



# ALTITUDE E EXERCÍCIO FÍSICO

curso • **Fisiologia respiratória**

## • INTRODUÇÃO

Neste e-book vamos entender como o nosso corpo reage frente às diferenças de altitude e quando realizamos exercício físico. Quando o indivíduo se encontra em grandes altitudes, a pressão é reduzida quando comparada ao nível do mar. Essa queda da pressão constitui a causa básica de hipóxia das altitudes, uma vez que essa situação faz com que a pressão parcial de oxigênio ( $pO_2$ ) também se reduza na atmosfera, permanecendo por certo tempo abaixo de 21% da pressão barométrica total. A diferença em grandes altitudes é tão grande que uma pessoa que esteja no nível do mar está sujeita a uma pressão parcial de oxigênio de cerca de 159 mmHg, enquanto aquela que está à uma altitude de 15 mil metros, está com uma  $pO_2$  de 18 mmHg. **Então, quanto maior a altitude menor a pressão.** No quadro de hipóxia, ou os nossos tecidos não estão recebendo esse oxigênio de forma ideal ou o organismo não consegue utilizá-lo de forma adequada.

## • $PO_2$ ALVEOLAR EM DIFERENTES ALTITUDES

O dióxido de carbono ( $CO_2$ ) nas grandes altitudes continua indo do sangue dos pulmões para os alvéolos. A água que se vaporiza para o ar inspirado oriundo das superfícies respiratórias e junto ao  $CO_2$  diluem o oxigênio nos alvéolos, reduzindo a sua concentração nesse local.

É importante saber que em altitudes elevadas, a pressão parcial de  $CO_2$  fica reduzida para valores abaixo de 40 mmHg, sendo que em uma pessoa adaptada a esse meio, a  $P_{CO_2}$  tem uma queda em seu valor, chegando a cerca de 7 mmHg, em virtude do aumento da frequência respiratória.

No topo do Everest, a pressão é cerca de 253 mmHg. Já ao nível do mar, estamos falando de 760 mmHg. Desses 253 mmHg no pico da montanha, supõe-se que 47 mmHg sejam de vapor d'água e os 206 mmHg restantes são dos outros gases. Em uma pessoa aclimatada, isto é, ajustada ao meio, 7 mmHg – dito anteriormente –, dos 206 mmHg referentes aos gases, são de  $CO_2$ , restando 199 mmHg. Desse valor final, o conteúdo de oxigênio alveolar está continuamente sendo absorvido pelo sangue, representando 35 mmHg nos alvéolos.



Somente pessoas habituadas a ambientes assim conseguem, por terem maior aumento da ventilação alveolar, sobreviver.

Até cerca de 3 mil metros de altitude, a saturação de oxigênio arterial fica em torno de 90%. A partir dessa altitude, a saturação de  $O_2$  arterial cai, chegando a cerca de 70% em 6 mil metros e assim por diante.

### • EFEITOS AGUDOS DA HIPÓXIA

A hipóxia em locais de grande altitude é um fenômeno fisiológico que ocorre em indivíduos não aclimatados a essa condição. Geralmente sintomas como sonolência, fadiga mental e muscular (a capacidade de trabalho de todos os músculos, não apenas esqueléticos, mas também os cardíacos, está bastante diminuída), cefaleia, náuseas e euforia podem estar presente na pessoa não aclimatada aos níveis de baixo  $Po_2$  em altitudes com cerca de 3600 metros. A redução de  $Po_2$  acarreta hiperventilação (devido ao baixo estímulo de  $O_2$  nos receptores periféricos), mas em altitudes muito altas a resposta ventilatória à hipóxia é de curta duração.

O sinal mais precoce da hipóxia é a redução da visão noturna. Quando chega a mais de 5 mil metros, pode apresentar abalos musculares e convulsões. A consciência reduzida é um dos efeitos mais importantes e perigosos, pois dificulta o julgamento, a memória e os movimentos motores individualizados

### • ACLIMATAÇÃO À BAIXA $PO_2$

A aclimatação é há um aumento de tolerância e melhora do desempenho do indivíduo em um período naquele local. Se o indivíduo permanecer por um período longo de dias ou semanas em uma altitude elevada, ele ficará cada vez mais adaptado à baixa  $pO_2$ , trazendo menos efeitos nocivos ao seu corpo. Para isso, existem cinco meios principais pelos quais ocorre essa aclimatação: aumento significativo da ventilação pulmonar, aumento do número de hemácias, elevação da capacidade de difusão dos pulmões, aumento da vascularização dos tecidos mais periféricos e capacidade aumentada das células teciduais utilizarem  $O_2$ , embora esteja com baixa  $pO_2$ .



