



A HIPÓXIA NORMOBÁRICA ALTERA MEDIDAS INSPIRATÓRIAS DINÂMICAS DE ADULTOS JOVENS?

Palavras-Chave: Músculos respiratórios, S-index, Treinamento Inspiratório, hipóxia normobárica

Autores(as):

ALVARO MIGUEL DO NASCIMENTO ZAMARIM, FCA – UNICAMP

Lara Soares de Araujo, FCA – UNICAMP

Carolina Cirino, FCA – UNICAMP

Michaela Baldin, FCA – UNICAMP

Marcelo Papoti, EEFERP – USP

Claudio Alexandre Gobatto, FCA – UNICAMP

FÚLVIA DE BARROS MANCHADO GOBATTO, FCA – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O oxigênio (O_2) é essencial para a ressíntese de energia nas funções corporais (Brooks, 2011). O sistema respiratório é vital para transportar o ar e realizar trocas gasosas (Roussos e Macklem, 1982; Ratnovsky, Elad e Halpern, 2008). A ventilação envolve inspiração e expiração, movendo o ar devido às diferenças de pressão entre o ambiente externo e o corpo (Ratnovsky et al., 2008). Os músculos respiratórios, incluindo diafragma, intercostais, externos e paraesternais, e os acessórios como esternocleidomastóideo e escalenos, são essenciais para esse processo (Ratnovsky et al., 2008; Hudson et al., 2010; Saillant, 2018). A ativação dos músculos principais pode reduzir a eficiência dos acessórios (Sheel e Romer, 2012), enquanto o diafragma e os intercostais influenciam o desempenho atlético (Sheel, 2002).

O esforço físico intenso pode ocasionar a fadiga de músculos inspiratórios, redirecionando ~16% do fluxo sanguíneo do débito cardíaco para essa região (Harms et al., 1998), com conseguinte ativação do metaborreflexo (Dempsey et al., 2006). Em hipóxia, a fadiga muscular inspiratória é exacerbada pela restrição de O_2 (Janssens et al., 2013), afetando o fornecimento de O_2 para as mitocôndrias (Bourdillon et al., 2009). Exercícios em hipóxia podem reduzir a ventilação e aumentar a resistência dos músculos inspiratórios (Turner et al., 2016). Por outro lado, o treinamento inspiratório tem contribuído para a redução da fadiga e da dispneia (Lorca-Santiago et al., 2020) e melhorar o desempenho em hipóxia (Downey et al., 2007).

A pressão inspiratória máxima (P_{Imáx}) é amplamente utilizada para mensurar a força dos músculos inspiratórios (Neder et al., 1999; Areias et al., 2020). Mais recentemente, o S-Index (Strength-Index) tem atraído atenção de pesquisadores e equipes esportivas, por avaliar a pressão inspiratória dinâmica durante toda a amplitude de movimento torácico, usando um sistema aberto para medir o fluxo de ar durante uma manobra inspiratória (Minahan et al., 2015; Areias

et al., 2020). Esse teste é baseado no pico de fluxo inspiratório e na relação força-velocidade dos músculos inspiratórios (Minahan et al., 2015). Estudos preliminares investigando ciclistas e judocas indicam que o S-Index pode avaliar a fadiga muscular respiratória durante exercícios intensos (Minahan et al., 2015; Cirino et al., 2021), sendo esse um protocolo atrativo para o esporte. Inclusive, a associação entre a mensuração do SIndex em diferentes condições ambientais, como em locais com reduzida oferta de oxigênio, pode ser um caminho significativo para investigar a eficiência muscular inspiratória.

O presente estudo objetivou avaliar o efeito da hipóxia normobárica sobre os resultados de força dinâmica dos músculos inspiratórios obtidos pelo teste de SIndex. As hipóteses que permeiam o trabalho são que a exposição à hipóxia normobárica diminuirá os índices de desempenho inspiratório em jovens, mas que correlações significantes e positivas serão identificadas entre os parâmetros inspiratórios obtidos nas condições de normóxia e hipóxia normobárica.

