

EFEITO DA FADÍGA MUSCULAR NA CINEMÁTICA DA CORRIDA DE CORREDORES AMADORES DE LONGA DISTÂNCIA

Daniel Pereira da Silva¹
Anderson de Souza Castelo Oliveira²

RESUMO

O objetivo deste estudo foi verificar o efeito da fadiga muscular, induzida por uma sessão de treinamento intervalado, em parâmetros cinemáticos da corrida em esteira. Dez voluntários do sexo masculino ($25 \pm 5,61$ anos; $73,97 \pm 9,68$ Kg; $173,18 \pm 4,73$ cm; $11,65 \pm 4,73$ % de gordura; $38,7 \pm 2,56$ cm de fêmur; $40,4 \pm 1,94$ cm de tíbia), realizaram os seguintes testes: a) teste incremental para a determinação do limiar anaeróbio (LAn) e também da velocidade máxima aeróbia (vMAX); b) teste no limiar anaeróbio (LIMIAR-1), que consistiu em aquecimento de 3 min. e corrida na intensidade do LAn por outros 3 min.; c) teste intervalado (8 séries de 1 minuto na intensidade máxima do teste incremental, com um minuto de recuperação ativa a 50% da velocidade máxima) 15 min. após LIMIAR-1 d) imediatamente após o teste intervalado, foi realizado novo exercício de 3 min. na intensidade do LAn (LIMIAR 2). Para os testes LIMIAR-1 e LIMIAR-2 foram registrados os valores de concentrações de lactato sanguíneos [LAC], glicose [GLI], frequência cardíaca (FC), amplitude (AP), frequência de passadas (FP), ângulo do quadril no apoio anterior (AQAA) e ângulo do quadril no balanço anterior (AQBA). Para análise das variáveis fisiológicas (lactato, frequência cardíaca e lactato) e cinemáticas (amplitude da passada, frequência de passada, angulo do quadril na fase do balanço anterior e apoio anterior) coletadas no LIMIAR-1 e LIMIAR-2 foi utilizado o Teste estatístico de Wilcoxon para dados não-paramétricos, o nível de significância estabelecido será de $p \leq 0,05$. Houve um aumento significativo do lactato sanguíneo (2,8 para 10,47 mM), frequência cardíaca (82,5 para 135,4 bpm) e glicose (95,6 para 133,5mM) caracterizando condição de fadiga muscular pós-teste intervalado. O ângulo do quadril diminuiu tanto no balanço anterior (147° para 145°) como no apoio anterior (157° para 155°), aumentando a frequência de passada (82,2 para 85,5 passadas/minuto). Conclui-se com presente estudo, que o exercício intervalado provocou fadiga muscular, e como consequência, ocorreram alterações em parâmetros cinemáticos, influenciando a técnica da corrida e consequentemente o desempenho.

Palavra chave: Lactato, biomecânica da corrida, fadiga.

1 Bacharelado em Educação Física do UNIEURO Brasília/DF/Brasil.

2 Professor orientador do Curso de Educação Física do UNIEURO Brasília/DF/Brasil.

INTRODUÇÃO

A fadiga muscular é tema de diversos estudos nos últimos anos, sendo apontada como uma das possíveis causas da quebra de rendimento esportivo. É uma incapacidade de manutenção da força em uma determinada intensidade de exercício, que reduz desempenho e aumenta a sensação de esforço percebido¹, sendo classificada em crônica ou aguda². A primeira caracteriza-se por um somatório de processos de recuperação incompleta durante um período longo de treinamento máximo ou submáximo, estando algumas vezes, associada com over-training. A fadiga aguda está mais presente nos treinos e competições, sendo descrita como a incapacidade de produção de força, causada por alterações fisiológicas que impossibilitam a continuidade do mesmo, podendo ainda ser subdividida em central e periférica³.

A fadiga central está relacionada com alterações no funcionamento cerebral, diminuindo a atividade dos neurotransmissores, sendo ocasionada pelo exercício intenso ou prolongado, diminuindo o rendimento esportivo¹, enquanto a fadiga muscular periférica é uma falha ou limitação de um ou mais processos na unidade motora, isto é, nos neurônios motores, nervos periféricos, nas ligações neuromusculares ou fibras musculares^{4,5,6}.

