

A INFLUÊNCIA DA FADIGA MUSCULAR NO SALTO VERTICAL

Erickson da Silva Farias^{1,3,4}; Ivan de Jesus Ferreira^{2,3,4} ; Daurimar Pinheiro Leão^{2,3,4} 

RESUMO

No contexto da contração muscular, a falha no processo de ativação, seja no sistema nervoso central ou periférico, pode ser resultante da fadiga com diminuição da produção de força muscular. No exame de aptidão física, o teste de salto contramovimento é um teste de salto vertical amplamente utilizado para avaliar a força e potência muscular dos membros inferiores. Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar a influência da fadiga muscular no salto vertical. Para isso, foram avaliadas 8 moças universitárias praticantes de musculação de academia, com idade de 22,56 ($\pm 2,67$) anos, massa corporal de 58,14 ($\pm 4,71$) kg e estatura de 1,62 ($\pm 0,02$) metros. O protocolo de teste consistiu na realização de 7 saltos consecutivos de contramovimento seguidos de 5 repetições a 85% de 1RM no Leg Press 45° e finalizado com sete saltos consecutivos de CMJ. Os resultados apontam diferença estatisticamente significativa entre a altura média do salto pré e pós-fadiga, $t=0,061$, bem como na altura do pico do salto entre os momentos, $t=0,070$. O teste de correlação entre a carga do teste de 1RM e a altura média do salto antes da indução da fadiga mostra uma correlação negativa entre as variáveis ($r = -0,554$), assim como entre a carga do teste de 1RM e o pico do salto ($r = -0,565$). Identificou-se alteração de desempenho na altura média e máxima alcançadas no teste de salto vertical com contramovimento decorrente da fadiga muscular.

Palavras-Chave: fadiga muscular; potência muscular; salto vertical.

ABSTRACT

In the context of muscle contraction, failure in the activation process, whether in the central or peripheral nervous system, may result from fatigue, leading to a decrease in muscle strength production. In the physical fitness exam, the countermovement jump test is a vertical jump test widely used to assess the muscle strength and power of the lower limbs. Therefore, the objective of the present study was to investigate the impact of muscular fatigue on the vertical jump. For this, 8 university girls who practice weight training at a gym, aged 22.56 (± 2.67) years, body mass of 58.14 (± 4.71) kg, and height of 1.62 (± 0.02) meters. The test protocol consisted of performing 7 consecutive jumps of Counter Movement Jump, followed by 5 repetitions at 85% 1RM in Leg Press 45°, and finished with seven consecutive jumps of CMJ. The results show a statistically significant difference between the Mean Height of the Jump before and after fatigue, $t = 0,061$, as well as in the height of the peak of the jump between the moments, $t=0,070$, the test of correlation between the load of the 1RM test and the Mean Height of the Jump before the induction of the fatigue shows a negative correlation between the variables ($r = -0.554$), as well as between the 1RM test load and the Jump Peak ($r = -0.565$). A change in performance was identified in the average and maximum height achieved in the vertical jump test with countermovement, resulting from muscle fatigue.

Keywords: Muscle Fatigue; Muscle Power; Vertical Jump.

¹ Bacharel em Educação Física

² Faculdade de Educação Física e Fisioterapia (FEFF)

³ Grupo de Pesquisa em Biodinâmica do Movimento Humano

⁴ Laboratório de Estudos e Pesquisas em Aptidão Física (LEPAFI)

INTRODUÇÃO

A contração muscular é um fenômeno que exige processos de ativação central e periférico. A falha no processo de ativação, seja central ou periférica, pode resultar em fadiga ou decréscimo na produção de força muscular¹. A fadiga muscular é considerada como a falha em manter um nível desejado de rendimento ou trabalho durante uma atividade repetitiva ou sustentada², devido à depleção das reservas energéticas associada ao acúmulo de íons de hidrogênio e de metabólitos, como também o desvio nas concentrações de sódio e potássio dificultando a continuação da atividade física e podendo provocar até a incapacidade temporária para a realização do exercício^{3,4}.

As causas da fadiga durante o exercício muscular são numerosas e pode resultar de uma deficiência em qualquer lugar ao longo da cadeia de comando de centros motores no cérebro para as pontes cruzadas de actina-miosina na fibra muscular, esses fatores podem residir em mecanismos cerebrais e mecanismos musculares onde sendo elas fadiga de origem central e fadiga de origem periférica. As causas da fadiga central para o músculo durante o exercício residem nas regiões corticais e subcorticais onde podem ser o resultado de alterações do input neural que chega ao músculo, traduzida por uma redução progressiva da velocidade e frequência de condução do impulso voluntário aos motoneurônios durante o exercício, que promovem uma redução do número de unidades motoras ativas, a ocorrência desse processo é denominada de fadiga com origem predominantemente central^{5,6}.

