



ALTERAÇÕES CARDIORRESPIRATÓRIAS DECORRENTES DO TREINAMENTO EM GRANDES ALTITUDES

Miguel Taraborelli¹; Luis Carlos Carnevali²; Waldecir Paula Lima³; Ricardo Zanuto⁴

RESUMO

Grandes altitudes desencadeiam um grande desequilíbrio da homeostase corporal. Dessa forma, um grande número de atletas de diversas modalidades, bem como indivíduos comuns têm relatado um desconforto quando submetidos a esforços nessas condições. Não obstante, um número expressivo de atletas também se utiliza de montanhas ou grandes altitudes para treinar, com o intuito de melhorar seu desempenho, apesar de os benefícios deste tipo de treinamento ainda não estarem completamente esclarecidos. Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo demonstrar as alterações cardiorrespiratórias em altitude, como também verificar se o treinamento em altitude melhora ou não o desempenho ao nível do mar. Foi realizada uma vasta revisão bibliográfica de artigos internacionais e nacionais indexados ao Medline, Scielo e outras bases de dados entre os anos de 1997 e 2010. Recentemente, as atividades realizadas em grandes altitudes têm despertado o interesse de pesquisadores em conhecer as causas e os efeitos sobre a fisiologia humana. Concluimos que, embora diversas alterações cardiorrespiratórias são decorrentes do treinamento em grandes altitudes, a padronização de novas metodologias poderiam denotar resultados mais fidedignos.

Palavras-chave: Treinamento. Altitude. Cardiorrespiratório. Hipóxia. Aclimação.

¹ Curso de Especialização em Fisiologia do Exercício pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

² Professor Convidado da Pós-graduação das Faculdades Integradas de Santo André.

³ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP. Professor Convidado (pós graduação) das Faculdades Integradas de Santo André (FEFISA).

⁴ Professor Titular das Faculdades Integradas de Santo André (FEFISA). Professor Convidado da Pós-graduação em Fisiologia do Exercício pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.



THE EFFECT OF HIGH ALTITUDE TRAINING IN CARDIRESPIRATORY PARAMETERS

ABSTRACT

High altitudes lead to changes in body homeostasis, thus, a large number of athletes from various sports, as well as ordinary individuals have reported discomfort when submitted to in these conditions. Nevertheless, a significant number of athletes is also used for high altitude mountains or to perform their training with the aim of improving their performance, despite the benefits of such training are not completely understood. Thus, this study aimed to demonstrate the cardiopulmonary changes in altitude, but also check if the altitude training improves performance or not to sea level. We performed an extensive international and national literature review indexed in Medline, Scielo and other databases between the years 1997 and 2010. Recently the activities carried out at high altitudes have aroused the interest of researchers in understanding the causes and effects on human physiology. We conclude that although several cardiorespiratory changes are due to training at high altitudes, the standardization of new methods could denote more reliable results.

Keywords: Training. Altitude. Cardiorespiratory. Hypoxia. Acclimation.



1 INTRODUÇÃO

Atualmente um grande número de indivíduos praticam atividades físicas em lugares com altitudes elevadas para se divertirem praticando esportes, ou mesmo como atletas, que usam locais altos para treinamento com o intuito de melhorar seu desempenho aeróbio ao nível do mar. No que se refere à diversão, as montanhas são alvo de praticantes de montanhismo e até mesmo as cobertas com neve, que são um dos locais preferidos para a prática de esportes como snowboard e ski. Muitos indivíduos expostos a essas grandes altitudes sentem algum tipo de mal-estar logo nas primeiras horas de exposição à altitude. A exposição a grandes altitudes por um período prolongado pode levar a morte, em decorrência das modificações da pressão parcial do ambiente. O corpo humano, para se adaptar a esta alteração fisiológica ao qual é submetido, desencadeia uma série de modificações nos sistemas corporais, permitindo que o indivíduo perdure por um maior período de exposição em uma altitude elevada. Dessa forma, a altitude por si, representa desafios para os indivíduos que se expõem a elas.

2 METODOLOGIA

Nesta pesquisa, foi realizada uma extensa revisão bibliográfica com base em estudos a partir de 1997, que abordam os efeitos da altitude sobre o sistema cardiorrespiratório. A pesquisa foi feita em base de dados, revistas e livros, utilizando termos como altitude, exercícios físicos, cardiorrespiratório, hipóxia e aclimatação. Nas bases de dados: Medline (www.pubmed.com), Scielo (www.scielo.br), Bireme (www.bireme.com), Google Acadêmico (www.google.com.br), Ibpefex (www.ibpefex.com.br), efdeportes (www.efdeportes.com), Brazilian Journal of Biomotricity (www.brjb.com.br) e *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *J Appl Physiol* (www.jap.physiology.org). As palavras-chave para pesquisa na internet foram: Altitude, Montanhismo, Exercício Físico, Hipóxia, Aclimatação, Cardiorrespiratório.

