

Luiz Antônio Moreira Júnior

Efeito do treinamento muscular excêntrico associado ao
treinamento da flexibilidade nas propriedades musculotendíneas e
na força muscular

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte
2007

Luiz Antônio Moreira Júnior

Efeito do treinamento muscular excêntrico associado ao
treinamento da flexibilidade nas propriedades musculotendíneas e
na força muscular

Dissertação apresentada ao colegiado de Pós-Graduação / Mestrado em Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Área de concentração: Treinamento Esportivo
Orientador: Dr. Mauro Heleno Chagas

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte
2007

Agradecimentos

Agradeço (a todo instante) a Deus pela minha vida, minha família e minha namorada. Obrigado meu Deus por estar constantemente presente em minha vida me iluminando, protegendo e guiando.

Ao Prof. Fernando Vítor Lima por ter sido meu orientador na Graduação, na Especialização e por ter sido minha primeira fonte de inspiração em busca de uma carreira profissional voltada para o academicismo. Obrigado também por ter me apresentado (em 2001) ao professor Mauro Heleno Chagas, meu mentor ao longo desses 6 anos de uma bonita e prazerosa convivência.

Ao Prof. Mauro, inicialmente, gostaria de expressar minha profunda admiração não só profissional, mas principalmente pessoal. Meu agradecimento muito especial por todo apoio, paciência, dedicação e contínuos exemplos de como viver para o bem.

À minha querida família: meu pai Luiz Antônio Moreira e minha vovó Lili (sei que vocês dois estão sempre por perto). Minha super-mãe Jane Guimarães Moreira, exemplo de fé, coragem e determinação. À minha irmã Luziane, ao Toninho, a meu irmão Leonardo (“Carlos Alberto”) e a meus tios Luzia e Enoque. Sem vocês seria muito mais difícil. Gostaria de agradecer muito ao apoio vindo também da minha outra família que ganhei após conhecer a Carolina (amor da minha vida): Tina (“minha sogra favorita”) e Ricardo (“meu cunhado favorito”).

Aos amigos do BIOLAB: André, Gustavo, Elder, Cynthia, Adriana e Juliana Herr.

Aos professores e amigos André e Daniela Zazá, muito obrigado pelo convívio, pelo contínuo incentivo e pelas oportunidades.

Aos colegas que colaboraram de forma significativa para que ocorressem todas as avaliações e o treinamento ao longo desse trabalho (Érika, Hugo, Fabrício, Juliana, Beatriz e Felipe).

A todos os voluntários. Obrigado pela disposição e boa vontade.

Aos professores “Gustavão”, Rodrigo Maciel, Lúcio Lustosa e Malafaia, que ao longo dessa caminhada cederam espaço em suas “salas” colaborando para que eu mantivesse os treinos particulares.

RESUMO

Os estudos que investigaram os efeitos crônicos do treinamento de força e flexibilidade empregaram ações isométricas ou concêntricas associadas às ações excêntricas. Sabendo-se que as adaptações ao treinamento de força dependem do tipo de ação muscular empregada e que o treinamento de força excêntrica tem sido considerado como um fator que pode aumentar o desempenho de flexibilidade, o objetivo deste estudo foi analisar os efeitos de 6 semanas de treinamento da força muscular excêntrica em diferentes amplitudes de movimento, associado ou não ao treinamento de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa, em parâmetros de avaliação da força muscular e da flexibilidade. A amostra foi composta por 36 voluntários do sexo masculino distribuídos aleatoriamente em 3 grupos, controle (CON), excêntrica com amplitude de movimento completa (EC) e excêntrica com amplitude de movimento parcial (EP). Cada membro inferior dos voluntários dos grupos experimentais foi submetido a um determinado treinamento resultando então em 4 subgrupos: EP, excêntrica com amplitude de movimento parcial; EP_F, excêntrica com amplitude de movimento parcial e treinamento de flexibilidade; EC, excêntrica com amplitude de movimento completa; EC_F excêntrica com amplitude de movimento completa e treinamento de flexibilidade. Antes e depois do período de treinamento foram avaliados diferentes parâmetros da força muscular e da flexibilidade dos músculos posteriores da coxa. Após seis semanas de treinamento foram observadas alterações significativas na maioria das variáveis investigadas, com exceção da rigidez passiva e energia. A ADM máx, o TP máx, a PSD_ADM e PSD_TP aumentaram significativamente para

os subgrupos EP_F e EC_F. O mesmo não ocorreu para os subgrupos EP e EC. Entre esses, apenas o subgrupo EC aumentou significativamente a ADM máx e a PSD_TP, enquanto o subgrupo EP não apresentou nenhuma diferença nas variáveis investigadas. Os subgrupos EC e EC_F aumentaram significativamente a ADM máx sendo que o aumento apresentado pelo subgrupo EC_F (29%) foi significativamente maior que o alcançado pelo EC (13%). Em relação aos subgrupos EP e EP_F fica claro que o treinamento de flexibilidade foi o fator responsável pelas diferenças observadas entre esses subgrupos, uma vez que o subgrupo EP não apresentou alteração significativa em nenhuma das variáveis investigadas. Os resultados demonstram que a melhora na ADM máx para os subgrupos que treinaram flexibilidade pode estar relacionada com o aumento da tolerância ao alongamento e não às alterações nas propriedades viscoelásticas da unidade músculo-tendão. Uma explicação para o aumento da ADM máx para o subgrupo EC permanece em aberto, uma vez que a variável TP máx não se alterou para esse subgrupo. Foi verificado um aumento significativo no desempenho do teste de 1RM para os grupos EP e EC, assim como, no teste de CVM para os subgrupos EP_F, EC e EC_F. Não ocorreram alterações significativas na integral do sinal eletromiográfico para nenhum subgrupo. Ao final deste estudo é possível concluir que o treinamento de flexibilidade provocou alterações significativas na maioria das variáveis relacionadas sem influenciar negativamente o aumento da força muscular. O treinamento de força excêntrica com diferentes ADM resultou em respostas distintas nas variáveis relativas à flexibilidade.

Palavras-chave: flexibilidade, ação muscular excêntrica, diferentes ADM.

ABSTRACT

The studies that investigated the chronic effects of strength associated with flexibility training performed either concentric and eccentric actions or only isometric actions. Knowing that the strength training adaptations are related with the type of muscle action performed and that eccentric actions may improve the flexibility performance, the aim of this study is to analyze the effects of six weeks of eccentric training with different range of motion associated or not to flexibility training of hamstrings muscles on strength and flexibility parameters. Participated of this study 36 male subjects allocated randomly in three groups: control (CON), eccentric with full knee range of motion (FE) and eccentric with partial knee range of motion (PE). Each leg of experimental groups was submitted to specific training, resulting four subgroups: PE, eccentric with partial knee range of motion; PE_F, eccentric with partial knee range of motion plus flexibility training; FE, eccentric with full knee range of motion; FE_F, eccentric with full knee range of motion plus flexibility training. Strength and flexibility parameters were assessed before and after training. After training there were significant differences on most parameters assessed, except stiffness and energy. The maximum range of motion, maximum passive torque and stretching tolerance passive torque and range of motion significantly increased to PE_F and FE_F. These results were not found for PE and FE. Only FE increased significantly maximum range of motion and passive torque on stretching feeling, while PE did not show significant differences for these parameters. The FE and FE_F significantly increased maximum range of motion, but the increase shown by FE_F was significantly higher (29%) than FE

(13%). Based on PE and PE_F results, it is clear that flexibility training performed by PE_F was the main reason for this result, since PE did not show any difference on parameters evaluated. The results demonstrated that PE_F and FE_F maximum range of motion increase was the result of an increase on stretch tolerance without changes on viscoelastic properties of muscle tendon unit. A reason to FE maximum range of motion increase remains unclear, since maximum passive torque did not change for this subgroup. The one maximum repetition performance increased for PE and FE, and the strength performance assessed on the maximum voluntary contraction test increased for PE_F, FE and FE_F. No significant differences were found on integrated electromyography to any subgroup. Based on this study we can conclude that flexibility training can significantly change most of the parameters studied, without negatively affecting the increase in muscle strength. The eccentric training through different range of motion resulted in distinct changes at the flexibility parameters.

Key words: flexibility, eccentric muscle action, different range of motion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	Aparelho Banco Flexor de joelhos. Posicionamento inicial de cada repetição realizada nos grupos EP e EC.....	51
FIGURA 2 -	Aparelho <i>Flexmachine</i>	53
FIGURA 3 -	Posicionamento do voluntário no aparelho <i>Flexmachine</i>	57
FIGURA 4 -	Protocolo experimental.....	62
FIGURA 5 -	Posicionamento inicial do voluntário no banco flexor de joelho para o teste de 1RM.....	64
FIGURA 6 -	Posicionamento do voluntário no <i>Flexmachine</i> para o teste de CVM.....	66
FIGURA 7 -	Posição final de cada repetição realizada pelo subgrupo EP.	69
FIGURA 8 -	Posição final de cada repetição realizada pelo subgrupo EC.	69
QUADRO 1 -	Variáveis medidas no teste de flexibilidade.....	68
GRÁFICO 1-	ADM máx antes e depois do período de treinamento.....	74
GRÁFICO 2-	TP máx antes e depois do período de treinamento.....	75
GRÁFICO 3-	ADM na PSD antes e depois do período de treinamento.....	75
GRÁFICO 4-	TP na PSD antes e depois do período de treinamento.....	76
GRÁFICO 5-	Rigidez passiva 2/3 antes e depois do período de treinamento.....	77
GRÁFICO 6-	Rigidez passiva 3/3 antes e depois do período de treinamento.....	77
GRÁFICO 7-	Energia 2/3 antes e depois do período de treinamento.....	77
GRÁFICO 8-	Energia 3/3 antes e depois do período de treinamento.....	77
GRÁFICO 9-	Desempenho no teste de 1RM antes e depois do período de treinamento.....	78

GRÁFICO 10-	Desempenho no teste de CVM antes e depois do período de treinamento.....	78
GRÁFICO 11-	IEMG dos músculos posteriores da coxa antes e depois do período de treinamento.....	79
GRÁFICO 12-	IEMG do gastrocnêmio antes e depois do período de treinamento.....	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Análise descritiva das características dos voluntários.....	50
TABELA 2 -	Protocolo de treinamento dos grupos experimentais.....	71
TABELA 3-	CCI, EM e poder estatístico das variáveis estudadas.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFMG	-	Universidade Federal de Minas Gerais
EEFFTO	-	Escola da Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
CENESP	-	Centro de Excelência Esportiva
BIOLAB	-	Laboratório de Biomecânica
UMT	-	Unidade músculo-tendão
UM	-	Unidades motoras
SNC	-	Sistema nervoso central
EP	-	Excêntrica com amplitude parcial
EP_F	-	Excêntrica com amplitude parcial e flexibilidade
EC	-	Excêntrica com amplitude completa
EC_F	-	Excêntrica com amplitude completa e flexibilidade
CON	-	Grupo controle
ADM	-	Amplitude de movimento
TP	-	Torque passivo
ADM máx	-	Amplitude de movimento máxima
TP máx	-	Torque passivo máximo
PSD	-	1ª Percepção subjetiva do desconforto ao alongamento
PSD_ADM	-	ADM registrada na 1ª percepção subjetiva do desconforto ao alongamento durante o teste de flexibilidade
PSD_TP	-	TP registrado na 1ª percepção subjetiva do desconforto ao alongamento durante o teste de flexibilidade
EMG		Eletromiografia
IEMG	-	Integral do sinal eletromiográfico
1RM	-	Uma repetição máxima
CVM	-	Contração voluntária máxima

- CCI - Coeficiente de correlação intraclassa
- EM - Erro do método

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1	Efeitos crônicos do treinamento de força excêntrica.....	18
2.1.1	Adaptações neurais.....	18
2.1.2	Adaptações morfológicas.....	23
2.2	Efeitos crônicos do treinamento de flexibilidade.....	31
2.2.1	Amplitude de movimento (ADM).....	31
2.2.2	Torque passivo.....	33
2.2.3	Rigidez passiva e Energia.....	35
2.2.4	Atividade Eletromiográfica.....	38
2.2.5	Percepção subjetiva do desconforto ao alongamento.....	39
2.3	Efeitos crônicos do treinamento de força associado ao de	40
	flexibilidade.....	
3	OBJETIVO.....	47
4	HIPÓTESES.....	48
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	49
5.1	Amostra.....	49
5.2	Instrumentos.....	51
5.2.1	Aparelho Banco Flexor de Joelho Assentado.....	51
5.2.2	Aparelho <i>Flexmachine</i>	52
5.2.3	Eletromiografia.....	57

5.3	Procedimentos.....	59
5.3.1	Protocolo de testes.....	62
5.3.1.1	Teste de Uma Repetição Máxima.....	62
5.3.1.2	Teste de Contração Voluntária Máxima.....	64
5.3.1.3	Teste de flexibilidade.....	66
5.3.2	Protocolos de Treinamento.....	69
5.3.2.1	Treinamento de força.....	69
5.3.2.2	Treinamento de flexibilidade.....	70
5.4	Análise estatística.....	72
6.	RESULTADOS.....	73
7.	DISCUSSÃO.....	80
8.	CONCLUSÃO.....	91
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
	APÊNDICE.....	100
	ANEXO.....	102

1. INTRODUÇÃO

No contexto das ciências do esporte e da reabilitação, os treinamentos de força e de flexibilidade constituem parte do conteúdo dos programas que visam à melhora do desempenho esportivo e das estratégias de tratamento das lesões musculares (SHELLOCK e PRENTICE, 1985; SAFRAN *et al.*, 1989). Para o desenvolvimento da força muscular e da flexibilidade são necessárias aplicações de cargas de treinamento específicas que resultam em respostas adaptativas específicas. Quando os treinamentos são associados e realizados ao longo de várias sessões, são esperadas interações entre as adaptações. Desta forma, torna-se importante compreender melhor os efeitos do treinamento de força associado ao de flexibilidade para um melhor controle e direcionamento do treinamento destas capacidades físicas.

Alguns estudos investigaram os efeitos crônicos do treinamento de força associado ao de flexibilidade (GIROUARD e HURLEY, 1995; KLINGE *et al.* 1997; KUBO *et al.* 2002b; NÓBREGA *et al.* 2005). No estudo de Klinge *et al.* (1997), um grupo de estudantes participou de um treinamento de força isométrica e de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa. Os resultados demonstraram que o treinamento de força isométrica influenciou significativamente a rigidez passiva da musculatura submetida ao alongamento. Segundo os autores, estudos futuros deveriam ser realizados com o objetivo de investigar os efeitos de um treinamento de força utilizando ações musculares dinâmicas em diferentes parâmetros da flexibilidade. Kubo *et al.* (2002b) pesquisaram as alterações nas propriedades viscoelásticas do tendão humano provocadas pelo treinamento de força utilizando ações musculares dinâmicas

associado ou não ao treinamento de flexibilidade. Os autores verificaram um aumento significativo da rigidez do tendão em ambos os grupos. Como no estudo de Kubo *et al.* (2002b) ações musculares concêntricas e excêntricas foram realizadas no programa de treinamento, a pergunta se este resultado encontrado é dependente de uma determinada ação muscular específica permanece aberta. Sabendo-se que as ações musculares excêntricas apresentam características distintas da ação muscular concêntrica, pode ser esperado que as adaptações ao treinamento de força também sejam diferentes (HIGBIE *et al.*, 1996). Desta forma, torna-se importante estudar separadamente os efeitos crônicos da realização de cada ação muscular em parâmetros da força e da flexibilidade.

Muitos estudos sobre o treinamento excêntrico investigam questões sobre a resposta da força muscular relacionadas às adaptações neurais (NARDONE *et al.*, 1989; ENOKA, 1996; HORTOBÁGYI *et al.*, 1996a; 1996b; HIGBIE *et al.*, 1996; KOMI *et al.*, 2000; AAGAARD *et al.*, 2000; 2003; FANG *et al.*, 2001; PENSINI *et al.*, 2002; CHRISTOU e CARLTON, 2002) e morfológicas (SMITH e RUTHERFORD, 1995; HORTOBÁGYI *et al.* 1996a; HIGBIE *et al.* 1996; SEGER *et al.*, 1998; PADDON-JONES *et al.*, 2001; SCHROEDER *et al.* 2004; ADAMS *et al.* 2004; SHEPSTONE *et al.*, 2005). Entretanto, há uma carência de investigações sobre as respostas adaptativas crônicas de um treinamento de força excêntrica associado ao de flexibilidade. Segundo Lynn e Morgan (1994), o treinamento de força excêntrica pode provocar um aumento do número de sarcômeros em série no músculo de animais. Entretanto, esta resposta não é um consenso e ainda necessita de mais evidências (KOH e HERZOG, 1998). Brockett *et al.* (2001) observaram em humanos após uma

sessão de treinamento de força excêntrica, um deslocamento da curva torque-ângulo para a direita, alterando o ângulo de torque máximo para um maior comprimento muscular. Segundo os autores, isto poderia significar um aumento na extensibilidade da musculatura advinda da sessão de treinamento de força excêntrica. No estudo de Ferreira de Aquino (2005), foi demonstrado que o treinamento de força realizando ações musculares dinâmicas (concêntricas + excêntricas) nas amplitudes iniciais de flexão de joelho produziu uma mudança no ângulo de torque máximo no sentido da extensão dos músculos posteriores da coxa. Além disso, Nelson e Bandy (2004) mostraram que um treinamento de força excêntrica com duração de seis semanas pode aumentar significativamente a amplitude de movimento da extensão de joelho. Entretanto, ainda são escassas as informações sobre os efeitos do treinamento de força excêntrica em outras variáveis relacionadas à flexibilidade em humanos. Um aspecto importante a ser considerado neste contexto é que as mudanças observadas no tecido muscular em resposta ao exercício são dependentes do comprimento do músculo durante a contração, indicando que as adaptações dependem da amplitude de movimento empregada no treinamento (MCHUGH e PASIAKOS, 2004). Desta forma, surge a questão se o treinamento de força excêntrica realizado em diferentes amplitudes de movimento influenciaria as respostas das variáveis relacionadas à flexibilidade de maneira semelhante. Por isso, um estudo que investigue os efeitos de um treinamento de força excêntrica (com diferentes amplitudes de movimento) associado ou não ao treinamento de flexibilidade sobre variáveis de desempenho da força e da flexibilidade poderá fornecer importantes informações para a prática esportiva.

2. Revisão da Literatura

2.1 Efeitos crônicos do treinamento de força excêntrica

2.1.1 Adaptações neurais

O sistema nervoso central (SNC) apresenta uma estratégia única de ativação para as ações musculares excêntricas, que pode ser caracterizada por uma menor ativação muscular comparada à ação concêntrica (AAGAARD *et al.* 2003). Na ação excêntrica a incompleta ativação pode ser devida ao menor nível de estimulação de uma população de motoneurônios ou somente de um determinado grupo de motoneurônios desta população. É possível que ocorra uma excitabilidade reduzida de motoneurônios menores durante as ações excêntricas (ENOKA,1996). Em virtude das limitações técnicas da eletromiografia, não tem sido possível distinguir entre estas possibilidades (ENOKA, 1996). Apesar das evidências que o SNC apresenta diferentes estratégias de ativação para as ações concêntricas e excêntricas, nenhum dado disponível até então indicava que os sinais cerebrais diferiam entre as ações musculares. Fang *et al.* (2001) avaliaram o potencial cortical relacionado ao movimento (PCRM) derivado do eletroencefalograma (EEG) e mediram o nível de PCRM em ações excêntricas e concêntricas. Participaram deste estudo 8 sujeitos que realizaram separadamente 50 ações excêntricas e concêntricas com uma intensidade equivalente a 10% da massa corporal. Embora o sinal eletromiográfico tenha sido menor para as ações excêntricas, a amplitude de dois componentes do PCRM (Potencial Negativo, o qual corresponde à preparação, planejamento e execução do movimento e o Potencial Positivo, correspondente aos feedbacks sensoriais a partir de um

sistema periférico) foi maior para as ações excêntricas. O maior sinal cortical para as ações excêntricas sugere que o cérebro provavelmente planeja e programa ações excêntricas de forma diferente das ações concêntricas.

Além disso, estudos demonstram que a frequência de estimulação (LINNAMO *et al.*, 2003), a ordem e o limiar de recrutamento de unidades motoras (UM) (KAY *et al.*, 2000) podem diferir entre os tipos de ações musculares. Segundo Nardone *et al.* (1989), durante as ações musculares excêntricas ocorre uma ativação preferencial das unidades motoras (UM) de contração rápida. No entanto, o recrutamento seletivo de UM é considerado mais como uma exceção do que uma regra (CHRISTOU E CARLTON, 2002), o que também é sustentado pelo estudo de Komi *et al.* (2000), no qual não foi observada uma ativação seletiva das UM de contração rápida durante uma tarefa envolvendo ações excêntricas.

