EFEITOS DA HIPÓXIA NORMOBÁRICA SOBRE A OXIGENAÇÃO NOS MÚSCULOS BÍCEPS BRAQUIAL E INTERCOSTAIS DURANTE EXERCÍCIO INSPIRATÓRIO DINÂMICO E TEMPERATURA CORPORAL APÓS ESFORÇOS

Palavras-Chave: hipóxia; músculos inspiratórios; espectroscopia do infravermelho próximo, termografia

Autores(as):

ALVARO MIGUEL DO NASCIMENTO ZAMARIM, FCA - UNICAMP

Lara Soares de Araujo, FCA - UNICAMP

Vitor Luís Nardi, FCA - UNICAMP

Claudio Alexandre Gobatto, FCA - UNICAMP

Marcelo Papoti, EEFERP - USP

FÚLVIA DE BARROS MANCHADO GOBATTO, FCA- UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O princípio da hipóxia baseia-se na redução da oferta de oxigênio no sangue arterial a níveis insuficientes para sustentar a função celular, ocorrendo comumente em altitudes moderadas e elevadas (Gilany e Vafakhah, 2010). Um dos efeitos crônicos dessa exposição é o aumento de hemácias e da produção de eritropoietina, o que melhora o metabolismo aeróbio, essencial para a performance de atletas de resistência (Heinicke et al., 2003; Jelkmann, 2016; Mujika, Sharma e Stellingwerff, 2019).

Em ambiente hipóxico, os músculos inspiratórios (MIs) aumentam sua atividade devido à menor disponibilidade de O_2 em relação ao nível do mar (Cunningham, Brody e Jain, 1974; Janssens et al., 2013; Katayama et al., 2019). A exposição aguda reduz o O_2 alveolar e a pressão parcial de oxigênio (PO_2), levando à queda da saturação (Sellera; Costa, 1999), afetando seu transporte às mitocôndrias (Bourdillon et al., 2009). Durante o exercício, a PO_2 tecidual diminui conforme a intensidade (Hansen et al., 2000). Basoudan et al. (2016) observaram aumento de ΔHHb e redução do ΔTSI no esternocleidomastoideo durante esforço inspiratório em hipóxia.

Os principais MIs são diafragma, intercostais externos e paraesternais; já os acessórios incluem esternocleidomastoideo, escalenos, peitorais, serrátil anterior e íliocostal cervical (Ratnovsky, Elad e Halpernc, 2008; Hudson et al., 2010; Saillant, 2018). Esses músculos ampliam o volume torácico e conduzem o ar aos pulmões (Ratnovsky et al., 2008). Sob esforço, esses músculos entram em fadiga, consumindo 10 a 15% do O_2 total (Aaron et al., 1992) e desviando 16% do débito cardíaco (Harms et al., 1998) via metaborreflexo (Dempsey et al., 2006). O acúmulo de metabólitos ativa fibras tipo III e IV, sobretudo do diafragma, intensificando a fadiga dos músculos locomotores (Hill, 2000).

O exercício inspiratório tem sido utilizado para reduzir a fadiga dos MIs e mitigar o metaborreflexo, dispneia e sensação de esforço (Lorca-Santiago et al., 2020). Ele também melhora o desempenho sob hipóxia (Downey et al., 2007). Sua prescrição, seja crônica ou aguda, baseia-se em medidas de pressão que indicam a força dos MIs (Volianitis et al., 1999; Barnes e Ludge, 2019).

Recentemente, o S-Index (Strength-Index) ganhou destaque por avaliar a força inspiratória dinâmica com base no pico de fluxo de uma manobra inspiratória em sistema aberto (Minahan et al., 2015; Areias et al., 2020). Esse teste usa algoritmos baseados na relação força-velocidade dos MIs. Minahan et al. (2015) validaram o S-Index com três inspirações profundas, demonstrando fadiga respiratória em ciclistas. Cirino et al. (2021) utilizaram o protocolo em judocas com maior número de repetições.

