diretamente no meio aquático circundante, como em anelídeos poliquetos, moluscos nudibrânquios ou salamandras aquáticas, ou podem estar localizadas dentro de uma cavidade, denominada de câmara branquial, como em peixes e crustáceos (Fig. 1).

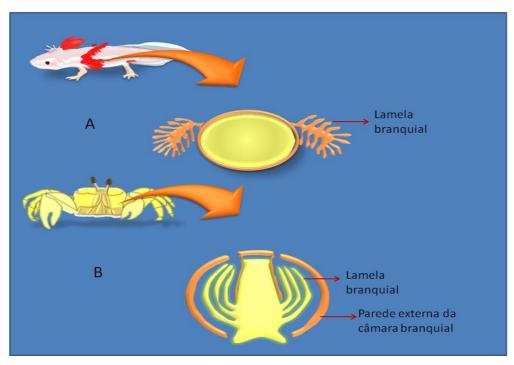


Fig. 1- Padrões de disposição das brânquias dos animais aquáticos. A- Brânquias externas, em que as lamelas branquiais estão diretamente expostas no meio externo sem proteção. B-Brânquias internas, onde as lamelas branquiais estão protegidas por uma câmara branquial (Adaptado de Sandava et al., 2009).

Nos crustáceos decápodes (caranguejos, camarões e lagostas), a ventilação branquial ocorre devido ao movimento de um apêndice especializado, o escafognatito, que impulsiona a água para fora da câmara branquial (Fig. 2). A saída da água pela abertura exalante gera uma pressão negativa dentro da região pós-branquial da câmara branquial, sugando a água da região pré-branquial que, então, flui em direção as brânquias, passando pelas lamelas branquiais, onde ocorrem as trocas gasosas. A saída de água da região da câmara pré-branquial para as brânquias, por sua vez, gera uma pressão negativa nesta região promovendo a entrada da água do meio externo pelas aberturas inalantes.

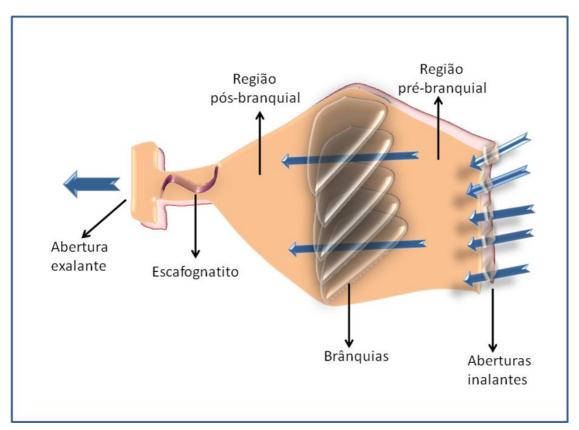


Fig. 2- Desenho esquemático da ventilação branquial dentro da câmara branquial de crustáceos decápodes. As setas em azul mostram a direção do fluxo de água que entra pelas aberturas inalantes, passa pelas brânquias e sai pela abertura exalante devido ao batimento do escafognatito (Adaptado de Prosser, 1973).

De maneira geral, as brânquias são órgãos de respiração aquática e, quando expostas ao ar, suas lamelas tendem a colabar, isto é, grudar umas nas outras, resultando em uma drástica redução na área da superfície respiratória disponível para as trocas gasosas. Com isso, os animais acabam morrendo por asfixia, falta de oxigênio. Tal fato ocorre porque com a retirada da água ao redor das brânquias também é retirada a sua sustentação, resultando que as fileiras de lamelas fiquem extremamente próximas, sem condição de realizar troca gasosa com o ar. Dessa forma, paradoxalmente, os animais aquáticos com brânquias quando expostos ao ar, que possui 30 vezes mais oxigênio que a água, sofrem hipoxia ou até mesmo anoxia. Outro problema, também associado com a respiração aérea em animais aquáticos, é

a dificuldade de eliminar o CO₂. Devido à alta solubilidade do CO₂ na água, esse gás se difunde facilmente do meio interno para o meio externo aquático através das brânquias, mas quando expostos ao ar, os animais com brânquias, além de terem uma área menor para eliminar o CO₂, este não se difunde tão facilmente como na água, levando a uma situação de acidose do meio interno. A acidose é caracterizada pela diminuição do pH, sendo provocada pela reação do CO₂ acumulado com a água do meio interno: CO₂ + H₂O ↔ H⁺ + HCO₃⁻. Para resolver este problema, as espécies de crustáceos que conseguem se manter durante várias horas, dias (os semi-terrestres) ou até mesmo a vida toda fora da água (os terrestre), desenvolveram algumas adaptações no sistema respiratório como: 1- o enrijecimento da estrutura branquial de forma a impedir o colapso das lamelas branquiais; 2- a diminuição da área total das lamelas branquiais (número e tamanho) de forma a perder menos água por evaporação e diminuir a tendência ao colabamento; 3- possuir uma outra superfície respiratória, além das brânquias, para realizar a captação de oxigênio do ar de forma semelhante a um "pulmão", que são invaginações do epitélio da câmara branquial denominados branquiostegitos.

