



A bioimpedância elétrica e sua relação com a fadiga muscular: uma análise teórica

Allan Sorrilha Meira Barros¹, allansmb@hotmail.com
Nadya Luiza Fogaça Rizato¹, nadya.rizato@gmail.com
Lucas dos Santos Umeoka¹, lucas.umeoka12@gmail.com
Gilson Maekawa Kanashiro¹, gilson.kanashiro@ifpr.edu.br
Ricardo Gouveia Teodoro¹, ricardo.teodoro@ifpr.edu.br

Resumo: O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre a relação entre a fadiga muscular e a bioimpedância elétrica. Para isso, foram analisados os principais estudos que abordam o tema, expondo suas principais características (objetivos, metodologias e resultados). Por fim, também foram realizadas considerações sobre as informações encontradas, visando abrir caminho para pesquisas futuras na área.

Palavras-chave: Bioimpedância; Fadiga muscular; Medição; Engenharia biomédica.

1 Introdução

1.1. Bioimpedância elétrica

Tradicionalmente utilizada para estimar a quantidade de massa magra e gordurosa, a análise da bioimpedância elétrica (BIA) é uma técnica que consiste em percorrer uma corrente elétrica alternada de baixa intensidade através do corpo e, assim, calcular a sua impedância elétrica (SAMPAIO et al., 2012).

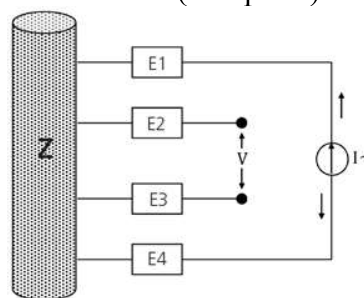
Segundo Eickemberg et al. (2011), “a BIA fundamenta-se no princípio de que os tecidos corporais oferecem diferentes oposições à passagem da corrente elétrica.” O tecido muscular, por exemplo, rico em água e eletrólitos, possui uma condutividade maior que os tecidos adiposos, a pele e os ossos (EICKEMBERG et al., 2011).

Além disso, as membranas celulares, durante a medição, podem armazenar cargas em seu interior, adquirindo um

comportamento semelhante ao de um capacitor. Devido a essa característica, a impedância elétrica (composta pela resistência e pela reatância) irá variar conforme a frequência da corrente elétrica aplicada (SAMPAIO et al., 2012).

Como podemos ver na Figura 1, a medição da bioimpedância geralmente é feita por meio de 4 eletrodos posicionados no corpo, de forma que os dois mais externos (E1 e E4) sejam ligados a uma fonte de corrente elétrica e os outros dois (E2 e E3) sirvam para obter a tensão elétrica entre eles e, consequentemente, sua impedância (SÁNCHEZ-IGLESIAS; FERNÁNDEZ-LUCAS; TERUEL, 2012).

Figura 1 – Esquema da medição de bioimpedância através de um sistema de 4 eletrodos (tetrapolar).



Fonte: Adaptado de Sánchez-Iglesias, Fernández-Lucas e Teruel (2012).

1.2. Fadiga muscular

A fadiga muscular pode ser definida como sendo a incapacidade de determinado músculo esquelético de continuar a fornecer

um elevado nível força ou de rendimento durante uma atividade física. Também chamada de fadiga neuromuscular, ela é considerada uma forma do corpo humano se adaptar à necessidade de executar uma atividade física intensa momentaneamente.

Dessa maneira, a fadiga neuromuscular pode ser classificada, quanto à sua origem, em fadiga central e fadiga periférica. A primeira, relacionada ao sistema nervoso central, consiste na falha do envio de impulsos elétricos ao músculo. Já a fadiga periférica está relacionada ao metabolismo ocorrido no próprio músculo durante a realização dos exercícios.