A fadiga muscular nos esportes de longa duração, como corridas de longa distância, está relacionada com o declínio do glicogênio muscular, aumentando a produção de energia pelos triglicerídeos, glicose e ácidos graxos circulantes no plasma. A produção de energia por esses substratos produz um acúmulo de derivados metabólicos no organismo, como o lactato, diminuindo o PH celular do músculo esquelético, e aumentando a concentração de íons H⁺ que inibem os sítios de ligações de Ca²⁺ da troponina C, inibindo a interação de actina-miosina, prejudicando o processo de excitação-contração, diminuindo a capacidade de produção de força por meio da contração muscular⁵.

A redução da força induzida pela fadiga do músculo esquelético, influencia diretamente a técnica da corrida, causando alterações nas variáveis biomecânicas. Essas mudanças cinemáticas da corrida decorrente da fadiga diminuem a eficiência mecânica, que é o resultado da interação entre o trabalho desenvolvido e o custo energético⁷.

Vários estudos evidenciam que as corridas em esteira com incremento de velocidade é excelente teste para avaliar a aptidão cardiorrespiratória de indivíduos treinados ou não, e determinar o limiar ventilatório desses indivíduos^{8,9}, que é definido como a intensidade de exercício a partir da qual a concentração sanguínea de lactato aumenta rapidamente e a ventilação aumenta desproporcionalmente à produção de CO₂¹⁰. Além disso, esses testes também são muito utilizados para analisar as mudanças cinemáticas envolvidas na corrida¹¹.

Desta forma este estudo tem como objetivo verificar o efeito da fadiga muscular, induzida por exercício intervalado de corrida, em 4 variáveis cinemáticas (amplitude da passada

(AP), frequência de passada (FP), ângulo do quadril na fase do balanço anterior (AQBA) e apoio anterior (AQAA).

METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

1. Amostra:

Participaram do presente estudo 10 voluntários do gênero masculino, saudáveis e fisicamente ativos, com prática em exercício de corrida em esteira, onde as características da amostra estão na Tabela 1. A todos os voluntários apresentamos um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, onde os mesmos concordaram e assinaram o documento, entregando aos pesquisadores responsáveis. Este estudo está associado ao projeto “avaliação cinemática e ventilométrica durante exercício incremental de corrida em esteira”, aprovado pelo Comitê de Ética e pesquisa do Centro Universitário UNIEURO.

2. Medidas Antropométricas:

Para medição da massa corporal, foi utilizada uma balança digital da marca Toledo. Em seguida realizamos medição da estatura por meio de um estadiômetro (Sanny ES2020, São Paulo, Brasil) com precisão de 2 milímetros fixo na parede. A mensuração das dobras cutâneas: subescapular, tricipital, supraílica, axilar média, peitoral, abdominal e coxa, foram feitas utilizando um adipômetro científico (Sanny AD 1010, São Paulo, Brasil) com precisão de 1 milímetro. As medidas foram realizadas do lado direito do corpo, com indivíduo em pé e braços relaxados, sendo feitas 3 medidas em cada uma das dobras cutâneas, admitindo-se o valor médio como referência.

3. Determinação do Limiar Ventilatório:

Os avaliados foram submetidos a um teste progressivo em esteira rolante (Micromed, Centurion 209, Brasília, Brasil) com um período de três minutos de aquecimento a 6km/h, após o aquecimento a velocidade aumentou para 8km/h, permanecendo assim durante 1 minuto, em seguida ocorreram incrementos de 1km/h a cada minuto, até a exaustão^{5,9}. Os indivíduos tiveram incentivos a continuar o teste até o momento em que não foram mais capazes de suportar o esforço. O limiar ventilatório foi determinado pela segunda inflexão da curva de ventilação, por meio do software do ventilômetro (Micromed, FlowMet, Brasília, Brasil).

4. Coleta e Análise Sanguínea

A coleta de sangue foi realizada através de punção no dígito do dedo, após assepsia local com álcool na superfície desejada para retirada de possíveis gotas de suor. Além disso, todos os procedimentos de higiene e prevenção como o uso de luvas cirúrgicas esterilizadas e avental foram seguidos, sendo descartável todo o material utilizado nas coletas (lancetas, gazes, algodão, etc). Para análise da amostra, foi coletado 15 ml a 50 ml de sangue utilizando uma tira de lactato (lactímetro Accu-chek Advantage - Roche) e uma tira de glicose (glicosímetro Accu-Chek Compact- Roche).

