

Serão o tipo de contração e a amplitude dos exercícios de treino de força, determinantes na melhoria da funcionalidade e qualidade muscular?

Autores

Maria João Valamatos¹

António Veloso¹

mjvalamatos@fmh.ulisboa.pt

Resumo

O presente estudo pretendeu analisar a influência do tipo de contração e da amplitude dos exercícios de treino de força nas respostas morfológicas e arquiteturas do vasto externo (VE) e quais as respetivas consequências na funcionalidade e qualidade musculares. Vinte e oito participantes concluíram a fase experimental do estudo, tendo realizado treino de força concêntrico (GConc) ou excêntrico (GExc) durante 15 semanas, com 3 sessões semanais, em equipamento isocinético e direcionado para os extensores dos joelhos. Um dos membros foi trabalhado na amplitude total (100°) e o membro contra lateral na amplitude articular funcional (60°). O volume muscular do VE, medido por ressonância magnética, aumentou em sequência de todos os protocolos de treino, com exceção do treino excêntrico parcial. O comprimento do fascículo (Lf) e o ângulo de penação (θ_p) do VE, medidos por ultrassonografia, aumentaram significativamente, após o treino excêntrico (Lf) e concêntrico (θ_p), respetivamente. A qualidade muscular (tensão específica), entendida como a capacidade de produção de força por unidade de músculo, foi melhor potenciada com exercícios de amplitude total. Estes resultados evidenciam adaptações específicas ao tipo de contração e à amplitude dos exercícios de treino, e salientam a importância que estas variáveis devem assumir na prescrição de protocolos de treino, sobretudo quando se procuram adaptações específicas e diferenciadoras da prestação desportiva.

Palavras-chave

Treino de Força; Tipo de Contração; Amplitude de Movimento; Arquitetura Muscular; Função Muscular; Ângulo de Penação; Comprimento do Fascículo; Qualidade Muscular; Contrações Excêntricas; Contrações Concêntricas; Amplitude Total; Amplitude Parcial

¹ CIPER - Centro Interdisciplinar da Performance Humana, Faculdade de Motricidade Humana

INTRODUÇÃO

Dado que a arquitetura muscular é altamente plástica, a carga mecânica aumentada, traduzida num programa de treino de força devidamente orientado, pode contribuir para a otimização da função muscular e do desempenho desportivo. A literatura tem demonstrado que o tecido muscular, quando sujeito a sobrecarga mecânica, desenvolve uma série de processos fisiológicos e metabólicos que conduzem a alterações morfológicas, com relativa melhoria da capacidade funcional. Em resposta a diferentes programas de treino é comum observar-se tanto um aumento do volume muscular [1-3], como uma reorganização das fibras musculares, traduzidas no aumento do ângulo de penação [3, 4] ou do comprimento do fascículo [2, 5]. Isto significa que existe a real possibilidade da arquitetura muscular se adaptar funcionalmente às diferentes características da carga, promovendo adaptações que podem ser específicas do protocolo de treino desenvolvido. Neste sentido, e face à controvérsia de resultados quanto à influência do tipo de contração [1, 2] e à carência de informação relativamente ao efeito da amplitude de movimento [6, 7] nas adaptações da arquitetura muscular, procurámos investigar se o estímulo de contração excêntrica, por um lado, sendo caracterizado por desenvolver tensões mecânicas elevadas e estar associado a danos estruturais nas fibras musculares, seria um fator promotor de adaptações no comprimento do fascículo e com isso promover o aumento da velocidade de contração e potência muscular. Por outro lado, quisemos também analisar se a dimensão de tais adaptações se manteria quando manipulada a amplitude dos exercícios de treino. Nesse sentido, com o intuito de melhor programar o treino de força e promover adaptações benéficas ao rendimento desportivo, desenvolvemos um processo de treino de 15 semanas para conhecer as respostas morfológicas e arquitetónicas a diferentes tipos de contração muscular (concêntricas versus excêntricas) e distintas amplitudes de movimento (total versus parcial) e quais as respetivas consequências na qualidade muscular e na capacidade de produzir de força.

