AUTORES:

Júlio Daniel Barros Pacheco ¹
 Paula Maria N G da Rocha ¹
 Carlos Eduardo da S Teixeira ¹
 José Alberto Ramos Duarte ¹

¹ CIAFEL, Faculdade de Desporto
 da Universidade do Porto, Porto

<https://doi.org/10.5628/rpcd.16.01.32>

O treino com exercícios de contração excêntrica induz a longo prazo fibrose muscular esquelética

PALAVRAS CHAVE:

Exercício excêntrico. Tolerância.
 Tecido conjuntivo. Colagénio. Endomísio.
 Músculo Quadríceps.

SUBMISSÃO: 18 de Outubro de 2015
 ACEITAÇÃO: 24 de Fevereiro de 2016

RESUMO

O exercício excêntrico (ExEx), inabitual ou extenuante, é um indutor de dano muscular esquelético. Contudo, quando repetido no tempo, de forma habitual, motiva tolerância muscular a essa agressão. Apesar das adaptações crónicas das fibras musculares poderem explicar alguma desta tolerância, não é de excluir a possível contribuição do aumento do tecido conjuntivo muscular para essa proteção induzida pelo treino. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar as alterações no conteúdo de colagénio do músculo *quadríceps* sujeito a treino com ExEx. Ratos Wistar machos foram divididos em dois grupos ($n = 5$ por grupo): sedentário controlo (SED) e treinado (TR). Os animais TR praticaram corrida em tapete rolante (-25%; 30m/ minuto; 60 min) 1x/ semana, durante 8 semanas. A atividade sanguínea da creatina quinase (CK) foi avaliada ao longo do protocolo e, após sacrifício, recolheu-se o músculo *quadríceps* para análise histológica. Os resultados da CK demonstraram o efeito protetor do treino ao exercício ($p = .002$). Nos músculos esqueléticos, observou-se um aumento da área de secção transversal ($p < .000$) das fibras musculares, simultaneamente com um aumento do conteúdo total de colagénio e da espessura do endomísio ($p < .000$). É possível concluir-se que, paralelamente ao efeito de tolerância, o treino ExEx promoveu um acentuado aumento do conteúdo muscular esquelético de colagénio e um incremento moderado da área de secção transversal das fibras musculares.

Workout with exercises of eccentric contraction induces skeletal muscle fibrosis in the long-term

ABSTRACT

Eccentric exercise (EcEx), especially when unusual or strenuous, is harmful to the skeletal muscle. However, when usually repeated through time, it motivates tolerance to future exercises. Despite the chronic adaptations of muscle fibers may explain some of this tolerance, the possible contribution of increased connective tissue to the training-induced protection cannot be excluded. The objective of this study was to evaluate the changes in the collagen content of EcEx trained quadriceps. Male wistar rats were divided into two groups ($n = 5$ per group): sedentary control (SED) and trained (TR). The TR animals practiced downhill running on a treadmill (-25%; 30 meters/ minute; 60 minutes) 1 x/ week, for 8 weeks. Blood activity of creatine kinase (CK) was measured during the protocol and, after sacrifice, the quadriceps muscle was collected to histological analysis. CK results demonstrated a progressive training protective effect to exercise bout ($p = .002$). In TR skeletal muscles, there was a moderate increase in muscle fibers cross-sectional area ($p < 0.000$), simultaneously with a huge increase in the total collagen content and endomysium thickness ($p < .000$). It can be concluded that, in addition to the tolerance effect, EcEx training induced a remarkable increase in skeletal muscle collagen content, in parallel with a moderate increase of muscle fibers' cross-sectional area.

KEYWORDS:

Eccentric exercise. Tolerance. Connective tissue.
 Collagen. Endomysium. Quadriceps muscle.

INTRODUÇÃO

O tecido muscular esquelético possui uma forte capacidade plástica, estando em constante adaptação às exigências fisiológicas a que é solicitado ⁽²³⁾. Durante o exercício físico e comparativamente ao repouso, os músculos esqueléticos solicitados estão sujeitos a um maior stress metabólico e/ ou mecânico, dependendo do tipo de contrações efetuadas. As contrações excêntricas são aquelas com maior potencial lesivo para o músculo ⁽²⁰⁾, uma vez que, comparativamente às contrações concêntricas e isométricas, recrutam uma menor quantidade de unidades motoras para o mesmo trabalho efetuado, levando a uma distribuição do stress mecânico por uma menor quantidade de fibras musculares ⁽¹⁾. Desta forma, a prática inabitual ou extenuante de exercícios com predomínio de contrações excêntricas, pela grande sobrecarga mecânica imposta, tende a induzir dano sobre as estruturas musculares, podendo, em situações de grande exigência, motivar o aparecimento de uma entidade anatomopatológica nos músculos recrutados denominada por miopatia do exercício, com manifestações clínicas e laboratoriais ⁽⁹⁾.