Introduzido por Jobsis (1977), o NIRS avalia a oxigenação muscular ao detectar absorção de luz por O_2Hb, HHb e mioglobina, usando diferentes comprimentos de onda (Grassi e Quaresima, 2016). É um métodoque monitora alterações em O_2Hb, HHb, tHb e TSI (Ferrari, Muthalib e Quaresima, 2011), sendo amplamente usado em estudos clínicos e de exercício (Lee et al., 1997). Revisão recente de Perrey, Quaresima e Ferrari (2024) destaca o NIRS como marcador da capacidade oxidativa do músculo, com papel fundamental no controle do treinamento (Manchado-Gobatto et al., 2020), especialmente ao avaliar os efeitos da hipóxia sobre a saturação muscular.

Outro ponto de destaque é a temperatura corporal em diferentes condições de exercício. A termografia infravermelha, técnica não invasiva e acessível, vem sendo proposta como marcador de carga interna (Fernández-Cuevas et al., 2015). Inicialmente usada em diagnósticos, hoje a termografia é empregada em estudos fisiológicos do exercício. Nosso grupo investigou a influência do modelo "viver alto e treinar baixo" em roedores, revelando que a exposição hipóxica crônica protege contra hipertermia pós-exercício (Scariot et al., 2023). Em humanos, não foram observadas alterações de temperatura em nado atado com ou sem aquecimento prévio dos MIs (Araujo et al., 2024).

Portanto, ainda não está estabelecida a relação entre atividade dos MIs em hipóxia e os efeitos sobre a oxigenação muscular e a temperatura corporal. Diante disso, este estudo investigará os efeitos da hipóxia normobárica sobre medidas inspiratórias, oxigenação muscular e temperatura da pele em diferentes regiões corporais.

Avançando na compreensão da hipóxia normobárica, Simpson et al. (2025) demonstraram que essa condição afeta não apenas a oxigenação muscular durante sprints, mas também a atividade do sistema nervoso central e periférico, sugerindo adaptações neuromusculares que podem influenciar o desempenho respiratório. De forma complementar, Baur et al. (2024) observaram alterações ventilatórias e hemodinâmicas sob hipóxia durante transporte de carga, o que reforça a importância de avaliar múltiplos marcadores fisiológicos em esforços físicos sob baixa disponibilidade de oxigênio. Além disso, Oliveira et al. (2025) destacam diferenças sexuais no controle cardiorrespiratório sob hipóxia, apontando a importância de considerar características individuais na análise dos dados.

Diante disso, o presente estudo propõe investigar os efeitos da hipóxia normobárica sobre a oxigenação nos músculos bíceps braquial e intercostais durante exercício inspiratório dinâmico e temperatura corporal após esforços.

METODOLOGIA:

Participantes

O tamanho amostral foi calculado no G*Power (v. 3.1.9.7, Universität Kiel, Alemanha), indicando 10 participantes para alcançar poder estatístico (0,80; α=0,05). Participaram do estudo 10 indivíduos adultos do gênero masculino 23,1 ± 3,87 anos, 82,07 ± 18,28 kg, 1,80 ± 0,10 cm de estatura. Critérios de inclusão: i. prática regular de exercício há ≥1 ano; ii. sem experiência em treinamento respiratório. Critérios de exclusão: i. não atender aos critérios de inclusão; ii. uso contínuo de medicamentos, suplementos ou anabolizantes; iii. dores articulares, doenças metabólicas/cardiovasculares/respiratórias, ou qualquer condição impeditiva para esforços físicos; iv. tabagismo; v. resposta positiva no PAR-Q. Todos os participantes foram orientados sobre sono, alimentação e treino antes das avaliações. A participação precisou de leitura e assinatura do TCLE, que detalha os procedimentos, a possibilidade de desistência e o uso dos dados em publicações científicas. O estudo principal foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da FCM-UNICAMP (Protocolo 77219524.2.0000.5404).

Metodologia

O estudo contou com cinco sessões de avaliação. Na primeira, os participantes foram informados sobre o projeto, responderam os questionários PAR-Q, IPAQ e anamnese, e, se elegíveis, assinaram o TCLE. Após isso, realizaram avaliação da composição corporal e familiarização com os equipamentos e procedimentos.

