



MEDIDAS TERMOGRÁFICAS DE MÚSCULOS ESTABILIZADORES DO TORNOZELO APÓS TESTES DE EQUILÍBRIO ESTÁTICO E DINÂMICO EM AMBIENTE SIMULADO DE HIPÓXIA

Palavras-Chave: Equilíbrio; Termografia; Postura; Hipóxia.

Autores(as):

Rogério Tadeu de Souza Junior, FCA – Unicamp

Prof. Diego Alves de Oliveira Antonio (coorientador), FCA – Unicamp

Profa. Dra. Fúlvia de Barros Manchado-Gobatto, FCA - Unicamp

Prof. Dr. Claudio Alexandre Gobatto (orientador), FCA – Unicamp

1. INTRODUÇÃO

A termografia infravermelha (TI) é uma tecnologia que vem ganhando destaque por se tratar de uma técnica que pode revelar alterações fisiológicas por meio da análise corporal total ou de partes específicas (dos Santos et. al., 2021). Não há restrições para seu uso, com sensibilidade ($< 0.1^{\circ}\text{C}$) suficiente para captar alterações da temperatura corporal por meio da variação no fluxo sanguíneo (Neves et. al., 2015; Côte & Hernandez, 2016). Em sendo uma técnica não invasiva, sem contato, indolor, não radioativo, de baixo custo e por possuir resultados objetivos (dos Santos et. al., 2021), sua utilização na prática se torna atrativa, eficiente e de fácil aplicação (Barros et al., 2024). Em estudo preliminar, Beck (2022) relata o uso da TI para prescrições de treinamento físico, uma vez que através das imagens capturadas há possibilidades de realizar medições referentes a dados sobre fadiga, sobrecarga de treinamento e a localização, com alta confiabilidade, de áreas com um maior estresse metabólico, as quais quando não controladas adequadamente durante a continuidade da atividade, podem aumentar o risco de possíveis lesões. Em termos corporais relacionados ao exercício, o adequado equilíbrio estático e dinâmico previne acidentes e viabiliza a máxima performance em diferentes modalidades. O equilíbrio estático consiste na manutenção de um controle corporal com o mínimo de instabilidade. Já o equilíbrio dinâmico está pautado no ato de manter a postura enquanto está exercendo uma atividade que tende a perturbar os alinhamentos corporais (Souza et al., 2016). Por ser o fluxo sanguíneo dependente das demandas locais de oxigênio, que podem alterar, portanto, os registros termográficos, também dependentes das demandas energéticas musculares em esforço, como no caso dos equilíbrios citados, fica a dúvida se o ambiente hipóxico agudo pode alterar valores de temperaturas em diferentes locais do corpo, mais especificamente os pés e regiões da perna próximas ao tornozelo (tíbia). Sabe-se que em condições de hipóxia, variações da temperatura corporal, mais especificamente de aumento, apresentaram maiores frequências de registros durante o período de aclimação à altitude (entre 2000 a 3000 metros) (Beck, 2022). Além disso, vale ressaltar que atividades agudas realizadas em bruscas elevações de altitude, com diminuição da pressão parcial de oxigênio, podem promover a ocorrência de um conjunto amplo de alterações e sintomas, como cefaleias,

anorexia, tonturas, náuseas, fraqueza, vômitos, distúrbios no sono, entre outros. Dessa forma, dados os riscos ocasionados pela exposição à hipóxia, a rápida identificação das alterações sobre o equilíbrio corporal se torna de elevado interesse para as ciências do esporte e saúde. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo, por meio da termografia, avaliar se há diferenças no comportamento da temperatura dos músculos estabilizadores localizados nos pés e tibia, por meio de estímulos envolvendo testes de equilíbrio, estático e dinâmico, em indivíduos expostos ao ambiente hipóxico.