Como consequência desta agressão pelo exercício, é despoletada localmente uma reação inflamatória, com a consequente invasão leucocitária ^(5, 22), semelhante ao modelo inflamatório padrão observado noutros tecidos ^(11, 12), seguindo-se também um processo reparativo, envolvendo a regeneração e/ou cicatrização, idêntico aos geralmente descritos para outros estímulos lesivos ^(9, 21). A reparação pode ocorrer durante semanas, como demonstra a presença de núcleos em posição central das fibras musculares ^(10, 13, 14, 16).

Curiosamente, durante a recuperação a este dano agudo, desencadeiam-se adaptações que capacitam o músculo de uma maior tolerância para estímulos idênticos futuros ^(18, 19), estando este fenómeno na base da proteção muscular ao exercício em indivíduos treinados. A existência de uma menor resposta inflamatória, local e sistémica, a menor atividade da CK circulante e uma recuperação mais rápida dos níveis de força máxima perdidos após o exercício, culminando numa sensação retardada de desconforto muscular reduzida ^(4, 19), são alguns exemplos desta maior tolerância induzida pelo treino para exercícios futuros.

A maioria da investigação efetuada sobre o processo reparativo muscular após exercício tem-se centrado no estudo das alterações fenotípicas das fibras musculares esqueléticas, estando, por exemplo, já bem documentada a hipertrofia das fibras musculares após treino ExEx ^(2, 15, 18, 27). No entanto, a matriz extracelular, sendo uma estrutura complexa composta principalmente por proteoglicanos, glicoproteínas e colagénio, é essencial para providenciar uma boa funcionalidade, integridade e organização estrutural, retransmitindo sinais mecânicos e regulando o comportamento de outras células aí residentes, tal como as células satélite ⁽²⁶⁾, possibilitando ao mesmo tempo uma melhor distribuição e suporte das tensões mecânicas ao longo do músculo ⁽¹⁹⁾. Por esta razão, é possível que o tecido conjuntivo possua também um papel importante na tolerância induzida pelo exercício,

apesar de pouca atenção por parte dos investigadores lhe ter sido dada. Por exemplo, num desses estudos, está descrito um aumento da expressão dos genes envolvidos na síntese de colagénio no músculo esquelético após treino com ExEx ⁽¹⁹⁾ apesar de não haver evidência histológica da maior deposição de colagénio nesses músculos treinados.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo principal verificar o efeito crónico do treino com ExEx no espaço extracelular, nomeadamente no conteúdo de colagénio e na espessura do endomísio, assim como a área de secção transversal das fibras musculares no músculo *quadriceps* do rato (reto femoral; vasto lateral; vasto medial). Espera-se, como efeito crónico da repetição do ExEx, um aumento da quantidade de colagénio no espaço extracelular em geral, assim como um aumento da espessura do endomísio, em particular, juntamente com um aumento da área de secção transversal das fibras musculares.

MATERIAL E MÉTODOS

MODELO ANIMAL E DESENHO EXPERIMENTAL

Para a realização do estudo foram utilizados 10 ratos Wistar, machos com 16 semanas de idade, provenientes de *Charles River Laboratories*, Espanha S. A. (Barcelona). Os animais foram mantidos em gaiolas coletivas (5 por gaiola), em condições ambientais controladas (21°C-22°C de temperatura, 50%-60% humidade), num ciclo de luz/ escuridão invertido de 12h e com livre acesso à água e comida comercial para roedores (dieta padrão de laboratório 4RF21®, Mucedola, Itália). Após uma semana de aclimatização os animais foram distribuídos aleatoriamente por dois grupos: grupo controlo sedentário (SED, $n = 5$, peso de $466g \pm 28,99g$) e grupo experimental exercitado (TR, $n = 5$, peso de $461g \pm 43,09g$).