METODOLOGIA

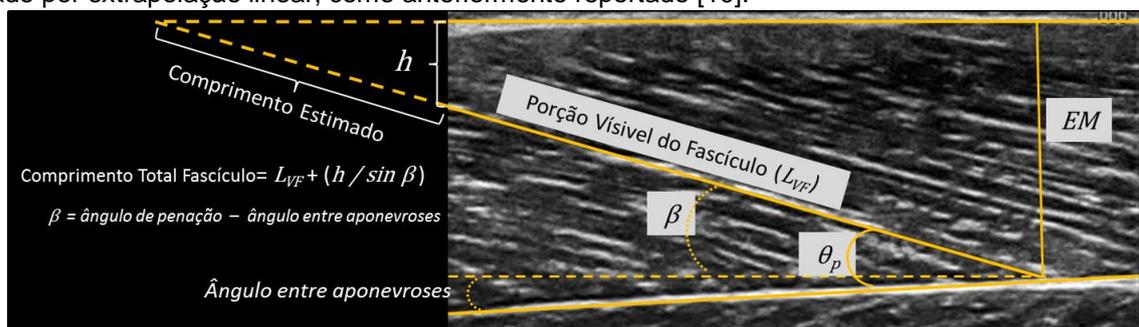
Sujeitos. Vinte e oito participantes concluíram voluntariamente a fase experimental do estudo, tendo sido aleatoriamente distribuídos pelos grupos de estudo: Grupo de Treino Concêntrico (GConc: n= 11, idade: 21,6±3,5 anos, estatura: 174,5±4,5 cm, massa corporal: 71,0±6,9 kg), Grupo de Treino Excêntrico (GExc: n= 9, idade: 19,0±1,2 anos, estatura: 175,6±4,1 cm, massa corporal: 67,0±4,8 kg), e grupo de controlo (n= 8, idade: 26,6±5,2 anos, estatura: 177,8±5,3 cm, massa corporal: 75,7±10,6 kg). Todos os participantes apresentavam uma experiência físico-desportiva homogénea e, embora ativos, não possuíam qualquer experiência em treino de força. A intervenção e todas as avaliações foram projetadas e realizadas de acordo com os requisitos exigidos pela Declaração de Helsínquia para a pesquisa com seres humanos.

Processo de Treino. O processo de treino decorreu durante 15 semanas, com 3 sessões semanais, realizadas num dinamómetro isocinético (Biodex Medical Systems), e

direcionadas para os extensores e flexores dos joelhos. O protocolo de treino consistiu na execução de contrações máximas concêntricas (GConc) e excêntricas (GExc), sendo um dos membros trabalhado na amplitude articular máxima permitida pelo sistema (dos 100 aos 0° de flexão do joelho), e o membro contra lateral na amplitude articular funcional (dos 60 aos 0), combinando estímulos mecânicos pesados (60°/s), moderados (90 e 120°/s) e leves (150 e 180°/s). O volume de treino, traduzido no tempo sob tensão, foi equalizado para todos os grupos de treino, através do aumento do número de séries e de repetições nas condições de amplitude articular reduzida.

Determinação da Arquitetura Muscular do Vasto Externo (VE). A arquitetura muscular do VE, porção predominante dos extensores do joelho [8], foi determinada em repouso, através de ecografia muscular em Modo-B (Hitachi EUB-7500, Medical Corporation, Japan), utilizando um transdutor linear de 10MHz com uma área de visualização de 9 cm. Foram obtidas imagens longitudinais do VE a 50% do seu comprimento [9]. Os sujeitos foram avaliados sentados e instruídos a permanecer relaxados, com o joelho a 10° de flexão. Foram adquiridas imagens de ambas as coxas, tendo-se realizado um mapeamento dos locais de medição para garantir a sua reprodução após o processo de treino. As imagens foram analisadas no software Image-J 1.44p (National Institute of Health) onde se determinou o ângulo de penetração (θ_p), o comprimento do fascículo (L_f) e a espessura muscular (EM) do VE. O θ_p foi determinado no ponto de intersecção do fascículo muscular com a aponevrose interna, através do ângulo formado entre as duas estruturas. O L_f foi definido como a distância desde a origem do fascículo na aponevrose interna até à sua inserção na aponevrose superficial. Nos casos em que não foi possível a visualização integral do fascículo na área de captação do transdutor, o L_f foi estimado por extrapolação linear, conforme descrito na literatura [10, 11] e apresentado na figura 1. A EM foi definida como a distância linear entre as duas aponevroses.

Figura 1 - Medidas de Arquitetura Muscular. Espessura Muscular (EM), Comprimento do Fascículo (L_f) e Ângulo de Penetração (θ_p). Sempre que o fascículo não era totalmente visível na área digitalizada, o L_f foi estimado por extrapolação linear, como anteriormente reportado [10].



Determinação das Propriedades Morfológicas. A determinação das propriedades morfológicas do VE foi realizada através de ressonância magnética num equipamento Signa HDxT 1,5T, GE Healthcare, USA. As sequências foram processadas em densidade protónica, com aquisição de imagens axiais sequenciais de 4mm de espessura, desde a crista ilíaca até aos cêndilos femorais. Durante o período de aquisição, os sujeitos

permaneceram imóveis e relaxados em decúbito dorsal com os joelhos em extensão. A área de secção transversal do VE (ASTA) foi determinada para cada corte axial, através da circunscrição do perímetro do músculo em ambiente OsiriX (v.5.8.5 32-bit) [12], que converte automaticamente os dados de pixels em cm^2 . A ASTA máxima foi definida como a maior ASTA delimitada ao longo do comprimento total do VE. O volume muscular (VVE) foi calculado como o somatório de todas as ASTA's multiplicado pela espessura do corte, e a área de secção transversal fisiológica (ASTF) obtida através da equação $\text{ASTF} = \text{VVE} / (\text{Lf} \times \cos \theta_p)$ [1].

