



MECANISMOS BIOQUÍMICOS DA FADIGA MUSCULAR DURANTE A CORRIDA DE LONGA DISTÂNCIA

BIOCHEMICAL MECHANISMS OF MUSCLE FATIGUE DURING LONG DISTANCE RUNNING

DOI: 10.5281/zenodo.11110859

Leandro Rubio Andres¹

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar e listar, por meio de uma extensa e criteriosa revisão bibliográfica, os mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância. O estudo é relevante uma vez que a compreensão destes mecanismos pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias de treinamento e recuperação mais eficientes para atletas. A questão central deste estudo é: Quais são e como agem os mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância? Para responder a esta pergunta, foi realizada uma revisão sistemática da literatura científica disponível, incluindo artigos publicados em periódicos indexados, livros e teses doutorais. Os resultados obtidos indicam que existem vários mecanismos bioquímicos envolvidos na fadiga muscular durante a corrida de longa distância. Entre eles destacam-se o acúmulo de metabólitos tóxicos, tais como os íons hidrogênio; a diminuição dos níveis de glicogênio muscular; e alterações no equilíbrio hidroeletrolítico. Também se verificou que as estratégias para minimizar a fadiga muscular durante este tipo de atividade física devem considerar tanto aspectos nutricionais quanto treinamento específico. Por exemplo, é recomendável um consumo adequado de carboidratos antes e durante o exercício para manter os níveis de glicogênio, bem como um bom estado hidroeletrolítico. Em conclusão, este estudo fornece uma revisão detalhada e atualizada dos mecanismos bioquímicos relacionados à fadiga muscular durante a corrida de longa distância, oferecendo assim uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações práticas nesta área.

PALAVRAS CHAVES: bioquímica, fadiga, treinamento, corrida e resistência.

ABSTRACT

The present study aims to evaluate and list, through an extensive and careful literature review, the biochemical mechanisms of muscle fatigue during long-distance running. The study is relevant since the understanding of these mechanisms can contribute to the development of more efficient training and recovery strategies for athletes. The central question of this study is: What are the biochemical

¹Faculdade Iguazu, <http://lattes.cnpq.br/6673079155246207> - leandro_rubio@hotmail.com



mechanisms of muscle fatigue during long-distance running and how do they act? To answer this question, a systematic review of the available scientific literature was conducted, including articles published in indexed journals, books, and doctoral theses. The results indicate that there are several biochemical mechanisms involved in muscle fatigue during long-distance running. Among them are the accumulation of toxic metabolites, such as hydrogen ions; decreased muscle glycogen levels; and changes in fluid and electrolyte balance. It was also found that strategies to minimize muscle fatigue during this type of physical activity should consider both nutritional aspects and specific training. For example, an adequate consumption of carbohydrates before and during exercise is recommended to maintain glycogen levels, as well as a good hydro electrolyte state. In conclusion, this study provides a detailed and up-to-date review of the biochemical mechanisms related to muscle fatigue during long-distance running, thus offering a solid foundation for future research and practical applications in this area.

KEYWORDS: biochemistry, fatigue, training, running and endurance.

INTRODUÇÃO

A corrida de longa distância é um desafio fisiológico que requer resistência muscular e cardiovascular. A fadiga que ocorre durante a corrida de longa distância é um fenômeno complexo com muitos fatores contribuintes, incluindo mecanismos bioquímicos. No entanto, a compreensão dos mecanismos bioquímicos subjacentes à fadiga muscular durante a corrida de longa distância continua evoluindo (Noakes, 2012).

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo avaliar e listar os mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância através de uma revisão bibliográfica criteriosa. A pergunta de pesquisa é: Quais são e como agem os mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância? As respostas a essa pergunta podem ajudar na melhoria do desempenho dos atletas, na prevenção de lesões e na recuperação após o exercício (Gibala et al., 2012).

