

ANÁLISE ELETROFISIOGRÁFICA E HISTOMORFOLÓGICA DO MÚSCULO TIBIAL ANTERIOR DE RATOS SUBMETIDOS A TREINAMENTO AERÓBICO COM NATAÇÃO

Hélio Andrade Gouvêa¹ hhgouvea@yahoo.com.br

Renato Aparecido de Souza² tatosouza2004@yahoo.com.br

Inácio leão Bezerra¹ inacioblif@msn.com

José Edson Campbell¹ josedson@msn.com

Fabiana Silva Pires¹ fabisilvapires@yahoo.com.br

Patrícia Mara Danella¹ patricia@univap.br

Antonio Carlos Priant¹ |prianati@univap.br

Rodrigo Labat Marcos¹ labat@icb.usp.br

doi:10.3900/fpj.8.1.49.p

Gouvêa HA, Souza RA, Bezerra IL, Campbell JE, Pires FS, Danella PM, et al. Análise eletrofisiográfica e histomorfológica do músculo tibial anterior de ratos submetidos a treinamento aeróbico com natação. *Fit Perf J.* 2009 jan-fev;8(1):49-55.

RESUMO

Introdução: O objetivo deste estudo foi avaliar a força contrátil, a resistência à fadiga e a integridade fibrilar de um músculo fundamentalmente constituído de fibras anaeróbicas (tibial anterior) de ratos submetidos a treinamento aeróbico com natação. **Materiais e Métodos:** 21 ratos machos *Wistar* (353 ± 32 g) foram divididos em três grupos experimentais ($n=7$): grupo controle (GC), grupo treinado com carga (5% da massa corporal) em meio líquido (GTC) e grupo treinado sem carga em meio líquido (GT). O protocolo de treinamento de natação teve 1h diária, por cinco dias consecutivos, durante cinco semanas. Após 72h do período experimental, obteve-se o registro eletrofisiográfico do músculo tibial anterior: a) tensão máxima gerada pelo músculo (g); b) tempo (s) que o músculo manteve-se contraído até 50% da tensão máxima; e c) a área sob a curva tetânica (cm^2) até 50% da tensão máxima, durante cada contração tetânica induzida. Além disso, foi feita análise histológica desse músculo. Para análise dos dados foi aplicado ANOVA, seguida pelo teste Tukey-Kramer. **Resultados:** Os resultados demonstraram que o GT apresentou valores significativamente superiores ($p < 0,05$) em relação os demais grupos para a variável *tempo de contração a 50% da tensão máxima*. Além disso, a análise histológica não evidenciou qualquer tipo de dano muscular. **Discussão:** concluiu-se que o protocolo de treinamento utilizado sem o implemento de peso promove melhores adaptações musculares, aumentando a capacidade do músculo tibial anterior em resistir à fadiga.

PALAVRAS-CHAVE

Nervo Tibial, Músculo Tibial Anterior, Exercício Aeróbico.

¹ Universidade do Vale do Paraíba - UniVap - São José dos Campos - Brasil

² Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM - Diamantina - Brasil

PHYSIOGRAPHIC AND HISTOLOGICAL ANALYSIS OF TIBIALIS ANTERIOR MUSCLE OF RATS SUBJECTED TO THE AEROBIC TRAINING WITH SWIMMING

ABSTRACT

Introduction: The aim of this study was to evaluate the contractile force, resistance to fatigue and integrity fibrillar of a muscle basically consists by anaerobic fibers (tibialis anterior) of rats trained with aerobic swimming protocol. **Materials and Methods:** 21 Wistar male rats (353 ± 32 g) were divided into three experimental groups ($n = 7$): control group (CG), group swimming trained with load (5% body mass) (GTC) and swimming trained group without load (GT). The protocol of swimming training was 1h daily for five consecutive days, for five weeks. After 72h of the trial period, it was obtained the electrophysiograph register of the tibialis anterior muscle: a) maximum tension generated by muscle (g); b) time (s) that the muscle remained contracted to 50% of maximum stress; and c) the area under the curve tetanic (cm^2) to 50% of maximum stress during each tetanic contraction induced. Moreover, histological analysis was made of these muscles. It was applied ANOVA test followed by Tukey-Kramer for data analysis.

