

# RESPOSTA FISIOLÓGICA SOBRE O EFEITO DA ALTITUDE NO EXERCÍCIO: UMA REVISÃO

Karolyne Soares Barboza Granja<sup>1</sup>  
Raul Henrique Silva Neves<sup>2</sup>  
Ana Carolina do Nascimento Calles<sup>3</sup>

Fisioterapia



ISSN IMPRESSO 1980-1769  
ISSN ELETRÔNICO 2316-3151

## RESUMO

A intensidade do exercício é reduzida em altitude devido a uma baixa pressão parcial de oxigênio (PaO<sub>2</sub>). Uma permanência adequada na altitude desenvolve uma série de alterações fisiológicas decorrente da pouca oferta de oxigênio. O organismo se adapta a processos agudos ou crônicos, ele aumenta o fluxo sanguíneo para compensar a redução de oxigênio e aumentar a concentração de hemoglobina. O processo de aclimatação varia de acordo com o tempo de exposição e o nível de altitude, durante esse processo pode ocorrer alguns problemas de saúde relacionados diminuição do oxigênio, se o organismo não ficar bem adaptado podem ocorrer sérias complicações. O objetivo deste artigo é revisar a resposta fisiológica sobre o efeito da altitude. Pois se sabe que quanto maior a altitude maior e mais difícil será a adaptação.

## PALAVRAS-CHAVE

Aclimatação. Hipóxia. Altitude.

## ABSTRACT

Exercise intensity is reduced at altitude due to low partial pressure of oxygen ( $\text{PaO}_2$ ). A proper high altitude sojourn develops a series of short supply due to the physiological changes of oxygen. The body adapts to acute or chronic processes, it increases blood flow to compensate for the reduction of oxygen and increase the hemoglobin concentration. The acclimation process varies with the time of exposure and the level of altitude, during this process some health problems related decrease in oxygen can occur if the body was not well suited complications may occur would be the purpose of this article is to review the response physiological in high level athletes on the effect of altitude. It is known that the higher the altitude will be harder and adaptation.

## KEYWORDS

Acclimation. Hypoxia. Altitude.

## 1 INTRODUÇÃO

Existe um pequeno número de pessoas que vivem em elevadas altitudes, mas muitas pessoas viajam para locais que tenham uma grande altitude, seja por trabalho ou lazer, ficando expostas aos efeitos da pressão barométrica diminuída (BUSS; OLIVEIRA, 2006).

A população que viaja para locais de grande altitude normalmente reside ao nível do mar, e a exposição local com altitudes elevadas pode gerar efeitos fisiológicos por causa da diminuição da pressão barométrica. Esses efeitos variam de acordo com o tempo exposto a esse ambiente (magalhães et al., 2002). A literatura classifica a altitude em baixa (até 1200 m), média (1300 a 2400 m), elevada (2500 a 4300 m), muito elevada (4400 a 5500 m) e em extrema (5600 a 8850 m) (RODRIGUES ET AL., 2009; ZAKHAROV, 1992)

Em grandes altitudes ou em nível do mar o ar ambiente contém 20,93% de oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Porém na altitude, a pressão barométrica fica menor de acordo com a distância exercida em relação ao nível acima do mar, fazendo com que exista uma menor pressão parcial de oxigênio ( $\text{PaO}_2$ ). Considera-se que ao nível do mar o ar exerça uma pressão barométrica de 760 milímetros de mercúrio (mmHg) (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2003; MAZZEO, 2008). Em altitudes acima de 3.500m, podem acontecer sintomas da Doença Aguda da Montanha, tais como cefaléia, insônia, taquicardia, dispnéia e vertigens (MISSOUM; ROSNET; RICHALET, 1992; WALTON ET AL., 2002).

Quando exposto às grandes altitudes, o organismo se adapta e produz respostas fisiológicas em vários sistemas, são alterações ocasionadas pela pouca oferta de  $\text{O}_2$ . Isto compromete as funções de vários sistemas, entre eles o sistema cardiovascular, o res-

piratório, o muscular e o cerebral que dependem de um aporte de aproximadamente de 21% de  $O_2$  para funcionar adequadamente (SUDARSKY, 1990; ORTEGA ET AL., 2006).