Determinação da Tensão Específica (TE). A TE foi calculada no comprimento muscular ótimo, através da função: $\text{TE} = \text{FVE} / (\text{ASTF})$, onde FVE é a força desenvolvida pelo VE. A FVE foi determinada segundo os procedimentos descritos na literatura [13, 14] recorrendo-se a técnicas de dinamometria isométrica, eletromiografia, electroestimulação, ressonância magnética e ecografia muscular. Foi solicitada aos sujeitos a realização de contrações voluntárias máximas isométricas no ângulo ótimo de produção de força, anteriormente identificado numa contração isocinética a $30^\circ/\text{s}$. O momento máximo de extensão produzido, depois de corrigido para a co-ativação antagonista [13, 14] e para o nível de ativação voluntária [13], foi dividido pelo braço de momento do tendão patelar permitindo o cálculo da força transmitida ao tendão (FTP) [13, 15]. A FVE foi deduzida a partir FTP de acordo com Ichinose et al., [16]: $\text{FVE} = \text{FTP} \times 34\% (\cos \theta_p)^{-1}$, onde 34% é a ASTF relativa à ASTF total do quadricípite.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na apresentação descritiva dos resultados foram considerados a média \pm desvio padrão (DP). As alterações (Δ) entre pré- e pós-treino foram obtidas para as variáveis de força, arquitetura e morfologia musculares. A condição de normalidade das variáveis foi testada através do teste Shapiro-Wilk, e para testar as diferenças entre grupos foi efetuada uma ANOVA-one-way utilizando-se como post-hoc, o teste de Scheffe. Nos casos em que a normalidade não foi verificada, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Mann-Whitney com correção de Bonferroni. O nível de significância foi estabelecido em $p < 0,05$ e, sempre que alcançado, foram determinados o η^2 (Eta Squared) e o Ω^2 (Omega Squared) para cálculo da dimensão do efeito (Effect Size) [17].

Resultados

Ângulo de Penação. Após o treino de força concêntrico, o θ_p do VE aumentou significativamente nas duas condições testadas, não sendo observadas diferenças significativas entre condições (Tabela 1). O treino excêntrico não promoveu qualquer alteração significativa do θ_p , em nenhuma das condições testadas.

Tabela 1 – Valores médios \pm DP, antes e após o processo de intervenção, e ganhos relativos ($\Delta\%$) observados no ângulo de penação do VE, medido a 50% do comprimento do músculo. São apresentados os resultados do teste de comparação de grupos (ANOVA), respetivos testes de *post-hoc* (Scheffe) e indicadores da Dimensão do Efeito para a comparação entre grupos e para as comparações múltiplas.

Ângulo de Penação						
Grupo	Pré-Treino (°)	Pós-Treino (°)	$\Delta\%$	Comparação entre Grupos	Post-hoc	
					Total	Parcial
G. Controlo	17,0 \pm 2,9	17,1 \pm 2,9	0,4	F = 45,920 df = 2 p = 0,000 $\eta^2 = 0,79$ $\Omega^2 = 0,77$	p = 0,000 (d=3,00; $r_{es} = 0,83$)	p = 0,000 (d=4,28; $r_{es} = 0,90$)
GConc_Total	15,5 \pm 1,6	17,0 \pm 1,6	9,5		n.s.	
GConc_Parcial	15,5 \pm 1,7	17,4 \pm 1,8	12,2			
G. Controlo	17,0 \pm 2,9	17,1 \pm 2,9	0,4	n.s.	ns	ns
GExc_Total	15,2 \pm 1,6	15,1 \pm 1,5	-1,1		n.s.	
GExc_Parcial	14,3 \pm 0,9	14,0 \pm 0,9	-2,3			

p = nível de significância estatístico; η^2 = Dimensão do Efeito na distribuição; Ω^2 = Dimensão do Efeito na população; d = Dimensão do Efeito; r_{es} = Dimensão do Efeito

Comprimento do Fascículo. O treino concêntrico promoveu adaptações no Lf, apenas na condição de amplitude total. A restrição da amplitude de movimento não promoveu nenhuma alteração no Lf (Tabela 2). Contrariamente, o treino excêntrico promoveu uma adaptação positiva do Lf, em ambas as condições de amplitude.