Nas duas sessões seguintes, de forma randomizada, realizaram testes inspiratórios (S-index e PImáx) em normóxia (N – oxigênio ambiente de Limeira) e hipóxia (H – FiO_2 de 14,5%, equivalente a ~3.000m de altitude). Durante os testes, foram feitos registros termográficos, coleta de SpO_2 e monitoramento da oxigenação nos músculos intercostais e bíceps braquial antes, após os testes e durante o repouso (Figura 1).

Para esse resumo serão apresentados somente os dados de índice de saturação tecidual (TSI) e termografia.

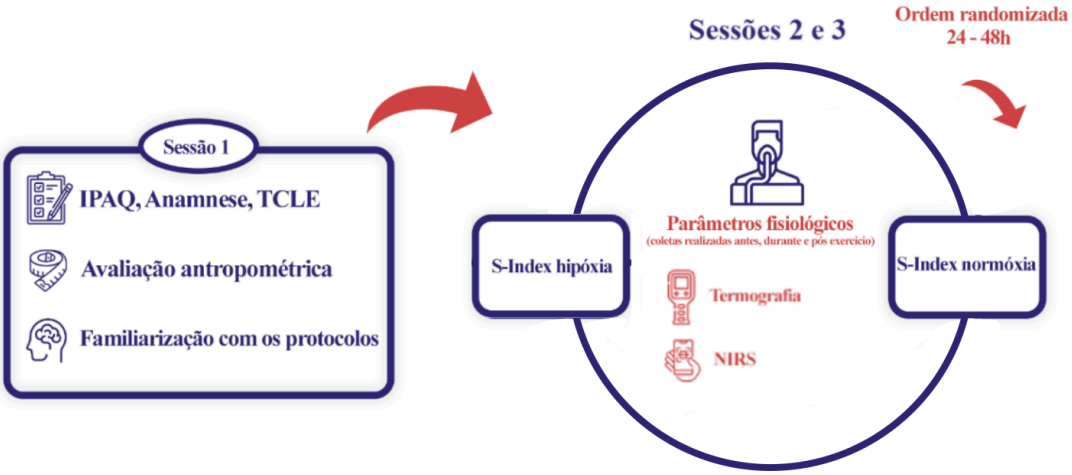

Figura 1: Desenho experimental. A 1ª sessão, destinada a caracterização da amostra e determinação dos parâmetros que foram utilizados nas sessões subsequentes. De maneira aleatória, cada avaliado foi submetido a 2 sessões experimentais, sendo 1 em condição de hipóxia e 1 em condição normoxica. Em todas as sessões foram monitoradas as respostas de oxigenação muscular e temperatura corporal, nos momentos apresentados.

Condições Ambientais

O experimento foi realizado no LAFAE (FCA/Unicamp, Limeira-SP, 588 m de altitude), onde a FIO_2 é de ~19,5%. As avaliações em hipóxia ocorreram em tenda normobárica (Colorado Altitude Training™) com FIO_2 de 14,5% (~3.000 m), gerada pelo equipamento *Hypoxic Everest Summit II Generator*®. As sessões ocorreram no mesmo período do dia para minimizar efeitos ambientais e circadianos. Os voluntários foram orientados a manter dieta e hidratação regulares e evitar álcool antes das avaliações.

Medidas Inspiratórias Dinâmicas

Foram avaliadas a pressão inspiratória dinâmica (S-Index – cmH_2O) com analisador respiratório POWERbreathe K5 Plus Heavy Resistance Sports. Em posição ortostática e com clip nasal, cada participante realizou 10 inspirações conforme instruções do fabricante. Inicialmente, expiraram profundamente, posicionando o bocal entre os dentes, lábios selados e língua para baixo. Durante o teste, inspirar rapidamente e sustentar ao máximo, com estímulo verbal a cada tentativa. O protocolo segue Cirino (2021). O S-Index é calculado com base no fluxo de ar inalado, considerando força e velocidade da musculatura inspiratória. Médias e picos das medidas foram extraídos via software *Breathe-Link* v1.1.