3 CONTROLE VENTILATÓRIO

Quando se inicia a atividade física, modificações no metabolismo ocorrem para que o suprimento de oxigênio seja capaz de atender as demandas necessárias à produção de energia, bem como a eliminação de subprodutos que possam afetar o desempenho. A utilização de oxigênio de forma eficiente e o não acúmulo de dióxido de carbono são essenciais para que o exercício não seja interrompido ou que não se torne anaeróbio. (McARDLE et al., 2008).

O processo de controle da respiração ocorre em duas fases diferentes. Primeiramente existe uma resposta quase que imediata ao início da atividade feita pelo córtex motor, que envia estímulos ao centro inspiratório, aumentando assim a ventilação (em repouso é de cerca de 6 l/min., porém durante o exercício pode chegar a 200 l/min.). Em seguida, a musculatura e as articulações envolvidas no esforço enviam informações para o centro respiratório, que se ajusta à atividade. A segunda resposta é uma sequência de reações químicas que acontecem de forma mais lenta, incluindo aumento no metabolismo muscular e na geração do calor corporal. (WEINECK, 2005; WILMORE; COSTILL, 2010).



Como no início da atividade a ventilação é aumentada, se o exercício se mantiver a um nível submáximo, a ventilação ficará em nível estável (*steady-state*). Em contrapartida, se o exercício progredir chegando ao nível máximo, a ventilação não ficará estável e será aumentada gradativamente até que o exercício seja encerrado. O aumento na ventilação minuto (quantidade de ar em litros que é inspirada ou expirada num minuto) é possível por causa de um aumento no volume corrente e na frequência respiratória (número de inspirações realizadas em um minuto). Contudo, o volume corrente tende a atingir um platô (uma estabilidade) de 65% da capacidade vital (CV) de um indivíduo. O que quer dizer que qualquer alteração acima deste valor é causada por aumentos na frequência respiratória. (MCARDLE et al., 2008; WEST, 2010; WILMORE; COSTILL, 2010).

O processo respiratório pode sofrer alterações de acordo com o estado de treinamento do indivíduo. Essas alterações podem ser tanto funcionais quanto morfológicas. Uma pessoa bem treinada aperfeiçoa a regulação respiratória fazendo com isso uma economia de energia. (WEINECK, 2005).

A capacidade do corpo de sustentar um exercício por um tempo prolongado denomina-se resistência cardiorrespiratória. Essa resistência está intimamente ligada ao desenvolvimento dos sistemas cardiovasculares e respiratório, ou seja, o desenvolvimento aeróbio. O treinamento aeróbio faz com que o indivíduo se ajuste com mais rapidez às demandas exigidas pelo início do trabalho. Esse ajuste acontece não somente pela frequência respiratória, mas também por um aumento no volume de inspiração. (WEINECK, 2005; WILMORE; COSTILL, 2010).

Antes de relatar os efeitos fisiológicos do exercício em altitudes elevadas, é importante ressaltar as características da atmosfera, tanto ao nível do mar como nas altitudes elevadas. Essas características podem afetar diretamente o desempenho de um atleta, como podem também fazer com que os indivíduos que estão expostos a grandes altitudes apresentem algum tipo de patologia (McARDLE et al., 2008; WILMORE; COSTILL, 2010).

3.1 Pressão barométrica

A atmosfera da terra contém alguns gases circulantes, que exercem uma pressão sobre a superfície terrestre. Essa pressão altera-se de acordo com a altitude do local. Quanto maior for a distância da superfície da terra, menor será a pressão atmosférica exercida sobre o corpo ou objeto exposto. A pressão barométrica ao nível do mar é de 760mmHg (milímetros de mercúrio), e com uma pressão parcial de O₂ de 159,2mmHg. Contudo, quanto mais a altitude é aumentada a pressão diminui. No ponto mais alto do monte Everest, numa altitude de 8.848 metros, por exemplo, a pressão barométrica atinge o valor de 250mmHg e a pressão parcial de O₂ aproximadamente 51mmHg. (CAMPOS; COSTA, 1999; MAGALHAES et al., 2002; BUSS; OLIVEIRA, 2006).

A pressão barométrica não tem um valor constante pelo fato de sofrer alterações de acordo com a época do ano, clima e local específico onde é realizada a mensuração. Usando novamente o monte Everest como exemplo, a pressão barométrica pode oscilar entre 243mmHg em janeiro e 255mmHg de em junho ou julho. Fora isso, ao nível da linha do Equador, forma-se uma saliência atmosférica, que aumenta em alguns milímetros de mercúrio a pressão. (McARDLE et al. 2008; WILMORE; COSTILL, 2010).

Mesmo com todas as alterações de pressão barométrica, o percentual de O₂ presente no ar segue inalterado, tanto ao nível do mar, como no ponto de altitude



mais elevada. Não importa a altitude, o percentual de O_2 será de 20,93%. As únicas alterações são nos valores das pressões parciais. Esses acontecimentos atmosféricos implicam alterações fisiológicas para o corpo continuar a trabalhar de forma a suprir as necessidades do organismo. (CAMPOS; COSTA, 1999; MAGALHAES et al., 2002; BUSS; OLIVEIRA, 2006; WILMORE; COSTILL, 2010).