Ainda com relação ao padrão de ativação durante as ações excêntricas, registros eletromiográficos de sujeitos destreinados têm mostrado que a ativação muscular é inibida durante ações musculares excêntricas máximas, comparado com ações concêntricas máximas (AAGAARD *et al.* 2000). De acordo com estes autores, quando um músculo é estimulado eletricamente durante um esforço máximo excêntrico, ocorre um aumento da força gerada, o que não ocorre para o esforço máximo concêntrico. Isto indica que um padrão único de ativação neuromuscular está presente no esforço máximo excêntrico. Além disso, esse aumento na força foi observado em sujeitos sedentários, mas não em atletas, sugerindo que os mecanismos relacionados podem ser modulados pelo treinamento (AAGAARD *et al.*, 2000). Esses autores verificaram após um período de treinamento que a redução da ativação foi

inibida. Embora vários mecanismos tenham sido propostos, a via neural reguladora responsável pela inibição da ativação muscular durante as ações excêntricas permanece sem ser identificada (AAGAARD *et al.* 2003). A maior capacidade de gerar força acompanhada por um reduzido sinal eletromiográfico durante as ações excêntricas deve-se ao fato da contribuição da tensão resultante da deformação dos componentes passivos (HERZOG *et al.*, 2003).

No estudo de Pensini *et al.* (2002) também foi demonstrada uma redução da inibição da atividade neuromuscular após quatro semanas de treinamento de força excêntrica dos músculos flexores plantares. O protocolo de treinamento utilizado provocou um aumento no torque excêntrico (16%), isométrico (30%) e concêntrico (14%). O nível de ativação voluntária aumentou significativamente de $80 \pm 5\%$ para $91 \pm 2\%$ ($p < 0,05$). Os autores apontaram como fatores responsáveis pelos resultados um maior número de UM ativas e uma maior frequência de estimulação.

Nem todos os estudos têm demonstrado mudanças significativas na EMG após um período de treinamento de força (THORSTENSSON *et al.* 1976; NARICI *et al.*, 1996). O motivo pode estar associado com as limitações presentes nos procedimentos de registro da EMG de superfície (AAGAARD *et al.*, 2000).

Apesar das limitações, estudos têm constantemente utilizado a EMG como uma forma de medir a ativação muscular. No estudo de Hortobágyi *et al.* (1996a) foi comparado o efeito de 12 semanas de treinamento de força excêntrica máxima e concêntrica máxima nos ganhos de torque, ativação muscular e na área de secção transversa (AST). Segundo Hortobágyi *et al.*

(1996a), o maior ganho de torque resultante do treinamento de força excêntrica pode estar relacionado a uma ativação seletiva das UM de contração rápida, demonstrada pelo aumento significativo da AST das fibras musculares do tipo II. O treinamento de força excêntrica aumentou a atividade eletromiográfica (*Root Mean Square* - RMS) durante o teste de força excêntrica em 86%, enquanto o treinamento de força concêntrica aumentou em 12% durante o teste de força concêntrica. Isto demonstra a influência da especificidade do teste, visto que, quando foram avaliados num modo de ação muscular oposto ao do treinamento, os aumentos da RMS apresentados para cada grupo foram menores e não foram encontradas diferenças significativas entre os aumentos. Segundo os autores, a maior alteração da EMG para o grupo excêntrico poderia estar relacionada à condição de que indivíduos sedentários apresentariam menores valores de força, sugerindo uma ativação muscular incompleta nos estágios iniciais de treinamento. Isto representaria uma grande “reserva” para adaptação neural.

Enquanto Colliander e Tesch (1990) demonstraram a importância da inclusão de ações excêntricas no treinamento de força para uma melhoria mais significativa desta capacidade, Smith e Rutherford (1995) não comprovaram uma superioridade do treinamento de força excêntrica sobre o de força concêntrica. Hortobágyi *et al.* (1996a) consideraram que um dos problemas associados com a inconsistência dos resultados dos estudos que compararam os ganhos de força entre os treinamentos de força excêntrica e concêntrica pode estar relacionado aos diferentes equipamentos destinados ao treinamento e à avaliação da força. Além disso, o fato da intensidade não ser igualada aos dois tipos de treinamento, sugere um distanciamento do que ocorre na prática

habitual do treinamento de força. Desta forma, em outro estudo, Hortobágyi *et al.* (1996b) compararam as respostas de força e as adaptações neurais entre um treinamento de força excêntrica e um de força concêntrica, submetidos a um mesmo nível absoluto de intensidade. As adaptações neurais foram mais significativas após o treinamento excêntrico. Além disso, o treinamento excêntrico provocou um maior aumento na força excêntrica e isométrica. Esse estudo sugeriu que o treinamento de força dos músculos extensores do joelho, utilizando ações excêntricas submáximas, proporcionou melhoras mais significativas comparadas às do treinamento de força concêntrica máxima.

Outro fator importante a ser considerado na comparação do efeito de diferentes protocolos de treinamento é o princípio da especificidade. Higbie *et al.* (1996) verificaram um aumento significativo no pico de torque de 7% e 36%, medido em ações musculares concêntricas e excêntricas respectivamente, após 10 semanas de treinamento, envolvendo ações excêntricas. As alterações na integral do sinal eletromiográfico (IEMG) após o treinamento excêntrico corresponderam a 7% e 17% nos testes de força concêntrica e excêntrica, respectivamente. Os autores concluíram que o nível das alterações observado com o treinamento relacionava-se diretamente ao tipo de ação muscular utilizada nos testes de força, reforçando a importância da especificidade das adaptações.

Após realizada esta breve revisão de literatura sobre o treinamento de força excêntrica e as adaptações neurais, percebe-se que a via neural reguladora responsável pela inibição da ativação muscular durante as ações excêntricas permanece sem ser identificada (AAGAARD *et al.* 2003). De acordo com Enoka (1996), em virtude das limitações técnicas da

eletromiografia, não tem sido possível distinguir os diferentes circuitos envolvidos nesta via. Outro tópico que carece de mais investigações trata-se do possível recrutamento seletivo de U.M de contração rápida durante as ações excêntricas, o que tem sido considerado mais como uma exceção do que uma regra (CHRISTOU e CARLTON, 2002), apesar de estudos terem demonstrado (NARDONE *et al.*, 1989), ou não terem descartado a possibilidade desta resposta ocorrer (LINNAMO *et al.*, 2003). Estudos têm demonstrado que a ativação neural avaliada com base em diferentes parâmetros do sinal eletromiográfico (RMS, IEMG) é aumentada após um treinamento de força excêntrica e que a magnitude deste aumento pode estar relacionada diretamente ao tipo de ação muscular empregada no teste (HIGBIE *et al.*, 1996).

2.1.2 Adaptações morfológicas

Alguns estudos têm investigado as adaptações morfológicas decorrentes de um treinamento de força puramente excêntrico (HORTOBÁGYI *et al.*, 1996a; HIGBIE *et al.*, 1996; SCHROEDER *et al.*, 2004; PADDON-JONES *et al.*, 2001; SHEPSTONE *et al.*, 2005). De acordo com Hortobágyi *et al.* (1996a), 12 semanas de treinamento de força excêntrica máxima provocou um aumento 10 vezes maior na AST das fibras do tipo II do que o treinamento de força concêntrica máxima. Higbie *et al.* (1996) também observaram, após 10 semanas de treinamento de força máxima excêntrica dos músculos extensores do joelho, um aumento de 6,6% na AST, que foi significativamente maior do que o aumento provocado pelo treinamento de força máxima concêntrica.

Estudos têm demonstrado que a velocidade de execução adotada no treinamento de força excêntrica pode desencadear respostas adaptativas distintas (PADDON-JONES *et al.*, 2001; SHEPSTONE *et al.*, 2005). No estudo de Paddon-Jones *et al.* (2001) foram comparadas as mudanças no pico de torque e na composição das fibras dos músculos flexores do cotovelo após 10 semanas de treinamento de força excêntrica, realizado com duas velocidades de treinamento: “rápida” (180°/s) e “lenta” (30°/s). O grupo “rápida” aumentou significativamente o torque excêntrico e concêntrico, avaliado a 180°/s. Quando avaliado na velocidade de 30°/s, o grupo “rápida” aumentou somente o torque excêntrico. Além disso, ocorreu uma redução significativa no percentual de fibras do tipo I e um aumento no percentual de fibras do tipo IIb no grupo “rápida”. Por outro lado, os grupos controle e “lenta” não apresentaram diferença significativa para as variáveis analisadas. Os autores consideraram que um dos mecanismos responsáveis pelas diferenças observadas entre os grupos poderia estar relacionado ao maior dano acumulativo ao tecido contrátil induzido pela ação excêntrica “lenta”. Isso poderia resultar num estado de *overtraining* (sobretreinamento) levando a uma condição desfavorável para o desenvolvimento da força.

Os resultados do trabalho de Shepstone *et al.* (2005) corroboram o estudo mencionado anteriormente. Após oito semanas de treinamento de força excêntrica realizado em velocidades distintas para cada braço (210°/s e 20°/s) foram observados aumentos na AST das fibras do tipo I e II em ambos os braços, sendo que o aumento da AST das fibras do tipo II foi maior para o grupo que treinou com maior velocidade. A melhora no torque máximo também foi maior para o grupo que treinou com uma maior velocidade, independente

das velocidades utilizadas no teste (20°/s, 60°/s, 120°/s, 180°/s e 210°/s). Os autores tentaram explicar os ganhos na hipertrofia, examinando um indicador de remodelagem protéica (dano na linha Z) que foi maior após as ações excêntricas máximas rápidas. A maior hipertrofia observada no braço treinado com maior velocidade pode estar relacionada a uma maior quantidade de remodelagem protéica.

Outros estudos também compararam o grau de hipertrofia muscular alcançado frente a treinamentos que utilizaram diferentes ações musculares (SMITH e RUTHERFORD, 1995; SEGER *et al.*, 1998; ADAMS *et al.*, 2004). No estudo de Seger *et al.* (1998) foram comparadas as alterações na força e morfologia dos músculos extensores do joelho entre os treinamentos de força excêntrica e concêntrica, realizados num dinamômetro isocinético (90°/s). Ao final das 20 semanas de treinamento, a área de secção transversa do quadríceps aumentou 3,5% somente no grupo excêntrico. Nenhuma mudança relevante foi detectada na composição das fibras musculares do vasto lateral para cada perna em ambos os grupos.

Adams *et al.* (2004) adotaram um modelo experimental, no qual ratos adultos foram distribuídos aleatoriamente em três grupos (isométrico, concêntrico e excêntrico). A musculatura tríceps sural foi estimulada eletricamente via nervo ciático. No total, foram 10 sessões de treinamento ao longo de 20 dias. Dentro de cada sessão de treinamento, a duração da estimulação foi igual para os três grupos. Embora a duração tenha sido equivalente, os torques variaram significativamente (excêntrico > isométrico > concêntrico). Ocorreu hipertrofia nos três grupos, sem diferença entre os grupos (isométrico: 14%, concêntrico: 12% e excêntrico: 11%). Segundo os

autores, esses resultados indicaram que cada treinamento provocou um nível de hipertrofia similar, o qual não apresentou relação com a quantidade de força gerada durante cada ação muscular.

Alguns estudos não demonstraram diferenças significativas na hipertrofia entre treinamentos que utilizaram separadamente ações concêntricas e excêntricas (SMITH e RUTHERFORD, 1995) ou entre treinamentos que realizaram ambas as ações musculares em comparação ao treinamento puramente concêntrico (COLLIANDER e TESCH, 1990).

No estudo de Smith e Rutherford (1995) foi comparado o efeito de 20 semanas de treinamento de força concêntrica ao de força excêntrica com relação às mudanças na CVM e hipertrofia. Os membros inferiores que treinaram a força excêntrica foram submetidos a uma intensidade que correspondia a 35% da intensidade utilizada pelo treinamento de força concêntrica. A CVM aumentou significativamente mais para o grupo concêntrico (44%) do que para o grupo excêntrico (23%). A área de secção transversa do quadríceps aumentou para ambos os grupos sem diferenças entre os aumentos. Os autores sugeriram que o custo metabólico e não somente as maiores tensões desenvolvidas estão envolvidos com o estímulo necessário para provocar a hipertrofia e os ganhos de força após um treinamento de força muscular.

Colliander e Tesch (1990) investigaram se as ações musculares excêntricas seriam importantes para induzir aumentos significativos na força muscular. Foram formados três grupos: controle, excêntrico + concêntrico (ECCON) e somente concêntrico (CON). Após 12 semanas de treinamento o grupo ECCON apresentou maiores aumentos nos picos de torque excêntrico e

concêntrico, na altura do salto vertical e no desempenho do teste de três repetições máximas do exercício agachamento em relação ao grupo CON. Não foram encontradas diferenças significativas na composição e na área dos tipos de fibras do músculo vasto lateral para os grupos experimentais depois do treinamento. Baseados em seus resultados e de outros estudos, os autores sugeriram que as ações excêntricas são essenciais para otimizar os aumentos na força.

Além de proporcionar aumentos na força muscular avaliada com diferentes ações musculares, o treinamento excêntrico está associado ao dano muscular e no tecido conectivo (Brown *et al.*, 1999), contribuindo para uma redução temporária da função muscular. No estudo de Lieber *et al.* (1994) as propriedades musculares dos músculos dorsiflexores do tornozelo de coelhos foram medidas nos dias 1, 2, 3, 7, 14 e 28, após a realização das ações excêntricas. Os autores concluíram que os exercícios contendo ações excêntricas iniciam uma série de eventos que resultam numa resposta inflamatória que poderia ser o mecanismo para uma redução na resposta contrátil.

Alguns estudos investigaram a hipótese de que o treinamento de força excêntrica poderia provocar um aumento do número de sarcômeros em série (LYNN e MORGAN, 1994; KOH e HERZOG, 1998). Lynn e Morgan (1994) estudaram os efeitos de corridas em declive e aclone, realizadas em uma pequena esteira, no número de sarcômeros em série do músculo vasto intermédio de ratos. Antes e depois do treinamento, o número de sarcômeros foi estimado dividindo-se o comprimento da fibra pelo comprimento do sarcômero. Após o período de treinamento, o número de sarcômeros do grupo

de corrida em declive foi superior aos grupos de corrida em alicive e controle. Algumas limitações do estudo de Lynn e Morgan (1994) foram apontadas por Koh e Herzog (1998) os quais ressaltaram que, como a ativação muscular e as mudanças no comprimento muscular não foram medidas ou controladas, as ações excêntricas não podem ser diretamente relacionadas ao aumento do número de sarcômeros. Desta forma, Koh e Herzog (1998) realizaram um estudo com seis coelhos adultos, os quais tiveram os músculos dorsiflexores do tornozelo estimulados eletricamente, enquanto ocorria passivamente a flexão plantar da articulação. Após 12 semanas de treinamento, foi encontrado somente um pequeno aumento (3%), mas significativo, do número de sarcômeros em série para o fascículo proximal do músculo tibial anterior. Possíveis fatores poderiam ter influenciado esses resultados, como por exemplo, a utilização de eletroestimulação. Se mecanismos neurais tivessem alguma contribuição para a variável investigada, esta teria sido eliminada. Entretanto, os autores basearam-se no estudo de Goldspink *et al.* (1974) que demonstraram aumentos no número de sarcômeros em série em músculos de animais, com e sem inervação. O volume do estímulo, caracterizado pelo número de repetições realizadas, pode não ter sido eficaz em desencadear o aumento do número de sarcômeros em série. Quando comparada a de outros estudos (acima de 900 repetições), o número de repetições adotado nesse estudo foi bem inferior. Todavia, os autores justificaram as 50 repetições realizadas com base em um estudo piloto realizado previamente, o qual demonstrou que 300 ações excêntricas, duas vezes por semana, durante seis semanas, também provocaram pouco ou nenhum aumento do número de sarcômeros dos músculos tibial anterior e extensor longo dos dedos.

Outros estudos têm demonstrado um deslocamento da curva torque-ângulo para a direita, imediatamente após uma sessão de treinamento de força excêntrica (BROCKETT *et al.*, 2001), assim como depois de oito semanas de treinamento (ações excêntricas + concêntricas) realizado nas ADM's iniciais de flexão de joelho (FERREIRA DE AQUINO, 2005). Os resultados desses estudos demonstraram uma alteração do ângulo de torque máximo no sentido da extensão dos músculos posteriores da coxa. Esta mudança indica um efeito do treinamento, que pode refletir uma proteção contra futuros danos, como por exemplo, distensões musculares (BROCKETT *et al.*, 2004).

Em relação à resposta adaptativa crônica dos componentes passivos frente à realização de um programa de treinamento de força, é relatado que a força máxima tênsil e a quantidade de energia absorvida pelo tecido conectivo podem ser aumentadas (STONE e KARATZAFERI, 2003; KJAER, 2004). Segundo MacDougall *et al.* (1984), a mesma proporção de tecido conectivo (13%) foi encontrada entre grupos de fisiculturistas e sujeitos sem experiência em treinamento de força. Isto indicou que a quantidade absoluta de tecido conectivo era maior nos fisiculturistas do que nos indivíduos do grupo controle. Foi concluído que a hipertrofia das fibras musculares, induzida pelo exercício, é acompanhada por um aumento proporcional do tecido conectivo.

Na literatura científica são escassos os estudos que procuraram investigar as adaptações crônicas do tecido conectivo após um período de treinamento de força excêntrica.

Brown *et al.* (1999) mediram os marcadores indiretos de dano muscular e do catabolismo de colágeno nos dias 1, 2, 3, 7 e 9, após uma sessão de ações musculares excêntricas para os músculos extensores do joelho. Nove

sujeitos destreinados realizaram 50 repetições máximas num dinamômetro isocinético a uma velocidade de 60°/s. Ocorreu uma redução significativa na CVM, imediatamente depois do exercício, acompanhada por um aumento na atividade das enzimas creatina quinase e lactato desidrogenase verificado no terceiro e sétimo dia após a sessão. As ações excêntricas não induziram aumento na concentração de hidroxiprolina, mas provocaram um aumento na concentração de colágeno do tipo I, verificado nos dias 1 e 9, após a sessão. Os autores concluíram que as ações excêntricas podem resultar num dano muscular temporário e que o metabolismo do tecido conectivo também pode ser afetado por estas ações musculares.

Em resumo, estudos apontam para a necessidade da inclusão das ações excêntricas em um treinamento de força com o objetivo de desencadear uma maior resposta hipertrófica (HORTOBÁGYI *et al.*, 1996a), embora isso não seja um consenso geral (SMITH E RUTHERFORD, 1995; ADAMS *et al.*, 2004). Smith e Rutherford (1995) sugerem que não só as maiores tensões, mas também o custo metabólico é responsável pelo aumento na AST. Além disso, o treinamento de força excêntrica está associado a danos estruturais no músculo e tecido conectivo (STAUBER, 1989; BROWN *et al.*, 1999) que podem induzir temporariamente uma redução na CVM. Após os danos, mecanismos restauradores (FAULKNER *et al.*, 1993) são iniciados, os quais num estágio final resultam numa maior proteção contra futuras tensões de maiores magnitudes presentes nas ações excêntricas (CLARKSON e TREMBLAY, 1988; MCHUGH, 2003). Brockett *et al.* (2001) relataram um deslocamento da curva torque-ângulo para a direita, imediatamente após uma sessão de treinamento de força excêntrica. Tal observação também foi verificada após

oito semanas de treinamento (FERREIRA DE AQUINO, 2005). Esta resposta pode estar associada a uma estratégia protetora contra futuros danos, como por exemplo, distensões musculares (BROCKETT *et al.*, 2004).

2.2 Efeitos crônicos do treinamento de flexibilidade

2.2.1 Amplitude de movimento (ADM)

Um dos efeitos crônicos do treinamento da flexibilidade é o aumento da amplitude de movimento máxima (ADM máx). Tal efeito tem sido demonstrado por diversos estudos que utilizaram diferentes configurações da carga de treinamento (BORMS *et al.*, 1987; SULLIVAN *et al.* 1992; BANDY e IRON, 1994; 1997; 1998; MAGNUSSON *et al.*, 1996b; ROBERTS e WILSON 1999; WILLY *et al.*, 2001). Os períodos de treinamento utilizados nestes estudos variaram entre 2 a 10 semanas, com uma frequência de treinamento variando entre duas a cinco vezes por semana. Os números de séries e as durações do estímulo de alongamento utilizado variaram entre três a cinco séries e 10 a 60 segundos, respectivamente. O aumento crônico da ADM máx relatado variou em torno de 20% (BORMS *et al.*, 1987; GAJDOSIK, 1991; BANDY e IRON, 1994), dependendo dos procedimentos de avaliação adotados, assim como das características da amostra selecionada.