Quando ocorre ao nível do tecido muscular esquelético de fato, a fadiga muscular pode resultar de alterações da homeostasia no próprio músculo esquelético, como as alterações do pH, da temperatura e do fluxo sanguíneo, a acumulação de produtos do metabolismo celular, particularmente dos resultantes da hidrólise do ATP (ADP, AMP, IMP, Pi, amônia), a perda da homeostasia do íon Ca²⁺, o papel da cinética de alguns íons nos meios intra e extracelulares nomeadamente, o K⁺, Na⁺, Cl⁻, Mg²⁺, a lesão muscular, principalmente a induzida pelo exercício com predominância de contrações excêntricas. Ou seja, o resultado do decréscimo da força contrátil independentemente da velocidade de condução do impulso neural, habitualmente designada de fadiga com origem predominantemente periférica^{7,8}.

Saltos verticais contínuos são constantemente utilizados no treinamento de força de membros inferiores ou na avaliação do desempenho anaeróbio, onde uma característica dos testes anaeróbios é a curta duração e alta intensidade levando o indivíduo à fadiga muscular. O salto vertical é uma ação básica de diversas modalidades esportivas, sendo que em algumas delas faz parte de importantes ações motoras mais complexas (cortadas e arremessos no voleibol, arremessos no basquetebol etc.). Alguns mecanismos são importantes para o desempenho do salto vertical: o Ciclo Alongamento e Encurtamento (CAE), o reflexo de estiramento, o padrão de ativação das unidades motoras e o controle motor^(9,10).

O CAE é um mecanismo fisiológico que tem como função aumentar a eficiência mecânica do movimento, o “output” motor em movimentos que utilizam ações concêntricas seguidas de ações excêntricas. O CAE é utilizado em várias ações diárias como andar, correr, saltar, todas as atividades que aproveitam a capacidade elástica inerente aos elementos elásticos em série. Os elementos elásticos em série estão localizados nas cabeças de miosina e nos tendões; eles acumulam e liberam energia potencial elástica¹¹.

Tendo em vista que, em grande parte das atividades esportivas é, e fundamental que os atletas possuam uma alta capacidade de gerar potência muscular¹². Em alguns esportes como no voleibol, basquete e handebol, essa capacidade física pode ser representada pelo salto vertical, sendo a altura vertical total alcançada pelo atleta um fator determinante para o sucesso na jogada, sendo assim, o presente estudo visa verificar a influência da fadiga muscular no salto vertical.

METODOLOGIA

Participantes

Foram avaliados 18 rapazes universitários, sendo 9 rapazes universitários fisicamente saudáveis não praticantes de musculação, chamados Grupo I (GI) e 9 rapazes universitários fisicamente saudáveis com 3 meses de prática na musculação, chamados Grupo II (GII), com idade variando entre 22,56 ($\pm 2,67$), 58,14 ($\pm 4,71$) de massa corporal e estatura de 1,62 ($\pm 0,02$). Os participantes foram inicialmente selecionados por conveniência, através do método não probabilístico intencional. Foram excluídos os rapazes universitários que não podiam executar os testes e os que optaram por não participar do estudo.

Procedimentos

Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, permitindo a sua participação voluntária no estudo. Este projeto foi previamente avaliado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP/UFAM) com Seres Humanos da Universidade Federal do Amazonas. Os avaliados foram convidados a comparecer no local do estudo em apenas 2 momentos, sendo no primeiro momento para a realização do teste 1 Repetição Máxima (1RM) no exercício de leg press 45°. Para diminuir a possível margem de erro no teste de 1RM, foram realizadas: a) padronizações das instruções do protocolo antes do teste; b) padronizações das instruções técnicas de execução do exercício; c) elevação da atenção dos avaliados direcionada para a execução correta do movimento.

Antes do início do teste de 1RM, foi realizado um breve aquecimento geral consistindo de 5 minutos em cicloergômetro, após um minuto de descanso, o teste foi iniciado, sendo aleatória a seleção do peso inicial, tendo 3 minutos de intervalo entre as tentativas de 1RM. O teste foi interrompido quando o avaliado falhava na tentativa de realizar o movimento. Assim, sendo validada como carga máxima aquela obtida na última execução completa.