Results: The results showed that GT had significantly higher values ($p < 0.05$) compared with the other groups for the variable time of contraction to 50% of maximum stress. In addition, the histological analysis did not reveal any type of muscle damage. **Discussion:** it was concluded that the protocol used for training without the load promotes better implement adjustments muscle, increasing the capacity of the tibialis anterior muscle to resist fatigue.

KEYWORDS

Tibial Nerve, Anterior Tibial Muscle, Aerobic Exercise.

ANÁLISIS ELECTROFISIOLÓGICO Y HISTOMORFOLÓGICO DEL MÚSCULO TIBIAL ANTERIOR DE RATONES SOMETIDOS AL ENTRENAMIENTO AERÓBICO EN NATACIÓN

RESUMEN

Introducción: El objetivo de este estudio era evaluar la fuerza contráctil, resistencia a la fatiga y la integridad fibrilar de un músculo básicamente consistente por anaeróbica fibras (tibialis anterior) de las ratas sometidas a entrenamiento aeróbico con la natación. **Materiales y Métodos:** 21 ratas macho Wistar (353 ± 32 g) se dividieron en tres grupos experimentales ($n = 7$): grupo control (GC), grupo con la natación de carga (5% de masa corporal) (GTC) y grupo de natación sin carga (GT). El protocolo de formación de la natación es de 1h al día durante cinco días consecutivos, durante cinco semanas. Después de 72h a partir del período de prueba, se obtuvo el registro de electrofisiógrafo el músculo tibialis anterior: a) la máxima tensión generada por el músculo (g); b) tiempo (s) de que el músculo sigue siendo contratado el 50% del esfuerzo máximo; y c) el área bajo la curva tetanic (cm^2) al 50% del esfuerzo máximo durante cada contracción inducida tetanic. Además, se realizó el análisis histológico de estos músculos. Se aplicó la prueba ANOVA seguida de Tukey-Kramer para el análisis de datos. **Resultados:** Los resultados mostraron que el GT tenía valores significativamente superiores ($p < 0,05$) en comparación con los otros grupos para la variable momento de contracción del 50% de esfuerzo máximo. Además, el análisis histológicos no revelaron ningún tipo de daño muscular. **Discusión:** se llegó a la conclusión de que el protocolo utilizado para la formación, sin la carga promueve una mejor aplicación de los ajustes del músculo, el aumento de la capacidad de la tibialis anterior para resistir la fatiga muscular.

PALABRAS CLAVE

Nervio Tibial, Músculo Tibial Anterior, Ejercicio Aeróbico.

INTRODUÇÃO

A evolução do treinamento esportivo ocorre, principalmente, através de estudos sistematizados e bem organizados sobre um determinado tema de relevância científica. Esse aspecto é observado pela intensa busca dos profissionais que trabalham nessa área por um programa de treinamento que objetive melhorar a *performance* do atleta durante a competição, retardando o aparecimento da fadiga muscular e diminuindo o risco de lesões musculares¹. O entendimento dos fenômenos relacionados com a plasticidade musculoesquelética

pode facilitar a fundamentação dos programas para a *performance* esportiva, especialmente no que diz respeito ao binômio “força e fadiga muscular”².

A contração do músculo esquelético é resultado de forças quimiomecânicas geradas pela integração das pontes cruzadas dos miofilamentos, produzindo encurtamento e gerando força³. Durante a contração muscular, há um aumento gradual da força produzida pelo recrutamento progressivo das unidades motoras, processo denominado somação⁴. Pode ocorrer também um aumento na frequência de disparo (tetania), o que provoca a somação de várias

contrações musculares⁵. A contração máxima ou força máxima de um músculo ocorre durante a tetania, devido ao aumento na concentração de Ca^{++} e pelo alongamento dos componentes elásticos durante as primeiras contrações⁶.

No entanto, o trabalho muscular excessivo ou durante atividades de longa duração promovem o aparecimento da fadiga muscular, a qual reduz a manutenção ou a continuidade do resultado muscular esperado². A etiologia da fadiga muscular é controversa. Enquanto alguns autores mostram que a fadiga muscular pode ser de origem central ou periférica, outros, utilizando estímulos elétricos externos nos músculos, mostram que a fadiga muscular é, principalmente, de origem periférica^{7,8}. De qualquer forma, o músculo pode fadigar-se em virtude da falha de qualquer um dos diferentes mecanismos neuromusculares que participam da contração muscular: sistema nervoso central (SNC), junção neuromuscular, mecanismo contrátil, fluxo sanguíneo e redução de substratos energéticos^{2,7}.