TABELA 01		
ALTITUDE (m)	P_B (mmHg)	PO_2 (mmHg)
0 ou nível do mar	760	159,2
1.000	674	141,2
2.000	596	124,9
3.000	526	110,2
4.000	462	96,9
9.000	231	48,4

Valores sobre as pressões barométricas (P_B), bem como as pressões parciais de oxigênio de acordo com a altitude. Adaptado de WILMORE; COSTILL (2010).

3.2 Hipóxia

À medida que a altitude é aumentada, ocorre uma diminuição da pressão barométrica em conjunto com a pressão parcial de O_2 presente no ar. Essas alterações modificam o conteúdo de O_2 presente no sangue arterial e também em sua quantidade. A falta de O_2 suficiente para o organismo manter-se em trabalho normal é denominada hipóxia. No caso efetivo de exposição à hipóxia hipobárica, essa escassez de O_2 em nível tecidual pode provocar uma diminuição no trabalho e aparecimento da fadiga. Essa fadiga limita principalmente exercícios de predomínio aeróbio, que necessitam de O_2 para realizar trabalho com eficiência. (BUSS; OLIVEIRA, 2006; CALBET et al., 2010; CHAPMAN et al. 2010).

3.3 Alterações cardiorrespiratórias agudas em altitude

Logo que os indivíduos são expostos a uma altitude elevada, o sistema respiratório previne-se para não sofrer com a falta de O_2 e conseqüentemente evitar uma fadiga prematura. Uma das primeiras alterações fisiológicas que ocorrem é um aumento na frequência respiratória para tentar suprir a pouca saturação de O_2 presente no ambiente. Com essa atitude, o corpo aumenta a excreção de CO_2 levando a uma mudança da PCO_2 , fazendo com que ocorra um aumento no pH sanguíneo. Esse aumento na frequência respiratória deve-se ao fato de o corpo possuir quimiorreceptores em torno do tubo respiratório, permitindo uma percepção do conteúdo arterial de O_2 . A partir do momento que o conteúdo arterial de O_2 diminui, o corpo, em resposta aumenta o número de respirações para minimizar os efeitos da hipóxia. (BRASH, 2000; MAGALHÃES et al. 2002; LIRA et al., 2004; LEVINE et al., 2008; CALBET et al., 2010).

Com a diminuição da saturação de O_2 , observou-se as alterações que o sistema respiratório efetua para que se mantenha o mecanismo de entrega de nutrientes intacto. Contudo, os sistemas respiratório e cardiovascular trabalham em conjunto para que o corpo não entre em fadiga precocemente. A dificuldade do processo respiratório em grandes altitudes deve-se ao fato de a troca gasosa estar com gradiente de pressão diferenciado quando comparado ao nível do mar. O ar fica mais rarefeito em altitude, porém a saturação de O_2 em altitude é menor que ao nível do mar. O ar adentra com mais facilidade os pulmões, contudo como a saturação de



O₂ é reduzida, a frequência respiratória é aumentada para que seja inspirado o mesmo número de moléculas de O₂ que ao nível do mar. A quantidade de O₂ entregue para os músculos realizarem trabalho sem entrar em fadiga depende muito dessa troca gasosa. A PO₂ no tecido tem uma estabilidade no seu valor de aproximadamente 40mmHg em repouso. Já a PO₂ arterial varia de valor, sendo que 104mmHg é a pressão normalmente encontrada ao nível do mar. A diferença 64mmHg, ou seja, gradiente de pressão, define o sentido dessa troca. O sentido é sempre de um local com maior pressão parcial, para um de menor pressão parcial. Porém, quando se ascende a uma altitude mais elevada, o valor da PO₂ arterial tende a sofrer um decréscimo, já o valor da PO₂ tecidual permanece praticamente inalterado. O gradiente de pressão antes visto como 64mmHg ao nível do mar sofre uma redução e pode alcançar o valor de apenas 20mmHg em uma altitude maior. Como a transferência de O₂ do sangue para os tecidos depende desse gradiente, pode ocorrer uma deficiência no transporte para o músculo, o que poderá acarretar uma fadiga precoce. (DEHNERT et al., 2002; BERNE et al., 2004; LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 2005; MCARDLE et al., 2008; SHEEL et al., 2010; WILMORE; COSTILL, 2010).

MAGALHÃES e col. (2002) apontam que os valores da ventilação em altitude podem ser de 2 a 5 vezes maiores do que quando comparado com a mesma atividade ao nível do mar.

A frequência respiratória apresenta um aumento quando se adentra um ambiente hipobárico, como no caso de altitudes maiores do que ao nível do mar. Com isso, mudanças no consumo de O₂ ocorrem. CAMPOS e COSTA (1999) afirmam que o consumo máximo de O₂ (VO_{2máx}) tende a diminuir em repouso, quando exposto a uma grande altitude. Corroborando com essa ideia, LEVINE e col. (apud CAMPOS; COSTA, 1999) fizeram um estudo com 20 idosos numa altitude de 2500 metros e relataram uma diminuição de 12% do VO_{2máx} na exposição aguda à altitude.

