

ADAPTAÇÕES FISIOLÓGICAS DOS MAMÍFEROS

MERGULHADORES

Qualquer pessoa que mergulhe a 20 metros de profundidade e permaneça submersa por 3 minutos é considerada uma mergulhadora hábil.

A foca de Weddell (*Leptonychotes weddelli*) supera em muito os mergulhadores humanos, pois consegue mergulhar a uma profundidade próxima de 700 metros e permanecer submersa por 70 minutos, aproximadamente. E ela nem é a recordista entre os mamíferos! A baleia cachalote mergulha até cerca de 2 100 metros de profundidade, podendo permanecer submersa por volta de 60 minutos.

Os animais mergulhadores enfrentam diversos problemas durante o mergulho. Mesmo sem respirar, devem continuar fornecendo oxigênio a todos os tecidos corporais. Ao mesmo tempo, precisam limitar o acúmulo de dióxido de carbono no sangue, resultante da respiração celular, para impedir a alteração do pH sanguíneo, essencial para a manutenção do metabolismo celular. Eles devem evitar também os problemas que a pressão extrema pode causar. Um deles relaciona-se ao aumento da excitabilidade nervosa, que pode resultar em convulsões. Outro problema diz respeito à compressão dos gases, principalmente do nitrogênio, que acaba se dissolvendo no sangue e nos tecidos, provocando narcose, cujos sintomas são intoxicação, perda de coordenação e de visão, sonolência e inconsciência.

Quando o animal retorna à superfície, fica submetido a pressões externas menores (descompressão). Se a descompressão acontecer de forma muito rápida, o gás nitrogênio dissolvido nos tecidos e no sangue pode formar bolhas, as quais, além de causar dor intensa nas articulações, podem bloquear vasos sanguíneos no cérebro e na medula espinhal, ocasionando paralisia e mesmo a morte.

Curiosamente, os mamíferos marinhos parecem não apresentar nenhum desses problemas, embora seu sistema respiratório se assemelhe ao dos mamíferos terrestres. Ao longo das últimas décadas, os pesquisadores têm concentrado seus estudos nas características anatômicas e fisiológicas desses excepcionais mergulhadores. A foca de Weddell foi escolhida como modelo para realizar esses estudos por apresentar vantagens em relação às baleias e aos leões-marinhos, em situações de manipulação experimental. Ela é encontrada nas águas cristalinas do mar de Weddell, na Antártida, que formam verdadeiros aquários naturais.

Nos mergulhos forçados em laboratório, as focas de Weddell exibem o reflexo do mergulho, caracterizado por apnéia (ausência de respiração), bradicardia (diminuição da frequência cardíaca), constrição dos vasos sanguíneos periféricos, com conseqüente redução do consumo de oxigênio por determinados tecidos (pele e musculatura) e redistribuição do fluxo sanguíneo, assegurando o devido suprimento de sangue (e portanto de oxigênio) aos tecidos cruciais para a sobrevivência da foca (por exemplo, cérebro, medula espinhal e retina). Embora o metabolismo anaeróbico inicial seja importante na ausência de oxigênio, altos índices de ácido láctico no sangue podem provocar acidose, ocasionando deficiência cardíaca e, em alguns casos, até a morte. Estudos em laboratório sugerem que a foca evita a acidose restringindo o metabolismo anaeróbico aos músculos esqueléticos e a outros tecidos que estejam recebendo pouco suprimento sanguíneo.

A foca de Weddell consegue estocar quase duas vezes mais oxigênio por quilograma de massa corporal que a espécie humana, concentrando esse oxigênio onde ele é mais necessário durante o mergulho: no sangue (ligado à hemoglobina) e nos músculos (ligado à mioglobina). O volume de sangue da foca também impressiona: enquanto na espécie humana corresponde a 7% da massa corporal, na foca de Weddell pode chegar a 14% da massa do animal.

Além do volume pulmonar reduzido, quando comparado com o de mamíferos terrestres de mesma massa corpórea, o animal expira antes de submergir, reduzindo a flutuabilidade (o que facilita a submersão) e a quantidade potencial de gás que poderia ser dissolvida no sangue.

Durante o mergulho, a pressão exercida pela água sobre a caixa torácica comprime os gases presentes nos alvéolos pulmonares diretamente para o sangue, até um ponto a partir do qual os pulmões colapsariam completamente. Estudos recentes, realizados em ambiente natural com transmissores acoplados ao corpo das focas, têm esclarecido alguns detalhes da resposta fisiológica e metabólica desses animais durante o mergulho. Cerca de 95% dos mergulhos praticados pelas focas têm como objetivo a alimentação e duram menos de 20 minutos (mergulhos curtos). Os 5% restantes são de exploração e duram mais de 30 minutos (mergulhos longos).

Os resultados mostram que as focas não liberam ácido láctico para a circulação durante ou após mergulhos que duram até 20 minutos. Isso indica que,

durante os mergulhos curtos, os músculos não se utilizam do metabolismo anaeróbico, como mostrado em laboratório. Observou-se que a frequência cardíaca diminui no início de cada mergulho, não permanecendo constante ao longo dos mergulhos curtos, mas aumentando ou diminuindo de acordo com a velocidade desenvolvida pela foca. Quando a frequência cardíaca aumenta, o volume sanguíneo lançado na circulação também aumenta, sendo o sangue extra canalizado para os músculos esqueléticos, o que contradiz a afirmação da constrição total dos vasos que ocorre durante os mergulhos em laboratório.

Já os mergulhos longos de exploração são caracterizados por bradicardia profunda, com pouca variação da frequência cardíaca. A foca libera ácido láctico para o sangue depois do mergulho, e não durante, indicando que, quando ela mergulha, diminui o fluxo sanguíneo para os músculos esqueléticos. Recorrendo ao metabolismo anaeróbico, a foca consegue permanecer embaixo d'água por uma hora. Quando volta à superfície, porém, são necessárias algumas horas para eliminar o ácido láctico acumulado, durante as quais ela não pode voltar a mergulhar.

Outros estudos indicam que, no início de ambos os tipos de mergulho, o número de hemácias na circulação aumenta, maximizando a quantidade de hemoglobina no sangue e a quantidade de oxigênio que vai para os tecidos. O baço é apontado como o órgão responsável pela injeção de hemácias ricas em oxigênio na circulação sanguínea, pois, quando o sistema nervoso simpático é ativado, a musculatura lisa que reveste esse órgão se contrai. Comparado com o de outros mamíferos, o baço das focas de Weddell é relativamente grande em relação a sua massa corporal. Após o retorno da foca à superfície, as hemácias são rapidamente recarregadas com oxigênio e novamente estocadas no baço.

Além de manter o suprimento de oxigênio durante o mergulho, o influxo de sangue na circulação diminui a concentração de gases dissolvidos no sangue. Isso explicaria por que a concentração de dióxido de carbono se eleva pouco durante o mergulho e por que o nitrogênio não causa narcose ou bolhas nas focas. Todas essas adaptações tornam as focas de Weddell uma das mais impressionantes máquinas de mergulho do mundo animal.

Texto traduzido e adaptado por Sônia Lopes e Luciano Luna Rodrigues, em dezembro de 2004, a partir dos artigos "The Challenges of Diving to Depth", de Gerald L. Kooyman e Paul J. Ponganis, publicado na revista *American Scientist*, v. 85, p. 530-9, 1997, e "Diving Adaptations of the Weddell Seal", de Warren M. Zapol, publicado na revista *Scientific American*, v. 256 (6), p. 80-5, 1987.