

RESPOSTAS DA ELETROMIOGRAFIA DE ALTA DENSIDADE E DE ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO DO TIBIAL ANTERIOR DURANTE EXERCÍCIO DE DORSIFLEXÃO

Ricardo Porfírio Schiochet, Ângelo Vinicius de Camargo Meira da Cunha, Fabrizio Caputo

INTRODUÇÃO

O estudo das estratégias neurais e metabólicas adotadas durante diferentes tipos de exercício é fundamental para compreender como o organismo regula a produção de força e a utilização de energia (Farina; Merletti; Enoka, 2004). Tradicionalmente, essas estratégias foram avaliadas por métodos como a eletromiografia convencional, a concentração de lactato e o consumo de oxigênio (Brooks, 2020; Wasserman et al., 1973). No entanto, esses métodos apresentam limitações, pois fornecem apenas informações globais da atividade elétrica ou metabólica. Com o surgimento da eletromiografia de alta densidade (HDs-EMG) e dos avanços nos algoritmos de decomposição, tornou-se possível analisar parâmetros mais detalhados, como taxa de disparo, limiar de recrutamento, velocidade de condução e padrões de sincronização das unidades motoras (Merletti; Holobar; Farina, 2008). De forma complementar, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) possibilita avaliar em tempo real a oxigenação muscular e a hemodinâmica local, por meio de variáveis como oxi-hemoglobina (O2Hb) e desoxi-hemoglobina (HHb), hemoglobina total (tHb) e índice de saturação tecidual (TSI) (Ferrari; Quaresima, 2012). Assim, este trabalho tem como objetivo integrar os métodos de HDs-EMG e NIRS para avaliar o músculo tibial anterior durante exercícios de dorsiflexão, buscando identificar padrões de adaptação que combinem informações neurais e metabólicas. Nossa hipótese é que a análise conjunta desses métodos permitirá revelar ajustes específicos nas estratégias adotadas durante o exercício submáximo, trazendo novas teorias sobre a interação entre controle neural e demanda metabólica.

DESENVOLVIMENTO

Os participantes foram posicionados sentados com quadris a 90° e joelhos a 65°, com suporte total de costas e cabeça, e o membro dominante fixado a um sistema de baixa compliância. A HD-sEMG foi registrada do tibial anterior usando uma matriz de 64 eletrodos, referência no maléolo medial, com amplificador multicanal (EMG-USB, OT Bioelettronica, Itália) a 2 kHz. Estímulos supramáximos foram aplicados ao nervo tibial para evocar a onda-M (Mmax), onda-V e contrações involuntárias supramáximas (twiches) interpoladas, permitindo avaliar a ativação neural central e a fadiga periférica. O protocolo de desempenho incluiu a determinação da Mmax seguida de dorsiflexão isométrica submáxima intermitente (~10 min) na perna dominante, com relação esforço-pausa de 10:5 s. Durante o exercício, sinais de HD-sEMG foram registrados continuamente para monitorar padrões de recrutamento das unidades motoras e variáveis da taxa de disparo, enquanto o NIRS (Portalite, Artinis, Holanda) registrou O2Hb, HHb, tHb e TSI, avaliando oxigenação e equilíbrio oferta-demanda de oxigênio. Os sinais de HD-sEMG foram decompostos usando o modelo pipeline, e alterações nas concentrações de Hb e Mb desoxigenadas foram analisadas por modelagem biexponencial.

RESULTADOS

A análise foi feita somente com um indivíduo presente na pesquisa, devido as limitações do requerimento de grande tempo para a decomposição dos sinais de HDsEMG. As análises principais foram decorrentes de uma comparação entre momentos iniciais do exercício e