As explicações para o aumento crônico da ADM resultante de um período de treinamento de flexibilidade podem estar relacionadas com alterações nas propriedades viscoelásticas (TOFT *et al.*, 1989; GUISSARD e DUCHATEAU, 2004), aumento da tolerância ao alongamento (HALBERTSMA *et al.*, 1994; MAGNUSSON *et al.*, 1996a; LAROCHE *et al.*, 2006) e aumento do

número de sarcômeros em série (WILLIAMS E GOLDSPINK, 1973; 1978; GAJDOSIK, 2001). No estudo de Toft *et al.* (1989), 12 voluntários foram submetidos a um treinamento de flexibilidade dos músculos flexores plantares realizado duas vezes por dia, durante três semanas, o que provocou uma redução significativa de 36% na rigidez passiva. Um resultado similar foi encontrado por Guissard e Duchateau (2004) que submeteram os músculos flexores plantares de 12 voluntários a um programa de treinamento de flexibilidade, que consistiu de 30 sessões realizadas (cinco vezes por semana) durante seis semanas. O treinamento causou um aumento de 30,8% na ADM máx associado a uma redução significativa na rigidez passiva de 33%.

Nos estudos de Halbertsma *et al.* (1994) e Magnusson *et al.* (1996b), respectivamente após quatro e três semanas de treinamento de flexibilidade, ocorreram aumentos significativos da ADM máx sem alterações na rigidez passiva. Desta forma, estes autores consideraram o aumento da tolerância ao alongamento como o mecanismo responsável pelo aumento da ADM máx. Este aumento da tolerância ao alongamento possibilitaria ao indivíduo suportar um maior torque passivo e, conseqüentemente, alcançar maiores amplitudes de movimento. Os mecanismos responsáveis por este efeito podem estar relacionados à alteração no limiar dos nociceptores (MESSLINGER, 1996).

Com relação à ativação muscular, Guissard e Duchateau (2004) observaram uma redução significativa no reflexo H depois de seis semanas de treinamento de flexibilidade. Segundo os autores, embora as mudanças na rigidez passiva foram parcialmente mantidas um mês depois do término do treinamento, as atividades reflexas retornaram aos níveis do controle. Para Magnusson *et al.* (1996b), mecanismos neurais não exercem uma função

importante no aumento crônico da ADM, em virtude de não terem observado alterações significativas na média da amplitude do sinal eletromiográfico, após três semanas de treinamento de flexibilidade.

Outro fator que poderia influenciar o aumento crônico da ADM é o aumento do número de sarcômeros em série (WILLIAMS E GOLDSPINK, 1971; 1978; GAJDOSIK, 2001). Experimentos com animais na idade adulta demonstraram que o número de sarcômeros em série pode ser aumentado quando a musculatura é submetida a uma imobilização em posição alongada (WILLIAMS E GOLDSPINK, 1978; 1988). Porém, evidências deste mecanismo ainda não foram demonstradas em humanos na idade adulta, tanto em experimentos com imobilização e, principalmente, após um treinamento de flexibilidade (CHAN *et al.*, 2001). Informação indireta sobre este mecanismo tem sido extraída da curva torque-ângulo em testes isocinéticos (BROCKETT *et al.*, 2001; MCHUGH, 2003; FERREIRA DE AQUINO, 2005) baseado na suposição de que um estímulo de treinamento, capaz de aumentar a extensibilidade do músculo, provocaria um deslocamento para a direita da curva torque-ângulo, demonstrando um estado mais favorável para gerar tensão em maiores comprimentos musculares.

2.2.2 Torque passivo

Quando um músculo é alongado, os componentes elásticos em série, em paralelo e os componentes contráteis são as estruturas que resistem ao alongamento (ALTER, 1996). A resistência ao alongamento pode ser registrada pela medida do torque passivo (MAGNUSSON *et al.*, 1996b). Segundo Reid e McNair (2004), estudos que investigam os efeitos do treinamento de

flexibilidade têm se concentrado em registrar, além do parâmetro ADM máx, a resistência passiva à deformação por meio do torque passivo gerado durante o alongamento. Reid e McNair (2004) observaram, após seis semanas de treinamento de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa, aumentos significativos na ADM máx e na resistência ao alongamento caracterizada pelo torque máximo passivo (TP máx). Outros estudos corroboram esses achados (GAJDOSIK, 1991; HALBERTSMA *et al.*, 1994; MAGNUSSON *et al.*, 1996b; LAROCHE *et al.*, 2006). De acordo com Gajdosik (1991), 21 sessões de treinamento de flexibilidade provocaram um aumento significativo na ADM máx de extensão do joelho associado ao aumento do TP máx. Estes resultados foram atribuídos ao aumento do comprimento muscular. Assim como nos estudos anteriores, Magnusson *et al.* (1996b) observaram aumentos significativos da ADM máx acompanhados por aumentos no TP máx, após três semanas de treinamento de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa. O mesmo ocorreu nos estudos de Halbertsma *et al.* (1994), Chan *et al.* (2001) e LaRoche *et al.* (2006), todos, após quatro semanas de treinamento de flexibilidade.

O TP máx tem sido utilizado como um parâmetro indicativo de alterações na tolerância à dor (MAGNUSSON *et al.*, 1996b). Ou seja, o indivíduo que alcança uma maior ADM em virtude de suportar um maior torque passivo, demonstra ter uma maior tolerância à dor.

2.2.3 Rigidez passiva e Energia

A variável energia pode ser representada graficamente pela área abaixo da curva torque-ângulo (MAGNUSSON *et al.*, 1996a). Segundo LaRoche *et al.* (2006), esta variável também tem sido nomeada como absorção de trabalho (*work absorption*).

No estudo de Magnusson *et al.* (1996a), o aumento da ADM máx foi acompanhado pelo aumento na média dos valores da energia, após três semanas de treinamento de flexibilidade. Ao contrário, no estudo de LaRoche *et al.* (2006) quatro semanas de treinamento de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa não alteraram significativamente a variável energia. Os autores relacionaram este resultado ao fato de que, depois de um treinamento, maiores ADM podem ser alcançadas sem quaisquer alterações nas propriedades viscoelásticas. O estudo de Ferreira de Aquino (2005) comparou a variável energia antes e depois de oito semanas de treinamento de força (ações excêntricas + concêntricas realizadas nas ADM iniciais de flexão de joelho) e de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa. Ambos os grupos aumentaram a capacidade de absorção de energia, sendo que o aumento foi maior no grupo excêntrico. Este resultado sugere que o treinamento de força excêntrica foi capaz de produzir um aumento do comprimento do músculo, baseado no deslocamento para a direita da curva torque-ângulo, e este aumento possivelmente influenciou o maior aumento de energia absorvida por este grupo.

A variável rigidez pode ser entendida como a razão entre uma força aplicada e a deformação causada em um determinado material (ALTER, 1996).

Em estudos *in vivo* realizados com seres humanos, esta variável pode ser representada graficamente através da inclinação da porção linear da curva torque-ângulo (MAGNUSSON *et al.*, 1996a). Diferentes procedimentos têm sido aplicados com a finalidade de calcular o valor desta variável (NORDEZ, 2006), o que pode resultar em diferentes respostas da mesma entre os estudos.

Estudos que investigaram a resposta da rigidez após um período de treinamento de flexibilidade, encontraram reduções (TOFT *et al.*, 1989; GUISSARD e DUCHATEAU, 2004), aumentos (REID e MCNAIR, 2004) ou nenhuma alteração significativa (HALBERTSMA *et al.*, 1994; MAGNUSSON *et al.*, 1996a; LAROCHE *et al.*, 2006). No estudo de Reid e McNair (2004) 43 estudantes, homens, com média de idade de 16 anos foram distribuídos em dois grupos (controle n=20; experimental n=23). O protocolo de treinamento consistiu de três séries de 30 segundos, cinco vezes por semana durante seis semanas. Antes e depois do período de treinamento, foi avaliada a flexibilidade dos músculos posteriores da coxa num dinamômetro isocinético, no qual o joelho era passivamente estendido até o máximo tolerado pelo indivíduo. A ADM máx, o TP máx e a rigidez passiva aumentaram ($p < 0,05$) para o grupo experimental.

Por outro lado, no estudo de Toft *et al.* (1989) foi observada uma redução na rigidez passiva. Os voluntários foram submetidos a três semanas de treinamento de flexibilidade, utilizando a técnica de alongamento contração-relaxamento para os músculos flexores plantares, realizado duas vezes ao dia. Antes e depois do período de treinamento foi executado um teste, no qual era realizada passivamente uma flexão dorsal do tornozelo até o máximo tolerado

pelo voluntário. Ao final do estudo, foi verificada uma redução significativa de 36% do torque passivo no momento em que foi registrada a mesma ADM máx alcançada no pré-teste, demonstrando desta forma uma redução da rigidez passiva.

No estudo de Guissard e Duchateau (2004), 12 voluntários (21 a 35 anos) foram submetidos a seis semanas (30 sessões) de treinamento de flexibilidade dos músculos flexores plantares que provocou uma redução significativa de 33% na rigidez. Os autores atribuíram esse resultado parcialmente a uma redução da atividade reflexa e também a uma possível alteração plástica da unidade músculo-tendão. Esta plasticidade é normalmente atribuída ao tecido conectivo (componente elástico em paralelo). Em contrapartida, nos estudos de Halbertsma *et al.* (1994), Magnusson *et al.* (1996b) e LaRoche *et al.* (2006), depois de três a quatro semanas de treinamento de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa não foram encontradas alterações significativas na rigidez. Segundo Magnusson *et al.* (1996b), não seria possível excluir a hipótese de que um treinamento de flexibilidade ao longo de vários anos como o realizado por ginastas ou bailarinos representaria um estímulo suficiente para causar mudanças nas propriedades dos tecidos.

É provável que os métodos de avaliação utilizados e os diferentes grupos musculares investigados sejam fatores responsáveis por estes resultados contraditórios.

2.2.4 Atividade Eletromiográfica

A atividade eletromiográfica tem sido utilizada como parâmetro para auxiliar na determinação da rigidez passiva, ou seja, contribui para o controle da influência da atividade contrátil durante o alongamento, o que poderia influenciar a resistência à deformação (HALBERTSMA *et al.*, 1994; REID e MCNAIR, 2004). Além disso, auxilia na investigação da resposta neural ao longo de um treinamento de flexibilidade.

Os estudos que investigaram o nível de ativação muscular, antes e após um período de treinamento de flexibilidade, têm demonstrado que, aumentos na ADM não são acompanhados por alteração significativa na EMG (MAGNUSSON *et al.*, 1996b; KUBO *et al.*, 2002a). Esses achados fornecem evidências de que os mecanismos adaptativos relacionados às adaptações crônicas, resultantes de um treinamento de flexibilidade, parecem não estar relacionados diretamente com uma redução na atividade eletromiográfica.

Magnusson *et al.* (1996b) investigaram o efeito de um período de treinamento de flexibilidade nas variáveis torque passivo, rigidez, energia e atividade eletromiográfica dos músculos posteriores da coxa de sete mulheres ($26 \pm 6,0$ anos). Foram realizadas duas sessões de treinamento diariamente, durante 20 dias. Após três semanas de treinamento, a média da amplitude do sinal eletromiográfico não apresentou alteração significativa. Os autores concluíram que a atividade reflexa não limitou a ADM máx durante o teste de flexibilidade. No estudo de Kubo *et al.* (2002a) também não foram encontradas diferenças significativas na integral do sinal eletromiográfico, após três semanas de treinamento de flexibilidade dos músculos flexores plantares. Isto

confirmou a baixa contribuição da atividade contrátil para a medida da resistência ao alongamento.

2.2.5 Percepção subjetiva do desconforto ao alongamento

Segundo Kehl e Fairbanks (2003), o exercício tem sido associado ao aumento do limiar de dor em estudos desenvolvidos com modelo animal e humano. Analgésicos naturais (endógenos), que são sintetizados e localizados em diferentes regiões do SNC, podem causar o aumento do limiar de dor em sujeitos que estão submetidos a um treinamento físico. Existe uma classe de substâncias analgésicas endógenas que contribuem para a modulação da dor, que são os peptídeos opióides. Estes peptídeos são chamados de endorfina, endomorfina, encefalina e dinorfina. Elas atuam em proteínas situadas na camada de lipídeos da membrana celular dos neurônios no cérebro e na medula espinhal. Estas proteínas são conhecidas como receptores opióides. Os receptores opióides formam uma família de proteínas que fisicamente se acoplam às proteínas G e, por meio dessa interação, afetam a regulação dos canais iônicos através do fechamento dos canais de Ca^{2+} regulados por voltagem nas terminações nervosas pré-sinápticas e, portanto, reduzem a liberação do transmissor e hiperpolarizam os neurônios transmissores da dor ao aumentar a condutância ao íon K^+ , produzindo um potencial pós-sináptico inibitório (SCHUMACHER, BASBAUM e WAY, 2006). Entretanto, evidências científicas comprovando estas respostas fisiológicas como possíveis adaptações resultantes de um treinamento de flexibilidade ainda não foram relatadas na literatura. Desta forma, a tolerância máxima à dor durante o

alongamento vem sendo relacionada com o TP máx que pode ser suportado durante o alongamento, o qual representa o maior valor de resistência ao alongamento oferecido pela musculatura.

Segundo LaRoche *et al.* (2006), o mecanismo exato responsável pelo aumento da tolerância ao alongamento não é claro, mas pode estar relacionado a alterações funcionais no SNC e/ou periférico. Os autores consideram a possibilidade de uma atenuação do processamento dos sinais oriundos de nociceptores, dos fusos musculares e dos órgãos tendinosos de Golgi. Conseqüentemente, após uma ou várias sessões de alongamento, a pessoa torna-se capaz de alcançar uma maior ADM em virtude do aumento da tolerância à dor.

No estudo de Halbertsma *et al.* (1994), durante o teste de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa, foi utilizado um dispositivo manual que continha em sua extremidade um botão. Quando esse botão era pressionado, registrava-se o ângulo no qual o voluntário percebia a primeira sensação de dor resultante do alongamento da musculatura. Ao final de quatro semanas de treinamento de flexibilidade, foi observado um deslocamento significativo do ângulo registrado pelo dispositivo em direção a uma maior ADM. Isto indicou uma alteração da percepção subjetiva de dor do indivíduo.

2.3 Efeitos crônicos do treinamento de força associado ao de flexibilidade

Girouard e Hurley (1995) recrutaram 31 homens destreinados com idades entre 50 e 74 anos, que foram divididos em três grupos: controle (CON), treinamento de força e de flexibilidade (TFF) e somente treinamento de flexibilidade (TF). No treinamento de força foram realizadas ações excêntricas

e concêntricas. Foram realizadas 30 sessões ao longo de 10 semanas. Foram observados maiores aumentos na ADM para o grupo TF em relação ao aumento apresentado pelo grupo TFF. Ocorreram aumentos significativos na força muscular para o grupo TFF. Os autores concluíram que melhoras significativas na flexibilidade são alcançadas, quando treinada isoladamente. Em outro estudo realizado com 12 estudantes, Klinge *et al.* (1997) observaram, após 13 semanas de treinamento de força isométrica e flexibilidade, um aumento da rigidez, energia, torque passivo e de 43% da CVM dos músculos posteriores da coxa. Antes e depois do treinamento as variáveis registradas no teste de flexibilidade foram medidas em uma mesma ADM. Cada membro inferior de cada voluntário foi submetido a um determinado treinamento (treinamento de força e treinamento de força e flexibilidade). Não foram encontradas diferenças significativas entre os membros para todas as variáveis analisadas, incluindo a integral do sinal eletromiográfico, medida durante o teste de flexibilidade. Não foi medida a AST da musculatura investigada; entretanto, os autores consideraram que o treinamento de força provocou uma hipertrofia, a qual foi responsável pelos aumentos da rigidez e da energia. Segundo Klinge *et al.* (1997), futuros estudos deveriam investigar os efeitos de um treinamento de força na flexibilidade, mas utilizando ações musculares dinâmicas. Nesse sentido, Kubo *et al.* (2002b) investigaram o efeito de oito semanas de treinamento de força e flexibilidade nas propriedades viscoelásticas do tendão dos músculos flexores plantares, utilizando ações concêntricas e excêntricas. Os voluntários foram submetidos a uma carga de treinamento de força composta de cinco séries de 10 repetições a 70% de 1RM, quatro vezes por semana. A carga de treinamento de flexibilidade foi

igual a cinco séries de 45 segundos, com intervalo de 15 segundos entre as séries, realizado todos os dias da semana. Os dois membros inferiores foram submetidos ao treinamento de força e apenas um ao treinamento de flexibilidade. Não foram encontradas diferenças significativas na integral do sinal eletromiográfico (medida durante a CVM), antes e depois do treinamento para ambos os membros inferiores. Segundo os autores, ocorreu uma tendência ($p=0,09$) para uma redução da variável energia no grupo que treinou força e flexibilidade. Além disso, foram observados aumentos significativos na rigidez e no desempenho de força (CVM) para ambos os membros inferiores, não ocorrendo diferença nos valores médios destas variáveis entre os membros treinados. De acordo com Kubo *et al.* (2002b), em virtude de não ter sido observada uma resposta hipertrófica do tendão, os mecanismos que resultaram no aumento da rigidez permanecem em aberto. Kubo *et al.* (2002b) especulam a possibilidade de mudanças nas estruturas internas do tendão e/ou aponeurose. Segundo Kjaer (2004), uma carga mecânica imposta sobre a UMT desencadeia uma série de eventos moleculares, que proporcionam sínteses de proteínas na matriz extracelular. Não é muito bem estabelecido na literatura o grau que o tecido conectivo e o muscular compartilham das vias sinalizadoras que garantem uma transferência do estímulo mecânico para uma adaptação estrutural e funcional de ambos os tecidos (KJAER, 2004). É provável que oito semanas de treinamento de força tenham desencadeado uma resposta hipertrófica do componente contrátil e, conseqüentemente do tecido conectivo (MACDOUGALL *et al.*, 1984), contribuindo desta forma para o aumento da rigidez (KLINGE *et al.*, 1997).

Outros estudos também mostraram aumentos no desempenho de força, avaliado pelo teste de 1RM, para grupos que treinaram esta capacidade associado ou não ao treinamento de flexibilidade (NÓBREGA *et al.*, 2005). Participaram desse estudo 43 voluntários durante 12 semanas de treinamento de força e flexibilidade. Os sujeitos foram distribuídos em quatro grupos: controle, treinamento de força, treinamento de flexibilidade e treinamento de força e flexibilidade. Foram observados também aumentos significativos na ADM máx para os grupos que treinaram flexibilidade. Os autores não relataram se foram encontradas diferenças significativas nos aumentos de força e de flexibilidade entre o grupo que treinou ambas as capacidades e os que as treinaram separadamente, impossibilitando desta forma extrair informações com relação às possíveis interações entre os efeitos dos treinamentos.

Na literatura científica são escassos os estudos relacionados especificamente aos efeitos crônicos de um treinamento de força excêntrica, associado ou não ao treinamento de flexibilidade nas propriedades viscoelásticas de uma determinada musculatura. Nos estudos de Nelson e Bandy (2004) e Ferreira de Aquino (2005) os voluntários foram submetidos a treinamentos de força excêntrica e de flexibilidade, realizados separadamente. Em ambos os estudos foram comparados os efeitos crônicos de cada treinamento em parâmetros de avaliação da flexibilidade. No estudo de Nelson e Bandy (2004) foi comparada a influência de seis semanas de treinamento de força excêntrica e de flexibilidade na ADM máx da extensão de joelho. Participaram desse estudo 69 homens divididos em três grupos: controle, treinamento excêntrico e alongamento com a técnica passiva-estática). A ADM máx aumentou significativamente para os grupos experimentais em relação ao

grupo controle, mas sem diferença entre os grupos que treinaram. É importante ressaltar que no estudo de Nelson e Bandy (2004) o que foi considerado como treinamento de força excêntrica é extremamente questionável. O voluntário deveria, em decúbito dorsal, realizar passivamente uma flexão de quadril unilateral por meio de uma *theraband* que envolvia o calcanhar do membro inferior que seria puxado. À medida que voluntário puxava o membro inferior, mantendo o joelho estendido, ele deveria resistir ao movimento por meio de uma contração dos músculos posteriores da coxa; contudo, esta contração deveria permitir que o quadril continuasse sendo flexionado passivamente até aproximadamente 90 graus. Neste momento, o membro deveria permanecer imóvel por cinco segundos e, em seguida retornado à posição inicial. Os voluntários deveriam manter o joelho do membro contralateral completamente estendido. Foram realizadas 6 séries sem intervalo entre as repetições. Em relação à intensidade do treinamento, foi pedido aos voluntários que aplicassem com os braços uma força suficientemente alta, capaz de oferecer uma resistência para os músculos posteriores da coxa. Segundo os autores, esta força aplicada foi o suficiente para que cada série durasse por volta de cinco segundos. Além dessas limitações claras, não foi relatado que os sujeitos estariam fixados de forma padronizada para garantir uma maior qualidade e reprodutibilidade na execução do exercício escolhido. Dessa forma, torna-se difícil associar o resultado encontrado ao tipo de treinamento considerado como sendo de força excêntrica.

