



**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA**

**Efeitos do Treinamento Isocinético Excêntrico do Joelho em
Indivíduos Sadios e Após Reconstrução do Ligamento Cruzado
Anterior**

Heleodório Honorato dos Santos

São Carlos – SP

2008

**Efeitos do Treinamento Isocinético Excêntrico do Joelho em
Indivíduos Sadios e Após Reconstrução do Ligamento Cruzado
Anterior**

Heleodório Honorato dos Santos

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Fisioterapia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Tania de Fátima Salvini

São Carlos – SP

2008

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

S237et

Santos, Heledório Honorato dos.

Efeitos do treinamento isocinético excêntrico do joelho em indivíduos saudáveis e após reconstrução do ligamento cruzado anterior / Heledório Honorato dos Santos. -- São Carlos : UFSCar, 2008.

162 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2008.

1. Exercícios terapêuticos. 2. Exercício físico excêntrico. 3. Marcha. 4. Torque. 5. Ligamento cruzado anterior. I. Título.

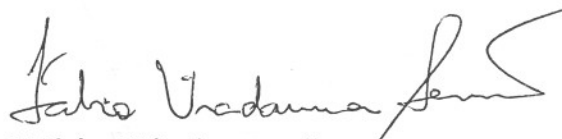
CDD: 615.824 (20^a)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA PARA DEFESA DE TESE DE
DOUTORADO DE HELEODÓRIO HONORATO DOS SANTOS
APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
FISIOTERAPIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM
03 DE JUNHO DE 2008

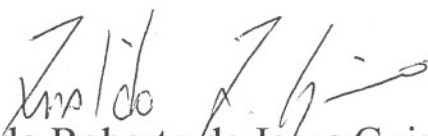
BANCA EXAMINADORA:



Tânia de Fátima Salvini
(UFSCar)



Fábio Viadanna Serrão
(UFSCar)



Rinaldo Roberto de Jesus Guirro
(UNIMEP)



Ana Maria Forti Barela
(UNICSUL)



Thatia Regina Bonfim
(PUC-MG)

DEDICATÓRIA

À minha filha Priscilla, continuação de minha passagem
por esta vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre me guiou durante as difíceis caminhadas da vida;

A minha mãe, por ter lutado contra todas as dificuldades para me manter na estrada do conhecimento e da decência;

Ao meu pai (*in memoriam*) por ter deixado uma história de bondade e de amizade, na qual me espelharei;

A minha tia Porcina, minha segunda mãe, por me abraçar até hoje como a um filho biológico que nunca teve;

Aos meus irmãos, Zildo e Nino e ao meu cunhado Gilberto (*in memoriam*), pelo orgulho que tinham de minha carreira acadêmica;

Aos meus irmãos, Marcos, Luciano, Thelma e Socorro, por me incentivarem durante toda minha trajetória de vida;

À minha orientadora e amiga, professora Tania de Fátima Salvini, por acreditar na minha capacidade de realizar este trabalho, por dar oportunidade a outros colegas das mais diversas regiões do Brasil e do exterior, visando ampliar a Fisioterapia como ciência, pela gana de trabalhar, pela excepcional capacidade de orientar seus alunos e pela seriedade com que encara a pesquisa, além de sua imensa preocupação com os destinos do ensino público no Brasil;

Aos professores e amigos Ana Maria Forti Barela e José Ângelo Barela, por ter aberto, de forma irrestrita, as portas do seu laboratório, pelos ensinamentos e profissionalismo com que assumem a docência e a pesquisa neste país tão carente de atitudes como esta;

Ao Sr. José Pereira da Silva e toda sua família, por terem me dado à oportunidade de realizar o sonho de ser um pesquisador;

A minha querida prof^a, Maria José da Silva, grande incentivadora. Pedaco mãe, pedaco mestra, que me ajudou a dar os primeiros passos em busca de novos horizontes;

Ao amigo Jamilson, por ter aberto sua casa e pelo apoio a mim dispensado durante todo o tempo que estive em São Carlos, além do prazer companhia e da partilha do violão em inúmeras cachaçadas;

Ao companheiro Túlio, embaixador da colônia paraibana (passada e futura) em “Sanca”, pelo papo maravilhoso, alegre e contagiante, fazendo-me ver o lado bom da vida;

À Catarina por ter dividido comigo as angústias e cansaços nas intermináveis viagens à Rio Claro, mas principalmente, pelo apoio e ajuda durante o desenvolvimento do segundo projeto;

Aos amigos Jerônimo, Jamacy e Wouber por compartilharem comigo momentos de dúvidas, incertezas, tristezas e alegrias;

À Tati, pela convivência, amizade e respeito em todos os momentos em que trabalhamos juntos em busca dos nossos objetivos;

Aos amigos (as) e companheiros (as) do Laboratório de Plasticidade Muscular, Adriana Renner, Anna Raquel (loira nervosa), Ana Raquel (morena), Carolina, Chris, Cristina, Gabriel, João, Lúcia, Mary, Paulinha, Sabrina e Thiago, por me agüentarem por todo esse tempo. Vocês serão inesquecíveis;

Às funcionárias Teresa, Léo e D. Dulce, pela amizade, carinho e alegria que me trataram todo esse tempo. Adorei a convivência com vocês.

À Dani, minha aluna de iniciação científica, pela valiosa colaboração neste estudo, por seu sorriso, amizade, carinho e dedicação;

À Ana Paula, Ana Cláudia e Kely, pela presteza, rapidez e carinho com os quais me atenderam sempre que procurei seus prestimosos serviços na secretaria do PPG-Fisioterapia da UFSCar;

Aos voluntários, figuras indispensáveis na realização destes estudos, por contribuírem para o avanço da pesquisa na Fisioterapia.

EPÍGRAFE

É fundamental diminuir a distância entre o que se diz e
o que se faz, de tal maneira, que um dado momento a
tua fala seja a tua prática.
(Paulo Freire)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Referentes ao Manuscrito I

- Figura 1** Posicionamento do sujeito no dinamômetro isocinético durante o treino excêntrico dos extensores do joelho..... 31
- Figura 2** Amplitudes médias e desvio padrão dos 18 sujeitos para os movimentos de flexo-extensão e valgo-varo durante 100% das passadas consecutivas nas fases de apoio e balanço da marcha de ambos os joelhos, antes e após o treinamento..... 32

Referentes ao Manuscrito II

- Figura 1** Testes funcionais: corrida em linha reta (1); corrida em zig-zag (2); figura em 8 (3); deslocamento lateral (4); carioca (5); salto simples (6); salto triplo (7)..... 53
- Figura 2** Percentagem das medias dos coeficientes de variação (CV) no pré e pós-treino..... 54
- Figura 3** Correlação entre ângulo *versus* MPT dos flexores e extensores do joelho a 30°/s e 120°/s..... 57

Referentes ao Manuscrito IV

- Figura 1** Sistema optoeletrônico (Optotrak): A = marcador ativo (seta) e suporte de conexão (ponta de seta); B = posicionamento dos marcadores; C = conjunto de câmeras (C)..... 85
- Figura 2** ADM da flexo-extensão e do varo-valgo do joelho durante o ciclo da marcha 91

LISTA DE TABELAS

Referentes ao Manuscrito I

Tabela 1	Média e diferenças dos ângulos de flexo-extensão e valgo/varo pré e pós-treinamento dos joelhos direito e esquerdo para os 18 sujeitos durante a marcha.....	30
-----------------	--	----

Referentes ao Manuscrito II

Tabela 1	Resultados das MPT (Nm) pré e pós-treino no membro não dominante após 6 semanas de treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho.....	54
Tabela 2	Comparação das médias do TPT nas avaliações pré e pós-treino.....	54
Tabela 3	Razão entre flexores e extensores do joelho no membro não dominante.....	55
Tabela 4	Comparação das médias dos testes funcionais pré e pós-treino após 6 semanas de treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho.....	55
Tabela 5	Correlações entre as MPT e os testes funcionais de agilidade (corridas) no pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho.....	56
Tabela 6	Correlações entre a MPT e a distância dos saltos (simples e triplo) antes e depois do treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho.....	56

Referentes ao Manuscrito III

Tabela 1	Média do pico de torque extensor e flexores, pré e pós-treino excêntrico dos extensores do joelho, normalizada pelo peso corporal.....	79
Tabela 2	Razão Isquiotibiais/Quadríceps do torque pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho.....	79
Tabela 3	<i>Root Mean Square</i> (RMS) normalizada da EMG de superfície dos músculos extensores e flexores do joelho pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho.....	80
Tabela 4	Correlação entre a media do pico de torque e EMG de superfície dos extensores e flexores do joelho, pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho.....	80
Tabela 5	Comparação da razão I/Q da EMG de superfície pré e pós-treino excêntrico em cada modo de contração.....	81

Referentes ao Manuscrito IV

Tabela 1	Média dos Picos de Torque (MPT) pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores e flexores do joelho dos membros acometido e não acometido	87
Tabela 2	Média dos Picos de Torque (MPT) antes e após 12 semanas de treino isocinético excêntrico dos extensores e flexores do joelho.....	88
Tabela 3	Comparação dos valores das Médias dos Picos de Torque (MPT) entre MAcom (pré-treino) <i>versus</i> MNacom (pós-treino) de extensores e flexores do joelho.....	88

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	13
MANUSCRITO I	16
Resumo.....	18
1 Introdução.....	19
2 Métodos.....	20
2.1 Sujeitos.....	20
2.2 Treinamento excêntrico.....	20
2.3 Torque extensor e flexor do joelho.....	21
2.4 Movimentos do joelho e análise dos dados.....	21
3 Resultados.....	23
3.1 Picos de torque.....	23
3.2 Análise cinemática.....	23
4 Discussão.....	24
4.1 Considerações metodológicas.....	24
4.2 Efeitos fisiológicos.....	25
5 Conclusões.....	27
Referências.....	27
Tabelas e figuras.....	30
MANUSCRITO II	33
Resumo.....	35
1 Introdução.....	36
2 Material e métodos.....	37
2.1 Amostra.....	37
2.2 Instrumentação.....	37
2.3 Avaliação do torque.....	37
2.4 Treinamento isocinético.....	39
2.5 Testes funcionais.....	39
2.6 Análise dos dados.....	41
3 Resultados.....	41
3.1 Dinamometria isocinética.....	41
3.1.1 Considerações metodológicas.....	41

3.1.2	Coeficiente de variação.....	42
3.1.3	Tempo de pico de torque.....	42
3.1.4	Razão Isquiotibiais/Quadríceps.....	42
3.1.5	Correlação: ângulo do joelho X pico de torque.....	42
3.2	Testes funcionais.....	43
3.2.1	Correlação: medias dos picos de torque X testes funcionais.....	43
4	Discussão.....	44
5	Conclusões.....	47
	Referencias.....	48
	Figuras e tabelas.....	54
	 MANUSCRITO III	 58
	Resumo.....	60
1	Introdução.....	61
2	Material e métodos.....	62
2.1	Amostra.....	62
2.2	Instrumentação.....	63
2.3	Avaliação do torque.....	63
2.4	Treinamento isocinético.....	65
2.5	Eletromiografia de superfície.....	65
2.6	Análise dos dados.....	66
3	Resultados.....	67
3.1	Torque.....	67
3.1.1	Razão I/Q do torque.....	67
3.2	EMG.....	68
3.3	Correlação intra-classe (Torque versus EMG)	68
3.4	Razão I/Q da EMG	68
4	Discussão	69
4.1	Torque.....	69
4.1.1	Razão I/Q do torque.....	69
4.2	EMG.....	70
5	Conclusões.....	72
	Referencias.....	73
	Tabelas.....	79

MANUSCRITO IV	82
1 Material e métodos.....	83
1.1 Amostra.....	83
1.2 Instrumentação.....	83
1.3 Avaliação do torque.....	83
1.4 Análise da marcha.....	84
1.5 Treinamento isocinético.....	86
1.6 Análise dos dados.....	86
2 Resultados.....	86
2.1 Torque.....	86
2.2 Marcha.....	89
2.2.1 Variáveis espaço-temporais.....	89
2.2.2 Ângulos do joelho.....	90
3 Conclusões.....	92
Apêndice A	93
Apêndice B	109
Apêndice C	133
Apêndice D	156
Apêndice E	158
Apêndice F	160

APRESENTAÇÃO

No momento de meu ingresso no Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da UFSCar, trazia comigo um projeto de pesquisa intitulado: “Estudo da fadiga muscular: correlação entre o espectro eletromiográfico, o índice de lactato sanguíneo e a variação do trabalho isocinético”, para ser apresentado e discutido com a Prof^a Tania de Fátima Salvini, sobre a aceitação e viabilização do mesmo.

Nesse meio tempo, o então doutorando, Jamilson Simões Brasileiro, também orientado pela Prof^a Tania, desenvolvia uma pesquisa clínica com sujeitos submetidos à reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior. Parte desta investigação, realizada em parceria com a Prof^a Helenice Gil Coury, no Laboratório de Fisioterapia Preventiva e Ergonomia (LAFIPE), referia-se ao estudo dos efeitos do treino isocinético excêntrico do quadríceps sobre a marcha destes sujeitos. Os resultados preliminares deste trabalho mostrou que o treino excêntrico para fortalecimento do músculo quadríceps, freqüentemente acometido nesta afecção, aumentou o ângulo varo-valgo do membro reconstruído, durante a marcha, que poderia favorecer maiores riscos articulares (Coury HJCG, Brasileiro JS, Salvini TF, Poletto PR, Carnaz L, Hansson G-A. Change in knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training for quadriceps in subjects submitted to anterior cruciate ligament reconstruction. *Gait and Posture*. 2006; 24:370-74).

A partir desta constatação, algumas questões ressoaram fortemente: 1^a) O exercício excêntrico, tão estudado e já estabelecido como rotina em programas de fortalecimento muscular e de reabilitação, poderia ter causado esta alteração? 2^a) Será que em sujeitos sadios (sem lesão do ligamento cruzado anterior/LCA) estas alterações na articulação do joelho surgiriam como um efeito deletério do treinamento excêntrico dos extensores?

Meu projeto de doutorado foi então direcionado para responder estas questões. O primeiro estudo foi: “Efeitos do treinamento excêntrico do quadríceps femoral sobre o torque e sobre o padrão da marcha em indivíduos normais”, desenvolvido em 2004-2005.

Vinte voluntários participaram deste projeto e foram submetidos à aplicação de um programa de treino isocinético excêntrico para os extensores do joelho, com duração de 6 semanas. Os seguintes aspectos foram avaliados, pré e pós-treino: a) o torque articular do joelho por Dinamometria isocinética; b) a marcha em esteira por eletrogoniometria; c) os testes funcionais (saltos e corridas) e d) eletromiografia. Os resultados deste estudo permitiu a

elaboração de 3 artigos científicos (manuscrito I, página 13; manuscrito II, página 30; manuscrito III, página 55).

Artigo 1: Patrícia Rios Poletto; Heleodório Honorato dos Santos; Tania de Fátima Salvini; Helenice Jane Cote Gil Coury; Gert-Anke Hansson – “Pico de torque e cinemática do joelho durante a marcha após treinamento isocinético excêntrico do quadríceps em sujeitos sadios”, submetido à Revista Brasileira de Fisioterapia. Nesse estudo, foi avaliada a marcha de 18 sujeitos para análise de possíveis alterações angulares (flexo-extensão e valgo-varo) no joelho.

Artigo 2: Heleodório Honorato dos Santos; Mariana Arias Ávila; Daniela Naomi Hanashiro; Paula Rezende Camargo; Tania de Fátima Salvini - “Os efeitos do treino excêntrico dos extensores do joelho nos testes funcionais”, submetido ao Journal Athletic Training. Nesse estudo foram avaliadas as possíveis alterações causadas pelo treino isocinético excêntrico em algumas variáveis dinâmicas e sua repercussão sobre os testes funcionais de potência (salto simples e triplo) e agilidade (corrida em linha reta, deslocamento lateral, corrida em zig-zag e figura em 8) normalmente utilizados, na fase avançada da avaliação da função do joelho em programas de reabilitação pós-cirúrgica do LCA.

Artigo 3: Heleodório Honorato dos Santos; Mariana Arias Ávila; Daniela Naomi Hanashiro; Paula Rezende Camargo; Tania de Fátima Salvini - “O treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho altera a razão I/Q do torque sem alterar a razão I/Q da EMG em sujeitos sadios”, submetido ao Journal of Electromyography and Kinesiology. Nesse trabalho, foram estudadas quais as alterações da razão I/Q do torque, causadas pelo programa de treino aplicado ao estudo, e se elas também se estendem à razão I/Q da EMG.

Os resultados desses estudos serão apresentados a seguir, sob forma de artigos científicos já submetidos à publicação.

Como os resultados preliminares da análise da marcha, em sujeitos sadios, mostraram que o treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho, não modificou a flexo-extensão nem o valgo-varo do joelho, outras questões surgiram: 1ª) Será que o exercício excêntrico altera o valgo-varo do joelho apenas em sujeitos com reconstrução do LCA e por isso não foi detectado em sujeitos sadios? 2ª) A duração do treino (6 semanas) da presente investigação foi insuficiente para causar as alterações encontradas no estudo anterior, realizado por 12 semanas?

A partir destes questionamentos, elaboramos um 2º projeto de pesquisa intitulado “Análise dos efeitos do treino isocinético excêntrico sobre as variáveis dinamométricas, cinéticas e cinemáticas da marcha de sujeitos com reconstrução do LCA”.

O treino desses sujeitos foi realizado na UFSCar (Laboratório de Dinamometria isocinética – Departamento de Fisioterapia) enquanto que a análise da marcha foi realizada no Laboratório de Estudos do Movimento da UNESP – Rio Claro, com a colaboração dos professores, Ana Forti Barela, José Ângelo Barela e Helenice Gil Coury, buscando a comparação de diferentes metodologias.

Neste estudo, realizado em 2006-2007, foram avaliados 40 sujeitos com reconstrução unilateral do LCA, porém apenas 16 completaram todas as etapas. Quatorze sujeitos sem alterações nos membros inferiores ou história de lesão constituíram o grupo controle.

A metodologia constou do uso de: 1 - Dinamometria isocinética (isométrica, concêntrica e excêntrica a 30 e 120°/s) de flexores e extensores do joelho, 2 - testes funcionais de saltos (simples, triplo, cruzado e figura em 8); 3 - avaliação da marcha em esteira por eletrogoniometria (eletrogoniômetro biaxial e torsiômetro) e sistema opto-eletrônico (Optotrak), com velocidade controlada (5 km/h); e 4 - avaliação das forças de reação do solo (FRS) na marcha e no salto vertical. Os sujeitos do grupo LCA reconstruído realizaram avaliações pré e pós-treino isocinético excêntrico a 30°/s, para extensores e flexores do joelho (3 x 10 RM; duas vezes por semana/24 sessões) com duração de 12 semanas.

Devido à conclusão da coleta de dados ter ocorrido em dezembro de 2007, não houve ainda tempo hábil para conclusão e submissão dos manuscritos com os resultados finais desse projeto. Portanto, apresentaremos seus resultados preliminares (Análise da marcha: efeitos do treino isocinético excêntrico sobre as variáveis cinemáticas em sujeitos com reconstrução do LCA. p. 83).

MANUSCRITO I

PICO DE TORQUE E CINEMÁTICA DO JOELHO DURANTE A MARCHA APÓS
TREINAMENTO ISOCINÉTICO EXCÊNTRICO DO QUADRÍCEPS EM SUJEITOS
SADIOS

(submetido à Revista Brasileira de Fisioterapia)

**PICO DE TORQUE E CINEMÁTICA DO JOELHO DURANTE A MARCHA APÓS
TREINAMENTO ISOCINÉTICO EXCÊNTRICO DO QUADRÍCEPS EM SUJEITOS
SADIOS**

Patrícia Rios Poletto¹; Heleodório Honorato dos Santos¹; Tania de Fátima Salvini¹; Helenice
Jane Cote Gil Coury¹; Gert-Anke Hansson²

¹ Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, CP 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

² Department of Occupational and Environmental Medicine, University Hospital, SE-221 85 Lund, Sweden.

Autor para correspondência: Heleodório Honorato dos Santos

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Fisioterapia.

Rodovia Washington Luis, Km 235, CP 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

Telefone: 16 3351-8345

Fax: 16 33612081

E-mail: dorioufscar@click21.com.br

Título de páginas: Cinemática da marcha após treino isocinético excêntrico

RESUMO

Objetivo: Avaliar se o treino isocinético excêntrico tem efeitos sobre a amplitude de movimento (ADM) do joelho em sujeitos saudáveis. *Metodologia:* Foram analisados os picos de torque isocinético dos extensores e flexores do joelho e a ADM de flexo/extensão e valgo/varo, durante a marcha, de 18 homens saudáveis ($21,7 \pm 2,2$ anos; $1,73 \pm 0,10$ m; $68,7 \pm 9,4$ kg; índice de massa corporal/IMC: $22,6 \pm 2,0$ kg/m²) antes e após 6 semanas de treino isocinético excêntrico bilateral dos extensores do joelho a 30°/s. *Resultados:* O torque extensor do joelho aumentou em ambos os membros, direito (de 229 ± 54 Nm para 304 ± 53 Nm; $p < 0,01$) e esquerdo (de 228 ± 59 Nm para 311 ± 63 Nm; $p < 0,01$) sem diferença de ganho de torque entre eles. O pico de torque flexor aumentou (de 114 ± 30 Nm para 123 ± 22 Nm; $p < 0,05$), mas a razão isquiotibiais/quadríceps (I/Q) diminuiu (de $0,50 \pm 0,08$ para $0,39 \pm 0,07$; $p < 0,01$) após o treino. Não houve diferença para os movimentos de flexo/extensão e valgo/varo após o treino, exceto uma pequena mudança (4°) no valgo para o joelho esquerdo. *Conclusões:* O treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho aumentou o torque extensor e diminuiu a razão I/Q, entretanto o efeito sobre o padrão da marcha parece desprezível em sujeitos saudáveis. Um treino associado dos flexores, complementar ao treino dos extensores parece ser necessário para o equilíbrio entre agonistas e antagonistas do joelho.

Palavras-chave: eletrogoniômetro, marcha, torque, joelho, treino excêntrico

1. INTRODUÇÃO

Lesões e reconstruções ligamentares do joelho têm sido associadas a mudanças nos padrões cinemáticos durante a marcha (KNOLL; KISS; KOCSIS, 2004; SHELBURNE; TORRY; PANDY, 2005; YOO; PAPANNAGARI; PARK, 2005). Uma marcha alterada pode levar a aplicação desfavorável de carga na cartilagem da articulação do joelho (BULGHERONI *et al.*, 1997), e assim levar ao desenvolvimento de artrite secundária à lesão e reconstrução ligamentar (KVIST; GILLQUIST, 2001). Mudanças nos padrões de marcha podem ocorrer em decorrência de um desarranjo no tecido articular, edema articular, fraqueza do músculo quadríceps femoral, ou inibição devido à dor (ERNST *et al.*, 2000). A atrofia dos músculos extensores é um achado comum entre pacientes submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior (KONISHI; FUKUBAYASHI; TAKESHITA, 2002; McHUGH *et al.*, 2002; WILLIAMS *et al.*, 2005). Portanto, a recuperação da força extensora do joelho é essencial para a reabilitação funcional. Relatos anteriores mostraram que resultados funcionais têm uma correlação positiva com a força extensora indicando o fortalecimento muscular como um pré-requisito para a recuperação funcional (McHUGH *et al.*, 2002; WILLIAMS *et al.*, 2005).

Tem sido reportado que o treino usando contrações excêntricas é mais efetivo na recuperação muscular porque promove maiores mudanças na ativação neural e hipertrofia muscular (KONISHI; FUKUBAYASHI; TAKESHITA, 2002; LaSTAYO *et al.*, 2003; MILLER *et al.*, 2006; WILK *et al.*, 1994). Tanto a geração de força quanto o alongamento são fatores importantes na ativação da síntese protéica e a combinação destes estímulos aparentemente têm um efeito suplementar no aumento da força muscular (GIBALA *et al.*, 2000; GOLDSPINK, 1999; McDONAGH; DAVIES, 1984; SEGER; THORSTENSSON, 2005).

Em estudo recente (COURY *et al.*, 2006), onde se aplicou treinamento isocinético excêntrico do músculo quadríceps em sujeitos submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA), o torque extensor do joelho e as amplitudes de movimento de flexão/extensão durante a marcha aumentaram significativamente após o treinamento. Entretanto, um aumento inesperado do valgo, mais pronunciado durante a fase de balanço, bem como um aumento da amplitude de movimento de valgo/varo, os quais podem implicar em efeitos adversos ao joelho, também foram observados no joelho com reconstrução do LCA quando comparados com joelhos saudáveis, não treinados. Nesse sentido, é necessário saber se

sujeitos com joelhos saudáveis possuem o mesmo comportamento quando submetidos ao treinamento excêntrico.

Assim, este estudo teve o objetivo de avaliar os efeitos do treinamento isocinético excêntrico na força dos músculos extensores e flexores do joelho e nos movimentos sagitais e coronais do joelho durante a marcha, em sujeitos saudáveis. Em adição, o método de análise baseado em passadas utilizado para caracterizar a marcha foi comparado com o método usado em nosso estudo anterior (COURY *et al.*, 2006).

2. MÉTODOS

2.1 Sujeitos

Inicialmente, a amostra constou de 25 sujeitos, entretanto, somente 18 (dominância direita = 4 e esquerda = 14) homens, ativos e saudáveis, sem qualquer lesão ou sintoma musculoesquelético, ou distúrbios de equilíbrio, (idade $21,7 \pm 2,2$ anos; altura $1,73 \pm 0,10$ m; peso $68,7 \pm 9,4$ kg; índice de massa corpórea $22,6 \pm 2,0$ kg/m²) completaram o estudo. Suas atividades ocupacionais e recreacionais não mudaram, e nenhum deles estava envolvido em qualquer outro programa de treinamento para melhora da força muscular durante o presente estudo. Este estudo foi desenvolvido com aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Instituição e todos os sujeitos assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

2.2 Treinamento excêntrico

O treinamento foi desenvolvido duas vezes por semana por seis semanas consecutivas, num total de 12 sessões. Os músculos extensores, tanto do joelho esquerdo como direito, foram treinados em cada sessão. Para evitar qualquer diferença sistemática, o joelho esquerdo foi treinado primeiro em uma sessão, e o joelho direito na sessão seguinte. Este procedimento foi repetido em todo o período de treinamento (BRASILEIRO, 2004). Todos os sujeitos completaram o programa de treinamento que foi desenvolvido no Laboratório de Neurociências – Unidade de plasticidade muscular da UFSCar.

Os sujeitos foram aquecidos por 5 minutos em uma bicicleta ergométrica (75W) e os músculos quadríceps, isquiotibiais e gastrocnêmios, direito e esquerdo, foram alongados três vezes (30s de alongamento com 30s de repouso). A seguir, os sujeitos sentaram no dinamômetro isocinético (*Biodex Multi-Joint System 3, Biodex Medical Inc., Nova York, NY, USA*) com o encosto reclinado a 5° da vertical, e o tronco, a cintura e a

região distal da coxa foram fixados com faixas. O epicôndilo femoral lateral foi usado como processo ósseo para alinhar o eixo de rotação do joelho com o braço do dinamômetro. A almofada do dinamômetro foi presa a aproximadamente 5 cm do maléolo medial, e os sujeitos desenvolveram uma série de 3 contrações submáximas, para familiarização. Os sujeitos realizaram três séries de 10 contrações isocinéticas excêntricas máximas, consecutivas; o joelho foi forçado pelo dinamômetro a se mover na amplitude de movimento de 20° a 90° de flexão de joelho a uma velocidade angular de 30°/s (Figura 1). Cada série foi precedida de 3 minutos de repouso, sem pausas entre 10 contrações.

2.3 Torque extensor e flexor do joelho

Quarenta e oito horas antes e após o treinamento, o pico de torque do quadríceps direito e esquerdo foi avaliado, durante as contrações isocinéticas excêntricas a 30°/s. Os procedimentos e equipamento, os quais forneceram os dados do pico de torque de cada contração, foram os mesmos para o treinamento (veja acima), exceto que somente uma sessão de 5 contrações foi realizada. O pico de torque foi definido como o valor máximo alcançado durante as cinco contrações.

Para avaliar a habilidade funcional e o equilíbrio muscular, a razão do torque entre isquiotibiais e quadríceps (I/Q) foi derivada como a proporção entre os picos de torque correspondentes (AAGAARD *et al.*, 1995; LI *et al.*, 1996; ROSENE; FORGARTY; MAHAFFEY, 2001).

2.4 Movimentos do joelho e análise dos dados

Os movimentos de flexo-extensão e valgo-varo foram registrados, bilateralmente, usando eletrogoniômetros biaxiais flexíveis e unidade de aquisição de dados (MI10, DL 1001, e DATALINK 2.0, Biometrics Ltd., Gwent, KU). O goniômetro foi fixado na face lateral tricotomizada de cada joelho. O centro da interlinha articular foi considerado a referência comum entre a coxa e a perna. O centro da mola foi alinhado com essa referência, e os dois terminais foram fixados no plano sagital do joelho e alinhados com o eixo da coxa (tendo também como ponto de referência o trocânter maior do fêmur) e eixo da perna (tendo como segunda referência o maléolo lateral). A taxa de amostragem foi de 100 Hz. A posição de referência (isto é, 0° de flexo-extensão e valgo-varo) foi derivada, pelo valor médio durante 16 s, com os sujeitos em posição ortostática e relaxados. Ângulos positivos denotaram flexão e valgo. Após a familiarização à marcha na esteira a 5 km/h, os movimentos do joelho foram registrados durante 90 s.

Da parte central do registro, foram detectadas 50 passadas, consecutivas, para os joelhos direito e esquerdo, independentemente. A partir das curvas de flexo-extensão os toques de calcanhar foram identificados como sendo o primeiro valor mínimo que ocorreu após a flexão máxima da fase de balanço (KETTELKAMP *et al.*, 1970). O toque de calcanhar foi definido como o início da passada, em cada passada, os dados foram normalizados pela duração da passada. Durante a marcha normal, como no presente estudo, os primeiros 60% da passada representam a fase de apoio, e os últimos 40% representam a fase de balanço (KETTELKAMP *et al.*, 1970). Para cada passada, os ângulos máximos e mínimos, bem como as amplitudes de movimento (ângulo máximo menos ângulo mínimo), foram determinadas para os movimentos de flexo-extensão e valgo-varo. Os valores médios destas medidas, para as 50 passadas, foram usados na caracterização dos movimentos do joelho, para cada sujeito. Além disso, para cada sujeito e joelho, gráficos dos valores médios das 50 passadas, foram plotados. Esta análise foi realizada utilizando-se o *software MatLab* versão 6.5 (*MathWorks Inc., Natick, MA, EUA*).