Termografia infravermelha

A temperatura foi registrada por câmera termográfica FLIR® One Pro para iOS (19.200 pixels), com sensibilidade de -20 a 400 °C e resolução de 0,1 °C. A câmera foi posicionada sempre no mesmo local, em ambiente com temperatura média de 26 °C (±2 °C) registrada no momento da coleta (Gómez-Carmona, 2020). Foram capturadas duas imagens (frontal e traseira) por momento, em formato JPG (640×480). A temperatura da pele foi analisada por regiões de interesse (tórax, cabeça e membros superiores) via software FLIR® *Thermal Studio Starter* (v6.2.2). Os registros ocorreram nos seguintes momentos: pré-exercício (Baseline), pós-exercício, e aos 1, 3 e 5 minutos após os testes.

Medidas de Oxigenação Periférica e Muscular

A saturação periférica de oxigênio (SpO_2) foi monitorada durante todo o teste com oxímetro de pulso (OXIFAST, Takaoka, SP). Em hipóxia, o teste iniciou quando a SpO_2 atingiu ~10% abaixo do valor de repouso. Antes do exercício, os participantes foram equipados com dois dispositivos wireless PortaMon (Artinis, Holanda), baseados em espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS), que utilizam emissores de luz a 30, 35 e 40 mm do receptor, em comprimentos de 750 e 850 nm, para mensurar O_2Hb, HHb, tHb e TSI. Os sensores foram fixados no 7° espaço intercostal e no centro do bíceps braquial, cobertos com plástico filme e bandagem preta para proteção contra umidade e luz ambiente. Os sinais foram coletados a 10 Hz e suavizados com filtro Butterworth (10ª ordem, 0,1 Hz) via software Oxysoft (Artinis). Após 3 minutos de repouso para linha de base, os participantes realizaram o teste S-Index conforme a sessão. O TSI é calculado automaticamente pelo software Oxysoft (Artinis) e os momentos apresentados são baseline fora da tenda, baseline dentro da tenda, pós esforço do teste de S-Index e aos 1, 3 e 5 minutos de intervalo após os testes, também foi delimitado começo, meio e fim dentro dos momentos de intervalo para melhor análise dos dados.

Análise Estatística

Os dados foram apresentados em média e desvio padrão. Os testes de Shapiro-Wilk e Levene foram aplicados para testar a normalidade e homogeneidade, respectivamente. Em todos os casos o nível de significância foi estabelecido em 5%. A ANOVA One-way para medidas repetidas (efeitos da hipóxia e interações no tempo), seguida por post-hoc Newman Keuls quando necessário, foi adotada para identificar alterações no S-Index nas duas condições ambientais e seus impactos na variável TSI(%) ao longo do tempo. Para a variável termografia, foi utilizado o Teste-t pareado, a fim de determinar os efeitos do ambiente somente no momento 1min após o teste de S-Index. Para verificar a efetividade do pareamento entre os participantes nas duas condições ambientais (normóxia e hipóxia), foi aplicada a correlação produto-momento de Pearson com o objetivo de avaliar a consistência intraindividual das respostas fisiológicas, determinando se os valores obtidos em normóxia apresentavam associação significativa com os valores correspondentes em hipóxia para cada variável analisada (TSI nos músculos bíceps braquial e intercostais, e temperatura da pele nas regiões da face, peitoral e abdome). A significância estatística da correlação foi considerada para valores de $p < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A figura 2 mostra a investigação da oxigenação muscular por meio do índice de saturação de oxigênio tecidual (TSI, expresso em %), nos músculos intercostal e bíceps braquial e, em nove momentos consecutivos do teste S-Index sob condições de normóxia e hipóxia normobárica simulada (=14,5% O_2).