5. Protocolo de corrida

No laboratório os atletas foram submetidos a correr em uma esteira ergométrica com inclinação (1%), onde primeiramente fizeram um aquecimento de 3 min. correndo com intensidade confortável escolhida pelo voluntário (entre 6 e 9 km/h). Em seguida a velocidade aumentou para a velocidade de limiar anaeróbio (VLAn), mantendo a mesma durante 3 min. (LIMIAR-1). As imagens de vídeo para análise cinemática foram coletadas nos últimos 20 seg. do teste. Após 15 min. de repouso, os voluntários foram submetidos a um teste intervalado (TI), onde realizaram 8 séries de 1 min. e 30 seg. a uma intensidade correspondente a velocidade máxima alcançada no teste incremental. O período de recuperação entre as séries foi de 1 minuto a 50% da intensidade do tiro. Após 3 min. do término da última recuperação do teste intervalado, os voluntários correram novamente na VLAn. durante 3 min. (LIMIAR-2), onde as imagens de vídeo para análise cinemática, foram coletadas nos últimos 20 seg. do teste. Amostras de sangue foram coletadas durante todo este procedimento na seguinte ordem: 1) previamente ao teste LIMAR-1; 2) previamente ao teste intervalado (15 min. após LIMAR-1); 3) previamente ao teste LIMAR-2 (3 min. após o termino da ultima recuperação do testes intervalado); 4) 3 min. após o teste LIMAR-2.

6. Determinação das variáveis cinemáticas e fisiológicas

As variáveis cinemáticas foram registradas com uma câmera de vídeo (Sony, DCR-TRV351, Tóquio, Japão) com frequência de amostragem de 30 Hz, tais vídeos foram desentrelaçados por meio do software VirtualDub, e a frequência utilizada para as análises foi de 60Hz. Todas as velocidades dos testes foram filmadas e as imagens armazenadas em um microcomputador para posteriores análises.

Os cálculos da amplitude de passada (distância entre dois toques do mesmo pé no solo) e frequência de passadas (número de passadas realizadas em um minuto), além do ângulo do quadril (o ângulo absoluto do tronco mais ângulo absoluto da coxa) dos voluntários na fase de balanço anterior e apoio anterior, foram realizados por meio da utilização de softwares específicos como o VirtualDub, Motion Analysis Tools e Microsoft Excel para cada velocidade do teste.

Durante o teste incremental, foram registrados os valores de frequência cardíaca (FC) por meio de um frequencímetro (Polar T-3, Kempele, Finlândia), e ventilação (VE), onde os valores encontrados nos últimos 10 segundos foram analisados.

7. Análise dos dados

Os valores de idade, estatura, massa corporal, % de gordura corporal, comprimento do fêmur e comprimento da tíbia, foram representados na forma de média (desvio padrão), para caracterizar a amostra. Para análise das variáveis fisiológicas ([LAC], [GLI] e FC) e cinemáticas (amplitude da passada, frequência de passada, ângulo do quadril na fase do balanço anterior e apoio anterior) foram realizadas avaliações quanto a normalidade dos dados, por meio do teste Kolmogorov-Smirnov. A comparação entre as condições LIMIAR-1 e LIMIAR-2 para estas variáveis foram realizados por meio do teste não-paramétrico de Wilcoxon. O nível de significância estabelecido foi de $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

A tabela 1 mostra a característica da amostra (n=10) através das seguintes variáveis: idade, massa, estatura, percentual de gordura, comprimento do fêmur e comprimento da tíbia.

TABELA 1 – Valores mínimos (min.), máximos (Max.), médios e desvios padrão (DP) para as variáveis antropométricas (n=10).

Variáveis	Mínimo	Máximo.	Média	DP
Idade (anos)	20	34	25	±5,61
Massa (Kg)	61,4	88	73,95	±9,68
Estatura (cm)	165,5	183,8	173,18	±4,73
%Gordura (%)	5,79	20,2	11,65	±4,73
Comp. Fêmur (cm)	35	42,5	38,7	±2,56
Comp. Tíbia (cm)	37,5	44	40,4	±1,94