MATERIAIS E MÉTODOS:

1.1. Participantes

Para testar nossas hipóteses, após cálculo de tamanho amostral, 11 indivíduos do sexo masculino, ativos e saudáveis participaram do estudo. Foram considerados como critérios de inclusão para composição da amostra os voluntários praticarem exercício físico regular há pelo menos 1 ano, mas sem possuírem experiência prévia com treinamento respiratório ou estarem sob o uso de medicamentos contínuos. Por outro lado, foram excluídos da amostra aqueles que não atenderam os critérios de inclusão e/ou apresentam alguma doença cardiopulmonar ou fossem tabagistas. A realização do experimento teve início após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da FCM da UNICAMP (Nº77219524.2.0000.5404). A participação dos avaliados foi condicionada à leitura e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

1.2 Desenho Experimental

O estudo envolveu três sessões avaliativas. Na primeira, os participantes foram informados sobre o projeto de pesquisa, responderam a questionários para análise de atingimento dos critérios e assinaram o TCLE. Em seguida, passaram por avaliação da composição corporal e se familiarizaram com os equipamentos e procedimentos aos quais posteriormente seriam submetidos. Nas sessões seguintes, de forma randomizada, realizaram a avaliação das medidas inspiratórias dinâmicas em condições de normóxia (níveis normais de oxigênio para a cidade de Limeira, localizada a 588m acima do nível do mar, com fração inspirada de oxigênio (FIO₂) equivalente a 19,5%) e hipóxia normobárica (níveis reduzidos de oxigênio, com FIO₂ 14,5%, o equivalente à altitude de ~3000m). As avaliações ocorreram com intervalos de 24 a 48 horas entre as sessões, sempre no mesmo horário do dia para minimizar os efeitos do ambiente e do ciclo circadiano dos participantes.

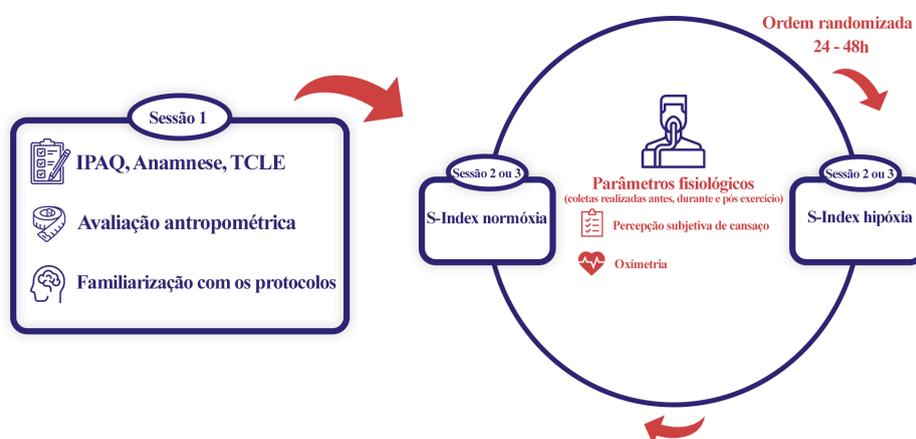


Figura 1: Desenho experimental. IPAQ = Questionário Internacional de Atividade Física. TCLE = Termo de compromisso livre esclarecido

1.3 Condição de hipóxia normobárica

As avaliações em condições hipóxicas foram realizadas dentro de uma tenda normobárica com uma FIO_2 equivalente a 14,5% (~3000m). A hipóxia foi gerada pelo equipamento Hypoxic Everest Summit II Generator®. Anteriormente aos procedimentos, os voluntários foram instruídos a manter a dieta e hidratação nos momentos avaliativos, além de evitar a ingestão de bebidas alcoólicas no período. Para certificar que os participantes estavam sofrendo influência da condição hipóxica, a saturação de oxigênio (SpO_2) foi monitorada por um oxímetro de pulso (OXIFAST Takaoka, SP, Brasil), sendo o teste iniciado começou quando a SpO_2 reduziu ~10% do valor em repouso para cada participante.

1.4 Antropometria e Composição Corporal

Foram mensuradas a estatura e a massa corporal com uma balança digital (DIGI-HEALTH MULTILASER – modelo HC021). As espessuras das dobras cutâneas peitoral, axilar média, tríceps, subescapular, abdome, suprailíaca e coxa foram medidas com um adipômetro. A estimativa do percentual de gordura corporal utilizou o protocolo de $\Sigma 7DC$ de Jackson e Pollock (1978). Três mensurações foram realizadas para cada medida, com a média utilizada para análise. Todas as mensurações antropométricas foram executadas pelo mesmo avaliador para minimizar a propagação de erros.