No estudo de Ferreira de Aquino (2005) foram comparados os efeitos de oito semanas (três vezes por semana) de treinamento de força (ações concêntricas + excêntricas) realizado nas ADM iniciais de flexão de joelho com

o de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa na resposta das variáveis rigidez passiva, energia, curva torque-ângulo e flexibilidade. Antes e depois do treinamento, a variável denominada flexibilidade foi determinada pelo ângulo articular correspondente ao mesmo valor de torque passivo determinado individualmente. Este valor foi registrado no pré-teste e correspondia ao ângulo em que o voluntário relatava uma sensação de alongamento dos músculos posteriores da coxa. Participaram desse estudo 45 voluntários distribuídos aleatoriamente em três grupos: controle, alongamento e fortalecimento em posição alongada. Os resultados demonstraram que somente o grupo que treinou força produziu uma mudança do ângulo de torque máximo no sentido da extensão. Nenhuma diferença entre os grupos foi encontrada para as variáveis flexibilidade e rigidez passiva. Ambos os grupos experimentais aumentaram a tolerância ao alongamento e a capacidade de absorção de energia, sendo que o aumento da energia foi maior no grupo que treinou força. Os resultados sugerem que o treinamento de força realizado nas ADM iniciais de flexão de joelho foi capaz de produzir um aumento do comprimento do músculo e este aumento possivelmente influenciou o maior aumento de energia capaz de ser absorvida por este grupo. Por outro lado, o alongamento parece não induzir o processo de remodelação tecidual, modificando apenas a tolerância ao alongamento dos indivíduos.

Nesses estudos citados foram utilizadas ações musculares isométricas ou dinâmicas (excêntricas + concêntricas). Sabendo-se que as adaptações ao treinamento podem ser específicas ao tipo de ação muscular realizada, seria importante verificar o efeito isolado de uma determinada ação muscular, associada ou não ao treinamento de flexibilidade sobre variáveis relacionadas

com a força e a flexibilidade. O treinamento de força excêntrica tem sido associado ao aumento da ADM. Entretanto, não sabemos se esta resposta é decorrente da ação excêntrica unicamente, ou se diferentes ADM envolvidas seriam fatores decisivos na resposta adaptativa de variáveis relacionadas com a flexibilidade. Desta forma, percebe-se a necessidade de se estudar os efeitos crônicos de um treinamento de força excêntrica de diferentes amplitudes, associado ou não ao treinamento de flexibilidade, sobre variáveis de desempenho da força e da flexibilidade.

3. OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi investigar os efeitos de seis semanas de treinamento de força excêntrica dos músculos posteriores da coxa realizado em diferentes amplitudes de movimento, associado ou não ao treinamento de flexibilidade em variáveis do desempenho de força e de flexibilidade.

4. HIPÓTESES

H1- Os treinamentos de força excêntrica com amplitude de movimento completa e parcial aumentam significativamente o desempenho no teste de 1RM.

H2- Os treinamentos de força excêntrica com amplitude de movimento completa e parcial não aumentam significativamente a CVM e a IEMG.

H3- O treinamento de força excêntrica com amplitude de movimento parcial, associado ou não ao treinamento de flexibilidade, provocará alterações significativas nas variáveis ADM máx, TP máx, PSD_ADM, PSD_TP.

H4- O treinamento de força excêntrica com amplitude de movimento parcial associado ou não ao treinamento de flexibilidade não provocará alterações significativas nas variáveis rigidez passiva e energia.

H5- O treinamento de força excêntrica com amplitude de movimento completa, associado ou não ao treinamento de flexibilidade, provocará alterações significativas nas variáveis ADM máx, TP máx, PSD_ADM, PSD_TP.

H6- O treinamento de força excêntrica com amplitude de movimento completa, associado ou não ao treinamento de flexibilidade, não provocará alterações significativas nas variáveis rigidez passiva e energia.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Amostra

Participaram deste estudo 39 voluntários do sexo masculino, recrutados na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), por meio de cartazes afixados nas dependências desta escola e por contato direto dos pesquisadores.

Durante o estudo três voluntários foram excluídos, sendo um sujeito para cada um dos grupos: excêntrico com amplitude completa (EC), excêntrico com amplitude parcial (EP) e controle (CON). Os dois voluntários pertencentes aos grupos EC e EP abandonaram o estudo por recomendação médica, enquanto o voluntário do grupo controle foi acometido de uma entorse do tornozelo que necessitou de imobilização do membro inferior esquerdo. Um segundo voluntário do grupo controle apresentou dor no joelho esquerdo, o que impossibilitou a avaliação deste membro no pós-treinamento. Desta forma, os dados analisados e apresentados dizem respeito a uma amostra de 36 sujeitos. A mensuração da massa corporal e da estatura dos voluntários foi realizada em uma balança Filizola® e no estadiômetro acoplado a este equipamento, com precisões de 0,1kg e 0,5cm, respectivamente.

As características da amostra referentes à idade, massa corporal e estatura estão apresentadas na TAB. 1.

TABELA 1
Análise descritiva das características dos voluntários.

	Grupos		
	CON (n=10)	EC (n=13)	EP (n=13)
Idade (anos)	24,2 ± 5,2	23,2 ± 2,4	24,4 ± 6,3
Massa corporal (kg)	75,1 ± 6,3	74,5 ± 7,4	76,2 ± 12,8
Estatura (cm)	177,3 ± 6,8	175,2 ± 3,9	176,0 ± 4,6

Para o recrutamento dos voluntários foram adotados os seguintes critérios de inclusão: 1) ausência de lesões musculares e esqueléticas nos membros inferiores, coluna e pelve; 2) ausência de participação em qualquer atividade que envolvesse o treinamento de flexibilidade ou força para os membros inferiores nos últimos três meses; 3) restrição mínima (de 20°) na amplitude de movimento (ADM) máxima de extensão de joelho mensurada no equipamento *Flexmachine*.

Todos os voluntários receberam as informações quanto aos objetivos e ao processo metodológico do estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE 1), concordando em participar de um treinamento de força e flexibilidade durante seis semanas. Os voluntários foram informados de que poderiam abandonar a pesquisa em qualquer momento sem a necessidade de justificativa.

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da UFMG, parecer nº. ETIC 281/06 (ANEXO). Os experimentos foram realizados no Laboratório de Biomecânica do Centro de Excelência Esportiva (BIOLAB-CENESP), EEEFTO da UFMG.

5.2 Instrumentos

5.2.1. Aparelho Banco Flexor de Joelho Assentado

A mensuração da força muscular concêntrica dos músculos posteriores da coxa foi realizada por meio do teste de uma repetição máxima (1RM). O teste de 1RM e o treinamento de força foram executados no Banco Flexor (Master Equipamentos, Brasil) (FIG.1).



FIGURA 1- Aparelho Banco flexor de joelhos. Posicionamento inicial de cada repetição realizada nos grupos EP e EC.

O aparelho consiste em um banco com encosto para apoio do tronco do voluntário. Neste banco está acoplado um braço mecânico com um estofado em sua extremidade, sobre o qual são apoiadas as pernas. Este aparelho ainda contém uma trava, que é posicionada acima das bordas suprapatelaes,

que garante uma maior estabilização dos membros inferiores. Para ser ajustado a diferentes comprimentos de membros inferiores o aparelho possibilita uma regulagem horizontal do encosto e do estofado onde as pernas são apoiadas. O braço mecânico possibilita a regulagem da posição inicial, de forma que no teste de 1RM os voluntários iniciaram o movimento com os joelhos próximos à extensão completa. Com o objetivo de minimizar algum movimento compensatório do quadril, foi utilizada uma faixa, posicionada sobre as espinhas ilíacas ântero-superiores de cada voluntário.

5.2.2 Aparelho *Flexmachine*

Descrição do aparelho

O aparelho denominado *Flexmachine*, desenvolvido pelo BIOLAB-CENESP foi utilizado para o treinamento da flexibilidade dos músculos posteriores da coxa, assim como para a mensuração das variáveis relacionadas à flexibilidade. O aparelho também permite medir a força isométrica desta mesma musculatura, por meio do teste de contração voluntária máxima (CVM). Este aparelho possibilita avaliar e treinar de forma separada cada membro inferior. O aparelho consiste de duas cadeiras conectadas lateralmente a um braço mecânico, sobre o qual está localizada uma plataforma de força (FIG. 2).



FIGURA 2- Aparelho *Flexmachine*.

Estas cadeiras possuem o encosto posicionado a 95° em relação ao assento e ajustes de altura. O assento possui em sua região posterior um desnível com a finalidade de minimizar a báscula posterior. Para minimizar possíveis movimentos compensatórios na pelve e nos membros inferiores, são utilizados cintos sobre as espinhas Iílicas ântero-superiores e no terço distal da coxa.

Para a padronização do posicionamento do membro inferior a ser testado, existe um suporte com ajustes nos planos horizontal e vertical, permitindo a sustentação do membro inferior a 45° de flexão de quadril a partir da posição sentada. Fixado ao eixo de rotação deste suporte existe um transferidor com uma haste de plástico móvel que possibilita verificar a inclinação real do fêmur tendo como referência o trocanter e o cômulo lateral do fêmur.

O aparelho *Flexmachine* permite um deslocamento horizontal que possibilita o alinhamento do eixo do braço mecânico ao côndilo lateral do fêmur. No eixo do braço mecânico existe uma ponteira laser que é alinhada a uma marcação previamente realizada sobre o côndilo lateral do fêmur.

O braço mecânico é movimentado por um motor capaz de produzir entre 10 a 1700 rotações por minuto, o que possibilita velocidades angulares constantes entre 1 a 18°/s. O acionamento do motor ocorre mediante um dispositivo manual com dois botões, sendo um para subir o braço mecânico e outro para retorná-lo à posição inicial. A amplitude de movimento do braço mecânico é registrada por um potenciômetro localizado no eixo de rotação deste braço. Para garantir a segurança dos voluntários, a ADM do braço mecânico é limitada por interruptores eletrônicos (fim-de-curso), permitindo uma amplitude máxima de 116°. A posição inicial (0° - zero grau), estabelecida no projeto piloto, correspondia à posição do braço mecânico de 27° em relação à vertical e possibilitava o contato entre o calcanhar e a plataforma de força, além de oferecer conforto aos indivíduos posicionados no aparelho. A posição da perna na horizontal correspondia a ADM de 73° de extensão de joelho.

Para a calibração do potenciômetro foi utilizado um transferidor (precisão de 0,5°) e um inclinômetro de bolha para controlar a posição de 90° do braço mecânico do *Flexmachine*. Utilizando o software *DasyLab 5.0* (Dasytec Daten System Technik GmbH, Germany), a voltagem do potenciômetro foi medida para a posição inicial e final. A relação entre a ADM e a voltagem foi calculada para se encontrar a equação linear ($f(x)=ax + b$) que explica o comportamento linear do potenciômetro. Em seguida, o braço foi posicionado em ângulos conhecidos para verificar a precisão das medidas, sendo o erro inferior a 1°.

Na parte distal do braço mecânico existe um suporte localizado bilateralmente que permite o acoplamento da plataforma de força (Refitronic®, Schmitt, Germany) e os devidos ajustes de distância. O relaxamento sob tensão decorrente da plataforma de força foi verificado, colocando-se dois pesos determinados (111,7 e 224,5 N) por um período de 20 segundos. Cada um dos pesos foi posicionado três vezes sobre a plataforma de força, e a média dos valores obtidos nos dois segundos iniciais foi comparada com a média dos dois segundos finais. Com este procedimento verificou-se que as alterações foram inferiores a 0,4% para os pesos de 111,7 e 224,5 N. Durante o teste de flexibilidade um segundo dispositivo manual foi utilizado pelos voluntários. Neste dispositivo existe apenas um botão que deveria ser pressionado, quando o indivíduo percebesse a primeira sensação de desconforto ao alongamento dos músculos posteriores da coxa, registrando assim, a variável PSD.

O potenciômetro, a plataforma de força, o dispositivo para registro da PSD e o sistema de eletromiografia (EMG) foram ligados a um receptor e este, por sua vez, interligado a um microcomputador por meio de um Conversor Analógico Digital modelo DaqCard-700 (National Instruments Corporation, USA). A frequência de aquisição de sinais utilizada foi de 4000 Hz e os sinais foram tratados por meio do programa DASYlab 5.0 (Dasytec Daten System Technik GmbH, Germany).

Posicionamento do Voluntário

O voluntário sentava-se em uma das cadeiras do *Flexmachine* e apoiava o terço distal da coxa a ser testada sobre o suporte para a coxa (FIG. 3). O avaliador localizava o trocanter maior do membro inferior a ser testado e alinhava este ao eixo do suporte da coxa. O suporte era ajustado até atingir 45° em relação à horizontal. O objetivo era garantir 45° de flexão do quadril de forma individualizada, tendo o côndilo e o trocanter maior do fêmur como referência. O voluntário era então fixado ao aparelho através de dois cintos: um sobre as espinhas-íliacas ântero-superiores e outro logo acima da borda superior da patela. O calcanhar do membro inferior a ser testado era posicionado sobre a plataforma de força cuja posição era ajustada de acordo com o comprimento da perna do voluntário. Uma superfície de acrílico era então apoiada na região lateral do pé para minimizar e controlar a rotação externa do joelho. O pé contralateral era apoiado sobre blocos de madeira de alturas variáveis, de modo a deixá-lo totalmente apoiado. A cadeira e o *Flexmachine* eram então movimentados até que a marcação feita sobre o côndilo lateral do fêmur testado estivesse alinhada com o eixo do braço mecânico.

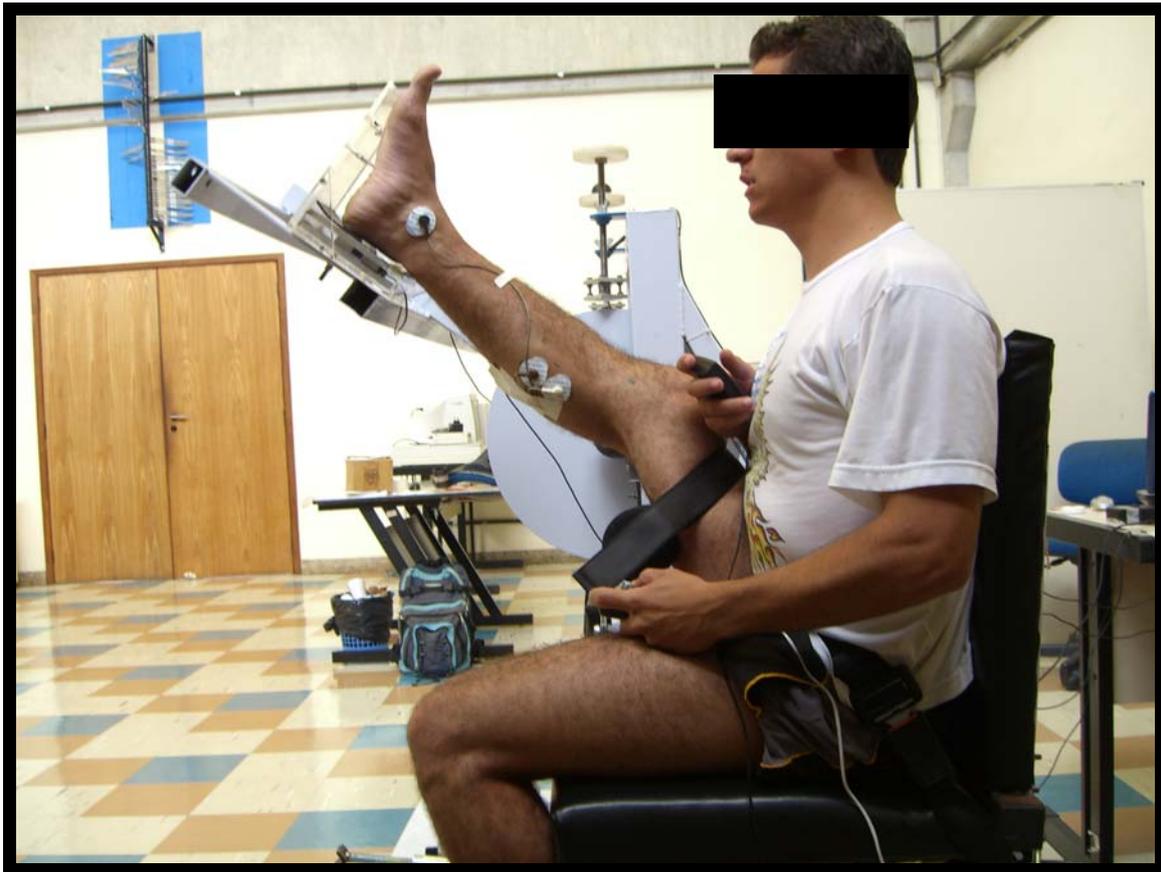


FIGURA 3- Posicionamento do voluntário no aparelho *Flexmachine*.

5.2.3. Eletromiografia

A captação do sinal eletromiográfico foi realizada, utilizando eletrodos ativos de superfície (Prata/Cloreto de Prata - Midi-Trace® 700 Foam, Graphic Controls Corporation-Canadá) com amplificadores (500 vezes) e de configuração bipolar. Estes eletrodos são adesivos e foram colocados sobre a região medial dos músculos posteriores da coxa e do gastrocnêmio medial de cada membro inferior (HERMENS *et al.*, 1999). O eletrodo de referência foi posicionado sobre o maléolo medial.

Os locais onde foram colocados os eletrodos eram previamente marcados com caneta hidrocor, tricotomizados e higienizados com álcool a 96°. A distância entre os eletrodos utilizada no experimento foi de aproximadamente 3 cm. Este espaçamento foi utilizado para que não houvesse sobreposição dos eletrodos, devido ao perímetro de suas partes aderentes (CRAM, KASMAN e HOLTZ, 1998).

Com os voluntários deitados em decúbito ventral foram localizados e marcados os seguintes pontos anatômicos: tuberosidade isquiática e epicôndilo medial da tíbia. Para determinar o local de colocação dos eletrodos nos músculos posteriores da coxa, foi traçada uma linha entre a tuberosidade isquiática e o epicôndilo medial, sendo que sobre o ponto médio desta linha foi posicionado o eletrodo distal. O segundo eletrodo foi posicionado próximo ao primeiro eletrodo, também sobre a linha de referência. Em seguida, a flexão plantar foi realizada e os eletrodos foram posicionados na porção mais proeminente do músculo gastrocnêmio medial. O eletrodo distal não ficou posicionado sobre a junção miotendínea durante a contração muscular.

Para evitar a influência de uma atividade elétrica muscular acima de um valor basal sobre a variável torque passivo durante o teste de flexibilidade, foi utilizado um procedimento matemático que permitiu identificar o início de um sinal eletromiográfico acima do valor médio basal. Este processo ocorreu de acordo com as seguintes etapas: 1) Os valores do sinal eletromiográfico dos músculos posteriores da coxa, obtidos durante os dois segundos iniciais do teste de flexibilidade, eram registrados; 2) durante estes dois segundos a soma da média da amplitude do sinal mais dois desvios-padrão (d.p.) dos valores médios obtidos geraram uma variável denominada valor basal; 3) durante todo

o teste de flexibilidade o sinal eletromiográfico era comparado ao valor basal; 4) caso a atividade eletromiográfica ultrapassasse o valor basal, o *software* automaticamente indicava o valor da ADM e o torque para o exato momento onde o limiar havia sido excedido. Nas execuções, onde a atividade eletromiográfica não ultrapassou o limiar determinado (média + 2 d.p.), os valores da ADM máx e do torque máximo foram utilizados para a análise estatística. Desta forma, para cada tentativa dos voluntários um valor basal foi criado.

O sinal eletromiográfico registrado durante o teste de CVM foi analisado, baseando-se na integral da EMG (IEMG) que foi calculada pela área correspondente ao período de contração de 1,5 segundos, com o objetivo de padronizar o tempo para todos os voluntários. As análises foram realizadas após o sinal ter sido filtrado (*butterworth, lowpass*, de 2ª ordem) a 15Hz e retificado.