Embora ainda não haja uma resposta definitiva sobre quais são as causas da fadiga muscular, acredita-se que fatores como alterações no fluxo sanguíneo, acúmulo de produtos do metabolismo celular, mudanças nas concentrações intra e extracelulares de íons, lesões musculares causadas por exercícios físicos repetitivos e o estresse oxidativo possam contribuir para que ela ocorra (ASCENÇÃO et al., 2003).

2 Metodologia

Para a realização deste trabalho, buscamos fazer uma revisão bibliográfica, procurando estudos científicos que abordassem a relação entre a fadiga muscular e a bioimpedância. Para isso, pesquisamos, em mecanismos de busca, por palavras-chave como “bioimpedance” e “muscle fatigue”.

Dessa forma, a partir desses trabalhos, poderia ser verificada a viabilidade de se utilizar a medição da bioimpedância elétrica para a prevenção da fadiga muscular na rotina de exercícios físicos.

3 Resultados e discussão

As principais informações (objetivo, metodologia e resultados) dos trabalhos analisados estão resumidas e apresentadas

através de uma tabela, que consta no Apêndice A.

Em cada estudo, os autores também fizeram considerações sobre os resultados obtidos, levantando algumas hipóteses que poderiam explicá-los.

Vescio et. al (2011) argumentaram que a diminuição da impedância ao longo dos exercícios poderia estar relacionada ao aumento da circulação sanguínea. Esta hipótese também foi levantada por Li et al. (2016), que, em seu estudo, acrescentaram que essa diminuição poderia ser explicada pelo aumento de metabólitos e fluidos intracelulares durante o exercício físico.

Já Fu e Freeborn (2018) alegaram que a diminuição na resistência elétrica durante o estado de fadiga muscular poderia ser causada por lesões musculares temporárias. Eles conjecturaram ainda que essas lesões também poderiam modificar as propriedades das membranas celulares do músculo, resultando na diminuição da reatância capacitiva após a realização dos exercícios físicos.

No entanto, para Orth (2013), esse aumento da reatância capacitiva poderia ser justificado por pequenos rompimentos na fibra muscular ocorridos durante o exercício. Tais rompimentos dificultariam o acúmulo de cargas elétricas, diminuindo sua capacitância total, aumentando sua reatância.

Para trabalhos futuros, Vescio et. al (2011) sugeriram que seja investigado como a variação da quantidade de água no interior e no exterior das células poderia contribuir para os valores da impedância.

Além disso, Fu e Freeborn (2018) recomendaram que os próximos estudos considerem fatores relacionados à composição e à dimensão corporal dos participantes, além de características como idade, sexo, condicionamento físico, etc. Eles também propuseram que sejam utilizadas, para a mensurar a impedância, apenas um pequeno número de frequências, fazendo com que os resultados sejam obtidos mais

rapidamente, possibilitando que a evolução da fadiga muscular seja verificada em tempo real. Por fim, Fu e Freeborn (2018) sugeriram que sejam feitos estudos que relacionem melhor a bioimpedância com o nível de lesão muscular de cada participante e que investiguem o efeito causado por diferentes formas de posicionamento dos eletrodos.

4 Considerações finais

As pesquisas selecionadas para esta revisão bibliográfica, em geral, mostraram que os valores de impedância elétrica tenderam a diminuir durante o estado de fadiga. Esse resultado evidencia a existência de uma relação entre a bioimpedância e a fadiga muscular, o que possibilitaria, futuramente, a aplicação prática destes conhecimentos produzidos. No entanto, para

que isso aconteça, ainda são necessários mais estudos para compreender melhor como diferentes variáveis interferem na impedância durante o exercício físico.

Um detalhe percebido durante o levantamento bibliográfico foi que não conseguimos encontrar obras em língua portuguesa que correlacionassem a fadiga muscular com a bioimpedância. Esse fato poderia significar que, talvez, essa área de pesquisa não esteja muito difundida no meio acadêmico nacional.