Uma outra adaptação que pode ser visualizada em alguns caranguejos semi-terrestres, como o *Neohelice granulata*, é a capacidade de armazenar água na câmara branquial de forma a manter suas brânquias submersas, mesmo quando o indivíduo está fora da água. Esta reserva de água permite que o animal migre periodicamente para o ambiente terrestre sem que haja dessecamento ou colabamento das lamelas branquiais. Ainda, esta água serve como "reserva de oxigênio", além de ser um local de eliminação de CO₂. Como o oxigênio dessa água tende a diminuir e o CO₂ aumentar, o animal faz uma recirculação da água para reoxigená-la e liberar CO₂ para o ar (Fig. 3). Como observado no vídeo, o animal expele lentamente a água pela abertura exalante próxima à boca, devido ao batimento do escafognatito. A água expelida percorre a superfície externa do corpo do animal e volta a entrar pelas aberturas inalantes junto às patas. Essa água escorre pelas pequenas ranhuras que existem na carapaça do animal e não se perde em grande quantidade devido ao efeito da capilaridade. Com o tempo, a água vai evaporando e o animal precisa voltar a submergir para não sofrer hipoxia e acidose.

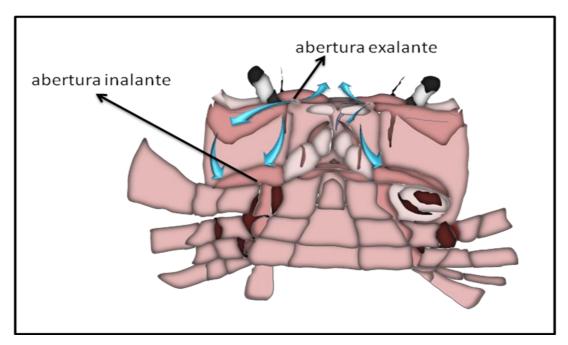


Figura 3 – Vista frontal de um caranguejo semi-terrestre mostrando o caminho da água da câmara branquial quando ela é expelida em pequena quantidade pela abertura exalante e percorre a superfície externa do animal até entrar novamente para câmara branquial pela abertura inalante. As setas em azul mostram os caminhos normalmente utilizados (Santos et al., 1987).

Referências das Figuras

Prosser, C.L. 1973. Comparative Animal Physiology. 3a Edição, W.D. Saunders Company, Filadélfia, Estados Unidos, 966 p.

Sadava, D., Heller, H.C., Orians, G.H., Purves, W.K., Hills, D.M. 2009. Vida: a ciência da biologia - Volume III: Plantas e Animais. 8º Edição, Artmed, Porto Alegre, Brasil, 364 p.

Santos, E.A., Baldisseroto, B., Bianchini, A., Colares, E.P., Nery, L.E.M., Manzoni, G.C. 1987. Respiratory mechanisms and metabolic adaptations of an intertidal crab, *Chasmagnatus granulata* (Dana, 1851). Comparative Physiolgy and Biochemistry A, 88 (1): 21-25.

Bibliografia Sugerida

Hill, R.W., Wyse, G.A., Anderson, M. 2008. Fisiologia Animal. 2ª Edição, Artmed, Porto Alegre, Brasil, 894 p.

Moyes, C.D., Schutle, P.M. 2010. Princípios de Fisiologia Animal. 2ª Edição, Artmed, Porto Alegre, Brasil, 756 p.

Randall, D., Burggren, W., French. 2000. Eckert Fisiologia Animal - Mecanismos e Adaptações. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brasil, 729 p.

Schimidt-Nielsen, K. 2002. Fisiologia Animal - Adaptação e Meio Ambiente. 2ª Edição, Santos Editora, São Paulo, Brasil, 611 p.