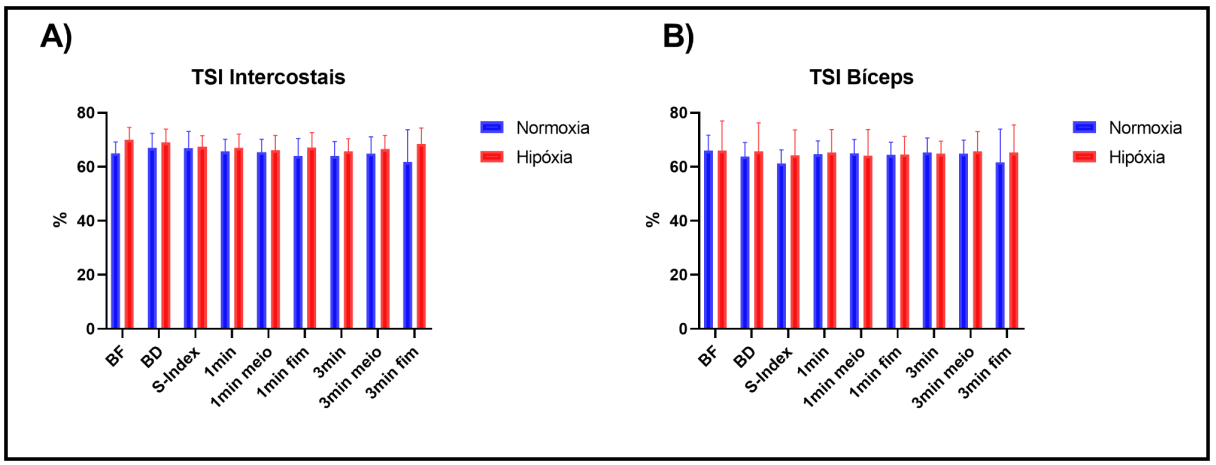

Figura 2: Saturação tecidual (TSI) nos músculos intercostais e bíceps em normoxia e hipóxia ao longo dos momentos do teste S-Index, dados em porcentagem. BF= Baseline fora, BD= Baseline dentro da tenda de hipóxia, min = minuto de intervalo. A) p<0,01*, r = 0,05; p = 0,45. B) p = 0,09, r = 0.37; p = 0,16.

Na comparação das medidas de baseline de oxigenação muscular (TSI) fora da tenda, entre as condições normóxica e hipóxica simulada a 3000 metros, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas tanto nos músculos bíceps braquial quanto nos músculos intercostais. Para o bíceps, o teste t pareado revelou p = 0,95 e para os músculos intercostais p= 0,14.

Na análise da oxigenação muscular (TSI), observou-se redução significativa nos músculos intercostais sob hipóxia em comparação à normóxia (p < 0,01*), mas com correlação baixa (r = 0,05; p = 0,45). Por outro lado, nos músculos bíceps braquial, a comparação entre as condições ambientais não resultou em diferença estatisticamente significativa (p = 0,09) e sem correlação (r = 0,37; p = 0,16). Essa resposta atenuada pode refletir a menor exigência metabólica dessa musculatura durante o teste.

Além disso, a análise de variância para medidas repetidas (ANOVA) reforçou a ausência de efeitos principais do tempo nas condições normóxica e hipóxica para ambos os músculos avaliados (p = 0,30 para bíceps em normóxia; p = 0,53 para bíceps em hipóxia; p = 0,26 para intercostais em normóxia; p = 0,3615 para intercostais em hipóxia). Apesar da inexistência de efeito significativo entre os momentos, a eficácia do pareamento foi elevada em todos os modelos, com p < 0,01, indicando consistência individual entre as respostas ao longo do teste.

A estabilidade nos níveis de TSI sugere uma resposta preservada da oxigenação tecidual nestes músculos, pelos esforços físicos do teste realizado não ser considerado intenso, a literatura sugere que protocolos de hipóxia intermitente ou exposições mais prolongadas podem revelar alterações mais marcantes na função respiratória (Millet et al., 2010)

Na figura 3 é apresentado os resultados obtidos pela análise da termografia da face, peitoral e abdome.