O músculo esquelético não é representado por um grupo homogêneo de fibras com propriedades metabólicas e funcionais semelhantes³. As fibras musculares são muito distintas, especialmente quanto à sua fadigabilidade. É tradicionalmente aceita a seguinte classificação: Tipo I - fibras resistentes à fadiga, com predominância do sistema aeróbico de transferência de energia; Tipo IIb - rapidamente fadigáveis, com a predominância do sistema anaeróbico de transferência de energia e constitui a verdadeira fibra rápida glicolítica; Tipo IIa - fibras intermediárias, com transferência de energia tanto aeróbica quanto anaerobicamente³.

O treinamento físico é uma forma de maximizar capacidades metabólicas e fisiológicas do organismo, produzindo adaptações ao sistema¹. Essas são decorrentes de estímulos crescentes, que promovem perturbações da homeostase do organismo. O treinamento aeróbico é caracterizado por uma transição rápida do repouso a uma demanda metabólica estável, devido especialmente a adaptações metabólicas e cardiovasculares. A literatura aponta que o treinamento aeróbico em ratos foi capaz de promover aumento na concentração de glicogênio intramuscular. O treinamento aeróbico aprimorou a oxidação dos carboidratos e lipídios devido ao aumento do número e tamanho das mitocôndrias, bem como otimização enzimática. Pessoas submetidas a treinamento aeróbico apresentam aumento da área de seção transversa em fibras do tipo I, em relação às demais fibras do mesmo músculo. Além disso, são observadas adaptações no sistema cardiorrespiratório, o qual é afetado principalmente na melhora do transporte de oxigênio para os músculos metabolicamente mais ativos.

Tem sido proposto que, independentemente do tipo de treinamento instituído (aeróbico ou anaeróbico),

todas as fibras musculares, em maior ou menor grau, teriam capacidade de adaptações positivas quanto à performance^{2,3}. Contudo, pouco é sabido quanto às adaptações relacionadas com a fadiga e as lesões musculares que as fibras, rapidamente fadigáveis, possivelmente sofrem durante o treinamento aeróbico. Estudos com técnicas de eletroestimulação para análise fisiológica muscular são escassos. Segundo MENIN (1996), tanto contrações musculares isoladas como contrações tetânicas podem ser induzidas de forma indireta ao músculo por intermédio de eletrodo bipolar em contato com o nervo motor. Através das curvas tetânicas, pode-se avaliar a tensão máxima gerada pelo músculo e o nível de fadiga muscular. Além disso, tem sido extensivamente observado que a análise histológica pode revelar o grau de integridade das fibras musculares.

Diante desse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a força contrátil, a resistência à fadiga e a integridade fibrilar de um músculo fundamentalmente constituído de fibras anaeróbicas (tibial anterior) de ratos submetidos a treinamento aeróbico com natação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Modelo experimental

Todos os procedimentos adotados neste estudo estavam de acordo com os princípios de manuseio e cuidado com animais de laboratório preconizados pelo COBEA (Colégio Brasileiro de Experimentação Animal), Lei n.º. 6638 de 8 de maio de 1979 e Decreto n.º. 24645 de 10 de julho de 1934 sendo aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da UniVap (Protocolo n.º A 24/CEP/2008).

Foram utilizados 21 ratos machos adultos jovens (4 meses de idade) Wistar (*Rattus norvegicus*) com massa corporal média de $353 \pm 32\text{g}$, fornecidos pelo Biotério Anilab (Campinas, SP). Os animais foram mantidos em sala de contenção no Centro de Estudos da Natureza (CEN) da Universidade do Vale do Paraíba (UniVap). Todos os animais tiveram livre acesso a água e ração padrão *ad libitum*, e foram mantidos individualmente em caixas plásticas, em biotério com luminosidade controlada (ciclo claro-escuro), em temperatura ambiente. Os animais foram aleatoriamente divididos em três grupos experimentais ($n=7$): grupo controle (GC), grupo treinado com carga em meio líquido (GTC) e grupo treinado sem carga em meio líquido (GT).