## • AUMENTO DA VENTILAÇÃO PULMONAR

A queda da  $pO_2$  estimula os quimiorreceptores arteriais, e isso faz com que a ventilação alveolar aumente cerca de 1,65 vezes o normal. Se a pessoa permanecer muito tempo, eles são capazes de elevar a ventilação cerca de cinco vezes o normal para compensar.

A elevação dessa ventilação, faz com que grandes quantidades de  $CO_2$  seja expelida, reduzindo a  $pCO_2$  e aumentando, portanto, o pH dos líquidos corporais. Isso faz com que o centro respiratório lá no tronco cerebral seja inibido, contrapondo-se à resposta dos quimiorreceptores anteriormente citada. Contudo, esse efeito acontece somente de 2 a 5 dias, fazendo com que os quimiorreceptores consigam, de fato, reverter a hipóxia gerada e aumentar a ventilação.

Acredita-se que esse quadro inibitório seja pela redução da concentração de íons bicarbonato no líquido cefalorraquidiano e nos tecidos cerebrais. Por consequência disso, há queda do pH nos líquidos que circundam os neurônios quimiossensíveis do centro respiratório, aumentando a atividade desse mesmo local. Os rins respondem à  $pCO_2$  elevada e são responsáveis por reduzir a secreção de íon hidrogênio e aumentar a excreção de bicarbonato. Após essa compensação, o centro respiratório responde mais ao estímulo dos quimiorreceptores.

## • AUMENTO DAS HEMÁCIAS E CONCENTRAÇÃO E HEMOGLOBINA

O principal estímulo para que ocorra aumento da produção de hemácias é a hipóxia. Quando o indivíduo fica exposto durante várias semanas a um ambiente com baixa oferta de oxigênio ocorre:

- 1) Aumento do hematócrito
- 2) Aumento da concentração de hemoglobina



3) Também é comum ocorrer aumento do volume sanguíneo

### • AUMENTO DA CAPACIDADE DE DIFUSÃO

Durante o exercício e em altas altitudes, a capacidade de difusão pode atingir até três vezes a sua capacidade, sendo que o seu valor normal é cerca de 21 mL/mmHg. Isso ocorre, em parte, porque o volume sanguíneo capilar pulmonar aumenta, expandindo os capilares e aumentando a área de superfície pela qual o O<sub>2</sub> se difunde para o sangue. Somado a isso, ocorre elevação do volume de ar pulmonar, expandindo ainda mais a área de contato alvéolo-capilar, além de aumento da pressão arterial pulmonar, levando mais sangue para partes menos profundas, como os ápices pulmonares.

### • AUMENTO DA CAPILARIDADE TECIDUAL (OU ANGIOGÊNESE) DURANTE ACLIMATAÇÃO

O débito cardíaco aumenta quando a pessoa vai para grandes altitudes e depois de alguns dias ou semanas, ele retorna ao seu valor normal, à medida que o hematócrito vai se elevando. Ocorre, também, aumento de capilares sistêmicos em tecidos não pulmonares, evento chamado de angiogênese ou simplesmente capilaridade tecidual aumentada. Isso acontece principalmente em quem tem seu habitat ao longo da vida em grandes altitudes, sendo que essas pessoas possuem mitocôndrias e sistemas enzimáticos oxidativos celulares mais abundantes que aquelas que vivem ao nível do mar. Portanto, são indivíduos que estão sujeitos a uma hipóxia crônica, com aumento da capilaridade acentuada.