5.3 Procedimentos

Antes de ser iniciado o estudo, todos os voluntários foram informados quanto aos procedimentos realizados na coleta e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE). Após o esclarecimento referente aos procedimentos metodológicos do estudo, foram realizadas as medidas de estatura e massa corporal. Em seguida, os voluntários foram posicionados em decúbito dorsal sobre uma superfície de madeira e, alternadamente, posicionaram os calcâneos sobre a plataforma de força, mantendo o quadril e o joelho testados a aproximadamente 90°. O peso do

membro inferior foi posteriormente utilizado para a correção em relação à gravidade. Em seguida, cada voluntário foi posicionado no aparelho *Flexmachine*, sendo que os devidos ajustes individuais foram registrados para serem utilizados na mensuração, após o treinamento. Depois do posicionamento no *Flexmachine*, os voluntários receberam as instruções de funcionamento do aparelho e foram autorizados a iniciar a familiarização ao teste de flexibilidade. Em seguida, o braço mecânico foi posicionado a 20° e a familiarização ao teste de contração voluntária máxima (CVM) foi realizada. Após este procedimento, os voluntários foram retirados do *Flexmachine* e posicionados no aparelho banco flexor de joelho, onde o procedimento de familiarização ao teste de 1RM foi realizado. A marcação dos horários de coleta foi realizada pelos próprios voluntários, após a familiarização, cientes de que todo o procedimento levaria cerca de 1 hora, e que o mesmo horário deveria ser respeitado para a avaliação, após o período de treinamento. Um intervalo mínimo de 48 horas foi solicitado entre o primeiro encontro e a data da primeira avaliação. Os indivíduos foram informados a não realizarem treinamentos de força e/ou de flexibilidade durante o período do estudo.

A distribuição dos voluntários nos grupos controle (CON), treinamento excêntrico com amplitude de movimento completa (EC) e treinamento excêntrico com amplitude de movimento parcial (EP) foi aleatória. Antes do início do treinamento não foram observadas diferenças significativas entre os grupos para as variáveis ADM máx e 1RM (uma repetição máxima). A escolha do membro inferior que iniciou o teste de flexibilidade também foi aleatória.

A seqüência adotada para a avaliação dos membros inferiores foi a mesma antes e depois do treinamento. Os grupos experimentais EC e EP

foram submetidos a um treinamento de força realizado em ambos os membros inferiores, enquanto o treinamento de flexibilidade foi realizado em apenas um dos membros inferiores. Desta forma, os grupos experimentais foram divididos em quatro subgrupos: excêntrica com amplitude de movimento parcial (EP), excêntrica com amplitude de movimento parcial associada ao treinamento flexibilidade (EP_F), excêntrica com amplitude de movimento completa (EC) e excêntrica com amplitude de movimento completa, associada ao treinamento de flexibilidade (EC_F). A seleção do membro inferior, que foi submetido ao treinamento de flexibilidade, ocorreu de forma aleatória, sendo o membro inferior direito o selecionado.

Na coleta dos dados, inicialmente os eletrodos foram posicionados nos locais pré-determinados em ambos os membros inferiores. Em seguida, os voluntários eram posicionados no *Flexmachine* e repetiam-se as instruções dadas anteriormente durante a familiarização. No teste de flexibilidade três repetições foram realizadas com cada membro inferior de cada voluntário.

Após o registro dos parâmetros relativos à flexibilidade, foi dado um intervalo de três minutos e, em seguida, o voluntário realizava três contrações voluntárias máximas com o mesmo membro inferior. O outro membro inferior foi submetido ao mesmo procedimento. Em seguida, aproximadamente três minutos após o teste de contração voluntária máxima, era realizado o teste de 1RM. O desenho esquemático do protocolo experimental é apresentado na figura 4.

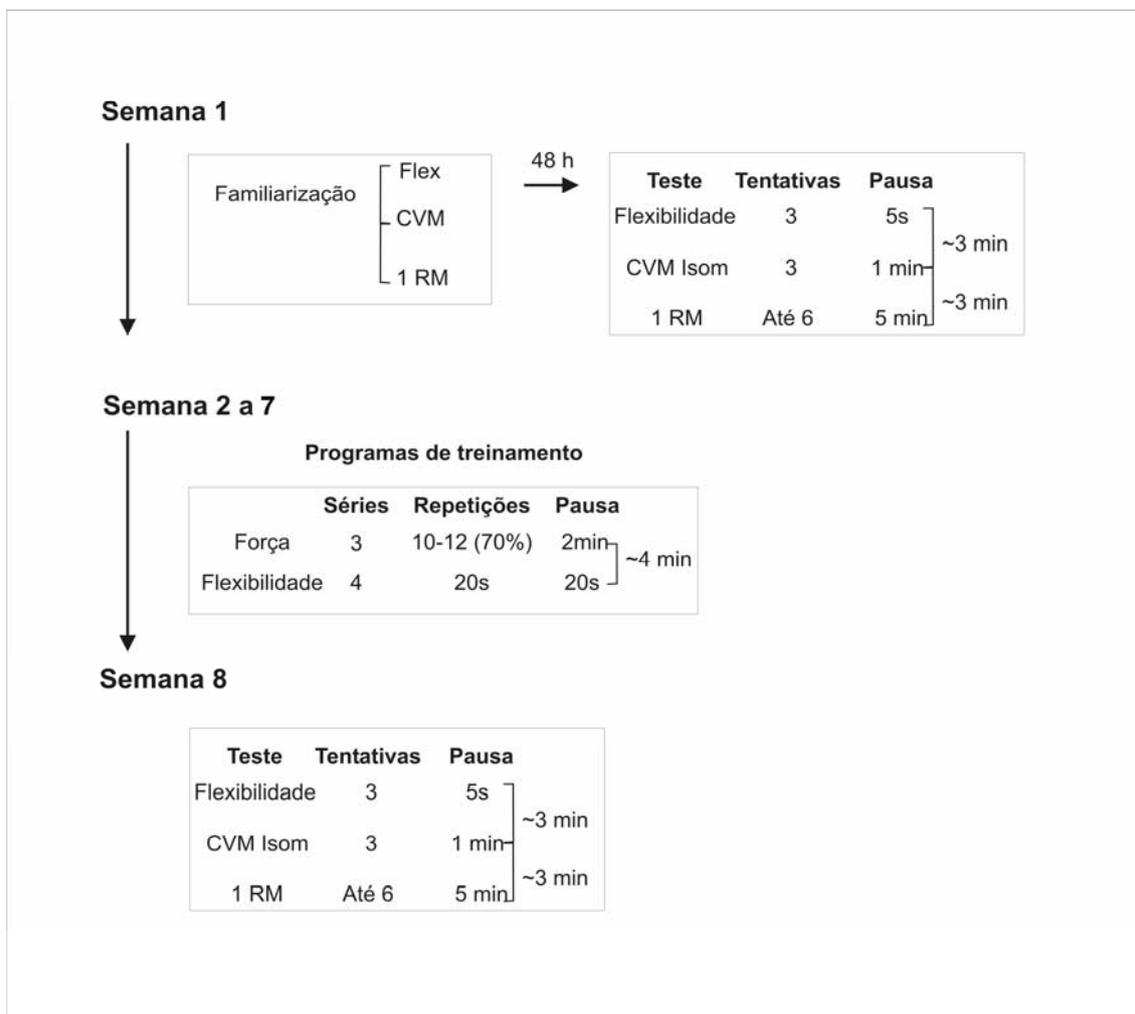


FIGURA 4- Protocolo experimental.

5.3.1 Protocolos de Testes

5.3.1.1 Teste de Uma Repetição Máxima (1RM)

Este teste é definido como a maior massa (kg) que pode ser movimentada somente uma vez dentro de uma amplitude de movimento pré-determinada (BERGER, 1962; SCHLUMBERGER, 2000). Diversos pesquisadores têm utilizado este teste para avaliar diferentes musculaturas (WILSON *et al.*,1992; KOKKONEN *et al.*,1998). Um dos objetivos do teste de 1RM é determinar a intensidade a ser utilizada no treinamento da força

muscular. Para este estudo foi utilizado o peso referente a 70% de 1RM para o treinamento da força excêntrica.

Padronização para o teste:

O número máximo de seis tentativas foi adotado e o intervalo de recuperação entre as tentativas foi de três a cinco minutos (CHAGAS *et al.*, 2005).

A tentativa foi considerada válida quando completada a ADM de ~0 a 90 graus de flexão de joelho, independente do tempo de execução e sem a presença de algum movimento acessório.

Execução do teste: Após o posicionamento do voluntário no aparelho (FIG. 5), os membros inferiores e o quadril foram fixados com faixas para minimizar possíveis movimentos acessórios. Depois da fixação, foi realizada uma série preparatória, utilizando-se pesos submáximos e, em seguida, a primeira tentativa do teste.

Variável investigada: Maior valor da massa (kg) a ser superada, representando a força máxima concêntrica.

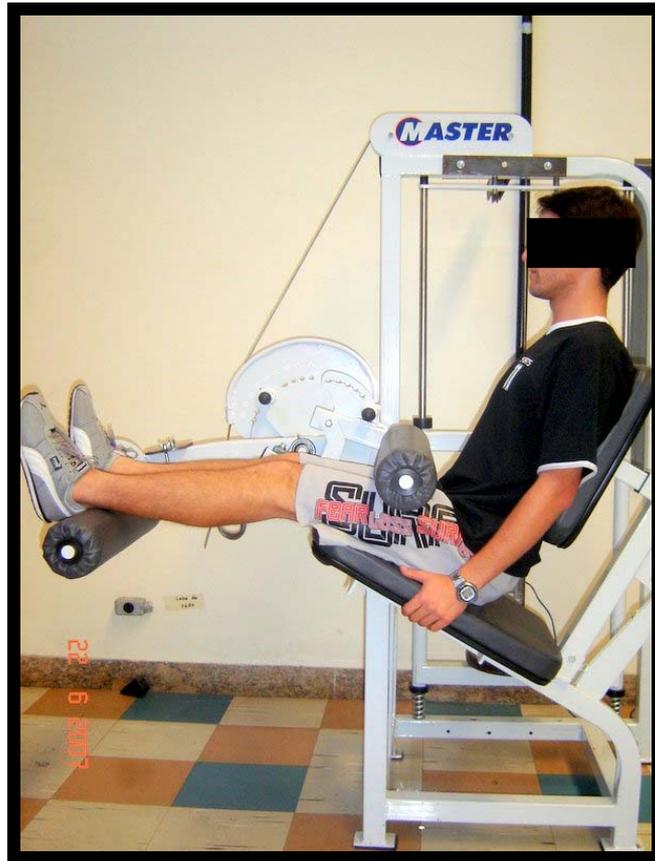


FIGURA 5 – Posicionamento inicial do indivíduo no banco flexor de joelho para o teste de 1RM.

5.3.1.2 Teste de Contração Voluntária Máxima (CVM)

Este teste tem sido utilizado para avaliar a força isométrica máxima de diferentes musculaturas (KLINGE *et al.*, 1997; FOWLES, 2000).

Segundo Schmidtbleicher (1984), a força máxima pode ser definida como o maior valor de força que pode ser alcançada por meio de uma contração voluntária máxima contra uma resistência insuperável. Como consequência desta definição, a força máxima tem sido normalmente medida em condições isométricas e definida como o maior valor da curva força-tempo (SCHLUMBERGER, 2000). Devido à alta correlação entre a força máxima

isométrica e a força máxima concêntrica ($r=0.90$ a 0.95 , indivíduos treinados; SCHMIDTBLEICHER, 1992), o nível de força máxima tem sido determinado também sob condições dinâmicas (realizando uma ação concêntrica), como já exposto acima no tópico anterior. A integral do sinal eletromiográfico foi avaliada como indicativo do grau de ativação muscular antes e após o treinamento.

Padronização para o teste: Os voluntários mantinham-se no mesmo posicionamento em que o teste de flexibilidade foi realizado, alterando somente a angulação do braço mecânico para 20° e o posicionamento dos membros superiores que eram cruzados sobre o tronco. Foram realizadas três contrações máximas, com duração de dois segundos e intervalo de um minuto entre cada contração (SALE, 1991). O calcanhar do voluntário ficou apoiado sobre a plataforma de força (Refitronic®, Schmitt, Germany) que mensurava a força máxima isométrica de cada um dos membros inferiores separadamente.

Execução do teste: Ao comando do avaliador, o voluntário deveria desenvolver rapidamente a maior força possível de flexão de joelho. Durante a realização do teste os voluntários foram estimulados verbalmente. Estes foram avaliados no aparelho *Flexmachine*, o que garantiu uma padronização do posicionamento para a avaliação (FIG. 6).

Variáveis investigadas: Pico de torque isométrico (Nm) e IEMG (mV.s).



FIGURA 6- Posicionamento do indivíduo no *Flexmachine* para o teste de CVM.

5.3.1.3 Teste de flexibilidade

Modelos similares de avaliação da flexibilidade ao adotado no presente estudo têm sido utilizados (MAGNUSSON *et al.*, 1995; 1996a,1996b; 1998; 2000; KLINGE *et al.* 1997; CHAGAS e SCHMIDTBLEICHER, 2001).

Padronização para o teste: Foram realizadas três tentativas para cada membro inferior. Em cada tentativa, o joelho do voluntário foi estendido passivamente a uma velocidade de 5°/s (GRILL & HALLETT, 1995) até o alcance da ADM máx, a qual era determinada pela percepção subjetiva

individual. Depois disso, o braço mecânico e, conseqüentemente o membro inferior, eram imediatamente retornados à posição inicial.

Execução do teste: Após o posicionamento do voluntário, este recebia dois dispositivos, um para o acionamento do motor e outro para o registro da percepção subjetiva da dor. Ao comando do avaliador, o voluntário apertava um botão no dispositivo para acionar o motor, iniciando desta forma a manobra de alongamento. À primeira sensação de alongamento ou tensão na musculatura alongada, o voluntário pressionava o botão do dispositivo da percepção subjetiva do alongamento, enquanto continuava a realizar a extensão do joelho. Ao alcançar a ADM máx, ou seja, o maior ângulo de extensão do joelho suportável, o voluntário acionava o botão responsável para descer o braço mecânico até que esse retornasse à posição inicial.

Variáveis investigadas: ADM máx, torque passivo máximo (TP máx), PSD, rigidez passiva e energia (QUADRO 1). A partir do valor da ADM máx determinado pela elevação significativa da amplitude do sinal eletromiográfico, as curvas da ADM e do torque passivo foram divididas em três terços. Para o 2º e 3º terços da curva ADM x torque passivo foi calculada a rigidez passiva através da razão $\Delta TP/\Delta ADM$. A energia foi determinada pela integral da área correspondente ao 2º e 3º terços da curva ADM x torque passivo. Antes e depois do período de treinamento as curvas de ADM x torque passivo foram comparadas com base nos três terços estabelecidos no pré-teste. A variável PSD é subdividida em PSD_ADM e PSD_Torque passivo (PSD_TP). Os valores obtidos para estas variáveis (PSD_ADM e PSD_TP) correspondem à ADM e ao torque passivo no momento em que o voluntário pressionava o dispositivo manual da PSD.

QUADRO 1

Variáveis medidas no teste de flexibilidade

Variáveis	Parâmetros de registro
ADM máxima (ADM máx)	O maior valor de ADM registrado durante o teste de flexibilidade. Este valor foi determinado pela elevação do sinal eletromiográfico acima do basal.
Torque passivo máximo (TP máx)	Valor de torque no momento em que foi registrada a ADM máx.
PSD_ADM	Valor de ADM no momento do registro da 1ª sensação de desconforto ao alongamento durante o teste de flexibilidade.
PSD_TP	Valor de torque no momento do registro da 1ª sensação de desconforto ao alongamento durante o teste de flexibilidade.
Rigidez passiva 2/3	Valor expresso pela razão $\Delta TP/\Delta ADM$ obtida a partir do 2º terço das curvas ADM x TP.
Rigidez passiva 3/3	Valor expresso pela razão $\Delta TP/\Delta ADM$ obtida a partir do 3º terço das curvas ADM x TP.
Energia 2/3	Valor calculado a partir da integral da área correspondente ao 2º terço da curva ADM x TP.
Energia 3/3	Valor calculado a partir da integral da área correspondente ao 3º terço da curva ADM x TP.

--	--

5.3.2 Protocolos de Treinamento

5.3.2.1 Treinamento de força

A carga de treinamento da força consistiu de três séries de 10 a 12 repetições a uma intensidade correspondente a 70% de 1RM. O intervalo entre as séries foi de 120 segundos e a duração de cada repetição foi de três segundos. O treinamento foi realizado três vezes por semana, durante seis semanas. Não foram consideradas válidas as repetições executadas com uma amplitude menor do que a pré-determinada ($\sim 90^{\circ}$ - 0° para o grupo EC e $\sim 90^{\circ}$ - 45° para o grupo EP), assim como duas repetições consecutivas com duração inferior a três segundos e a presença de movimentos acessórios. As FIG. 7 e 8 ilustram as posições finais de cada repetição realizada pelos subgrupos EP e EC.

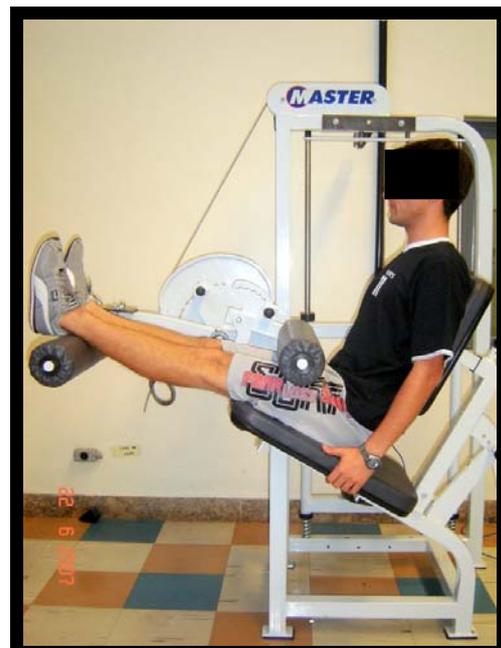


FIGURA 7 - Posição final de cada repetição realizada pelo subgrupo EP. FIGURA 8 - Posição final de cada repetição realizada pelo subgrupo EC.

repetição realizada pelo subgrupo EP. repetição realizada pelo subgrupo EC.

A coleta de dados do presente estudo é parte integrante de um projeto maior, no qual estava inserido um outro grupo experimental que treinou força, realizando somente ações concêntricas. Ao longo do treinamento, as progressões dos pesos para os grupos EP e EC ocorreram à medida que os voluntários correspondentes ao grupo concêntrico progrediam. Por exemplo, caso ocorresse um aumento de 10% no peso utilizado no treinamento de um indivíduo do grupo concêntrico, ocorreria o mesmo aumento percentual no peso para os integrantes correspondentes aos grupos EP e EC (HORTOBÁGYI *et al.*, 1996b). Este critério foi adotado em virtude de não terem sido identificadas na literatura recomendações para a progressão da intensidade no treinamento de força, envolvendo ações musculares excêntricas. Além disso, na prática, a intensidade do estímulo no treinamento de força excêntrica é determinada pelo peso que o indivíduo utiliza na ação muscular concêntrica. Durante as seis semanas todos os integrantes dos grupos EP e EC completaram o volume de treinamento pré-estabelecido (36 repetições/sessão).

5.3.2.2 Treinamento de flexibilidade

O treinamento de flexibilidade era realizado quatro minutos após o término do treinamento de força. Esta ordem foi baseada em estudos que verificaram uma redução significativa do desempenho de força após uma sessão de treinamento de flexibilidade (AVELA *et al.*, 1999; FOWLES *et al.*, 2000; KOKKONEN *et al.*, 1998; POWER *et al.*, 2004; WEIR *et al.*, 2005).

O treinamento de flexibilidade, utilizando a técnica de alongamento passiva estática, foi realizado duas vezes por semana durante seis semanas. Em cada sessão de treinamento, foram realizadas quatro séries de 20 segundos, com pausa entre as séries de aproximadamente 20 segundos. A velocidade de alongamento foi padronizada em 5°/s.

As normativas da carga de treinamento de flexibilidade adotadas neste estudo foram baseadas em pesquisas que investigaram o efeito crônico do exercício de alongamento na ADM (BORMS *et al.*, 1987; BANDY e IRON, 1994; 1997; 1998; ROBERTS e WILSON, 1999; WILLY *et al.*, 2001; REID e MCNAIR, 2004).

A TAB. 2 apresenta resumidamente as principais características dos protocolos de treinamento para cada grupo experimental.

Tabela 2

Protocolo de treinamento dos grupos experimentais

Grupos	Conteúdo do treinamento	Séries	Repetições	Duração estímulo	Pausa entre séries	Intensidade
EP	Força	3	10 a 12	3 seg	2 min.	70% *
EP_F	Força	3	10 a 12	3 seg	2 min.	70% *
	Flexibilidade	4	1	20 seg	20 seg	Máxima
EC	Força	3	10 a 12	3 seg	2 min.	70% *
EC_F	Força	3	10 a 12	3 seg	2 min.	70% *
	Flexibilidade	4	1	20 seg	20 seg	Máxima

* 1RM.