Segundo Wilmore e Costill, (2001), o consumo máximo de O₂ não sofre reduções significativas até a altitude de 1.600 metros. A partir dessa altitude, que o consumo máximo de O₂ tem uma decadência. Os mesmos autores relatam também que, a partir de 1.600 metros, o VO_{2máx} diminui aproximadamente 11% a cada 1.000 metros, ou seja, mais que 1% de queda do consumo máximo de oxigênio a cada 100 metros de ascensão. Contudo, Favret et al. (2003) não encontraram melhoras do VO_{2máx} mesmo após a aclimação.

Outra alteração importante é o fato de o fluxo sanguíneo ser mais seletivo. Essa seleção é devido à não existência de O₂ em abundância para os sistemas corporais e desta forma os locais que necessitam com urgência de O₂ têm prioridade (MAGALHÃES et al., 2002).

Em altitudes elevadas, o ar fica mais seco e a temperatura sofre uma redução em seu valor. A atividade em altitude faz com que ocorra perda de água corporal, aumentando assim a viscosidade sanguínea. Com o sangue mais denso, o volume de ejeção decai, contudo, como precisa ocorrer um aumento no débito cardíaco a frequência cardíaca aumenta para sanar temporariamente essa queda de volume. O aumento da densidade sanguínea faz com que o coração trabalhe com mais força, pois a resistência exercida pelo sangue na parede dos vasos está aumentada. (CAMPOS; COSTA, 1999; BRASH, 2000; LIRA et al., 2004; MARTIN et al., 2008; WILMORE; COSTILL, 2010).



3.4 EPO (Eritropoetina)

Nas primeiras horas de exposição à altitude ocorre um aumento na produção de Eritropoetina, que é um hormônio liberado pelos rins que age na formação e liberação de eritrócitos (glóbulos vermelhos), uma das maiores formas de transporte de O₂ dos pulmões para os tecidos. A produção desse hormônio é realizada principalmente pelos rins. Os ambientes hipóxicos estimulam a liberação de Eritropoetina, conseqüentemente um aumento também ocorre no número de hemoglobinas presentes em cada eritrócito (MAGALHÃES e col. 2002; LIRA e col. 2004; ROBACH e col. 2007).

Como a Eritropoetina aumenta o número de eritrócitos, que por sua vez contem dentro de si hemoglobinas, que são transportadoras de oxigênio, a tendência de uma melhora na capacidade aeróbia aumenta. Essa melhora seria porque com um maior número de hemoglobinas e o conteúdo de O₂ circulante pelo sangue seria aumentado, tendo assim uma perspectiva de suprir com mais facilidade as demandas de O₂ exigidas (CAMPOS e COSTA, 1999; MAGALHÃES e col. 2002; LIRA e col. 2004; LIVINE e STRAY-GUNDERSEN, 2005; ROBACH e col. 2007).

CAMPOS e COSTA (1999) alertam para o fato de apesar de ocorrer esse aumento de Eritropoetina logo nas primeiras horas de exposição à altitude, os benefícios dessa liberação só irão ser sentidos após alguns dias, na fase de aclimação. Concordando com essa teoria, MAGALHÃES e col. (2002) relatam que o tempo necessário para se atingir um nível máximo de Eritropoetina pode variar de acordo com o grau de hipóxia a que os sujeitos estão expostos.

Em um estudo recente de FRESE e FRIEDMANN-BETTE, (2010) foi destacado um aumento significativo (cerca de 40%) na concentração de Eritropoetina no 10º e 17º dia de treinamento em uma altitude que variou de 1300m a 1650m. O que sugere que mesmo em baixas ou moderadas altitudes ocorre o processo de eritropoiese.

3.5 Patologias desencadeadas pela altitude

A ascensão a elevadas altitudes desencadeia uma série de alterações fisiológicas, dentre essas alterações, existe o risco de um encaminhamento para quadros patológicos. As patologias da altitude podem ocorrer tanto em indivíduos atletas como em sedentários como consequência de uma aclimação ineficiente (CAMPOS e COSTA, 1999; SCHOENE, 2008).

Uma das doenças da altitude é o **mal agudo da montanha** (MAM), que é mais comum entre as patologias ligadas à ascensão a altitude. O surgimento dos sintomas aparecem entre 4 e 8 horas depois da exposição inicial a altitude. A subida rápida sem um período de aclimação adequado seria o ponto principal do surgimento do MAM. A altitude parece estar ligada em relação ao aparecimento do MAM, pois quanto mais alto for o local, maiores as probabilidades do surgimento das patologias.

Como sintomas, os indivíduos podem sentir cefaléia, náuseas, anorexia, insônia e dispnéia. Apesar de tudo, o MAM, dificilmente leva à morte. As indicações para que o surgimento do MAM seja minimizado são: ascensão lenta (a indicação da ascensão lenta seria para que a aclimação acontecesse com maior qualidade), evitar esforços extenuantes na fase de início à aclimação, hidratação com pelo menos 3 litros de líquidos por dia, e refeições leves com predominância de



carboidratos (CAMPOS e COSTA, 1999; BASNYAT e MURDOCH, 2003; SCHOENE, 2008).