Tabela 2 – Valores médios \pm DP, antes e após o processo de intervenção, e ganhos relativos ($\Delta\%$) observados no comprimento do fascículo do VE, medida a 50% do comprimento do músculo. São apresentados os resultados do teste de comparação de grupos (ANOVA), respetivos testes de *post-hoc* (Scheffe) e indicadores da Dimensão do Efeito para a comparação entre grupos e para as comparações múltiplas.

Comprimento do Fascículo						
Grupo	Pré-Treino (mm)	Pós-Treino (mm)	$\Delta\%$	Comparação entre Grupos	Post-hoc	
					Total	Parcial
G. Controlo	84,9 \pm 9,5	84,5 \pm 11,4	-0,5	F = 8,107 df = 2 p = 0,002 $\eta^2 = 0,39$ $\Omega^2 = 0,36$	p = 0,012 d=1,71 $r_{es} = 0,65$	n.s.
GConc_Total	84,1 \pm 5,3	88,2 \pm 5,1	4,9		p = 0,006 d = 1,18 $r_{es} = 0,51$	
GConc_Parcial	84,7 \pm 6,8	83,8 \pm 7,3	-1,1			
G. Controlo	84,9 \pm 9,5	84,5 \pm 11,4	-0,5	F = 23,652 df = 2 p = 0,000 $\eta^2 = 0,67$ $\Omega^2 = 0,65$	p = 0,000 d=3,36 $r_{es} = 0,86$	p = 0,032 d=1,44 $r_{es} = 0,58$
GExc_Total	83,1 \pm 7,3	94,0 \pm 8,7	13,1		p = 0,002 d = 2,20 $r_{es} = 0,74$	
GExc_Parcial	83,8 \pm 7,4	88,1 \pm 7,7	5,1			

p = nível de significância estatístico; η^2 = Dimensão do Efeito na distribuição; Ω^2 = Dimensão do Efeito na população; d = Dimensão do Efeito; r_{es} = Dimensão do Efeito

Espessura e Volume Musculares. A amplitude total revelou-se eficaz no desenvolvimento da massa muscular, já que, independentemente do tipo de contração, foi observada uma resposta hipertrófica nas variáveis de EM (Tabela 3), ASTA e VVE (Figura 2). Nas condições parciais de movimento, apenas o treino concêntrico obteve resultados positivos na EM, ASTA, e VVE. A restrição da amplitude de movimento, quando associada a contrações excêntricas, não constituiu estímulo mecânico suficiente para induzir adaptações no tamanho do músculo.

Figura 2 - Alterações relativas da área de secção transversal anatómica (ASTA) (em cima) e volume muscular (V_{VE}) (em baixo) do VE, observadas nas condições experimentais de amplitude total versus parcial e comparadas às de controlo. À esquerda estão representadas as adaptações promovidas pelo estímulo concêntrico (A), e à direita, as do estímulo excêntrico (B). As barras representam as adaptações médias relativas de cada condição experimental $\pm DP$. Os asteriscos representam diferenças significativas relativamente ao grupo de controlo (* $p < 0,05$, ** $p < 0,001$), e o cardinal as diferenças significativas entre as condições de treino ($p < 0,001$).