Além disso, outra particularidade observada foi que as publicações na área da bioimpedância, algumas vezes, possuem uma abordagem mais voltada às ciências da saúde do que à engenharia. Assim, pode-se dizer que uma das dificuldades ao se fazer um estudo sobre bioimpedância é a interdisciplinaridade que ela exige.

REFERÊNCIAS

ASCENSÃO, A. et al. Fisiologia da fadiga muscular: Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, Portugal, v. 3, n. 1, p.108-123, 2003.

EICKEMBERG, Michaela et al. Bioimpedância elétrica e sua aplicação em avaliação nutricional. **Revista de Nutrição**, Campinas - SP, v. 24, n. 6, p.883-893, nov./dez., 2011.

FU, Bo; FREEBORN, Todd J. Biceps tissue bioimpedance changes from isotonic exercise-induced fatigue at different intensities. **Biomedical Physics & Engineering Express**, v. 4, n. 2, 20 fev. 2018.

LI, Le et al. Localized Electrical Impedance Myography of the Biceps Brachii Muscle during Different Levels of Isometric Contraction and Fatigue. **Sensors**, v. 16, n. 4, 2016.

ORTH, Travis D. **Impedance Changes in Biceps Brachii Due to Isometric Contractions and Muscle Fatigue Using Electrical Impedance Myography (EIM)**. 2013. 66 f. Tese (Mestrado) - Curso de Ciência, Georgia Southern University, Statesboro - Geórgia - EUA, 2013.

SAMPAIO, Lílían Ramos et al. Bioimpedância elétrica. In: SAMPAIO, Lílían Ramos (Org.). **Avaliação Nutricional**. Salvador - BA: EDUFBA, 2012. p. 113-132. UFBA.

SÁNCHEZ-IGLESIAS, Andrés; FERNÁNDEZ-LUCAS, Milagros; TERUEL, José L. Fundamentos eléctricos de la bioimpedancia. **Revista Nefrología**, v. 32, n. 2, p.133-135, 2012.

VESCIO, G. et al. Muscle Fatigue Monitoring Using a Multifrequency Bioimpedance Technique. In: 5th EUROPEAN IFMBE CONFERENCE, 2011, Budapeste, Hungria. **IFMBE Proceedings 37**. IFMBE, 2011. p. 1257 - 1260.