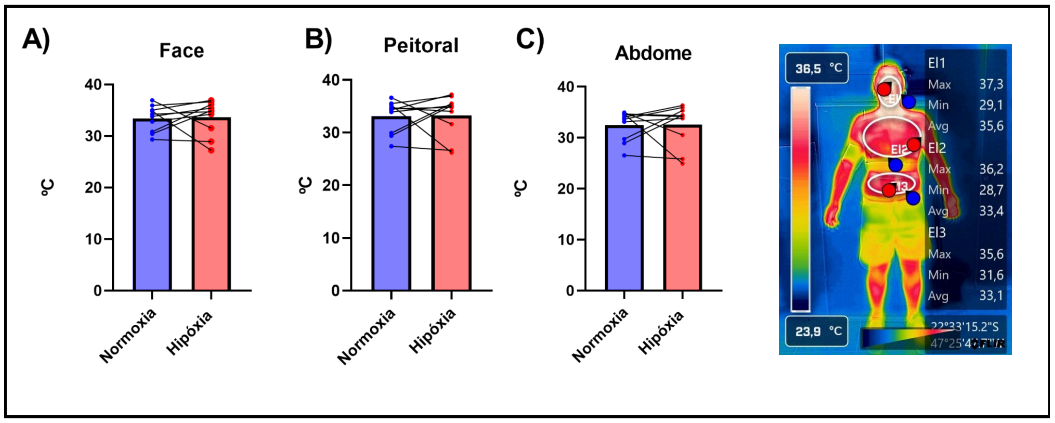

Figura 3: Análise termográfica em normoxia e hipóxia após teste de S-Index, dados em ºC. Em seguida, um exemplo de um registro termográfico, onde cada círculo na imagem representa a área analisada.

Os resultados não demonstraram diferença estatisticamente significativa na temperatura da pele entre os ambientes normóxico e hipóxico para nenhuma das regiões analisadas (face: p = 0,85; peitoral: p = 0,91; abdome: p = 0,95). Esses achados sugerem que a exposição aguda à hipóxia normobárica não foi capaz de provocar alterações térmicas cutâneas. Tal efeito pode ser atribuído à curta duração da exposição e à ativação de mecanismos compensatórios de termorregulação que mantêm a perfusão cutânea, mesmo em condições de menor saturação de oxigênio arterial (Simmons et al., 2007). De acordo

com Haqani et al. (2020), a vasodilatação cutânea induzida pela hipóxia pode manter a temperatura da pele estável por meio do aumento do fluxo sanguíneo periférico, compensando a redução na pressão parcial de oxigênio. Portanto, com base na evidência estatística e na análise dos dados, conclui-se que não houve efeito da hipóxia sobre a temperatura da pele em face, peitoral e abdome, nas condições do presente estudo.

CONCLUSÕES:

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a exposição aguda à hipóxia normobárica simulada a 3.000 metros não provocou alterações estatisticamente significativas na oxigenação tecidual dos músculos intercostais e bíceps braquial, tampouco na temperatura da pele nas regiões da face, peitoral e abdome. Apesar da ausência de significância estatística, observou-se uma variação intraindivíduos de queda nos níveis de TSI no bíceps braquial sob hipóxia, sugerindo possível sensibilidade periférica à menor disponibilidade de O_2. A estabilidade nos valores dos intercostais, pode ser explicada pela hipótese de mecanismos compensatórios locais, como o aumento do fluxo sanguíneo regional, sustentando a oxigenação tecidual mesmo em condições hipóxicas ou ajustes intraindividuais. Da mesma forma, a manutenção da temperatura da pele nas regiões analisadas pode estar relacionada à vasodilatação cutânea induzida pela hipóxia, conforme descrito na literatura (Simmons et al., 2007), o que limita variações térmicas perceptíveis. Esses achados ressaltam a importância da individualidade biológica, evidenciado pela forte eficácia do pareamento estatístico e indicam que investigações futuras com maior tempo de exposição ou variáveis fisiológicas adicionais são necessárias para aprofundar a compreensão dos ajustes musculares e autonômicas frente à hipóxia aguda.