Protocolo de treinamento aeróbico com natação

Antes da aplicação do protocolo de treinamento, os animais dos grupos GTC e GT foram submetidos a um



Figura 1 - O tendão do músculo tibial anterior fixado ao transdutor

período de adaptação ao meio líquido para reduzir o estresse de uma atividade não habitual. Durante esse período, os animais nadaram por 20min diários durante cinco dias consecutivos, sempre no período vespertino, com a temperatura controlada da água a 32°C^{9,10}. Após o período de adaptação, os animais do grupo GTC foram submetidos a um protocolo de treinamento de natação com carga de 5% de sua massa corporal fixada ao tórax por 1h diária, durante cinco dias consecutivos por semana, sempre no período vespertino^{9,10}. Esse treinamento teve duração de cinco semanas e é caracterizado como de baixa intensidade e de longa duração, sendo considerado portanto, efetivo para aumentar a capacidade oxidativa muscular. Esse mesmo protocolo de treinamento foi aplicado aos animais do grupo GT, porém sem a aplicação de carga. Os animais do GC em nenhum momento tiveram contato com o meio líquido.

Técnica eletrofisiográfica

A técnica utilizada foi a músculo-nervo tibial anterior, no protocolo da eletroestimulação¹². Após 72h do período experimental, os animais foram pré-anestesiados com uma solução de hidrato de cloral (10%), em uma dose de 1mL.100g⁻¹ da massa corporal do animal. A injeção foi aplicada na região intraperitoneal. Em seguida, foi aplicado o anestésico Torbugesic intramuscular (Lab Fort Dodgs, USA) em uma dose de 0,01mL.100g⁻¹ da massa corporal do animal. Após a total analgesia e sedação do animal, foi realizada a retirada da pele e dissecação do músculo tibial anterior, isolando o nervo motor responsável pela estimulação do músculo em questão, que se encontra paralelamente ao osso tibial.

Após o nervo ter sido isolado, foi feita a fixação do tendão distal do músculo tibial anterior a um transdutor dinâmico que converte dados da tensão muscular em sinais elétricos transmitidos ao eletrofisiógrafo GEMINI 7070 (Ugobasile, USA). Foi utilizada uma tensão de 10g como padrão para calibrar o eletrofisiógrafo. Em seguida, um eletrodo bipolar ligado a um eletroestimulador (Grass Inst. Div., W. Warwick, RI, USA), foi colocado em contato com o nervo motor para estimulação indireta do músculo tibial anterior (Figura 1).

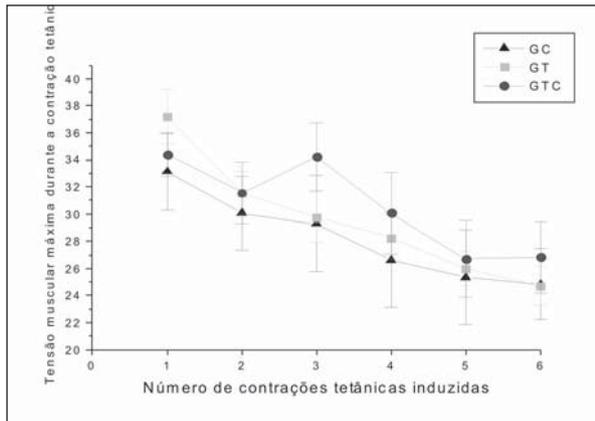
Para impedir o ressecamento do tecido, adaptou-se um equipo de soro fisiológico aquecido em banho-maria a 37°C, temperatura de faixa normal habitual, que gotejava sobre o mesmo a cada 30s aproximadamente.

Para a análise de resistência à fadiga, o músculo tibial anterior foi estimulado com uma corrente elétrica inicial de 0,2PPS rate e 8V de intensidade, correspondendo a um descanso ativo do músculo, intercalados por estímulos tetânicos de 60 PPS rate e 8V a cada 5min, onde foi observada a curva de fadiga do músculo até 50% da amplitude máxima (capacidade máxima) de contração. Para cada animal foram induzidas um total de seis contrações tetânicas.

Através da amplitude do sinal eletrofisiográfico, pôde-se analisar os seguintes dados: tensão máxima gerada pelo músculo (g); tempo (s) que o músculo manteve-se contraído até 50% da tensão máxima; e a área sob a curva tetânica (cm²) até 50% da tensão máxima, durante cada contração tetânica induzida.