Os animais do grupo TR foram submetidos a um protocolo de treino em tapete rolante (*Treadmill Control LE 8710, Harvard Apparatus*, USA), com declive negativo (-25°, 30 metros/ minuto, durante 60 minutos), uma vez por semana, ao longo de oito semanas. Antes do início do protocolo o grupo TR teve uma semana de adaptação ao tapete (10 min/ dia sem inclinação e a baixa intensidade durante a aclimatização). Os animais do grupo SED permaneceram limitados ao espaço da gaiola durante todo o protocolo experimental.

Durante o protocolo foram efetuadas recolhas sanguíneas de 32 ml numa veia da cauda, para medição da atividade sanguínea de CK. A todos os grupos foi efetuada uma colheita basal, antes do início do protocolo. Aos animais do grupo TR, as recolhas sanguíneas aconteceram 48 horas após cada sessão de treino. Os valores de CK, expressos em unidades por litro (μ/L), foram medidos com tiras apropriadas (*Roche, Ref 373007*) com recurso a um aparelho de química seca, o reflotron analyser (*The Reflotron Plus, Roche Diagnostics*, Almere, Holanda).

Uma semana após a oitava sessão de treino, os animais foram anestesiados com injeção intraperitoneal de ketamina e xilazina e eutanizados por exsanguinação, procedendo-se de seguida à colheita amostral dos músculos quadríceps (reto femoral; vasto lateral; vasto medial).

MICROSCOPIA ÓTICA E ANÁLISE HISTOLÓGICA

Após excisão dos músculos *quadríceps*, estes foram seccionados em porções de menores dimensões (4 a 5 porções) e imersos, durante 24h, numa solução de paraformaldeído 4% (v/v) em tampão PBS 0.1M, pH 7.2, a 4 °C para fixação. De seguida, as porções foram lavadas com tampão PBS 0.1M pH 7.2 e desidratadas através de etanol graduado. Foram diafanizadas em xileno e incluídas em parafina, utilizando-se numa primeira fase soluções de xileno: parafina em diferentes proporções e, numa segunda fase, parafina pura.

Secções transversais (5 µm de espessura) dos blocos de parafina foram cortadas num micrótomo (*Leica, RM 2125*) e colocadas em lâminas revestidas a silano. As secções foram desparafinadas em xileno e hidratadas através de etanol graduado. Parte das lâminas foram coradas com Hematoxilina-Eosina e a outra parte corada com picrosirius Red, de acordo com o método descrito por Sweat, Puchtler e Rosenthal ⁽²⁵⁾. Para montagem das lâminas usou-se o DPX.

Procedeu-se à análise das lâminas ao microscópio ótico com digitalização aleatória de fotos através de uma câmara digital acoplada (*AxioCam MRc5, Axio Imager A1, Carl Zeiss; Alemanha*).

ANÁLISE DA ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA E DA POSIÇÃO DO NÚCLEO DAS FIBRAS MUSCULARES

Fotos aleatórias coradas com hematoxilina-eosina de magnitude 100x foram analisadas pelo software ImageJ 1.50b (*National Institute of Health, EUA*) para contagem da área de secção transversal e posição do núcleo das fibras musculares. A cada fibra muscular, simultaneamente à medição da área de secção transversal, foi atribuída a classificação 0 quando o seu núcleo se encontrasse em posição periférica e a classificação 1 quando o seu núcleo se encontrasse em posição central. O número total de fibras musculares analisadas nos grupos SED e TR foi de 13345 e 14295, respetivamente.

ANÁLISE DO CONTEÚDO TOTAL DE COLAGÉNIO E ESPESSURA DO ENDOMÍSIO

Fotos aleatórias coradas com Picrosirius Red, de magnitude 400x, foram analisadas pelo software Image-Pro Plus 6.0 (*Media Cybernetics, Inc.*). Analisaram-se no total 100 fotos, 50 por cada grupo e 10 por cada músculo. Quantificou-se a área percentual (rácio) de colagénio por tecido muscular. Para a medição da espessura da parede do endomísio, fotos aleatórias coradas com Picrosirius Red de magnitude 400x foram analisadas pelo software ImageJ 1.50b (*National Institute of Health, EUA*). No total analisaram-se 1800 pontos de medição, 900 por cada grupo e 180 por cada músculo. Foram apenas medidas as

paredes de endomísio cujas fibras musculares se encontravam justapostas. Cada parede que separava duas células foi medida em três pontos distintos, diminuindo assim a probabilidade de medir apenas zonas de menor ou maior espessura.

