

## Fisiologia do mergulho

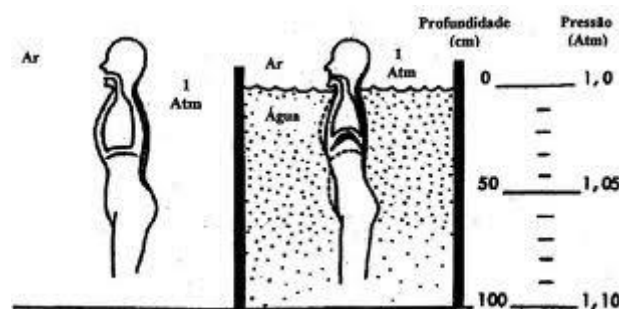
### Resumo

O sistema circulatório e o sistema respiratório são os mais afetados pelo ambiente subaquático. Eles têm como objetivo fornecer nutrientes ao nosso corpo, reagindo às condições produzidas pelos ambientes subaquáticos de uma forma mais visível do que os restantes sistemas do corpo humano.

Todas as células do nosso corpo utilizam o oxigênio para converterem energia química em diversos tipos de energia necessária para a vida. Alguns tecidos, mesmo privados de oxigênio, conseguem “suspender” a sua atividade durante várias horas e permanecerem vivos. Por outro lado existem outros que morrem rapidamente sem oxigênio, como por exemplo, o cérebro.

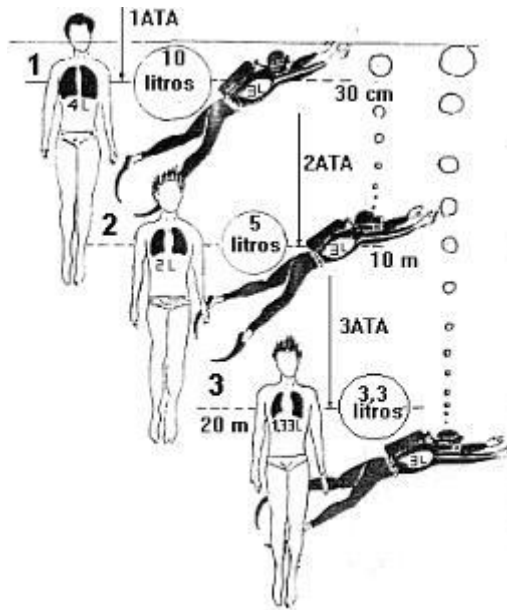


A respiração com equipamento de mergulho influencia o sistema respiratório e circulatório, aumentando o nível de dióxido de carbono, com o aumento de espaços de ar morto (ar que não foi renovado), e a resistência de inspiração e expiração. Outra influência é a redução do volume dos pulmões em cerca de 15% a 20% do seu volume à superfície, causado pela pressão da água, comprimindo o tórax.



Quando o mergulhador utiliza um sistema de mergulho autônomo e respira ar à pressão ambiente, necessita de uma adaptação devido à densidade do ar quando respirado a pressões superiores. Quando o ar circula por passagens lisas, este pode circular sem interrupção, movendo-se como uma coluna contínua. Por outro lado, em passagens que não sejam lisas, como equipamento de mergulho, traqueia e brônquios, o fluxo de ar torna-se turbulento através da fricção entre o ar e as paredes do respectivo canal. Este fenômeno origina que o ar no centro do canal circule mais depressa que nos extremos, originando uma maior resistência. Esta resistência tem a vantagem de aumentar um pouco a pressão dentro dos bronquíolos e dos alvéolos, ajudando a que eles não entrem em colapso durante a expiração. Contudo esta resistência causa mais

problemas do que vantagens. O rápido movimento do ar, a maior densidade e as passagens mais irregulares, mais energia deverá ser consumida para superar esta resistência.



O sangue chega ao cérebro através das artérias carótidas, que estão localizadas uma em cada lado do pescoço. Os baroreceptores controlam a pressão do sangue nestas artérias e envia impulsos para o cérebro para controlar o coração. Quando um desses receptores detecta altas pressões, ele estimula o cérebro de forma a abrandar o ritmo cardíaco, até a pressão baixar. Se um mergulhador vestir um fato ou outro equipamento que aperte o pescoço, pode fazer com que os baroreceptores detectem altas pressões e estimulam a redução do ritmo cardíaco. Como a pressão não vai baixar com essa redução de ritmo, o coração vai baixar o seu ritmo cada vez mais, podendo levar o mergulhador a perder a consciência.