Após aproximadamente uma semana da realização do teste de 1 RM, os avaliados retornaram ao local do estudo para a realização do protocolo de teste. O qual iniciou com um aquecimento geral consistindo de 5 minutos em cicloergômetro e 10 repetições no Leg Press 45° a 50% de 5RM.

O protocolo de teste consistiu na realização de 7 saltos consecutivos de CMJ seguidos de 5 repetições a 85% 1RM no Leg Press 45° e finalizado com sete saltos consecutivos de CMJ¹³. Para realização do CMJ o indivíduo deveria partir de uma posição em pé e com as mãos na cintura. A partir desta, o mesmo deveria realizar um contramovimento (fase de descida ou excêntrica) seguido rapidamente de uma rápida e vigorosa extensão das articulações dos membros inferiores (fase de subida ou concêntrica).

O controle destes posicionamentos era realizado pela percepção subjetiva do sujeito e alimentado por feedback do avaliador. Caso a tentativa realizada não se enquadrasse conforme o posicionamento solicitado, julgado pela inspeção visual do avaliador, o salto foi repetido.

Solicitou-se que os sujeitos mantivessem o tronco em uma posição mais vertical possível durante os saltos a fim de minimizar os efeitos da ação articular gerada por este segmento sobre o desempenho no salto.

Para aquisição das imagens dos saltos foi utilizada uma câmera filmadora digital da marca Canon (Power Shot, ELPH 500 HS) com frequência de 120 quadros posicionadas paralelamente aos avaliados, posteriormente a aquisição das imagens, foram realizadas análises cinemáticas dos saltos verticais através do software Skill Spector Versão 1.2.4, onde foram identificadas as alturas e as médias e máximas dos saltos.

Através de uma videografia bidimensional do movimento a fim de determinar as variáveis cinemáticas, sendo elas ângulos articulares, deslocamento angular e velocidades angulares das articulações do quadril, joelho e tornozelo. Para isso, o sujeito foi filmado no plano sagital, onde a câmera foi posicionada sobre um tripé, a uma distância de 3m do avaliado e a uma altura de 1 m do solo.

A calibração espacial foi realizada utilizando um calibrador de 1,08 m² com quatro pontos de referência. Marcações retro-reflexivas foram fixadas no lado esquerdo das avaliadas nas seguintes referências anatômicas: maléolo lateral, epicôndilo lateral do fêmur, trocanter maior do fêmur. A partir da digitalização semiautomática dos pontos anatômicos realizados pelo software Skill Spector Versão 1.2.4, foi realizada a reconstrução do movimento. Os dados brutos foram inicialmente filtrados com um filtro Butterworth passa-baixa com frequência de corte de 6 Hz. Os ângulos relativos no CMJ foram obtidos no instante de transição entre as fases excêntrica e concêntrica ¹⁴.

Análise estatística

Inicialmente os dados foram submetidos à análise estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) para apresentação dos resultados. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para verificar a normalidade dos dados. O teste t de student para amostras pareadas foi utilizado para a comparação dos valores de altura média dos saltos, assim como os saltos mais altos nos momentos pré e pós-indução de fadiga. O teste de correlação de Pearson foi realizado para verificar a correlação entre os valores do teste de 1 RM e a altura média dos saltos, bem como o salto mais alto no momento pré-indução de fadiga. Todas as análises estatísticas foram realizadas no SPSS versão 23.0 para Windows e foi adotado um nível de significância de $p \leq 0,05$ para todos os testes.

RESULTADOS

A **Tabela 1** apresenta os valores antropométricos com a estatística descritiva para caracterização da amostra pela idade, massa corporal, estatura, carga no teste de 1RM e carga estipulada para 85% de 1RM.

Tabela 1. Estatística Descritiva da Amostra

Variável	Média	Desvio Padrão (DP)
Idade	22,56	±2,67
Massa corporal (kg)	58,14	±4,71
Altura (m)	1,62	±0,02
GII 1RM (kg)	138,2	±29,25
GI 1RM (kg)	120,3	±25,47

A **Tabela 2** apresenta os valores de média e desvio padrão da altura média do salto e pico de altura realizada no teste de salto vertical pré e pós-indução da fadiga muscular, indicada pela altura alcançada pelo ponto reflexivo localizado na região do quadril.

Tabela 2. Comparação de Média entre os CMJs pré e pós- indução de fadiga.