ANÁLISE DOS ÍNDICES DE DANO MUSCULAR

Fotos aleatórias, coradas com hematoxilina-eosina, de magnitude 400x, foram avaliadas segundo quatro parâmetros indicadores de dano muscular: (a) sinais de degenerescência celular (dilatação das fibras, vacuolização, presença de núcleos picnóticos e densidade sarcoplasmática); (b) sinais de necrose (fibras musculares necróticas ou eosinofílicas); (c) sinais da presença de reação inflamatória (leucócitos intersticiais ou no interior das fibras); e (d) grau de desorganização tecidual, de acordo com a metodologia previamente descrita ^(6, 7, 8). Analisaram-se no total 100 fotos, 50 por cada grupo e 10 por músculo.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para testar a normalidade dos dados usou-se o teste Kolmogorov-Smirnov para amostras com $n > 50$ (valores da área de secção transversal das fibras musculares; valores do conteúdo total de colagénio e valores do espessamento do endomísio) e o teste Shapiro-Wilk para amostras com $n < 50$ (valores da atividade sanguínea de CK). As variáveis com distribuição não normal ou categóricas foram apresentadas sobre a forma de mediana e intervalo interquartil, enquanto que as variáveis com distribuição normal foram apresentadas sobre a forma de média $\pm$ desvio padrão. Para comparar as diferenças intergrupais foi utilizado o teste não-paramétrico *U* de Mann-Whitney (variáveis categóricas ou sem distribuição normal), o teste não-paramétrico de Friedman para a análise de variáveis com medidas repetidas (atividade da CK) e o teste de Qui-Quadrado para análise bivariada (posição do núcleo na fibra muscular). O nível de significância estabelecido foi de 5%. Para a análise dos dados recorreu-se ao programa *IBM SPSS Statistics* (versão 23).

RESULTADOS

RESULTADOS DA ANÁLISE DA ATIVIDADE SANGUÍNEA DE CK

Não se verificaram diferenças entre os valores basais de ambos os grupos. Durante o protocolo de treino verificou-se um aumento significativo no grupo TR ($p = .002$) dos valores de CK 48 horas após o primeiro exercício do protocolo. Contudo, após as restantes sessões de treino, os valores de CK retomaram os níveis basais demonstrando a tolerância adquirida pelo primeiro exercício (FIGURA 1).

FIGURA 1. Gráfico de linhas representativas da variação da concentração de CK sanguínea.

RESULTADOS DA ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSAL E POSIÇÃO DO NÚCLEO DA FIBRA MUSCULAR

O treino também induziu um aumento significativo da área de secção transversal das fibras musculares do quadríceps, tal como pode ser verificado na QUADRO 1. Comparativamente ao grupo SED, o grupo TR teve um aumento de 20.9% deste parâmetro.

QUADRO 1. Valores da mediana (intervalo interquartil) de cada grupo e dos testes estatísticos referentes à área de secção transversal, conteúdo total de colagénio e espessura do endomísio.

GRUPOS	ÁREA SECÇÃO TRANSVERSAL (MM ²)	CONTEÚDO TOTAL COLAGÉNIO (%)	ESPESSURA ENDOMÍLIO (MM)
SED	1842.0(1237.7-2675.8)	3.7 (2.3-5.1)	0.477 (0.405-0.573)
TR	2226.3 (1593.9-3009.8)	13.4 (8.8-20.7)	0.778 (0.589-1.057)
Mann-Whitney U Asymp. Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000

SED – Grupo sedentário, TR – Grupo treinado

Ainda relativamente à análise da fibra muscular, observou-se no grupo TR um aumento significativo ($p < .000$) da quantidade de fibras musculares com o núcleo em posição central. Enquanto no grupo SED 3.8 % do total das fibras musculares analisadas apresentaram o núcleo em posição central, no grupo TR 6% do total das fibras analisadas apresentaram núcleo em posição central (FIGURA 3).

FIGURA 2. Fotografias representativas de cortes histológicos do quadríceps, corados com picrosirius red, de animais do grupo SED (A + B) e do grupo TR (C + D). É possível verificar de forma clara um maior conteúdo de colagénio e um aumento da espessura da parede do endomísio no grupo TR comparativamente ao grupo SED.

FIGURA 3. Fotografias representativas de cortes histológicos do quadríceps, corados com hematoxilina-eosina, de animais do grupo SED (A + B) e do grupo TR (C + D). É possível observar no grupo TR um aumento das fibras com núcleo central (assinalado com setas brancas), característica representativa de uma superior degeneração muscular. Ainda pode ser observada uma fibra necrótica na foto D caracterizada pela forma redonda e edemaciada, infiltrada por leucócitos.