Uma análise comparativa foi feita entre o presente método e o anterior (COURY *et al.*, 2006) no registro eletrogoniométrico. Assim, foram calculados o 1º e o 99º percentis, e o 99º menos o 1º percentil das distribuições angulares para os 60s da parte central da marcha (mesmo método usado em nosso estudo anterior - COURY *et al.*, 2006) para 81% dos registros (29 dos 36). A posição de referência foi derivada da mesma forma, para o mesmo período, em ambos os métodos.

Para o torque e movimentos, os efeitos do treino (isto é: valores pós menos pré-treino), foram calculados para ambos os joelhos, esquerdo e direito e avaliados por meio do teste-t pareado. A comparação entre os lados direito e esquerdo, assim como e entre o método de análise atual e o método anterior usado por Coury *et al.* (2006), também foi realizada usando o teste-t pareado. Foram aplicados testes de normalidade dos dados (Shapiro-Wilk's) e homogeneidade das variâncias (Levene's). Para todos os testes foi pré-determinado um alfa ≤ 0.05 .

3. RESULTADOS

3.1 Pico de torque

Após o treino isocinético excêntrico, o pico de torque extensor aumentou tanto para o joelho direito quanto esquerdo (38% e 41%, respectivamente). O membro direito aumentou de 229 ± 53 Nm para 304 ± 53 Nm ($p < 0,01$), e o esquerdo de 228 ± 59 Nm para 311 ± 63 Nm ($p < 0,01$). Embora o treinamento tenha aumentado o pico de torque flexor em 8% (de 114 ± 30 Nm para 123 ± 22 Nm; $p < 0,05$), houve um declínio natural da razão I/Q em 22% (de $0,50 \pm 0,08$ para $0,39 \pm 0,07$; $p < 0,01$).

3.2 Análise Cinemática

A média e o desvio padrão para os ângulos: máximo, mínimo e amplitudes de movimento antes e após o treinamento, são mostrados na Tabela 1. Para o movimento de flexo-extensão, observando os valores mínimos não ocorreu hiperextensão considerável durante a marcha, enquanto que os valores máximos variaram entre 53° e 54° durante a fase de balanço, independente do joelho e do treinamento.

A Figura 2 apresenta as curvas médias com os respectivos desvios padrão, para os 18 sujeitos mostrando que houve simetria entre os joelhos e que o treinamento não afetou os ângulos de flexo-extensão em todas as fases do ciclo da marcha. Não houve diferença significativa (joelho direito: $p=0,20$; joelho esquerdo: $p=0,54$) para a amplitude de movimento valgo-varo, entre pré e pós-treino, para ambos os joelhos (Tabela 1).

Os valores máximo e mínimo, como apresentado na Figura 2, mostram que os ângulos valgo-varo, exceto para o joelho esquerdo pós-treinamento, estavam simetricamente distribuídos ao redor da posição de referência. Após o treinamento, o joelho esquerdo mostrou um deslocamento geral em torno do valgo, mais pronunciado na fase de balanço (a diferença média entre as médias das curvas foi de $4,1^\circ$). O aumento do valgo também é mostrado pelo aumento dos ângulos mínimo e máximo.

Inserir Tabela 1

Inserir Figura 2

Os desvios padrão para os ângulos máximo e mínimo de valgo-varo foram relativamente maiores quando comparados aos do movimento de flexo-extensão, indicando

uma alta variabilidade inter-individual para o valgo-varo do que para flexo-extensão (Tabela 1). Os desvios padrão observados na Figura 2 reforçam esta alta variabilidade inter-individual, a qual é mais pronunciada na fase de balanço. É interessante observar que, para o valgo-varo, os desvios padrão diminuíram (isto é: o padrão de movimento dos sujeitos tornou-se mais uniforme) na fase de balanço do joelho esquerdo após o treinamento.

A análise cinemática usada em nosso estudo anterior (COURY *et al.*, 2006), identificou valores praticamente idênticos ao método atual; as diferenças nos resultados dos dois métodos (anterior menos o atual) foram: pico de flexão 0.5° (95% IC: $0.4^\circ - 0.6^\circ$), pico de extensão 0.0° ($-0.5^\circ - 0.4^\circ$), amplitude de flexo-extensão 0.5° ($0.1^\circ - 1.0^\circ$), pico de valgo - 0.5° ($-0.7^\circ - -0.4^\circ$), pico de varo -0.5° ($-0.8^\circ - -0.3^\circ$), e amplitude de valgo-varo 0.0° ($-0.3^\circ - 0.3^\circ$).

4. DISCUSSÃO

O treinamento excêntrico aumentou tanto o pico de torque extensor (em $\cong 40\%$) quanto o pico de torque flexor (em 8%), mas diminuiu a razão I/Q (de 0,50 para 0,39). Estas mudanças não tiveram efeito significativo na cinemática da marcha em joelhos de homens saudáveis, exceto por um pequeno deslocamento da curva ao redor do valgo para o joelho esquerdo após o treinamento.

4.1 Considerações metodológicas

O treinamento, no presente estudo, foi similar ao realizado em nosso estudo anterior (COURY *et al.*, 2006), exceto pela duração menor (6 *versus* 12 semanas no estudo prévio). Apesar disso, o ganho de torque foi maior neste estudo em relação ao anterior (39% *versus* 25%). A menor eficiência no ganho de torque extensor durante o treinamento no estudo anterior (COURY *et al.*, 2006), foi provavelmente devido ao músculo quadríceps estar com um padrão anormal no recrutamento de unidades motoras após a reconstrução do LCA (WILLIAMS *et al.*, 2005).

Uma limitação deste estudo foi que, por razões técnicas, foi mensurado somente o pico de torque flexor do membro não-dominante. Entretanto, futuros estudos que avaliem os membros: dominante e não dominante serão necessários, desde que fossem encontradas diferenças significantes no valgo-varo, durante a marcha.

O uso da análise baseada nas passadas mostrou-se mais relevante para a avaliação da marcha do que a análise habitual das distribuições de amplitude (percentis) que

havia sido usado previamente. Por razões técnicas, somente 29 registros de marcha obtidos pela unidade de aquisição DL1001, foram usados na comparação dos métodos. Para as médias encontradas, as diferenças entre os dois métodos foram surpreendentemente pequenas, tanto para flexo-extensão quanto para valgo-varo. Essas diferenças muito pequenas e fisiologicamente insignificantes permitiram comparações diretas dos resultados obtidos com os dois métodos. Além disso, quando os métodos são usados para quantificar os efeitos do treinamento, como no estudo atual e no anterior, diferenças entre duas medidas, desenvolvidas com o mesmo método, serão calculadas e virtualmente eliminadas, mesmo as diferenças insignificantes entre os métodos. Portanto, as considerações metodológicas podem ser negligenciadas ao se comparar os resultados do presente estudo com o estudo prévio.

4.2 Efeitos fisiológicos

Como esperado, o treinamento excêntrico aumentou o torque extensor do joelho, semelhante ao encontrado no estudo anterior usando o mesmo protocolo de treinamento em sujeitos submetidos à reconstrução de LCA (COURY *et al.*, 2006). No entanto, o ganho inesperado no torque flexor, provavelmente, se deva a contração isométrica realizada pelos sujeitos, no membro contra-lateral durante a ação excêntrica dos extensores (Figura 1), visto que o fortalecimento desse grupo muscular não consta no programa de treino empregado. Apesar disso, a diminuição na razão I/Q no pós-treino, indica uma redução na capacidade dos flexores em estabilizar o joelho, a qual pode ser considerada como um aumento no risco de lesão. Valores normais para a razão I/Q de 0.40 a 0.50 têm sido relatados baseado nos momentos de pico, independente do modo e velocidade de contração (AAGAARD *et al.*, 1995; LI *et al.*, 1996; ROSENE; FORGARTY; MAHAFFEY, 2001; WESTING; SEGER, 1989). Valores aproximados ($\cong 0.30$) para razão I/Q sugerem que os músculos flexores têm uma capacidade reduzida para estabilização dinâmica da articulação do joelho durante movimentos de flexão forçada com contração excêntrica simultânea do músculo quadríceps (AAGAARD *et al.*, 1996; DVIR, 2004), e pode refletir predisposição a lesão (BARATA *et al.*, 1988).

A contração do músculo quadríceps pode criar uma significativa translação tibial anterior ou cisalhamento, especialmente sob altas forças de contração e com o joelho em direção a extensão completa (HIROKAWA *et al.*, 1992; KAUFMAN *et al.*, 1991; NISELL *et al.*, 1989) e pode produzir uma rotação interna importante da tibia em relação ao fêmur (HIROKAWA *et al.*, 1992; KAUFMAN *et al.*, 1991; MORE *et al.*, 1993; NISELL *et al.*, 1989). A co-ativação dos músculos isquiotibiais, em adição à tensão do LCA, contribuirá

significativamente para contrabalançar o cisalhamento (DVIR, 2004; MORE *et al.*, 1993) ou a rotação tibial (MORE *et al.*, 1993). Então, a razão I/Q pode ser usada para indicar a extensão na qual os isquiotibiais são capazes de equilibrar a translação anterior da tíbia induzida pela contração máxima do músculo quadríceps (AAGAARD *et al.*, 1995). Os resultados do presente estudo mostraram que quando o treinamento excêntrico é aplicado exclusivamente ao músculo quadríceps ocorre alteração das forças envolvidas na estabilização da articulação do joelho.

A diminuição da razão I/Q, neste estudo, foi em consequência do maior ganho do torque extensor do joelho (aproximadamente 40%), comparado com o ganho de torque flexor do joelho (8%). No entanto, este resultado afetou muito pouco o padrão da marcha nos sujeitos normais. Especialmente nenhum aumento na amplitude de valgo-varo foi observado, enquanto que tal aumento foi o principal achado de nosso estudo anterior com pacientes submetidos à reconstrução de LCA.

Provavelmente, os pacientes com reconstrução de LCA são mais suscetíveis a alterações nos padrões cinemáticos da marcha devido ao treinamento excêntrico, além de apresentarem valores maiores na razão I/Q. Se a diminuição nesta razão for a mesma do presente estudo, as propriedades mecânicas dos seus ligamentos podem estar mais sensíveis ao aumento de torque, mesmo quando parcialmente balanceado pelo torque antagonista dos flexores. Assim, para prevenir que pacientes com LCA reconstruído desenvolvam complicações degenerativas, secundárias a lesão primária, a reabilitação que restaura a cinemática funcional do joelho durante a marcha parece importante. Já que o treinamento excêntrico é um método efetivo para fortalecer os extensores do joelho, um treinamento excêntrico dos flexores seria necessário para manter a razão I/Q dentro da normalidade, com intuito de evitar possíveis anormalidades na cinemática da marcha.

A comparação entre os resultados deste estudo e o nosso relato anterior (COURY *et al.*, 2006) indica que alguns aspectos sobre os efeitos do treinamento excêntrico nos parâmetros do joelho na marcha de sujeitos saudáveis e com reconstrução de LCA, ainda precisam ser considerados em estudos futuros. Por exemplo, seria interessante avaliar o efeito do treinamento excêntrico bilateral dos flexores e extensores nos padrões da marcha de sujeitos saudáveis e com LCA reconstruído, bem como o efeito de diferentes combinações da frequência e duração do treinamento.

5. CONCLUSÕES

O treinamento isocinético excêntrico dos extensores de joelho aumentou o torque dos músculos extensores e diminuiu a razão I/Q, entretanto, os efeitos no padrão da marcha não foram significativos para sujeitos saudáveis. Um treinamento associado dos flexores do joelho, complementar ao treino dos extensores, pode ser necessário para manter o equilíbrio entre agonistas e antagonistas do joelho.

Agradecimentos: Apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- AAGAARD, P. et al. Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: influence from joint angular velocity, gravity correction and contraction mode. **Acta Physiol Scand.** v.154, n.4, p. 421-427, 1995.
- AAGAARD, P. et al. Specificity of training load on gains in isokinetic knee joint strength. **Acta Physiol Scand.** v. 156, n. 2, p. 123-129, 1996.
- BARATTA, R. et al. Muscular coactivation: the role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. **Am J Sports Med.** v. 16, p. 113-122, 1988.
- BRASILEIRO, J. S. **Alterações funcionais e morfológicas do músculo quadríceps induzidas pelo treinamento excêntrico após reconstrução de LCA.** São Carlos, 2004.185f. Tese (Doutorado em Fisioterapia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos.
- BULGHERONI, P. et al. Gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction. **Knee Surg Sports Traumatol Arthr.** v. 5, n. 1, p. 14-21, 1997.
- COURY, H. J. C. G. et al. Change in knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training for quadriceps in subjects submitted to anterior cruciate ligament reconstruction. **Gait Posture.** v. 24, n. 3, p. 370-374, 2006.
- DVIR, Z. **Isokinetics: muscle testing, interpretation and clinical applications.** 2^a ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 2004.
- ERNST, G. P. et al. Lower-extremity compensations following anterior cruciate ligament reconstruction. **Phys Ther.** v. 80, n. 3, p. 251-260, 2000.
- GIBALA, M. J. et al. Myofibrillar disruption following acute concentric and eccentric resistance exercise in strength-trained men. **Can J Physiol Pharmacol.** v. 78, p. 656-661, 2000.

GOLDSPINK, G. Molecular mechanisms involved in the determination of muscle fibre mass and phenotype. **Adv Exerc Sports Physiol.** v. 5, n. 2, p. 27-39, 1999.

HIROKAWA, S. et al. Anterior-posterior and rotational displacement of the tibia elicited by quadriceps contraction. **Am J Sports Med.** v. 20, p. 299-306, 1992.

KAUFMAN, K. R. et al Dynamic joint forces during knee isokinetic exercise. **Am J Sports Med.** v. 19, p. 305-316, 1991.

KETTELKAMP, D. B. et al. An electrogoniometric study of knee motion in normal gait. **J Bone Joint Surg.** v. 52, n. 4, p. 775-790, 1970.

KNOLL, Z.; KISS, R. M.; KOCSIS, L. Gait adaptation in ACL deficient patients before and after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. **J Electromyogr Kinesiol.** v. 14, n. 3, p. 287-294, 2004.

KONISHI, Y.; FUKUBAYASHI, T.; TAKESHITA, D. Possible mechanism of quadriceps femoris weakness in patients with ruptured anterior cruciate ligament. **Med Sci Sports Exerc.** v. 34, n. 9, p. 1414–1418, 2002.

KVIST, J.; GILLQUIST, J. Anterior positioning of tibia during motion after anterior cruciate ligament injury. **Med Sci Sports Exerc.** v. 33, n. 7, p.1063-1072, 2001.

LaSTAYO, P. C. et al. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. **J Orthop Sports Phys Ther.** v. 33, p. 557-571, 2003.

LI, R. C. T. et al. Isokinetic strength of the quadriceps and hamstrings and functional ability of anterior cruciate deficient knees in recreational athletes. **Br J Sports Med.** v. 30, n.2, p. 161-164, 1996.

McDONAGH, M. J. N.; DAVIES, C. T. M. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. **Eur J Appl Physiol.** v. 52, p. 139-155, 1984.

McHUGH, M. P. et al. Electromyographic predictors of residual quadriceps muscle weakness after Anterior Cruciate Ligament reconstruction. **Am J Sports Med.** v. 30, n. 3, p. 334-339, 2002.

MILLER, L. E. et al. Knee extensor and flexor torque development with concentric and eccentric isokinetic training. **Research Quart Exec Sport.** v. 77, n. 1, p. 58-63, 2006.

MORE, R. C. et al. Hamstrings – an anterior cruciate ligament protagonist. An in vitro study. **Am J Sports Med.** v. 21, p. 231-237, 1993.

NISELL, R. et al. Tibiofemoral joint forces during isokinetic knee extension. **Am J Sports Med.** v. 17, p. 49-54, 1989.

ROSENE, J. M.; FORGARTY, T. D.; MAHAFFEY, B. L. Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. **J Athl Train.** v. 36, n. 4, p. 378-383, 2001.

SEGER, J. Y.; THORSTENSSON, A. Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. **Int J Sports Med.** v. 26, n. 1, p. 45-52, 2005.

SHELBURNE, K. B.; TORRY, M. R.; PANDY, M. G. Effect of muscle compensation on knee instability during ACL-deficient gait. **Med Sci Sports Exerc.** v. 37, n. 4, p. 642-648, 2005.

WESTING, S. H.; SEGER, J. Y. Eccentric and concentric torque-velocity characteristics, torque output comparisons, and gravity effect torque corrections for the quadriceps and hamstring muscles in females. **Int J Sports Med.** v. 10, p. 175-180, 1989.

WILK, K. E. et al. The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing in the ACL-reconstructed knee. **J Orthop Sports Phys Ther.** v. 20, n. 2, p. 60-73, 1994.

WILLIAMS, G. N. et al. Quadriceps femoris muscle morphology and function after ACL injury; a differential response in coopers versus non-coopers. **J Biomech.** v. 38, p. 685-693, 2005.

YOO, J. D.; PAPANNAGARI, R.; PARK, S. E. The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on knee joint kinematics under simulated muscle loads. **Am J Sports Med.** v. 33, p. 240-246, 2005.

Tabela 1 - Média e diferenças dos ângulos de flexo-extensão e valgo/varo pré e pós-treinamento dos joelhos direito e esquerdo para os 18 sujeitos durante a marcha

<i>Movimento</i>	<i>Ângulos (°)</i>		
	MÁXIMO	MÍNIMO	ADM
Flexão/extensão			
<i>Joelho direito</i>			
Pré-treinamento	52.6(3.7)	-0.9(3.4)	53.8(4.8)
Pós-treinamento	53.5(4.2)	0.0(2.7)	53.4(4.4)
Diferença	0.9 (3.3)	0.9 (3.0)	-0.4(4.7)
Valor de p	0.27	0.22	0.72
<i>Joelho esquerdo</i>			
Pré-treinamento	53.0(5.8)	-0.7(2.8)	53.6(5.9)
Pós-treinamento	52.5(4.7)	-1.4(2.6)	53.9(5.4)
Diferença	-0.5(3.3)	-0.7(2.3)	0.2(3.2)
Valor de p	0.55	0.23	0.79
Valgo/varo			
<i>Joelho direito</i>			
Pré-treinamento	5.5(3.9)	-6.0(5.3)	11.6(5.2)
Pós-treinamento	6.4(6.2)	-6.5(5.0)	12.9(5.5)
Diferença	0.9(8.9)	-0.5(7.9)	1.4(4.3)
Valor de p	0.68	0.80	0.20
<i>Joelho esquerdo</i>			
Pré-treinamento	5.9(4.9)	-6.3(5.3)	12.2(3.6)
Pós-treinamento	8.3(4.1)	-3.1(2.1)	11.4(3.4)
Diferença	2.3(5.0)	3.2(5.3)	-0.8(5.5)
Valor de p	0.06	0.02	0.54

Nota: Os resultados são: média \pm desvio padrão; ângulos positivos representam flexão e valgo.

Legenda: ADM = amplitude de movimento.



Figura 1 - Posicionamento do sujeito no dinamômetro isocinético durante o treino excêntrico dos extensores do joelho (veja a contração isométrica dos flexores no membro contra-lateral)

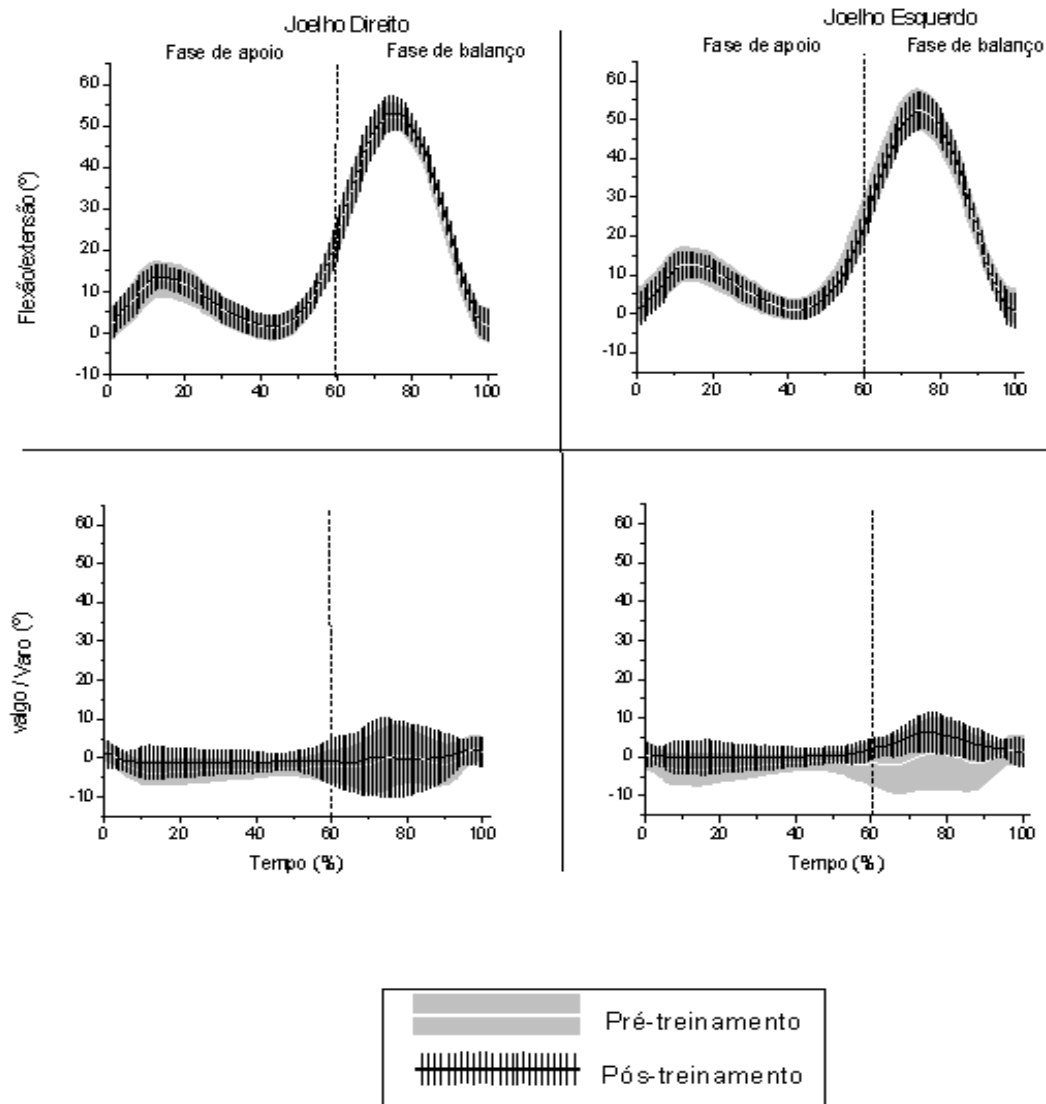


Figura 2 - Amplitudes médias e desvio padrão dos 18 sujeitos para os movimentos de flexo-extensão e valgo-varo durante 100% das passadas consecutivas nas fases de apoio e balanço da marcha de ambos os joelhos, antes e após o treinamento.

Nota: Ângulos positivos representam flexão e valgo.

MANUSCRITO II

OS EFEITOS DO TREINO ISOCINÉTICO EXCÊNTRICO DOS EXTENSORES DO
JOELHO NOS TESTES FUNCIONAIS

(submetido ao Journal Athletic Training)

OS EFEITOS DO TREINO ISOCINÉTICO EXCÊNTRICO DOS EXTENSORES DO JOELHO NOS TESTES FUNCIONAIS

Heleodório Honorato dos Santos; Mariana Arias Ávila; Daniela Naomi Hanashiro; Paula Rezende Camargo; Tânia de Fátima Salvini

Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, CP 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

Autor para correspondência: Heleodório Honorato dos Santos

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Fisioterapia.

Rodovia Washington Luis, Km 235, CP 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

Telefone: 16 3351-8345

Fax: 16 33612081

E-mail: dorioufscar@click21.com.br

Título de páginas: Treino excêntrico versus testes funcionais

RESUMO

Contextualização: Sabe-se que o treino excêntrico aumenta a força muscular e promove uma maior ativação neural e, portanto, tem sido usado na recuperação do torque extensor. A hipótese deste estudo é existe uma correlação entre o treino excêntrico dos extensores do joelho e os testes funcionais. *Objetivo:* Analisar o efeito do treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho nos testes funcionais de agilidade (corridas) e impulsão (saltos). *Materiais e método:* Vinte homens universitários, ativos e saudáveis (idade $22,5 \pm 2,1$ anos; estatura $1,72 \pm 0,10$ m; massa corporal $67,8 \pm 9,5$ kg; índice de massa corporal/IMC $22,5 \pm 2,0$ kg/m²) que não participavam de treino de fortalecimento muscular nem reportaram alterações ou história de lesão no membro inferior, realizaram avaliação isocinética do torque extensor e flexores do joelho e testes funcionais, antes e depois do treino isocinético. *Resultados:* O torque extensor aumentou (16, 27 e 17%; $p < 0,01$), a razão I/Q diminuiu para os modos: isométrico (10%; $p < 0,01$) e excêntrico a 30°/s (20%; $p < 0,01$) e 120°/s (13%; $p < 0,01$) e melhorou o tempo dos testes de agilidade ($p < 0,01$) em dois dos cinco testes de corridas (carioca e pivô diagonal) e aumentou a distância nos testes de saltos tanto para o membro dominante quanto para o não dominante ($p < 0,01$). *Conclusões:* Embora o treino excêntrico tenha aumentado o torque extensor do joelho, bem como melhorado a maioria dos testes funcionais, a hipótese de uma forte correlação entre estas variáveis não se confirmou.

Palavras chave: testes de saltos, testes de agilidade, torque, joelho, treino excêntrico, razão I/Q.

1. INTRODUÇÃO

O joelho, devido suas características anatômicas e funcionais, é uma das articulações mais sobrecarregadas do sistema musculoesquelético (AQUINO *et al.*, 2002).

Muitos estudos têm demonstrado a efetividade do treino de resistência na melhora do rendimento físico (ROSENE; FORGARTY; MAHAFFETY, 2001) e no tratamento das lesões musculoesqueléticas nesta articulação (AQUINO *et al.*, 2002; KANNUS, 1994; SIQUEIRA *et al.*, 2001).

Assim, o exercício excêntrico promove uma maior ativação neural comparada com a contração isométrica e concêntrica (LaSTAYO *et al.*, 2003) e é considerado um importante estímulo para hipertrofia (GOLDSPINK, 1999) e incremento da força muscular (SEGER; THORSTENSSON, 2005). Entretanto, a extensão destas alterações morfofuncionais é dependente da intensidade, frequência e duração do exercício (CLEBIS; NATALI, 2001; KRAEMER *et al.*, 2002).

A Dinamometria isocinética é uma ferramenta largamente usada na avaliação do torque articular, pois, permite o controle de importantes variáveis do movimento, tais como: amplitude, velocidade angular, carga de trabalho, modo de contração (isométrico, concêntrico e excêntrico) e identificar a razão antagonista/agonista (AQUINO *et al.*, 2002; CROCE *et al.*, 1996; DAUTY; JOSSE, 2004; JIDOVITSEFF *et al.*, 2005; ROSENE; FORGARTY; MAHAFFETY, 2001; SIQUEIRA *et al.*, 2002).

Adicionalmente, os testes funcionais de agilidade (corridas) e saltos em distância (KESKULA, 1996; KEAYS *et al.*, 2001; 2003) fornecem parâmetros de segurança e eficiência, sendo muito usados para avaliar a capacidade dos atletas retornarem ao esporte após uma lesão (SHEPPARD; YOUNG, 2006).

Buscando representar os gestos específicos do esporte, combinando movimentos de alta demanda de estresse na articulação do joelho, em todos os planos, um grupo de investigadores (ITOH; ICHIHASHI; SAKAMOTO, 1989; ITOH *et al.*, 1998; SHEPPARD; YOUNG, 2006) desenvolveu uma bateria de Testes de Habilidade Funcional (THF) para avaliar os efeitos de um programa de reabilitação ou treinamento, podendo ser generalizada para outras populações (ORTIZ *et al.*, 2005). Embora considerados de boa confiabilidade (>80%) e sensibilidade (>82%), a correlação entre os testes funcionais e o torque muscular dos extensores e flexores do joelho é ainda polêmica com resultados bastante controversos na literatura (PHILLIPS *et al.*, 2000).

Diante às considerações anteriormente expostas, a hipótese deste estudo seria que o fortalecimento dos extensores do joelho pudesse se refletir na melhora da função articular por meio dos testes de agilidade (corridas) e impulsão horizontal (saltos). Desta forma, este estudo analisou os efeitos do treino isocinético excêntrico de curta duração, nos extensores do joelho, com o objetivo de verificar a correlação entre estes efeitos e a função articular, em sujeitos saudáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostra

A amostra inicial consistiu de 20 universitários, homens, ativos e saudáveis selecionados de uma escola de Fisioterapia. Cinco sujeitos foram excluídos do estudo: três devido a dor no joelho durante os treinos e dois por abandono. Um total de 20 sujeitos completou o estudo (idade $22,5 \pm 2,1$ anos; estatura $1,72 \pm 0,10$ m; massa corporal $67,8 \pm 9,5$ kg; índice de massa corporal/IMC $22,5 \pm 2,0$ kg/m²). Os critérios de inclusão foram: a) não participar de treino de fortalecimento muscular; b) IMC menor que 24 kg/m²; e c) sem lesões musculoesqueléticas ou alterações na estabilidade do joelho.

Todos os sujeitos assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde.

2.2 Instrumentação

Para avaliação dos torques articulares e treino de fortalecimento muscular dos extensores do joelho foi usado um dinamômetro isocinético *Biodex Multi-Joint System 3* (*Biodex Biomedical Systems, Inc., Shirley, NY*). Os testes funcionais foram realizados numa quadra de esportes, utilizando oito cones, uma trena e um cronômetro digital.

2.3 Avaliação do torque

O membro inferior dominante (direito = 5; esquerdo = 15), foi identificado antes da avaliação do torque. Os testes foram realizados no membro não dominante, uma vez que é usado no suporte postural e na impulsão (GOBBI, SECCO; MARINS, 2001; KNIGHT; KAMEN, 2001).