Legenda: EP: excêntrica com amplitude parcial; EP_F: excêntrica com amplitude parcial e treinamento de flexibilidade; EC: excêntrica com amplitude completa; EC_F: excêntrica com amplitude completa e treinamento de flexibilidade.

5.4 Análise Estatística

Todas as variáveis apresentaram distribuição normal verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Foram realizadas as análises descritivas para todas as variáveis mensuradas, calculando-se as médias, os desvios padrão, os valores mínimo e máximo para as variáveis ADM máx, TP máximo, PSD, rigidez passiva, energia, IEMG, 1RM e CVM.

A análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas foi utilizada para determinar se a média dos valores obtidos de cada variável seria diferente no tempo (antes e após o treinamento), entre os subgrupos (EP, EP_F, EC e EC_F) ou na interação subgrupo x tempo. A análise *Post Hoc Tukey* foi utilizada para identificar as diferenças nas médias entre os subgrupos para cada um dos tempos estudados. A análise da confiabilidade dos procedimentos da coleta foi realizada por meio do cálculo do coeficiente de correlação intraclassa (CCI 3,1) (BANDY e IRON, 1997; PORTNEY e WATKINS, 2000) e pela determinação do erro do método (EM) (SALE, 1991). Para este procedimento os valores obtidos em ambos os membros inferiores do grupo controle foram utilizados, com exceção de um voluntário que havia sido acometido por uma lesão no membro inferior esquerdo (n=19). Além disso, foi calculado o poder estatístico para cada variável para verificar a probabilidade de cometer o erro do tipo II (THOMAS e NELSON, 2002; MOHER *et al.*, 1994)

A atividade eletromiográfica registrada durante a CVM foi analisada, baseando-se na integral da EMG que foi calculada pelo período de contração

de 1,5 segundos, com o objetivo de padronizar o tempo para todos os voluntários. Para a análise estatística através da ANOVA, foi utilizada a média dos valores da IEMG obtida a partir das três contrações musculares realizadas. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. Os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando-se o programa Statistica 5.0 (Statsoft).

6. RESULTADOS

Os dados apresentaram distribuição normal e homogeneidade. A TAB. 3 apresenta os valores de CCI e do EM para as variáveis analisadas. Com base nestes valores, podem ser verificadas a confiabilidade do procedimento de medida e a instabilidade de cada variável. O poder estatístico oferece informações a cerca da possibilidade de ocorrer o erro do tipo II (THOMAS e NELSON, 2002, MOHER *et al.*, 1994).

TABELA 3

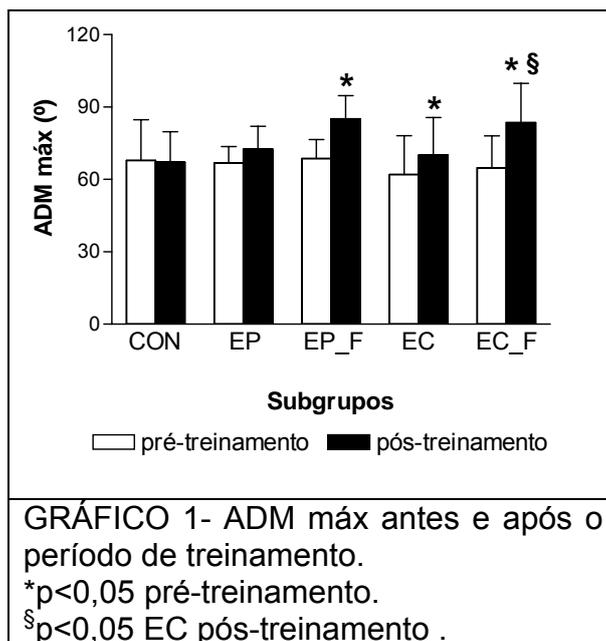
CCI, EM e poder estatístico das variáveis estudadas.

VARIÁVEL	CCI (3,1)	EM (%)	Poder Estatístico
ADM máx	0,935	6,758	0,989
TP máx	0,982	9,180	0,983
Rigidez passiva 2/3	0,862	20,105	0,217
Rigidez passiva 3/3	0,863	17,095	0,100
Energia 2/3	0,897	21,849	0,119
Energia 3/3	0,946	18,667	0,200
PSD _ADM	0,948	12,711	0,982
PSD _TP	0,931	16,913	0,963
1RM	0,948	3,100	0,723
CVM	0,805	8,993	0,999

Integral (EMG posterior da coxa)	0,935	18,564	0,604
Integral (EMG Gastrocnêmio)	0,902	21,454	0,061

Amplitude de movimento máxima (ADM máx)

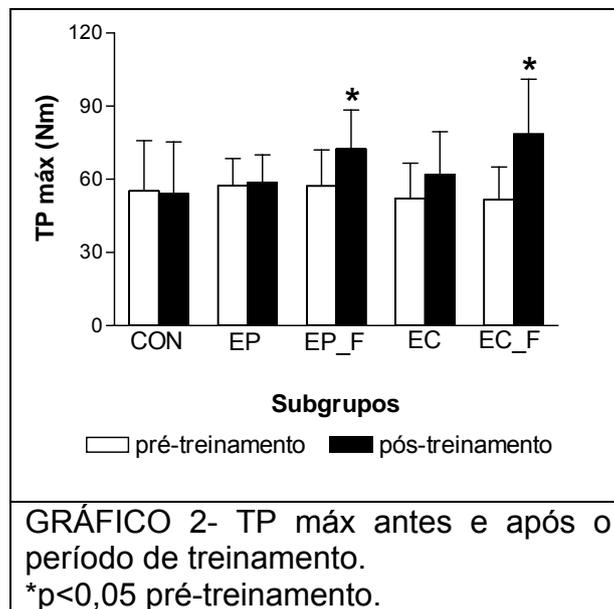
Ocorreram aumentos significativos na ADM máx para os subgrupos EP_F (pré: $68,7 \pm 8,0^\circ$; pós: $85,2 \pm 10,0^\circ$; $p < 0,05$), EC (pré: $62,0 \pm 16,2^\circ$; pós: $70,0 \pm 15,6^\circ$; $p < 0,05$) e EC_F (pré: $64,8 \pm 13,6^\circ$; pós: $83,5 \pm 16,3^\circ$; $p < 0,05$) (GRÁF. 1). Após o período de treinamento ocorreram diferenças entre EC_F e EC ($p = 0,001$). Não foram encontradas diferenças significativas para o grupo controle.



Torque passivo máximo (TP máx)

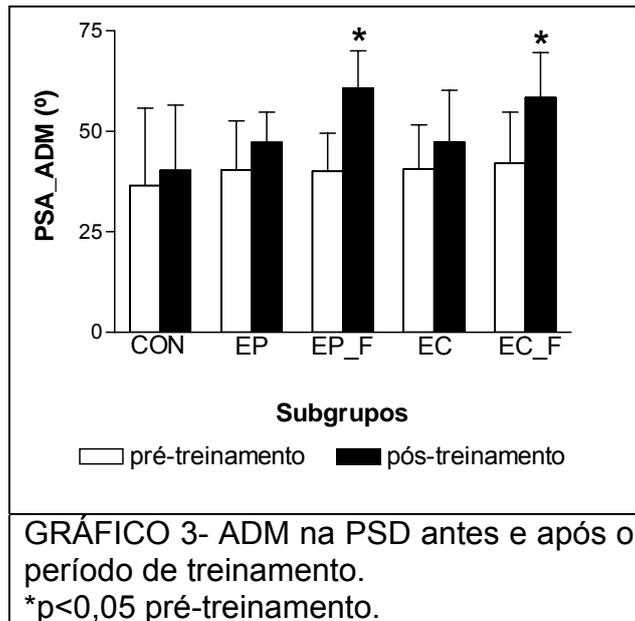
Após o período de treinamento ocorreu um aumento significativo no TP máx para os subgrupos EP_F (pré: $57,2 \pm 15,0$ Nm; pós: $72,4 \pm 16,0$ Nm; $p < 0,05$) e EC_F (pré: $51,8 \pm 13,3$ Nm ; pós: $78,6 \pm 22,5$ Nm; $p < 0,05$) ilustrado

no GRÁF. 2. Não foram encontradas diferenças significativas para o grupo controle.



Amplitude de movimento registrada na 1ª percepção subjetiva do desconforto ao alongamento (PSD_ADM)

Após o período de treinamento ocorreram aumentos significativos na PSD_ADM para os subgrupos EP_F (pré: $40,0 \pm 9,5^\circ$; pós: $60,8 \pm 9,2^\circ$; $p < 0,05$) e EC_F (pré: $42,0 \pm 12,8^\circ$; pós: $58,4 \pm 11,1^\circ$; $p < 0,05$), ilustrados no GRÁF. 3. Não foram encontradas diferenças significativas para o grupo controle ($p = 0,90$).



Torque passivo registrado na 1ª percepção subjetiva do desconforto ao alongamento (PSD_TP)

Ocorreram aumentos significativos no PSD_TP para os subgrupos EP_F (pré: 30,3 ± 14,5 Nm; pós: 45,5 ± 13,3 Nm; p<0,05), EC (pré: 28,3 ± 8,7 Nm; pós: 36,0 ± 8,3 Nm; p<0,05) e EC_F (pré: 29,5 ± 7,7 Nm; pós: 45,2 ± 11,4 Nm; p<0,05), ilustrados no GRÁF. 4. Também foram encontradas diferenças significativas entre EC_F e EC (p=0,006) após 6 semanas de treinamento. Não foram encontradas diferenças significativas para o grupo controle.

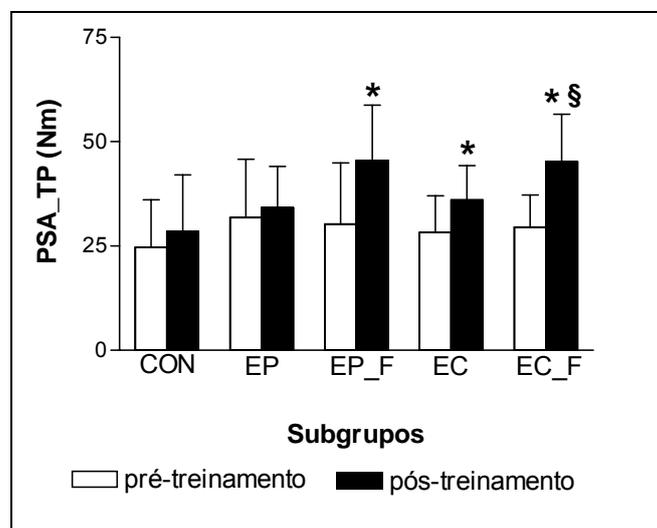
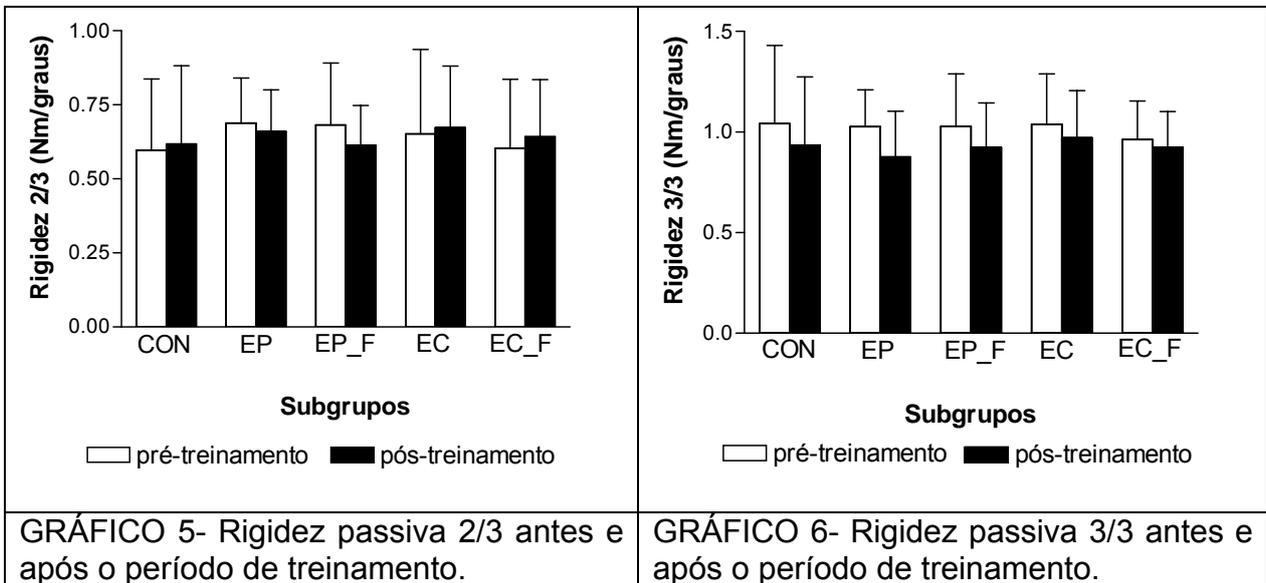


GRÁFICO 4- TP na PSD antes e após o período de treinamento.
 *p<0,05 pré-treinamento.
 §p<0,05 EC pós-treinamento.

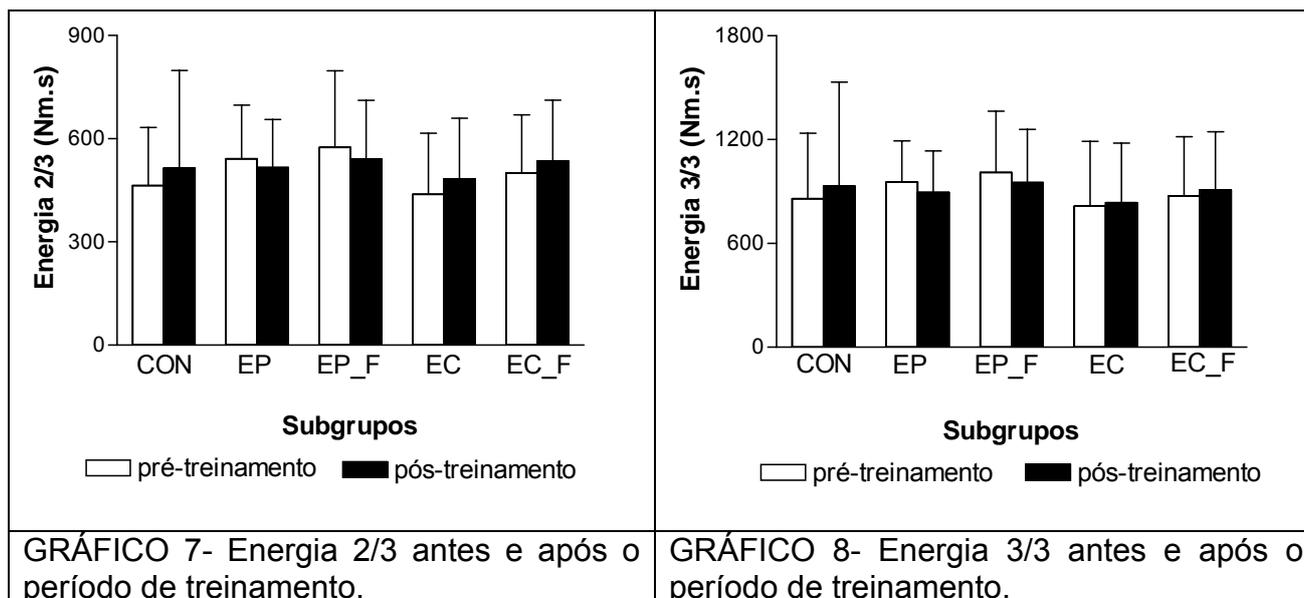
Rigidez passiva (2/3 e 3/3)

Após 6 semanas de treinamento não ocorreram alterações significativas na variável rigidez passiva (2/3 e 3/3) para o grupo controle, nem para os demais subgrupos, conforme apresentado nos GRÁF. 5 e 6.



Energia (2/3 e 3/3)

Após o período de treinamento não foram encontradas diferenças significativas na média dos valores da variável energia (2/3 e 3/3) para o grupo controle nem para os demais subgrupos (GRÁF. 7 e 8).



Uma repetição máxima (1RM) e Contração voluntária máxima (CVM)

Após o período de treinamento ocorreram aumentos significativos nos valores de 1RM para os grupos EP (pré: $82,0 \pm 17,0$; pós: $89,0 \pm 18,0$; $p=0,01$) e EC (pré: $79,0 \pm 10,0$; pós: $90,0 \pm 14,0$; $p=0,0001$), ilustrados no GRÁF. 9. Não foram encontradas diferenças significativas para o grupo controle. Em relação ao desempenho de força avaliado no teste de CVM, ocorreram aumentos significativos para os subgrupos EP_F (pré: $113,4 \pm 38,8$ Nm; pós: $131,9 \pm 35,1$ Nm; $p=0,007$), EC (pré: $97,5 \pm 22,2$ Nm; pós: $114,8 \pm 21,1$ Nm; $p=0,01$) e EC_F (pré: $100,3 \pm 25,7$ Nm; pós: $121,0 \pm 24,7$ Nm; $p=0,001$), sem diferenças entre esses subgrupos (GRÁF. 10).

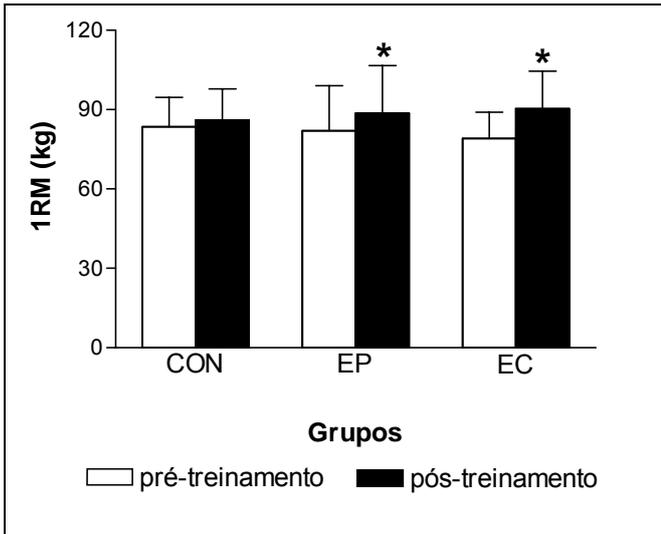


GRÁFICO 9- Desempenho no teste de 1RM antes e após o período de treinamento. * $p < 0,05$ pré-treinamento.