RESULTADOS DO CONTEÚDO TOTAL DE COLAGÉNIO

O protocolo experimental resultou num aumento significativo da percentagem do conteúdo de colagénio por quantidade de tecido muscular (QUADRO 1). Comparativamente ao grupo SED, o grupo TR sofreu um aumento exuberante de 262.2% neste parâmetro, tal como demonstrado no QUADRO 1 e observado na FIGURA 2.

RESULTADOS DA ESPESSURA DO ENDOMÍCIO

Durante o período experimental, o treino provocou um aumento significativo da espessura da parede do endomísio. Comparativamente ao grupo SED, o grupo TR sofreu aumentos de 74% deste parâmetro, tal como ilustrado no QUADRO 1 e na FIGURA 2.

RESULTADOS DOS ÍNDICES DE DANO MUSCULAR

Não foram encontradas diferenças significativas entre os dois grupos relativamente à totalidade do dano muscular (QUADRO 2). O mesmo se observou nas comparações intergrupais de cada uma das quatro variáveis de dano muscular avaliadas. No QUADRO 2 também é possível verificar que os valores da mediana de todas as variáveis possuem um valor igual a 0, expressando o baixo nível de dano muscular oito dias após o término do protocolo experimental, em ambos os grupos.

QUADRO 2. Valores da mediana (intervalo interquartil) dos testes estatísticos referentes aos índices de dano muscular total e individual (degeneração, inflamação, necrose e organização) de cada grupo.

GRUPOS	DEGENERESCÊNCIA CELULAR	RESPOSTA INFLAMATÓRIA	NECROSE CELULAR	DESORGANIZAÇÃO TECIDUAL	DANO TOTAL
SED	0(0-1)	0(0-1)	0(0-0)	0(0-0)	0(0-1)
TR	0(0-1)	0(0-1)	0(0-0)	0(0-0)	0(0-2)
Mann-Whitney <i>U</i> <i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>	.277	.519	.707	.317	.487

SED – Grupo sedentário, TR – Grupo treinado

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que a prática repetida de ExEx induziu um efeito de tolerância e um acentuado aumento da área percentual do conteúdo de colagénio muscular, juntamente com o aumento da espessura da parede do endomísio. Os nossos resultados também mostram que o treino ExEx promoveu uma hipertrofia moderada das fibras musculares.

No que respeita à atividade sanguínea de CK, convém referir que esta enzima tem sido frequentemente usada na investigação científica como um importante marcador de lesão muscular, estando a sua atividade elevada após a prática de ExEx inabitual ⁽³⁾. O aumen-

to da atividade de CK 48 horas após a primeira sessão de treino era esperado e está de acordo com a literatura. Tal como explicam Duarte, Mota, Neuparth, Appell e Soares ⁽⁹⁾, a miopatia induzida pelo exercício é superior quando este é inabitual e/ ou extenuante, sendo mais intensa quando o exercício praticado possui elevada percentagem de contrações excêntricas. O retorno desta variável a valores basais 48 horas após a segunda sessão de treino, mantendo-se assim nas avaliações subsequentes, sugere a ocorrência de adaptações protetoras teciduais induzidas pela primeira sessão e que se mantiveram ao longo do protocolo de treino. A inexistência de diferenças intergrupais na análise semi-quantitativa do dano muscular correspondeu ao esperado, apoiando também a ideia de tolerância ao exercício, uma vez que não demonstra a presença significativa de insultos focais no músculo *quadríceps* dos animais TR. Desta forma, os níveis de degenerescência muscular, da resposta inflamatória, da necrose celular e da desorganização celular dos músculos exercitados foram idênticos à dos músculos sedentários, estando todos muito próximo de 0, valor equivalente a uma aparência estrutural muscular normal.