Inicialmente, os sujeitos realizaram 5 min de aquecimento, em bicicleta ergométrica (75W), na velocidade de 20 km/h, seguida de uma série de 3 alongamentos de 30 s (intercalado por 30 s repouso) para os flexores e extensores do joelho e flexores plantares.

Após o aquecimento, os sujeitos foram posicionados no dinamômetro isocinético com o encosto reclinado 5° da posição vertical e os joelhos flexionados a 90°. Para evitar movimentos compensatórios foram utilizadas faixas no tronco, pelve e parte distal da coxa.

O eixo de rotação do dinamômetro foi alinhado com o eixo anatômico do joelho (epicôndilo lateral do fêmur), enquanto que o braço de alavanca do dinamômetro foi fixado na região distal da perna (5 cm acima do maléolo medial), de forma a permitir um arco completo de dorsiflexão do tornozelo (DVIR, 2004).

O período de familiarização consistiu de três contrações excêntricas submáximas dos extensores, seguidas de 1 minuto de completo relaxamento.

Durante as avaliações e treinamento, os sujeitos receberam orientação de segurar firmemente nos apoios laterais do assento, para auxiliar na realização da força durante o movimento contra-resistido. Os ajustes para correção do efeito da gravidade sobre o torque foram realizados com o joelho a 60° e calculados pelo próprio *software* do equipamento, conforme preconizado por DVIR (2004).

As avaliações dos torques extensores e flexores do joelho foram realizadas nos modos: isométrico (0°/s) e isocinético excêntrico (30 e 120°/s). Para mensuração do torque isométrico máximo, o braço do dinamômetro foi fixado na posição de 60° para os extensores (SEGER; ARVIDSSON; THORSTENSSON, 1998), e de 30° para os flexores (DAVIES; ELLENBECKER, 2000). A avaliação consistiu de uma série de 3 contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM), cada uma mantida por 5 s, com intervalo de 1 min entre elas (WILK; ARRIGO; ANDREWS, 1991). A média dos 3 picos de torque (PT) foi calculada para cada sujeito (CLEBIS; NATALI, 2001; SEGER; THORSTENSSON, 2005).

A amplitude de movimento articular (ADM) dos torques isocinéticos excêntricos foi de 70°, (de 20° até 90° para os extensores e de 90° até 20° para os flexores). Cada teste (30°/s e 120°/s) constou de uma série de 5 contrações excêntricas voluntárias máximas (CEVM) consecutivas, com repouso de 3 min. entre as velocidades (DVIR, 2004). A média do pico de torque (MPT) obtidas das 5 contrações, dos extensores e flexores do joelho, foram calculadas no final de cada série.

Para geração das CEVM, foram programados, no dinamômetro isocinético, torques com 30% acima dos valores gerados nas avaliações isométricas, sendo periodicamente aumentados, durante o período de treino.

Durante as avaliações e treinamento, os sujeitos receberam estímulos verbais, pronunciados de forma padronizada, pelo mesmo avaliador (força, força, força, mais força, mais força), para que atingissem a máxima contração assim como, *feedback* visual, no

monitor do próprio equipamento, através da visualização do gráfico (CAMPENELLA; MATTACOLA; KIMURA, 2000).

A razão I/Q convencional foi calculada dividindo-se o pico de torque flexor pelo pico de torque extensor, multiplicando este resultado por 100 (AAGAARD, *et al.*, 1998). A razão foi calculada para todos os modos de contração (isométrico e excêntrico) e velocidades (30°/s e 120°/s).

2.4 Treinamento isocinético

Antes de cada sessão de treino, o equipamento foi calibrado e os sujeitos submetidos ao protocolo de aquecimento e alongamento musculares, já descritos anteriormente. Em seguida, eles realizaram um protocolo, bilateral, de treinamento excêntrico a 30°/s para o fortalecimento dos extensores do joelho. Este consistiu de 3 séries de 10 CEVM (DVIR, 2004), com 3 minutos de repouso entre as séries (KRAEMER *et al.*, 2002). O treino foi realizado duas vezes semanais, durante 6 semanas (12 sessões), alternando membro dominante e não dominante, com intervalo mínimo de 48 horas entre as sessões. O treino foi iniciado pelo membro dominante.

2.5 Testes funcionais

Inicialmente, os sujeitos foram submetidos a um breve aquecimento, correndo em baixa velocidade (trote) por um período de 5 min ao redor da quadra, e em seguida, realizaram a mesma série de alongamentos utilizada nas avaliações do torque.

Os testes funcionais foram realizados antes e após o treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho. Estes testes consistiram de cinco provas de agilidade (corrida em linha reta, deslocamento lateral, carioca, corrida em zig-zag e figura em 8) em velocidade máxima, e duas de saltos em distância (simples e triplo). Os intervalos de repouso foram de 1 e 2 minutos, entre as corridas e as séries de saltos, respectivamente.

Para as corridas, em linha reta, lateral e carioca, foi delimitada uma distância de 6 m, entre dois cones, colocados um em frente ao outro. Para a corrida em linha reta (Figura 1.1), os sujeitos corriam de frente (na ida) e de costas (na volta). Para o deslocamento lateral (Figura 1.4) apesar do percurso ter sido feito em linha reta, os sujeitos se deslocavam lateralmente, para a direita e para a esquerda (ida e volta). Na corrida denominada carioca, era feito um deslocamento lateral, para direita e para esquerda, com os sujeitos cruzando as pernas, alternadamente, a cada passo (KEAYS *et al.*, 2001; 2003).

Inserir Figura 1

Para a corrida diagonal em pivô (zig-zag), foram demarcadas duas colunas, formadas por 2 cones de cada lado, de forma paralela, mantendo uma distância de 6 m entre os cones do mesmo lado, e de 5 m entre os cones de lados opostos, posicionados em diagonal (Figura 1.2). Os sujeitos corriam de um cone a outro da coluna oposta e ao chegarem ao cone realizavam um giro sobre o corpo (pivô), uma vez para a esquerda, outra para a direita e seguiam correndo em diagonal até o próximo cone, cobrindo uma distância 15 m (ORTIZ *et al.*, 2005).

Para a figura em 8 (Figura 1.3), foram postas duas colunas, paralelas, cada uma delas formadas por 3 cones, com 1m de distância entre eles e 4 m entre as colunas. Os sujeitos realizavam o percurso, correndo ao redor das duas fileiras, descrevendo o número 8 (HASEBE; TANABE; YASUDA, 2005; ORTIZ *et al.*, 2005).

Em todos os testes funcionais de agilidade, os sujeitos recebiam um comando verbal do avaliador (atenção, prepara, vai) para padronizar o início dos testes e a cronometragem.

Nas provas de saltos (simples e triplo) os sujeitos se posicionavam antes da linha de salto, equilibravam-se em apoio unipodal, e no momento que julgavam ser propício, realizavam os saltos com os membros superiores livres para auxiliar na impulsão. Para o salto simples (Figura 1.6) foi medida a distância da ponta do pé (partida) ao calcanhar (aterrissagem), feita com o mesmo pé (AUGUSTSSON; THOMEÉ; KARLSSON, 2004; McDEVITT *et al.*, 2004; O'DONNELL; THOMAS; MARKS, 2006; POLLET *et al.*, 2005; SWANIK *et al.*, 2004). Para o salto triplo (Figura 1.7) utilizou-se o mesmo procedimento, porém a distância foi referente a três saltos consecutivos (HOLM *et al.*, 2004; KEAYS *et al.*, 2001; 2003). Para cada modalidade de salto foram realizadas 3 tentativas, alternando-se os membros direito e esquerdo, e feita a média para cada um deles.

Tanto no pré quanto no pós-treino, todos os sujeitos realizaram os testes funcionais (agilidade e impulsão horizontal) seguindo a mesma seqüência (corridas: em linha reta, deslocamento lateral, carioca, diagonal em pivô e figura em 8; e os saltos: simples e triplo). No pós-treino, foi mantido um intervalo de 72 horas após a última sessão de treino isocinético. A exemplo das avaliações dos torques, como forma de padronização, todos os testes funcionais foram iniciados pelo membro não dominante.

Para todos os testes funcionais de agilidade e impulsão (corridas e saltos) os sujeitos realizaram 3 tentativas e foi extraída a média, tanto para o tempo quanto para distância alcançada.

2.6 Análise dos dados

Os procedimentos estatísticos (média, desvio padrão, teste t pareado, *Wilcoxon*, ANOVA *One-Way* e ICC) foram realizados na planilha eletrônica *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Para os testes de correlação (ICC), foi considerada correlação fraca para valores de 0 a 0,5; moderada, para valores de 0,5 a 0,75, e forte, para valores acima de 0,75. Para todas as situações foi utilizado um nível de significância de 5% ($\alpha < 0,05$).

Nas avaliações dos torques foram analisadas as seguintes variáveis: 1) média dos picos de torque (MPT); 2) tempo de pico de torque (TPT); 3) coeficiente de variação (CV); 4) análise de variância da razão I/Q convencional (PT dos flexores/PT extensores X 100) para os modos e velocidades avaliadas (isométrico, excêntrico a 30°/s e 120°/s), no pré e pós-treino.

Com relação aos testes funcionais foram feitas as seguintes análises: 1) comparação das médias pré e pós-treino; 2) correlação (ICC) entre as MPT e os testes funcionais para todos os modos e velocidades avaliadas (isométrico, excêntrico a 30°/s e 120°/s), tanto no pré e pós-treino.

3. RESULTADOS

3.1 Dinamometria Isocinética

3.1.1 Picos de torque (PT)

Na comparação das médias dos picos de torque (MPT) dos extensores e flexores do joelho entre as avaliações pré e pós-treino, em todos os modos (isométrico e excêntrico) e velocidades (30°/s e 120°/s), foram observados aumentos nas MPT dos extensores (grupo de músculos treinados). Houve também, aumento na MPT dos flexores, somente no modo excêntrico a 30°/s (Tabela1).

Inserir Tabela 1

No modo isométrico, o ganho foi de 16% ($p < 0,01$), no modo excêntrico a 30°/s foi de 27% ($p < 0,01$) e a 120°/s, o ganho foi de 17% ($p < 0,01$), para os extensores.

O grupo de músculos flexores também mostrou um ganho de 8% ($p < 0,05$), na MPT para o modo excêntrico a 30°/s, apesar de não compor o protocolo de treinamento.

3.1.2 Coeficiente de Variação (CV)

No pré-treino, o coeficiente de variação manteve-se dentro dos níveis aceitáveis ($\leq 15\%$) para estudos de Dinamometria isocinética (DVIR, 2004). No pós-treino, embora tenha havido uma tendência à diminuição no modo isométrico e excêntrico a 120°/s (Figura 2), a diminuição da variabilidade só foi estatisticamente significativa na velocidade de treinamento, tanto para os extensores ($p < 0,01$) quanto para os flexores ($p < 0,05$).

Inserir Figura 2

3.1.3 Tempo de pico de torque (TPT)

De modo geral, as médias dos tempos para atingir o pico de torque (TPT) tenderam a diminuição, porém, somente no modo excêntrico a 30°/s ($p < 0,01$) houve diferença estatisticamente significativa (Tabela 2).

Inserir Tabela 2

3.1.4 Razão Isquiotibiais/Quadríceps (I/Q)

Houve uma diminuição significativa na razão I/Q convencional, após o treino, em todos os modos e velocidades avaliados. A Tabela 3 mostra que a maior diminuição (20%) ocorreu no modo e na velocidade de treino (excêntrico a 30°/s), seguido do modo excêntrico a 120°/s (13%) e do modo isométrico (10%).

Inserir Tabela 3

O protocolo de treino empregado aumentou as diferenças na razão I/Q, entre os modos de contração. No pré-treino, houve diferença entre os modos isométrico e excêntrico a 120°/s ($p < 0,05$). No pós-treino, as diferenças foram observadas entre os modos isométrico e excêntrico a 30°/s ($p < 0,05$), mas principalmente, entre as velocidades de 30°/s e 120°/s, no modo excêntrico ($p < 0,01$).

3.1.5 Correlação: Ângulo do joelho X pico torque (PT)

A Figura 3 mostra que, de modo geral, as correlações entre ângulo *versus* PT foram fracas, apresentando-se positivas para os extensores e negativas para os flexores do joelho. Na avaliação pré-treino, elas foram moderadas para os extensores a 30°/s e flexores a 120°/s. Na primeira condição, o aumento do ângulo do joelho foi correspondente ao aumento do PT ($r = 0,64$), enquanto que na segunda condição, o PT aumentou à medida que o ângulo do joelho diminuiu ($r = - 0,50$).

Inserir Figura 3

3.2 Testes funcionais

Na comparação das médias dos testes funcionais entre o pré e o pós-treino excêntrico dos extensores do joelho (Tabela 4), foram observadas diferenças significantes ($p < 0,01$) em dois dos 5 testes de agilidade (carioca e corrida em diagonal). Nos testes de salto em distância, também houve significativa diferença para o salto simples e triplo, em ambos os membros. Entretanto, a maior significância ($p < 0,01$) foi observada no membro não dominante (MND) quando comparado ao membro dominante ($p < 0,05$).

Inserir Tabela 4

3.2.1 Correlação: médias dos picos de torque (MPT) X testes funcionais

A Tabela 5 mostrou que houve uma fraca correlação ($r < 0,5$) das MPT dos extensores e flexores com os testes funcionais de agilidade, para todos os modos e velocidades avaliados, tanto no pré quanto no pós-treino. As correlações foram negativas, na grande maioria dos casos.

Inserir Tabela 5

Como observado na Tabela 6, para os testes de impulsão horizontal (saltos), de modo geral as correlações também, mostraram-se fracas ($r < 0,5$) no pré quanto no pós-treino, para ambos os tipos de salto (simples e triplo). Entretanto, no pré-treino houve uma correlação moderada entre a MPT dos extensores no modo excêntrico a 30 e 120°/s com o salto simples ($r = 0,50$ e $0,53$, respectivamente), bem como do modo excêntrico a 30°/s com o salto triplo ($r = 0,56$). Correlações moderada e forte foram encontradas entre a MPT dos extensores e o

salto simples, no modo excêntrico, para ambas as velocidades ($r = 0,63$ e $0,78$, respectivamente).

No pós-treino, a correlação entre a MPT dos flexores no modo excêntrico a $120^\circ/s$ foi também moderada ($r = 0,60$), embora tenha se mostrado menor do que no pré-treino.

Inserir Tabela 6

4. DISCUSSÃO

Em concordância com os achados da literatura (CARROLL; STEPHAN; CARSON, 2001; HICKSON; HIKADA; FOSTER, 1994; KNIGHT; KAMEN, 2001; KRAEMER *et al.*, 2002; LIEBER, 2002; PLOUTZ *et al.*, 1994; STARON *et al.*, 1994; TOMIYA *et al.*, 2004), os resultados deste estudo mostram que o pico de torque aumentou depois do treino excêntrico em todos os modos e velocidades de contração analisados (isométrico e excêntrico a $30^\circ/s$ e $120^\circ/s$).

De acordo com vários estudos, o treino resistido promove alterações no sistema nervoso, aumentando o ganho de força (STARON *et al.*, 1994; TOMIYA *et al.*, 2004), especialmente nas primeiras oito semanas, sem aumento significativo da área de secção transversa do músculo (KNIGHT; KAMEN, 2001). Apesar do número, taxa disparo e sincronização das unidades motoras ativas não terem sido analisadas no corrente estudo, é possível assumir que o ganho do torque em resposta ao protocolo de treino (6 semanas) resulta das alterações dos padrões de recrutamento muscular (CARROLL; STEPHAN; CARSON, 2001; KRAEMER *et al.*, 2002; LIEBER, 2002).

O maior ganho de torque foi no modo excêntrico a $30^\circ/s$, conforme já descrito em estudos prévios (KELLIS; BALZOPoulos, 1999; SEGER; ARVIDSSON; THORSTENSSON, 1998). Entretanto, o aumento de torque também foi observado no modo isométrico e excêntrico a $120^\circ/s$. Blazevich (2001) demonstrou um similar aumento de torque em outras velocidades.

O pico de torque flexor também aumentou no modo excêntrico a $30^\circ/s$, indicando a participação desse grupo muscular durante a contração excêntrica dos extensores. Este ganho pode ser explicado pelo trabalho ativo (isométrico) dos flexores contra-laterais durante o treino excêntrico dos extensores.

O Coeficiente de variação (CV) representa o desvio padrão relativo da amostra, sendo um fator importante para diversas medidas, principalmente, quando a repetição delas é estudada. A diminuição do CV observada neste estudo sugere que o treino influenciou na aprendizagem e na qualidade do gesto motor (BLAZEVIČH, 2001; CARROLL; STEPHAN; CARSON *et al.*, 2001; KNIGHT; KAMEN, 2001; FLUCK; HOPPELER, 2003), provavelmente, explicando o aumento significativo no padrão de contração excêntrica dos extensores do joelho a 30°/s.

A diminuição da variabilidade na contração dos flexores pode ser em consequência da facilitação neuromuscular desenvolvida por este grupo muscular, no membro contralateral, durante o treino excêntrico dos extensores.

Os resultados mostram que, embora o TPT tendesse a diminuir em todos os modos e velocidades analisadas, esta tendência foi específica para o modo e velocidade de treino (excêntrico a 30°/s). Isto, provavelmente, está associado com o ganho de força e a melhora no recrutamento das unidades motoras, uma vez que após o treino, foi observado um menor TPT a 30°/s ($p < 0,01$) e um maior ganho no PT ($p < 0,01$).

Num estudo sobre os padrões de ativação dos extensores do joelho, McHugh *et al.* (2002), verificaram que um menor TPT está associado ao fato de que o exercício isocinético excêntrico promove um maior recrutamento de fibras musculares do tipo II.

Miller *et al.* (2006) igualmente demonstraram que o TPT foi significativamente menor após o treino excêntrico, quando comparado ao concêntrico, tanto para os extensores quanto para os flexores do joelho, indicando uma melhora da função neuromuscular.

Uma vez que a razão I/Q funcional não pode ser calculada, por não ter sido registrado o PT concêntrico durante as avaliações, a razão I/Q convencional foi usada levando em conta o fato de que é considerado um parâmetro para testes de equilíbrio muscular do joelho (AAGAARD *et al.*, 1998; CALMELS *et al.*, 1997; DAUTY; JOSSE, 2004; HIEMSTRA *et al.*, 2004; JIDOVITSEFF *et al.*, 2005; KELLIS; BALTZOPOULOS, 1998; MILLER *et al.*, 2006; ROSENE; FORGARTY; MAHAFFEY, 2001; TOURNY-CHOLLET; LEROY, 2002).

Na comparação dos resultados pré e pós-treino, ficou demonstrado que o protocolo de treino levou a uma diminuição da razão I/Q em 20 e 13%, para o modo excêntrico a 30 e 120°/s, respectivamente, e de 10% para o modo isométrico.

Estes déficits na razão I/Q são devido ao aumento do PT dos extensores, e não a uma diminuição no PT dos flexores. Embora tenha havido um ganho no torque flexor do

joelho, ele foi menor do que o ganho registrado para os extensores, acarretando diminuição na razão I/Q.

Num estudo de revisão sobre a contribuição da contração excêntrica para lesão, prevenção, reabilitação e esporte, LaStayo *et al.* (2003), relatam que ela, quando exclusivamente aplicada a um grupo muscular, pode desestabilizar a articulação por mudança na razão antagonista/agonista.

Apesar deste significativo declínio, a menor taxa do torque flexor representou 40% do torque extensor em todos os modos de contração estudados. Entretanto, esta percentagem encontra-se dentro da amplitude de variabilidade (40 a 80%), descrita em muitos outros estudos sobre a razão I/Q, dependendo da população estudada, idade e sexo (CLASSEN *et al.*, 1998; HIEMSTRA *et al.*, 2004; KELLIS; BALZPOULOS, 1998; SEGER; THORSTENSSON, 2005).

Portanto, devido ao fato do protocolo de treino usado ter solicitado somente os extensores do joelho, levando assim a uma diminuição da razão I/Q, o percentual de 40% nesta taxa ainda não reflete uma predisposição para lesão do ligamento cruzado anterior.

Um pequeno número de estudos (ARCE; SÁNCHEZ; CAMACHO, 2001; CLARK *et al.*, 2005) tem comparado apenas a posição articular entre velocidades, lados (direito e esquerdo), sexo e grupos musculares (flexores e extensores). Entretanto, não têm sido encontrados na literatura estudos que discutam as possíveis alterações nas correlações destas variáveis. No entanto, numa análise sobre a confiabilidade de medidas isocinéticas, entre o ângulo articular e o PT de extensores e flexores do joelho, Steiner; Harris e Krebs (1993) mostraram fracas correlações, resultados similares aos observados no corrente estudo.

No pré-treino dos flexores do joelho a 30°/s, as correlações foram substancialmente fracas, embora tenham se mostrado positivas. É um resultado interessante, uma vez que o pico de torque normalmente aumenta quando a ADM diminui (i.e. correlação negativa) como evidenciado por outras correlações entre ADM e pico de torque flexor tanto para o modo concêntrico quanto para o excêntrico.

Duchateau e Enoka (2002) corroboram com os resultados do presente estudo demonstrando que a melhoria no rendimento dos testes funcionais é máxima em tarefas similares e pode ser afetada pelo modo de contração, carga, velocidade e postura.

Desta forma, as distâncias percorridas para ambos os tipos de saltos (simple e triplo) aumentaram devido uma maior similaridade com o protocolo de treino (alta força, baixa velocidade) nesta tarefa quando comparada aos testes de agilidade, nos quais a melhora no rendimento foi observada apenas em dois (carioca e corrida diagonal) dos cinco testes.

Neste sentido, Kraemer *et al.* (2002) demonstraram que o treino de força isolado produz uma insignificante melhora no desempenho das corridas. Além disso, observaram que testes realizados em velocidades acima de 180°/s foram melhores indicadores de agilidade e, portanto, estariam mais relacionados com a função articular.

Baseada nestas constatações é possível assumir que os resultados obtidos após o treino poderiam ser mais significantes, especialmente para os testes de agilidade, se o protocolo de treino tivesse sido desenvolvido numa velocidade média ($\cong 180^\circ/\text{s}$).

Sheppard e Young (2006) defendem que a habilidade de se realizar um movimento de forma ágil, envolve não só fatores físicos, como também fatores cognitivos, sugerindo que a diminuição do tempo das corridas (carioca e diagonal) bem como o aumento da distância alcançada com os saltos, pode ser devido à união desses dois fatores. Entretanto esta hipótese pode ser rejeitada visto que os sujeitos realizaram os testes apenas duas vezes (pré e pós-treino), com 6 semanas de intervalo entre eles. Além do mais, na segunda avaliação os sujeitos pediam para o examinador mostrar como o teste era realizado, pois eles não lembravam.

O tempo marcado nos testes de agilidade foi registrado manualmente, por meio de um cronômetro. Embora tenha sido registrado pelo mesmo examinador, esta medida é avaliador-dependente, provavelmente, influenciando nos resultados, diferentemente de um registro realizado por um sistema de sincronização eletrônica ou de foto-células.

O número de testes (5 corridas e 2 saltos) pode ter influenciado os resultados. Cada teste foi realizado três vezes (consecutivamente), o que pode levar a algum grau de fadiga. A maior parte dos estudos (AUNE *et al.*, 2001; AUGUSTSSON; TOMEÉ; KARLSSON, 2004; DUCHATEAU; ENOKA, 2002; McDEVITT *et al.*, 2004; SWANIK *et al.*, 2004; HASEBE; TANABE; YASUDA, 2005; POLLET *et al.*, 2005; O'DONNELI *et al.*, 2006) utiliza um ou dois testes e uma pequena parte (KEAYS *et al.*, 2001; 2003; ORTIZ *et al.*, 2005) tem utilizado no máximo cinco testes, combinando provas de saltos e corridas. A soma destes fatores pode ter influenciado no resultado final.

Há muita discordância na literatura a respeito de qual grupo muscular está mais envolvido nas atividades funcionais do joelho. Li *et al.* (1996) encontraram correlação das forças dos flexores com a habilidade funcional, enquanto que, outros estudos (ITOH *et al.*, 1998; WILK *et al.*, 1994), encontraram essa correlação apenas para os extensores. Entretanto, estas correlações foram classificadas como fraca ou moderada. Os resultados deste estudo corroboram com estes achados uma vez que encontraram fraca correlação entre os testes funcionais e o torque, tanto para extensores quanto para flexores do joelho.

5. CONCLUSÕES

Embora o protocolo de treino tenha provocado um substancial aumento no PT extensor, especialmente a 30°/s, e produzido ganhos na maioria dos testes de agilidade (carioca e corrida em diagonal) e salto em distância (simples e triplo), a hipótese de que poderia haver uma forte correlação entre estas duas variáveis não foi confirmada.

Agradecimentos: Apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

AAGAARD, P. et al. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. **Am J Sports Med.** v. 26, n. 2, p. 231-237, 1998.

AQUINO, M. A. et al. Isokinetic assessment of knee flexor/extensor muscular strength in elderly women. **Rev Hosp Clin Fac Med São Paulo.** v. 57, n. 4, p. 131-134, 2002.

ARCE, A. S.; SÁNCHEZ, J. C.; CAMACHO, F. J. F. Isokinetic evaluation of the healthy knee: position of the joint at peak torque. **Isokinetics Exerc Sci.** v. 9, p. 151-154, 2001.

AUGUSTSSON, J.; THOMEÉ, R.; KARLSSON, J. Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.** v. 12, n. 5, p. 350-356, 2004.

AUNE, A. K. et al. Four-strand hamstring tendon autograph compared with patellar tendon-bone autograph for Anterior Cruciate Ligament reconstruction a randomized study with two-year follow-up. **Am J Sports Med.** 2001; 29(6):722-8.

BLAZEVIČH, A. J. **Effect of movement pattern and velocity of strength training exercise on training adaptations during concurrent resistance and sprint/jump training.** Lismore, 2000. 229 f. (Doctoral Thesis) - School of Exercise and Sport Management, Southern Cross University, Australia.

CALMELS, P. M. et al. Concentric and eccentric isokinetic assessment of flexor-extensor torque ratios at the hip, knee, and ankle in a sample population of healthy subjects. **Arch Phys Med Rehabil.** v. 78, n. 11, p. 1224-1230, 1997.

CAMPENELLA, B.; MATTACOLA, C. G.; KIMURA, I. F. Effect of visual feedback and verbal encouragement on concentric quadriceps and hamstrings peak torque of males and females. **Isokinetics Exerc Sci.** v. 8, p. 1-6, 2000.

CARROLL, T. J.; STEPHAN, R.; CARSON, R. G. Neural adaptations to resistance training: implication for movement control. **Sports Med.** v. 31, n. 12, p. 829-840, 2001.

CLARK, R. et al. The effects of eccentric hamstring strength training on dynamic jumping performance and isokinetic strength parameters: a pilot study on the implications for the prevention of hamstring injuries. **Phys Ther Sport**. v. 6, n. 2, p. 67-73, 2005.

CLASSEN, J. et al. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. **J Neurophysiol**. v. 1, n. 2, p. 230-234, 1998.

CLEBIS, N. K.; NATALI, M. R. M. Lesões musculares provocadas por exercícios excêntricos. **Rev Bras Ciênc Mov**. v. 9, n. 4, p. 47-53, 2001.

CROCE, R. V. et al. Peak torque, average power, and Hamstrings/Quadriceps ratios in nondisabled adults and adults with mental retardation. **Arch Phys Med Rehabil**. v. 77, n. 4, p. 369-372, 1996.

DAUTY, M.; JOSSE, M.P. Correlations and differences of performance between soccer players, professionals, young players and amateurs, from the 10-meter sprint test and knee isokinetic assessment. **Sci Sports**. v. 19, n. 2, p.75-79, 2004.

DAVIES, G. J.; ELLENBECKER, T. S. Aplicação da isocinética nos testes e na reabilitação. In: ANDREWS, J. R.; HARRELSON, G. L.; WILK, K. E. **Reabilitação física das lesões desportivas**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000; p.160-188.

DUCHATEAU, J.; ENOKA, R. M. Neural adaptation with chronic activity patterns in able-bodied humans. **Am J Phys Med Rehabil**. v. 81(Suppl), n. 11, p. 17-27, 2002.

DVIR, Z. **Isokinetics**: muscle testing, interpretation and clinical applications. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1995; p. 199.

FLÜCK, M.; HOPPELER, H. Molecular basis of skeletal muscle plasticity-from gene form and function. **Rev Physiol Biochem Pharmacol**. v. 146, n. 1, p. 159-216, 2003.

GOBBI, L. T. B.; SECCO, C. R.; MARINS, F. H. P. Preferência pedal: comportamento locomotor em terreno regular. In: TEIXEIRA, L. A. **Avanços em comportamento motor**. São Paulo, SP: Movimento, 2001; p. 225-247.

GOLDSPINK, G. Molecular mechanisms involved in the determination of muscle fiber mass and phenotype. **Adv Exerc Sports Physiol**. v. 5, n. 2, p. 27-39, 1999.

HASEBE, Y.; TANABE, Y.; YASUDA, K. Anterior-Cruciate-Ligament reconstruction using doubled hamstring-tendon autograft. **J Sport Rehabil**. v. 14, n. 4, p. 279-293, 2005.

HICKSON, R. C.; HIKADA, K.; FOSTER, C. Skeletal muscle fiber type, resistance training, and strength-related performance. **Med Sci Sports Exerc**. v. 26, n. 5, p. 593-598, 1994.

HIEMSTRA, L. A. et al. Hamstring and quadriceps strength balance in normal and hamstring anterior cruciate ligament-reconstructed subjects. **Clin J Sport Med**. v. 14, n. 5, p. 274-280, 2004.