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.
ARAUJO, L. S. de et al. Inspiratory muscles pre-activation in young swimmers submitted to a tethered swimming test: effects on mechanical, physiological, and skin temperature parameters. Scientific Reports, v. 14, n. 1, art. 5975, 2024.
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.
BAUR, D. A. et al. Load carriage physiology in normoxia and hypoxia. European Journal of Applied Physiology, v. 124, n. 3, p. 925–943, 2024.
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.
CUNNINGHAM, E. L.; BRODY, J. S.; JAIN, B. P. Lung growth induced by hypoxia. Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985), v. 37, n. 3, p. 362–366, 1974.
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 25 kg thoracic load in a backpack. European Journal of Sport Science, v. 16, n. 5, p. 585–594, 2016.
FERNÁNDEZ-CUEVAS, I. et al. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: a review. Infrared Physics & Technology, v. 71, p. 28–55, 2015.
FERRARI, M.; MUTHALIB, M.; QUARESIMA, V. The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. Philosophical Transactions of the Royal Society A, v. 369, n. 1955, p. 4577–4590, 2011.
GILANY, K.; VAFAKHAH, M. Hypoxia: a review. Journal of Paramedical Sciences, v. 1, n. 2, p. 43–60, 2010.
GRASSI, B.; QUARESIMA, V. Near-infrared spectroscopy and skeletal muscle oxidative function in vivo in health and disease: a review from an exercise physiology perspective. Journal of Biomedical Optics, v. 21, n. 9, p. 091313, 2016.
HAQANI, B. et al. The nitric oxide dependence of cutaneous microvascular function to independent and combined hypoxic cold exposure. Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985), v. 129, n. 4, p. 947–956, 2020.
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.
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.
HEINICKE, K. et al. A three-week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. International Journal of Sports Medicine, v. 26, n. 5, p. 350–355, 2005.
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.
JANSSENS, 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.
JELKMANN, W. Features of blood doping. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, v. 67, n. 11, p. 255–262, 2016.
JOBSIS, F. F. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. Science, v. 198, n. 4323, p. 1264–1267, 1977.
KATAYAMA, K. et al. Effects of respiratory muscle endurance training in hypoxia on running performance. Medicine & Science in Sports & Exercise, v. 51, n. 7, p. 1477–1486, 2019.
LEE, B. Y. et al. Noninvasive quantification of muscle oxygen in subjects with and without claudication. Journal of Rehabilitation Research and Development, v. 34, n. 1, p. 44–51, 1997.
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.
MANCHADO-GOBATTO, F. B. et al. New insights into mechanical, metabolic and muscle oxygenation signals during and after high-intensity tethered running. Scientific Reports, v. 10, n. 1, p. 6336, 2020.
MILLET, G. P. et al. Combining hypoxic methods for peak performance. Sports Medicine, 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.
MUJIKA, I.; SHARMA, A. P.; STELLINGWERFF, T. Contemporary periodization of altitude training for elite endurance athletes: a narrative review. Sports Medicine, v. 49, n. 11, p. 1651–1669, 2019.
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.
OLIVEIRA, A. L. M. B. et al. Sex differences in cardiorespiratory control under hypoxia: the roles of oxygen desaturation and hypoxic exposure time. Frontiers in Cardiovascular Medicine, v. 12, 2025.
PERREY, S.; QUARESIMA, V.; FERRARI, M. Muscle oximetry in sports science: an updated systematic review. Sports Medicine, 2024.
RATNOVSKY, A.; ELAD, D.; HALPERN, P. Mechanics of respiratory muscles. Respiratory Physiology & Neurobiology, v. 163, n. 1–3, p. 82–89, 2008.
RODRIGUEZ, R. F. et al. Respiratory muscle oxygenation is not impacted by hypoxia during repeated-sprint exercise. Respiratory Physiology & Neurobiology, v. 260, p. 114–121, 2019.
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.
SCARIOT, P. P. M. et al. Living high - training low model applied to C57BL/6J mice: Effects on physiological parameters related to aerobic fitness and acid-base balance. Life Sciences, v. 315, p. 121443, 2023. DOI: 10.1016/j.lfs.2023.121443.
SELLERA, C. A. C. et al. O exercício: preparação fisiológica, avaliação médica, aspectos especiais e preventivos. São Paulo: Atheneu, 1999. p. 435–443.
SHEEL, A. W. Respiratory muscle training in healthy individuals: physiological rationale and implications for exercise performance. Sports Medicine (Auckland), 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.
SIMMONS, G. H. et al. Systemic hypoxia causes cutaneous vasodilation in healthy humans. Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985), v. 103, n. 2, p. 608–615, 2007.
SIMPSON, C. W. C. et al. Central and peripheral nervous system activity and muscle oxygenation in athletes during repeated-sprint exercise in normoxia and normobaric hypoxia. Journal of Sports Sciences, v. 1–13 (ahead of print), 2025. DOI: 10.1080/02640414.2025.2461947.
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.
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.