## Apneia

Durante um mergulho em apneia (sustentação da respiração), o corpo responde de forma a garantir a sobrevivência durante a pausa da respiração. Durante a apneia, o sistema circulatório mantém o oxigênio guardado nos pulmões, músculos e sangue para satisfazer as necessidades dos tecidos. Sem a ventilação, o dióxido de carbono acumula-se no sistema circulatório, causando o estímulo para respirar. Este estímulo sentido pelo mergulhador no início é fraco, aumentando progressivamente até o mergulhador atingir a superfície para respirar.

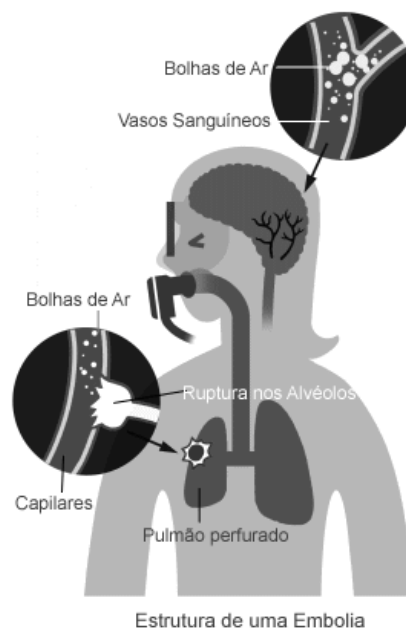
Efeitos da apneia:

- À medida que o tempo de apneia aumenta, os níveis de oxigênio no organismo diminuem enquanto que os de dióxido de carbono aumentam, podendo atingir os estados de hipóxia (baixo teor de oxigênio) e hipercapnia (aumento da concentração de gás carbônico no sangue), respectivamente.
- Durante o estado de hipercapnia, surge uma necessidade involuntária de retomar a respiração geralmente acompanhada por contrações diafragmáticas.
- Durante o estado de hipóxia, o organismo pode ser forçado a “desligar” certas partes do organismo de forma a proteger o cérebro e o coração.

## Doença por Descompressão



Quando se utiliza tanques de ar comprimido para o mergulho, há inalação de grande quantidade de oxigênio, nitrogênio, entre outros gases. O oxigênio é consumido constantemente, logo, não há acúmulo dele, mas os demais gases devem ser eliminados pelos pulmões, podendo se acumular nos tecidos e no sangue caso isso não ocorra. Esse processo é demorado, e, quando um mergulhador retorna de locais muito profundos, a pressão do ambiente vai diminuindo, e é possível que a pressão sanguínea não seja o bastante para manter os gases dissolvidos na própria corrente sanguínea. Caso isso ocorra, pode haver formação de bolhas.

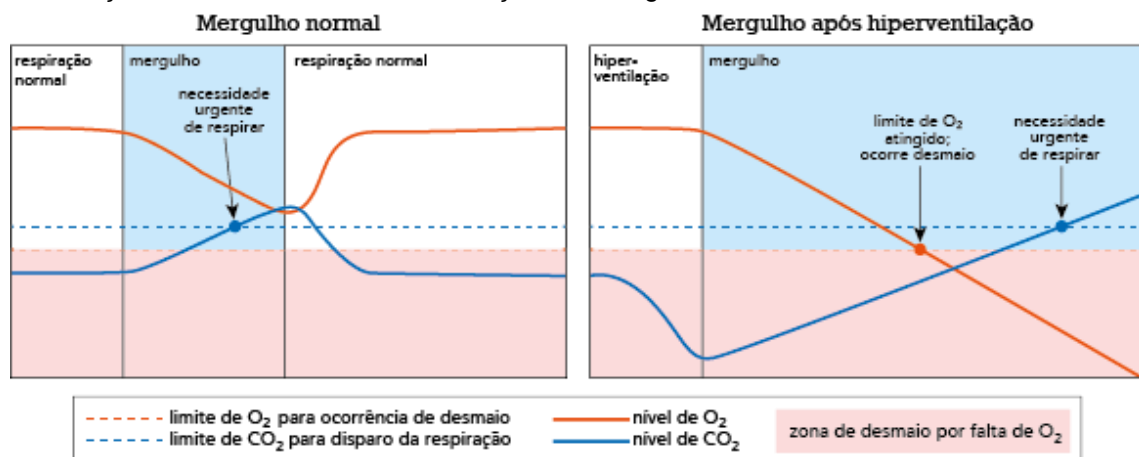


Para evitar a formação dessas bolhas, que agiriam como coágulos na corrente sanguínea, o mergulhador pode precisar realizar paradas de descompressão, objetivando manter os gases dissolvidos na corrente sanguínea.