- HOLM, I. et al. Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. **Clin J Sport Med.** v. 14, n. 2, p. 88-94, 2004.
- ITOH, H.; ICHIHASHI, N.; SAKAMOTO, T. Functional test for the knee joint. **Bull Allied Med Sci Kobe.** v. 5, p. 75-81, 1989.
- ITOH, H. et al. Evaluation of functional deficits determined by four different hop tests in patients with anterior cruciate ligament deficiency. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.** v. 6, n. 4, p. 241-245, 1998.
- JIDOVTSEFF, B. et al. Isokinetic profile of knee flexors and extensors in a jumpers population. **Sci Sports.** v. 20, n. 5-6, p. 304-307, 2005.
- KANNUS, P. Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. **Int J Sports Med.** v. 15, suppl. 1, p. 11-18, 1994.
- KEAYS, S. L. et al. Muscle strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis. **Knee.** v. 8, n. 3, p. 229-234, 2001.
- KEAYS, S. L. et al. The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. **J Orthop Research.** v. 21, n. 2, p. 231-237, 2003.
- KELLIS, E.; BALZOPoulos, V. Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise. **Med Sci Sports Exerc.** v. 30, n. 11, p. 1616-1623, 1998.
- KELLIS, E.; BALZOPoulos, V. The effects of antagonist muscle force on intersegmental loading during isokinetic efforts of the knee extensors. **J Biomech.** v. 32, p. 19-25, 1999.
- KESKULA, D. R. et al. Functional outcome measures for knee dysfunction assessment. **J Athl Train.** v. 31, n. 2, p. 105-110, 1996.
- KNIGHT, C. A.; KAMEN, G. Adaptations in muscular activation of the knee extensor muscles with strength training in young and older adults. **J Electromyogr Kinesiol.** v. 11, n. 6, p. 405-412, 2001.
- KRAEMER, W. J. et al. Progression models in resistance training for healthy adults. **Med Sci Sports Exerc.** v. 34, n. 2, p. 364-380, 2002.
- LaSTAYO, P. C. et al. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. **J Orthop Sports Ther.** v. 33, p. 557-571, 2003.
- LI, R. C. et al. Isokinetic strength of the quadriceps and hamstrings and functional ability of anterior ligament deficient knees in recreational athletes. **Br J Sports Med.** 1996;30:161-4.
- LIEBER, R. L. **Skeletal muscle: structure, function and plasticity – the physiological basis of rehabilitation.** 2 ed. Baltimore: Williams & Williams, 2002.

- McDEVITT, E. R. et al. Functional bracing after anterior cruciate ligament reconstruction – a prospective, randomized and multicenter study. **Am J Sports Med.** v. 32, n. 8, p. 1887-1892, 2004.
- McHUGH, M. P. et al. Differences in activation patterns between eccentric and concentric quadriceps contractions. **J Sports Sci.** v. 20, n. 2, p. 83-91, 2002.
- MILLER, L. E. et al. Knee extensor and flexor torque development with concentric and eccentric isokinetic training. **Research Quart Exerc Sport.** v. 77, n. 1, p. 58-63, 2006.
- O'DONNELL, S.; THOMAS, S. G.; MARKS, P. Improving the sensitivity of the hop index in patients with an ACL deficient knee by transforming the hop distance scores. **BMC Musculoskeletal Disorders.** v. 7, n. 9, p. 1-6, 2006.
- ORTIZ, A. et al. Reliability of selected physical performance tests in young adult women. **J Strength Cond Research.** v. 19, n. 1, p. 39-44, 2005.
- PHILLIPS, N. et al. Outcome and progression measures in rehabilitation following anterior cruciate ligament injury. **Phys Ther Sport.** v. 1, n. 4, p. 106-118, 2000.
- PLOUTZ, L. L. et al. Effect of resistance training on muscle use during exercise. **J Appl Physiol.** v. 76, n. 4, p. 1675-1681, 1994.
- POLLET, V. et al. The role of the Rolimeter in quantifying knee instability compared to the functional outcome of ACL-reconstructed versus conservatively-treated knees. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.** v. 13, n. 1, p. 12-18, 2005.
- ROSENE, J. M.; FORGARTY, T. D.; MAHAFFEY, B L. Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. **J Athl Train.** v. 36, n. 4, p. 378-383, 2001.
- SEGER, J. Y.; ARVIDSSON, B.; THORSTENSSON, A. Specific effects of eccentric and concentric training and morphology in humans. **Eur J Appl Physiol.** v. 79, n. 1, p. 49-57, 1998.
- SEGER, J. Y.; THORSTENSSON, A. Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. **Int J Sports Med.** v. 26, n. 1, p. 45-52, 2005.
- SHEPPARD, J. M.; YOUNG, W. B. Agility literature review: classifications, training and testing. **J Sports Sci.** v. 24, n. 9, p. 919-932, 2006.
- SIQUEIRA, C. M. et al. Isokinetic dynamometry of knee flexors and extensors: comparative study among non-athletes, jumper athletes and runner athletes. **Rev Hosp Clin Fac Med São Paulo.** v. 57, n. 1, p. 19-24, 2002.
- STARON, R. S. et al. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. **J Appl Physiol.** v. 76, n. 3, p. 1247-1255, 1994.
- STEINER, L. A.; HARRIS, B. A.; KREBS, D. E. Reliability of eccentric isokinetic knee flexion and extension measurements. **Arch Phys Med Rehabil.** v. 74, n. 12, p. 1327-1335, 1993.

SWANIK, C. et al. Neuromuscular dynamic restraint in women with anterior cruciate ligament injuries. **Clin Orthop Related Research**. v. 425, p. 189–199, 2004.

TOMIYA, A. et al. Myofibers Express IL-6 after eccentric exercise. **Am J Sports Med**. v. 32, n. 2, p. 503-508, 2004.

TOURNY-CHOLLET, C.; LEROY, D. Conventional vs. dynamic hamstrings-quadriceps strength ratios: a comparison between players and sedentary subjects. **Isokinetics Exerc Sci**. v. 10, p. 183-192, 2002.

WEBSTER, K. E.; GONZALEZ-ADRIO, R.; FELLER, J. A. Dynamic joint loading following hamstring and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc**. 2004;12(1):15-21.

WILK, K. E.; ARRIGO, C. A.; ANDREWS, J. R. Standardized isokinetic testing protocol for the throwing shoulder: the throwers series. **Isokinetics Exerc Sci**. v. 1, p. 63-71, 1991.

WILK, K. E. et al. The relationship between subjective knee scores, isokinetic tests, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. **J Orthop Sports Phys Ther**. v. 20, n. 2, p. 60-73, 1994.

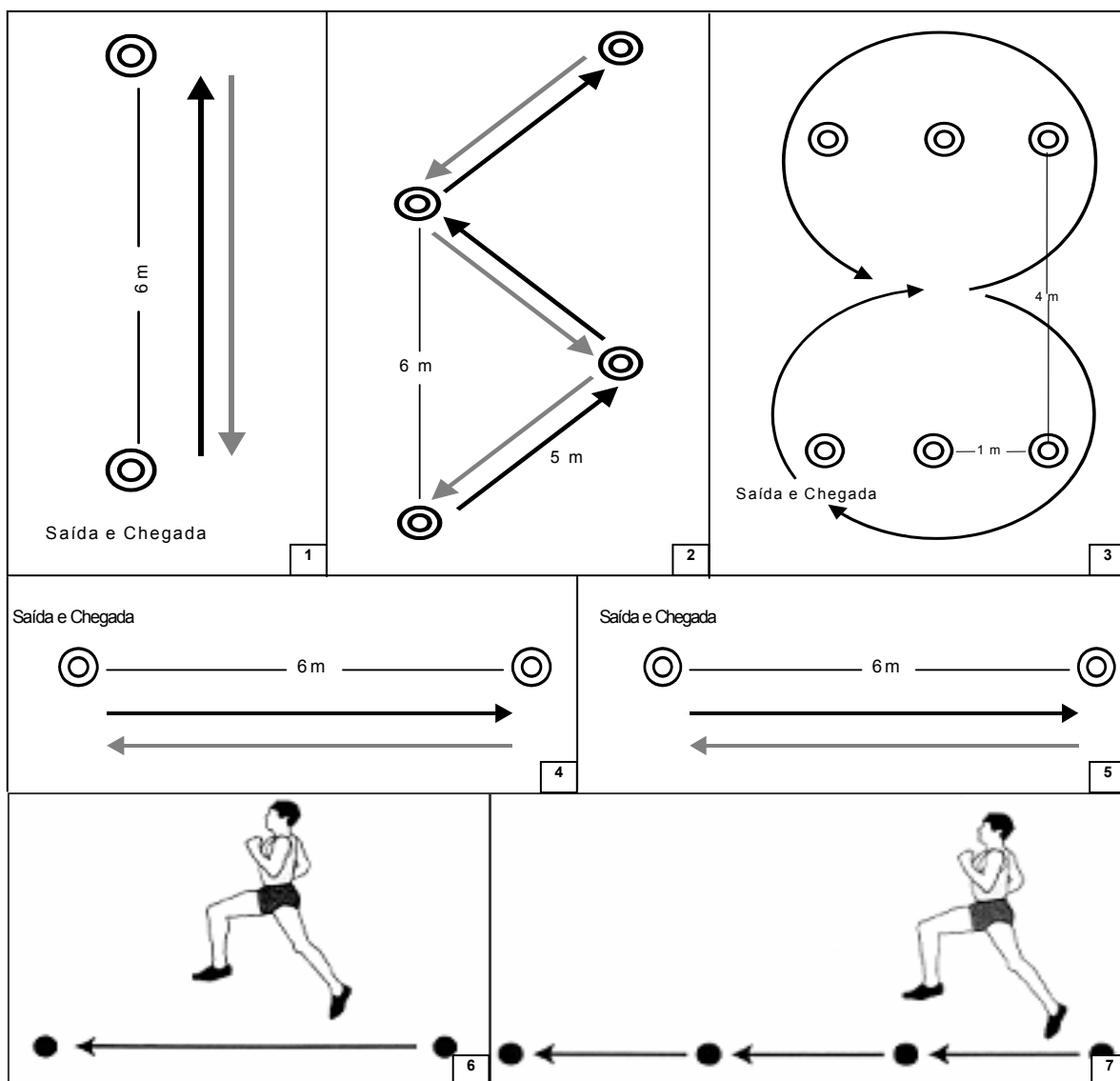


Figura 1 - Testes funcionais: corrida em linha reta (1); corrida em zig-zag (2); figura em 8 (3); deslocamento lateral (4); carioca (5); salto simples (6); salto triplo (7)

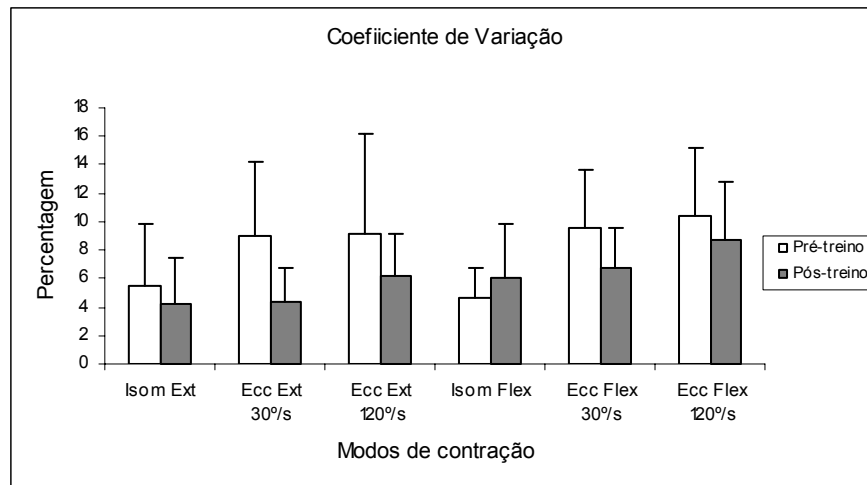


Figura 2 – Percentagem das medias dos coeficientes de variação (CV) no pré e pós-treino

Tabela 1 – Resultados das MPT (Nm) pré e pós-treino no membro não dominante após 6 semanas de treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho

Torque	Médias dos Picos de Torque (MPT)			
	Pré-treino (Nm)	Pós-treino (Nm)	Teste t (pareado)	Ganho (%)
Extensor				
Isométrico	217.5 ± 42.5	259.3 ± 51.2**	0.0001	16
Excêntrico 30°/s	232.2 ± 55.9	318.8 ± 55.6**	< 0.0001	27
Excêntrico 120°/s	215.7 ± 50.4	259.8 ± 67.4**	0.0001	17
Flexor				
Isométrico	108.7 ± 27.1	115.1 ± 32.2	0.0587	6
Excêntrico 30°/s	113.9 ± 28.4	123.3 ± 20.8*	0.0159	8
Excêntrico 120°/s	108.3 ± 29.8	111.8 ± 31.2	0.238	3

Legenda: Nm = Newton.metro

Tabela 2 – Comparação das médias do TPT nas avaliações pré e pós-treino

Torque	Médias dos Tempos dos Picos de Torque (ms)	
	Pré-treino	Pós-treino
Extensor		
Excêntrico 30°/s	2723 ± 755	2185 ± 219**
Excêntrico 120°/s	951 ± 368	775 ± 236
Flexor		
Excêntrico 30°/s	2343 ± 541	2259 ± 636
Excêntrico 120°/s	555 ± 113	528 ± 75

Legenda: ms = milissegundos

** p = 0.003 (Wilcoxon)

Tabela 3 – Razão entre flexores e extensores do joelho no membro não dominante

Modos de contração	Razão Isquiotibiais/Quadríceps (%)			
	Pré-treino (Nm)	Pós-treino (Nm)	Test t (pareado)	Diferença (%)
Isométrico	49.8 ± 8.3	45.1 ± 7.8	0.0057**	10
Excêntrico 30°/s	50.4 ± 7.5	40.3 ± 7.0	< 0.0001**	20
Excêntrico 120°/s	54.8 ± 10.3	47.7 ± 12.3	0.0023**	13

Legenda: Nm = Newton.metro

Tabela 4 – Comparação das médias dos testes funcionais pré e pós-treino após 6 semanas de treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho

Testes Funcionais	Avaliações		
	Pré-treino	Pós-treino	Valor p
Corrida em Linha Reta (s)	13,80 ± 0,87	13,57 ± 0,88	0,19 ◇
Deslocamento Lateral (s)	14,92 ± 2,24	14,48 ± 1,47	0,33 †
Carioca (s)	19,48 ± 3,95	16,91 ± 1,97	< 0,01 †
Zig-zag (s)	34,58 ± 3,09	32,40 ± 2,54	< 0,01 †
Figura em 8 (s)	16,68 ± 2,95	16,14 ± 2,59	0,15 ◇
SSMD (m)	1,95 ± 0,15	2,02 ± 0,13	< 0,05 †
SSMND (m)	1,96 ± 0,16	2,05 ± 0,12	< 0,01 ◇
STMD (m)	5,81 ± 0,35	5,93 ± 0,36	< 0,05 †
STMND (m)	5,77 ± 0,32	5,95 ± 0,35	< 0,01 †

Legenda: SSMD = Salto Simples com o Membro Dominante; SSMND = Salto Simples com o Membro Não Dominante; STMD = Salto Triplo com o Membro Dominante; STMND = Salto Triplo com o Membro Não Dominante; s = segundo; m = metro.

◇ (Wilcoxon)

† (teste t)

Tabela 5 – Correlações entre as MPT e os testes funcionais de agilidade (corridas) no pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho

Modos de contração	Correlação MPT <i>versus</i> Testes de agilidade			
	Pré-treino (r)		Pós-treino (r)	
	Extensores	Flexores	Extensores	Flexores
Isométrico				
MPT x Corrida em linha reta	-0.01	0.15	-0.21	0.15
MPT x Deslocamento lateral	-0.17	-0.06	-0.15	-0.02
MPT x Carioca	0.10	-0.03	-0.18	0.01
MPT x Corrida em zig-zag	-0.04	0.07	-0.04	0.04
MPT x Figura em 8	0.12	0.27	0.09	0.15
Excêntrico 30°/s				
MPT x Corrida em linha reta	-0.19	-0.31	-0.23	-0.15
MPT x Deslocamento lateral	-0.29	-0.36	-0.14	-0.18
MPT x Carioca	-0.30	-0.17	-0.26	-0.16
MPT x Corrida em zig-zag	-0.36	-0.24	-0.15	-0.12
MPT x Figura em 8	-0.18	-0.17	0.10	-0.05
Excêntrico 120°/s				
MPT x Corrida em linha reta	-0.20	-0.29	-0.24	-0.38
MPT x Deslocamento lateral	-0.39	-0.43	-0.24	-0.46
MPT x Carioca	-0.35	-0.27	-0.34	-0.31
MPT x Corrida em zig-zag	-0.17	-0.21	-0.19	-0.36
MPT x Figura em 8	-0.14	-0.13	-0.19	-0.38

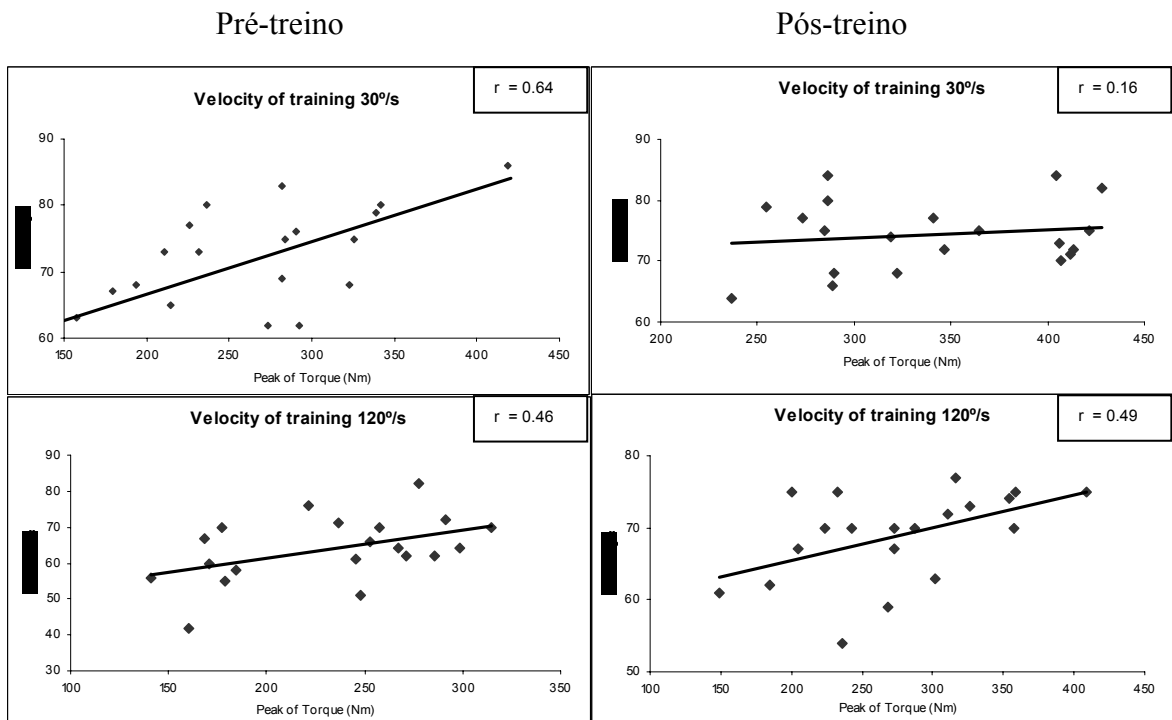
Legenda: MPT = Média dos Picos de Torque.

Tabela 6 – Correlações entre a MPT e a distância dos saltos (simples e triplo) antes e depois do treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho

Testes de saltos	Correlação MPT X Distância dos saltos			
	Pré-treino (r)		Pós-treino (r)	
	Extensores	Flexores	Extensores	Flexores
Simples				
MPT Isométrico	0.26	0.48	0.23	0.24
MPT Excêntrico a 30°/s	0.50	0.63	0.34	0.41
MPT Excêntrico a 120°/s	0.53	0.78	0.35	0.60
Triplo				
MPT Isométrico	0.38	0.36	0.33	0.36
MPT Excêntrico a 30°/s	0.56	0.49	0.38	0.41
MPT Excêntrico a 120°/s	0.18	0.39	0.11	0.43

Legenda: MPT = Média dos Picos de Torque; Isom = Isométrico; Exc = Excêntrico; MND = Membro Não Dominante; MD = Membro Dominante.

Extensores do Joelho



Flexores do Joelho

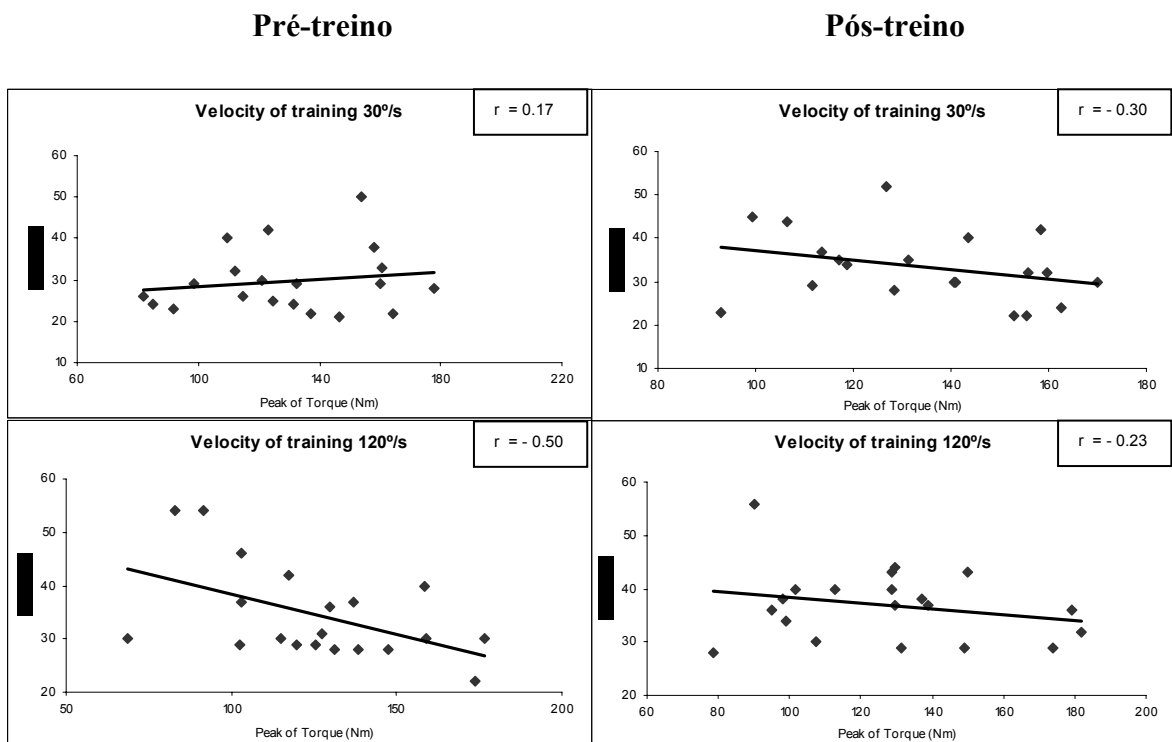


Figura 3 – Correlação entre ângulo *versus* MPT dos flexores e extensores do joelho a 30°/s e 120°/s

MANUSCRITO III

O TREINO ISOCINÉTICO EXCÊNTRICO DOS EXTENSORES DO JOELHO ALTERA A
RAZÃO I/Q DO TORQUE SEM ALTERAR A RAZÃO I/Q DO EMG EM SUJEITOS
SADIOS

(submetido ao Journal of Electromyography and Kinesiology)

**O TREINO ISOCINÉTICO EXCÊNTRICO DOS EXTENSORES DO JOELHO
ALTERA A RAZÃO I/Q DO TORQUE SEM ALTERAR A RAZÃO I/Q DO EMG EM
SUJEITOS SADIOS**

Heleodório Honorato dos Santos; Mariana Arias Ávila; Daniela Naomi Hanashiro; Tania de
Fátima Salvini

Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, CP 676, CEP 13565-905,
São Carlos, SP, Brasil.

Autor para correspondência: Heleodório Honorato dos Santos

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Fisioterapia.

Rodovia Washington Luis, Km 235, CP 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

Telefone: 16 3351-8345

Fax: 16 33612081

E-mail: dorioufscar@click21.com.br

Título de páginas: Treino excêntrico altera a razão I/Q do torque

Palavras chave: treino excêntrico, EMG, isocinético, razão I/Q, Dinamometria

RESUMO

Objetivo: avaliar os efeitos do treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho sobre a razão I/Q do torque e da EMG, em sujeitos saudáveis. *Metodologia:* Vinte homens ativos e saudáveis (idade $22,5 \pm 2,1$ anos; estatura $1,72 \pm 0,10$ m; peso $67,8 \pm 9,5$ kg; índice de massa corporal/IMC $22,5 \pm 2,0$ kg/m²) foram avaliados quanto ao torque (isométrico e excêntrico a 30 e 120°/s) e EMG dos extensores e flexores do joelho, antes e após 6 semanas de treino isocinético excêntrico a 30°/s. *Resultados:* O torque extensor do joelho aumentou em todos os modos e velocidades avaliados ($p < 0.01$). A razão I/Q do torque declinou em todas as medidas realizadas ($p < 0.01$), porém a razão I/Q da EMG manteve-se nos valores pré-treino ($p > 0.05$). A correlação torque/EMG mostrou-se fraca ($r < 0.5$) para todos os modos de contração, no pré e pós-treino. *Conclusões:* O treino excêntrico promoveu diferentes efeitos no torque extensor e no sinal EMG. Apesar do exercício excêntrico ser a melhor opção para o aumento da força muscular, deve-se ter atenção especial quando utilizá-lo em programas de fortalecimento que enfatizem os extensores do joelho, pois as alterações da razão da razão I/Q podem contribuir para instabilidade articular.

Palavras chave: treino excêntrico, EMG, isocinético, razão I/Q, Dinamometria

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a Dinamometria isocinética tem sido bastante utilizada na avaliação muscular, especialmente por permitir o controle de algumas variáveis, como: modo de contração, velocidade do movimento, resistência aplicada, amplitude de movimento (ADM), etc., e pela confiabilidade de seus resultados durante os testes ou treinamento (DAUTY; JOSSE, 2004; KONISHI *et al.*, 2003; MANSKEA *et al.*, 2003; Von PORAT *et al.*, 2007).

Paralelamente, o uso da eletromiografia (EMG) tem sido muito freqüente no estudo do movimento humano (KLEISSEN *et al.*, 1998; KUMAR; MITAL, 1996) e no diagnóstico neuromuscular (DUMITRU, 1995; KYROLAINEN *et al.*, 1995; LUTTMANN *et al.*, 1996), onde são estudadas possíveis alterações do sinal mio-elétrico na avaliação da marcha, no uso do *biofeedback* em pacientes, em procedimentos terapêuticos como equilíbrio e propriocepção, e em programas de exercícios que possam influenciar diretamente o controle motor (SODERBERG; KNUTSON, 2000; STEGEMAN *et al.*, 2000).

Cada vez mais os pesquisadores têm procurado utilizar conjuntamente a Dinamometria isocinética e a EMG para esclarecer algumas questões sobre a função muscular, como por exemplo, comparação entre tarefas estáticas e dinâmicas (EARL; SCHMITZ; ARNOLD, 2001; JUDGE; MOREAU; BURKE, 2003), observação do comportamento de músculos agonistas e antagonistas (KELLIS; BALZOPoulos, 1998; SHIELDS *et al.*, 2005), e dos efeitos de programas de treino resistido, com volume fixo (GHORI; DONNE; LUCKWILL, 1995; SEGER; ARVIDSSON; THORSTENSSON, 1998; SHIELDS *et al.*, 2005) ou progressivo (JUDGE; MOREAU; BURKE, 2003) sobre determinada articulação ou segmento corporal.

A razão Isquiotibiais/Quadríceps (I/Q) do torque tem sido uma das variáveis mais utilizadas nos estudos de Dinamometria isocinética (AAGAARD *et al.*, 1998; ROSENE; FORGARTY; MAHAFFETY, 2001; URABE, 2005) para observar o equilíbrio articular do joelho, quer seja na forma convencional (AAGAARD *et al.*, 1998) ou funcional (KELLIS; BALZOPoulos, 1999; ROSENE; FORGARTY; MAHAFFETY, 2001; SCHMITZ; WESTWOOD, 2001; TOURNY-CHOLLET; LEROY, 2002). Alguns estudos mostram que ela varia de 40 a 80%, dependendo da população estudada, idade e gênero, e quando ela é menor que 40% há aumento da força de cisalhamento e instabilidade do joelho, sobrecarregando especialmente o ligamento cruzado anterior/LCA (KELLIS;

BALTZOPOULOS, 1998; 1999; LaSTAYO *et al.*, 2003; WOJTYS; ASTHON-MILLER; HUSTON, 2002).

No entanto, apesar dos estudos de EMG analisarem o comportamento do sinal frente aos vários tipos de ação muscular (isométrica, concêntrica ou excêntrica) (ANDERSEN *et al.*, 2005; HAKKINEN *et al.*, 2003; HAMLIN; QUIGLEY, 2001; JUDGE; MOREAU; BURKE, 2003; McCARTHY; POZNIAK; AGRE, 2002; RABITA; P'EROT; LENSEN-CORBIEL, 2000), distintas velocidades (GHORI; DONNE; LUCKWILL, 1995), diferentes intensidades de contração (HIGBIE *et al.* 1996; SHIELDS *et al.*, 2005), amplitudes de movimento controladas (GHORI; DONNE; LUCKWILL, 1995) e a programas de treinamentos diversificados (HAKKINEN *et al.*, 2003; JUDGE; MOREAU; BURKE, 2003; KNIGHT; KAMEN, 2001), poucos estudos têm adotado a razão da EMG entre flexores e extensores como ferramenta de avaliação da função muscular (DiFABIO *et al.*, 1992; KALLIS; KATIS, 2007; YODAS *et al.*, 2007).

Mesmo sem analisar se essa razão se altera com o treino, Kellis; Katis (2007) e Youdas *et al.* (2007), relatam que a razão I/Q da EMG quando associada à do torque, torna-se uma excelente ferramenta para exame da função do joelho, monitoramento programas de reabilitação ou avaliação dos efeitos de programas de treinamento, por fornecer um índice da adaptação neuromuscular ao exercício.

Pelo fato do exercício excêntrico promover uma maior ativação neural quando comparado ao isométrico e concêntrico (LaSTAYO *et al.*, 2003), ser considerado um importante estímulo na hipertrofia, ativação da síntese protéica (GOLDSPINK, 1999) e no incremento da força muscular (SEGER; THORSTENSSON, 2005), o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do treino isocinético excêntrico para fortalecimento dos extensores do joelho sobre a razão I/Q do torque e da EMG em sujeitos saudáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostra

A amostra consistiu, inicialmente, de 25 sujeitos, no entanto 5 deles foram excluídos (3 = dor no joelho durante os treinos; 2 = abandono). Assim, 20 universitários, homens, ativos e saudáveis (idade $22,5 \pm 2,1$ anos; estatura $1,72 \pm 0,10$ m; peso $67,8 \pm 9,5$ kg; índice de massa corporal/IMC $22,5 \pm 2,0$ kg/m²) que não participavam de treino de fortalecimento muscular nem reportaram alterações ou história de lesão no joelho, concluíram o estudo.