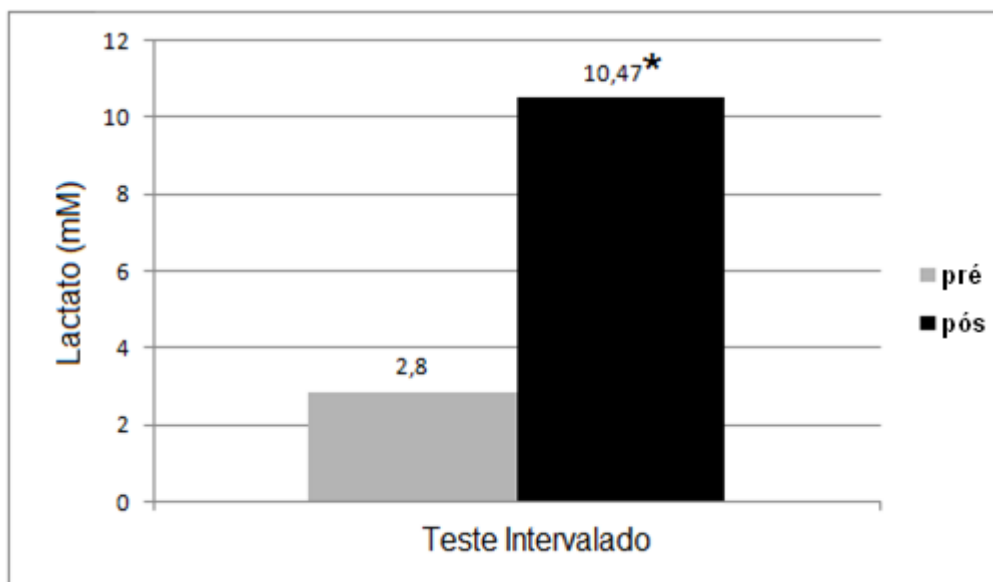
Vel. de limiar anaeróbio	9	14	11,8	±1,40
Vel. teste intervalado	14	16	15,5	±0,80

A tabela 2 e as figuras 1, 2, 3 demonstram que o houve aumento significativo ($p \leq 0,05$) do lactato, frequência cardíaca e glicose pós teste intervalado.

TABELA 2 – Valores mínimos (min.), máximos (Max.), médios e desvios padrão (DP) para as variáveis fisiológicas pré e pós teste intervalado (n=10).

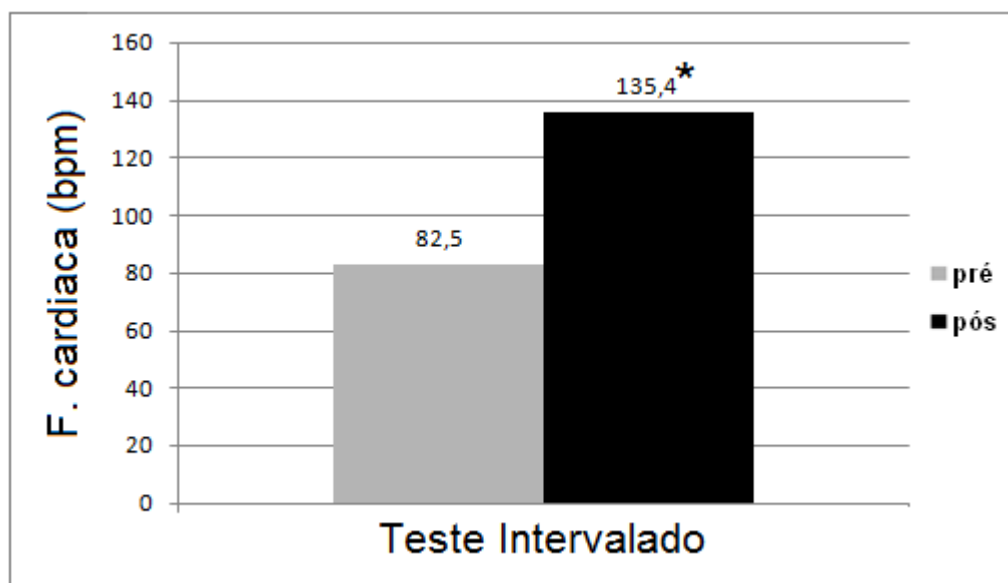
Variáveis	Mínimo	Máximo.	Média	DP
Lactato pré	1,2	4,1	2,8	±0,92
Lactato pós	6,3	18,9	10,47	±3,50
Frequência cardíaca pré	55	100	82,5	±14,24
Frequência cardíaca pós	113	160	135,4	±14,42
Glicose pré	84	116	95,6	±10,55
Glicose pós	114	170	133,5	±19,60

Figura 1. Lactato pré e pós teste intervalado.