WILMORE e COSTILL (2010) relatam que a frequência do mal agudo da montanha varia bastante, de 0,1% a 53% nas altitudes entre 3.000 metros e 5.500 metros. Contudo, BASNYAT e MURDOCH (2003), relatam que mais de 80% dos indivíduos que chegaram a altitude acima de 3800m, tiveram o surgimento de algum tipo de sintoma da doença aguda da montanha.

Normalmente o mal agudo da montanha precede uma outra patologia, o edema pulmonar de altitude. As mesmas alterações ocorridas que geraram o MAM, são as principais causas dessa patologia de altitude. Contudo, é um distúrbio mais grave que o MAM, podendo levar à morte.

Parece que os maiores números de casos ocorrem em altitudes superiores a 2.700 metros, e a manifestação pode ocorrer entre 2 e 5 dias após a primeira exposição à hipóxia gerada pela altitude, sendo que os casos normalmente surgem até o décimo dia. Os sintomas são: dispnéia anormal referente ao esforço, cianose, tosse seca e taquicardia. O edema pulmonar de altitude pode levar a morte, e uma das indicações de tratamento é a descida imediata bem como a utilização de remédios. As recomendações para evitar é subir de forma gradual, considerando a distância de 300 metros de ascensão por dia (CAMPOS e COSTA, 1999; BASNYAT e MURDOCH, 2003; SCHOENE, 2008; WILMORE e COSTILL, 2010).

O edema cerebral de altitude é uma doença ligada à altitude mais grave ainda que o edema pulmonar de altitude. Pode ser precedido tanto pelo mal agudo da montanha, quanto pelo edema pulmonar de altitude. Altitudes mais elevadas, acima de 4.500 metros são onde o número de casos de edema cerebral ligado a altitude são mais comuns. O acúmulo de líquido no interior do cérebro caracteriza a doença.

A dificuldade em andar, ou mesmo das mãos em realizar tarefas de cunho fino são um alerta para que seja detectado o edema cerebral. As dores de cabeça ou cefaléia são mais intensas que as do MAM, a pessoa se sente cansada e pode apresentar quadros de alucinações. Sintomas semelhantes ao consumo de álcool podem ser percebidos. O grau de gravidade dessa patologia pode evoluir em muito pouco tempo, saindo de um estado estável para grave em poucas horas. A medida mais rápida a ser tomada é transferir a pessoa afetada pelo edema cerebral de altitude para uma localidade de altitude menos elevada.

MCARDLE E COL. (2008) afirmam que mesmo as pessoas que nasceram e vivem em locais com altitudes elevadas correm o risco de desenvolver as patologias ligadas altitude.

3.6 Aclimação a altitude

Na literatura, é comum aparecerem denominações como aclimação ou adaptação como sendo sinônimas. Contudo, Feth (apud WEINECK, 2005) diferencia as duas denominações. Segundo ele, adaptação, no caso da altitude, seriam os efeitos agudos provocados pela exposição à mesma. Já aclimação à altitude entende-se como as alterações fisiológicas que o corpo executa quando exposto por um período prolongado à altitude.

As respostas fisiológicas do corpo ao período prolongado de exposição à altitude já foi denominado como aclimação, que acontece geralmente entre duas a três semanas após a exposição inicial a elevada altitude, levando o corpo a desencadear mecanismos para uma melhor estada quando em altitude. (CAMPOS;



COSTA, 1999; BUSS; OLIVEIRA, 2006; MCARDLE et al., 2008; SAUNDERS et al., 2009).

Após o período de duas a três semanas, o corpo começa a sofrer alterações centrais e periféricas a fim de melhorar a utilização e distribuição de O₂ ao corpo, fazendo com que o funcionamento do mesmo volte ao seu estado homeostático. A frequência cardíaca, que num primeiro momento da adaptação aguda à exposição à altitude foi elevada, sofre um decréscimo em seus valores, juntamente com uma diminuição do débito cardíaco. Ocorre também um aumento na secreção de bicarbonato para tentar retornar o nível do pH ao normal, que sofreu uma alcalose respiratória devido à maior quantidade expirada de CO₂, já que ocorre hiperventilação como resposta aguda. Além de a frequência cardíaca diminuir e ser secretada maior quantidade de bicarbonato, a secreção de Eritropoetina, que ocorreu no início da exposição à altitude, eleva o número de eritrócitos e conseqüentemente há um aumento no número de hemoglobinas, favorecendo assim o carregamento de O₂ para o corpo. (LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997; CAMPOS; COSTA, 1999; MAGALHÃES et al., 2002; WEINECK, 2005; BUSS; OLIVEIRA, 2006; MARTIN et al., 2010; MILLET et al., 2010).

Campos e Costa (1999) afirmam que duas semanas seria o tempo necessário para uma boa aclimação em altitudes moderadas até 2.300 metros. Acima dessa altitude, para cada 610 metros seria necessária a permanência de uma semana a mais. Para altitudes extremas, acima de 8.000 metros, seria necessário um período superior a 70 dias para que ocorresse a aclimação.