Todos os sujeitos assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde) de acordo com as normas do Comitê de Ética da Instituição, conforme a declaração de Helsinki.

2.2 Instrumentação

Para avaliação dos torques articulares e treino de fortalecimento muscular dos extensores do joelho foi usado um dinamômetro isocinético *Biodex Multi-Joint System 3* (*Biodex Biomedical Systems, Inc., Shirley, NY*), enquanto que para aquisição dos sinais eletromiográficos foi utilizado um eletromiógrafo (Modelo 800C - *EMG System*, Brasil).

2.3 Avaliação do torque

Inicialmente, foi identificada a dominância do membro inferior dos sujeitos, sendo 5 com dominância direita e 15 com dominância esquerda, perguntando qual a perna de chute, verificando qual membro ele utilizava no teste de desequilíbrio e qual membro ele apoiava para saltar um obstáculo (caixa) colocado à sua frente (KNIGHT; KAMEN, 2001).

Os sujeitos se aqueceram, por 5 min, em bicicleta ergométrica (75W), na velocidade de 20 km/h, conforme preconizado por Earl; Schmitz; Arnold, 2001; Schmitz; Westwood, 2001 e Linnamo; Strojnik; Komi, 2002. Em seguida, na posição de pé, realizaram uma série de alongamentos com 3 repetições (30 s de alongamento, seguidos por 30 s de repouso) para músculos flexores e extensores do joelho e flexores plantares, em ambos os membros (COURY *et al.*, 2006).

Após o aquecimento, os sujeitos sentaram no dinamômetro isocinético com o encosto reclinado 5° da posição vertical e os joelhos flexionados a 90°. Para evitar movimentos compensatórios foram utilizadas faixas no tronco, pelve e região distal da coxa.

O eixo de rotação do dinamômetro foi alinhado com o eixo anatômico do joelho (epicôndilo lateral do fêmur), e o braço de alavanca foi fixado na região distal da perna (5 cm acima do maléolo medial), de forma a permitir um arco completo de dorsiflexão do tornozelo (DVIR, 2004; COURY *et al.*, 2006).

Durante as avaliações e treinamento, os sujeitos receberam orientação de segurar firmemente nos apoios laterais do assento, para auxiliar na realização da força durante o movimento contra-resistido. Os ajustes para correção do efeito da gravidade sobre o torque foram realizados com o joelho a 60° e calculados pelo próprio *software* do equipamento, conforme Dvir (2004).

A mensuração do torque extensor e flexor do joelho foi realizada no membro não dominante, nos modos: isométrico e isocinético excêntrico (30 e 120°/s). Para medida do torque isométrico máximo, o braço do dinamômetro foi fixado na posição de 60° para os extensores (DAVIES; ELLENBECKER, 2000; PINCIVERO *et al.*, 2003), e de 30° para os flexores (DAVIES; ELLENBECKER, 2000). A avaliação consistiu de uma série de 3 contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM), cada uma mantida por 5 s, com intervalo de 1 min entre elas (JUDGE; MOREAU; BURKE, 2003; PINCIVERO *et al.*, 2004; WILK; ARRIGO; ANDREWS, 1991). Para cada sujeito foi registrada a média dos 3 picos de torque (PT) obtidos, conforme preconizado por Clebis; Natali, 2001 e Seger; Thorstensson, 2005.

Os testes excêntricos constaram de uma série de 5 contrações excêntricas voluntárias máximas (CEVM), consecutivas, com repouso de 3 min entre os testes (COURY, 2006; DVIR, 2004). Ao final de cada série, foram calculadas as médias dos picos de torque (MPT) das 5 contrações, para os extensores e flexores do joelho, em cada velocidade testada (30°/s e 120°/s).

A amplitude de movimento articular (ADM) dos torques isocinéticos excêntricos foi de 70°, (20° - 90° para os extensores; 90° - 20° para os flexores) (COURY, 2006) e antes de cada teste foram feitas familiarizações dos sujeitos no equipamento constando de três contrações excêntricas submáximas (CROISIER *et al.*, 2007; GHOURI *et al.*, 1995) dos flexores e extensores, seguidas de 1 minuto de repouso (CROISIER *et al.*, 2007).

Para geração das CEVM, foram programados, no dinamômetro isocinético, torques com 30% acima dos valores gerados nas avaliações isométricas, valores estes que foram periodicamente aumentados, durante o período de treino.

Durante as avaliações e treinamento, os sujeitos receberam estímulos verbais, pronunciados de forma padronizada (força, força, força, mais força, mais força) pelo mesmo avaliador para que atingissem a máxima contração assim como, *feedback* visual, no monitor do próprio equipamento, através da visualização do gráfico (CAMPENELLA *et al.*, 2000; EARL; SCHMITZ; ARNOLD *et al.*, 2001; PINCIVERO *et al.*, 2003).

Para efeitos de comparação entre os sujeitos, os valores dos torques nas avaliações pré e pós-treino foram normalizados pelo peso corporal de cada um dos sujeitos.

A fim de permitir um tempo de recuperação suficiente, o protocolo de treino iniciou 48 horas após o último teste da avaliação inicial. Pelo mesmo motivo, a avaliação final

só foi realizada considerando-se o mesmo tempo de recuperação a partir da última sessão de treino (KNIGHT; KAMEN, 2001).

2.4 Treinamento isocinético

Enquanto os sujeitos realizavam o protocolo de aquecimento e alongamento musculares, já descritos anteriormente, o dinamômetro foi calibrado conforme manual do equipamento. Em seguida, eles executavam um programa, bilateral, de treinamento excêntrico para o fortalecimento dos extensores do joelho, na velocidade de 30°/s (CROISIER *et al.*, 2007), consistindo de 3 séries de 10 CEVM (DVIR, 2004; HIGBIE *et al.*, 1996), com 3 minutos de repouso entre as séries (HIGBIE *et al.*, 1996; KRAEMER *et al.*, 2002), realizadas duas vezes semanais (com intervalo mínimo de 48 horas entre as sessões), durante 6 semanas (12 sessões). A primeira sessão de treinamento foi iniciada no membro dominante, com alternância dos membros a partir da segunda sessão de treinamento.

2.5 Eletromiografia de superfície (EMGs)

Para o registro do sinal elétrico dos músculos vasto medial oblíquo (VMO), vasto lateral longo (VLL), reto femoral (RF), semitendinoso (ST) e bíceps femoral (BF) (AAGAARD *et al.*, 2002; NAKAJIMA; KAWAMURA; TAKEDA, 2003; SHIELDS *et al.*, 2005; WILLIAMS *et al.*, 2004), foi utilizado um eletromiógrafo (modelo 800C, EMG System do Brasil) com as seguintes características técnicas:

As medidas para colocação dos eletrodos foram feitas com os sujeitos em posição ortostática e o membro inferior a ser avaliado com o pé sobre um apoio e quadril e joelho a 90° de flexão. Para o músculo VMO a 80% da distância entre a Espinha Ilíaca Antero Superior (EIAS) e o espaço articular anterior à borda do ligamento colateral medial (LCM); para o VLL a 2/3 da distância entre a Espinha Ilíaca Antero Superior (EIAS) e o lado lateral da patela; para o RF a 50% da distância entre a Espinha Ilíaca Antero Superior (EIAS) e a borda superior da patela; para o ST a 50% da distância entre a tuberosidade isquiática e o epicôndilo medial da tíbia; e para o BF a 50% da distância entre a tuberosidade isquiática e o epicôndilo lateral da tíbia, conforme a *Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles* (SENIAN, 1999).

Em seguida a pele foi tricotomizada e limpa com álcool a 70% para diminuir a impedância, e os sensores encaixados num suporte emborrachado, previamente construído nas dimensões dos eletrodos, e fixados com esparadrapo e faixas elásticas com velcro, para evitar

deslizamento sobre a pele e ruído do sinal. Os eletrodos foram fixados perpendicularmente ao trajeto das fibras musculares (SENIAN, 1999).

Para análise e processamento do sinal EMG considerou-se os tempos de 5 s, 2 s e 0,5 s para os modos isométrico e excêntrico a 30°/s e 120°/s, respectivamente. O janelamento foi realizado na porção central do sinal EMG (LARSSON *et al.*, 2003), e encontrada a média de 3 contrações, para cada modo e velocidade avaliados.

Em seguida, os sinais foram transformados em linguagem ASCII e analisados em rotina *MatLab* (versão 7.1) para cálculo da *Root Mean Square* (RMS [μV]). As ações estáticas tiveram seus sinais normalizados pela CIVM (FONSECA *et al.*, 2001; SODERBERG; KNUTSON, 2000), enquanto que as dinâmicas pela média dos picos para garantir as comparações entre músculos e entre sujeitos (SODERBERG; KNUTSON, 2000).

O cálculo da razão I/Q da EMG para todos os sujeitos, modos de contração e velocidades avaliados, foi realizado a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Razão I/Q da EMG} = \frac{\text{Média da RMS dos flexores}}{\text{Média da RMS dos extensores}} \times 100$$

2.6 Análise dos dados

Foram realizados procedimentos de estatística descritiva (média e desvio padrão) e inferenciais (teste t pareado, ANOVA *One-Way*, MANOVA e correlação intraclasse/CIC) por meio do *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 13.0. Nos testes de CIC, foi considerada a seguinte classificação: fraca ($r =$ de 0 a 0,5); moderada ($r =$ de 0,51 a 0,75); e forte ($r =$ 0,76 a 1,0). Para todas as situações foi utilizado um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

Nas avaliações dos torques foram analisadas: 1) a média dos picos de torque (MPT); e 2) Razão I/Q convencional = $\frac{\text{MPT dos flexores}}{\text{MPT dos extensores}} \times 100$ para os modos e velocidades avaliadas (ANOVA *One-Way*), no pré e pós-treino (teste t pareado).

Para comparação das médias do RMS normalizado dos sinais eletromiográficos dos músculos analisados (VMO, VLL, RF, ST e BF) entre pré e pós-treino, e entre os modos de contração (isométrico, excêntrico a 30°/s e 120°/s) utilizou-se uma análise multivariada (MANOVA) *two-way*, seguido de um *post hoc de Tukey* para detectar onde as possíveis diferenças aconteceram.

O índice CIC foi utilizado para avaliar as possíveis correlações entre a MPT e RMS dos diversos músculos, para todos os modos e velocidades avaliados (isométrico, excêntrico a 30°/s e 120°/s), tanto no pré quanto no pós-treino.

3. RESULTADOS

3.1 Torque

Na comparação entre as médias dos picos de torque (MPT) dos extensores do joelho, pré e pós-treino, houve diferença em todos os modos avaliados com aumento no modo isométrico (15%), excêntrico a 30°/s (33%) e excêntrico a 120°/s (15%). Não houve diferença na MPT pré e pós-treino para os flexores do joelho (Tabela 1).

No pré-treino, a ANOVA *one-way* mostrou que o torque excêntrico a 30°/s foi maior do que o torque isométrico, tanto para os extensores quanto para os flexores. No pós-treino, a diferença para os extensores, entre o modo isométrico e excêntrico a 30°/s, e entre excêntrico a 30°/s e a 120°/s, foi mais acentuada ($p < 0,01$). No entanto, o torque do grupo flexor, manteve a mesma diferença ($p < 0,05$) observada no pré-treino, entre o modo isométrico e excêntrico a 30°/s (Figura 1).

Inserir Tabela 1

3.1.1 Razão I/Q do Torque

Houve diminuição na razão I/Q, após o treino, em todos os modos e velocidades avaliados (Tabela 2). O maior declínio (20%) ocorreu no modo e na velocidade de treino (excêntrico a 30°/s), seguido do modo excêntrico a 120°/s (13%) e do modo isométrico (10%).

No pré-treino, houve diferença entre os modos isométrico e excêntrico a 120°/s ($p < 0,05$, ANOVA *One Way – post hoc Tukey*). No pós-treino, houve diferença entre os modos isométrico e excêntrico a 30°/s ($p < 0,05$), mas, principalmente, entre os modos excêntricos a 30°/s e 120°/s ($p < 0,01$). Esses resultados mostram que o treino aumentou a diferença na razão I/Q entre os modos de contração.

Inserir Tabela 2

3.2 EMG

Não houve diferença no valor da RMS pré e pós-treino em nenhum dos modos de contração avaliados, tanto para os músculos extensores ($F_{2,113}=0,096$; $p=0,962$), quanto para os flexores ($F_{2,113}=0,283$; $p=0,754$) do joelho. Porém, na comparação entre os modos de contração (isométrico *versus* excêntrico a 30°/s *versus* excêntrico 120°/s), houve diferença nos valores da RMS para os músculos extensores ($F_{6,224}=628,313$; $p<0,001$) e flexores ($F_{4,226}=877,556$; $p<0,001$). Essas diferenças aconteceram entre todos os modos de contração ($p<0,01$; *post hoc* de Tukey), tanto no pré quanto no pós-treino. Porém, a atividade EMG foi maior no modo isométrico, seguido pela contração excêntrica a 120°/s e a 30°/s, tanto para os extensores quanto para os flexores (Tabela 3).

Inserir Tabela 3

3.3 Correlação Intra-Classe (Torque *versus* EMG)

De modo geral, pode-se observar que as correlações entre MPT e RMS foram fracas ($r<0,5$), para extensores e flexores do joelho, tanto no pré quanto no pós-treino, em todos os modos de contração avaliados (Tabela 4). Não houve diferença estatística na comparação dos resultados pré e pós-treino ($p=0,73$).

Inserir Tabela 4

3.4 Razão I/Q da EMG

Na comparação da razão I/Q da EMG, entre flexores e extensores do joelho, não houve diferença entre os valores pré e pós-treino para nenhum dos modos de contração (Tabela 5).

Comparando os valores da razão I/Q da EMG entre os modos de contração, no pré-treino não houve diferença ($p=0,202$) entre eles. No pós-treino, houve diferença entre os modos ($p=0,047$), porém o *post hoc* (Tukey) mostrou apenas uma tendência entre os modos isométrico e excêntrico a 30°/s ($p=0,058$).

4. DISCUSSÃO

4.1 Torque

O aumento do torque identificado no pós-treino dos extensores do joelho, em nosso estudo, corrobora com outros autores que também realizaram trabalhos com treino excêntrico (CARROLL; STEPHAN; CARSON, 2001; KNIGHT; KAMEN, 2001; KRAEMER *et al.*, 2002; LIEBER, 2002; TOMIYA *et al.*, 2004).

O maior ganho de torque no modo e velocidade do treinamento já foi também descrito em estudos anteriores (HIGBIE *et al.*, 1996; SEGER; ARVIDSSON; THORSTENSSON, 1998; KELLIS; BALZPOULOS, 1999). O programa de treino também favoreceu ganho adicional (15%) para os modos isométrico e excêntrico a 120°/s, conforme evidenciado anteriormente (BLAZEVIICH, 2000; COBURN *et al.*, 2006).

Alguns estudos têm mostrado que o remodelamento neural parece ter uma maior contribuição no ganho de força nas 8 primeiras semanas de treino resistido (CLASSEN *et al.*, 1998; CARROLL, STEPHAN; CARSON, 2001; KRAEMER *et al.*, 2002; LIEBER, 2002) do que o aumento da área de secção transversa do músculo (KNIGHT; KAMEN, 2001). Como o programa de treino aplicado neste estudo foi de 6 semanas, provavelmente os ganhos de torque observados sejam, preferencialmente, devidos às adaptações neurais.

4.1.1 Razão I/Q do Torque

Nossos resultados mostram que o programa de treino utilizado promoveu uma diminuição importante na razão I/Q convencional do torque (20%), especialmente na velocidade treinada, onde a taxa dos flexores representou 40% dos extensores. Também, no modo excêntrico a 120°/s (13%) e isométrico (10%), houve diminuição dessa razão, ocasionada pelo significativo aumento no torque extensor com o treino.

Para não atingir patamares considerados dentro da faixa de desestabilização articular (razão I/Q < 40%), o programa de treinamento aplicado no presente estudo foi realizado num curto período de tempo (6 semanas), porém suficiente para identificar uma adaptação sem riscos consideráveis para esta articulação. Essa precaução foi baseada num estudo de LaStayo *et al.* (2003) sobre a contribuição da contração excêntrica para lesão, prevenção, reabilitação e esporte, no qual eles afirmam que, quando excessivamente aplicada, predominantemente num grupo muscular, ela pode levar à instabilidade articular.

4.2 EMG

Segundo Suzuki *et al.* (2002), altos níveis de força estão associados com o aumento da atividade EMG. Assim, mudanças no sinal eletromiográfico são usadas para inferir alterações na atividade neural associada à contração muscular.

Uma possível explicação para as diferenças encontradas na atividade EMG nesse estudo, entre as contrações isométrica e excêntricas (30 e 120°/s) passa pelo entendimento de que em resposta à ação excêntrica, a membrana extracelular aumenta a expressão, síntese e acúmulo de colágeno no músculo, fortalecendo os elementos passivos que também contribuem na geração de força (KJAER, 2004), necessitando portanto, de um menor recrutamento de unidades motoras (UMs) para execução da tarefa, embora seja dependente para sexo, tipo de treino e velocidade do movimento (KELLIS; BALZPOULOS, 1998; AAGAARD *et al.*, 2000).

Por outro lado, durante uma ação concêntrica ou isométrica, onde apenas os elementos contráteis são ativados, a necessidade de uma quantidade de UMs é diretamente proporcional à força gerada, pois não há participação de componentes passivos (GHORI; DONNE; LUCKWILL, 1995; SEGER; ARVIDSSON; THORSTENSSON, 1998; KELLIS; BALZPOULOS, 1999), corroborando, portanto com nossos resultados, onde a maior amplitude RMS foi no modo isométrico, tanto para extensores quanto para flexores.

Outra hipótese para a menor amplitude RMS na contração excêntrica, seria a ocorrência de contínuos desligamentos das pontes cruzadas antes da liberação de ATP (KELLIS; BALZPOULOS, 1999; PROSKE; MORGAN, 2001), requerendo, portanto, mais força durante ações excêntricas com um menor consumo de oxigênio (KELLIS; BALZPOULOS, 1999), além de dano no sistema excitação-contração (PROSKE; MORGAN, 2001).

Como mostrado nos resultados deste estudo, o treino não alterou os valores da EMG, tanto para os extensores quanto para os flexores. Isso vai ao encontro do relato de Kjaer (2004), no qual, em sujeitos destreinados, o exercício excêntrico resulta em alta força gerada, mas num baixo e dessincronizado padrão de atividade EMG. Provavelmente, o perfil da nossa amostra (sujeitos ativos, porém destreinados), a baixa frequência (2 X semana) e o curto período de treino (6 semanas) tenha contribuído para que a amplitude EMG fosse mantida.

Outra possível justificativa para a manutenção da amplitude EMG pós-treino envolve o mecanismo de inibição neural durante atividades excêntricas máximas (KELLIS; BALZPOULOS, 1998). Ele consiste da ativação de vias centrais (descendentes) e

periféricas (OTG, fuso muscular e receptores articulares) visando proteger as estruturas articulares de lesão, quando são produzidas altas forças (KELLIS; BALZPOULOS, 1998; AAGAARD *et al.*, 2000; FOLLAND; WILLIAMS, 2007). A inibição autogênica, associada ao treino de força, também está bem documentada na literatura (WILMORE; COSTILL, 2005).

Similarmente ao nosso estudo, no qual foi observada uma maior atividade EMG no modo isométrico, seguido pelo modo excêntrico a 120 e 30°/s, Kellis e Baltzopoulos (1999) também observaram que a ativação neural (EMG) resultante de testes isocinéticos é dependente do modo de contração e da velocidade angular, mostrando que em maiores velocidades as ações excêntricas estão associadas à maior atividade EMG quando comparadas a velocidades menores. No entanto, Miller e Croce (2002), ao confirmarem que amplitude do EMG é dependente da velocidade do movimento, relataram que com o aumento da velocidade a RMS do sinal EMG diminuiu em todas as velocidades testadas (100, 200, 300 e 400°/s) durante a extensão do joelho.

Na realidade, existem resultados conflitantes a respeito da atividade EMG nos diversos modos de contração. Alguns autores relatam uma menor amplitude do sinal EMG nas ações excêntricas quando comparadas às isométricas ou concêntricas (KOMI *et al.*, 2000; LINNAMO; STROJNIK; KOMI, 2002), enquanto que outros têm mostrado resultados contrários (HIGBIE *et al.*, 1996; ANDERSEN *et al.*, 2005).

No que diz respeito à correlação torque/EMG, nossos resultados mostram que, apesar dos aumentos significativos no torque, em todos os modos e velocidades avaliados, houve uma fraca correlação ($r < 0.5$) entre essas variáveis, similar aos estudos de Rabita; Pérot; Lensen-Corbiel (2000) e McCarthy; Pozniak; Agre (2002) indicando que o nível de recrutamento das UMs não foi alterado com o treino excêntrico, nos modos e velocidades estudados, tanto no pré quanto no pós-treino.

Contrariamente aos nossos resultados, Judge; Moreau; Burke (2003) e Andersen *et al.* (2005), encontraram moderadas ($r = 0.63$; $p < 0.01$) e fortes ($r = 0.77$; $p < 0.01$) correlações torque/EMG, respectivamente, sugerindo que ocorre uma melhora na adaptação neural dos extensores do joelho, após aplicação de um programa de treino resistido. Entretanto, esses estudos utilizaram programas com exercícios isotônicos, concêntricos e excêntricos, com resistência progressiva, num período de 4 e 6 meses, em atletas e ativos saudáveis, respectivamente, diferindo em modo, volume e duração do programa de treino aplicado em nosso estudo.

Os resultados deste estudo mostram que a razão I/Q da EMG não teve o mesmo comportamento da razão I/Q do torque, indicando que não existe uma relação direta entre elas. Embora o teste ANOVA tenha mostrado diferenças entre os modos, houve apenas uma tendência entre os modos isométrico e excêntrico a 30°/s, provavelmente, ocasionada pelo leve aumento dos valores da razão I/Q da EMG no modo excêntrico a 30°/s, no pós-treino.

Dos trabalhos encontrados na literatura, sobre a razão I/Q da EMG, nenhum deles faz uso de programa de treino. Apenas comparam joelhos com e sem deficiência do LCA (DiFABIO *et al.*, 1992), diferentes ângulos de movimento do joelho (KELLIS; KATIS, 2007) e o comportamento de homens e mulheres durante o agachamento unipodal (YOUUDAS *et al.*, 2007).

A dificuldade em se discutir melhor os resultados do presente estudo se deve ao fato da maioria dos estudos utilizar modos de contração, velocidades e programas de treino diferentes do nosso estudo (HIGBIE *et al.*, 1996; KOMI *et al.*, 2000; LINNAMO; STROJNIK; KOMI, 2002; ANDERSEN *et al.*, 2005). O treino isocinético, ao mesmo tempo em que foi um diferencial de nosso estudo com relação aos demais, dificultou a discussão, uma vez que, de modo geral, o dinamômetro isocinético tem sido utilizado nas avaliações, mas não para o treino. A vantagem de utilizá-lo no treinamento é que ele possibilita um maior controle de algumas variáveis (velocidade de contração, ADM, modo de contração, etc.).

Além disso, uma limitação do nosso estudo foi não ter sido feita a avaliação concêntrica, nas mesmas velocidades (30 e 120°/s) da excêntrica, o que favoreceria a discussão de resultados, visto que a maioria dos estudos faz comparação entre os modos concêntrico e excêntrico.

Outro fator que pode ser bastante interessante em futuras investigações será calcular o torque líquido (torque ativo – torque passivo) no dinamômetro isocinético e correlacioná-lo com a atividade EMG na contração excêntrica. Possivelmente, com a adoção desta fórmula, a correlação torque/EMG, neste tipo de contração, seja mais bem representada, uma vez que a contribuição dos elementos passivos do músculo sobre o torque total poderá ser identificada.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitem concluir que: 1) o treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho aumenta o torque extensor em diferentes modos e velocidades de contração, porém não tem efeito sobre a atividade EMG dos músculos

extensores e flexores do joelho; 2) não há correlação entre a MPT e a RMS da EMG dos extensores e flexores do joelho; e 3) as razões I/Q do torque e da EMG se comportam de maneiras diferentes, sugerindo não haver relação direta entre elas.

Portanto, apesar do exercício excêntrico ser a melhor opção para o aumento da força muscular, deve-se ter atenção especial quando utilizá-lo em programas de fortalecimento que enfatizem os extensores do joelho, pois as alterações da razão I/Q podem contribuir para instabilidade articular.

Agradecimentos: À Ana Beatriz (doutoranda – LAFIPE/UFSCar), pela elaboração das rotinas para o processamento dos dados no MatLab, e ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

AAGAARD, P. et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **J Appl Physiol.** v. 93, n. 4, p. 1318–1326, 2002.

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. et al. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. **Am J Sports Med.** v.26, n. 2, p. 231-237, 1998.

AMIRIDIS, I. G. et al. Co-activation and tension-regulating phenomena during isokinetic knee extension in sedentary and highly skilled humans. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol.** v. 73, p. 149–156, 1996.

ANDERSEN, L. L. et al. Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. **Eur J Appl Physiol.** v. 93, p. 511–518, 2005.

BLAZEVICH, A. **Effect of movement pattern and velocity of strength training exercise on training adaptations during concurrent resistance and sprint/jump training.** Lismore, 2000. 229 f. (Doctoral Thesis) - School of Exercise and Sport Management, Southern Cross University, Australia.

CARROLL, T. J.; STEPHAN, R.; CARSON, R. G. Neural adaptations to resistance training: implication for movement control. **Sports Med.** v. 31, n. 12, p. 829-840, 2001.

CLASSEN, J. et al. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. **J Neurophysiol.** v. 79, n. 2, p. 1117-1123, 1998.

CLEBIS, N. K.; NATALI, M. R. M. Lesões musculares provocadas por exercícios excêntricos. **Rev Bras Ciênc Mov.** v. 9, n. 4, p. 47-53, 2001.

COBURN, J. W. et al. Neuromuscular responses to three days of velocity-specific isokinetic training. **J Strength Cond Res.** v. 20, n. 4, p. 892-898, 2006.

COURY, H. J. C. G. et al. Change in knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training for quadriceps in subjects submitted to anterior cruciate ligament reconstruction. **Gait Posture.** v. 24, p. 370-374, 2006.

CROISIER, J. L. et al. Quadriceps and hamstring isokinetic strength and electromyographic activity measured at different ranges of motion: a reproducibility study. **J Electromyogr Kinesiol.** v. 17, n. 4, p. 484-492, 2007.

DAUTY, M.; JOSSE, M. P. Correlations and differences of performance between soccer players, professionals, young players and amateurs, from the 10-meter sprint test and knee isokinetic assessment. **Sci Sports.** v. 19, n. 2, p. 75-79, 2004.

DAVIES, G. J.; ELLENBECKER, T. S. Aplicação da isocinética nos testes e na reabilitação. In: ANDREWS, J. R.; HARRELSON, G.L.; WILK, K. E. **Reabilitação física das lesões desportivas.** 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000; p. 160-188.

Di FABIO, R. P. et al. Effect of knee joint laxity on long-loop postural reflexes: evidence for a human capsular-hamstring reflex. **Experimental Brain Research.** v. 90, n. 1, p. 189-200, 1992.

DUMITRU, D. **Electrodiagnostic medicine.** Philadelphia: Hanley & Belfus, 1995.

DVIR, Z. **Isokinetics:** muscle testing - interpretation and clinical applications. 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 2004.

EARL, J. E.; SCHMITZ, R. J.; ARNOLD, B. L. Activation of the VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. **J Electromyogr Kinesiol.** v. 11, n. 6, p. 381-386, 2001.

FONSECA, S. T. et al. Analysis of an EMG method for quantification of muscular co-contraction. **Rev Bras Ciênc e Mov.** v. 9, n. 3, p. 23-30, 2001.

GHORI, G. M. U.; DONNE, B.; LUCKWILL, R. G. Relationship between torque and EMG activity of a knee extensor muscle during isokinetic concentric and eccentric actions. **J. Electromyogr. Kinesiol.** v. 5, n. 2, p. 109-115, 1995.

GOLDSPINK, G. Molecular mechanisms involved in the determination of muscle fiber mass and phenotype. **Adv Exerc Sports Physiol.** v. 5, n. 2, p. 27-39, 1999.

HAKKINEN, K. et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. **Eur J Appl Physiol.** v. 89, p. 42-52, 2003.

- HAMLIN, M. J.; QUIGLEY, B. M. Quadriceps concentric and eccentric exercise 1: Changes in contractile and electrical activity following eccentric and concentric exercise. **J Sci Med Sport**. v. 4, n. 1, p. 88-103, 2001.
- 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.
- JUDGE, L. W.; MOREAU, C.; BURKE, J. R. Neural adaptations with sport-specific resistance training in highly skilled athletes. **J Sports Sci**. v. 21, p. 419-427, 2003.
- KELLIS, E.; BALZOPOULOS, V. Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise. **Med Sci Sports Exerc**. v. 30, n. 11, p. 1616-1623, 1998.
- _____. The effects of antagonist muscle force on intersegmental loading during isokinetic efforts of the knee extensors. **J Biomech**. v. 32, p. 19-25, 1999.
- KELLIS, E.; KATIS, A. Quantification of functional knee flexor to extensor moment ratio using isokinetics and electromyography. **J Athl Train**. v. 42, n. 4, p. 477-485, 2007.
- KJÆR, 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.
- KLEISSEN, R. F. M. et al. Electromyography in the biomechanical analysis of human movement and its clinical application. **Gait Posture**. v. 8, p. 143-158, 1998.
- KNIGHT, C. A.; KAMEN, G. Adaptations in muscular activation of the knee extensor muscles with strength training in young and older adults. **J Electromyogr Kinesiol**. v. 11, n. 6, p. 405-412, 2001.
- KOMI, P. V. et al. Force and EMG power spectrum during eccentric and concentric actions. **Med Sci Sports Exerc**. v. 32, n. 10, 1757-1762, 2000.
- KONISHI, Y.; KONISHI, H.; FUKUBAYASHI, T. Gamma loop dysfunction in quadriceps contralateral side in patients with ruptured ACL. **Med Sci Sports Exerc**. v. 35, n. 6, p. 897-900, 2003.
- KRAEMER, W. J. et al. Progression models in resistance training for healthy adults. **Med Sci Sports Exerc**. v. 34, p. 364-380, 2002.
- KUMAR, S.; MITAL, A. **Electromyography in ergonomics**. London: Taylor and Francis, 1996.
- KYROLAINEN, H.; KOMI, P. V.; BELLI, A. Mechanical efficiency in athletes during running. **Scand J Med Sci Sports**. v. 5, n. 4, p. 200-208, 1995.
- LARSSON, B. et al. Test-retest reliability of EMG and peak torque during repetitive maximum concentric knee extensions. **J Electromyogr Kinesiol**. v. 13, n. 3, p. 281-287, 2003.