Quanto às alterações fenotípicas estruturais musculares, o aumento significativo da área de secção transversal das fibras musculares encontra-se em conformidade com a literatura ^(2, 15, 17, 18, 27, 28). O ExEx demonstrou ser um potenciador do crescimento das fibras musculares, bastando apenas uma sessão de treino por semana (durante 8 semanas). Para este parâmetro foram avaliadas mais de 27500 fibras, um valor bastante superior à média de fibras analisadas noutros trabalhos, permitindo uma melhor caracterização e avaliação de todo o músculo, e, ao mesmo tempo, ultrapassando algumas das limitações que podem ser apontadas à metodologia de outros trabalhos, nomeadamente a da análise insuficiente e não representativa das fibras musculares. Este aumento da área de secção transversal das fibras pode ser explicado pelo incremento do número de sarcómeros em paralelo, isto é, pelo maior número de miofibrilas, situação que ajudará a dissipar a energia através da repartição do stress mecânico por uma maior quantidade de miofibrilas, podendo assim diminuir a possibilidade de dano estrutural e contribuir para a tolerância ao exercício presente em indivíduos treinados ⁽¹⁵⁾. Este processo miogénico é apoiado pelo maior número, estatisticamente significativo, de fibras musculares com presença de núcleos centrais. Esta centralidade nuclear representa um fator típico de regeneração celular ^(13, 14, 16), estando relacionada com uma elevada concentração de células satélite (verificada oito dias após o estímulo) ⁽²²⁾ e o seu processo de diferenciação em mioblastos, miotubos e fusão com as miofibras em reparação ⁽⁹⁾. Desta forma, este fenómeno parece representar o estímulo das fibras musculares e o consequente processo miogénico induzido pelo exercício em causa.

Além das adaptações morfológicas detetadas nas fibras musculares esqueléticas, também verificámos uma alteração estrutural no tecido conjuntivo, um tecido essencial para providenciar uma boa integridade, organização e funcionalidade musculares ⁽²⁶⁾. Comparativamente às alterações ocorridas nas dimensões das fibras musculares, é de realçar

que as modificações do tecido conjuntivo foram, proporcionalmente, mais exuberantes. Num outro estudo ⁽¹⁹⁾ já tinha sido constatado um aumento da expressão de mRNA para a síntese de colagénio após um único treino de ExEx, mas os nossos dados suportaram histologicamente esses dados bioquímicos como efeito crónico do treino ExEx. Observámos, ao mesmo tempo, um aumento de 74% da espessura do endomísio, sendo de realçar que, apesar de existirem artigos que defendam o aumento da matriz extracelular como resultado da prática de ExEx, não foi encontrado nenhum trabalho que tivesse estudado histologicamente o efeito do ExEx na espessura da parede do endomísio. Estas adaptações extracelulares são extremamente importantes para o músculo, uma vez que se especula fornecerem alguma proteção contra posteriores estímulos danosos ⁽¹⁹⁾, através de uma melhor dissipação das tensões sofridas pelas fibras musculares e aumento da rigidez passiva e ativa do sistema muscular ^(18, 19, 26). Além disso, estão relacionadas com a redução de sinais de dano muscular, entre os quais se encontram uma menor infiltração leucocitária e CK sanguínea ^(4, 19), sendo fortes mecanismos hipotéticos da tolerância ao ExEx. Contudo, a produção excessiva dos componentes característicos da matriz extracelular, da qual faz parte o colagénio, através da ativação excessiva e recorrente dos fibroblastos, é uma característica presente em patologias como a distrofia muscular de Duchenne, e no próprio envelhecimento, com inerente redução da funcionalidade do músculo ⁽²⁴⁾. Estes resultados sugerem que, apesar desta formação de tecido fibrótico ser vantajosa no suporte estrutural contra posteriores exercícios excêntricos idênticos, o mesmo pode não se acontecer noutras exigências fisiológicas, como por exemplo com a necessidade de distensibilidade usada para altas amplitudes articulares.

No seguimento da análise dos possíveis efeitos responsáveis pela tolerância ao exercício induzida pelo treino, além das alterações morfológicas extracelulares e ao nível da fibra muscular, é importante referir que também podem ter existido influências neuronais favoráveis que não foram avaliadas. Uma melhor sincronização das unidades motoras ativadas e um aumento do número de fibras em contração ⁽⁴⁾ são alguns dos mecanismos neuronais provocados pelo treino, sendo estes também capazes de repartir o stress por uma maior quantidade de músculo e diminuir a probabilidade de dano. Estas alterações surgem temporalmente mais cedo do que as adaptações morfológicas, sugerindo uma explicação para o facto dos valores da atividade sanguínea da CK terem sofrido um cedo retorno aos níveis basais logo após o 2º exercício.

Em conclusão, o ExEx praticado uma vez por semana induziu, de forma crónica, um aumento moderado da área de secção transversal das fibras musculares e um acentuado incremento da deposição de colagénio e do espessamento do endomísio, sendo estes alguns dos mecanismos hipotéticos explicativos da tolerância ao exercício verificada na redução dos valores sanguíneos de CK.