Buskirk e col. (apud por FOSS; KETAYIAN, 2000) fizeram um estudo com 12 atletas em altitudes variadas por um período de cinco a seis semanas. Os indivíduos realizaram provas a uma altitude de 2.300 metros, com distância de 1, 2 e 3 milhas e seus resultados foram avaliados. O primeiro ponto a ser observado foi de que nenhum atleta conseguiu atingir seu desempenho ao nível do mar, ficando com os tempos sempre acima do obtido ao nível do mar. Em segundo lugar, a duração da prova interferiu significativamente, devido a provas mais longas solicitarem mais O₂. E por último, os desempenhos em provas de 2 e 3 milhas não melhoraram com a aclimação, ao contrário do que ocorreu com a corrida de 1 milha. Uma possível interpretação do resultado indica que, mesmo numa altitude moderada de 2.300 metros, a performance principalmente quando depende do sistema aeróbio, terá sua dificuldade aumentada e nem sempre melhorará com a aclimação.

Basnyat e Murdoch (2003) relatam que o tempo necessário para que ocorra uma boa aclimação depende da altitude, contudo relatam também que os valores em dias representam apenas uma aproximação, e que o verdadeiro tempo para a aclimação, em sua maior parte, depende do indivíduo.

3.7 Treinamento em altitude

Os efeitos da altitude no corpo do ser humano começaram a ser mais pesquisados a partir das olimpíadas de 1968 no México, quando os recordes de atividades predominantemente aeróbios não foram baixados. Ficou evidente que a hipóxia causada pela altitude dificultava o rendimento. Contudo, devido ao ar estar mais rarefeito, os recordes de atividades predominantemente anaeróbios como corrida de 100 metros rasos, tiveram seus valores diminuídos. Mesmo com uma aclimação bem sucedida, os benefícios na performance ao nível do mar ainda não estão bem claros. Estudos têm sido feitos para tentar comprovar a eficácia do treinamento na altitude para melhorar o desempenho ao nível do mar e minimizar a



perda de rendimento em altitude (ELLIOTT; MESTER, 2000; MAGALHÃES et al., 2002; LEVINE et al., 2008; SAUNDERS et al., 2009; CALBET et al., 2010; CHAPMAN et al., 2010; MILLET et al., 2010).

Nos jogos olímpicos de 1968, os tempos de atividades com predomínio aeróbio não foram baixados. Na tabela a seguir, são demonstrados os recordes na época e os tempos obtidos durante a realização dos jogos, evidenciando a perda de rendimento quando exposto à altitude sem a devida aclimação.

TABELA 02			
Modalidade	Recorde mundial (01/10/1968)	Cidade do México (h: min: s)	Desvio (%)
1.500 metros	3:33,1	3:33:9	+ 0,84
3.000 metros	8:26,4	8:51:0	+4,85
5.000 metros	13:16,6	14:05,1	+6,08
10.000 metros	27:39,4	29:27,4	+6,50
42.000 metros	2:12:11,2	2:20:26,4	+6,24

Tempos da medalha de ouro nos jogos olímpicos de 1968 na cidade do México (2.240m) e os recordes mundiais na época. Fonte: WEINECK (2005).

A tabela 2 mostra claramente a dificuldade que o organismo tem de manter o desempenho obtido ao nível do mar quando exposto a uma altitude elevada. Observa-se que à medida que a duração da prova era aumentada, o desvio percentual acima do recorde aumentava proporcionalmente. Na corrida de 1.500 metros, por exemplo, o tempo do recorde mundial na época era de 3:33,1 (3 minutos, 33 segundos e 1 décimo) e o alcançado na Cidade do México 3:33,9 (3 minutos, 33 segundos e 9 décimos) um desvio de +0,84%. Analisando somente por esse valor o desvio seria muito pequeno para se levar a dizer que a altitude influencia o desempenho, contudo, se a análise for feita pelo tempo dos 42.000 metros, as coisas tornam-se diferentes. O tempo do recorde mundial dos 42.000 metros era 2:12:11,2 (2 horas, 12 minutos, 11 segundos e 2 décimos), porém o resultado na Cidade do México foi de 2:20:26,4 (2 horas, 20 minutos, 26 segundos e 4 décimos). Uma variação de mais de 2 minutos além do recorde, ou seja, um desvio de 6,24%, evidenciando assim que quanto maior for a exigência aeróbia mais o desempenho fica prejudicado em altitude. Calbet e col. (2009) realizaram um estudo em altitude de 5260 m em que ocorreram quedas do consumo máximo de O₂.

Um número muito grande de atletas realizam treinamentos em grandes altitudes com o intuito de melhorar sua performance ao nível do mar. Entretanto, estudos evidenciam que a melhoria dos resultados com o treinamento são alcançados com a aclimação em altitude correta e a realização de períodos de treinamentos ao nível do mar. (CAMPOS; COSTA, 1999; ELLIOTT; MESTER, 2000; MAGALHÃES et al., 2002; LEVINE et al., 2008; SAUNDERS et al., 2009; CALBET et al., 2010; CHAPMAN et al., 2010; MILLET et al., 2010).