- LaSTAYO, P. C. et al. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. **J Orthop Sports Ther.** v. 33, p. 557-571, 2003.
- LIEBER, R. L. **Skeletal muscle**: structure, function and plasticity – the physiological basis of rehabilitation. 2 ed. Baltimore: Williams & Williams, 2002.
- LINNAMO, V.; STROJNIK, V.; KOMI, P. V. EMG power spectrum and features of the superimposed M-wave during voluntary eccentric and concentric actions at different activation levels. **Eur J Appl Physiol.** v. 86, p. 534–540, 2002.
- LUTTMANN, A. et al. Electromyographical study on surgeons in urology II: determination of muscular fatigue. **Ergonomics.** v. 39, n. 2, p. 298-313, 1996.
- MANSKEA, R. C. et al. Closed kinetic chain (linear) isokinetic testing: relationships to functional testing. **Isokinetics Exerc Sci.** v. 11, p. 171–179, 2003.
- MCCARTHY, J. P.; POZNIAK, M. A.; AGRE, J. C. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. **Med Sci Sports Exerc.** v. 34, n. 3, p. 511-519, 2002.
- MILLER, J. P.; CROCE, R. V. Effect of movement velocity and movement pattern on the root mean square and the median frequency of the electromyographic activity of the quadriceps during isokinetic testing. **Isokinetics Exer Sci.** v. 10, p. 193–198, 2002.
- NAKAJIMA, M.; KAWAMURA, K.; TAKEDA, I. Electromyographic analysis of a modified maneuver for quadriceps femoris muscle setting with co-contraction of the hamstrings. **J Orthop Res.** v. 21, n. 3, p. 559–564, 2003.
- PINCIVERO, D. M. et al. Knee extensor torque and quadriceps femoris EMG during perceptually-guided isometric contractions. **J Electromyogr Kinesiol.** v. 13, p. 159–167, 2003.
- PINCIVERO, D. M. et al. Angle- and gender-specific quadriceps femoris muscle recruitment and knee extensor torque. **J Biomech.** v. 37, p. 1689–1697, 2004.
- PROSKE, U.; MORGAN, D. L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. **J Physiol.** v. 573, n. 2, p. 333-345, 2001.
- RABITA, G.; PÉROT, C.; LENSEL-CORBEIL, G. Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. **Eur J Appl Physiol.** v. 83, p. 531-538, 2000.
- ROSENE, J. M.; FORGARTY T. D.; MAHAFFEY, B. L. Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. **J Athl Train.** v. 36, n. 4, p. 378-383, 2001.
- SCHMITZ, R. J.; WESTWOOD, K. C. Knee extensor electromyographic activity-to-work ratio is greater with isotonic than isokinetic contractions. **J Athl Train.** v. 36, n. 4, p. 384-387, 2001.

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.** v. 79, p. 49-57, 1998.

SEGER, J. Y.; THORSTENSSON, A. Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. **Int J Sports Med.** v. 26, n. 1, p. 45-52, 2005.

SENIAM: **European recommendations for surface electromyography.** Roessingh Research and Development, Enschede, The Netherlands, 1999.

SHIELDS, R. K. et al. Neuromuscular control of the knee during a resisted single-limb squat exercise. **Am J Sports Med.** v. 33, n. 10, p. 1520-1526, 2005.

SODERBERG, G. L.; KNUTSON, L. M. A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. **Phys Ther.** v. 80, n. 5, p. 485-498, 2000.

STEGEMAN, D. F. et al. Surface EMG models: properties and applications. **J Electromyogr Kinesiol.** v. 10, n. 5, p. 313-326, 2000.

SUZUKI, H. et al. Relationships between surface-detected EMG signals and motor unit activation. **Med Sci Sports Exerc.** v. 34, n. 9, p. 1509–1517, 2002.

TOMIYA, A. et al. Myofibers Express IL-6 after eccentric exercise. **Am J Sports Med.**; v. 32, n. 2, p. 503-508, 2004.

TOURNY-CHOLLET, C.; LEROY, D. Conventional vs. dynamic hamstrings-quadriceps strength ratios: a comparison between players and sedentary subjects. **Isokinetics Exerc Sci.** v. 10, p. 183-192, 2002.

URABE, Y. et al. Electromyographic analysis of the knee during jump landing in male and female athletes. **Knee.** v. 12, n. 2, p. 129-134, 2005.

Von PORAT, A. et al. Knee kinematics and kinetics in former soccer players with a 16-year-old ACL injury – the effects of twelve weeks of knee-specific training. **BMC Musculoskeletal Disorders.** v. 8, n. 35, p. 1-10, 2007.

WILK, K. E.; ARRIGO, C. A.; ANDREWS, J. R. Standardized isokinetic testing protocol for the throwing shoulder: the throwers series. **Isokinetics Exerc Sci.** v. 1, p. 63-71, 1991.

WILLIAMS, G. N. et al. Altered quadriceps control in people with anterior cruciate ligament deficiency. **Med. Sci. Sports Exerc.** v. 36, n. 7, p. 1089-1097, 2004.

WILMORE, J. H.; COSTILL, A. L. **Fisiologia do esporte.** 2 ed. Barueri: Manole, 2001.

WOJTYS, E. M.; ASHTON-MILLER, J. A.; HUSTON, L. J. A gender-related difference in the contribution of the knee musculature to sagittal-plane shear stiffness in subjects with similar knee laxity. **J Bone Joint Surg.** v. 84(A), n. 1, p. 10-16, 2002.

YOUODAS, J. W. et al. Comparison of hamstring and quadriceps femoris electromyographic activity between men and women during a single-limb squat on both a stable and labile surface. **J Strength Cond Res.** v. 21, n. 1, p. 105-111, 2007.

Tabela 1 – Média do pico de torque extensor e flexores, pré e pós-treino excêntrico dos extensores do joelho, normalizada pelo peso corporal

Modos de contração	Extensores (Nm)			Flexores (Nm)		
	Pré-treino	Pós-treino	Teste t pareado	Pré-treino	Pós-treino	Teste t pareado
Isométrico	324,0 ± 55,6	83,4 ± 54,3	0,01	160,1 ± 38,1	168,8 ± 40,4	0,07
Excêntrico 30°/s	387,3 ± 78,0*	502,0 ± 55,8**	0,01	92,5 ± 37,9*	200,5 ± 32,9*	0,13
Excêntrico 120°/s	344,0 ± 67,6	406,6 ± 75,4	0,01	186,2 ± 37,3	188,6 ± 37,9	0,67

ANOVA *One-Way*

* = p<0,05, comparado à contração isométrica (pré e pós-treino);

** = p<0,01, comparado à contração isométrica e excêntrica a 120°/s (pós-treino).

Tabela 2 – Razão Isquiotibiais/Quadríceps do torque normalizada pelo peso corporal pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho

Modos de contração	Razão I/Q (%)			
	Pré-treino	Pós-treino	Teste t pareado	Diferença (%)
Isométrico	49,8 ± 8,3	45,1 ± 7,8	<0,01	10
Excêntrico 30°/s	50,4 ± 7,5	40,3 ± 7,0 ◇	<0,01	20
Excêntrico 120°/s	54,8 ± 10,3*	47,7 ± 12,3	<0,01	13

ANOVA *One-Way*

* = p<0,05, comparado à razão I/Q isométrica (pré e pós-treino);

◇ = p<0,01, comparado às razões I/Q isométrica e excêntrica a 120°/s (pós-treino);

Tabela 3 – *Root Mean Square* (RMS) normalizada da EMG de superfície dos músculos extensores e flexores do joelho pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho

Músculos/Modos de contração	Pré-treino	Pós-treino
Extensores		
<i>Isométrico</i>		
VMO	1,33 ± 0,08	1,31 ± 0,06
VLL	1,33 ± 0,07	1,31 ± 0,06
RF	1,29 ± 0,03	1,38 ± 0,03
<i>Excêntrico a 30°/s</i>		
VMO	0,20 ± 0,04*	0,21 ± 0,04*
VLL	0,19 ± 0,03*	0,21 ± 0,03*
RF	0,21 ± 0,03*	0,22 ± 0,03*
<i>Excêntrico a 120°/s</i>		
VMO	0,26 ± 0,03*◇	0,27 ± 0,04*◇
VLL	0,25 ± 0,03*◇	0,27 ± 0,03*◇
RF	0,26 ± 0,03*◇	0,28 ± 0,03*◇
Flexores		
<i>Isométrico</i>		
ST	1,27 ± 0,03	1,26 ± 0,03
BF	1,32 ± 0,05	1,30 ± 0,04
<i>Excêntrico a 30°/s</i>		
ST	0,23 ± 0,04*	0,25 ± 0,03*
BF	0,19 ± 0,03*	0,21 ± 0,03*
<i>Excêntrico a 120°/s</i>		
ST	0,28 ± 0,05*◇	0,29 ± 0,04*◇
BF	0,24 ± 0,04*◇	0,25 ± 0,04*◇

* = p<0,01 comparado ao modo isométrico; ◇ = p<0,05, comparado ao modo excêntrico a 30°/s.

Tabela 4 – Correlação entre a média do pico de torque e EMG de superfície dos extensores e flexores do joelho, pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores do joelho

Modos de contração	Pré-treino (r)		Pós-treino (r)	
<i>Extensores</i>				
MPT_ versus _EMG_Isométrico		0,01		-0,13
MPT_ versus _EMG_Excêntrico a 30°/s		-0,13		0,13
MPT_ versus _EMG_Excêntrico a 120°/s		0,26		0,10
<i>Flexores</i>				
MPT_ versus _EMG_Isométrico		0,11		0,08
MPT_ versus _EMG_Excêntrico a 30°/s		0,23		-0,38
MPT_ versus _EMG_Excêntrico a 120°/s	V	-0,16		-0,09

r = índice de correlação.

Tabela 5 – Comparação da razão I/Q da EMG de superfície pré e pós-treino excêntrico em cada modo de contração

Modos de contração	Razão I/Q da EMG (%)		
	Pré-treino	Pós-treino	Teste t (pareado)
Isométrico	0,98 ± 0,04	0,98 ± 0,04	0,741
Excêntrico a 30°/s	1,06 ± 0,18	1,09 ± 0,18	0,634
Excêntrico a 120°/s	1,00 ± 0,14	1,00 ± 0,15	0,865

MANUSCRITO IV

**ANÁLISE DA MARCHA: EFEITOS DO TREINO ISOCINÉTICO EXCÊNTRICO SOBRE
AS VARIÁVEIS CINEMÁTICAS EM SUJEITOS COM RECONSTRUÇÃO DO LCA**

(em elaboração)

1. MATERIAL E MÉTODOS

1.1 Amostra

Inicialmente, foram selecionados para o grupo com reconstrução do LCA 40 sujeitos do sexo masculino, com reconstrução unilateral que freqüentaram um programa de reabilitação pós-operatório, por pelo menos 6 meses. Dezesesseis 16 sujeitos concluíram o estudo ($30,6 \pm 9,3$ anos; $78,1 \pm 12,1$ kg; $1,75 \pm 0,1$ m; IMC de $25,5 \pm 3,0$ kg/m²) e quatorze sujeitos ($29,3 \pm 8,1$ anos; $81,8 \pm 11,6$ kg; $1,76 \pm 0,07$ m; IMC de $26,7 \pm 3,4$ kg/m²) compuseram o grupo controle. Esses sujeitos tiveram alta clínica do tratamento fisioterapêutico e disponibilidade em participar do estudo. Porém, 24 deles foram excluídos por motivos diversos tais como: nova lesão, derrame articular, tendinite e abandono do programa de treino.

O grupo controle foi formado por sujeitos que não apresentaram alterações, traumas ou doença nos membros inferiores que acometesse o padrão normal de marcha. Foi pareado com o grupo LCA, pela estatura ($r = 0,87$) e pelo índice de massa corporal ($r = 0,90$), para permitir as comparações das variáveis temporais da marcha.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da instituição e os sujeitos de ambos os grupos assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde.

1.2 Instrumentação

Na avaliação do torque e treino excêntrico para o fortalecimento muscular foi usado o dinamômetro isocinético *Biodex Multi-Joint System 3* (*Biodex Biomedical Systems, Inc., Shirley, NY*). Para a avaliação da marcha foi utilizado o equipamento *Optotrak Certus 3020* (*Northern Digital Inc., Waterloo, Canadá*) e uma esteira ergométrica (*Advanced 2, Athletic Ind., Brasil*).

1.3 Avaliação do torque

A avaliação do torque extensor e flexor do joelho iniciou, sempre, pelo membro não acometido (MNAcom) seguida do membro acometido (MAcom), na seguinte ordem: 1) isométrica; 2) concêntrica a 30 e 120°/s; e 3) excêntrica a 30 e 120°/s, conforme descrito anteriormente (Ghori *et al.*, 1995; Keays *et al.*, 2001; Dvir, 2004).

Antes dos testes os sujeitos realizaram 5 min de aquecimento, em bicicleta ergométrica (75W), na velocidade de 20 km/h (Earl *et al.*, 2001; Schmitz e Westwood, 2001;

Linnamo *et al.*, 2002), seguida de uma série de alongamentos (30 s de alongamento, e 30 s de repouso) para os flexores e extensores do joelho e flexores plantares, em ambos os membros (Coury *et al.*, 2006).

Para medida do torque isométrico máximo, o braço do dinamômetro foi fixado na posição de 60°, para os extensores, e de 30° para os flexores (Murray *et al.*, 1980; Davies e Ellenbecker, 2000). O teste consistiu de uma série de 3 contrações isométricas voluntárias máximas (CIVM), cada uma mantida por 5 s, com intervalo de 1 min entre elas (Wilk *et al.*, 1991; Judge *et al.*, 2003), sendo registrada a média dos 3 picos de torque (PT) obtidos, para cada sujeito (Byrne *et al.*, 2001; Clebis e Natali, 2001; Pincivero *et al.*, 2004; Seger e Thorstensson, 2005).

Os testes concêntricos (30°/s e 120°/s) e excêntricos (30°/s e 120°/s) constaram de uma série de 5 contrações voluntárias máximas (CVM), consecutivas, com repouso de 3 min. entre os testes (Keays *et al.*, 2001; Dvir, 2004; Coury, 2006) numa amplitude de movimento articular (ADM) de 70° (Higbie *et al.*, 1996; Coury *et al.*, 2006). Ao final de cada série, foram calculadas as médias dos picos de torque (MPT) das 5 contrações, para os extensores e flexores do joelho em cada modo e velocidade testados.

Antes de cada teste foram feitas familiarizações dos sujeitos no equipamento constando de 3 contrações submáximas dos extensores e flexores, para cada modo e velocidade, seguida de 1 minuto de repouso (Snow e Blacklin, 1992; Croisier *et al.*, 2007).

Para efeitos de comparação entre os sujeitos, os valores dos torques nas avaliações pré e pós-treino foram normalizados pelo peso corporal de cada um dos sujeitos.

1.4 Análise da marcha

Inicialmente, os sujeitos foram instruídos a ficar em pé, com roupa de banho (sunga ou *short*) para facilitar a identificação dos pontos anatômicos. A seguir foi realizada a preparação da pele (tricotomia e limpeza com álcool a 70%) para colocação e visualização das marcas.

Os marcadores ativos (Figura 1A) foram fixados (fita adesiva e *micropore*) em 9 pontos anatômicos do membro inferior (Figura 1B), na seguinte ordem: a) no plano sagital (1 - cabeça do 5° metatarsiano; 2 - maléolo lateral; 3 - cabeça da fíbula; 4 - epicôndilo lateral do fêmur; 5 - trocânter maior do fêmur); b) no plano frontal (6 - ponto intermaleolar; 7 - tuberosidade anterior da tibia – TAT; 8 – 1/3 inferior da coxa – medida da espinha íliaca ântero-superior/EIAS à borda supra patelar; e 9 - EIAS) conforme metodologia estabelecida por Bulgheroni *et al.* (1997), Chiba (2005) e Knoll; Kocsis; Kiss (2004).

Os marcadores foram conectados a dois suportes de conexão (*stroberes*) localizados na face posterior da cintura do sujeito. O suporte n° 1 recebeu 5 marcadores e o suporte n° 2, os 4 marcadores restantes. Os dois suportes estavam conectados a um amplificador fazendo interface com o *software* do sistema.

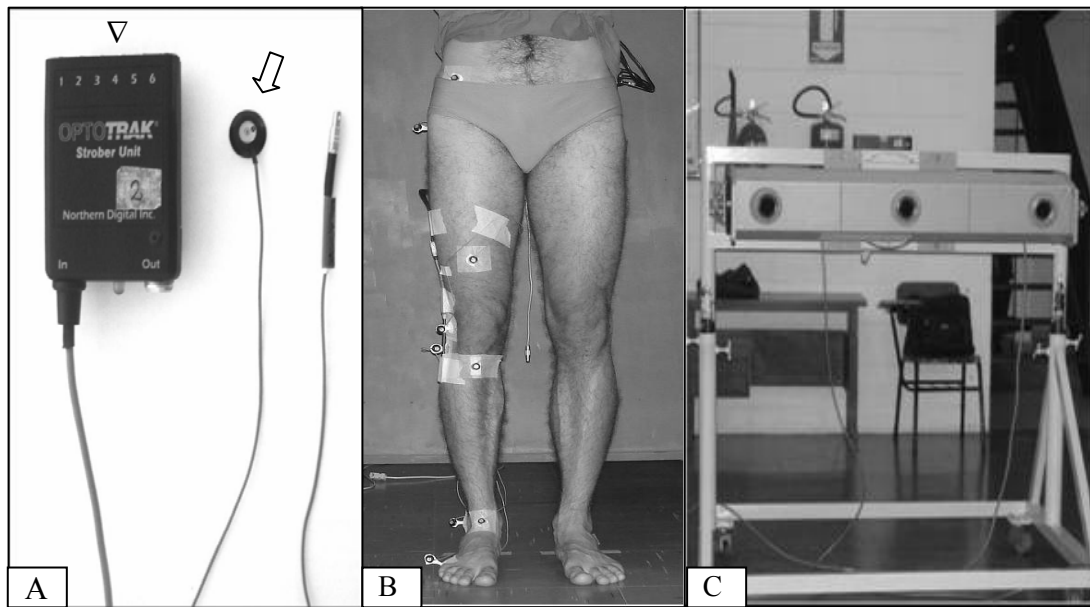


Figura 1 – Sistema optoeletrônico (Optotrak): A = marcador ativo (seta) e suporte de conexão (ponta de seta); B = posicionamento dos marcadores; C = conjunto de câmeras (C)

O sistema de câmeras (*Optotrak*) foi posicionado a 3,2 m de distância dos sujeitos, numa altura de 1,15 m, mantendo uma acurácia $<0,3$ mm para os eixos X e Y, e $<0,45$ mm para o eixo Z (www.ndigital.com).

Os sujeitos foram orientados a subir na esteira ergométrica para a checagem dos marcadores, captura de sinais na posição estática (32 s) e início do processo de familiarização da marcha por 6 minutos (Matsas *et al.*, 2000; Knoll *et al.*, 2004), com a esteira nivelada, numa velocidade pré-estabelecida de 5 km/h, considerada natural ou confortável (Van Hedel *et al.*, 2006).

Após a familiarização foram feitos 2 registros consecutivos, com duração de 70 s cada, numa frequência de 100 Hz, sem que o sujeito percebesse o instante que iniciavam as coletas, para não alterar seu padrão de marcha. Em seguida, os registros de cada tentativa eram transformados em linguagem ASCII, renomeados e processados em rotinas elaboradas no software MatLab 6.5 (*MathWorks Inc., Natick, MA, EUA*).

Foram considerados janelamentos de 30 s (desprezando primeiro e último segundo) no registro da posição estática e de 60 s (desprezando os 5 s iniciais e finais) durante a marcha. O ciclo da passada foi determinado a partir da velocidade vertical do marcador posicionado no 5º metatarsiano. Para o cálculo das variáveis espaço-temporais (ciclos/min; duração do ciclo; comprimento da passada; velocidade, cadência, duração da fase de apoio, duração da fase de balanço) foi utilizado um filtro *Butterworth* de 4ª ordem, numa frequência de corte de 10 Hz.

1.5 Treinamento isocinético

O programa de treino isocinético consistiu de 3 séries de 10 CEVM dos flexores e extensores do joelho (Higbie *et al.*, 1996; Dvir, 2004; Coury *et al.*, 2006), a 30º/s (Croisier *et al.*, 2007), com 3 minutos de repouso entre as séries (Higbie *et al.*, 1996; Kraemer *et al.*, 2002; Coury *et al.*, 2006), realizadas duas vezes semanais (com intervalo mínimo de 48 horas entre as sessões), durante 12 semanas (24 sessões).

1.6 Análise dos dados

Foram realizados procedimentos de estatística descritiva (média e desvio padrão) e inferenciais (teste t pareado, ANOVA One-Way e MANOVA *two-way*) por meio do *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 13.0, onde para todas as situações foi utilizado um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Na avaliação do torque foi considerada a média dos picos de torque (MPT) entre: modos e velocidades de contração (ANOVA One-Way) e pré e pós-treino (teste t pareado).

Para comparação dos valores das variáveis espaço-temporais da marcha utilizou-se uma análise multivariada (MANOVA *two-way*).

2. RESULTADOS

2.1 Torque

Conforme Tabela 1, na comparação das médias dos picos de torque (MPT) dos extensores do joelho, entre o membro acometido (MAcom) e não acometido (MNAcom), no pré-treino, pode-se observar que o MAcom teve um torque de 14, 19, 14 e 10% mais baixo que o MNAcom para os modos: isométrico ($p < 0,01$), concêntrico a 30º/s ($p < 0,01$),

concêntrico a 120°/s ($p<0,05$) e excêntrico a 30°/s ($p<0,01$), sem nenhuma diferença entre os flexores.

Nas avaliações pós-treino, apesar de terem diminuído as diferenças percentuais entre os membros, para os extensores, elas ainda foram estatisticamente significativas no modo isométrico ($p<0,05$), concêntrico a 30 e 120°/s ($p<0,01$) e excêntrico a 120°/s ($p<0,01$). Quanto aos flexores, houve diferenças no modo excêntrico a 30 e 120°/s ($p<0,01$).

Tabela 1 – Média dos Picos de Torque (MPT) pré e pós-treino isocinético excêntrico dos extensores e flexores do joelho dos membros acometido e não acometido

Modos de contração	Pré-treino				Pós-treino			
	Acometido	Não Acometido	Dif. (%)	Teste t	Acometido	Não Acometido	Dif. (%)	Teste t
<i>Extensores</i>								
Isométrico	229,7±60,6	268,4±66,2	-14	<0,01	253,4±52,0	278,7±64,6	-9	<0,05
Conc. 30°/s	192,6±52,2	238,5±47,5	-19	<0,01	212,2±46,7	238,4±48,7	-11	<0,01
Conc. 120°/s	149,6±39,2	173,4±44,2	-14	<0,05	161,3±30,5	186,3±35,1	-13	<0,01
Exc. 30°/s	253,0±66,0	281,9±74,2	-10	<0,01	313,4±58,0	324,8±70,1	-4	0,42
Exc. 120°/s	234,8±79,8	253,2±93,3	-7	0,22	263,4±59,4	311,4±72,4	-15	<0,01
<i>Flexores</i>								
Isométrico	140,6±30,3	146,2±30,7	-4	0,39	157,4±30,3	149,4±32,9	5	0,11
Conc. 30°/s	121,3±26,7	128,3±25,1	-5	0,14	134,2±23,7	125,9±25,5	6	0,46
Conc. 120°/s	107,6±31,7	101,6±20,7	5	0,40	111,4±21,6	106,1±20,0	5	0,16
Exc. 30°/s	133,6±26,2	137,9±32,7	-3	0,33	175,9±34,8	151,3±34,0	14	<0,01
Exc. 120°/s	139,9±26,5	138,1±30,9	1	0,68	172,8±30,4	156,1±29,7	-10	<0,01

Na comparação das MPT dos extensores, pré e pós-treino (Tabela 2) houve aumento de 9, 9, 7 e 19% para o MAcom nos modos: isométrico ($p<0,05$), concêntrico a 30% ($p<0,01$) e 120°/s ($p<0,05$) e excêntrico a 30°/s ($p<0,01$), respectivamente. No MNacom, também houve aumento de 13 e 19% no modo excêntrico a 30 e 120°/s ($p<0,01$).

Nos flexores, os aumentos foram de 11, 10, 24 e 19% no MAcom para os modos: isométrico, concêntrico a 30°/s e excêntrico a 30 e 120°/s ($p<0,01$), respectivamente. No MNacom também houve aumentos de 9 e 11% no modo excêntrico a 30% ($p<0,05$) e 120°/s ($p<0,01$).

Tabela 2 – Média dos Picos de Torque (MPT) antes e após 12 semanas de treino isocinético excêntrico dos extensores e flexores do joelho

Modos de contração	Membro Acometido				Membro Não Acometido			
	Pré-treino	Pós-treino	Dif. (%)	Teste t	Pré-treino	Pós-treino	Dif. (%)	Teste t
<i>Extensores</i>								
Isométrico	229,7±60,6	253,4±52,0	-9	<0,05	268,4±66,2	278,7±64,6	-4	0,09
Conc. 30°/s	192,6±52,2	212,2±46,7	-9	<0,01	238,4±48,7	238,5±47,5	0	0,99
Conc. 120°/s	149,6±39,2	161,3±30,5	-7	<0,05	173,4±44,2	186,3±35,1	-6	0,14
Exc. 30°/s	253,0±66,0	313,4±58,0	-19	<0,01	281,9±74,2	324,8±70,1	-13	<0,01
Exc. 120°/s	234,8±79,8	263,4±59,4	-11	0,07	253,2±93,3	311,4±72,4	-19	<0,01
<i>Flexores</i>								
Isométrico	140,6±30,3	157,4±30,3	-11	<0,01	146,2±31,1	149,4±32,9	-2	0,56
Conc. 30°/s	121,3±26,7	134,2±23,7	-10	<0,01	128,3±25,1	125,9±25,5	2	0,55
Conc. 120°/s	107,6±31,7	111,4±21,6	-3	0,64	101,6±20,7	106,1±20,0	-4	0,13
Exc. 30°/s	133,6±26,2	175,9±34,8	-24	<0,01	137,9±32,7	151,3±34,0	-9	<0,05
Exc. 120°/s	139,9±26,5	172,8±30,4	-19	<0,01	138,6±30,3	156,1±29,7	-11	<0,01

Quando comparados os valores das MPT dos extensores, entre o pós-treino do MAcom e o pré-treino do MNACom, não houve diferença para os modos isométrico, concêntrico a 120°/s e excêntrico a 120°/s. No entanto, no modo concêntrico a 30°/s os valores pós-treino do MAcom foram 11% menores ($p<0,05$) comparados ao pré-treino do MNACom e no modo excêntrico a 30°/s, os valores da MPT no pós-treino do MAcom foram 10% maiores ($p<0,05$) que os valores pré-treino do NMAcom.

Quanto aos flexores, as diferenças encontradas entre o pós-treino do MAcom e o pré-treino do MNACom foram para os modos: isométrico ($p<0,05$), concêntrico a 120°/s ($p<0,05$) e excêntrico a 30°/s ($p<0,01$) e 120°/s ($p<0,01$), conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação dos valores das Médias dos Picos de Torque (MPT) entre MAcom (pré-treino) versus MNACom (pós-treino) de extensores e flexores do joelho

Modos de contração	Extensores				Flexores			
	MAcom Pós-treino	MNACom Pré-treino	Diferença (%)	Teste t pareado	MAcom Pós-treino	MNACom Pré-treino	Diferença (%)	Teste t pareado
Isométrico	253,4±52,0	268,4±66,2	6	0,21	157,4±30,3	146,2±31,1	7	<0,05
Conc. 30°/s	212,2±46,7	238,4±48,7	11	<0,05	134,2±23,7	128,3±25,1	4	<0,25
Conc. 120°/s	161,3±30,5	173,4±44,2	7	0,23	111,4±21,6	101,6±20,7	9	<0,05
Exc. 30°/s	313,4±58,0	281,9±74,2	10	<0,05	175,9±34,8	137,9±32,7	21	<0,01
Exc. 120°/s	263,4±59,4	253,2±93,3	4	0,55	172,8±30,4	138,6±30,3	20	<0,01

2.2 Marcha

2.2.1 Variáveis espaço-temporais

A análise multivariada (MANOVA *two-way*) não mostrou diferença entre as avaliações (Wilks' Lambda=0,657; $F_{5,11}=1,149$; $p=0,392$), membros (Wilks' Lambda=0,908; $F_{5,11}=0,222$; $p=0,945$) ou na interação avaliação/membro (Wilks' Lambda=0,548; $F_{5,11}=1,815$; $p=0,190$) quando comparados os valores das variáveis descritivas (nº de ciclos, duração, comprimento, velocidade e cadência) da marcha, no grupo LCA.

Na comparação intergrupos (LCA *versus* Controle), pré-treino, apesar da MANOVA não mostrar diferença entre grupos (Wilks' Lambda=0,816; $F_{5,24}=1,079$; $p=0,397$) e membros (Wilks' Lambda=0,829; $F_{5,24}=0,992$; $p=0,443$), os testes univariados indicaram diferenças, na comparação intermembros, para duração ($p=0,045$) e comprimento da passada ($p=0,050$). No pós-treino, houve diferença (Wilks' Lambda=0,647; $F_{5,24}=5,358$; $p=0,002$) na interação membro/grupo para a duração do ciclo ($F_{1,28}=8,053$; $p=0,008$), comprimento da passada ($F_{1,28}=5,495$; $p=0,026$) e cadência ($F_{1,28}=4,492$; $p=0,043$).

Na análise da duração do apoio no grupo LCA, quando comparados os valores pré e pós-treino, o teste ANOVA (*two way*) não mostrou diferença entre as avaliações ($p=0,277$) ou entre os membros ($p=0,664$). Também, não houve diferença na comparação intergrupos (LCA *versus* Controle), tanto no pré ($p=0,849$) quanto no pós-treino ($p=0,983$).

2.2.2 Ângulos do joelho

A MANOVA (*two way*) para o grupo LCA, não mostrou diferença entre os valores pré e pós-treino, tanto para o fator avaliação (Wilks' Lambda=0,128; $F_{4,12}=2,274$; $p=0,222$) quanto para membros (Wilks' Lambda=0,300; $F_{4,12}=0,777$; $p=0,671$).