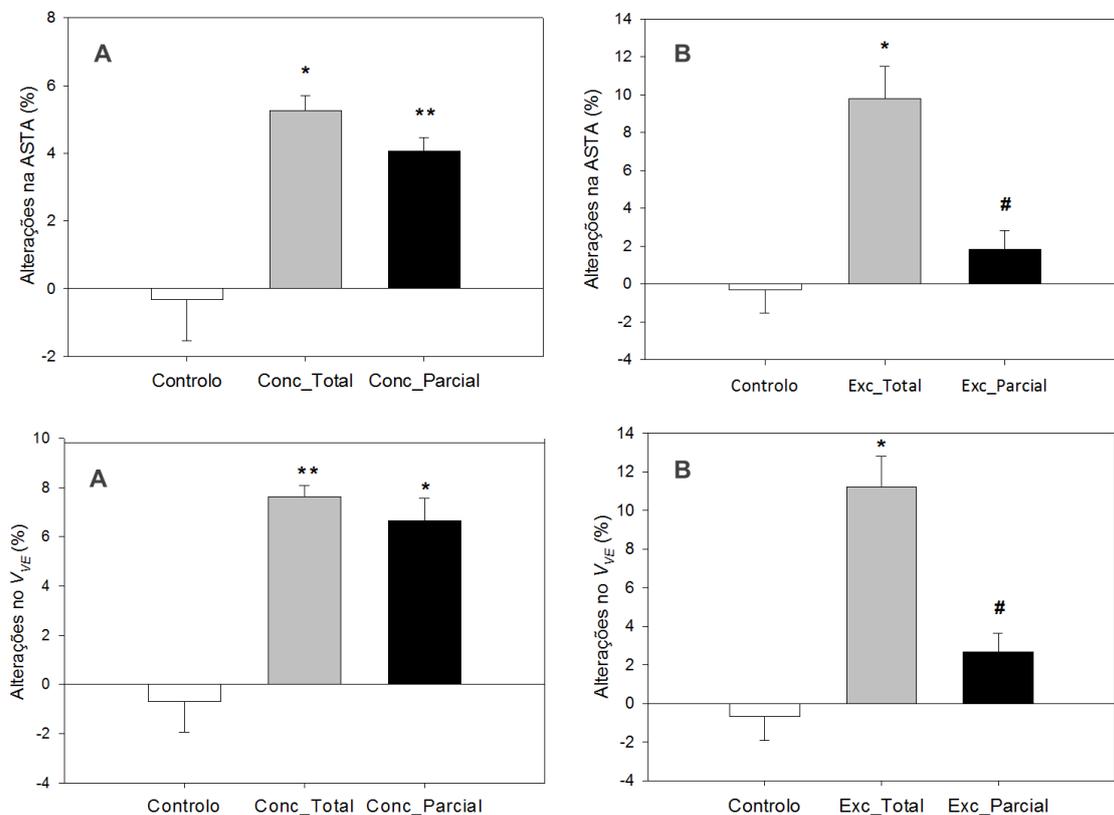


Tabela 3 - Valores médios \pm DP, antes e após o processo de intervenção, e ganhos relativos ($\Delta\%$) observados na espessura muscular do VE, medida a 50% do comprimento do músculo. São apresentados os resultados do teste de comparação de grupos (*Kruskall-Walis* e *ANOVA*), respetivos testes de *post-hoc* (*Mann-Whitney U* e *Scheffe*) e indicadores da Dimensão do Efeito para a comparação entre grupos e para as comparações múltiplas.

Espessura Muscular						
Grupo	Pré-Treino (mm)	Pós-Treino (mm)	$\Delta\%$	Comparação entre Grupos	Post-hoc	
					Total	Parcial
G. Controlo	24,4 \pm 4,2	24,4 \pm 4,6	-0,1	Chi ² = 13,415 df = 2 p = 0,001 r_{es} = 0,50	p = 0,001 r_{es} = 0,712	p = 0,002 r_{es} = 0,737
GConc_Total	22,8 \pm 2,9	24,8 \pm 3,0	8,4		n.s.	
GConc_Parcial	22,6 \pm 2,1	24,1 \pm 2,2	6,7			
G. Controlo	24,4 \pm 4,2	24,4 \pm 4,6	-0,1	F = 9,762 df = 2 p = 0,001 η^2 = 0,46 Ω^2 = 0,43	p = 0,001 d=2,07; r_{es} =0,72	n.s.
GExc_Total	21,4 \pm 2,8	23,8 \pm 2,7	11,1		p = 0,012 d=1,80; r_{es} =0,67	
GExc_Parcial	20,7 \pm 2,4	21,2 \pm 2,3	2,7			

p = nível de significância estatístico; η^2 = Dimensão do Efeito na distribuição; Ω^2 = Dimensão do Efeito na população; d = Dimensão do Efeito; r_{es} = Dimensão do Efeito

FVE e Tensão Específica. A FVE aumentou significativamente após o treino, sem diferenças entre as condições parciais e totais de movimento, ainda que seja observável uma tendência para maiores ganhos nas condições de amplitude total. A TE, que resulta da razão entre a FVE e a respetiva ASTF, permaneceu inalterável na condição parcial concêntrica, onde ambas as variáveis aumentaram de forma proporcional. Na amplitude total concêntrica, a FVE aumentou proporcionalmente mais do que a ASTF. Também após o treino excêntrico se observaram adaptações proporcionalmente diferentes na FVE e na ASTF, contribuindo para um aumento significativo da TE (Tabela 4).

Tabela 4 - Alterações absolutas e relativas das características de produção de força: momento máximo de extensão, força máxima transmitida ao tendão, força do VE e ângulo ótimo, antes e após o processo de treino. Em tons claros, estão apresentadas as adaptações promovidas pelo estímulo concêntrico, e a escuro, as promovidas pelo estímulo excêntrico. São apresentados os valores médios \pm DP.