Um dos grandes problemas de se treinar em altitude é que os atletas não conseguem manter as intensidades do treinamento. A intensidade de treinamento ao nível do mar não consegue ser mantida em altitude, podendo gerar o processo de destreinamento por falta de estímulos adequados. Essa queda de rendimento faz com que algumas adaptações que dependem de uma intensidade de treinamento maior não aconteçam, ou seja, por mais que ocorram algumas adaptações após a aclimação, outras adaptações importantes deixam de acontecer devido à intensidade de treinamento reduzida. Essa diminuição da intensidade do treinamento



vai ao encontro da teoria da sobrecarga progressiva, sendo assim um dos motivos para não acontecer melhora do desempenho. (CAMPOS; COSTA, 1999; BRASH, 2000; ELLIOTT; MESTER, 2000; MAGALHÃES et al., 2002; WEINECK, 2003; LEVINE et al., 2008; SAUNDERS et al., 2009; CALBET et al., 2010; CHAPMAN et al., 2010; MILLET et al., 2010).

Weineck (2005) relata que o fator limitante para a atividade física em altitudes elevadas é a redução do consumo de oxigênio, e que, mesmo com uma aclimação à altitude bem feita, o desempenho não se igualará ao obtido ao nível do mar.

Fica claro, no entanto, que a escolha da altitude adequada para o processo de aclimação é um dos fatores que influenciam uma otimização desse treinamento e que altitudes entre 1800 e 2300 metros seriam as ideais para um treinamento. Essa escolha seria pelas alterações fisiológicas causadas pela exposição à altitude. Já em altitudes inferiores a 1800 metros, a estimulação dessas alterações não teriam efeitos significativos. Quanto maior o período de permanência em altitude, mais o desempenho se aproxima do normal obtido ao nível do mar. (MCARDLE et al., 2008; WEINECK, 2005).

3.8 Viver alto e treinar baixo (living high-training low)

Um modelo de treinamento em altitude vem sendo muito utilizado pelos treinadores. Trata-se do “living High-Training Low” ou “viver alto e treinar baixo”. Essa metodologia de treinamento tenta unir os benefícios fisiológicos da aclimação à altitude, como a melhora no transporte de oxigênio, em consequência do aumento da secreção de Eritropoetina, e com uma intensidade de treinamento ao nível do mar maior que a utilizada em altitude. Essa maior intensidade de treinamento deve-se ao fato de a capacidade aeróbia não estar tão prejudicada como em altitudes elevadas nas quais o percentual de VO_2 máx. diminui cerca de 1% para cada 100m acima de 1500m. (LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997; CAMPOS; COSTA, 1999; BRASH, 2000; ELLIOTT; MESTER, 2000; MAGALHÃES et al., 2002; WEINECK, 2003; LEVINE et al., 2008; SAUNDERS et al., 2009; CALBET et al., 2010; CHAPMAN et al., 2010; MILLET et al., 2010).

Fulco e col. (apud BRASH, 2000) declaram a hipótese de que se os atletas vivessem em altitudes certas, por um período correto, 4 semanas, ocorreria um aumento do número de eritrócitos, e esse aumento com o treinamento ao nível do mar, seria capaz de otimizar o desempenho. Levine e Stray-Gundersen, (1997) realizaram um estudo que contou com 39 atletas competitivos (27 homens e 12 mulheres). Os atletas foram divididos em 3 grupos: Grupo1 (Living high-training high): vivia e treinava numa altitude de 2500m. Grupo2 (Living high-training low): vivia na altitude (2500m) e treinava em baixa altitude (1250m) e Grupo3: vivia e treinava em baixa altitude. Os autores concluíram que o modelo de treinamento: “Living high-training low”, melhora o VO_2 máx ao nível do mar. Essa melhora não foi observada no modelo “Living high-training high”.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações fisiológicas ocorridas no corpo do indivíduo exposto a altitudes elevadas estão bem evidentes e, com o avanço da tecnologia de pesquisa, muito mais profundo será esse conhecimento. A liberação da Eritropoetina aumenta o número de eritrócitos circulantes, fato que, junto com uma aclimação correta, seria



a base das teorias de treinamento esportivo em altitude. Os defensores dessa teoria dizem que esse aumento em conjunto com a aclimação gera maior captação de oxigênio e conseqüentemente melhora do desempenho.

Acredita-se que muitas divergências em resultados se devem ao fato de os estudos serem feitos com protocolos diferentes. Por exemplo: as altitudes utilizadas para a coleta dos dados são muito diferentes de estudo para estudo. Isso poderia gerar divergências nas interpretações dos dados. Para competições em grandes altitudes parece ser a melhor forma de estratégia uma aclimação com pelo menos duas semanas de estadia em altitudes mais elevadas. Essa teoria está de acordo com o princípio da especificidade, ou seja, treinar igual à competição. Não adianta focar o treino na corrida se a competição é de natação. Porém, se não existir tempo hábil para uma aclimação, os estudos apontam que o melhor a ser feito é expor-se à altitude horas antes da atividade, diminuindo assim as chances de desenvolver alguns sintomas das patologias de altitude. Isso reforça o fato de equipes de futebol somente irem para o local da partida poucas horas antes do início da mesma, já que o calendário dos campeonatos de futebol não permite tempo suficiente para uma aclimação. Contudo o método de treino “living high-training low” parece ser eficaz quando o intuito é a melhora da performance ao nível do mar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASNYAT, B; MURDOCH, D.R. High-altitude illness. **The Lancet**. v. 361, p. 1967-1974, 2003.