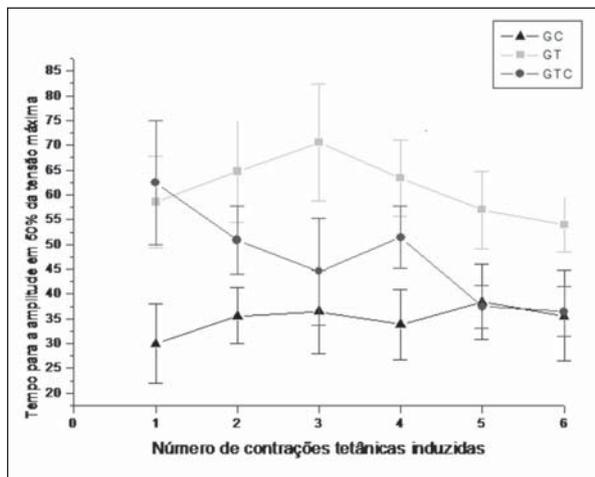
Ao final do experimento, os animais foram sacrificados com uma overdose da solução hidrato de cloral (10%) intracardiaco. Em seguida, o músculo tibial anterior foi

Figura 2 - Média da tensão máxima (g) alcançada pelo músculo tibial anterior durante as seis contrações tetânicas, induzidas nos diferentes grupos experimentais



GC: Grupo Controle; GT: Grupo Treinado sem Carga em meio líquido e GTC: Grupo Treinado com Carga em meio líquido ($p > 0,05$).

Figura 3 - Média do tempo gasto (s) para valores da tensão com amplitude em 50% do pico de força máxima, nos diferentes grupos experimentais



GC: Grupo Controle; GT: Grupo Treinado sem Carga em meio líquido e GTC: Grupo Treinado com Carga em meio líquido
* $p < 0,05$ vs. GC; § $p < 0,05$ vs. GTC

removido, seccionado transversalmente e colocado em um recipiente com formol (10%).

Análise histomorfológica

Os músculos foram retirados do formol 10% e lavados durante 15min em álcool 70%. Na etapa de desidratação, as peças foram mantidas por 2h em álcool 70%, 2h em álcool 95% e, aproximadamente, 8h em álcool 100%, para diafanizar. Em seguida, as peças foram mantidas em um recipiente de vidro com xilol por 2h, e com um novo xilol por mais 2h.

Na etapa de impregnação, as peças foram colocadas em recipientes de vidro com parafina e mantidos em estufa a 58°C por 2h. Trocada a parafina, as peças permanecem

por mais 2h em estufa a 58°C. Em seguida, as peças foram incluídas em parafina. Após solidificar, os blocos foram aparados e armazenados em geladeira.

Em um micrótomo (Microtome Spencer, 820), foram obtidos cortes transversais com 5µm de espessura. Os cortes foram colocados durante 1min em álcool 50% e 1min em banho-maria à 60°C. Em seguida, foram colocados em lâminas histológicas, permanecendo em estufa a 58°C por 24h.

Para a coloração das lâminas, foi utilizada a técnica hematoxilina-eosina (HE). As lâminas contendo os cortes foram colocadas em xilol I por 10min, xilol II por 5min, álcool 100% por 1min, álcool 95% por 1min, álcool 75% por 1min, hematoxilina por 1,5min, água corrente por 1min, eosina por 1,5min, água corrente por 1min, álcool 95% por 1min, álcool 100% por 1min, álcool 100% por 1min, xilol diafanizador por 1,5min, outro xilol diafanizador por 1,5min. Para a montagem das lâminas foi utilizado Entellan com xilol. As lâminas foram analisadas em um microscópio (Olympus CH 30), acoplado a uma máquina fotográfica (Olympus PM-C35), onde se obtiveram fotos nas objetivas de 100x e 400x, utilizando o filme Kodak Ultra ISO 400. A revelação e a ampliação seguiram o padrão comercial.

Foi feita a análise histomorfológica qualitativa para verificar possíveis sinais de lesões nas células, tanto agudas quanto crônicas.

Análise estatística

Os dados foram expressos como média ± desvio padrão (dp). A significância das diferenças observadas nas análises foi determinada pela análise da variância (ANOVA), seguida pelo teste Tukey-Kramer quando necessário, sendo considerados significantes os valores de $p \leq 0,05$.