Momento	Pré Fadiga	Pós Fadiga	t student
	Média ± DP (m)	Média ± DP (m)	
AMS (GII)	1,31 ± 0,90	1,09 ± 0,17	0,061
AMS (GI)	1,12 ± 0,51	1,00 ± 0,11	
PS (GII)	1,26 ± 0,13	1,13 ± 0,12	0,070
PS (GI)	1,09 ± 0,10	1,01 ± 0,09	

$p \leq 0,05$

AMS = Altura Media do Salto; **PS** = Pico do Salto.

Os resultados apontam diferença estatisticamente significativa entre a Altura Media do Salto pré e pós-fadiga, bem como na altura do Pico do Salto entre os momentos. O teste de correlação entre a carga do teste de 1RM e a Altura Media do Salto antes da indução da fadiga mostra uma correlação negativa entre as variáveis ($r = -0,554$), assim como entre a carga do teste de 1RM e o Pico do Salto ($r = -0,565$), entretanto não apresentam significância $p = 0,15$ e $p = 0,14$ respectivamente.

DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi verificar se a fadiga muscular dos membros inferiores influencia no salto vertical. Os principais achados deste estudo mostram que a indução da fadiga muscular provoca diferença estatisticamente significativa no desempenho do salto vertical, nos resultados de Pico do Salto e Altura Media do Salto, resultados estes que contrariam os encontrados por Haddad et al.¹⁵, ao avaliarem jovens jogadores de futebol e corroboram com os achados de Hughes et al.¹⁶, que avaliaram 32 jovens adultos com diferentes testes de performance, ressaltasse o teste de CMJ foi sensível a detecção da fadiga ate 24 h após sua indução.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os achados finais de um estudo de meta-analise, em que os autores relatam que a utilização da altura media de múltiplos CMJs apresenta maior sensibilidade na detecção de fadiga e super compensação do CMJ do que a altura máxima do CMJ¹⁷ e contrapõe os encontrados por Scott et al.¹⁸, estes resultados controversos podem ser explicados pela comparação de diferentes protocolos experimentais e avaliados em diferentes níveis de condicionamentos os quais podem promover uma ativação neural aprimorada, a qual inclui um aumento na estimulação e recrutamento da unidade motora, sincronização da unidade motora melhorada e/ou diminuição inibição pré-sináptica¹⁹.

A escolha adequada de todo o desenho experimental do estudo deve ser realizada de forma planejada, pois a escolha inadequada dos protocolos de familiarização e/ou período de treinamento dos avaliados pode ocasionar resultados controversos²⁰.

Existem várias ferramentas de monitoramento de fadiga que podem ajudar os profissionais a identificar indicadores de desempenho e percepção de fadigabilidade em atletas, incluindo habilidade de sprint, saltos verticais, medidas de autorrelato de atletas, índices de frequência cardíaca e marcadores bioquímicos. Essas ferramentas de monitoramento de fadiga podem ser benéficas no monitoramento dos níveis de fadiga durante um longo período de tempo, como durante a temporada, em que o acúmulo de fadiga pode afetar o jogador no desempenho da quadra.

Incorporando várias ferramentas de monitoramento de fadiga, simultaneamente podem fornecer aos profissionais uma compreensão global de como os atletas estão respondendo a estímulos estressores de treinamento e sem treinamento^{16,18,20,21}.

Os saltos verticais recebem destaques mediante a outros testes de desempenho pela sua facilidade de administração, adição mínimo de fadiga durante sua execução, alta replicabilidade do movimento atlético comum realizado na competição, facilmente implementado, não necessita de motivação externa para a realização em Máximo esforço pelo avaliado, além de apresentar elevada representatividade de movimento para determinadas modalidades esportivas como voleibol e basquetebol¹⁷.

O presente estudo se limitou a avaliar apenas as variáveis de pico do salto e a média de altura dos saltos. Ao avaliar o comportamento angular do movimento do salto vertical pós-indução de fadiga, valores interessantes podem ser encontrados além de verificar se a fadiga muscular altera o padrão de movimento do salto vertical. Em adição, pode ser realizada a comparação do teste de salto vertical mediante diferentes protocolos experimentais para verificar sua acurácia na comparação de diferentes protocolos de fadiga muscular.

CONCLUSÕES

Diante dos valores encontrados, podemos concluir que a fadiga muscular alterou o desempenho da altura média e máxima alcançadas no teste de salto vertical com contramovimento. Por apresentar sensibilidade à fadiga muscular, o salto vertical pode ser utilizado como um teste de monitoramento de fadiga, bem como um teste de desempenho físico.