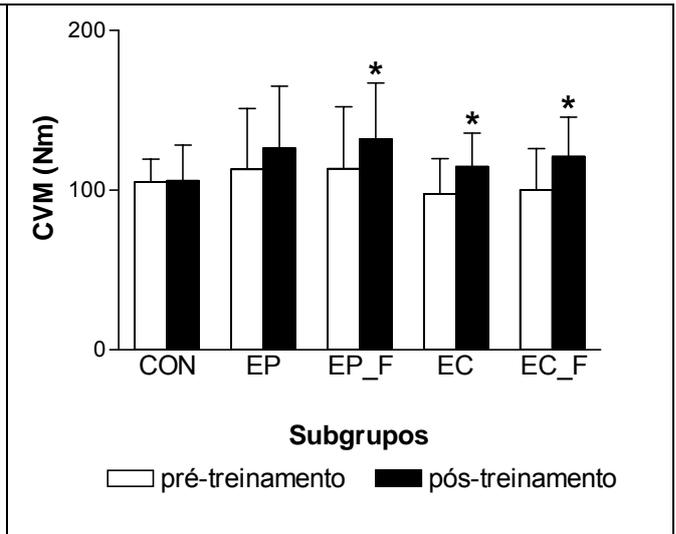
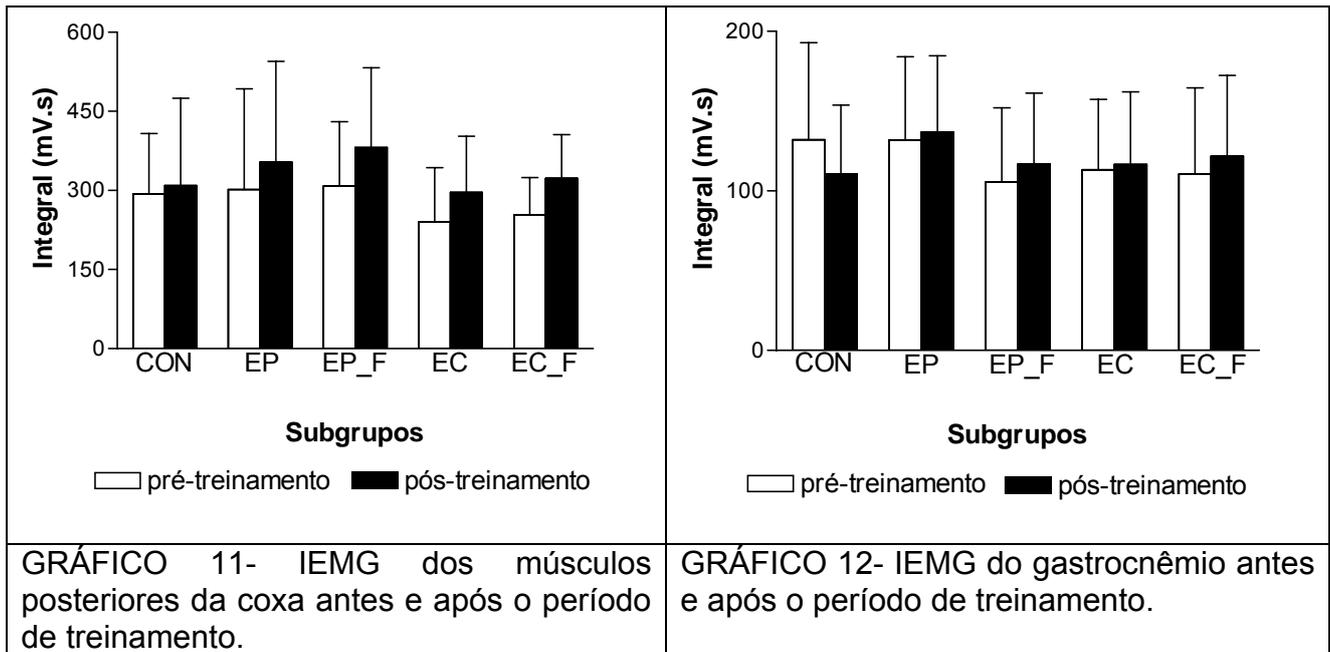


GRÁFICO 10- Desempenho no teste de CVM antes e após o período de treinamento. * $p < 0,05$ pré-treinamento.

Integral do sinal eletromiográfico (IEMG)

Após o período de treinamento não foram encontradas diferenças significativas para a IEMG no grupo controle nem para os subgrupos, tanto para os músculos posteriores da coxa quanto para o gastrocnêmio (GRÁF. 11 e 12).



7. DISCUSSÃO

Na análise dos resultados foi possível observar que a ADM máx, o TP máx, a PSD_ADM e PSD_TP aumentaram significativamente para os subgrupos que executaram o treinamento de força excêntrica associado ao treinamento de flexibilidade (EP_F e EC_F). O mesmo não ocorreu para os subgrupos que foram submetidos somente ao treinamento de força excêntrica (EP e EC). Entre esses, apenas o subgrupo EC aumentou significativamente a

ADM máx e a PSD_TP, enquanto o subgrupo EP não apresentou nenhuma diferença nas variáveis investigadas. Os resultados do presente estudo demonstram que a carga de treinamento de flexibilidade utilizada foi suficiente para provocar um aumento significativo na ADM máx de 29% e 24% para os subgrupos EC_F e EP_F, respectivamente, sem diferença entre esses subgrupos ($p=0,99$). Aumentos similares da ADM máx têm sido observados em estudos nos quais os voluntários treinaram somente flexibilidade (BORMS *et al.*, 1987; GADJOSIK, 1991; BANDY e IRON, 1994).

As adaptações crônicas associadas diretamente ao treinamento de flexibilidade podem servir de base para explicar os resultados encontrados. Diferentes mecanismos são mencionados na literatura para explicar mudanças em variáveis relacionadas com a capacidade flexibilidade. O aumento da ADM máx pode estar associado a alterações nas propriedades viscoelásticas (TOFT *et al.*, 1989; GUISSARD e DUCHATEAU, 2004), ao aumento do número de sarcômeros em série (WILLIAMS e GOLDSPINK, 1973; 1978; GAJDOSIK, 2001) ou ao aumento da tolerância ao alongamento (HALBERTSMA *et al.*, 1994; MAGNUSSON *et al.*, 1996b; LAROCHE *et al.*, 2006). De acordo com o estudo de Guissard e Duchateau (2004), após seis semanas de treinamento de flexibilidade dos flexores plantares foi observado um aumento na ADM acompanhado por uma redução significativa na rigidez de 33%. No estudo de Toft *et al.* (1989), três semanas de treinamento de flexibilidade provocaram uma redução significativa de 36% na rigidez passiva dos músculos flexores plantares. No presente estudo não ocorreram alterações significativas nas variáveis rigidez passiva e energia, que podem ser associadas à complacência da UMT. Isto demonstra que a carga de treinamento de flexibilidade utilizada

durante seis semanas não provocou alterações nas propriedades viscoelásticas caracterizadas pela rigidez passiva e energia, as quais poderiam influenciar a resposta da variável ADM. Outros estudos também não encontraram alterações nas propriedades viscoelásticas, após um período de três (MAGNUSSON *et al.*, 1996b) e quatro semanas (HALBERTSMA *et al.*, 1994; LAROCHE *et al.*, 2006) de treinamento de flexibilidade. Esses resultados mostram uma controvérsia sobre a possibilidade desse mecanismo ser utilizado para explicar as adaptações crônicas do treinamento de flexibilidade. Entretanto, seria importante não descartar a contribuição do mesmo para o aumento crônico da ADM máx, uma vez que existe uma carência de estudos que tenham submetido um grupo de voluntários a períodos mais longos de treinamento de flexibilidade, o que poderia ser um fator decisivo na consolidação desta resposta adaptativa (alterações nas propriedades viscoelásticas).

Um outro mecanismo que pode estar relacionado com o aumento crônico da ADM máx é o aumento do número de sarcômeros em série. Essa adaptação tem sido demonstrada em estudos realizados com animais que tiveram segmentos corporais imobilizados em posição de alongamento (WILLIAMS e GOLDSPINK, 1973; 1978). Não existem evidências concretas demonstrando este mecanismo, após um período de treinamento de flexibilidade em humanos (GAJDOSIK, 2001). Uma hipótese de como a carga mecânica passiva imposta pelo alongamento poderia desencadear este processo é descrita por De Deyne *et al.* (2001). Esses autores apontam uma seqüência de interações moleculares desencadeadas pelo estímulo mecânico, que poderia resultar no aumento do número de sarcômeros em série. Este

mecanismo tem sido avaliado de maneira indireta em seres humanos por meio da curva torque-ângulo (BROCKETT *et al.*, 2001; MCHUGH, 2003; FERREIRA DE AQUINO, 2005). Esta avaliação indireta é baseada na idéia de que o deslocamento para a direita da curva torque-ângulo poderia representar um acréscimo do número de sarcômeros em série, que resultaria num estado mais favorável para o desenvolvimento de tensão, o qual estaria presente em maiores comprimentos musculares.

Handel *et al.* (1997) observaram, após oito semanas de treinamento de flexibilidade, um deslocamento do pico de torque excêntrico em direção a maiores comprimentos musculares. O mesmo não ocorreu no estudo de Ferreira de Aquino (2005), após oito semanas, onde o grupo que treinou flexibilidade não apresentou um deslocamento para a direita do pico de torque concêntrico, ao contrário do grupo que foi submetido ao treinamento de força (ações concêntricas + excêntricas) realizado nas amplitudes iniciais de flexão de joelho. Brockett *et al.* (2001) também observaram um deslocamento para a direita da curva torque concêntrico-ângulo, após uma sessão de treinamento de força excêntrica. Esse deslocamento ainda estava presente, dez dias após a execução da tarefa motora, envolvendo as ações excêntricas. No presente estudo não foi avaliado indiretamente pela dinamometria isocinética a possível participação desse mecanismo (aumento do número de sarcômeros em série). Entretanto, se houvesse alguma alteração nesse sentido, seria esperado que o comprimento da UMT aumentasse e alterasse a complacência da UMT. Com isso, iria ocorrer uma modificação nas variáveis rigidez passiva e energia determinada pela relação da curva TP x ADM, o que não ocorreu no presente estudo. Importante destacar que os voluntários do subgrupo EC_F foram

submetidos, tanto ao treinamento de força excêntrica, quanto ao de flexibilidade e mesmo assim não foram verificadas alterações na rigidez passiva e energia. Alguns estudos que descartaram o mecanismo de alteração na complacência da UMT, devido a não alteração de variáveis que indicariam alterações das propriedades viscoelásticas, explicaram o aumento da ADM máx, baseando-se no aumento da tolerância ao alongamento (HALBERTSMA *et al.*, 1994; MAGNUSSON *et al.*, 1996b; LAROCHE *et al.*, 2006). Segundo LaRoche *et al.* (2006), o aumento da tolerância ao alongamento pode estar relacionado a alterações funcionais no SNC e/ou periférico. Tais alterações podem estar associadas a uma atenuação do processamento dos sinais oriundos de nociceptores, dos fusos musculares e dos órgãos tendinosos de Golgi. Entretanto, uma explicação de como esta redução do processamento dos sinais oriundos dessas estruturas seria desencadeada não foi apresentada pelos autores. As informações a seguir poderiam ser utilizadas neste momento para encaminhar uma linha de raciocínio que representaria uma possível base teórica para argumentar como o exercício de alongamento alteraria a tolerância do indivíduo ao alongamento.

A tolerância ao alongamento poderia ser influenciada por uma remodelagem tecidual provocada pelo treinamento de força excêntrica e/ou de flexibilidade, uma vez que estudos demonstraram que o alongamento e as ações excêntricas podem afetar tanto o tecido conectivo quanto o contrátil (PURSLOW, 1989; SMITH *et al.*, 1993; BROWN *et al.*, 1999). Smith *et al.* (1993) registraram um aumento significativo de 62% na concentração sérica de creatina quinase (marcador de lesão muscular) 24 horas após uma sessão de exercícios de alongamento. Isto demonstra que a carga mecânica oriunda do

alongamento e imposta sobre a UMT é capaz de alterar a estrutura do tecido contrátil. Brown *et al.* (1999) observaram aumentos significativos na concentração de colágeno tipo I (marcador de lesão no tecido conectivo), após uma sessão de treinamento de força excêntrica, evidenciando também a influência do estímulo mecânico desencadeado pelas ações excêntricas.

Segundo Culaw *et al.* (1999), sob condições fisiológicas normais, a manutenção de parte dos componentes do tecido conectivo (fibras de colágeno, proteoglicanos e glicoproteínas) é regulada e controlada através do equilíbrio entre síntese e degradação. Um dano ao tecido conectivo pode alterar o equilíbrio. A alteração do equilíbrio entre síntese e degradação influencia a arquitetura do tecido e suas propriedades mecânicas (CULAW *et al.*, 1999). O estímulo mecânico provocado pela atividade contrátil, ou pelo alongamento da UMT, dá início a uma série de eventos moleculares que podem resultar numa remodelagem do tecido conectivo (DE DEYNE *et al.*, 2001; KJAER, 2004). Gosselin *et al.* (1998) demonstraram que, após 10 semanas de treinamento de resistência, ocorreu uma redução do nível de *cross-links* em ratos idosos, o que provocou ausência de diferença na rigidez da musculatura entre animais idosos e jovens treinados e demonstrou que o tecido conectivo pode sofrer alterações estruturais mediante sucessivas cargas mecânicas impostas sobre a UMT. Sabendo-se que grande parte das terminações nervosas livres estão localizadas no tecido conectivo (tecido capaz de transmitir estímulo mecânico - ex: alongamento), especificamente entre as fibras de colágeno (MENSE, 1993; MESSLINGER, 1996), uma possível remodelagem nesse tecido, provocada pelo treinamento de força excêntrica e/ou de flexibilidade, poderia influenciar a estimulação dessas terminações

nervosas livres. Segundo Messlinger (1996), a rigidez da estrutura na qual estão inseridas as terminações nervosas livres pode determinar a sensibilidade mecânica dessas estruturas sensoriais, e, conseqüentemente o limiar mecânico das unidades aferentes. Dessa forma, é possível pensar que o aumento da tolerância ao alongamento tenha uma relação direta com uma modificação estrutural do tecido conectivo sujeito a sucessivas tensões resultantes do treinamento de força excêntrica e de flexibilidade. Partindo dessas informações, o indivíduo que aumenta a tolerância ao alongamento é capaz de suportar um maior TP e, conseqüentemente, alcançar uma maior ADM máx. No presente estudo, os aumentos significativos observados para as variáveis PSD_ADM e PSD_TP nos subgrupos que treinaram flexibilidade (EP_F e EC_F) corroboram as informações relatadas anteriormente, ou seja, após seis semanas de treinamento os voluntários desses subgrupos registraram a primeira sensação de alongamento nos músculos posteriores da coxa em maiores ADM e, associados a esses valores de ADM, maiores valores de TP.

Em relação aos subgrupos EC e EC_F, ambos aumentaram significativamente a ADM máx, sendo que o aumento apresentado pelo subgrupo EC_F (29%) foi significativamente maior que o alcançado pelo EC (13%) ($p < 0,05$). Esse resultado demonstra que o treinamento de flexibilidade foi o fator principal que resultou nessa diferença observada. Os mecanismos que poderiam explicar o aumento da ADM máx verificado nestes subgrupos foram abordados anteriormente. Interessante foi que o grupo EC_F mostrou um aumento da ADM máx significativamente maior do que o subgrupo EC, o que poderia conduzir para a conclusão de que os estímulos provocados pelo

treinamento de força excêntrica associado ao de flexibilidade potencializaram a resposta referente à ADM máx. Por outro lado, o subgrupo EC aumentou a ADM máx, mas sem alteração no TP máx, descartando assim uma explicação do resultado por meio do aumento da tolerância ao alongamento. Estudos que investigaram o efeito isolado da ação muscular excêntrica em parâmetros da flexibilidade explicam os resultados pelo aumento do número de sarcômeros em série. Esse aumento tem sido demonstrado em experimentos com animais (LYNN e MORGAN, 1994). Em seres humanos, como mencionado anteriormente, o deslocamento do pico de torque para a direita na curva torque-ângulo indicaria que a relação ótima de comprimento-tensão da UMT após o possível acréscimo de novos sarcômeros em série aconteceria em comprimentos maiores (FERREIRA DE AQUINO, 2005). Contudo, o número de estudos que utilizaram este procedimento ainda é bastante reduzido, necessitando de um maior volume de resultados que consolidem esta perspectiva. Uma vez que o desenho experimental do presente estudo não possibilitou investigar a resposta do pico de torque ativo por meio da curva torque-ângulo e a variável TP máx não se alterou, uma explicação para o aumento da ADM máx para o subgrupo EC permanece aberta. Outras investigações são necessárias para se compreender melhor os mecanismos que estão influenciando esta resposta. Um resultado inesperado foi o aumento significativo da PSD_TP nos subgrupos EC_F e EC, sem o concomitante aumento significativo da PSD_ADM para o subgrupo EC. Em uma primeira análise foi observado um aumento de 17% da PSD_ADM para o subgrupo EC, o que possibilitou um questionamento sobre a presença de erro do tipo II. Contudo, o alto poder estatístico (0,98), relacionado à variável PSD_ADM

verificado no presente estudo, reduz a probabilidade de erro do tipo II. Explicações para este resultado não podem ser fornecidas baseando-se nas informações disponíveis na literatura.

Quando comparados os resultados dos subgrupos EP e EP_F fica claro que o treinamento de flexibilidade foi o fator responsável pelas diferenças observadas entre esses subgrupos. O subgrupo EP não apresentou alteração significativa em nenhuma das variáveis investigadas. Ao contrário, como já mencionado no início da discussão dos resultados, o subgrupo EP_F aumentou significativamente as variáveis ADM máx, TP máx, PSD_ADM e PSD_TP. Isto demonstra que a ADM parcial e a carga de treinamento de força realizada pelo subgrupo EP não representaram um estímulo suficiente para alterar alguma das variáveis analisadas. Os mecanismos que poderiam explicar os aumentos das variáveis mencionadas anteriormente para o subgrupo EP_F já foram abordados e parecem estar relacionados diretamente com o aumento da tolerância ao alongamento.

Com relação ao desempenho de força, ambos os grupos experimentais (EP e EC) alcançaram aumentos ($p < 0,05$) medidos pelo teste de 1RM, sem diferença entre os resultados ($p = 0,97$). A mesma carga de treinamento de força foi realizada pelos dois grupos, em ADM diferentes. Desta forma, mesmo realizando o treinamento de força com uma ADM reduzida, o grupo EP foi capaz de aumentar o desempenho no teste de 1RM. Isto demonstra que para sujeitos destreinados a ADM realizada no treinamento de força excêntrica não influenciou os resultados obtidos de força máxima concêntrica, após um período de treinamento de seis semanas. Estudos demonstraram aumento no desempenho de força concêntrica resultante de um treinamento de força

excêntrica (HORTOBÁGYI *et al.*, 1996b; SCHROEDER *et al.*, 2004). Uma melhora da coordenação intra e intermuscular, assim como uma resposta hipertrófica, pode ter contribuído para os aumentos observados em ambos os grupos experimentais (SALE, 1992). Entretanto, a pergunta sobre qual destes mecanismos seria o responsável pelo aumento da força não pode ser respondida com o desenho experimental adotado no presente estudo. Importante lembrar que pesquisas demonstraram aumentos significativos na ativação muscular (HIGBIE *et al.*, 1996) e na AST de fibras musculares (HORTOBÁGYI *et al.*, 1996a), após um período de treinamento envolvendo ações musculares excêntricas.

Em relação à força isométrica os subgrupos EP_F, EC e EC_F aumentaram respectivamente 16,3%, 17,7% e 21% o desempenho no teste de CVM. Segundo Hortobágyi *et al.* (1996b), após seis semanas de treinamento de força excêntrica submáxima foi observado um aumento de 30% na força isométrica. Para os autores, o treinamento poderia resultar em um aumento da rigidez dos elementos passivos da unidade músculo-tendão, o que contribuiria para o aumento da força isométrica. No estudo de Klinge *et al.* (1997), após 13 semanas de treinamento de força isométrica e de flexibilidade dos músculos posteriores da coxa foi observado um aumento de 43% no desempenho do teste de CVM. De acordo com esses autores, o aumento observado na força isométrica pode estar associado à hipertrofia desencadeada pelo treinamento. A magnitude dessas diferenças no ganho de força isométrica pode estar relacionada diretamente ao fato de que no estudo de Klinge *et al.* (1997), além dos voluntários terem treinado força isométrica (especificidade), o período de treinamento foi duas vezes maior.

No presente estudo, o aumento da força isométrica não foi acompanhado por uma alteração na IEMG dos músculos posteriores da coxa, nem do gastrocnêmio medial. Outros estudos não têm demonstrado mudanças significativas na EMG, após um período de treinamento de força (THORSTENSSON *et al.* 1976; NARICI *et al.*, 1996). O motivo pode estar associado com as limitações presentes nos procedimentos de registro da EMG de superfície (AAGAARD *et al.*, 2000). Uma destas limitações seria que, determinadas adaptações neurais, não registradas por meio da eletromiografia de superfície como, por exemplo, o aumento da coordenação intra ou intermuscular de músculo(s) não avaliado(s) diretamente poderiam explicar os resultados observados na CVM nos subgrupos EP_F, EC e EC_F. Além disso, de acordo com Narici *et al.* (1996) é possível que tenha ocorrido uma estimulação de grande parte das unidades motoras dos voluntários no pré-teste. Como a força medida no pós-teste de CVM aumentou, mas sem alteração dos valores médios da IEMG, uma outra provável explicação seria a hipertrofia dos músculos envolvidos no treinamento. Mas, como o subgrupo EP não aumentou a força isométrica máxima, poderia ser descartada uma possível resposta hipertrófica, assim como, adaptações neurais não registradas pela EMG de superfície (ex: aumento da coordenação intermuscular). Outro possível raciocínio seria de que a carga mecânica passiva, provocada pelo treinamento de flexibilidade nos subgrupos EP_F e EC_F e pela ação excêntrica com amplitude de movimento completa no subgrupo EC, teria sido capaz de aumentar a extensibilidade do tendão (KUBO *et al.*, 2001). Isto poderia contribuir diretamente para o aumento no desempenho do teste de

CVM, uma vez que a magnitude do encurtamento muscular presente na ação isométrica é dependente da extensibilidade do tendão (GRIFFITHS, 1991).