Apêndice A – Resultados da pesquisa bibliográfica realizada

Trabalho	Objetivo	Indivíduos analisados	Posicionamento dos eletrodos	Equipamento utilizado	Exercícios físicos realizados	Medições de bioimpedância realizadas	Frequências utilizadas	Resultados
Vescio et al. (2011)	Verificar o comportamento da impedância muscular ao longo do exercício físico.	6 homens e 1 mulher, com média de idade de aprox. 31 anos.	No braço, o par de eletrodos V+ e I+ e o par de eletrodos V- e I- foram posicionados em lados opostos na região do bíceps. Nas pernas, os eletrodos foram posicionados na coxa, sendo I- e V- posicionados a 5 e a 10 cm acima do joelho, respectivamente, e I+ e V+ sendo posicionados a 5 e a 10 cm abaixo da altura do púbis.	Fonte C.A. multifrequencial e um circuito, ligado a uma placa de aquisição de dados. Estes, por sua vez, foram processados e analisados em um computador por meio do software LabVIEW.	Os participantes levantaram um peso de 2 Kg, tanto na perna quanto no braço, realizando 6 séries de exercícios, com 50 repetições cada.	Durante o estado inicial do músculo e após cada série de exercícios.	10 KHz, 17,8 KHz, 31,6 KHz, 56,25 KHz, 100 KHz, 177,85 KHz, 316,25 KHz, 562,35 KHz e 1 MHz.	No braço, o valor absoluto da impedância teve um leve aumento, em algumas frequências, após a 1ª série de exercícios. Porém, houve uma grande diminuição nos valores da impedância a partir da 4ª série de exercícios. Na perna, apesar de apresentar menor variação ao longo do experimento, houve uma diminuição nos valores de impedância a partir da 6ª série de exercícios.
Orth (2013)	Investigar o comportamento da impedância muscular durante contrações isométricas.	7 homens, com idades entre 22 e 26 anos.	No meio do bíceps, foram posicionados 4 eletrodos (I+, V+, V- e I-), dispostos em linha.	ImpediMed SFB7, um dispositivo específico para a medição da bioimpedância.	Cada participante realizou 25%, 50% e 100% de sua contração isométrica máxima.	Durante o estado inicial do músculo e durante cada contração isométrica.	10 KHz, 50 KHz, 100 KHz e 150 KHz	Em contrações isométricas maiores, a resistência e a reatância capacitiva do músculo foram menores.
	Comparar as impedâncias do músculo antes da atividade física com as obtidas durante a fadiga muscular.				Cada participante levantou o peso utilizado para a sua contração isométrica máxima, realizando séries de 10 repetições, até o ponto em que não conseguisse mais executar o movimento.	Durante o estado inicial do músculo e após a realização dos exercícios físicos.		Durante o estado de fadiga muscular, os valores da resistência elétrica tenderam a diminuir e os valores de reatância capacitiva tenderam a aumentar.
Li et al. (2016)	Analisar a impedância elétrica do bíceps braquial em diferentes níveis de contração isométrica.	11 mulheres e 8 homens, com idades entre 23 e 46 anos.	Durante cada medição, era colocado, sobre o bíceps do braço dominante, um conjunto de eletrodos, embutido no aparelho EIM1103.	Para as medições, foi utilizado o EIM1103, um aparelho portátil de medição de bioimpedância.	Utilizando um aparato medidor de torque, cada participante realizou 20%, 60% e 100% de sua contração isométrica máxima.	Durante o estado inicial do músculo e durante cada contração isométrica.	50 KHz e 100 KHz.	Os valores de resistência elétrica tenderam a ser mais elevados em contrações isométricas maiores.
	Analisar a impedância elétrica do bíceps braquial durante o processo de fadiga muscular.				Cada participante executou 60% de sua contração isométrica máxima, até o ponto em que não conseguisse mantê-la.	Durante o estado inicial do músculo, durante o início e o final da contração isométrica e após a realização dos exercícios físicos.		A resistência elétrica tendeu a diminuir durante o estado de fadiga muscular. Além disso, pode haver uma correlação entre o tempo necessário para atingir o estado de fadiga e a diminuição da resistência (quanto maior o tempo, mais a resistência decrescerá).
Fu e Freeborn (2018)	Investigar o efeito de diferentes intensidades de exercício físico no processo de fadiga muscular, por meio da análise de bioimpedância.	15 homens e 3 mulheres, com idade média de aprox. 22 anos, divididos aleatoriamente em dois grupos.	No meio de cada bíceps, tanto o esquerdo quanto o direito, foram posicionados 4 eletrodos (I+, V+, V- e I-), dispostos em linha.	Keysight E4990A, um instrumento específico para a análise de impedância em geral.	Cada participante, levantou um determinado haltere, repetidamente, até o ponto em que não pudesse mais executar o movimento. Após 2 minutos, o processo deveria ser repetido, até o momento em que não pudesse executar o movimento sequer uma vez durante a série ou até que fossem realizadas 10 séries de exercícios. Os halteres dos indivíduos do grupo 1 foram definidos como sendo 60% do peso máximo que conseguiram levantar anteriormente. Para o grupo 2, os halteres foram definidos em 75%.	Durante o estado inicial do músculo e após a realização dos exercícios físicos.	68 frequências diferentes, variando de 10 KHz a 100 KHz	Em frequências mais altas, os valores da resistência e do módulo da reatância tenderam a diminuir. Os valores de resistência e da reatância capacitiva diminuíram durante o estado de fadiga muscular.

Fonte: Autoria própria.