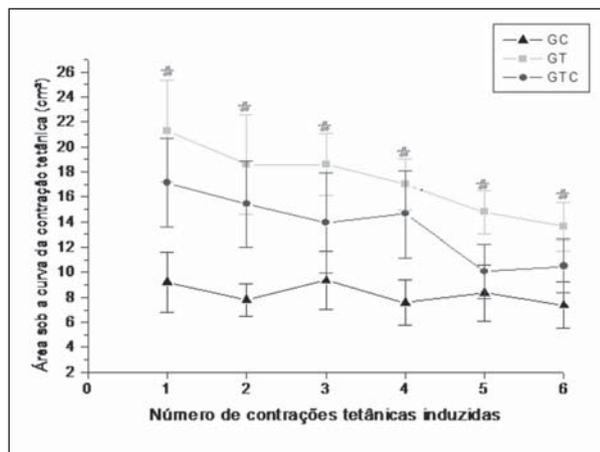
RESULTADOS

Análise eletrofisiológica

A Figura 2 demonstra o comportamento da média da tensão máxima (g) obtida pelo músculo tibial anterior durante as seis contrações tetânicas induzidas eletricamente. O treinamento aeróbico com e sem carga (GTC e GT) não alterou significativamente o comportamento dessa variável, em relação os animais sedentários (GC) ($p > 0,05$).

A Figura 3 apresenta o tempo médio gasto (s) para os valores da tensão com amplitude em 50% do pico de força máxima, nos diferentes grupos experimentais. Observou-se que na primeira, segunda e quarta contrações tetânicas, ambos os grupos treinados apresentaram valores estatísticos significativos em relação ao grupo

Figura 4 - Área média sob a curva tetânica durante as seis contrações induzidas nos grupos experimentais até 50% do pico máximo de força



GC: Grupo Controle; GT: Grupo Treinado sem Carga em meio líquido; GTC: Grupo Treinado com Carga em meio líquido
* $p < 0,05$ vs. GC

controle ($p < 0,05$). Além disso, durante a terceira, quinta e sexta contrações tetânicas o grupo treinado sem carga apresentou valores significativamente maiores, também em relação ao grupo treinado com carga ($p < 0,05$).

A Figura 4 representa a área média sob a curva tetânica (cm^2) até 50% da tensão máxima, durante cada contração tetânica induzida. Observou-se que GT obteve maior área quando comparado ao grupo controle, em todas as tetanias induzidas, porém sem diferença do GTC ($p > 0,05$). Embora o GTC tenha apresentado valores superiores em relação ao GC, essa diferença não foi significativamente estatística ($p < 0,05$).

Análise histomorfológica

Através das análises qualitativas histomorfológicas das lâminas, não foram observados quaisquer tipos de lesão nos grupos experimentais. Os sinais de lesão aguda poderiam ser evidenciados por necrose celular (fibras musculares não apresentam periferia delimitada; fibras com núcleo centralizado ou nucléolo proeminente; presença de hipercontração devido à ruptura das fibras e/ou infiltração por células satélites que migram para o local

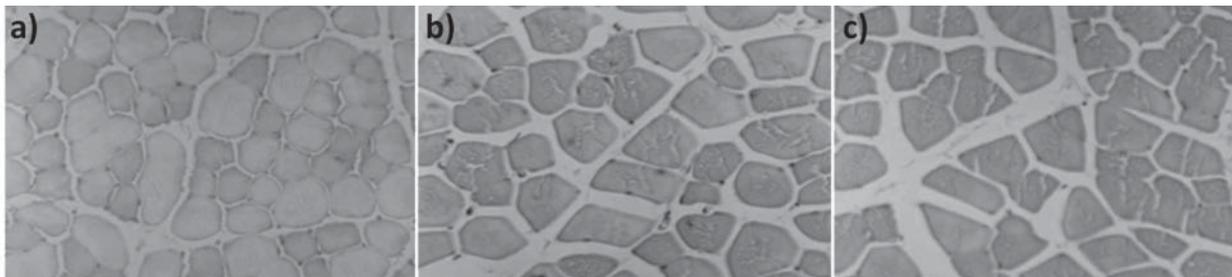
lesionado para regenerar o tecido). Os sinais de lesão crônica poderiam ser observados por fibras musculares com núcleos centralizados, que ocorrem durante o processo de regeneração e/ou fibra fragmentada apresentando dois ou mais fragmentos separados por uma fenda e envoltos com uma bainha de endomísio. No entanto, conforme apresentado na Figura 5, os sinais supracitados não são evidenciados, o que indica integridade tecidual em todos os grupos experimentais.