Na comparação entre o grupo LCA e Controle, no pré-treino, apesar da MANOVA (*two way*) ter mostrado diferença (Wilks' Lambda=0,279; $F_{12,17}=3,670$; $p=0,007$), isto não se refletiu nos testes univariados. Porém, os efeitos entre sujeitos mostraram diferenças para o fator grupo nas variáveis: flexão máxima no apoio ($p=0,0001$), flexão mínima no apoio ($p=0,005$), flexão máxima no balanço ($p=0,003$), flexão mínima no balanço ($p=0,005$), flexão no toque do calcanhar ($p=0,019$) e flexão no pré-balanço ($p=0,0001$).

No pós-treino, apesar de ter havido diferença entre grupos (Wilks' Lambda=0,275; $F_{12,17}=3,732$; $p=0,007$) e membros (Wilks' Lambda=0,256;

F_{12,17}=4,113; p=0,004), novamente, isto não se refletiu nos testes univariados. No entanto, no efeito entre sujeitos foram observadas diferenças no fator grupo para as variáveis: flexão máxima no apoio (p=0,0001), flexão mínima no apoio (p=0,005), flexão máxima no balanço (p=0,001), flexão mínima no balanço (p=0,003), flexão no toque do calcanhar (p=0,014) e flexão no pré-balanço (p=0,0001).

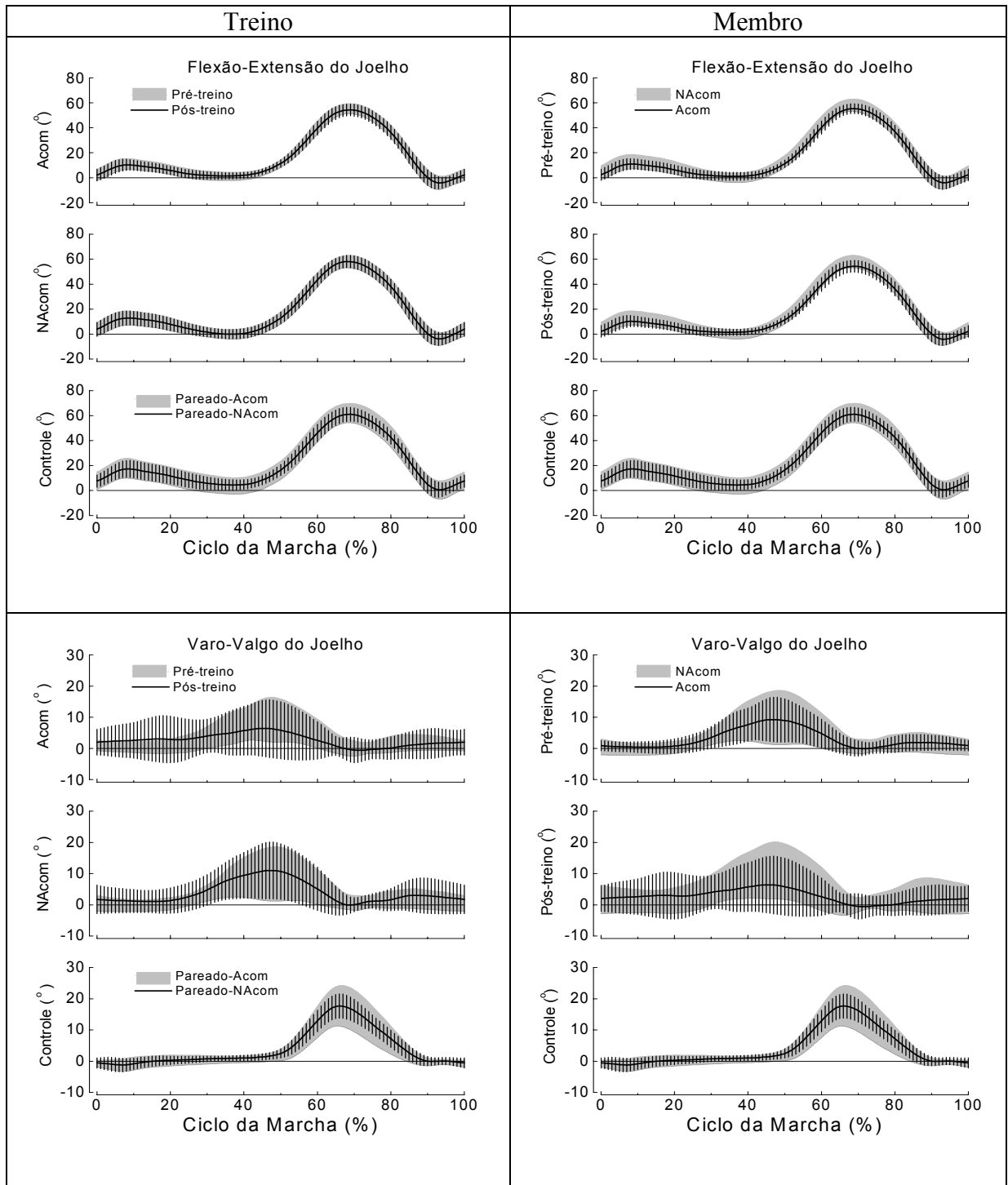


Figura 2 – ADM da flexo-extensão e do varo-valgo do joelho durante o ciclo da marcha

A ANOVA (*two way*) não mostrou diferença (Wilks' Lambda=0,707; $F_{2,14}=2,896$; $p=0,089$) na amplitude de movimento (ADM) da flexo-extensão e varo-valgo do joelho no GRUPO LCA, entre os valores pré e pós-treino. No entanto, os testes univariados indicaram diferença inter-membros para flexão ($p=0,025$) e uma tendência para interação membro/grupo ($p=0,053$)

Os valores da ADM da flexo-extensão e varo-valgo do joelho, entre os grupos e entre membros não foram diferentes, tanto no pré (Wilks'Lambda=0,998; $F_{2,27}=0,031$; $p=0,970$ e Wilks'Lambda=0,954; $F_{2,27}=0,655$; $p=0,528$), quanto no pós-treino (Wilks'Lambda=0,987; $F_{2,27}=0,182$; $p=0,835$ e Wilks'Lambda=0,949; $F_{2,27}=0,728$; $p=0,492$), respectivamente.

3. CONCLUSÕES

1) Quanto ao torque do joelho:

De modo geral, o treino isocinético excêntrico promoveu ganho de torque, com o membro acometido alcançando valores pré-treino do membro não acometido, para o torque extensor do joelho, e ultrapassado estes valores para o torque flexor. No entanto, no pós-treino, persistiu o déficit de força no membro acometido, comparado ao membro não acometido, provavelmente devido ao fortalecimento concomitante do membro não acometido com o treino.

2) Quanto à marcha:

O treino não modificou o padrão da marcha entre as avaliações, membros e grupos, porém teve efeito sobre algumas variáveis angulares do joelho, mesmo com marcha em velocidade controlada. Assim, os resultados desse estudo sugerem que o treino isocinético excêntrico máximo dos extensores do joelho pode ser seguramente usado na fase tardia da reabilitação do LCA para o fortalecimento muscular.

APÊNDICE A

Peak Torque and Knee Kinematics During Gait After Eccentric Isokinetic Training of
Quadriceps in Healthy Subjects

(Manuscrito submetido à Revista Brasileira de Fisioterapia)

**PEAK TORQUE AND KNEE KINEMATICS DURING GAIT AFTER ECCENTRIC
ISOKINETIC TRAINING OF QUADRICEPS IN HEALTHY SUBJECTS**

POLETTO, PATRÍCIA RIOS¹; SANTOS, HELEODÓRIO HONORATO¹; SALVINI,
TANIA FÁTIMA¹; COURY, HELENICE JANE COTE GIL¹; HANSSON, GERT-ANKE²

¹ Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, CP 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

² Department of Occupational and Environmental Medicine, University Hospital, SE-221 85 Lund, Sweden.

Corresponding author: Heleodório Honorato dos Santos

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Fisioterapia.

Rodovia Washington Luis, Km 235, CP 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brazil.

Phone: + 55 16 3351-8345

Fax: + 55 16 33612081

E-mail: dorioufscar@click21.com.br

Running title: Kinematics gait after eccentric isokinetic training

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of isokinetic eccentric training on the knee range of motion (ROM) in healthy subjects. *Methods:* Knee extensor and flexor isokinetic peak torques and ROM of flexion/extension and valgus/varus movements during gait of 18 normal healthy men (21.7 ± 2.2 years; 1.73 ± 0.10 m; 68.7 ± 9.4 kg; body mass index/BMI: 22.6 ± 2.0 kg/m²) was analyzed, before and after 6 weeks of bilateral eccentric isokinetic training of the knee extensors at 30°/s. *Results:* The knee extensor torque increased in both right (from 229 ± 54 Nm to 304 ± 53 Nm; $p < 0.01$) and left (from 228 ± 59 Nm to 311 ± 63 Nm; $p < 0.01$) limbs, without difference in the torque gain between them. The knee flexor torque increased (from 114 ± 30 Nm to 123 ± 22 Nm; $p < 0.05$), but the hamstrings/quadriceps (H/Q) ratio declined (from 0.50 ± 0.08 to 0.39 ± 0.07 ; $p < 0.01$) after training. There were no differences for flexion/extension and valgus/varus movements after training, except for a small shift (4°) towards valgus for the left knee. *Conclusions:* The isokinetic eccentric training of knee extensors increased the torque of the knee extensor and declined the H/Q ratio, however the effect on the gait pattern seems negligible in healthy subjects. An associated training of knee flexors, complementary to the training of the extensors, might be necessary in order to maintain the balance between knee agonists and antagonists.

Key-words: electrogoniometer, gait, torque, knee, eccentric training

1. INTRODUCTION

Injuries and ligament reconstructions of the knee have been associated to changes in the kinematic patterns during gait^{1,2,3}. An altered gait may imply unfavorable loading of the cartilage of the knee joint⁴, and thus development of arthritis, secondarily to the injury and ligament reconstruction⁵. Changes in the gait pattern may occur as a consequence of joint tissue derangement, knee joint swelling, weakness of the quadriceps femoris muscle, or muscle inhibition due to pain⁶. Atrophy of the extensor muscles is a common finding among patients submitted to anterior cruciate ligament reconstruction⁷⁻⁹. Therefore, recovery of knee extensor strength is essential for functional rehabilitation. Previous reports showed that functional outcome has a positive correlation with extensor strength indicating muscle strengthening as a precondition for functional recovery^{7,8}.

It has been reported that training using eccentric contractions is more effective in the muscle recovery because it promotes greater changes in neural activation and muscle hypertrophy⁹⁻¹². Both force generation and stretch are major factors in activating protein synthesis and the combination of these stimuli apparently has a pronounced additive effect¹³. Also, loaded eccentric exercise is a potent stimulus for hypertrophy^{14,15} and increase the muscle strength¹⁶.

In a recent study¹⁷, where we applied eccentric isokinetic training of the quadriceps muscles in subjects submitted to anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction, the knee extensor torque and flexion/extension range of motion during gait increased significantly after training. However, an unexpectedly increased valgus, most pronounced during the swing phase, as well as an increased valgus/varus range of motion, which may imply adverse effects on the knee, were also observed in the ACL reconstructed knee when compared with the healthy untrained knee. In that sense, would be also important to examine the effect of isokinetic eccentric training on the knee ROM in control groups (subjects with healthy knees).

Thus, this study had the objective of evaluating the effects of eccentric isokinetic training on the strength of the extensor and flexor muscles of the knee, and the sagittal and coronal knee movements during gait, in healthy male subjects. In addition, the present stride based method for characterizing gait was compared to the method used in our previous study¹⁷.

2. METHODS

2.1 Subjects

Eighteen healthy and active male, without any musculoskeletal injuries or symptoms, or equilibrium disorders, (age 21.7 ± 2.2 years; height 1.73 ± 0.10 m; weight 68.7 ± 9.4 kg; body mass index: 22.6 ± 2.0 kg/m²; dominance right = 4; and left = 14) were assessed. Their occupational and recreational activities did not change, and none of them was involved in any other training program to improve the muscle force, during the present study. This study was developed with approval from the University Ethics Committee for Human Investigation and all subjects undersign a concordance term.

2.2 Eccentric training

The training was performed twice a week for 6 consecutive weeks, in total of 12 sessions. The extensor muscles, of both the right and left knees, were trained during each session. To avoid any systematic differences, the left knee was trained first in one session, and the right knee first in the subsequent session, this procedure was repeated for the rest of the training. All subjects completed the training program. This protocol was developed at the Neurosciences of Laboratory – Plasticity muscular unity at UFSCar¹⁸.

The subjects warmed up for 5 minutes on a cycle ergometer (25W) and then both the right and left, quadriceps, hamstrings, and calf muscles, were stretched three times (30 s of stretch with 30 s rest). Following, the subjects were seated on the isokinetic dynamometer (Biodex Multi-Joint System 3, Biodex Medical Inc., Nova Iorque, NI, EUA) with the backrest reclined 5° from vertical, and straps fixing the trunk, waist and distal thigh. The lateral femoral epicondyle was used as the body landmark for matching the rotation axes of the knee joint and the lever arm of the dynamometer. The dynamometer pad was then fastened around the leg 5 cm proximally to the medial malleolus, and the subject performed a series of 3 submaximal contractions to familiarization. The subjects then performed 3 series of 10 consecutive maximal eccentric isokinetic contractions; the knee was forced by the dynamometer to move through the range of motion from 20° to 90° of knee flexion at an angular velocity of 30°/s (Figure 1). Each series was preceded by 3 minutes of rest, and there were no pauses between the 10 contractions.

Figure 1 about here

2.3 *Knee extensor and flexor torque*

Forty-eight hours before and after the training, the peak torque of knees were assessed, during eccentric isokinetic contractions at 30°/s. The procedure and equipment, which for each contraction gives data on peak torque, was the same as for the training (see above), except that only one session of 5 contractions was performed. The peak torque was defined as the maximum value achieved during the 5 contractions.

To assess knee functional ability and muscle balance, the hamstrings to quadriceps (H/Q) strength was derived as the ratio between the corresponding peak torques¹⁹⁻²¹.

2.4 *Knee movements and data analysis*

Knee flexion/extension and valgus/varus movements were recorded bilaterally using biaxial flexible electrogoniometers, and acquisition units (M110, DL 1001, and Datalink 2.0, Biometrics Ltd., Gwent, RU). One goniometer was fixed to the shaved lateral face of each knee. The center of the inter-joint line was considered to be the common reference for the leg and thigh. The center of the sensor springs was mounted so as to be coincident with this line, and the two terminals were attached on the sagittal plane of the knee, and aligned with the axis of the thigh (having also as reference point the greater trochanter of the femur) and axis of the leg (having the external malleolus as the second reference point). The sampling rate was 100 Hz. The reference position (i.e. 0° of flexion/extension and valgus/varus) was derived, as the mean value during 16 s, when the subject was standing erect and relaxed. Positive angles denote flexion and valgus. After being familiarized to walking on a treadmill at 5.0 km/h, the knee movements were recorded during 90 s.

For the central part of this recording, 50 consecutive strides were detected, independently for the right and left side. From the flexion angles, the heel strikes were detected, as the first minimum occurring after the maximum flexion²². The heel strike defined the beginning of the strides, and, for each stride, data was normalized to the duration of the stride. During normal gait, as in the present study, the first 60% of the stride represent the stance phase, and the later 40% the swing phase²². For each stride, the maximum and minimum angles as well as the range of motion, i.e. the maximum minus the minimum angle, were derived for flexion/extension and valgus/varus. The mean values of these measures, for the 50 strides, were used to characterize the knee movements for each subject. In addition, for each subject and knee, graphs of the mean values for the 50 strides, were derived. This

analysis was performed by software developed using MatLab 6.5 (MathWorks Inc., Natick, MA, EUA).

A comparative analysis was made between the present method and the previous method¹⁷ of electrogoniometric records. Thus, were calculated the 1st and 99th percentiles, and the 99th minus the 1st percentiles of the angle distributions for 60 s of the central part of the gait (same method used in our previous study¹⁷), for 81% of the recordings (29 of 36). The reference position was derived in the same way, and for the same time period, for both methods.

For knee torque and movements, the effects of the training, i.e. the post training minus the pre training values, were calculated for both the left and right knees, and evaluated by paired t-tests. The comparison between the right and left sides, as well as between the stride-based analysis, and the previous method used by Coury et al.¹⁷, also used paired t-test. Tests were applied to the data normality (Shapiro-Wilk's) and homogeneity of variance (Levene's). All tests of significance were carried out at a pre-determined alpha level of $p \leq 0.05$.

3. RESULTS

3.1 Peak torque

After the isokinetic eccentric training, both dominant and non-dominant limbs increased the knee extensor peak torque (by 38% and 41%, respectively). The right limb increased from 229 ± 53 Nm to 304 ± 53 Nm ($p < 0.01$) and the left limb increased from 228 ± 59 Nm to 311 ± 63 Nm ($p < 0.01$). Also, the training increases, the knee flexors peak torque by 8% (from 114 ± 30 Nm to 123 ± 22 Nm; $p < 0.05$), and decreased the H/Q ratio of 22% (from 0.50 ± 0.08 to 0.39 ± 0.07 ; $p < 0.01$).

3.2 Kinematic analysis

Mean and standard deviation for the maximum, minimum, and range of motion angles are shown in Table 1, before as well as after the training. From the minimum flexion/extension values, it is obvious that there was no considerable hyperextension during walking, and that the average maximum flexion/extension during the swing phase was between 53° to 54° independent of knee and training. Figure 2, which presents the mean ensemble curves, with their standard deviations, for the 18 subjects, shows that the symmetry

between the knees and the lack of an effect of the training on the flexion/extension angles applies to all parts of the gait cycle.

There is no significant difference (right knee: $p=0.20$; left knee: $p=0.54$) between valgus/varus range of motion between pre and post-training for both knees (Table 1). The maximum and minimum values, as well as the graphs in Figure 2, show that the valgus/varus angles, except for the left knee post training, were fairly symmetrically distributed round the reference position. After the training, the left knee displayed a general shift towards valgus, most pronounced during the swing phase (the average difference between the mean ensemble curves was 4.1°). The increased valgus is also shown by the increase in minimum and maximum angles.

Insert Table 1 here

Figure 2 about here

The standard deviations for the maximum and minimum valgus/varus angles were relatively large comparing to the standard deviations for the flexion/extension angles, indicating a higher inter-individual variation for valgus/varus than for flexion/extension (Table 1). The standard deviations in Figure 2 also show this relatively large inter-individual variation, and that it is most pronounced during the swing phase. It is interesting to observe that, for valgus/varus, the standard deviation decreased, i.e. the movement pattern of the subjects became more uniform, during the swing phase for the left knee after training.

The kinematic analysis used in our previous study¹⁷, identifies almost identical values as the present method; the differences in the results from both methods (previous method minus present method) were: peak flexion 0.5° (95% CI: $0.4^\circ - 0.6^\circ$), peak extension 0.0° ($-0.5^\circ - 0.4^\circ$), range of flexion/extension 0.5° ($0.1^\circ - 1.0^\circ$), peak valgus -0.5° ($-0.7^\circ - -0.4^\circ$), peak varus -0.5° ($-0.8^\circ - -0.3^\circ$), and range of valgus/varus 0.0° ($-0.3^\circ - 0.3^\circ$).

4. DISCUSSION

The eccentric training increased both the peak extensor torque (by 40%) and the peak flexor torque (by 8%), but decreased the H/Q ratio (from 0.50 to 0.39). These changes had no significant effect on the gait kinematics of the knee, especially for the

valgus/varus range of motion, except for a small shift towards valgus, for the left knee after the training.

4.1 Methodological considerations

The training in the present study was similar to the one in our previous study¹⁷, except for a shorter duration (6 vs. 12 weeks in the previous one). In spite of this, the torque gain was higher in the present study (39% vs. 25%, in the previous one). The less efficiency in the extensor torque gain during the training in the previous study¹⁷ was probably because the quadriceps muscle has an abnormal pattern of motor units recruitment after the reconstruction⁷.

One limitation of the study was the measuring the flexor peak torque only for the non-dominant limb, which was made by practical reasons. However, future studies that evaluate both dominant and non-dominant limbs will be necessary, since significant difference of minimum values of valgus/varus during gait was found.

The use of a stride-based analysis is more relevant for gait analyses than the more general analysis of the amplitude distributions that we previously used. For practical reasons, only the 29 gait recordings that were recorded by the DL1001 data logger were used for comparing the methods. For the derived measures, the differences between the two methods were surprisingly small, for both flexion/extension and valgus/varus. The very small, and physiologically insignificant, differences enable direct comparisons of results obtained by the two methods. Moreover, when the methods are used for quantifying the effect of training, as in both the present study and in our previous one, differences between two measurements, performed with the same method, will be calculated, which will virtually eliminating even the minute differences between the methods. Hence, methodological considerations can be disregarded when comparing the results of the present and our previous study.

4.2 Physiological effects

As expected, the eccentric training increased the extensor torque of the knees, similar as found in the previous study using a similar protocol of training in subjects submitted to ACL reconstruction¹⁷. However, the unexpected gain in the flexor torque, probably, is due to isometric contraction performed by subjects in the contra-lateral limb during eccentric action of the extensors (Figure 1), since the muscular strengthening of this group is not in the program of training employee. Nevertheless, the decline of H/Q ratio, post-training, indicates a reduced capacity of the flexors for knee stabilization, which could be

considered an increased risk of injury. Normal values for H/Q ratios of 0.40 to 0.50 have been reported based on peak moments, independent of contraction mode and velocity¹⁹⁻²³. Approximate values (≈ 0.30) for H/Q ratios suggests that the flexors muscles have a reduced capacity for dynamic knee joint stabilization during forceful knee flexion movements with simultaneous eccentric quadriceps muscle contraction^{24,25}, and may reflect predisposition to injury²⁶.

The quadriceps muscle contraction may create significant anterior tibial translation or shear, especially at high contraction forces and with the knee toward full extension²⁷⁻²⁹ and may produce substantial internal rotation of the tibia relative to the femur²⁷⁻³⁰. The co-activation of the hamstrings muscles, will significantly contribute to counterbalance the tibial shear^{25,30} or rotation³⁰. Then, the H/Q ratio may be used to indicate the extent to which the hamstrings muscles are capable of counteracting the anterior tibial shear induced by maximal quadriceps muscle contraction¹⁹. The results of the present study showed that when eccentric training is applied exclusively to the quadriceps muscles it alters the forces involved in the knee joint stabilization.

The decline in the H/Q ratio found in this study was a consequence of the higher torque gain of the knee extensor (about 40%), compared to the torque gain of knee flexor (8%). However, this result seems to only marginally affect the gait pattern in normal subjects. Specifically, no increase in valgus/varus range of motion was observed, while such an increase was the main finding in the in our previous study of ACL reconstructed patients. Probably, the ACL reconstructed patients are more susceptible to alterations in gait kinematics due to eccentric training rather present higher values in the H/Q ratios. If the decline in H/Q ratio is the same as in the present study, the mechanical properties of the ligaments may be more sensitive to an increased extensor torque, even when partly balanced by an antagonistic torque of the flexors. Thus, to prevent ACL reconstructed patient from developing degenerative complication, secondary to the primary injury, rehabilitation that restores a functional knee kinematics during gait seems important. Since eccentric exercise is an effective method to strengthen the knee extensors an accompanying eccentric training of the knee flexors may however be required, to maintain a normal H/Q ratio, in order to avoid possible abnormalities in the gait kinematics.

The comparison between the results of this study and our previous report¹⁷ indicates that some aspects about the effect of eccentric training in the knee gait parameters in normal and ACL reconstructed subjects still remains to be considered in future studies. For example, it would be interesting to assess the effect of bilateral eccentric training of knee

flexors and extensors on the gait pattern of normal and ACL reconstructed subjects, as well as the effect of different combinations of frequency and duration of the training.

5. CONCLUSIONS

The isokinetic eccentric training of knee extensors increased the torque of the knee extensor and declined the H/Q ratio, however the effect on the gait pattern seems negligible in healthy subjects. An associated training of knee flexors, complementary to the training of the extensors, seems to be necessary in order to maintain the balance between knee agonists and antagonists.

Acknowledgements: Financial support from Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). P R Poletto and H H Santos are PhD fellows from Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERENCES

1. Knoll Z, Kiss RM, Kocsis L. Gait adaptation in ACL deficient patients before and after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14(3):287-94.
2. Yoo JD, Papannagari R, Park SE. The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on knee joint kinematics under simulated muscle loads. *Am J Sports Med.* 2005;33:240-6.
3. Shelburne KB, Torry MR, Pandy MG. Effect of muscle compensation on knee instability during ACL-deficient gait. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(4): 642- 8.
4. Bulgheroni P, Bulgheroni MV, Andrini L, Guffanti P, Giughello A. Gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol. Arthr.* 1997;5(1):14-21.
5. Kvist J, Gillquist J. Anterior positioning of tibia during motion after anterior cruciate ligament injury. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(7):1063-72.
6. Ernst GP, Saliba E, Diduch DR, Hurwitz, SR, Ball, DW. Lower-extremity compensations following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther.* 2000; 80(3):251-60.
7. Williams GN, Snyder-Mackler L, Barrance PJ, Buchanan TS. Quadriceps femoris muscle morphology and function after ACL injury; a differential response in cooperers versus non-cooperers. *J Biomech.* 2005;38:685-93.

8. McHugh MP, Tyler TF, Browne MG, Gleim GW, Nicholas SJ. Electromyographic predictors of residual quadriceps muscle weakness after Anterior Cruciate Ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2002;30(3):334-9.
9. Konishi Y, Fukubayashi T, Takeshita D. Possible mechanism of quadriceps femoris weakness in patients with ruptured anterior cruciate ligament. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(9):1414-8.
10. Wilk KE, Romaniello WT, Soscia SM, Arrigo CA, Andrews JR. The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing in the ACL-reconstructed knee. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;20(2):60-73.
11. LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, Snyder-Mackler L, Reich T, Lindstedt SL. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003;33:557-71.
12. Miller LE, Pierson LM, Nickols-Richardson SM, Wootten DF, Selmon SE, Ramp WK et al. Knee extensor and flexor torque development with concentric and eccentric isokinetic training. *Research Quart Exec Sport.* 2006;77(1):58-63.
13. Goldspink G. Molecular mechanisms involved in the determination of muscle fibre mass and phenotype. *Adv Exerc Sports Physiol.* 1999;5(2):27-39.
14. Gibala MJ, Interisano SA, Tarnopolsky MA, Roy BD, MacDonald JR, Yarasheski KE. Myofibrillar disruption following acute concentric and eccentric resistance exercise in strength-trained men. *Can J Physiol Pharmacol.* 2000;78:702-8.
15. McDonagh MJN, Davies CTM. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol.* 1984;(52):139-55.
16. Seger JY, Thorstensson A. Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. *Int J Sports Med.* 2005;26(1):45-52.
17. Coury HJCG, Brasileiro JS, Salvini TF, Poletto PR, Carnaz L, Hansson G-A. Change in knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training for quadriceps in subjects submitted to anterior cruciate ligament reconstruction. *Gait Posture.* 2006;24(3):370-4.
18. Brasileiro JS. Alterações funcionais e morfológicas do músculo quadríceps induzidas pelo treinamento excêntrico após reconstrução de LCA. Tese de Doutorado, UFSCar, 2004, São Carlos.
19. Aagaard P, Simonsen EB, Trolle M, Bangsbo J, Klausen K. Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: influence from joint angular velocity, gravity correction and contraction mode. *Acta Physiol Scand.* 1995;154:421-7.
20. Li RCT, Maffulli N, Hsu YC, Chan KM. Isokinetic strength of the quadriceps and hamstrings and functional ability of anterior cruciate deficient knees in recreational athletes. *Br J Sports Med.* 1996;30(2):161-4.

21. Rosene JM, Forgarty TD, Mahaffey BL. Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *J Athl Train.* 2001;36(4):378-83.
22. Kettelkamp DB, Johnson RJ, Smidt GL, Chao EY, Walker M. An electrogoniometric study of knee motion in normal gait. *J Bone Joint Surg.* 1970;52(4):775-90.
23. Westing SH, Seger JY. Eccentric and concentric torque-velocity characteristics, torque output comparisons, and gravity effect torque corrections for the quadriceps and hamstring muscles in females. *Int J Sports Med.* 1989;10:175-80.
24. Aagaard P, Simonsen EB, Trolle M, Bangsbo J, Klausen K. Specificity of training load on gains in isokinetic knee joint strength. *Acta Physiol Scand.* 1996;156:123-29.
25. Dvir Z. *Isokinetics: muscle testing. Interpretation and clinical applications.* 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 2004.
26. Baratta R, Solomonow M, Zhou BH, Letson D, Chuinard R, D'Ambrosia R. Muscular coactivation: the role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med.* 1988;16:113-22.
27. Hirokawa S, Solomonow M, Lu Y, Lou ZP, D'Ambrosia R. Anterior-posterior and rotational displacement of the tibia elicited by quadriceps contraction. *Am J Sports Med.* 1992;20:299-306.
28. Kaufman KR, An K-N, Litchy WJ, Morrey BF, Chao EY. Dynamic joint forces during knee isokinetic exercise. *Am J Sports Med.* 1991;19:305-16.
29. Nisell R, Ericson MO, Németh G, Ekholm J. Tibiofemoral joint forces during isokinetic knee extension. *Am J Sports Med.* 1989;17:49-54.
30. More RC, Karras BT, Neiman R, Fritschy D, Woo SL, Daniel DM. Hamstrings – an anterior cruciate ligament protagonist. An in vitro study. *Am J Sports Med.* 1993;21:231-7.

Table 1 - Mean and differences of the flexion/extension and valgus/varus angles pre and post training for the right and left knees for 18 healthy male subjects during gait.