A literatura existente sugere que os principais mecanismos bioquímicos subjacentes à fadiga muscular durante a corrida de longa distância incluem o acúmulo de produtos metabólicos, como íons hidrogênio e lactato, alterações no equilíbrio dos eletrólitos, diminuição do glicogênio muscular e alterações no sistema nervoso central (Fitts, 1994; Joyner & Coyle, 2008). No entanto, ainda há debate sobre quais desses mecanismos são os mais importantes e como eles interagem entre si (Burnley & Jones, 2018).



Em suma, a compreensão dos mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância é um campo de estudo em constante evolução.

A bioquímica do esporte é uma área de estudo que busca compreender os processos químicos e moleculares que ocorrem no corpo durante a prática de atividades físicas. Este trabalho tem como objetivo avaliar e listar, através de uma longa e criteriosa revisão bibliográfica, os mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância. A pergunta de pesquisa que norteia este estudo é: Quais são e como agem os mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância?

DESENVOLVIMENTO

A fadiga muscular é um fenômeno complexo que ocorre durante o exercício prolongado, como corrida de longa distância, e envolve uma série de mecanismos bioquímicos. A fadiga é geralmente definida como uma diminuição na capacidade de produzir força ou potência, resultando em uma diminuição no desempenho físico (Gandevia, 2001).

O acúmulo de metabólitos intramusculares durante a contração muscular tem sido associado à fadiga muscular. Durante o exercício prolongado, a produção excessiva de íons hidrogênio e lactato pode levar à acidose intramuscular, que tem sido sugerida como um dos principais contribuintes para a fadiga muscular (Fitts, 1994). O acúmulo desses metabólitos interrompe o processo de excitação-contração no músculo esquelético, limitando assim a produção de força (Allen et al., 2008).

Outro mecanismo proposto para a fadiga muscular envolve alterações no sistema nervoso central. A teoria da "central governor" sugere que o cérebro regula a intensidade do exercício para proteger o corpo contra danos potenciais (Noakes et al., 2005). Essa hipótese sugere que os sinais de fadiga são enviados ao cérebro antes que ocorram danos potencialmente prejudiciais aos músculos ou outros órgãos vitais.

Além disso, o esgotamento dos estoques de glicogênio muscular também tem sido associado à fadiga durante exercícios de longa duração (Bergström et al., 1967). O glicogênio



é a principal fonte de energia para contrações musculares durante o exercício intenso, e sua depleção pode limitar a produção de ATP e, portanto, a produção de força.

Em suma, a fadiga muscular durante a corrida de longa distância é um fenômeno multifatorial que envolve tanto mecanismos periféricos quanto centrais. A compreensão desses mecanismos bioquímicos pode ajudar na elaboração de estratégias eficazes para prevenir ou retardar o início da fadiga durante corridas de longa distância.

Fadiga é um fenômeno complexo e multifatorial que ocorre durante a corrida de longa distância, levando à diminuição da capacidade de trabalho físico (Lima et al., 2017). As causas bioquímicas da fadiga muscular podem ser agrupadas em três categorias principais: acúmulo de metabólitos, depleção de substratos energéticos e danos musculares (Millet et al., 2011).

O acúmulo de metabólitos tais como íons hidrogênio (H^+), fosfato inorgânico (P_i) e amônia pode contribuir para a fadiga durante a corrida prolongada. A acidose metabólica resultante do acúmulo de H^+ pode reduzir a eficiência das enzimas envolvidas na produção de ATP, enquanto o aumento dos níveis de P_i pode interferir com a liberação de oxigênio pela mioglobina (Girard et al., 2013).

A depleção dos substratos energéticos, particularmente glicogênio muscular, é outra causa importante da fadiga. Durante o exercício prolongado, os estoques limitados desses substratos podem ser esgotados, levando à diminuição do rendimento. Além disso, os baixos níveis desses substratos podem prejudicar a função mitocondrial e conseqüentemente reduzir a produção de ATP (Skinner et al., 2005).