2. METODOLOGIA

2.1 Participantes

Considerando o poder amostral de 0,984 para 10 participantes, foram recrutados 15 sujeitos, considerando a possibilidade de desistência de 50% sem prejudicar ou inviabilizar o estudo. De fato, o estudo foi concluído com 13 voluntários fisicamente ativos, todos do sexo masculino, com idade variando entre 19 e 31 anos (23 ± 4 anos). O projeto foi aprovado pelo comitê de ética da UNICAMP (número CAAE: 82875124.1.0000.5404), sendo apenas após sua aprovação iniciados os procedimentos laboratoriais, quando os participantes estudaram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Os sujeitos do estudo apresentaram massa corporal de $77,4 \pm 18,3$ kg e estatura $173,0 \pm 7,8$ cm (média $\pm$ DP). Como critérios de exclusão, ser portador de doença vestibular (labirintite) ou queixa de vertigem, apresentar algum comprometimento motor, como alterações na marcha, paralisia cerebral, lesão traumática, entre outras; ser portador de doença pulmonar obstrutiva crônica ou condição que afete sua saturação de oxigênio; ser tabagista; utilizar prótese em algum dos membros superiores ou inferiores. Ainda, os participantes não poderiam apresentar históricos de lesões crônicas articulares e/ou musculares, além de alterações diagnosticadas de ordem neurológica ou sensorial. Esses critérios foram estabelecidos a fim de preservar a saúde dos participantes, bem como minimizar a presença de vieses de procedimentos. Como critérios de descontinuidade, ausência do participante por mais de 72 horas, ou relatar consumir álcool ou substâncias psicoativas em um período menor de 24 horas antes da aplicação de qualquer um dos testes, também inviabilizou a participação do sujeito.

2.2 Desenho Experimental

O estudo foi desenvolvido em três visitas ao laboratório. Na primeira sessão, os indivíduos passaram por uma avaliação antropométrica, ambientação do espaço e familiarização aos protocolos de avaliação. Nas segunda e terceira sessões, os procedimentos nos ambientes normóxico e hipóxico foram realizados, envolvendo pernas direita e esquerda, sequenciadas de maneira aleatorizada. Foram realizados três registros termográficos para cada teste, tendo uma foto inicial (primeiro segundo do teste), no meio (metade da duração do teste) e final (último segundo do teste), a fim de ter dados durante toda a realização dos testes. Os registros foram feitos focando a visualização do pé e da região tibial (áreas de interesse do projeto), com objetivo de ter a melhor imagem dessas regiões. Os intervalos entre as sessões foram de, no mínimo, um dia e, no máximo, três dias do retorno anterior. Os registros termográficos foram realizados por meio de câmera termográfica da marca FLIR, modelo One Pro para ANDROID (19.200 pixels), com sensibilidade para avaliar temperaturas entre -20°C e 400°C , com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$. Para melhor realização e sistematização dos procedimentos descritos, a câmera ficou fixada em posição padronizada. A temperatura do ambiente foi mantida constante no local dos testes.

2.3 Condições Ambientais de Hipóxia e Normóxia

Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Fisiologia Aplicada ao Esporte (LAFAE), da Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA) da UNICAMP, em Limeira-SP. A cidade está localizada a 588 metros acima do nível do mar, altitude que a classifica em condição de normóxia, com fração inspiratória de oxigênio (FIO₂) de $\sim 19,5\%$. A hipóxia foi conseguida por meio do uso de tenda normobárica (Colorado Altitude Training's Controlled Tent Systems™) a fim de simular um ambiente hipóxico, com FIO₂ correspondente a $\sim 14,5\%$, algo em torno do que seria estar a 3000m de altitude.

2.4 Descrição dos Protocolos

Os protocolos utilizados no projeto foram o Teste de Equilíbrio Unipodal (adaptação do Teste Single Leg Stance) e o Teste da Descida do Degrau.