REFERÊNCIAS

- Abbott BC, Bigland B, Ritchie JM (1952). The physiological cost of negative work. *J Physiol* 117(3): 380–390.
- Atherton PJ, Smith K (2012). Muscle protein synthesis in response to nutrition and exercise. *J Physiol* 590(Pt 5): 1049–1057. doi:10.1113/jphysiol.2011.225003
- Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM (2007). Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull* 81-82: 209-230.
- Dartnall TJ, Nordstrom MA, Semmler JG (2011). Adaptations in biceps brachii motor unit activity after repeated bouts of eccentric exercise in elbow flexor muscles. *J Neurophysiol* 105(3):1225-1235. doi:10.1152/jn.00854.2010
- Dehne N, Kerkweg U, Flohé SB, Brüne B, Fandrey J (2011). Activation of hypoxia-inducible factor 1 in skeletal muscle cells after exposure to damaged muscle cell debris. *Shock* 35(6): 632-638. doi:10.1097/SHK.0b013e3182111f3d
- Dinis-Oliveira RJ, Duarte JA, Remião F, Sánchez-Navarro A, Bastos ML, Carvalho F (2006). Single high dose dexamethasone treatment decreases the pathological score and increases the survival rate of paraquat-intoxicated rats. *Toxicol* 227(1-2): 73-85.
- Dinis-Oliveira RJ, Remião F, Duarte JA, Ferreira R, Sánchez Navarro A, Bastos ML, Carvalho F (2006). P-glycoprotein induction: an antidotal pathway for paraquat-induced lung toxicity. *Free Radic Biol Med* 41(8): 1213-1224.
- Dinis-Oliveira RJ, Sousa C, Remião F, Duarte JA, Navarro AS, Bastos ML, Carvalho F (2007). Full survival of paraquat-exposed rats after treatment with sodium salicylate. *Free Radic Biol Med* 42(7): 1017-1028.
- Duarte JA, Mota MP, Neuparth MJ, Appell HJ, Soares JMC (2001). Miopatia do exercício: anatomopatologia e fisiopatologia. *Rev Port Cienc Desporto* 1(2): 73-80.
- Duarte JA, Soares JMC, Carvalho F, Bastos ML, Appell HJ (1994). Do invading leucocytes contribute to the decrease in glutathione concentrations indicating oxidative stress in exercised muscle, or are they important for its recovery? *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 68(1): 48-53.
- Duarte JAR (1998). *Miopatia do exercício: alterações morfológicas no músculo esquelético do ratinho sujeito a dois protocolos diferentes de corrida*. Porto: FCDEF-UP.
- Duarte JAR (1993). *Lesões celulares do músculo esquelético induzidas pelo exercício físico*. Tese de doutoramento, Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Portugal.
- Duarte JAR, Appell HJ, Carvalho F, Bastos ML, Soares JM (1993). Endothelium-derived oxidative stress may contribute to exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 14(8): 440-443.
- Duarte JAR, Soares JMC, Appell HJ (1992). Nifedipine diminishes exercise-induced muscle damage in mouse. *Int J Sports Med* 13(3):274-277.
- Flann KL, LaStayo PC, McClain DA, Hazel M, Lindstedt SL (2011). Muscle damage and muscle remodeling: no pain, no gain? *J Exp Biol* 214(Pt 4): 674-679. doi:10.1242/jeb.050112
- Folker ES, Baylies MK (2013). Nuclear positioning in muscle development and disease. *Front Physiol* 4: 363. doi:10.3389/fphys.2013.00363
- Franchi MV, Wilkinson DJ, Quinlan JI, Mitchell WK, Lund JN, Williams JP, Reeves ND, Smith K, Atherton PJ, Narici MV (2015). Early structural remodeling and deuterium oxide-derived protein metabolic responses to eccentric and concentric loading in human skeletal muscle. *Physiol Rep* 3(11): e12593. doi:10.14814/phy2.12593
- Guilhem G, Cornu C, Guével A (2010). Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isometric and isokinetic eccentric exercise. *Ann Phys Rehabil Med* 53(5):319-341. doi:10.1016/j.rehab.2010.04.003.
- Hyldahl RD, Nelson B, Xin L, Welling T, Groscole L, Hubal MJ, Chipkin S, Clarkson PM, Parcell AC (2015). Extracellular matrix remodeling and its contribution to protective adaptation following lengthening contractions in human muscle. *FASEB J* 29(7): 2894-2904. doi:10.1096/fj.14-266668
- Lieber RL, Friden J (1999). Mechanisms of muscle injury after eccentric contraction. *J Sci Med Sport* 2(3): 253-265.
- Paulsen G, Egner IM, Drange M, Langberg H, Benestad HB, Fjeld JG, Hallén J, Raastad T (2010). A COX-2 inhibitor reduces muscle soreness, but does not influence recovery and adaptation after eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 20(1): e195-207. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00947.x.
- Paulsen G, Ramer Mikkelsen U, Raastad T, Peake JM (2012). Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exerc Immunol Rev* 18: 42-97.