DISCUSSÃO

Já está bem estabelecido na literatura que a fadiga muscular pode ocorrer durante um exercício exaustivo prolongado, prejudicando a performance esportiva^{13,14}. Contudo, pouco é sabido a respeito da contribuição e adaptação de fibras musculares funcionalmente distintas à demanda imposta. Ou seja, por exemplo, as fibras musculares de características anaeróbicas respondem a um treinamento aeróbico e vice-versa. Essa premissa justifica-se pelo fato de que todas as fibras musculares são utilizadas, em maior ou menor grau, durante uma determinada atividade física, independentemente de suas características funcionais¹⁵. Assim, o presente estudo teve o propósito de investigar as possíveis adaptações eletrofisiográficas e morfológicas relativas à atividade do músculo tibial anterior, o qual ocupa posição metabólica fundamentalmente anaeróbica, de ratos submetidos a treinamento aeróbico.

Primeiramente, foi demonstrado que o treinamento aeróbico com e sem carga (GTC e GT) não alterou significativamente a média da tensão máxima (g) obtida pelo músculo tibial anterior durante as seis contrações tetânicas induzidas eletricamente (Figura 2). É importante notar que o treinamento estabelecido nesse estudo foi de característica aeróbica, o qual potencializa o *endurance* muscular^{9,10,16}, justificando o fato do não incremento na variável tensão máxima, nos grupos GTC e GT, em relação ao grupo controle (GC). Outro fato importante é que o músculo avaliado (tibial anterior), embora seja predominantemente de característica anaeróbica, o que poderia favorecer a melhora da tensão máxima com o

Figura 5 - Micrografias histológicas de cortes transversais do músculo tibial anterior de ratos corados com H&E (objetiva de 400x).



a) GC: grupo controle; b) GT: Grupo Treinado sem Carga em meio líquido; c) GTC: Grupo Treinado com Carga em meio líquido

treinamento, não obteve tal adaptação, respondendo de forma semelhante ao esperado com o treinamento aeróbico. Assim, hipotetizou-se que tal resposta tenha sido decorrente do princípio da especificidade ao exercício físico instituído^{2,3}.

Ainda observando a Figura 2, nota-se que, com o decorrer das contrações tetânicas, houve um decréscimo no valor da tensão máxima obtida. Este efeito biológico sugere uma menor reserva energética, conforme maior o tempo no qual o músculo manteve-se contraído. Uma redução significativa no conteúdo de glicogênio nas fibras musculares ativas está relacionada à fadiga durante o exercício submáximo prolongado¹⁴. Estudos com atletas têm mostrado que a fadiga muscular aumenta quase que na proporção direta com a velocidade da depleção do glicogênio¹⁵. Dessa forma, a utilização de carga durante o treinamento (GTC) exigiu maior ativação, o principal das fibras anaeróbicas do músculo analisado, favorecendo a instalação da fadiga de forma mais rápida em relação ao grupo treinado sem carga (GT), uma vez que esse metabolismo utiliza exclusivamente o carboidrato como fonte geradora de energia.

Quanto ao tempo gasto para a diminuição em até 50% do valor da tensão muscular máxima (Figura 3), observou-se especialmente que a terceira, quinta e sexta contrações tetânicas, no GT, apresentou valores significativamente maiores em relação ao GC, e também em relação ao GTC ($p < 0,05$). Esses resultados sugerem que o GT apresentou-se mais resistente à fadiga do que o GTC. Embora o lactato não tenha sido avaliado, este metabólico é um importante preditor da fadiga muscular e é formado somente quando da utilização do metabolismo anaeróbico glicolítico¹⁷. Nesse sentido, a carga aplicada ao GTC poderia incrementar o metabolismo anaeróbico glicolítico favorecendo o aparecimento da fadiga de forma precoce em relação ao GT, o qual teve seu metabolismo aeróbico especificamente beneficiado.

Com relação à área média sob a curva tetânica (Figura 4), nossos resultados mostraram que os grupos treinados com e sem carga apresentaram maior resistência à fadiga, embora essa resposta tenha sido somente diferente estatisticamente para o GTC, quando comparado ao GC. A literatura mostra que o treinamento de resistência aumenta o número e o tamanho das mitocôndrias e sua eficiência em produzir energia para o organismo, resultando no aumento da capacidade de resistir à fadiga¹⁸, justificando nossos achados.