Na altitude o ar é seco, pois em cada 150 metros a temperatura cai  $1^\circ C$ . Com a diminuição da temperatura acontecerá uma diminuição da umidade do ar, tornando-o mais seco, com o ar mais seco é exigido da mucosa braquial a liberação de mais água para umidificar e aquecer o ar inspirado, evitando o ressecamento das paredes alveolares e das mucosas, e também não permitindo irritação das vias ventilatórias, assim, evitando prejuízo na troca gasosa. Como é exigido maior liberação de água para umidificar as vias áreas, se recomenda o consumo constante de líquido para evitar a desidratação (WILMORE; COSTILL, 2001; WEINECK, 1991).

Pelo menor aporte de  $O_2$  o vigor do exercício é diminuído na altitude, e as respostas fisiológicas provocadas por essa exposição são os principais fatores a serem medidos quando há planejado um evento em grande altitude (ARAUJO, 2009).

Com a exposição aguda ou crônica a ambientes de grandes altitudes e a prática de exercício, o corpo humano passa por alterações fisiológicas, por causa das condições que esse ambiente oferece. Será notada hipotermia, hipohidratação, hipoglicemia e hipóxia hipobárica (HOUSTON, 1998).

O objetivo deste artigo é revisar a resposta fisiológica sobre o efeito da altitude. Pois se sabe que quanto maior a altitude maior e mais difícil será a adaptação.

## **2 METODOLOGIA**

Realizou-se um levantamento bibliográfico, utilizando informações disponibilizadas em artigos científicos, livros, entre outras fontes. Os artigos foram consultados nas bases de dados Scielo, LILACS e CAPES tendo como critérios de inclusão artigos pertinentes ao tema, sendo publicados nos últimos 25 anos, foram excluídos artigos contrários ao tema proposto ou publicado fora do período citado. Foram consultados descritores em ciências da saúde (DECS) as seguintes palavras-chaves: fisiologia, altitude, exercício, fenômenos fisiológicos cardiovasculares, aclimatação.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 HIPOXIA HIPOBÁRICA**

Denomina-se hipóxia a diminuição do aporte de  $O_2$  oferecido aos tecidos por meio do sangue. A hipóxia hipobárica ou hipoxêmica é resultante da queda da  $PaO_2$ , encontrada em altas altitudes (TEMPORAL, 2005).

Tanto na exposição a altitudes reais, quanto na simuladas com câmeras hipobáricas, a diminuição da saturação de  $O_2$  é decorrente da diminuição da  $PaO_2$ , que diminui conforme a altitude fica maior (YAMAYA ET AL., 2002).

A exposição aguda a alta altitude produz um aumento da frequência respiratória e do volume corrente (hiperventilação), isso caracteriza um reposta fisiológica quando o corpo é induzido a hipóxia. Essa resposta fisiológica é feita pela ativação de quimiorreceptores periféricos, que são sensíveis às variações do conteúdo de  $O_2$  no sangue arterial, assim aumentando de 2 a 5 vezes o ciclo da ventilação, quando comparado ao nível do mar (GAMBOA ET AL., 2001; LOEPPKY ET AL., 1997; SCHOENE ET AL., 1990; WEST, 1998; BISGARD; FORSTER, 1996; LAHIRI, 1996).

Quando ocasionada uma hiperventilação em consequência da hipóxia, pode acontecer uma diminuição das concentrações de dióxido de carbono no sangue arterial (MISSOUM; ROSNET; RICHALET, 1992; WALTON, ET AL., 2002). Em altitudes iguais a 5.000m, como efeito fisiológico o corpo pode produzir, por causa da hipóxia, menor resistência muscular nos braços e nas pernas, dores de cabeça, tonturas, diminuições da pressão de  $O_2$  inspirado pela traqueia, dificuldades para respirar e, além disso, alterações visuomotoras, mudanças de personalidade (FIRTH ET AL., 2008).

As mudanças que ocorrem na saturação de  $O_2$  comprometem o equilíbrio homeostático em repouso ou em atividade, e necessitam ser devolvidas, pois provocam redução da atuação do atleta (MAZZEO, 2008). Entre as táticas compensatórias à conservação do equilíbrio homeostático em repouso e atividade na altitude, compreende o aumento da frequência cardíaca (GAMBOA ET AL., 2001; BÄRTSCH; GIBBS, 2007).