Grupo	Pré-Treino	Pós-Treino	Δ %
Momento Máximo de Extensão (Nm)			
Concêntrico Total	290,7 \pm 45,0	383,8 \pm 56,1	32,0 \pm 16,8 ***
Concêntrico Parcial	292,3 \pm 54,6	365,4 \pm 44,9	25,0 \pm 20,4 **
Excêntrico Total	231,0 \pm 26,6	323,0 \pm 40,2	39,8 \pm 13,2 ***
Excêntrico Parcial	240,4 \pm 18,2	320,9 \pm 44,0	33,5 \pm 17,4 ***
Grupo Controlo	298,0 \pm 28,9	296,0 \pm 30,2	-0,7 \pm 2,3
Ângulo Ótimo (°)			
Concêntrico Total	78,6 \pm 6,1	79,1 \pm 5,1	0,0 \pm 8,9
Concêntrico Parcial	75,0 \pm 6,7	76,8 \pm 5,3	2,4 \pm 6,4
Excêntrico Total	75,0 \pm 4,7	76,7 \pm 7,1	2,2 \pm 12,3
Excêntrico Parcial	77,8 \pm 4,8	75,0 \pm 4,7	-3,6 \pm 6,7
Grupo Controlo	73,8 \pm 4,2	73,1 \pm 5,0	-0,9 \pm 3,8
Força Máxima Transmitida ao Tendão (KN)			
Concêntrico Total	7,4 \pm 1,2	9,4 \pm 1,3	27,8 \pm 19,3 ***
Concêntrico Parcial	7,5 \pm 1,6	8,8 \pm 1,3	17,8 \pm 17,7 *
Excêntrico Total	6,0 \pm 0,6	8,0 \pm 1,0	34,8 \pm 13,2 ***
Excêntrico Parcial	6,3 \pm 0,6	7,9 \pm 1,2	24,3 \pm 16,4 ***
Grupo Controlo	7,3 \pm 0,8	7,0 \pm 1,0	-3,3 \pm 6,6
Força Máxima Vasto Externo (KN)			
Concêntrico Total	2,6 \pm 0,4	3,4 \pm 0,5	28,8 \pm 19,5 ***
Concêntrico Parcial	2,6 \pm 0,5	3,1 \pm 0,5	19,0 \pm 18,0 **
Excêntrico Total	2,1 \pm 0,2	2,8 \pm 0,4	34,8 \pm 13,5 ***
Excêntrico Parcial	2,2 \pm 0,2	2,8 \pm 0,4	24,1 \pm 16,4 **
Grupo Controlo	2,6 \pm 0,3	2,5 \pm 0,4	-3,2 \pm 6,6
Tensão Específica (Ncm²)			
Concêntrico Total	83,6 \pm 17,3	102,9 \pm 17,1	23,0 \pm 18,4 ***
Concêntrico Parcial	85,8 \pm 19,6	92,3 \pm 14,0	7,6 \pm 17,5
Excêntrico Total	74,2 \pm 14,3	100,6 \pm 12,0	35,5 \pm 15,3 ***
Excêntrico Parcial	79,9 \pm 11,1	102,0 \pm 20,3	27,6 \pm 19,4 **
Grupo Controlo	81,0 \pm 13,8	78,0 \pm 11,7	-3,7 \pm 6,6

Diferenças significativas relativamente ao grupo de controlo * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

DISCUSSÃO

O presente estudo analisou a influência do tipo de contração e da amplitude do movimento na resposta adaptativa das propriedades musculares e mecânicas dos músculos extensores do joelho, particularmente do VE. Os principais resultados mostraram que as adaptações promovidas na resposta motora, apesar de idênticas, resultam de adaptações morfológicas e musculares específicas. Um resultado interessante refere-se à diferença verificada nos níveis de hipertrofia muscular. Enquanto a amplitude total de movimento se revelou eficaz na obtenção de massa muscular independentemente da ação muscular, a eficiência da amplitude parcial parece depender do tipo de contração. Nas condições parciais de movimento, apenas com contrações concêntricas se observou um aumento das variáveis indicadoras de hipertrofia, não tendo sido verificada qualquer adaptação significativa com o estímulo excêntrico parcial. Estes resultados podem ser considerados aparentemente contraditórios, se pensarmos que a tensão imposta pelo estímulo excêntrico é sempre superior à desenvolvida em qualquer contração concêntrica. No entanto, para além da tensão mecânica, o aumento das fibras musculares pode ser igualmente potenciado pelo nível de stress metabólico ou por dano estrutural da célula muscular [18]. Deste modo, será sempre especulativo discutir sobre os mecanismos que terão estado associados aos resultados agora reportados. No entanto, é possível que o aumento do VVE em consequência do treino concêntrico tenha decorrido essencialmente de um superior stress metabólico, reconhecidas que são as elevadas concentrações de lactato em consequência de contrações concêntricas [19]. As contrações excêntricas, por sua vez, têm-se distinguido, sobretudo, pelas elevadas cargas de alongamento que causam danos estruturais nas fibras musculares [20, 21], principalmente quando associadas a grandes comprimentos musculares. Assim, é também possível que a restrição da amplitude de treino tenha promovido a diminuição da tensão de alongamento imposta aos sarcómeros, e com isso, reduzido o dano estrutural. Do que nos foi possível apurar, apenas dois estudos [6, 7] analisaram a influência da amplitude de movimento nas adaptações musculares dos extensores do joelho, e mesmo assim com resultados díspares. Bloomquist et al., [6] não encontraram diferenças entre as condições de amplitude parcial (meio agachamento) e amplitude total (agachamento completo), enquanto McMahan et al., [7] referem maior hipertrofia da região distal do VE quando os exercícios de força são realizados com amplas amplitudes articulares. Este último resultado sugere que a manipulação da amplitude angular será um fator importante a considerar, uma vez que pode influenciar a relação tensão/deformação ao longo do músculo, e com isso promover uma discrepância na tensão mecânica entre as diferentes regiões do músculo. Convém salientar, no entanto, que nenhum destes estudos equalizou o volume de treino entre condições. Isto significa que, para um mesmo número de séries e repetições, a condição parcial de movimento resultou num diminuído tempo de tensão no músculo, reduzindo assim, o volume total de treino. Considerando que o volume de treino é um fator crítico para o aumento da hipertrofia muscular [18, 21], é possível que as adaptações referidas por McMahan et al., [7] decorram de volumes de treino diferenciados e não da manipulação da amplitude de movimento. No nosso estudo, procurámos colmatar esta questão e efetivar uma equalização do tempo de sobrecarga no músculo. Deste modo, nos grupos de amplitude parcial recorreu-se à