Os danos musculares também desempenham um papel na fadiga durante a corrida. O estresse mecânico repetitivo pode levar ao dano das fibras musculares, resultando em inflamação, dor e diminuição da força muscular (Braun & Duthey, 2018). Além disso, os danos musculares podem contribuir para a fadiga através do acúmulo de metabólitos e depleção de substratos energéticos.

A fadiga muscular durante a corrida de longa distância é um fenômeno complexo que envolve múltiplos mecanismos bioquímicos. Entre esses mecanismos, a depleção de



substratos energéticos, o acúmulo de produtos metabólicos e a desregulação do equilíbrio iônico têm sido identificados como contribuintes importantes (Noakes, 2012).

O glicogênio muscular é o principal substrato energético para a atividade muscular durante a corrida de longa distância. A diminuição dos estoques de glicogênio durante o exercício pode levar à fadiga muscular (Bergström et al., 2016). Além disso, o acúmulo de lactato e íons hidrogênio, subprodutos do metabolismo anaeróbio, pode interferir na contração muscular e contribuir para a sensação de fadiga (Fitts, 2008).

Os músculos também dependem da capacidade das células nervosas em gerar impulsos elétricos para contrair. Durante o exercício prolongado, alterações no equilíbrio iônico intracelular podem afetar essa capacidade. Em particular, o aumento do potássio extracelular pode levar à hiperpolarização da membrana celular e reduzir a capacidade das células musculares em gerar força (Nielsen et al., 2013).

Além desses mecanismos bioquímicos locais que ocorrem dentro das células musculares, fatores sistêmicos também podem contribuir para a fadiga durante a corrida de longa distância. Por exemplo, a desidratação e o superaquecimento podem alterar a função cardiovascular e cerebral, respectivamente, contribuindo para a fadiga (Cheung & Sleivert, 2004).

Em suma, a fadiga muscular durante a corrida de longa distância é um fenômeno multifatorial que envolve uma interação complexa de mecanismos bioquímicos. Mais pesquisas são necessárias para entender completamente esses processos e desenvolver estratégias eficazes para prevenir ou minimizar a fadiga durante a corrida de longa distância.

METODOLOGIA

A metodologia para abordar o tema Mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância será através de uma revisão bibliográfica sistemática e criteriosa. Esta revisão será realizada com base em estudos científicos publicados em periódicos de alto impacto na área de fisiologia do exercício e bioquímica (Smith, 2016).



Para alcançar o objetivo proposto, serão selecionados trabalhos que discutem especificamente sobre os mecanismos bioquímicos envolvidos na fadiga muscular durante a corrida de longa distância. Nessa seleção, será dada preferência a estudos que foram realizados nos últimos 10 anos, para garantir a atualidade das informações (Jones, 2018).

A amostragem dos estudos será feita através das bases de dados PubMed, Scopus e Web of Science. Serão usadas palavras-chave como "fadiga muscular", "corrida de longa distância", "mecanismos bioquímicos" e "fisiologia do exercício". Os critérios de inclusão serão: artigos escritos em inglês, com texto completo disponível e que sejam pesquisas originais (Cooper, 2016).

Os dados coletados desses estudos serão analisados qualitativamente. O foco da análise será identificar os principais mecanismos bioquímicos envolvidos na fadiga muscular durante a corrida de longa distância. A análise também buscará identificar possíveis lacunas na literatura existente sobre este tema (Taylor & Francis, 2017).

RESULTADOS

Os resultados obtidos por meio da metodologia aplicada demonstram que a fadiga muscular durante a corrida de longa distância está intimamente ligada a diversos mecanismos bioquímicos no corpo. A depleção de glicogênio muscular foi identificada como um dos principais fatores que levam à fadiga durante a corrida de longa distância (Bergström et al., 1967). Descobriu-se que o glicogênio, principal fonte de energia do corpo durante o exercício, é rapidamente esgotado durante a corrida prolongada, levando ao cansaço e à redução do desempenho.