Em caso de formação de bolhas, observa-se como sintomas a dor nas articulações, confusão, fraqueza, formigamento dos membros, possivelmente paralisia, ou mesmo vertigem, caso o ouvido interno seja afetado. O tratamento em câmaras hiperbáricas tem como objetivo de gerar uma recompressão, ou seja, aumentar a pressão gradativamente para dissolver as bolhas de ar, fazendo com que o organismo volte ao normal.

## Exercícios

- No homem, o controle dos movimentos respiratórios é exercido
  - pelo cérebro.
  - pelo cerebelo.
  - pelo bulbo.
  - pela medula.
  - pela hipófise.
- O sistema cardiovascular é formado pelo coração e uma grande quantidade de vasos sanguíneos. Esses vasos podem ser classificados em três tipos distintos: artérias, veias e capilares. Sobre as artérias, marque a alternativa correta:
  - Atuam transportando exclusivamente sangue oxigenado.
  - Atuam transportando exclusivamente sangue rico em gás carbônico.
  - Atuam transportando sangue do coração para outras partes do corpo.
  - Atuam transportando sangue de diversas partes do corpo em direção ao coração.
- As manifestações clínicas da Insuficiência Respiratória (IR) dependem dos efeitos da hipoxemia, da hipercapnia e da ação sinérgica sobre os tecidos nobres do organismo. Com relação a isso, indique como ocorrem esses efeitos no corpo humano.
- Os mergulhadores de profundidade rasa, ou seja, de menos de 7 m, com o objetivo de aumentar o tempo de permanência em apneia sob a água, realizam a manobra conhecida como hiperventilação: inspirar rapidamente, várias vezes, a fim de remover da corrente sanguínea uma quantidade de CO<sub>2</sub> maior do que o organismo é capaz de produzir. No entanto, como a concentração de CO<sub>2</sub> é responsável por produzir a necessidade de respirar, essa mesma manobra pode, também, provocar desmaios sob a água, com risco de morte para o mergulhador que a prática. Observe nos gráficos as diferentes concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> em duas situações de mergulho.



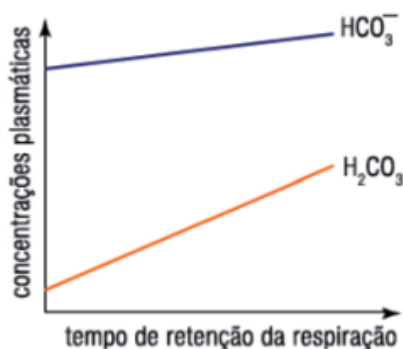
Adaptado de image.slidesharecdn.com.

Indique a principal estrutura do sistema nervoso central envolvida no controle involuntário da respiração e, também, a principal alteração do sangue detectada por essa estrutura. Em seguida, com base nos gráficos, explique por que, ao realizarem a hiperventilação, esses mergulhadores podem sofrer desmaios

5. O CO<sub>2</sub> produzido pelo metabolismo dos tecidos é, em grande parte, transportado no sangue sob a forma de bicarbonato e de ácido carbônico. Em condições normais, tais compostos encontram-se na seguinte proporção:

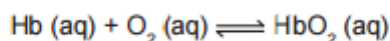
$$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{20}{1}$$

Esse sistema de transporte, cuja parte alcalina corresponde ao HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e a parte ácida ao H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, constitui o principal mecanismo de manutenção do pH do sangue em 7,4. Algumas situações, como prender a respiração por tempo prolongado, podem alterar a taxa normal desses dois compostos no plasma, conforme se observa no gráfico abaixo:



Indique a alteração observada no pH do sangue quando a respiração é suspensa por tempo prolongado. Justifique sua resposta, utilizando as informações do gráfico.

6. Hipoxia ou mal das alturas consiste na diminuição de oxigênio (O<sub>2</sub>) no sangue arterial do organismo. Por essa razão, muitos atletas apresentam mal-estar (dores de cabeça, tontura, falta de ar etc.) ao praticarem atividade física em altitudes elevadas. Nessas condições, ocorrerá uma diminuição na concentração de hemoglobina oxigenada (HbO<sub>2</sub>) em equilíbrio no sangue, conforme a relação:



Mal da montanha.

Disponível em: [www.feng.pucrs.br](http://www.feng.pucrs.br). Acesso em: 11 fev. 2015 (adaptado).