prescrição aumentada do número de séries e repetições, como forma de compensar a duração diminuída das respetivas contrações. Por isso, estamos em crer que as diferenças agora reportadas decorrem, efetivamente, da amplitude articular trabalhada e refletem as respetivas adaptações mecânicas.

Um segundo objetivo deste estudo centrou-se na hipótese de que as variáveis em estudo promovem uma reorganização diferenciada das fibras musculares, influenciando assim a funcionalidade do músculo. Os nossos resultados mostraram que, quando o músculo é sujeito a trabalho excêntrico e a grandes amplitudes de movimento, são observados maiores aumentos do L_f , e que adaptações positivas no θ_p são apenas conseguidas com contrações concêntricas, tendencialmente mais acentuadas com amplitudes de movimento reduzidas. Estes resultados sugerem que a hipertrofia muscular conseguida com o treino concêntrico decorre de um aumento do número de sarcómeros em paralelo, favorecendo o aumento da ASTF e da capacidade de produzir força. Ao invés, quando o treino envolve um alongamento muscular, a hipertrofia muscular ocorre exclusivamente devido ao aumento do L_f , sugerindo um aumento do número de sarcómeros em série com implicações favoráveis na velocidade de encurtamento e potência muscular. Um último resultado interessante foi a observação de que exercícios de amplitude total promovem um aumento mais acentuado da TE do VE. Este resultado reflete a desproporção observada entre ganhos de força e ganhos de massa muscular, tantas vezes reportada em sequência de treino de força [15]. Normalmente, é avançada a explicação de que uma melhoria da capacidade de ativação neural, mais do que os ganhos observados no tamanho do músculo, pode justificar essa desproporção [22]. No entanto, face às insignificantes alterações do nível de ativação voluntária do quadríceps ($\approx 2,2\%$) e dos padrões de co-ativação antagonista após o treino ($\approx 12\%$) verificadas neste estudo, a contribuição das adaptações neurais terá sido muito reduzida. Consequentemente, o fator decisivo terá acontecido a nível muscular, através do aumento da massa e da qualidade musculares. Deste modo, é possível concluir que o processo de treino, sobretudo quando realizado em amplitude total, resultou num real aumento da TE do quadríceps em geral, e do VE em particular, facto que contribuiu decisivamente para o aumento dos níveis de força observados. Apesar de não ser possível deduzir, a partir dos nossos resultados, a razão deste aumento, existem várias explicações na literatura. Uma delas assenta na possibilidade de um aumento do número de miofilamentos espessos por unidade de área muscular, condição que já foi reportada após treino de força de longa duração [23]. Outra alternativa reside na possibilidade de uma alteração na composição do tipo de fibras musculares e/ou de uma hipertrofia preferencial das fibras tipo-II [24], ou ainda uma eventual alteração da qualidade da ligação entre o tecido contráctil e o tecido conjuntivo circundante, condição que favorece a transmissão de força do músculo para os tendões e segmentos ósseos [25].