8. CONCLUSÃO

Ao final deste estudo é possível concluir que o treinamento de flexibilidade, associado ao treinamento de força excêntrica com diferentes amplitudes de movimento, provocou alterações significativas na maioria das variáveis estudadas, sem influenciar negativamente o aumento da força muscular. Os resultados demonstraram que a melhora na ADM máx para os subgrupos que treinaram flexibilidade pode estar relacionada ao aumento da tolerância ao alongamento e não às alterações nas propriedades viscoelásticas

da unidade músculo-tendão. Além disso, o fato de não ter sido observada diferença significativa entre os aumentos na ADM máx para os subgrupos EP_F e EC_F indica que o treinamento de força excêntrica com amplitude de movimento completa não potencializou o efeito do treinamento sobre esta variável. O treinamento de força excêntrica com diferentes ADM resultou em respostas distintas nas variáveis relativas à capacidade física flexibilidade. Isto porque o treinamento realizado pelo subgrupo EC provocou um aumento significativo na ADM máx e no PSD_TP. Em contrapartida, o subgrupo EP não apresentou mudanças significativas nas variáveis estudadas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, P. *et al.* Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol.* v.89, n.6, p.2249-2257, 2000.

AAGAARD, P. Training-induced changes in neural function. *Exerc Sport Sci Rev.* v.31, n.2, p.61-67, 2003.

ADAMS, G. R. *et al.* Skeletal muscle hypertrophy in response to isometric, lengthening, and shortening training bouts of equivalent duration. *J Appl Physiol.* v.96, n.5, p.1613-1618, 2004.

ALTER, M. *Science of Flexibility.* 2ª ed: Human Kinetics, 1996. 373 p.

AQUINO, C. F. D. *Comparação de dois programas de intervenção para*

modificação de propriedades musculares: fortalecimento em amplitudes iniciais de movimento x alongamento muscular. 2005. 77p. Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

AVELA, J.; KYROLAINEN, H.; KOMI, P. V. Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J Appl Physiol.* v.86, n.4, p.1283-1291, 1999.

BANDY, W. D.; IRION, J. M. The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscles. *Phys Ther.* v.74, n.9, p.845-850; discussion 850-842, 1994.

BANDY, W. D.; IRION, J. M.; BRIGGLER, M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Phys Ther.* v.77, n.10, p.1090-1096, 1997.

BANDY, W. D.; IRION, J. M.; BRIGGLER, M. The effect of static stretch and dynamic range of motion training on the flexibility of the hamstring muscles. *J Orthop Sports Phys Ther.* v.27, n.4, p.295-300, 1998.

BERGER, R. A. Optimum repetitions for the development of strength. *Res Q Exerc Sport.* v.33, p.334-338, 1962.

BORMS, J. *et al.* Optimal duration of static stretching exercises for improvement of coxo-femoral flexibility. *J Sports Sci.* v.5, n.1, p.39-47, 1987.

BROCKETT, C. L.; MORGAN, D. L.; PROSKE, U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci Sports Exerc.* v.33, n.5, p.783-790, 2001.

BROCKETT, C. L.; MORGAN, D. L.; PROSKE, U. Predicting hamstring strain injury in elite athletes. *Med Sci Sports Exerc.* v.36, n.3, p.379-387, 2004.

BROWN, S.; DAY, S.; DONNELLY, A. Indirect evidence of human skeletal muscle damage and collagen breakdown after eccentric muscle actions. *J Sports Sci.* v.17, n.5, p.397-402, 1999.

CHAGAS, M. H. *Auswirkungen von Beweglichkeitstraining auf die muskuläre Leistungsfähigkeit* 2001. 138p. Tese de Doutorado - Johann Wolfgang Goethe-Universitaet, Frankfurt, 2001.

CHAGAS, M. H.; BARBOSA, J. R. M.; LIMA, F. V. Comparação do número máximo de repetições realizadas a 40 e 80% de uma repetição máxima em dois diferentes exercícios na musculação entre os gêneros masculino e feminino. *Rev. Bras. Educ. Fís. Esp.* v.19, n.1, p.5-12, 2005.

CHAN, S. P.; HONG, Y.; ROBINSON, P. D. Flexibility and passive resistance of the hamstrings of young adults using two different static stretching protocols. *Scand J Med Sci Sports.* v.11, n.2, p.81-86, 2001.

CHRISTOU, E. A.; CARLTON, L. G. Motor output is more variable during eccentric compared with concentric contractions. *Med Sci Sports Exerc.* v.34, n.11, p.1773-1778, 2002.

CLARKSON, P. M.; TREMBLAY, I. Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *J Appl Physiol.* v.65, n.1, p.1-6, 1988.

COLLIANDER, E. B.; TESCH, P. A. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol Scand.* v.140, n.1, p.31-39, 1990.

CRAM, J. R.; KASMAN, G. S.; HOLTZ, J. *Introduction to Surface Electromyography*. Aspen Publishers, 1998. 408 p.

CULAW, E.; CLARK, C.; MERRILEES, M. Connective tissues: matrix composition and its relevance to physical therapy. *Phys Ther.* v.79, n.3, p.308-319, 1999.

DE DEYNE, P. G. Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Phys Ther.* v.81, n.2, p.819-827, 2001.

ENOKA, R. M. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol.* v.81, n.6, p.2339-2346, 1996.

FANG, Y. *et al.* Greater movement-related cortical potential during human eccentric versus concentric muscle contractions. *J Neurophysiol.* v.86, n.4, p.1764-1772, 2001.

FAULKNER, J. A.; BROOKS, S. V.; OPITECK, J. A. Injury to skeletal muscle fibers during contractions: conditions of occurrence and prevention. *Phys Ther.* v.73, n.12, p.911-921, 1993.

FOWLES, J. R.; SALE, D. G.; MACDOUGALL, J. D. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J Appl Physiol.* v.89, n.3, p.1179-1188, 2000.

GAJDOSIK, R. L. Effects of static stretching on the maximal length and resistance to passive stretch of short hamstring muscles. *J Orthop Sports Phys Ther.* v.14, n.6, p.250-255, 1991.

GAJDOSIK, R. L. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* v.16, n.2, p.87-101, 2001.

GIROUARD, C. K.; HURLEY, B. F. Does strength training inhibit gains in range of motion from flexibility training in older adults? *Med Sci Sports Exerc.* v.27, n.10, p.1444-1449, 1995.

GOLDSPINK, G. *et al.* Effect of denervation on the adaptation of sarcomere number and muscle extensibility to the functional length of the muscle. *J Physiol.* v.236, n.3, p.733-742, 1974.

GOSSELIN, L. E. *et al.* Effect of exercise training on passive stiffness in locomotor skeletal muscle: role of extracellular matrix. *J Appl Physiol.* v.85, n.3, p.1011-1016, 1998.

GRIFFITHS, R. I. Shortening of muscle fibres during stretch of the active cat medial gastrocnemius muscle: the role of tendon compliance. *J Physiol.* v.436, p.219-236, 1991.

GRILL, S. E.; HALLETT, M. Velocity sensitivity of human muscle spindle afferents and slowly adapting type II cutaneous mechanoreceptors. *J Physiol.* v.489 (Pt 2), p.593-602, 1995.

GUISSARD, N.; DUCHATEAU, J. Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle Nerve.* v.29, n.2, p.248-255, 2004.

HALBERTSMA, J. P.; GOEKEN, L. N. Stretching exercises: effect on passive extensibility and stiffness in short hamstrings of healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* v.75, n.9, p.976-981, 1994.

HANDEL, M. *et al.* Effects of contract-relax stretching training on muscle performance in athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* v.76, n.5, p.400-408, 1997.

HERMENS, H. J. *et al.* European Recommendations for Surface Electromyography. *Roessingh Research and Development b.v. v.*, 1999.

HERZOG, W.; SCHACHAR, R.; LEONARD, T. R. Characterization of the passive component of force enhancement following active stretching of skeletal muscle. *J Exp Biol.* v.206, n.Pt 20, p.3635-3643, 2003.

HIGBIE, E. J. *et al.* Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol.* v.81, n.5, p.2173-2181, 1996.

HORTOBAGYI, T. *et al.* Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *J Appl Physiol.* v.81, n.4, p.1677-1682, 1996b.

HORTOBAGYI, T. *et al.* Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol.* v.80, n.3, p.765-772, 1996a.

KAY, D. *et al.* Different neuromuscular recruitment patterns during eccentric, concentric and isometric contractions. *J Electromyogr Kinesiol.* v.10, n.6, p.425-431, 2000.

KEHL, L. J.; FAIRBANKS, C. A. Experimental animal models of muscle pain and analgesia. *Exerc Sport Sci Rev.* v.31, n.4, p.188-194, 2003.

- KJAER, M. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiol Rev.* v.84, n.2, p.649-698, 2004.
- KLINGE, K. *et al.* The effect of strength and flexibility training on skeletal muscle electromyographic activity, stiffness, and viscoelastic stress relaxation response. *Am J Sports Med.* v.25, n.5, p.710-716, 1997.
- KOH, T. J.; HERZOG, W. Eccentric training does not increase sarcomere number in rabbit dorsiflexor muscles. *J Biomech.* v.31, n.5, p.499-501, 1998.
- KOKKONEN, J.; NELSON, A. G.; CORNWELL, A. Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Q Exerc Sport.* v.69, n.4, p.411-415, 1998.
- KOMI, P. V. *et al.* Force and EMG power spectrum during eccentric and concentric actions. *Med Sci Sports Exerc.* v.32, n.10, p.1757-1762, 2000.
- KUBO, K.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Physiol.* v.538, n.Pt 1, p.219-226, 2002b.
- KUBO, K.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol.* v.92, n.2, p.595-601, 2002a.
- KUBO, K. *et al.* Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol.* v.90, n.2, p.520-527, 2001.
- LAROCHE, D. P.; CONNOLLY, D. A. Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise. *Am J Sports Med.* v.34, n.6, p.1000-1007, 2006.
- LIEBER, R. L. *et al.* Contractile and cellular remodeling in rabbit skeletal muscle after cyclic eccentric contractions. *J Appl Physiol.* v.77, n.4, p.1926-1934, 1994.
- LINNAMO, V. *et al.* Motor unit activation patterns during isometric, concentric and eccentric actions at different force levels. *J Electromyogr Kinesiol.* v.13, n.1, p.93-101, 2003.
- LYNN, R.; MORGAN, D. L. Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. *J Appl Physiol.* v.77, n.3, p.1439-1444, 1994.
- MACDOUGALL, J. D. *et al.* Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *J Appl Physiol.* v.57, n.5, p.1399-1403, 1984.
- MAGNUSSON, S. P. *et al.* Contraction specific changes in passive torque in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand.* v.155, n.4, p.377-386, 1995.
- MAGNUSSON, S. P. *et al.* Biomechanical responses to repeated stretches in

- human hamstring muscle in vivo. *Am J Sports Med.* v.24, n.5, p.622-628, 1996a.
- MAGNUSSON, S. P. *et al.* A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J Physiol.* v.497 (Pt 1), p.291-298, 1996b.
- MAGNUSSON, S. P. Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review. *Scand J Med Sci Sports.* v.8, n.2, p.65-77, 1998.
- MAGNUSSON, S. P. *et al.* Passive tensile stress and energy of the human hamstring muscles in vivo. *Scand J Med Sci Sports.* v.10, n.6, p.351-359, 2000.
- MCHUGH, M. P. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports.* v.13, n.2, p.88-97, 2003.
- MCHUGH, M. P.; PASIAKOS, S. The role of exercising muscle length in the protective adaptation to a single bout of eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol.* v.93, n.3, p.286-293, 2004.
- MENSE, S. Nociception from skeletal muscle in relation to clinical muscle pain. *Pain.* v.54, n.3, p.241-289, 1993.
- MESSLINGER, K. Functional morphology of nociceptive and other fine sensory endings (free nerve endings) in different tissues. *Prog Brain Res.* v.113, p.273-298, 1996.
- MOHER, D.; DULBERG, C. S.; WELLS, G. A. Statistical power, sample size, and their reporting in randomized controlled trials. *Jama.* v.272, n.2, p.122-124, 1994.
- NARDONE, A.; ROMANO, C.; SCHIEPPATI, M. Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J Physiol.* v.409, p.451-471, 1989.
- NARICI, M. V. *et al.* Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand.* v.157, n.2, p.175-186, 1996.
- NELSON, R. T.; BANDY, W. D. Eccentric Training and Static Stretching Improve Hamstring Flexibility of High School Males. *J Athl Train.* v.39, n.3, p.254-258, 2004.
- NÓBREGA, A. C.; PAULA, K. C.; CARVALHO, A. C. Interaction between resistance training and flexibility training in healthy young adults. *J. Strength Cond. Res.* . v.19, n.4, p.842-846, 2005.
- NORDEZ, A.; CORNU, C.; MCNAIR, P. Acute effects of static stretching on passive stiffness of the hamstring muscles calculated using different mathematical models. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* v.21, n.7, p.755-760, 2006.

PADDON-JONES, D. *et al.* Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: the influence of contraction velocity. *Eur J Appl Physiol.* v.85, n.5, p.466-471, 2001.

PENSINI, M.; MARTIN, A.; MAFFIULETTI, N. A. Central versus peripheral adaptations following eccentric resistance training. *Int J Sports Med.* v.23, n.8, p.567-574, 2002.

PORTNEY, L. G.; WATKINS, M. P. *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice.* 2^a ed. Boston: Prentice Hall, 2000. 742 p.

POWER, K. *et al.* An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. *Med Sci Sports Exerc.* v.36, n.8, p.1389-1396, 2004.

PURSLOW, P. P. Strain-induced reorientation of an intramuscular connective tissue network: implications for passive muscle elasticity. *J Biomech.* v.22, n.1, p.21-31, 1989.

REID, D. A.; MCNAIR, P. J. Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med Sci Sports Exerc.* v.36, n.11, p.1944-1948, 2004.

ROBERTS, J. M.; WILSON, K. Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity. *Br J Sports Med.* v.33, n.4, p.259-263, 1999.

SAFRAN, M. R.; SEABER, A. V.; GARRETT, W. E., JR. Warm-up and muscular injury prevention. An update. *Sports Med.* v.8, n.4, p.239-249, 1989.

SALE, D.G. Testing strength and power. In: MacDOUGALL, J.; WENGER, H.; GREEN, H. (Ed.) *Physiological testing of the high-performance athlete.* Champaign: Human Kinetics, 1991. cap.3, p. 21-106.

SALE, D. G. Neural adaptations to strength training. In: KOMI, P. V. *Strength and Power in Sport.* 1^a ed: Blackwell Science, 1992. 404p.

SCHLUMBERGER, A. *Optimierung von Trainingsstrategien im Schnellkrafttraining.* Köln: Strass und Buch Strauß, 2000.

SCHMIDTBLEICHER, D. Strukturanalyse der motorischen eigenschaft kraft. *Lehre der leichtathletik.* n. 30, p. 1785-1792, 1984.

SCHMIDTBLEICHER, D. Training for power events. In: KOMI, P. V. *Strength and Power in Sport.* 1^a ed: Blackwell Science, 1992. 403p.

SCHROEDER, E. T.; HAWKINS, S. A.; JAQUE, S. V. Musculoskeletal adaptations to 16 weeks of eccentric progressive resistance training in young women. *J Strength Cond Res.* v.18, n.2, p.227-235, 2004.

SCHUMACHER, M.A.; BASBAUM, A.I.; WAY, W.L. Analgésicos e antagonistas opióides. In: KATZUNG, B. G. Farmacologia básica e clínica. 9ª ed: Guanabara Koogan, 2006. 991p.

SEGER, J. Y.; ARVIDSSON, B.; THORSTENSSON, A. Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. v.79, n.1, p.49-57, 1998.

SHELLOCK, F. G.; PRENTICE, W. E. Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med*. v.2, n.4, p.267-278, 1985.

SHEPSTONE, T. N. *et al.* Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *J Appl Physiol*. v.98, n.5, p.1768-1776, 2005.

SMITH, L. L. *et al.* The effects of static and ballistic stretching on delayed onset muscle soreness and creatine kinase. *Res Q Exerc Sport*. v.64, n.1, p.103-107, 1993.

SMITH, R. C.; RUTHERFORD, O. M. The role of metabolites in strength training. I. A comparison of eccentric and concentric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. v.71, n.4, p.332-336, 1995.

STAUBER, W. T. Eccentric action of muscles: physiology, injury, and adaptation. *Exerc Sport Sci Rev*. v.17, p.157-185, 1989.

STONE, M. H. K., C. Connective tissue and bone response to strength training. In: KOMI, P. V. *Strength and Power in Sport*. 2ª ed: Blackwell Science, 2003. 523p.

SULLIVAN, M. K.; DEJULIA, J. J.; WORRELL, T. W. Effect of pelvic position and stretching method on hamstring muscle flexibility. *Med Sci Sports Exerc*. v.24, n.12, p.1383-1389, 1992.

THOMAS, J. R.; NELSON, J. K. *Métodos de pesquisa em atividade física*. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2002. 419 p.

THORSTENSSON, A. *et al.* Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*. v.98, n.2, p.232-236, 1976.

TOFT, E. *et al.* Passive tension of the ankle before and after stretching. *Am J Sports Med*. v.17, n.4, p.489-494, 1989.

WEIR, D. E.; TINGLEY, J.; ELDER, G. C. Acute passive stretching alters the mechanical properties of human plantar flexors and the optimal angle for maximal voluntary contraction. *Eur J Appl Physiol*. v.93, n.5-6, p.614-623, 2005.

WILLIAMS, P. E.; GOLDSPINK, G. Longitudinal growth of striated muscle fibres. *J Cell Sci*. v.9, n.3, p.751-767, 1971.

WILLIAMS, P. E.; GOLDSPINK, G. The effect of immobilization on the longitudinal growth of striated muscle fibres. *J Anat.* v.116, n.Pt 1, p.45-55, 1973.

WILLIAMS, P. E.; GOLDSPINK, G. Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle. *J Anat.* v.127, n.Pt 3, p.459-468, 1978.

WILLIAMS, P. E. *et al.* The importance of stretch and contractile activity in the prevention of connective tissue accumulation in muscle. *J Anat.* v.158, p.109-114, 1988.

WILLY, R. W. *et al.* Effect of cessation and resumption of static hamstring muscle stretching on joint range of motion. *J Orthop Sports Phys Ther.* v.31, n.3, p.138-144, 2001.

WILSON, G. J.; ELLIOTT, B. C.; WOOD, G. A. Stretch shorten cycle performance enhancement through flexibility training. *Med Sci Sports Exerc.* v.24, n.1, p.116-123, 1992.

APÊNDICE: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

“Efeito do treinamento muscular excêntrico associado ao treinamento da flexibilidade nas propriedades musculotendíneas e na força muscular.”

Dr. Mauro Heleno Chagas
Luiz Antônio Moreira Junior

Consentimento Livre e Esclarecido

Eu, voluntariamente concordo em participar desta pesquisa, realizada pelo Laboratório de Biomecânica da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – UFMG – visando verificar o efeito do treinamento de força e/ou flexibilidade sobre diferentes variáveis associadas com essas capacidades motoras.

Estou ciente da minha participação em avaliações e treinamento das capacidades força e flexibilidade pelo período de 8 semanas. O treinamento da

capacidade flexibilidade será realizado em apenas um dos membros inferiores. Neste período serei submetido a tricotomização (raspagem dos pêlos) da região posterior da coxa para a colocação dos eletrodos.

Será garantido o anonimato quanto à minha participação e os dados obtidos serão utilizados exclusivamente para fins de pesquisa pelo Laboratório e Biomecânica.

Sei que posso me recusar a participar desse estudo ou que posso abandoná-lo a qualquer momento, sem precisar me justificar e sem qualquer constrangimento.

Sei que não está prevista qualquer forma de remuneração e que todas as despesas relacionadas com o estudo são de responsabilidade do pesquisador – UFMG.

Esclareci todas as dúvidas e se durante o andamento da pesquisa novas dúvidas surgirem tenho total liberdade para esclarecê-las com a equipe responsável.

Compreendo também que os pesquisadores podem decidir sobre minha exclusão do estudo por razões científicas, sobre as quais serei devidamente informado.

Portanto, concordo com o que foi exposto acima e dou o meu consentimento.

Belo Horizonte, de 2006.

Assinatura do voluntário

Declaro que expliquei os objetivos desse estudo, dentro dos limites dos meus conhecimentos científicos.

Assinatura do pesquisador responsável

Tel: pesquisador (31) 3499-2360.

ANEXO: Aprovação do Comitê de Ética

Parecer nº. ETIC 281/06

Interessado: Mauro Heleno Chagas
Departamento de Esportes
EEFFTO - UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, *ad referendum*, no dia 18 de outubro de 2006, após atendidas as solicitações de diligência, o projeto de pesquisa intitulado “**Efeito do treinamento muscular concêntrico e excêntrico associado com o treinamento da flexibilidade nas propriedades musculotendíneas e na força muscular**” bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do referido projeto.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.


Profa. Dra. Maria Elena de Lima Perez Garcia
Presidente do COEP/UFMG