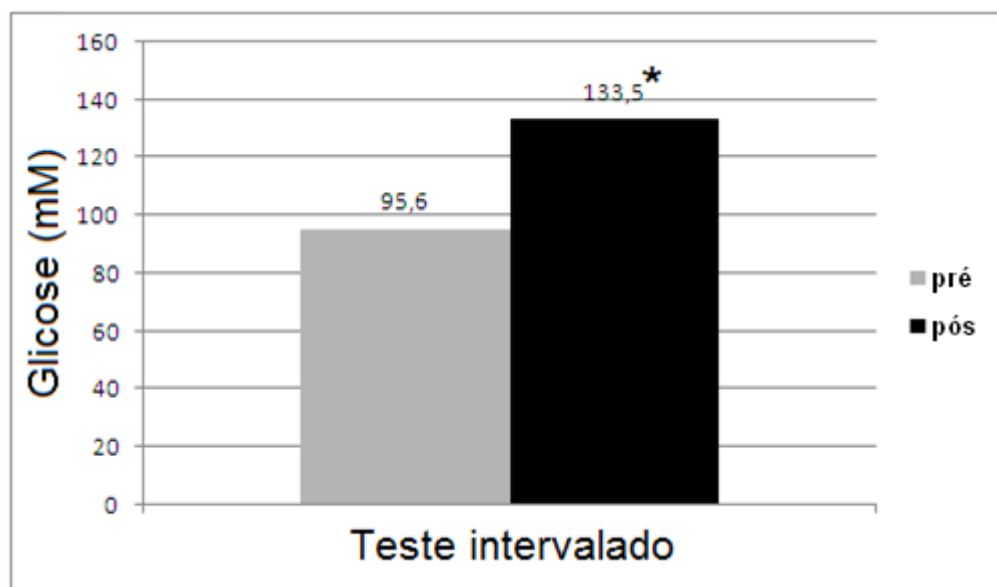
*diferença significativa ($p=0,005$) pós teste intervalado

Figura 2. Freqüência cardíaca pré e pós teste intervalado.



*diferença significativa ($p=0,005$) pós teste intervalado

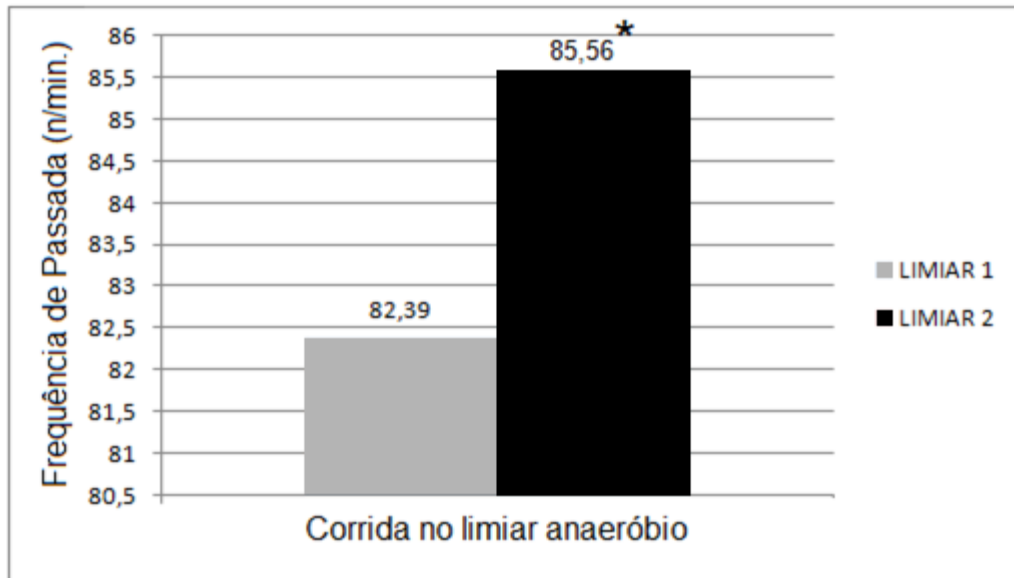
Figura 3. Glicose pré e pós-teste intervalado.