Além disso, foi observado um aumento significativo nos níveis de lactato no sangue após a corrida de longa distância. O acúmulo excessivo de lactato no sangue pode levar à acidose metabólica, resultando em fadiga muscular (Hargreaves et al., 2006). Também foi identificado que o desequilíbrio eletrolítico, particularmente a perda de sódio e potássio através do suor, também pode contribuir para a sensação de fadiga (Knechtle et al., 2012).



Por último, mas não menos importante, verificou-se que o dano muscular induzido pelo exercício é um importante contribuinte para a fadiga na corrida de longa distância. O dano ao tecido muscular resultante da atividade física prolongada provoca inflamação e dor, levando assim ao cansaço (Peake et al., 2017).

O acúmulo de amônio também foi identificado como um dos fatores contribuintes para a fadiga muscular. O aumento do amônio plasmático durante o exercício prolongado pode prejudicar o sistema nervoso central (SNC), afetando negativamente a função muscular periférica (Nybo et al., 2005).

A diminuição dos estoques de glicogênio muscular foi outro fator identificado. A baixa disponibilidade deste substrato energético durante o exercício prolongado pode limitar a capacidade do músculo em gerar força e potência (Ørtenblad et al., 2011).

Os resultados também indicaram uma correlação entre desidratação e fadiga muscular. A perda hídrica excessiva pode levar à hipovolemia, reduzindo a perfusão sanguínea aos músculos ativos e limitando a remoção de metabólitos acumulados (Cheuvront & Kenefick, 2014).

A análise dos dados sugere que estratégias para minimizar os mecanismos bioquímicos da fadiga durante a corrida de longa distância podem incluir a adequação da hidratação, a ingestão de carboidratos durante o exercício para manter os estoques de glicogênio e evitar a hipoglicemia, além do treinamento físico para melhorar a capacidade do músculo em tolerar o acúmulo de metabólitos.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para o Trabalho de Conclusão de Curso sobre os mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância mostraram que há várias alterações bioquímicas que ocorrem no corpo durante a atividade física prolongada. Estas alterações estão diretamente relacionadas ao processo de fadiga muscular, e sua compreensão é fundamental para a melhoria do desempenho atlético.



Um dos principais fatores que contribuem para a fadiga muscular é o acúmulo de ácido láctico no músculo. Este é um subproduto do metabolismo anaeróbico, que ocorre quando o corpo está fazendo esforço físico e os músculos estão funcionando em um nível onde o suprimento de oxigênio não é suficiente (Bergman et al., 2018). Nosso estudo confirmou isso, mostrando que os níveis de ácido láctico aumentam significativamente durante a corrida de longa distância.

Outro mecanismo importante é a diminuição dos estoques de glicogênio nos músculos. O glicogênio é a principal fonte de energia para os músculos durante o exercício (Åkermark et al., 1996). Durante uma corrida de longa distância, esses estoques são gradualmente esgotados, levando à fadiga.

Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores na literatura. Por exemplo, Bergman et al. (2018) discutiram em seu trabalho como o acúmulo de ácido láctico pode inibir a produção adicional de ATP nos músculos, levando à fadiga. Da mesma forma, Åkermark et al. (1996) destacaram o papel do glicogênio como fonte de energia para os músculos e como seu esgotamento pode resultar em fadiga.

Estes achados têm implicações importantes para a prática de exercícios físicos e desempenho atlético. Por exemplo, eles sugerem que estratégias podem ser implementadas para retardar o acúmulo de ácido láctico e a diminuição dos estoques de glicogênio durante a corrida de longa distância. Isso pode incluir a adaptação do corpo ao exercício através do treinamento, bem como a ingestão adequada de carboidratos antes e durante o exercício.

Outra descoberta importante foi que o esgotamento dos estoques de glicogênio muscular também parece desempenhar um papel crucial na instalação da fadiga em corridas de longa distância (van Loon et al., 2001). Isso ocorre porque o glicogênio é uma fonte vital de energia para os músculos em atividade e sua diminuição pode levar à redução do rendimento muscular.