Para o teste de equilíbrio unipodal (estático), os participantes foram orientados a ficar apoiados sobre um dos pés, permanecendo com o joelho da perna oposta flexionado em $\sim 90^\circ$, mantendo as mãos na cintura, com olhar para uma marcação colocada 3 metros à frente do participante, fixada aproximadamente na altura de seu olho (Shigaki, et. al., 2013). O teste foi organizado em 3 séries de 30 segundos de duração, tendo 30 segundos de intervalo entre as séries.

No caso do teste da descida do degrau (dinâmico), foi utilizado um banco de 30 cm de altura. Para esse teste, os participantes subiram no degrau ficando sobre uma perna e mantendo a perna contralateral à frente. Após um sinal sonoro, o participante “caia” no local demarcado no solo, aterrissando com o pé que estava à frente, tentando se estabilizar durante 20 segundos (Chen et. al., 2023). A posição de equilíbrio após a queda foi a mesma do primeiro teste e seguiram as mesmas orientações. O teste foi realizado em 4 séries, tendo a duração de 20 segundos e intervalos de 2 minutos entre as séries. Os protocolos completos tiveram duração de ~ 25 minutos. Nos testes em hipóxia, os participantes ficaram expostos ao ambiente por cerca de 22 minutos.

2.5. Análise estatística

Os dados foram avaliados como normais pelo teste de Shapiro Wilk e passaram por análise de variância de quatro fatores (MANOVA) seguida da distribuição de Wilks-lambda para análise discriminante de diferenças entre grupos na interação com as variáveis dependentes. Os quatro efeitos testados foram o ambiente (hipóxia e normóxia), o teste (1, 2 e 3 para avaliações estáticas e 1, 2, 3 e 4 para dinâmicas), o tempo (1- início, 2- meio e 3-fim), bem como a perna avaliada (1- direita, 2- esquerda). As variáveis dependentes foram as temperaturas obtidas nos pés e região tibial, sendo os registros termográficos máximos, mínimos e médio das imagens. Em todos os casos, a significância estatística foi prefixada para $p < 0,05$.

3. Resultados e Discussão

A figura 1 apresenta temperatura média ($^\circ\text{C}$) do pé direito em análise de variância multifatorial, tendo como variáveis independentes o ambiente (hipóxia ou normóxia), o teste (1 a 4), o tempo (início, meio e fim) e a perna (direita e esquerda). No caso do citado parâmetro, bem como as demais variáveis dependentes (temperaturas máxima e mínima), não houve interações significativas quando reunidos todos os fatores. No entanto, fica bastante marcante a tendência à diferentes padrões nas respostas decorrentes dos testes sequenciados em condições de hipóxia e normóxia, tanto em avaliações dinâmicas como estáticas.