CONCLUSÃO

Desde que suficientemente consistente, o treino de força promove ganhos positivos na resposta mecânica de jovens adultos, manifestados na melhoria da qualidade muscular e da capacidade de produzir de força. No entanto, a manipulação da amplitude do movimento e do tipo de contração utilizados nos exercícios de treino, pode direcionar as adaptações promovidas, conduzindo a diferentes reorganizações da morfologia e arquitetura musculares, e com isso, potenciar diferentes respostas funcionais do músculo. O presente estudo demonstrou que o treino excêntrico e a amplitude total dos exercícios promovem o aumento do comprimento dos fascículos, condição que trará vantagem na velocidade de contração muscular, potência muscular e no desenvolvimento da força geral. Por outro lado, o treino concêntrico favorece o aumento do ângulo de penação e, quando associado a amplitudes reduzidas de ação muscular, promove adaptações musculares específicas que podem ser benéficas em etapas avançadas do treino de força ou em fases específicas da preparação desportiva.

BIBLIOGRAFIA

1. Blazeovich, A.J., et al., *Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles*. J Appl Physiol (1985), 2007. 103(5): p. 1565-75.
2. Franchi, M.V., et al., *Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle*. Acta Physiol (Oxf), 2014. 210(3): p. 642-54.
3. Aagaard, P., et al., *A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture*. J Physiol, 2001. 534(Pt. 2): p. 613-23.
4. Reeves, N.D., et al., *Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans*. Exp Physiol, 2009. 94(7): p. 825-33.
5. Baroni, B.M., et al., *Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: rectus femoris vs. vastus lateralis*. Muscle Nerve, 2013. 48(4): p. 498-506.
6. Bloomquist, K., et al., *Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations*. Eur J Appl Physiol, 2013. 113(8): p. 2133-42.
7. McMahon, G.E., et al., *Impact of range of motion during ecologically valid resistance training protocols on muscle size, subcutaneous fat, and strength*. J Strength Cond Res, 2014. 28(1): p. 245-55.
8. Scott, S.H., et al., *Morphometry of human thigh muscles. Determination of fascicle architecture by magnetic resonance imaging*. J Anat, 1993. 182 (Pt 2): p. 249-57.
9. Blazeovich, A.J., et al., *Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo*. J Anat, 2006. 209(3): p. 289-310.
10. Finni, T., et al., *Comparison of force-velocity relationships of vastus lateralis muscle in isokinetic and in stretch-shortening cycle exercises*. Acta Physiol Scand, 2003. 177(4): p. 483-91.

11. Noorkoiv, M., et al., *In vivo assessment of muscle fascicle length by extended field-of-view ultrasonography*. J Appl Physiol (1985), 2010. 109(6): p. 1974-9.
12. Rosset, A., et al., *OsiriX: an open-source software for navigating in multidimensional DICOM images*. J Digit Imaging, 2004. 17(3): p. 205-16.
13. Maganaris, C.N., *Force-length characteristics of in vivo human skeletal muscle*. Acta Physiol Scand, 2001. 172(4): p. 279-85.
14. Reeves, N.D., et al., *Effect of resistance training on skeletal muscle-specific force in elderly humans*. J Appl Physiol (1985), 2004. 96(3): p. 885-92.
15. Erskine, R.M., et al., *Resistance training increases in vivo quadriceps femoris muscle specific tension in young men*. Acta Physiol (Oxf), 2010. 199(1): p. 83-9.
16. Ichinose, Y., et al., *In vivo estimation of contraction velocity of human vastus lateralis muscle during "isokinetic" action*. J Appl Physiol (1985), 2000. 88(3): p. 851-6.
17. Cohen, J., *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed 1988, Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates. xxi, 567 p.
18. Schoenfeld, B.J., *Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training*. Sports Med, 2013. 43(3): p. 179-94.
19. Hollander, D.B., et al., *RPE, pain, and physiological adjustment to concentric and eccentric contractions*. Med Sci Sports Exerc, 2003. 35(6): p. 1017-25.
20. Butterfield, T.A., et al., *Differential serial sarcomere number adaptations in knee extensor muscles of rats is contraction type dependent*. J Appl Physiol (1985), 2005. 99(4): p. 1352-8.
21. Schoenfeld, B.J., *The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training*. J Strength Cond Res, 2010. 24(10): p. 2857-72.
22. Staron, R.S., et al., *Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining*. J Appl Physiol (1985), 1991. 70(2): p. 631-40.
23. Pansarasa, O., et al., *Resistance training of long duration modulates force and unloaded shortening velocity of single muscle fibres of young women*. J Electromyogr Kinesiol, 2009. 19(5): p. e290-300.
24. Campos, G.E., et al., *Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones*. Eur J Appl Physiol, 2002. 88(1-2): p. 50-60.
25. Jones, D.A., et al., *Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training*. Q J Exp Physiol, 1989. 74(3): p. 233-56.