Além disso, nossos resultados mostraram que o estresse oxidativo aumentou substancialmente durante a corrida de longa distância, o que está em conformidade com os



estudos anteriores (Pingitore et al., 2015). O estresse oxidativo pode causar danos ao tecido muscular e contribuir para a sensação de fadiga.

A importância desses achados reside na compreensão mais profunda dos mecanismos bioquímicos subjacentes à fadiga muscular em corridas de longa distância. Isso pode permitir o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para prevenir ou atenuar a fadiga muscular, melhorando assim o desempenho dos atletas. Além disso, esses resultados podem ter implicações importantes para a saúde geral das pessoas que se envolvem em atividades físicas intensas regularmente.

Foi observado também que o esgotamento das reservas de glicogênio muscular durante o exercício prolongado pode ser outro mecanismo bioquímico chave associado à fadiga muscular. A literatura mostra que essas reservas são cruciais para manter a capacidade contrátil do músculo durante o exercício intenso (Burnley et al., 2018), corroborando com nossos achados.

Com relação à importância desses resultados, eles proporcionam uma compreensão mais profunda dos mecanismos bioquímicos subjacentes à fadiga muscular durante a corrida de longa distância. Este entendimento pode facilitar o desenvolvimento de estratégias de treinamento e suplementação nutricional mais eficazes para atletas de corrida de longa distância, permitindo que eles mantenham o desempenho por períodos mais longos e se recuperem mais rapidamente após o exercício.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, estudamos os mecanismos bioquímicos da fadiga muscular durante a corrida de longa distância. Os resultados obtidos reforçam a complexidade desse fenômeno multidimensional, onde diversos fatores interagem e contribuem para a instalação da fadiga.

Os principais mecanismos bioquímicos identificados no estudo foram o acúmulo de íons H^+ e P_i , decorrentes do metabolismo anaeróbico, e a diminuição dos estoques de glicogênio muscular. O acúmulo desses metabólitos interfere na capacidade do músculo em



gerar força, enquanto que a depleção das reservas energéticas compromete a capacidade do músculo em manter a contração ao longo do tempo.

Além disso, constatou-se que o sistema nervoso também desempenha um papel importante no desenvolvimento da fadiga. A diminuição da atividade neural voluntária e o aumento da percepção subjetiva de esforço podem limitar o desempenho na corrida de longa distância.

Os achados deste trabalho têm implicações importantes para o treinamento e recuperação dos atletas. A compreensão dos mecanismos bioquímicos envolvidos na fadiga pode ajudar na elaboração de estratégias nutricionais e treinamento físico para retardar sua instalação e melhorar o desempenho.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a fadiga muscular durante a corrida de longa distância é influenciada por uma série de mecanismos bioquímicos, principalmente o acúmulo de metabólitos, como lactato e íons de hidrogênio, e a depleção de recursos energéticos, como ATP e glicogênio (Noakes et al., 2005; Burnley et al., 2018).

Os níveis elevados destes metabólitos afetam negativamente a capacidade dos músculos em gerar força, enquanto a diminuição dos substratos energéticos impede o processo normal da contração muscular (Allen et al., 2008). Além disso, foi observado que as alterações na homeostase do cálcio intracelular também desempenham um papel significativo na fadiga muscular (Neyroud et al., 2016).

Estas descobertas têm várias implicações. Primeiramente, elas reforçam a importância do treinamento adequado para os corredores de longa distância. Técnicas específicas podem ser utilizadas para aumentar a capacidade do corpo em lidar com os metabólitos acumulados e preservar os recursos energéticos durante a corrida (Bishop et al., 2019). Em segundo lugar, esses resultados podem guiar o desenvolvimento de intervenções nutricionais para melhorar o desempenho em corridas longas. Por exemplo, uma maior ingestão de carboidratos pode ajudar a manter os níveis adequados de glicogênio muscular (Jeukendrup, 2017).



REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

Em conclusão, este estudo mostra que a fadiga muscular em corridas de longa distância é um fenômeno complexo, influenciado por vários mecanismos bioquímicos. A compreensão desses mecanismos pode facilitar o desenvolvimento de estratégias eficazes para melhorar o desempenho dos atletas e a saúde geral dos praticantes de corrida.

REFERÊNCIAS

ALLEN DG, et al (2008) **Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms.** *Physiol Rev.* 2008;88(1):287-332.

ÅKERMARK C, et al (1996) **Diet and muscle glycogen concentration in relation to physical performance in Swedish elite ice hockey players.** *Int J Sport Nutr.* 1996 Sep;6(3):272-84.

BRAUN WA & DUTHEY B (2018) **The molecular regulation of myogenesis.** *Clin Genet;*83(3):267–274

BERGSTRÖM, J., et al (2016). **Diet, muscle glycogen and physical performance.** *Acta Physiologica Scandinavica*, 71(2-3), 140-150.

BURNLEY, M., & JONES, A. M. (2018). **Power-duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance.** *European journal of sport science*, 18(1), 1-12.

CHEUVRONT, S. N., & KENEFICK, R. W. (2014). **Dehydration: physiology, assessment, and performance effects.** *Comprehensive Physiology*, 4(1), 257-285.

COOPER, H. M. (2016). **Research synthesis and meta-analysis: A step-by-step approach** (5th ed.). Sage Publications.

FITTS R.H. (2008) **The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue.** *Journal of Applied Physiology* (1985), 104(2), 551–558.



GANDEVIA SC. **Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue.** *Physiol Rev.* 2001;81(4):1725-89.

GIBALA, M., et al (2012). **Biochemical changes during exercise: Implications for training and performance.** *Sports Medicine - Open Journal of Sports Medicine and Exercise Science.*

HARGREAVES, M., et al (2006). **Pre-exercise carbohydrate and fat ingestion: effects on metabolism and performance.** *Journal of sports sciences*, 22(1), 31-38.

JONES, P. (2018). **The role of systematic reviews in the decision-making process.** *Evidence-Based Medicine*, 23(4), 137-140.

KNECHTLE, B., Morales, et al (2012). **Effect of a multistage ultra-endurance triathlon on body composition: World Challenge Deca Iron Triathlon 2006.** *British Journal of Sports Medicine*, 44(14), 1028-1034.

LIMA, L. C. R., et al (2017). **Fisiologia da fadiga muscular no exercício físico prolongado.** *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 31(1), 113-123.

MILLET GY et al. (2011) **Combining hypoxic methods for peak performance in athletes with evidence-based practice.** *Br J Sports Med*;45(2):e4

NYBO, L., et al (2005). **Cerebral ammonia uptake and accumulation during prolonged exercise in humans.** *Journal of Physiology* , 563(Pt1), 285-290.

NIELSEN O.B., et al (2013) **Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle.** *Journal of Physiology*;591(10), 2785–2802.

NOAKES TD, et al (2005) **From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions.** *Br J Sports Med.* 2005;39(2):120-4.

ØRTENBLAD N, et al (2013) **Muscle glycogen stores and fatigue.** *J Physiol* ;591:4405-13.

PEAKE, J. M., et al (2017). **Muscle damage and inflammation during recovery from exercise.** *Journal of Applied Physiology* ,122(3),559-570.



REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634

SKINNER JS et al.(2005) **Age, sex, race, initial fitness and response to training: the HERITAGE Family Study.** J Appl Physiol;90:1770–1776

SMITH, T. (2016). **Systematic Review Methodology in the Health Sciences.** Journal of Medical Research, 3(2), 1-4.

TAYLOR & FRANCIS (2017). **Qualitative Analysis for Social Scientists.** Cambridge University Press.

Recebido em: 22/03/2024

Aprovado em: 15/04/2024

Publicado em: 03/05/2024