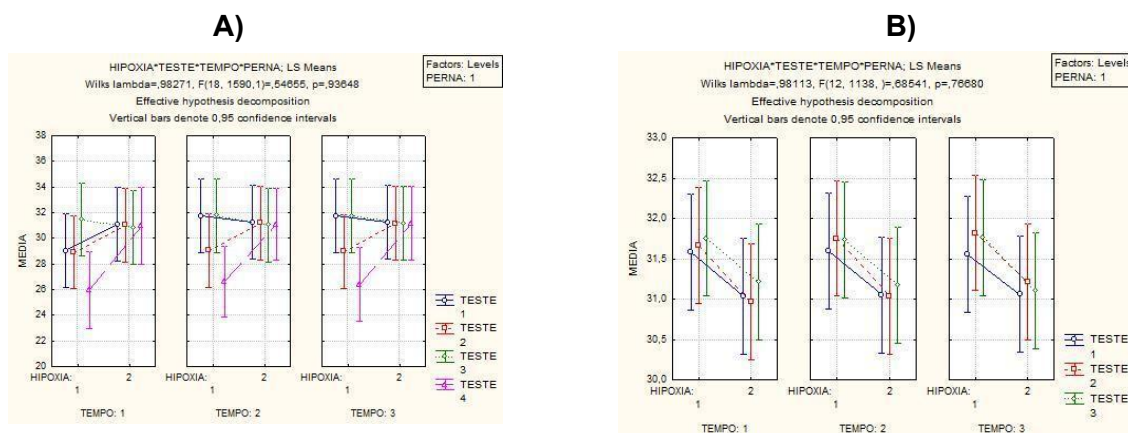


Figura 1. Análise de variância tendo como fatores a Hipóxia (1, 2-Normóxia), Tempo (1-início, 2-meio, 3-fim), Teste (1 a 4) e Perna (1-direita, 2-esquerda). Na figura, estão apresentados os valores médios de temperatura no pé direito em teste dinâmico (plano A) e estático (plano B). Os gráficos acima são apenas exemplos das análises globais, tendo sido também elaborados para a perna esquerda, bem como para a tibia (em testes estático e dinâmico), pernas direita e esquerda.

As figuras 2, 3, 4 e 5 apresentam as interações significantes ($p < 0,05$) entre as variáveis independentes do estudo, para o parâmetro temperatura média. Os resultados podem também ser aplicados para as temperaturas mínima e máxima, embora não estejam mostradas aqui. A figura 2 apresenta diferentes respostas envolvendo as pernas, o ambiente (hipóxia ou normóxia) e o sequenciamento dos testes dinâmicos em termografia dos pés. As figuras 3 e 4 mostra comportamentos contrários das pernas direita e esquerda em diferentes condições ambientais, para os pés (figura 3) em testes estáticos e das regiões das tíbias (figuras 4 e 5), em testes de equilíbrios dinâmico e estáticos, respectivamente.

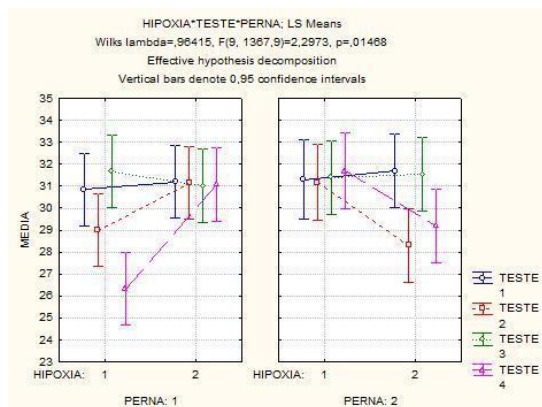


Figura 2. Interações significantes para hipóxia, teste e perna para a temperatura média do pé em teste de equilíbrio dinâmico.

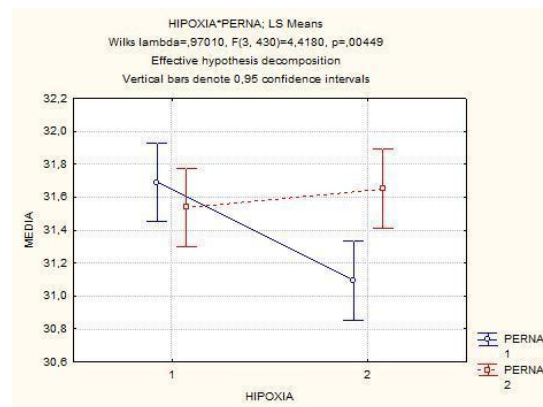


Figura 3. Interações significantes para hipóxia e perna para a temperatura média do pé em teste de equilíbrio estático.

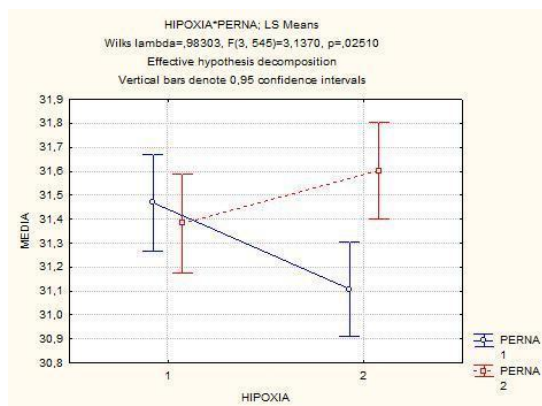


Figura 4. Interações significantes para hipóxia e perna para a temperatura média da tibia em teste de equilíbrio dinâmico.