A alteração da concentração de hemoglobina oxigenada no sangue ocorre por causa do(a)

- elevação da pressão arterial.
  - aumento da temperatura corporal.
  - redução da temperatura do ambiente.
  - queda da pressão parcial de oxigênio.
  - diminuição da quantidade de hemácias.
7. Durante o exercício físico ocorre aumento do metabolismo e, conseqüentemente, aumenta a quantidade de CO<sub>2</sub> gerada no organismo. Explique por que o aumento de CO<sub>2</sub> pode aumentar a frequência respiratória.
8. A velocidade dos movimentos respiratórios aumenta quando, no sangue, a concentração:
- da ureia aumenta
  - da carboemoglobina diminui
  - de CO<sub>2</sub> é alta

- d) da oxiemoglobina é elevada
  - e) da carboemoglobina permanece constante
- 9.** Na doença por descompressão, ocorrida muitas vezes em mergulhadores, o tratamento a ser seguido é submeter o paciente a uma câmara hiperbárica, cujo objetivo é que o paciente seja exposto a uma pressão até três vezes maior que a pressão atmosférica ao nível do mar, respirando oxigênio puro. Como este tratamento pode reverter o quadro de doença por descompressão?
- 10.** A Insuficiência Respiratória (IR) é a incapacidade do sistema respiratório de atender às necessidades metabólicas do organismo em termos de oxigenação e excreção de CO<sub>2</sub>, resultando em um nível de hipoxemia ou de hipercapnia que exija intervenção para prevenir complicações. Clinicamente, a insuficiência respiratória caracteriza-se por
- a) esforço respiratório inadequado: eupneico.
  - b) esforço respiratório elevado, reduzido ou ausente.
  - c) boa perfusão periférica, pele corada e aquecida.
  - d) taquipneia nítida (tardia) e Bradpneia ou apneia (precoce).
  - e) preservação do nível de consciência

## Gabarito

---

1. **C**

O controle da respiração é feito pelo centro respiratório localizado no bulbo, que se caracteriza principalmente pelas concentrações de gás carbônico presente no sangue. Quando a concentração de gás carbônico está alta a frequência respiratória aumenta. Já quando a concentração do gás carbônico está baixa a frequência diminui.

2. **C**

As artérias atuam levando o sangue do coração para todos os tecidos e órgãos do corpo. É errado afirmar que elas transportam apenas sangue oxigenado (sangue arterial), pois as artérias pulmonares transportam sangue rico em gás carbônico em direção aos pulmões.

3. A hipoxemia é a baixa concentração de oxigênio no sangue arterial, decorrente da diminuição da ventilação alveolar, e causando o aumento da carbohemoglobina no sangue, causando hipercapnia.

A hipercapnia é o aumento do gás carbônico no sangue arterial, provocado pela diminuição da ventilação pulmonar (por exemplo, prender a respiração ou asfixia). Tanto a hipoxemia quanto a hipercapnia atuam como uma ação sinérgica, ou seja, são vários fatores associados, que geram uma ação conjunta.

4. A realização de hiperventilação em um mergulho em águas rasas representa um risco para o mergulhador uma vez que reduz a concentração de  $\text{CO}_2$  no sangue a níveis muito baixos. Com isso, durante o mergulho, a concentração desse gás demora mais a se elevar. Ao mesmo tempo, a concentração de  $\text{O}_2$  no sangue diminui, atingindo o limite da zona de desmaio antes que a concentração de  $\text{CO}_2$  alcance o limite para o disparo da necessidade de respiração, provocando o desmaio do mergulhador, que termina por se afogar. O controle involuntário da respiração é feito pelo bulbo através da redução do pH do sangue provocada pelo aumento da taxa de  $\text{CO}_2$ .

5. É possível observar a diminuição do pH. Apesar da parte alcalina do sistema aumentar, a parte ácida cresce em maior proporção.

6. **D**

Em altitudes elevadas, a baixa pressão atmosférica determina que o ar seja rarefeito, o que diminui a pressão parcial de oxigênio no sangue.

7. O aumento na quantidade de  $\text{CO}_2$  no sangue aumenta o nível de acidez do plasma sanguíneo, o que excita o centro respiratório, levando ao aumento da frequência respiratória.

8. **C**

A frequência respiratória aumenta quando a concentração de  $\text{CO}_2$  no sangue é grande.

9. A descompressão envolve a formação de bolhas de nitrogênio na corrente sanguínea, que agem como coágulos. A recompressão aumenta a pressão a qual o corpo é submetido, dissipando essas bolhas na corrente sanguínea.

## 10. B

A insuficiência respiratória é uma condição na qual oxigênio não passa dos pulmões para o sangue em quantidades suficientes. Essa situação pode decorrer de um esforço respiratório elevado, reduzido ou ausente.