*diferença significativa ($p=0,005$) pós teste intervalado

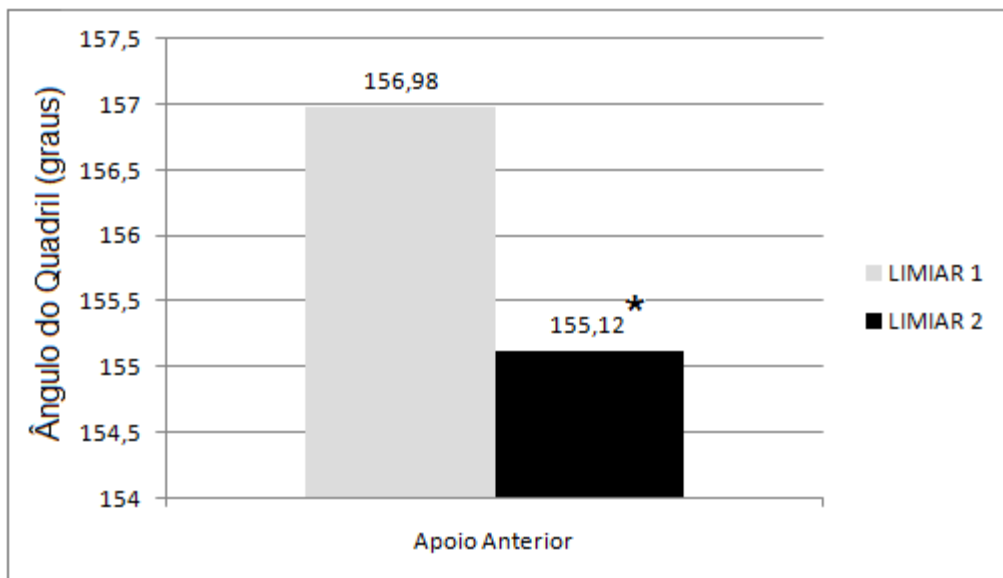
Em relação as 4 variáveis cinemáticas analisadas (AP, FP, AQBA e AQAA, houve mudanças significativas ($p \leq 0,05$) nas seguintes variáveis: FP, AQBA e AQAA, influenciando a cinemática da corrida. A AP no LIMIAR 2 ($1,41 \pm 0,067m$) aumentou em relação a AP do LIMIAR 1 ($1,52 \pm 0,076m$), mas não houve diferença significativa ($p=0,0745$).

FIGURA 4. Frequência de passada no LIMIAR 2 em relação com a frequência de passada do LIMIAR 1.



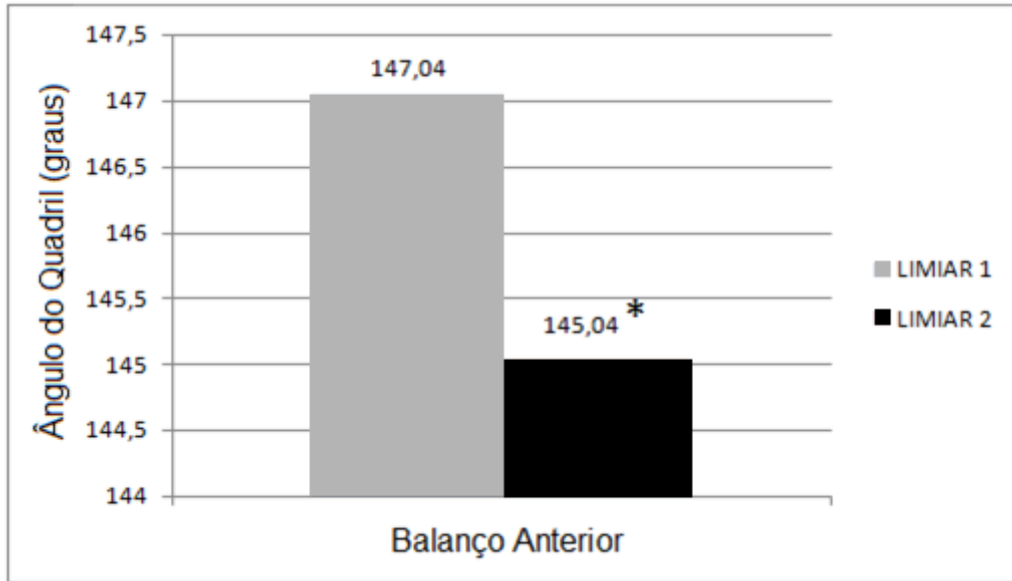
*diferença significativa ($p=0,0051$) na FP no LIMIAR 2

FIGURA 5. Ângulo do quadril no apoio anterior no LIMIAR 2 comparado com ângulo do quadril no apoio anterior no LIMIAR 1.



*diferença significativa ($p=0,0058$) no AQAA do LIMIAR 2.

FIGURA 6. Ângulo do quadril no balanço anterior no LIMIAR 2 em relação ao ângulo de quadril no balanço anterior LIMIAR 1.



*diferença significativa ($p=0,051$) no AQBA do LIM IAR-2.