### 3.2 PRINCIPAL SUBSTRATO ENERGÉTICO

O glicogênio é o principal substrato energético utilizado quando REALIZADO um exercício na altitude, ele é o substrato que mais gera ATP por litro de  $O_2$  utilizado (BUSS; OLIVEIRA, 2006).

Outra maneira de produção de energia para realização de exercício na altitude seria por meio da utilização de ácidos-graxos, mas por ele apresentar um ritmo mais lento de oxidação, não seria conveniente, pois para produzir energia por essa fonte utilizará um maior volume de  $O_2$ , ocasionando em uma redução na intensidade do exercício. Quando existe pouca concentração de  $O_2$ , alto gasto de glicogênio e os exercícios são realizados acima do limite de lactato, o corpo pode entrar em um estado de fadiga precoce (ARAUJO, 2009).

### 3.3 O DESEMPENHO EM RELAÇÃO AO EXERCÍCIO

Abordou-se a possível transição de outros fatores que ajudam a melhora no desempenho físico, além do aumento no volume de hemácias, como a melhora na economia do movimento que é a quantidade de energia necessária para manter uma velocidade contínua do movimento. Após uma adaptação crônica à altitude, percebem-se variações em níveis de lactato sanguíneo, que um exercício de intensidade submáxima, que na fase aguda produzia elevados níveis de lactato sanguíneo, não provoca os mesmos aumentos, mantendo uma quantidade menor na produção de lactato, fenômeno este denominado paradoxo do lactato (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2003).

Por fim variações de resultados mostram a intensidade do exercício mais baixa em hipóxia ao limiar de lactato, comparado ao ambiente normóxia, tendo a hipóxia elevada durante uma concentração do lactato sanguíneo, tendo uma estimulação degradativa do glicogênio e a glicólise pela elevação da ativação do sistema nervoso simpático (OGURA ET AL., 2005; LORENZ ET AL., 2006).

### 3.4 ADAPTAÇÃO

Os efeitos vão se variar, dependendo da altitude e individualidade biológica. Uma adaptação vai depender da altitude, se for média pode ser uma adaptação parcial a altitudes elevadas, sabendo que a ocorrência de hiperventilação a exposição aguda na altitude, aumentando o débito cardíaco em exercício submáximo e em repouso. Tempos prolongados à altitude proporcionam ajustes que ocorrem de maneira mais tardia, para melhorar a tolerância à hipóxia, como um equilíbrio ácido-básico dos líquidos corporais, um aumento no número de hemácias e maior concentração de hemoglobina (MAZZEO, 2008).

O tempo ideal para uma aclimatação estável, numa média geral, fica em 15 dias para uma altitude de 2.500m, a partir daí, cada elevação de 610m necessita de uma semana adicional para uma aclimatação total. As adaptações produzidas pela aclimatação dissipam-se em cerca de 20 dias após retorno ao nível do mar. Temos auxílios dos hormônios de adrenalina e noradrenalina que facilitam a adaptação a um ambiente de baixa quantidade de oxigênio (FOSS; KETEVIAN, 2000; MUZA, 2007).

Uma permanência adequada na altitude desenvolve uma série de alterações fisiológicas, que visam um melhor transporte de oxigênio. Buscando aprimorar a entrega de oxigênio aos tecidos, muitos atletas de elite usam do treinamento na altitude para aperfeiçoarem a preparação física e melhorarem o desempenho ao nível do mar. O tempo de exposição e o nível de altitude são os principais fatores que podem levar a um desempenho otimizado, ou a prejuízos para a saúde do atleta (WILBER; STRAY-GUNDERSEN; LEVINE, 2007; MAZZEO, 2008).

### 3.5 CAPACIDADE DO VO<sub>2</sub>

A capacidade do VO<sub>2</sub> tem fatores relacionados à baixa saturação de oxigênio da hemoglobina durante uma exibição aguda à altitude, sabendo, que a exibição aguda à altitude aumenta a frequência cardíaca (FC) de repouso e submáxima (BEIDLEMAN ET AL., 2003; ALARCÓN ET AL., 2012).