Na análise histológica, nenhum grupo experimental apresentou sinais de lesão nas fibras musculares. Com isso, sugere-se que o protocolo de treinamento utilizado no presente estudo promove estresse metabólico sem alteração danosa morfológica (Figura 5).

Com base nesses resultados, concluiu-se que o protocolo de treinamento utilizado sem o implemento de peso promove melhores adaptações musculares, aumentando a capacidade do músculo tibial anterior em resistir à fadiga, e ambos os treinamentos não promovem lesão em nível muscular. Contudo, novos estudos necessitam ser conduzidos para melhor elucidar esse fenômeno.

REFERÊNCIAS

1. Beneke R, Böning D. The limits of human performance. *Essays Biochem.* 2008;44:11-25.
2. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2000;10(3):123-45.
3. Minamoto VB. Classificação e adaptações das fibras musculares: uma revisão. *Fisioterapia e Pesquisa* 2005;12(3):50-5.
4. Hodson-Tole EF, Wakeling JM. Motor unit recruitment for dynamic tasks: current understanding and future directions. *J Comp Physiol [B].* 2008;3 [Epub ahead of print].
5. Houtman CJ, Stegeman DF, Van Dijk JP, Zwarts MJ. Changes in muscle fiber conduction velocity indicate recruitment of distinct motor unit populations. *J Appl Physiol.* 2003;95:1045-54.
6. Smeulders MJ, Kreulen M. Myofascial force transmission and tendon transfer for patients suffering from spastic paresis: a review and some new observations. *J Electromyogr Kinesiol.* 2007;17(6):644-56.
7. Sesboüé B, Guinestre JY. Muscular fatigue. *Ann Readapt Med Phys.* 2006;49(6):257-64, 348-54.
8. Germinario E, Esposito A, Midrio M, Peron S, Palade PT, Betto R, et al. High-frequency fatigue of skeletal muscle: role of extracellular Ca(2+). *Eur J Appl Physiol.* 2008;104(3):445-53.
9. Osorio RA, Christofani JS, D'almeida V, Russo AK, Picarro IC. Reactive oxygen species in pregnant rats: effects of exercise and thermal stress. *Comp Biochem Physiol C Pharmacol Toxicol.* 2003;135:89-95.
10. Souza RA, Santos RM, Osorio RAL, Cogo JC, Prianti-Júnior ACG, Martins RABL, et al. Influence of the short and long term supplementation of creatine on the plasmatic concentrations of glucose and lactate in Wistar rats. *Rev Bras Med Esporte.* 2006;12(6):361-5.
11. Abou-Hala AZ, Barbosa DG, Marcos RL, Pacheco-Soares C, Silva NS. Effects of the infrared lamp illumination during the process of muscle fatigue in rats. *Braz Arch Bio. Technol.* 2007;50(3):403-7.
12. Dubowitz V. *Muscle biopsy: modern approach.* 2ª ed. London: Bailliere Tindall; 1985.
13. Marquezi ML, Roschel HA, Dos Santa Costa A, Sawada LA, Lancha AH JR. Effect of aspartate and asparagine supplementation on fatigue determinants in intense exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2003;13(1):65-75.
14. Rosenthal TC, Majeroni BA, Pretorius R, Malik K. Fatigue: an overview. *Am Fam Physician.* 2008;78(10):1173-9.
15. Zierath JR, Hawley JA. Skeletal muscle fiber type: influence on contractile and metabolic properties. *PLoS Biol.* 2004;2(10):348.
16. Lunz W, Peluzio MC, Dias CM, Moreira AP, Natali AJ. Long-term aerobic swimming training by rats reduces the number of aberrant crypt foci in 1,2-dimethylhydrazine-induced colon cancer. *Braz J Med Biol Res.* 2008;41(11):1000-4.
17. De Feo P, Di Loreto C, Lucidi P, Murdolo G, Parlanti N, De Cicco A, et al. Metabolic response to exercise. *J Endocrinol Invest.* 2003;26(9):851-4.
18. Essig DA. Contractile activity-induced mitochondrial biogenesis in skeletal muscle. *Exerc Sport Sci Rev.* 1996;24:289-319.

Recebido: 29/07/2008 – Aceito: 08/10/2008