### • ACLIMATAÇÃO NATURAL DOS SERES HUMANOS QUE VIVEM EM ALTAS ALTITUDES

A aclimatação dos nativos que vivem em grandes altitudes como no Himalaia e nos Andes começa na infância, por isso, eles são muito bem adaptados à essa condição. Eles possuem um tórax com tamanho aumentado e um tamanho corporal menor, resultando em uma maior capacidade ventilatória. Além disso,



desde o nascimento, o coração bombeia quantidades extras de débito cardíaco que são relativamente maiores quando comparado ao daqueles que vivem ao nível do mar. É possível notar também que a  $pO_2$  nesse grupo de pessoas é de apenas 40 mmHg, mas como eles têm maior quantidade de hemoglobina, a concentração de oxigênio no sangue arterial deles é maior do que naqueles que estão em altitudes mais baixas.

### • DOENÇA AGUDA DAS MONTANHAS

Ocorre, em pequena porcentagem, em pessoas que vão rapidamente para grandes altitudes. Geralmente as consequências surgem em torno de algumas horas até dois dias após a subida, e incluem: edema cerebral agudo, resultado da dilatação dos vasos sanguíneos cerebrais causada pela hipóxia. Esse evento permite o aumento do fluxo sanguíneo nos capilares com elevação da pressão nos mesmos, extravasando líquido para os tecidos cerebrais.

Além disso, pode ocorrer edema pulmonar agudo, que acredita-se ser porque a hipóxia grave leva à constrição das arteríolas pulmonares, sendo que isso ocorre de forma mais significativa em algumas regiões dos pulmões, fazendo com que esse fluxo sanguíneo passe cada vez mais por aquelas poucas arteríolas que não estão contraídas. Isso faz com que a pressão capilar nesses locais fique cada vez mais alta, levando ao edema.

Esse indivíduo pode inclusive morrer se não receber  $O_2$  ou for removida rapidamente para altitude mais baixa.

### • DOENÇA CRÔNICA DAS MONTANHAS

Ocorre quando a pessoa permanece em grandes altitudes por um longo período de tempo. Tanto o número de hemácias, quanto o hematócrito ficam elevados. A pressão arterial pulmonar se eleva, as câmaras direitas cardíacas ficam aumentadas, a pressão arterial periférica cai e vai dando origem à insuficiência cardíaca congestiva, podendo chegar à fatalidade.



Esse quadro acontece porque a viscosidade sanguínea fica grande pela alteração das hemácias, que acarreta a queda do fluxo sanguíneo tecidual, diminuindo o fornecimento de oxigênio. Também ocorre vasoconstrição arteriolar por causa da hipóxia, que permite o desvio de sangue dos alvéolos pouco oxigenados para os que são muito oxigenados. Contudo, chega um momento em que todos os alvéolos estão com pouco oxigênio, as arteríolas contraídas, a pressão arterial pulmonar elevada e o lado direito mostrando sinais de insuficiência, além de espasmo arterioalveolar, que leva ao desvio sanguíneo para áreas de sangue pouco oxigenado, agravando a situação.

## • EXERCÍCIO FÍSICO

A principal função do nosso sistema respiratório é garantir a troca gasosa adequada. Essa troca gasosa deve acontecer independentemente da situação que nos encontramos, seja em grandes altitudes ou até mesmo em atividades físicas intensas.

Quando o indivíduo pratica atividade física, ocorre trabalho conjunto de dois sistemas principais: sistema respiratório e o sistema cardiovascular. Tanto o consumo de oxigênio quanto a liberação de gás carbônico vão ser aumentados de acordo com a demanda metabólica exigida. Para suprir essa demanda ocorrem alterações como:

- 1) Aumento da ventilação alveolar
- 2) Elevação do débito cardíaco
- 3) Redistribuição do débito cardíaco aos músculos esqueléticos

Com o início do exercício, a ventilação aumenta muito rapidamente nos primeiros 20-30 segundos e, após cerca de 2 minutos, continua a aumentar um pouco mais vagarosamente.



Apesar da ventilação poder ser controlada voluntariamente, ventilar é um ato involuntário ocorrendo de maneira rítmica e contínua. A entrada e a saída do ar dos pulmões são reguladas pela frequência e amplitude ventilatória. A ventilação é necessária para manter a pressão parcial de oxigênio nos capilares alveolares ao nível do mar, em cerca de 100 mmHg, equivalendo a uma saturação da molécula de hemoglobina de 100%.