1.5 Medidas Inspiratórias Dinâmicas

Foram avaliadas as medidas de índice de força inspiratória dinâmica (S-Index), pico do fluxo inspiratório (PIF) e volume de ar com um analisador respiratório POWER**breath**e, modelo K5. Cada participante realizou 10 inspirações com clip nasal em posição ortostática, seguindo o protocolo de Cirino (2021). O bocal foi ajustado entre os dentes e os participantes foram instruídos a inspirar rápida e profundamente, sustentando a inspiração o máximo possível. As medidas foram obtidas e analisadas pelo *software* Breathe-Link Versão 1.1.

1.6 Análise Estatística

Os dados foram tratados por meio do software STATISTICA (versão 7.0). Foi realizada a estatística descritiva de média e desvio padrão. A normalidade e homogeneidade dos dados fora avaliada pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Para comparar e correlacionar as medidas inspiratórias entre os ambientes (normóxia e hipóxia) foram utilizados os testes *t-Student* para amostras dependentes (comparação) e o produto-momento de Pearson (correlação). O nível de significância utilizado foi $p \leq 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A tabela 1 apresenta a caracterização da amostra, com os resultados das medidas antropométricas e composição corporal dos 11 participantes homens saudáveis.

Tabela 1. Dados antropométricos em média e desvio padrão de 11 participantes homens.

Variáveis	Homens (n=11)
Massa Corporal (kg)	81,08 ± 17,59
Altura (m)	1,75 ± 0,09
Envergadura (cm)	176,77 ± 9,60
Circunferência do peitoral (cm)	102,18 ± 7,11
Percentual de Gordura (%)	13 ± 4
Peso Gordo (kg)	11,09 ± 6,03
Peso Residual (kg)	19,46 ± 4,22
Peso Magro (kg)	4,40 ± 0,60
Peso Ósseo (kg)	3,17 ± 1,84

Os dados dos parâmetros inspiratórios obtidos nas duas condições ambientais (normóxia e hipóxia) estão apresentados na tabela 2. Não houve diferença significativa quando comparados os parâmetros inspiratórios mensurados em normóxia e hipóxia. Por meio do teste de produto-momento de Pearson, as variáveis de S-index médio e pico relativizadas, os volumes médio e pico apresentaram correlação entre os ambientes normóxia e hipóxia ($P < 0,05$).

Tabela 2. Comparação e correlação entre os ambientes normóxia e hipóxia para as variáveis inspiratórias.

Variáveis	Normóxia	Hipóxia	Test- T (p)	Pearson
S-Index média (cmH ₂ O)	118,74 ± 18,12	120,14 ± 15,30	0,79	r=0,48; P= 0,13
S-Index média Relativa (cmH ₂ O.kg ⁻¹)	1,52 ± 0,37	1,55 ± 0,40	0,65	r=0,85; P=0,00*
S-Index pico (cmH ₂ O)	133,56 ± 10,57	135,96 ± 11,35	0,52	r=0,40; P=0,22
S-Index pico Relativa (cmH ₂ O.kg ⁻¹)	1,71 ± 0,35	1,74 ± 0,38	0,46	r=0,93; P=0,00*
PIF média (L/s)	6,58 ± 0,98	6,64 ± 0,79	0,83	r=0,49; P=0,13
PIF pico (L/s)	7,34 ± 0,50	7,48 ± 0,55	0,48	r=0,39; P=0,24
Volume média (L)	3,31 ± 0,87	3,31 ± 0,51	0,99	r=0,88; P=0,00*
Volume pico (L)	3,81 ± 0,75	3,85 ± 0,55	0,67	r=0,89; P=0,00*

* $P < 0,05$; S-Index = índice de força inspiratória dinâmica; PIF = pico de fluxo inspiratório.