Interrupções inesperadas fazer alterações diretas no débito cardíaco e posteriormente o VO<sub>2</sub>máx. A breve e a exibição aguda à altitude, vindo com os sintomas conhecidos como, distúrbio conhecido pelos sintomas de dor de cabeça, náuseas, perda de apetite e sonolência (MONTGOMERY; MILLS; LUCE, 1989).

Tendo em vista resultados que comprovam o aumento da FC de repouso em hipóxia aguda, que conseqüentemente diminui a FC de reserva e fazendo que haja um aumento do débito cardíaco de repouso (POVEA ET AL., 2005; ALARCÓN ET AL., 2012). A fatores primordiais para a redução do VO<sub>2</sub>máx em altitude, são exercício submáximo que fazem um aumento do débito cardíaco (CALBET ET AL., 2003).

## 4 CONCLUSÃO

A partir do levantamento bibliográfico notou-se que a altitude exerce efeito sobre o organismo, levando-o a uma adaptação e assim gerando varias respostas fisiológicas. Percebe-se que quando o individuo não é adaptado a altos níveis de altitude e a diminuição do O<sub>2</sub> fará um efeito negativo sobre o corpo, sugerindo assim, que os indivíduos que forem ficar expostos a grandes altitudes de maneira aguda, utilizar uma suplementação de O<sub>2</sub>.

## REFERÊNCIAS

ALARCÓN, C.B. *et al.* Cardiorespiratory parameters during submaximal exercise under acute exposure to normobaric and hypobaric hypoxia. **Apunts Medicine de l'Esport**, v.47, n.174, Madri, 2012. p.65-72.

ARAÚJO, R.C. Efeitos da exposição à altitude no desempenho físico. **Revista Digital**, v.13, n.129, Buenos Aires, 2009. p.1-8.

BÄRTSCH, P.; GIBBS, S.R. Effect of Altitude on the Heart and the Lungs. **Circulation**, v.116, Dallas, 2007. p.2191-2202.

BEIDLEMAN, B.A. *et al.* Intermittent altitude exposures improve muscular performance at 4,300 m. **Journal of Applied Physiology**, v.95, Washington, DC, 2003. p.1824-1832.

BISGARD, G.E; FORSTER, H.V. Ventilatory responses to acute and chronic hypoxia. In: FREGLY, M. J. and BLATTEIS, C. M. (Ed.). **Handbook of physiology**: Environmental physiology (section 4), New York: Oxford University Press, v.2, 1996. p.1207-1240.

BUSS, C; OLIVEIRA, A.R. Nutrição para os praticantes de exercício em grandes altitudes. **Revista de Nutrição**, v.19, n.1, Campinas, 2006. p.77-83.

CALBET, J.A. Chronic hypoxia increases blood pressure and noradrenaline spillover in healthy humans. **The Journal of Physiology**, v.551, 2003. p.379-386.

FIRTH, P.G. *et al.* Mortality on Mount Everest, 1921- 2006: descriptive study. **British Medical Journal**, v.337, n.111, 2008. p.2654-2660.

FOSS, M.L.; KETEYIAN, S.J. Fox Bases Fisiológicas do Exercício e do Esporte. Rio de Janeiro: **Guanabara Koogan**, 6.ed, 2000. p.560.

GAMBOA, A; LEON-VELARDE, F; RIVERA-CH, M; VARGAS, M; PALACIOS, J. A; MONGE, C. Ventilatory and cardiovascular responses to hypoxia and exercise in andean natives living at sea level. **High Altitude Medicine & Biology**, v.2, 2001. p.341-347.

HOUSTON, C.S. Going Higher. Oxygen, man and mountains. **Seattle**: The Mountaineers, 1998.

LAHIRI, S. Peripheral Chemoreceptors and their sensory neurins in chronic states of hypo- and hyperoxygenation. In: FREGLY, M.J.; BLATTEIS, C.M. (Ed.). **Handbook of physiology**: Environmental physiology (section 4), New York: Oxford University Press, v.2, 1996. p.1183-1206.

LOEPPKY, J. A; ICENOGLE, M; SCOTTO, P; ROBERGS, R; HINGHOFER- SZALKAY, H; ROACH, R. C. Ventilation during simulated altitude, normobaric hypoxia and normoxichypobarica. **Respiration Physiology**, v.107, 1997. p.231-239.