BERNE, R.M.; LEVY, M.N.; KOEPPEN, B.M.; STANTON, B.A. **Fisiologia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

BRASH, N. Does altitude training improve sea level performance in endurance athletes? **Journal Exercise and Sports Science**, v. 28, 2000.

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

CALBET, J.A.L.; et al. On the mechanisms that limit oxygen uptake during exercise in acute and chronic hypoxia: role of muscle mass. **J Physiol**. v. 587, n.2, p.477-490, 2010.

CALBET, J.A.L.; ROBACH, P.; LUNDBY, C. The exercising heart at altitude. **Cellular and Molecular Life Sciences**. v. 66, n. 22, p. 3601-3613, 2010.

CAMPOS, A.L; COSTA, R.V.C. Atividade física em moderadas e grandes altitudes: morbidade cardiovascular e respiratória. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**. Rio de Janeiro: v. 73, n. 1, p. 113-120, 1999.

CHAPMAN, R.F.; STICKFORD, J.L.; LEVINE, B.D. Altitude training considerations for the winter sport athlete. **Experimental Physiology**. v. 95, n. 3, p. 411-421, 2010.



DEHNERT, C.; et al. Erythropoiesis and performance after two weeks of living high and training low in well trained triathletes. **Int. J. Sports Med.** v. 23, n. 8, p. 561-566, 2002.

ELLIOTT, B.; MESTER, J. **Treinamento no esporte**. São Paulo: Phorte, 2000.

FOSS, M.L; KETEVIAN, S.J. **Fox: bases fisiológicas do exercício e do esporte**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

FRAVET, F. et al. Effects of exercise training on acclimatization to hypoxia: systemic O₂ transport during maximal exercise. **Journal of Applied Physiology**. EUA: v. 95, n. 4, p. 1531-1541, 2003.

LEVINE B.D.; STRAY-GUNDERSEN, J. Point: positive effects of intermittent hypoxia (live high – train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume. **Journal of applied physiology**, v. 99, n. 5, p. 2053-2055, 2005.

LEVINE, B.D; STRAY-GUNDERSEN, J. “Living high-training low’: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. **Journal of Applied Physiology**. v. 83, n. 1, p. 102-112, 1997.

LEVINE, B.; et al. The effect of intermittent hypobaric hypoxic exposure and sea level training on submaximal economy in well-trained swimmers and runners. **J Appl Physiol**. v. 104, p. 328-334, 2008.

LIRA, C.A.B.; BARGIERI, J.V.; NAKAMOTO, F.P. **Exposição à altitude para aumentar a performance de endurance ao nível do mar**. Centro de Estudos de Fisiologia do Exercício: UNIFESP, SP, 2004: São Paulo.

MAGALHÃES, J. et al. O desafio da altitude: uma perspectiva fisiológica. **Revista portuguesa de Ciências do desporto**, Porto: v. 2, n. 4, p. 81-91, 2002.

MARTIN, C.A. Avaliação das alterações fisiológicas e psicológicas em paraquedistas. **Revista Brasileira de Educação Física, Esporte, Lazer e Dança**. Maringá: v. 3, n. 4, p. 162-173, 2008.

MARTIN, D.S.; et al. Variation in human performance in the hypoxic mountain environment. . **Experimental Physiology**. v. 95, n. 3, p. 463-470, 2010.

MARTIN, J.M. et al. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

MILLET, G.P.; et al. Combining hypoxic methods for peak performance. **SPORTS MEDICINE**. v. 40, n. 1, p. 01-25, 2010.

ROBACH, P.; et al. Erythropoietin treatment elevates haemoglobin concentration by increasing red cell volume and depressing plasma volume. **J Physiol**. v. 578, n. 1, p. 309-314, 2007.

SAUNDERS, P.U.; PYNE, D.B.; GORE, C.J. Endurance training at altitude. **High altitude medicine & biology**. v. 10, n. 2, 2009.



SCHOENE, R.B.; Illnesses at high altitude. **CHEST**. v. 134, p. 402-416, 2008.

SHEEL, A.W.; MACNUTT, M.J.; QUERIDO, J.S. The pulmonary system during exercise in hypoxia and the cold. **Experimental Physiology**. v. 95, n. 3, p. 422-430, 2010.

WEINECK, J. **Biologia do esporte**. 7. ed. São Paulo: Manole, 2005.

_____. **Treinamento ideal**. 9. ed. São Paulo: Manole, 2003.

WEST, J. B. **Fisiologia Respiratória**. 8. ed. Artmed, 2010

WILMORE, J.H; COSTILL, D.L. **Fisiologia do esporte e do exercício**. 4. ed. Manole.

Recebido: 28/09/2010

Aprovado: 03/11/2010