Nosso estudo visou identificar o efeito da hipóxia normobárica ($FiO_2 = 14,5\%$) sobre os parâmetros inspiratórios dinâmicos obtidos por meio do teste de S-Index. O protocolo, que utiliza um dispositivo portátil de fluxo aberto para a obtenção da força dinâmica de músculos inspiratórios, foi adotado considerando estudos recentes que apontam os benefícios na execução desse teste para o monitoramento e controle do treinamento (Areias, 2020). Nossos resultados não confirmaram as hipóteses estabelecidas para esse estudo. De acordo com a literatura e conhecendo os efeitos da hipóxia em diminuir a ventilação e causar o aumento do trabalho dos músculos inspiratórios (Verge et al., 2010), hipotetizamos que a hipóxia aqui aplicada reduziria os valores inspiratórios atrelados ao SIndex..

Mesmo não encontrando resultados diferentes entre os ambientes, correlações significantes e positivas foram observadas entre as medidas inspiratórias dinâmicas obtidas em normóxia e em hipóxia (S-Index médio e pico relativizados, e os volumes médio e pico), sugerindo uma consistência nas respostas individuais entre as duas condições..

Os resultados deste estudo mostraram que não houve diminuição significativa nos parâmetros inspiratórios durante a exposição à hipóxia simulada a 3000 metros. As possíveis justificativas para esse achado podem estar relacionadas ao reduzido tempo de exposição à hipóxia (Exposição Aguda), a qual pode não ser suficiente para provocar ajustes fisiológicos significativos, que geralmente ocorrem com exposições prolongadas (Chapman et al., 2014) e ao nível de altitude proposto, não sendo esse suficiente para provocar mudanças nas variáveis medidas (Millet et al., 2010).

CONCLUSÕES:

Os resultados do presente estudo indicam que a exposição à hipóxia simulada a ~3000 metros de altitude não causou mudanças significativas nas variáveis inspiratórias analisadas. No entanto, houve correlações significativas para o S-Index médio e pico relativo, e os volumes médio e pico, mostrando consistência nas respostas individuais nas duas condições ambientais investigadas. Isso sugere uma adaptação individual significativa às condições de oxigenação variada, mesmo que as médias grupais não diferenciem entre os ambientes. Essas correlações destacam a importância das variações individuais na resposta à hipóxia, crucial para entender aclimatação e adaptação em contextos como treinamento em altitude. Estudos futuros devem mais bem explorar esses padrões individuais e os fatores que influenciam a resposta inspiratória em condição de hipóxia normobárica.