momentos finais, sendo de 90 segundos cada recorte. Seguindo considerações feitas por Cabral (2025), o tibial anterior apresenta vantagens para a utilização da HDsEMG, por ser um menor músculo, e pouca camada de gordura entre as camadas da pele e o ventre muscular, facilitando a localização de unidades motoras com os novos métodos de decomposição (Yeung; Negro; Vujaklija, 2024). Como a estatística foi modulada para comparações entre diferentes fases do exercício, a MF é uma variável bem consolidada como parâmetro indicador de fadiga, sendo a única variável demonstrando diferença significativa ($p < 0,001$) nesta análise prévia de um participante somente, sendo 13,7% maior nos últimos 90s do que no início (Farina; Merletti; Enoka, 2025; Inglis et al., 2025). As demais, poderiam indicar estratégias do sistema nervoso central para com o comportamento perante a fadiga, como aumento do número de unidades recrutadas, aumento da taxa de disparo e aumento da variabilidade da taxa devido ao “esgotamento de unidades recrutadas” (Afsharipour et al., 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, o músculo tibial anterior mostrou-se adequado para estudos com HDsEMG, uma vez que facilitou a decomposição do sinal e proporcionou dados mais robustos para análises inferenciais complexas. Entretanto, por se tratar de uma análise preliminar, não é possível realizar inferências conclusivas a respeito dos resultados. Ainda assim, a captação das estratégias neurais frente ao exercício seguiu o padrão esperado. Ademais, as variáveis obtidas pelo NIRS não puderam ser analisadas em conjunto com os dados de HDsEMG, motivo pelo qual não foram incluídas nos resultados.

Palavras-chave: eletromiografia de alta densidade; espectroscopia no infravermelho próximo.

ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 – Resultados da análise do sinal EMG

Variável	Início	Últimos 90s	Diferença nas médias	Significância
RMS (μV)	$0,775 \pm 0,419$ (SD)	$0,741 \pm 0,426$ (SD)	$-0,034 \mu\text{V}$ (-4,4%)	$t = 0,763$ $p = 0,446$ $d = -0,081$
MF (Hz)	$22,5 \pm 5,0$	$25,6 \pm 4,5$	$+3,1 \text{ Hz}$ (+13,7%)	$t = -6,093$ $p < 0,001 *$
MUs detectados	15	13	-13,3%	—
Taxa de disparo (Hz)	$14,34 \pm 6,31$ [5,56 – 33,14]	$14,91 \pm 8,55$ [6,47 – 40,42]	$+0,57 \text{ Hz}$ (+4,0%)	$t = -0,203$ $p = 0,841$
Variabilidade (CV ISI)	$0,67 \pm 0,67$	$0,56 \pm 0,54$	-0,11 (-16,4%)	$t = 0,471$ $p = 0,642$
Tempo de recrutamento (s)	$15,89 \pm 0,35$	$15,87 \pm 0,35$	-0,02	—

Fonte: Elaborado pelo autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFSHARIPOUR, Babak *et al.* Estimation of self-sustained activity produced by persistent inward currents using firing rate profiles of multiple motor units in humans. *Journal of Neurophysiology*, v. 124, n. 1, p. 63–85, jul. 2020.

BROOKS, George A. Lactate as a fulcrum of metabolism. *Redox Biology*, 2020.

FARINA, Dario; MERLETTI, Roberto; ENOKA, Roger M. The extraction of neural strategies from the surface EMG. *Journal of Applied Physiology*, v. 96, n. 4, p. 1486–1495, abr. 2004.

FARINA, Dario; MERLETTI, Roberto; ENOKA, Roger M. The extraction of neural strategies from the surface EMG: 2004–2024. *Journal of Applied Physiology* American Physiological Society, , 1 jan. 2025.

FERRARI, Marco; QUARESIMA, Valentina. A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *NeuroImage*, 2012.

INGLIS, J. Greig *et al.* Motor unit discharge behaviour in human muscles throughout force gradation: a systematic-review and meta-analysis with meta-regression. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 17 mar. 2025.

WASSERMAN, K. *et al.* Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 35, n. 2, 1973.

YEUNG, Dennis; NEGRO, Francesco; VUJAKLIJA, Ivan. Adaptive HD-sEMG decomposition: towards robust real-time decoding of neural drive. *Journal of Neural Engineering*, v. 21, n. 2, 1 abr. 2024.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Ricardo Porfírio Schiochet

MODALIDADE DE BOLSA: PIBIC/CNPq

VIGÊNCIA: 09/2024 a 08/2025 – Total: 12 meses

ORIENTADOR(A): Fabrizio Caputo

CENTRO DE ENSINO: CEFID

DEPARTAMENTO: Departamento de Educação Física

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Ciências da Saúde / Educação Física

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Efeitos do pré-condicionamento isquêmico sobre a estratégia neural e metabólica e a fadiga periférica durante o desempenho muscular submáximo: uma cooperação Brasil-Dinamarca

Nº DO PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP4231-2023