23. Saclier M, Cuvelier S, Magnan M, Mounier R, Chazaud B (2013). Monocyte/ macrophage interactions with myogenic precursor cells during skeletal muscle regeneration. *FEBS J* 280: 4118-4130.
24. Serrano AL, Muñoz-Cánoves P (2010). Regulation and dysregulation of fibrosis in skeletal muscle. *Exp Cell Res* 316(18): 3050-3058. doi:10.1016/j.yexcr.2010.05.035
25. Sweat F, Puchtler H, Rosenthal SI (1964). Sirius Red F3BA as a Stain for Connective Tissue. *Arch Pathol* 78: 69-72.
26. Thomas K, Engler AJ, Meyer GA (2015). Extracellular matrix regulation in the muscle satellite cell niche. *Connect Tissue Res* 56(1): 1-8. doi:10.3109/03008207.2014.947369
27. Touchberry CD, Gupte AA, Bomhoff GL, Graham ZA, Geiger PC, Gallagher PM (2012). Acute heat stress prior to downhill running may enhance skeletal muscle remodeling. *Cell Stress Chaperones* 17(6): 693-705. doi:10.1007/s12192-012-0343-5
28. Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M, Medbø JI, Gundersen V, Gundersen K (2006). Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Med Sci Sports Exerc* 38(10): 1770-1781.

AUTORES:

Gustavo de Conti T Costa ¹
 Juliana Sampaio Ceccato ²
 Breno Evangelista ³
 Heitor Andrade ¹
 Mário Hebling Campos ⁴
 José Afonso ⁵

¹ Esporte Lab – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil

² Centro Universitário Estácio de Belo Horizonte, Belo Horizonte, Brasil

³ SESI, Itaúna, Brasil

⁴ Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil

⁵ CIFI'D, Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Porto, Portugal

<https://doi.org/10.5628/rpcd.16.01.45>

Voleibol masculino

de alto nível: Análise contextual do jogo praticado pelo atacante de zona 4 na Superliga Brasileira de 2014/ 2015

PALAVRAS CHAVE:

Voleibol. Ataque. Análise situacional.

SUBMISSÃO: 6 de Janeiro de 2016

ACEITAÇÃO: 15 de Março de 2016

RESUMO

O presente estudo pretendeu analisar a associação das características do ataque por zona 4, tempo e tipo de ataque com o efeito do mesmo, tendo por referência a qualidade da recepção do serviço, na Superliga Brasileira de voleibol masculino. Compõe a amostra do presente estudo 5267 ações de ataque realizadas em zona 4. Para isso, recorreu-se à observação de 142 jogos, totalizando 522 sets disputados pelas 12 equipas participantes da Superliga Brasileira Masculina de 2014/ 2015. Os resultados mostraram que houve associação significativa, mas de magnitude reduzida ($\chi^2 = 116.28$, $p < .001$, $f = .15$), do tempo de ataque e tipo de ataque com o efeito do ataque, de acordo com o efeito da recepção. De igual modo, a análise dos fatores preditivos mostrou-se estatisticamente significativa após a recepção A ($\chi^2 = 221.87$; $p < .001$). Os resultados mostraram que, após as recepções de elevada qualidade, os ataques de 1º e 2º tempo, bem como os ataques potentes, se mostraram como fatores preditivos do efeito do ataque. Conclui-se que o jogo praticado pelo atacante de zona 4 na Superliga Brasileira masculina reivindicou recepções de elevada qualidade, e que um tempo de ataque mais veloz e o recurso a ataques potentes foram relevantes para a conquista do ponto. Contudo, os efeitos foram de magnitude reduzida, convidando a cautela na interpretação dos dados.