BIBLIOGRAFIA

- AARON, E. A. et al. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985), v. 72, n. 5, p. 1818–1825, 1992.
- AREIAS, G. DE S. et al. Concurrent validity of the static and dynamic measures of inspiratory muscle strength: Comparison between maximal inspiratory pressure and S-Index. *Brazilian journal of cardiovascular surgery*, v. 35, n. 4, p. 459–464, 2020.
- BARNES, K. R.; LUDGE, A. R. Inspiratory muscle warm-up improves 3,200-m running performance in distance runners. *Journal of strength and conditioning research*, v. 35, n. 6, p. 1739–1747, 2021.
- BASOUDAN, N. et al. Effect of acute hypoxia on inspiratory muscle oxygenation during incremental inspiratory loading in healthy adults. *European journal of applied physiology*, v. 116, n. 4, p. 841–850, 2016.
- BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 14, n. 5, p. 377–381, 1982.
- BOURDILLON, N. et al. Interaction between hypoxia and training on NIRS signal during exercise: contribution of a mathematical model. *Respiratory physiology & neurobiology*, v. 169, n. 1, p. 50–61, 2009.
- BROOKS, G. A. Bioenergetics of exercising humans. *Comprehensive physiology*, v. 2, n. 1, p. 537–562, 2012.
- CIRINO, C. et al. Complex network model indicates a positive effect of inspiratory muscles pre-activation on performance parameters in a judo match. *Scientific reports*, v. 11, n. 1, p. 11148, 2021.
- CIRINO, C. et al. Effects of inspiratory muscle warm-up on physical exercise: A systematic review. *Biology*, v. 12, n. 2, 2023.
- CHAPMAN, R. F. et al. Impairment of 3000-m running performance by sea-level natives at 2300 m altitude. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 28, n. 11, p. 1409–1415, 2014.
- DEMPSEY, J. A. et al. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respiratory physiology & neurobiology*, v. 151, n. 2–3, p. 242–250, 2006.
- DOWNEY, A. E. et al. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. *Respiratory physiology & neurobiology*, v. 156, n. 2, p. 137–146, 2007.
- FAGHY, M.; BROWN, P. I. Training the inspiratory muscles improves running performance when carrying a 25kg thoracic load in a backpack. *European journal of sport science*, v. 16, n. 5, p. 585–594, 2016.
- HANSEN, J. et al. Metabolic modulation of sympathetic vasoconstriction in human skeletal muscle: role of tissue hypoxia. *The journal of physiology*, v. 527, n. 2, p. 387–396, 2000.
- HACKSHAW, A. Small studies: strengths and limitations. *The European respiratory journal: official journal of the European Society for Clinical Respiratory Physiology*, v. 32, n. 5, p. 1141–1143, 2008.
- HARMS, C. A. et al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985), v. 85, n. 2, p. 609–618, 1998.
- HILL, J. M. Discharge of group IV phrenic afferent fibers increases during diaphragmatic fatigue. *Brain research*, v. 856, n. 1–2, p. 240–244, 2000.
- HINDE, K. L. et al. Inspiratory muscle training at sea level improves the strength of inspiratory muscles during load carriage in cold-hypoxia. *Ergonomics*, v. 63, n. 12, p. 1584–1598, 2020.
- HUDSON, A. L. et al. Interplay between the inspiratory and postural functions of the human parasternal intercostal muscles. *Journal of neurophysiology*, v. 103, n. 3, p. 1622–1629, 2010.
- JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. *The British journal of nutrition*, v. 40, n. 3, p. 497–504, 1978.
- JANSENS, L. et al. The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: a systematic review. *Respiratory medicine*, v. 107, n. 3, p. 331–346, 2013.
- LORCA-SANTIAGO, J. et al. Inspiratory muscle training in intermittent sports modalities: A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, v. 17, n. 12, p. 4448, 2020.
- MILLET, G. P. et al. Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, v. 40, n. 1, p. 1–25, 2010.
- MINAHAN, C. et al. Repeated-sprint cycling does not induce respiratory muscle fatigue in active adults: measurements from the powerbreathe® inspiratory muscle trainer. *Journal of sports science & medicine*, v. 14, n. 1, p. 233–238, 2015.
- NEDER, J. A. Reference values for lung function tests: II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, n. 6, p. 719–727, 1999.
- RATNOVSKY, A.; ELAD, D.; HALPERN, P. Mechanics of respiratory muscles. *Respiratory physiology & neurobiology*, v. 163, n. 1–3, p. 82–89, 2008.
- RISDALL, J. E.; GRADWELL, D. P. Extremes of barometric pressure. *Anaesthesia & intensive care medicine*, v. 9, n. 11, p. 501–505, 2008.
- ROUSSOS, C.; MACKLEM, P. T. The respiratory muscles. *The New England journal of medicine*, v. 307, n. 13, p. 786–797, 1982.
- SAILLANT, N. N. Rib Fracture Management. Cham: Springer, 2018.
- SELLERA, C. A. C. et al. O Exercício: preparação fisiológica, avaliação médica, aspectos especiais e preventivos. *Editora Atheneu*, p. 435–443, 1999.
- SHEEL, A. W. Respiratory muscle training in healthy individuals: physiological rationale and implications for exercise performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, v. 32, n. 9, p. 567–581, 2002.
- SHEEL, A. W.; ROMER, L. M. Ventilation and respiratory mechanics. *Comprehensive physiology*, v. 2, n. 2, p. 1093–1142, 2012.
- TURNER, L. A. et al. The effect of inspiratory muscle training on respiratory and limb locomotor muscle deoxygenation during exercise with resistive inspiratory loading. *International journal of sports medicine*, v. 37, n. 8, p. 598–606, 2016.
- VERGES, S.; BACHASSON, D.; WUYAM, B. Effect of acute hypoxia on respiratory muscle fatigue in healthy humans. *Respiratory research*, v. 11, n. 1, 2010.
- VOLIANITIS, S. et al. The influence of prior activity upon inspiratory muscle strength in rowers and non-rowers. *International journal of sports medicine*, v. 20, n. 8, p. 542–547, 1999.