LORENZ, K. A. *et al.* Effects of hypoxic on the onset of muscle deoxygenation and the lactate threshold. **Journal of Physiological Science**, v.56, n.4, 2006. p.321-323.

MAGALHÃES, J. *et al.* O desafio da altitude. Uma perspectiva fisiológica. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v.2, n.4, 2002. p.81-91.

MAZZEO, R.S. Physiological Responses to exercise at altitude. **Sports Medicine**, v.38, Auckland, 2008. p.1-8.

MCARDLE, W.; KATCH, F. I. ; KATCH, V. L. Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano. Rio de Janeiro: **Guanabara Koogan**, 5.ed, 2003. p.1175.

MISSOUM, G; ROSNET, E; RICHALET, J. P. Control of anxiety and acute mountain sickness in Himalayan mountaineers. **International Journal of Sports Medicine**, v.13, n.1, 1992. p.37-39.

MONTGOMERY, A.B.; MILLS, J.; LUCE, J.M. Incidence of acute mountain sickness at intermediate altitude. **The Journal of the American Medical Association**, v.261, n.5, Chicago, 1989. p.732-734.

MUZA, S.R. Applications of hypoxic training for high-altitude operations. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v.39, n.9, 2007. p.1625-1631.

OGURA, Y. et al. Sprint- Interval Training-Induced alterations of myosin heavy chain isoforms and enzymes activities in rat diaphragm: Effects of normobaric hypoxia. **Japanese Journal of Physiology**, v.55, n.6, 2005. p.309-316.

ORTEGA, V.J. *et al.* Human behaviour and development under high-altitude conditions. **Developmental Biology**, v.9, n.4, 2006. p.400-410.

POVEA, C.; SCHMITT, L.; BRUGNIAUX, J.; NICOLET, G.; RICHALET, J.P.; FOUILLOT, J. P. Effects of Intermittent Hypoxia on Heart Rate Variability during Rest and Exercise. **High Altitude Medicine & Biology**, v.6, n.3, 2005. p.215-225,

RODRIGUES, A. *et al.* Caracterização dos níveis de negativismo, ativação, autoconfiança e orientações motivacionais de alpinistas. **Motricidade**, v.5, n.2, 2009. p.63-86.

SCHOENE, R.B. *et al.* Operation Everest II: ventilator adaptation during gradual decompression to extreme altitude. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v.22, 1990. p.804-810.

SUDARSKY, L. Pathophysiology of the nervous system. **Boston**: Little, Brown, and Company, 1990.

TEMPORAL, W. **Medicina aeroespacial**. Rio de Janeiro: Luzes, 2005.

WALTON, T. *et al.* High altitudes, anxiety, and panic attacks: is there a relationship? **Depression and Anxiety**, v.16, n.2, 2002. p.51-58.

WEINECK, J. **Biologiadoesporte**. São Paulo: Manole. 1991.

WEST, J.B. **High life. A history of high-altitude physiology and medicine**. New York: Oxford University Press Inc, 1998.

WILBER, R.L.; STRAY-GUNDERSEN, J.; LEVINE, B.D. Effect of hypoxic "dose" on physiological responses and sea-level performance. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v.39, n.9, 2007. p.1590-1599.

WILMORE, J; COSTILL, D. **Fisiologia do esporte e do exercício**. 2.ed. São Paulo: Manole, 2001.

YAMAYA, Y. *et al.* Validity of pulse oximetry during maximal exercise in normoxia, hypoxia, and Washington.DC, hyperoxia. **Journal of Applied Physiology**, v.92, 2002. p.162-168.

ZAKHAROV, A. **Ciência do treinamento desportivo**. Rio de Janeiro: Grupo Palestra Sport, 1992.

---

**Data do recebimento:** 12 de maio de 2016

**Data da avaliação:** 26 de maio de 2016

**Data de aceite:** 3 de junho de 2016

---

- 
1. Graduanda do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL. Email: karolyne.soares@hotmail.com.
  2. Graduando do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL. Email: karolyne.soares@hotmail.com
  3. Docente do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL. Email: carolina\_calles@hotmail.com