DISCUSSÃO

No presente estudo a fadiga muscular foi identificada pelo aumento dos níveis de lactato sanguíneo ($7,67 \pm 2,58$ mM), sendo que, valores de lactato sanguíneo acima de 5 mM estão associados com a fadiga¹². Em outro estudo valores de lactato sanguíneo de $10,95 \pm 3,42$ mM associou-se com a queda do desempenho¹³, estando semelhantes aos valores encontrados em nosso estudo. Concomitante ao aumento do lactato, a glicemia também se alterou de forma significativa, o que pode se relacionar com aumentos da glicogenólise muscular e hepática, ocasionada pela alta intensidade do teste intervalado, resultando em um alto nível de glicose sanguínea para melhor suprimento de energia durante a atividade¹⁴.

A condição de fadiga neste estudo pode ser constatada por diversas variáveis, a primeira delas é a FC, que neste estudo apresentou na condição LIM IAR-2. estando semelhante ao estudo de Foss e Keteyan⁶, onde a frequência cardíaca aumentou de forma linear com o aumento da intensidade.

Em nossos achados a fadiga muscular influenciou na diminuição do ângulo do quadril (ângulo absoluto do tronco mais ângulo absoluto da coxa) tanto na fase de balanço anterior como na fase apoio anterior, diminuindo a amplitude de passada, aumentando a frequência da mesma. Mudanças angulares, principalmente na articulação do quadril, alteram a fase de balanço, influenciando diretamente a técnica da corrida¹⁵.

Mudanças no comprimento e frequência de passada, influênciam a economia da corrida¹⁶, que é definida como o consumo de oxigênio em uma determinada velocidade submáxima de

corrida. Em outro estudo verificamos que a frequência de passada aumentou com a fadiga muscular, diminuindo a amplitude de passada¹¹. No presente estudo foi verificado semelhante aumento da frequência de passada, sem alterações significantes da amplitude da passada, o que modificou a cinemática da corrida, comprometendo a técnica da corrida.

Em estudo usando 13 homens e 9 mulheres, corredores de meio fundo e fundo, verificaram que quanto maior o comprimento da passada, maior será a fase de balanço, diminuindo com isso a frequência de passada, ocasionando uma maior economia de corrida¹⁷. O aumento da frequência de passada, a amplitude da mesma tende a diminuir, reduzindo com isso a fase de balanço^{11, 18}.

Uma possível explicação para redução do ângulo do quadril tanto na fase de balanço anterior como na fase de apoio anterior é o processo de fadiga do músculo quadríceps, pois este além de ser responsável pela estabilização da patela é motor primário na extensão do joelho e ajuda na flexão do quadril (músculo reto femoral). Além disso, sua ação excêntrica aumenta na fase de apoio anterior, sendo que trabalhos musculares excêntricos são realizados pelas fibras tipo II, aumentando a depleção dos níveis de glicogênio muscular.

Os músculos extensores do joelho são requeridos em ações repetitivas excêntricas para absorverem altas forças de impacto durante a corrida, causando dano muscular afetando a performance muscular¹⁹. Como consequência da fadiga, verifica-se em estudos mais sofisticados o aumento da atividade eletromiográfica do reto femoral, o que pode gerar diminuição da amplitude de movimento deste músculo para diminuir tais efeitos da fadiga¹¹.

CONCLUSÃO

O exercício intervalado induziu a fadiga, vista pelas alterações na [LAC], [GLI] e FC. Como consequência destas alterações, os parâmetros cinemáticos da corrida (amplitude de passada, frequência de passada, angulação do quadril no balanço anterior e apoio anterior) foram alterados. Essas alterações correspondem, na literatura, às mudanças típicas de condições fadigantes, e apesar do presente estudo não avaliar a economia de corrida, as alterações decorrentes da fadiga neste estudo apontam para uma diminuição na eficiência da corrida.

A diminuição da eficiência na corrida compromete o desempenho durante a prática da modalidade, sendo assim, os resultados apresentam aplicação prática ao descrever o nível de fadiga e a dificuldade de manutenção do exercício de corrida, mesmo que por curtos períodos de tempo, após um exercício de alta intensidade.