REFERENCIAS

1. Stackhouse SK, Dean JC, Lee SCK, Binder MacLeod SA. Measurement of central activation failure of the quadriceps femoris in healthy adults. *Muscle Nerve Off J Am Assoc Electrodiagn Med.* 2000;23(11):1706–12.
2. Mannion AF, Dolan P, Mannion AF. Relationship between myoelectric and mechanical manifestations of fatigue in the quadriceps femoris muscle group. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;74(5):411–9.
3. Jones DA, Bigland-Ritchie B, Edwards RHT. Excitation frequency and muscle fatigue: mechanical responses during voluntary and stimulated contractions. *Exp Neurol.* 1979;64(2):401–13.
4. Nakamaru Y, Schwartz A. The influence of hydrogen ion concentration on calcium binding and release by skeletal muscle sarcoplasmic reticulum. *J Gen Physiol.* 1972;59(1):22–32.
5. Ascensao A, Magalhaes J, Oliveira J, Duarte JA, Soares J. Fisiologia da fadiga muscular. Delimitacao conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periferica. *Rev Port Ciencias do Desporto.* 2003;3(1):108–23.
6. Davis JM. Central and peripheral factors in fatigue. *J Sports Sci.* 1995;13(S1):S49–53.
7. Dutka TL, Lamb GD. Effect of lactate on depolarization-induced Ca²⁺ release in mechanically skinned skeletal muscle fibers. *Am J Physiol Physiol.* 2000;278(3):C517–25.

8. Roberts D, Smith DJ. Biochemical aspects of peripheral muscle fatigue. *Sport Med.* 1989;7(2):125–38.
9. Pupo JD, Dias JA, Gheller RG, Detanico D, Santos SG Dos. Stiffness, intralimb coordination, and joint modulation during a continuous vertical jump test. *Sport Biomech.* 2013;12(3):259–71.
10. Ugrinowitsch C, Barbanti VJ. O ciclo de alongamento e encurtamento e a performance no salto vertical. *Rev Paul Educ Fisica.* 1998;12(1):85–94.
11. Jorge K, Palavicini L. Pliometria, forma de aumentar o desempenho de atletas iniciantes da modalidade de voleibol com idades entre 12 a 14 anos, na execucao do salto vertical. *Agora Rev Divulg cientifica.* 2009;16(2):105–20.
12. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power. *Sport Med.* 2011;41(1):17–38.
13. Weber, Kurt R, Brown, Lee E, Coburn, Jared W, Zinder, Steven M. Acute Effects of Heavy-Load Squats on Consecutive Squat Jump Performance. *J Strength Cond Res.* 2008;22(3):726–30.
14. Gheller RG, Dal Pupo J, Lima LAP de, Moura BM de, Santos SG dos. Effect of squat depth on performance and biomechanical parameters of countermovement vertical jump. *Rev Bras Cineantropometria Desempenho Hum.* 2014;16(6):658–68.
15. Al Haddad H, Simpson BM, Buchheit M. Monitoring changes in jump and sprint performance: Best or average values? *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(7):931–4.
16. Hughes S, Chapman DW, Haff GG, Nimphius S. The use of a functional test battery as a noninvasive method of fatigue assessment. *PLoS One.* 2019;14(2):1–16.
17. Claudino JG, Cronin J, Mezencio B, McMaster DT, McGuigan M, Tricoli V, et al. The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *J Sci Med Sport [Internet].* 2017;20(4):397–402. Available from:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
18. Scott SL, Docherty D. Acute Effects of Heavy Preloading on Vertical and Horizontal Jump Performance. *Strength Cond.* 2004;18(2):201–5.
19. Pareja-Blanco F, Villalba-Fernandez A, Cornejo-Daza PJ, Sanchez-Valdepenas J, Gonzalez-Badillo JJ. Time Course of Recovery Following Resistance Exercise with Different Loading Magnitudes and Velocity Loss in the Set. *Sports [Internet].* 2019;7(59):1–10.
20. Brasch MT, Neeld KL, Konkol KF, Pettitt RW. Value of Wellness Ratings and Countermovement Jumping Velocity to Monitor Performance. *Int J Exerc Sci [Internet].* 2019;12(4):88–99.
21. Young WB, Jenner A, Griffiths K. Acute Enhancement of Power Performance From Heavy. *J Strength Cond Res.* 1998;12(2):82–4.