Questões de Revisão

- 1 Por que as brânquias são normalmente associadas à respiração aquática?
- 2 Explique o processo de ventilação branquial em crustáceos decápodes.
- 3 Quais são os problemas enfrentados pelos animais aquáticos que possuem brânquias quando são expostos ao ar?
- 4 Quais são as modificações no sistema respiratório que podemos observar nos crustáceos terrestres ou semi-terrestres?
- 5 Por que carregar água na câmara branquial auxilia o animal aumentar a sua permanência fora da água?
- 6 Por que esta estratégia de recirculação da água da câmara branquial não permite ao animal ficar indefinidamente exposto ao ar? *Respostas*
- 1 As brânquias estão, normalmente, associadas à respiração aquática devido a sua estrutura ser resultante de um processo de evaginação da superfície corpórea, necessitando estar num meio de maior densidade, como a água, para manter sua organização tridimensional intacta. Quando, ao invés de na água, a brânquia está no meio aéreo, sua sustentação fica muito prejudicada acarretando num colabamento das suas lamelas, isto é, suas lamelas grudam umas nas outras resultando numa diminuição drástica da área disponível para troca gasosa.
- 2 O escafognatito, localizado na região pós-branquial próximo à abertura exalante da câmara branquial, ao bater expele a água ao seu redor para fora da câmara branquial via abertura exalante, localizada próxima a boca. A saída dessa água da região pós-branquial cria uma pressão negativa que puxa a água que está na região pré-branquial da câmara branquial, fazendo com que esta passe pelas brânquias. Por sua vez, a saída da água da região pré-branquial cria uma pressão negativa puxando a água do meio externo para dentro da câmara branquial através das aberturas inalantes, localizadas acima dos pereiópodos, os apêndices torácicos. Podemos dizer que o escafognatito dos crustáceos realiza uma função semelhante ao diafragma dos mamíferos, sendo que a intensidade de ventilação branquial desses animais depende da intensidade de batimento do escafognatito.
- 3 Os animais aquáticos que possuem brânquias, quando expostos ao ar, enfrentam dois grandes problemas respiratórios: um é diminuição na captação de O₂, mesmo estando num meio com muito mais oxigênio; e o outro, a redução na eliminação do CO₂. O primeiro problema ocorre em conseqüência da grande redução da área disponível para trocas gasosas que ocorre quando a brânquia, sem a sustentação que a água fornecia, tem as suas lamelas colabadas, isto é, grudadas umas nas outras. O segundo ocorre em conseqüência da

dificuldade de eliminar o CO₂ para o ar quando comparado à água. O fato do CO₂ ter uma alta solubilidade na água permite que este gás saia rapidamente e em grande quantidade do meio interno para o meio externo através das brânquias. Já nos animais de respiração aérea, o CO₂ não consegue ser eliminado em grandes quantidades fazendo com que esses animais passem a ter o pH dos seus líquidos internos mais baixo que os animais de respiração aquática. O pH mais baixo deve-se à reação do excesso de CO₂ com a água formando H⁺.

- 4 As principais modificações que podemos observar no sistema respiratório dos crustáceos terrestres e semi-terrestres que os permitem sobreviver por horas, dias e até mesmo a vida toda expostos ao ar são: a- redução do tamanho e número das lamelas branquiais, isto é, redução da área total das lamelas branquiais o que diminui a tendência das brânquias se colabarem sem a sustentação da água; b- enrijecimento da base das lamelas branquiais, aumentando a sustentação branquial e evitando também que as lamelas colabem na ausência da água; c- presença de outra superfície para troca gasosa, além das brânquias esta superfície normalmente é o epitélio de revestimento da câmara branquial, que inclusive em alguns crustáceos apresenta invaginações semelhantes ao pulmão, denominado de branquiostegito; e d- capacidade de carregar água na câmara branquial quando exposto ao ar e realizar um processo de recirculação dessa água pela superfície externa do corpo do animal para reoxigenação e eliminação de CO₂.
- **5** A estratégia de carregar água na câmara branquial na exposição ao ar propicia ao animal aumentar o seu tempo de permanência fora da água porque permite que a brânquia fique em contato com a água por mais tempo. Com isso, as lamelas branquias não colabam e o animal consegue retirar oxigênio dessa água e eliminar para ela o CO₂. Como essa água rapidamente vai perdendo o O₂ e aumentando o CO₂, o animal, para aumentar ainda mais a eficiência dessa estratégia, faz a recirculação dessa água pelo lado de fora da sua superfície corpórea, permitindo a reoxigenação e eliminação do CO₂. Ao recircular pelo lado externo do corpo, a água não é perdida em grande quantidade, pois apenas um pequeno volume de água recircula e quando esta passa pela superfície externa do animal, corre pelas ranhuras da carapaça até entrar novamente pela abertura inalante.
- 6 Esta estratégia de recircular água da câmara branquial não permite a permanência do animal por longos períodos fora da água porque leva a perda da água, tanto por escoamento (água pode escorrer para o ambiente) quanto por evaporação, resultando numa perda considerável ou até total de água para o meio externo e, consequentemente, provocando o colabamento das lamelas branquiais.