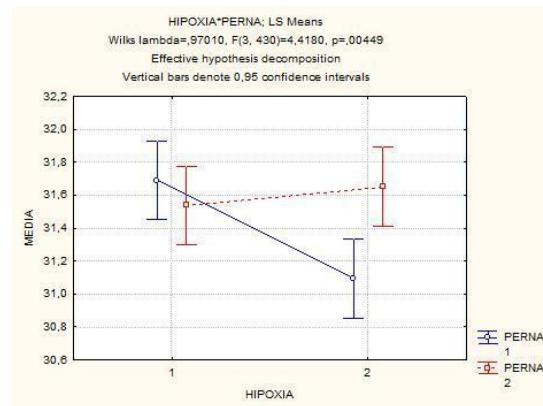


Figura 5. Interações significantes para hipóxia e perna para a temperatura média da tibia em teste de equilíbrio estático.

4. Conclusões.

Os resultados mostram que exposições agudas ao ambiente hipóxico revelam alterações térmicas nos pés e na região da tibia, na realização de exercícios de equilíbrio dinâmico e estático. Ainda,

parece que os pés, realizando recuperações dinâmicas de equilíbrio são mais suscetíveis a adaptações locais, provavelmente por conta da importante participação muscular, com ajustes necessários de fluxo sanguíneo. Trabalhos futuros envolverão análises de consumo local de oxigênio, visando melhor elucidar esse fenômeno.

Agradecimentos: ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à FAPESP (proc.2023/02728-3, 2020/11946-6) .

Referências.

Barros, S. T. C., Neves, E. B., & Brioschi, M. L. (2024). Thermography as a Supporting Tool for the Diagnosis of Patellar Tendon Dysfunctions: A Systematic Review. *Revista brasileira de ortopedia*, 59(5), e657–e662. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1770971>.

Beck, G.G. (2022). Análises termográficas de atletas paralímpicos de atletismo durante quatro semanas de treinamento em altitude : um estudo preliminar. *WWW.repositorio.unicamp.br*. <https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1373411>.

Côrte, A. C. R. Hernandez, A. J. (2016). Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. *Revista Brasileira De Medicina Do Esporte*, 22(4), 315–319. <https://doi.org/10.1590/1517-869220162204160783>.

dos Santos Moraes T, Lustosa L, Santos Ramos L, Boaretto S, de Matos D, Neto J, Neves E, dos Santos H, Aida F, da Silva Junior W. (2021). A termografia infravermelha é confiável para avaliar a dor na região do músculo trapézio? *Open Sports Sci J*, 2021; 14:. <http://dx.doi.org/10.2174/1875399X02114010025>.

Neves, E. B., Moreira, T. R., Lemos, R., Vilaça-Alves, J., Rosa, C., & Reis, V. M.. (2015). Using skin temperature and muscle thickness to assess muscle response to strength training. *Revista Brasileira De Medicina Do Esporte*, 21(5), 350–354. <https://doi.org/10.1590/1517-869220152105151293>.

Shigaki, L., Rabello, L. M., Camargo, M. Z., Santos, V. B. da C., Gil, A. W. de O., Oliveira, M. R. de, Silva Junior, R. A. da, Macedo, C. de S.G.. (2013). Análise comparativa do equilíbrio unipodal de atletas de ginástica rítmica. *Revista Brasileira De Medicina Do Esporte*, 19(2), 104–107. <https://doi.org/10.1590/S1517-8692201300020000>.