REFERÊNCIAS

1. Davis JM, Bailey SP. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:45-57.
2. Silva A, Oliveira F, Gevaerd M. Mecanismo de fadiga durante o exercício físico. *Revista Brasileira de Cineantropom. Desempenho Hum.* 2006;8(1):105-113.
3. Santos MG, Dezan VH, Sarral TA. Bases metabólicas da fadiga muscular aguda. *Ver. Bras. Ciên. E Mov.* 2003; 11(1):07-12.
4. Ascensão A, Magalhães J, Oliveira J, Duarte J, Soares J. Fisiologia da fadiga muscular. Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. *Rev. Port. de Ciên. do Desp.* 2003; 3(1):108-123.
5. Duarte, V.C.; Dias, D.S.; Melo, H. C. S. Mecanismos moleculares da fadiga. *Brazilian Journal of Biomotricity*, v. 2, n. 1, p. 3-38, 2008).
6. Foss M.L.; Keteyian S. J.; Bases fisiológicas do exercício e do esporte. Sexta edição, cap. 9, p. 196-225, 2000.
7. Bassett, D. R., JR. and E. T. Howley. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 32, No. 1, pp. 70–84, 2000.
8. Caiozzo V.J, Davis J. A, Ellis J. F, Azus J.L, Vandagriff R., Prietto C.A and McMaster W.C. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology*, Vol 53, nº5,pp 1184-1189, 1982.
9. Kara, M.; Gokbel, H.; Bediz C. S. A combined method for estimating ventilatory threshold. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, Turin, v.39, n.1, p.16-19, 1999.
10. Ribeiro JP. Limiares metabólicos e ventilatorios durante o exercício: Aspectos fisiológicos, metodológicos e clínicos. *Revista HCPA* 2005; 25 (3):107-115.
11. Hanon C, Thépaut-Mathieu C, Vandewalle H. Determination of muscular fatigue in elite runners. *European Journal of Applied Physiology*,v.94, nº1-2,118-125, 2005.
12. Jacobs, I. Blood lactate: implications for training and sports performance. *Sports Medicine*, 3:10-25, 1986.
13. Brochado M.M.V., Kokubum E. Treinamento intervalado de corrida de velocidade: Efeitos da duração da pausa sobre o lactato sanguíneo e a cinemática. Departamento de Educação Física, Instituto de Biociências - UNESP - Rio Claro – SP, .v.3, nº1, p. 11-19,1997.
14. Souza T.N.T.; Yamaguti S.A.L.; Campbell C.S.g; Simões H.G. identificação do lactato mínimo e glicose mínima em indivíduos fisicamente ativos. *R. Bras. Ci. e Mov. Brasília* v. 11 n. 2 p. 71-75, 2003.

15. Bailey S.P., Pate R.R. Feasibility of improving running economy. *Sports Medicine*. Vol. 12, no. 4, pp. 228-236. 1991.
16. Holloszy, J.O. biochemical adaptations to exercise: aerobic metabolism. *Exercise and Sport Sciences reviews*, v.1, p.45-71, 1973.
17. Tartaruga, L.A., Tartaruga M.P., Ribeiro J.L, Coertjens m., Ribas L.R., e Krueel L.F. correlação entre economia de corrida e variáveis cinemáticas em corredores de alto nível. *Revista Brasileira de Biomecânica*, v. 5, nº 9, p.51-58, 2004.
18. Kyrolainen H, Belli A, Komi PV. Biomechanical factors affecting running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001.;33(8):1330–1337.
19. Eston, R. G.; Lemmey, A. B.; McHugh, P.; Byrne, C.; Walsh, S. E. Effect of stride length on symptoms of exercise-induced muscle damage during a repeated bout of downhill running. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, v.10, p.199–204, 2000.
20. Conley, D. L.; Krahenbuhl G.S. Running Economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exercise*. Vol. 12, Nº. 5, pp. 357-360, 1980.
21. Kyrolainen H, Kivela R, Koskinen S, Mcbride J, Andersen J, Takala T, Sipila S , Komi P. Interrelationships between Muscle Structure, Muscle Strength, and Running Economy. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2003;35(1):45–49.
22. Moreira PV, Teodoro BG, Neto AM. Bases neurais e metabólicas da fadiga durante o exercício. *Ver. Biosci.* 2008;24(1):81-90.
23. Mota DC, Cruz D.A, Pimenta C. Fadiga: uma análise do conceito. *Revista ACTA* v.18(3): 285-293, 2005.
24. Noakes, T. D., Myburg, K. H., Schall, R. Peak treadmill running velocity during the VO₂max test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences*, London, v.8, n.1, p.35-45, 1990.
25. Silva SR, Fraga CH, gonçaves M. Efeito da fadiga muscular na biomecânica da corrida: Uma revisão. *Revista Motriz*. 2007;13(3):225-235.
26. Novacheck TF. The biomechanics of running. *Gait and Posture*. 1998; 7: 77–95.