O aumento da ventilação alveolar promove uma maior oferta de oxigênio a ser trocado com o CO<sub>2</sub>, originando uma hematose mais frequente e intensa durante o exercício físico.

O ponto neural que controla a respiração, denominado centro de controle respiratório, encontra-se localizado no tronco cerebral e determina a frequência e a amplitude da ventilação. O centro respiratório humano inclui vários núcleos onde caso algum não funcione, o outro assume o lugar desempenhando a mesma função. Existem também receptores localizados no músculo, tendões e articulações, que são responsáveis por enviar sinais para o córtex sensorial que integra o estímulo enviando informações para o centro respiratório.

Durante o exercício, a frequência e a amplitude ventilatória se elevam com o intuito de atender os aumentos proporcionais do débito cardíaco e manter a concentração de oxigênio arterial suficiente para suprir as necessidades teciduais. É importante lembrar que esse débito cardíaco é dado pelo produto entre a frequência cardíaca e o volume sistólico, ou seja, quanto maior a frequência cardíaca, maior o volume sistólico ejetado e distribuído para o corpo. De uma forma geral, é a quantidade de sangue ofertada por minuto para o corpo.

Como durante a atividade física, existe uma maior demanda de oxigênio, o aumento do débito cardíaco garante uma melhor perfusão tecidual. No entanto, não é suficiente apenas a elevação do débito cardíaco, ele precisa ser distribuído de forma adequada. Os músculos esqueléticos, que estão com essa alta demanda metabólica de oxigênio, vão necessitar desse aporte sanguíneo de forma eficaz para que se consiga executar as ações pretendidas.





Em uma condição basal, sem esforço físico, a capacidade que o indivíduo tem de promover a ventilação adequada é alta, pois existe pouca demanda. Qualquer alteração na mecânica ventilatória pode ser um fator determinante na limitação dessas atividades. É importante lembrar que a taxa de ventilação pulmonar alcançada durante o exercício depende da intensidade dele, do nível de condicionamento do indivíduo e dos grupamentos musculares utilizados.

A ventilação pulmonar aumenta linearmente desde o repouso até o exercício de intensidade moderada, até atingir o platô. Assim, o valor de cerca de 5 litros por minuto observado em repouso, na taxa ventilatória pulmonar, em jovens adultos, pode aumentar 35 vezes durante o exercício (de 5 para 190 litros por minuto) sendo muito maior do que a capacidade humana de aumentar o débito cardíaco que, em repouso, também é de 5 litros por minuto. De fato, mesmo atletas altamente treinados só conseguem aumentar o débito cardíaco em 6 a 8 vezes desde o repouso até o máximo (de 5 para 30 ou 40 litros por minuto). Após atingir o platô, ocorre uma fase de recuperação, retornando aos valores normais de repouso, ao que chamamos de níveis basais.

Já os exercícios físicos de alta intensidade, chamados também de anaeróbicos, eles acontecem em um contexto com pouca quantidade de oxigênio sendo fornecida, ocorrendo produção de ácido láctico pela via anaeróbica da glicólise. O ácido é capaz de reduzir o pH, podendo levar a efeitos deletérios para o organismo. Como resposta a esse quadro, ocorre a hiperventilação, com o intuito de eliminar o excesso de CO<sub>2</sub>. Além disso, ocorre a queda da pressão parcial de gás carbônico arterial, pois está ocorrendo a eliminação dele através dessa maior taxa de ventilação pulmonar.

## • REFERÊNCIAS

**Curso de Fisiologia respiratória – Jaleko Acadêmicos.** Disponível em: <http://www.Jaleko.com.br>. Acesso em: 24 jul.2020.

GUYTON, A; HALL, J. **Tratado de Fisiologia Médica.** 13.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 1176 p.



MORAES, R. **Fisiologia do exercício**. 1.ed. Rio de Janeiro: SESES,2016. 305 p.



**JALEKO.COM.BR**

**VIDEOAULAS • QUESTÕES COMENTADAS • SIMULADOS**

acesse: [www.blog.jaleko.com.br](http://www.blog.jaleko.com.br)