Movement	Angle (°)		
	Maximum	Minimum	ROM
<i>Flexion/extension</i>			
Right side			
pre-training	52.6 ± 3.7	-0.9 ± 3.4	53.8 ± 4.8
post-training	53.5 ± 4.2	0.0 ± 2.7	53.4 ± 4.4
difference	0.9 ± 3.3	0.9 ± 3.0	-0.4 ± 4.7
p-value	0.27	0.22	0.72
Left side			
pre-training	53.0 ± 5.8	-0.7 ± 2.8	53.6 ± 5.9
post-training	52.5 ± 4.7	-1.4 ± 2.6	53.9 ± 5.4
difference	-0.5 ± 3.3	-0.7 ± 2.3	0.2 ± 3.2
p-value	0.55	0.23	0.79
<i>Valgus/varus</i>			
Right side			
pre-training	5.5 ± 3.9	-6.0 ± 5.3	11.6 ± 5.2
post-training	6.4 ± 6.2	-6.5 ± 5.0	12.9 ± 5.5
difference	0.9 ± 8.9	-0.5 ± 7.9	1.4 ± 4.3
p-value	0.68	0.80	0.20
Left side			
pre-training	5.9 ± 4.9	-6.3 ± 5.3	12.2 ± 3.6
post-training	8.3 ± 4.1	-3.1 ± 2.1	11.4 ± 3.4
difference	2.3 ± 5.0	3.2 ± 5.3	-0.8 ± 5.5
p-value	0.06	0.02	0.54

Note: Results are mean ± standard deviation; Positive angles denote flexion and valgus. ROM = range of motion.



Figure 1 - Positioning of the subject in the isokinetic dynamometer during eccentric training of the knee extensor (see the isometric contraction of the flexor in the contra-lateral limb).

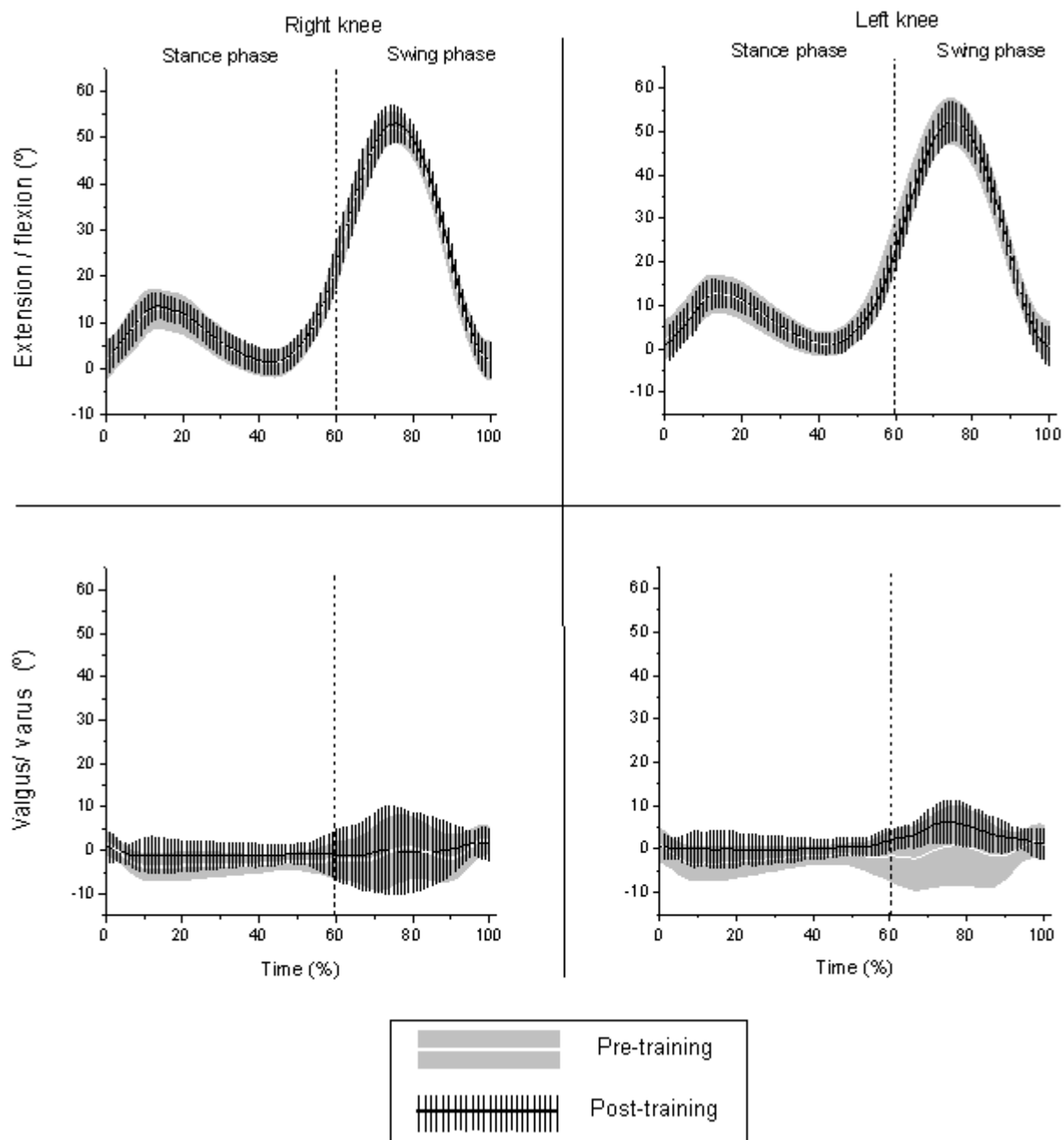


Figure 2 - Mean amplitudes and standard deviations for 18 healthy male subjects for flexion/extension and valgus/varus movements during 100% of consecutive strides depicted for the stance and swing phases of gait for both knees before and after training. Positive angles denote flexion and valgus.

APÊNDICE B

The Effect of Knee Extensors Eccentric Training in the Functional Tests

(Artigo submetido ao Journal Athletic training)

**THE EFFECT OF KNEE EXTENSORS ECCENTRIC TRAINING IN THE
FUNCTIONAL TESTS**

Heleodório Honorato dos Santos; Mariana Arias Ávila; Daniela Naomi Hanashiro; Paula
Rezende Camargo; Tânia de Fátima Salvini

Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, CP 676, CEP 13565-905,
São Carlos, SP, Brasil.

Autor para correspondência: Heleodório Honorato dos Santos

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Fisioterapia.

Rodovia Washington Luis, Km 235, CP 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

Telefone: 16 3351-8345

Fax: 16 33612081

E-mail: dorioufscar@click21.com.br

Running title: Eccentric training *versus* functional tests

ABSTRACT

Context: It is well known that eccentric training increases the muscle strength and promotes greater neural activation. Eccentric training has been used in the recovery of the knee extensor. The hypothesis of this study is that eccentric training of the knee extensors improves the functional tests.

Objective: To correlate the knee extensor torque with functional tests of agility and hop for distance after short-term isokinetic eccentric training.

Design: A single-group was assessed before and after training. After performing a 5-min warm-up and a set of three 30-s stretches (30-s interval) for each muscle group (calf, hamstrings, and quadriceps), the subjects performed three voluntary maximal isometric contractions (5s) and five voluntary maximal eccentric contractions (30°/s and 120°/s). The torque tests were performed on the Biodex System III dynamometer. Functional tests (agility and hop for distance) were conducted to analyze knee joint function.

Setting: Laboratory of Skeletal Muscle Plasticity, University Federal of São Carlos, Brazil.

Patients or Other Participants: Twenty healthy male undergraduates (age 22.5 ± 2.1 years; height 1.72 ± 0.10 m; weight 67.8 ± 9.5 kg; body mass index: 22.5 ± 2.0 kg/m²) engaged in occupational and recreation activities.

Intervention: Six weeks of isokinetic eccentric training of knee extensors of both limbs.

Mean Outcome Measurements: Mean of peak torques, hamstrings/quadriceps (H/Q) ratio, and functional tests of agility (shuttle, lateral, carioca, pivot diagonal, and figure-of-eight runs) and hop for distance (single and triple) focused on both knees.

Results: The eccentric training increased the extensor peak torque (16, 27 and 17%; $p < 0.01$) and decreased the H/Q ratio for isometric (10%; $p < 0.01$) and eccentric modes at 30°/s (20%; $p < 0.01$) and 120°/s (13%; $p < 0.01$). Time improved ($p < 0.01$) in two of the five agility tests (carioca and pivot diagonal), and distance shortened in the hop tests, for both dominant and non-dominant limbs ($p < 0.01$).

Conclusion: Although the eccentric training led to an increase in extensor peak torques as well as to an improvement in most of the functional tests, the hypothesis that a strong correlation would be observed between peak torques and functional tests was not confirmed.

Key-words: hop tests, agility tests, torque, knee, eccentric training, H/Q ratio

1. INTRODUCTION

The knee, due to its anatomic and functional characteristics, is one of the most overloaded joints in the musculoskeletal system¹. Many studies have demonstrated the effectiveness of resisted training² in improving physical performance and treating musculoskeletal injuries on this joint^{1,3,4}. Since the eccentric exercise promotes greater neural activation compared to the isometric and concentric contractions⁵, it is considered to be a powerful stimulus to hypertrophy, the activation of protein synthesis⁶ and the increment of muscle strength⁷. However, the extent of these morphofunctional alterations depends on the intensity, frequency and duration of training^{8,9}.

The isokinetic dynamometry has been widely used as a tool for direct measurement of articular torque since it allows control of significant movement variables, such as amplitude, angular velocity, work load, exercise mode (isometric, concentric or eccentric) and agonist/ antagonist ratio^{1,2,4,10-12}. Additionally, the functional tests of agility (runs) and hop for distance¹³⁻¹⁵ provide security and efficiency parameters, being extensively used to assess the athlete's capacity to return to sport after injury¹⁶.

In an attempt to represent the sport-specific gestures, a group of researchers¹⁶⁻¹⁸ developed a series of Functional Ability Tests (FAT) combining movements greatly stressing knee joint, in all anatomical plans, with the aim of verifying whether the effects of rehabilitation or training programs can be generalized for other populations¹⁹. Although these functional tests are considered as being reliable (>80%) and sensitive (>82%), their correlation with the muscle torque of knee extensors and flexors is still controversial in the literature²⁰.

In light of the above considerations, the hypothesis of this study is that the strengthening of knee extensors will lead to an improvement in articular function, which could be evidenced by the agility tests and hop for distance tests. Therefore, this study analyzed the effects of short-term eccentric isokinetic training on the knee extensors in healthy subjects with the aim of verifying the correlation between these effects and the knee articular function.

2. METHODS

2.1 Subjects

The initial sample was composed of 25 healthy and active male undergraduates who were selected from a School of Physical Therapy. Five of these were excluded from the study: three due to knee pain during training and two due to absence. A total of 20 subjects completed the study (age 22.5 ± 2.1 years; height 1.72 ± 0.10 m; weight 67.8 ± 9.5 kg; body mass index/BMI 22.5 ± 2.0 kg/m²). The inclusion criteria were: a) not participating in muscular strengthening training; b) BMI lower than 24 kg/m²; and 3) with no musculoskeletal injuries or balance disorders.

This study was conducted in accordance with the Ethics Committee for Human Investigation of the University Federal of São Carlos/Brazil.

2.2 Instrumentation

An isokinetic dynamometer (*Biodex Multi-Joint System 3, Inc., Shirley, NY*) was used to assess articular torques and muscular strengthening training of the knee extensors. The functional tests were carried out in a sport court and they required eight cones, a tape measure and a digital chronometer.

2.3 Torque evaluate

The dominant leg (right = 5; left = 15) was identified prior to torque evaluation. The tests were conducted on the non-dominant leg since this is the one used for postural support and impulsion^{21,22}.

Initially, the subjects warmed up on an exercise bike (25W) for 5 min. at 20 km/h, followed by a set of three 30-s stretches (interspersed with 30-s intervals) focused on knee flexors, knee extensors and plantar flexors. Afterwards, the subjects were positioned in an isokinetic dynamometer with back-reclined 5° from vertical and knees flexed at 90°. In order to avoid compensatory movements, straps were positioned across the subject's trunk, pelvis, and distal thigh.

The lever arm of the dynamometer was aligned with the rotation axis of the knee joint (lateral femoral epicondyle) and fixed to the distal leg (at 5cm above the medial malleolus) so as to allow full ankle dorsiflexion²³.

The familiarization period consisted of three submaximal eccentric contractions of the extensors, followed by a 3-min rest period.

During the evaluations and training, the subjects were asked to grip the lateral support of the seat so as to enable counter-resisted movement. The effect of gravity on torque was corrected with knee flexed at 60°, and the adjustments for correction were calculated by using the software of the instrument, according to Dvir²³.

The evaluations of knee extensor and flexor torques were conducted under isometric (0°/s) and eccentric isokinetic (30°/s and 120°/s) conditions. In order to measure the maximal isometric torque, the lever arm of the dynamometer was fixed at 60° for knee extension²⁴ and at 30° for knee flexion²⁵. The evaluation consisted of one set of three voluntary maximal isometric contractions (VMIC) of 5-s duration, with 1-min rest periods between them²⁶. The mean of the three peak torques (PT) was calculated for each subject^{7,8}.

The range of motion (ROM) of the eccentric isokinetic torques was 70° (extension from 20° to 90°, and flexion from 90° to 20°). Each test (30°/s and 120°/s) consisted of one set of five consecutive voluntary maximal eccentric contractions (VMEC) with 1-min rest period between velocities²³. The mean of the peak torques (MPT) obtained for the five contractions of knee extensor and flexor muscles were calculated at the end of each set.

For VMEC generation, torques with values 20-30% above the values produced for isometric evaluations were performed on the dynamometer, being periodically increased during the training period.

During the evaluations and training, the subjects were presented with verbal stimuli (“force, force, force, force, more force”), which were provided by the same examiner in a standardized way with the aim of encouraging maximal contraction. Additionally, the subjects were provided with visual feedback, which were displayed as a graph on the screen of the equipment²⁷.

The conventional hamstrings/quadriceps (H/Q) ratio was calculated dividing the flexor peak torque by peak extensor torque and multiplying this result by 100²⁸. The ratio was calculated for all contraction modes (isometric and eccentric) and velocities (30°/s and 120°/s).

2.4 Isokinetic Training

Prior to each training session, the equipment was calibrated and the subjects underwent the same warm-up and stretch protocols as previously described. Afterwards, they followed an eccentric (bilateral) training protocol focused on the strengthening of the knee extensors. This consisted of three sets of 10 VMECs²³ at 30°/s, with a 3-min rest period

between sets. The training was performed twice a week for six weeks (12 sessions), alternating dominant and non-dominant limbs, with an interval of at least 48h between sessions. The training was initiated on the dominant limb.

2.5 Functional Tests

Initially, the subjects performed a brief warm-up consisting of running around the court at low velocity (trotting) for a 5-min period. Afterwards, they followed the same stretch protocol as the one used for torque evaluations.

Functional tests were carried out before and after the eccentric isokinetic training of the knee extensors (pre- and post-training). These tests consisted of five agility tests (shuttle run, lateral run, carioca, pivot diagonal run and figure-of-eight) at maximal velocity, and two hop for distance tests (single and triple). Rest intervals of 1min and 2min were allowed between agility and hop tests, respectively.

For shuttle and lateral runs, and carioca, a distance of 6m was marked with two cones placed in front of each other. For shuttle run (Figure 1.1), the subjects should go forwards and return backwards. For lateral run (Figure 1.4), the subjects should run sideways from right to left (round trip). For carioca (Figure 1.5), the subjects should run sideways from right to left, alternately placing one leg in front of and behind the other (round trip)^{14,15}.

For pivot diagonal run, two parallel lines were arranged apart from one another at a distance of 4m, with the right line positioned 3m ahead the left one. The limits of each line were marked by two cones, placed apart from one another at a distance of 6m. The distance between the cones positioned diagonally to each other was 5m (Figure 1.2). The subjects should run from one cone to the cone placed opposite. When reaching the latter, they should turn around themselves (pivot) towards the right or the left, alternately, and, then, run diagonally towards another cone, thus totalizing a distance of 15m¹⁹.

For figure-of-eight run (Figure 1.3), two parallel columns were placed apart from one another at a distance of 4m. Each column was formed by three cones positioned apart from one another at a distance of 1m. The subjects should run around the two columns so as to describe the number eight^{19,29}.

In all agility tests, verbal commands (i.e. “ready, set, go!”) were given to the subjects with the aim of standardizing the beginning of the test and the time-keeping process.

For hop tests (single and triple), the subjects should stand on one-foot support, behind the starting line, until deciding to hop. For single hop (Figure 1.6), the distance traveled by the same foot was measured taking into account the departure and arrival points³⁰⁻

³⁴. For triple hop (Figure 1.7), this same procedure was used to calculate the distance relative to three consecutive trials^{14,15,35}. For each type of hop, three attempts were performed, alternating right and left legs.

Figure 1 – Insert here

In both pre- and post-training, all the subjects performed the functional tests (agility and hop for distance) following the same sequence (runs: shuttle, lateral, carioca, pivot diagonal and figure-of-eight; hops: single and triple). In the post-training, a 72-h interval was allowed after the last session of isokinetic training. Similarly to the torque evaluations, all the tests were initiated by the non-dominant limb as a mean of standardizing.

For all the functional tests, the subjects performed three attempts, of which the mean was calculated for both time and distance.

2.6 Data Analyses

The statistical procedures (mean, standard deviation, paired t-test, Wilcoxon, One-Way ANOVA, and ICC) were conducted by using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). As regards the correlation tests (ICC), values ranging from 0 to 0.5 were considered as weak, values ranging from 0.5 to 0.75 were considered as moderate, and values above 0.75 were considered as strong. A significance level of $p < 0.05$ was used for all analyses.

For torque evaluations, the mean of the peak torques (MPT) and the conventional H/Q ratio (flexor PT/extensor PT X 100) relative to modes (isometric and eccentric) and velocities (30°/s and 120°/s) were analyzed in both pre- and post-training.

For functional tests, comparisons between the means obtained in pre- and post-training as well as correlations of the MPT relative to modes and velocities with the functional tests were performed in both pre- and post-training.

3. RESULTS

3.1 Isokinetic Evaluate

3.1.1 Mean of Peak Torque (MPT)

In comparing the means of the peak torques (MPT) for knee extensors and flexors between pre- and post-training in all modes (isometric and eccentric) and velocities (30°/s and 120°/s), an increased MPT of the extensors (trained muscle group) was observed in

all modes and velocities. The MPT of the flexors was shown to increase only in the eccentric mode at 30°/s (Table 1).

Table 1 – Insert here

3.1.2 Coefficient of Variation (CV)

In the pre-training, the coefficient of variation remained at an acceptable level ($\leq 15\%$) for studies of isokinetic dynamometry²³. In the post-training, the coefficient of variation tended to decrease in the isometric mode and the eccentric mode at 120°/s (Figure 2); however, a decreased variability was only statistically significant in the eccentric mode at 30°/s for both extensors ($p < 0.01$) and flexors ($p < 0.05$).

Figure 2 – Insert here

3.1.3 Time to Peak Torque (TPT)

In general, the means of the time to peak torque tended to decrease, although it was only statistically significant ($p < 0.01$) in the eccentric mode at 30°/s (Table 2).

Table 2 – Insert here

3.1.4 Hamstrings/Quadriceps Ratio (H/Q)

There was a significant decrease in the conventional H/Q ratio after training in all modes and velocities analyzed. Table 3 shows that the greatest decrease percentage (20%) was observed in the eccentric mode at 30°/s, followed by the eccentric mode at 120°/s (13%), and the isometric mode (10%).

Table 3 – Insert here

The training protocol used in the study led to an increased difference in the H/Q ratio between contraction modes. In the pre-training, there was difference between isometric mode and eccentric mode at 120°/s ($p < 0.05$). In the post-training, differences were observed between isometric mode and eccentric mode at 30°/s ($p < 0.05$), but more significant

differences were found between the velocities (30°/s and 120°/s) in the eccentric mode ($p < 0.01$).

3.1.5 Correlation: Knee angle versus Means of Peak Torques (MPT)

Figure 3 shows that the correlations were weak between knee angle and MPT, being positive for the extensors and negative for the flexors. In the pre-training, they were moderate for the extensors at 30°/s and flexors at 120°/s. In the first condition, the increase of the angle was equivalent to the increase of the MPT ($r = 0.64$), while in the second condition, the MPT increased as the angle decreased ($r = -0.50$).

Figure 3 – Insert here

3.2 Functional Tests

In comparing the means of functional tests in pre and post-eccentric training of the knee extensors (Table 4), significant differences ($p < 0.01$) were observed in two of the five agility tests (carioca and pivot diagonal run). In the hop for distance tests, there were significant differences in single and triple hops for both limbs. However, greater significance ($p < 0.01$) was observed in the non-dominant limb (NDL) when compared to the dominant one ($p < 0.05$).

Table 4 – Insert here

3.3 Correlation: Means of Peak Torques versus Functional Tests

Table 5 shows that there is weak correlation ($r < 0.5$) of the MPT of knee extensors and flexors with the functional agility tests for all modes and velocities in both pre- and post-training. The correlation was negative in the majority of the conditions.

Table 5 – Insert here

As regards the hop for distance tests, the correlations were generally weak ($r < 0.5$) in pre- and post- trainings for both types of hop (single and triple). However, in the pre-training, there was a moderate correlation of the MPT of the extensors in the eccentric mode at 30°/s and 120°/s with the single hop test ($r = 0.50$ and 0.53 , respectively), as well as of the eccentric mode at 30°/s with the triple hop test ($r = 0.56$). Moderate and strong correlations

were also observed between MPT of the extensors in the eccentric mode at both velocities and the single hop test ($r = 0.63$ and 0.78 , respectively).

In the post-training, the correlation between the MPT of the flexors in the eccentric mode at $120^\circ/\text{s}$ was also moderate ($r = 0.60$), although it was shown to be lower than in the pre-training.

Table 6 – Insert here

4. DISCUSSION

In accordance with findings of the literature^{9,22,36-41}, the results of this study showed that peak torque increased following isokinetic eccentric training in all the contraction modes and velocities analyzed (isometric, and eccentric at $30^\circ/\text{s}$ and $120^\circ/\text{s}$).

According to several studies, the resisted training promotes alterations in nervous system, leading to gain force^{38,41}, especially in the first eight weeks, without increasing the area of muscle transverse section²¹. Although number, firing rate and synchronization of the active motor units were not analyzed in the current study, it is possible to assume that the torque gained in response to the training protocol (6 weeks) is a result of the alterations in muscle recruitment patterns of such variables^{9,39,40}.

The greatest torque gain was observed in the eccentric mode at $30^\circ/\text{s}$, as supported by previous studies^{24,43}. However, a torque increment was also observed in the isometric mode and eccentric mode at $120^\circ/\text{s}$. Blazevich⁴⁴ similarly demonstrated an improved torque in other velocities.

The flexor peak torque was also increased in the eccentric mode at $30^\circ/\text{s}$, indicating that this muscle group plays a role in the eccentric contraction of the extensors. This gain may be explained by the active work (isometric) of the contralateral flexors during the eccentric training of the extensors.

The coefficient of variation (CV) represents the standard deviation of a sample, thus being an important factor for several measurements, especially when their repetition is studied.⁴⁴ The decreased CV observed in this study suggests that the training influenced learning and quality of motor gesture^{22, 39, 44, 46}, possibly explaining the significant increase in the eccentric contraction pattern of knee extensors at $30^\circ/\text{s}$.

The decreased variability of flexor contractions may be a consequence of the neuromuscular facilitation activated by this muscle group in the contralateral limb during the eccentric training of the extensors.

The results showed that, although TPT tended to decrease in all modes and velocities analyzed, this tendency was specific to the mode and velocity of training (eccentric at 30°/s). This is probably associated with force gain and improved motor unit recruitment, since a low TPT in the beginning of the training was followed by a substantial PT gain in the eccentric mode at 30°/s.

In studying the activation patterns of knee extensors, McHugh *et al.*⁴⁷ verified that a lower TPT is related to the fact that isokinetic eccentric exercises requires higher recruitment of muscle fibers of type II.

Miller *et al.*⁴⁸ similarly demonstrated that TPT was significantly lower after eccentric training when compared to the concentric one for both knee extensors and flexors, indicating an improved neuromuscular function.

Since functional H/Q ratio was not possible to be calculated due to a lack of record for concentric PT during evaluations, the conventional H/Q ratio was used taking into account the fact that it is considered to be a parameter for tests of knee muscle balance^{2,12,28,48-53}.

In comparing the results of pre- and post-training, the training protocol was demonstrated to lead to a decrease of 20%, 13% in the H/Q ratio for the eccentric mode at 30°/s and 120°/s, respectively, and of 10% for the isometric mode.

These deficits in H/Q ratio are due to the increased extensor PT rather than the decreased flexor PT. Although the knee flexors were observed to gain torque, such a gain was lower than the gain achieved by the extensors; however leading to a decrease in H/Q ratio.

In a review study on the contribution of the eccentric contraction to injury, prevention, rehabilitation and sport, LaStayo *et al.*⁵ demonstrated that such contraction, when exclusively applied to a muscle group, may alter knee stabilization by changing the H/Q ratio.

Despite this significant decrease, a lower rate of flexor torque represented 40% of the extensor torque in all the contraction modes studied. However, this percentage is within the range of variability (40-80%) described in many other studies on H/Q ratio, depending on the studied population, age and sex^{7,42,52,53}.

Therefore, in spite of the fact that the protocol used only elicited the knee extensors, thus leading to a decrease in H/Q ratio, the percentage of the ratio (< 40%) cannot reflect a predisposition to injury to anterior cruciate ligament.

A few numbers of studies^{52,53} have compared articular position between velocities, sides (right and left), sex, and muscle groups (flexors and extensors). However, studies discussing the possible alterations in the correlations of these variables have not been found in the literature studied. Despite that, in analyzing the reliability of isokinetic measures, Steiner et al.⁵⁴ showed that correlations between knee angle and peak torque of knee extensors and flexors were weak, a result similar to those observed in the current study.

In the pre-training of knee flexors at 30°/s, although the correlation was substantially weak, it was shown to be positive. It is an interesting result, since peak torque usually increases as knee ROM decreases (i.e. negative correlation), as evidenced by the other correlations between ROM and PT of the flexors in both concentric and eccentric modes.

Duchateau and Enoka⁵⁵ corroborate the results of the current study by demonstrating that the performance of functional tests is improved to a maximum level in similar tasks, being affected by contraction mode, load, velocity and posture. Indeed, the distance performed in both types of hop (single and triple) may have increased due to a greater similarity of training protocol (high force, low velocity) in this task when compared to the agility tests, in which an improved performance was only observed in two (carioca and pivot diagonal run) of the five tests

In this sense, Kraemer *et al.*⁹ demonstrated that the strength training alone elicits no significant improvement in the performance of the agility tests. Moreover, those authors verified that tests conducted at velocities above 180°/s were better indicators of agility, thus being closer related to the knee articular function.

In light of these considerations, it is possible to assume that the results obtained after training would be more significant, especially for agility tests, if training protocol was conducted at medium velocity (\cong 180°/s).

Sheppard and Young¹⁶ argue that the performance of an agile movement involves not only physical but also cognitive factors, suggesting that the decreased time in carioca and pivot diagonal run as well as the increased distance in the hops may be a result of both the increased torque elicited by the isokinetic eccentric training and the previous performance of the tests. However, this hypothesis may be rejected, inasmuch as the subjects performed the tests only twice (pre and post-training), with a 6-week interval between them. Indeed, even in the second evaluation, the subjects asked the examiner to show how to perform the test since they could not remember how to do it.

The time achieved in the agility tests was recorded manually by using a chronometer. Although the same examiner recorded time, this measurement is evaluator-

dependent, probably influencing the results. In contrast, it is possible to use an automatic or photoelectric synchronization system to avoid such interference.

The number of tests (five agility and two hops) may also have influenced the results. Each test was performed three times (consecutively), probably leading to some degree of fatigue. The majority of the studies found in the literature^{29-34,55,56} uses only one or two tests, while a few^{14,15,19} use a maximum of five tests to combine activities of agility and hop.

There is considerable disagreement in the literature about which muscle group is most involved in functional tests of the knee flexors and extensors. Li *et al.*⁵⁸ found correlations of these tests only with flexor forces, while other authors^{18,59} found this correlation only with the extensors. However, these correlations were classified as weak or moderate in all studies.

The results of this study corroborate these findings by demonstrating that there is correlation between functional tests and torque of both knee extensors and flexors.

5. CONCLUSION

Although the training protocol elicited a substantial increase in the extensor PT, especially at 30°/s, and produced gains in the majority of the agility (carioca and pivot diagonal run) and hop (single and triple) tests, the hypothesis that a strong correlation would be observed between these variables were not confirmed.

Acknowledgements: Financial support from Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERENCES

1. Aquino MA, Leme LEG, Amatuzzi MM, Greve JMD, Terreri ASAP, Andrusaitis FR, Nardelli JCC. Isokinetic assessment of knee flexor/extensor muscular strength in elderly women. *Rev Hosp Clin Fac Med São Paulo*. 2002;57(4):131-4.
2. Rosene JM, Forgarty TD, Mahaffey BL. Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *J Athl Train*. 2001;36(4):378-83.
3. Kannus P. Isokinetic evaluation of muscular performance; implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med*. 1994;15(supl. 1):11-8.

4. Siqueira CM, Pelegrini FRMM, Fontana MF, Greve JMD. Isokinetic dynamometry of knee flexors and extensors: comparative study among non-athletes, jumper athletes and runner athletes. *Rev Hosp Clin Fac Med São Paulo*. 2002;57(1):19-24.
5. LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, Snyder-Mackler L, Reich T, Lindstedt SL. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. *J Orthop Sports Ther*. 2003;33:557-71.
6. Goldspink G. Molecular mechanisms involved in the determination of muscle fiber mass and phenotype. *Adv Exerc Sports Physiol*. 1999;5(2):27-39.
7. Seger JY, Thorstensson A. Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. *Int J Sports Med*. 2005;26(1):45-52.
8. Clebis NK, Natali MRM. Lesões musculares provocadas por exercícios excêntricos. *Rev Bras Ciênc Mov*. 2001;9(4):47-53.
9. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS et al. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:364-80.
10. Croce RV, Pitetti KH, Hovart M, Miller J. Peak torque, average power, and Hamstrings/Quadriceps ratios in nondisabled adults and adults with mental retardation. *Arch Phys Med Rehabil*. 1996;77(4):369-72.
11. Dauty M, Josse MP. Correlations and differences of performance between soccer players, professionals, young players and amateurs, from the 10-meter sprint test and knee isokinetic assessment. *Sci Sports*. 2004;19(2):75-9.
12. Jidovtseff B, Croisier JL, Mordant JM, Crielaard JM. Isokinetic profile of knee flexors and extensors in a jumpers population. *Sci Sports*. 2005;20(5-6):304-7.
13. Keskula DR, Duncan JB, Davis VL, Finley PW. Functional outcome measures for knee dysfunction assessment. *J Athl Train*. 1996;31(2):105-10.
14. Keays SL, Bullock-Saxton JE, Keays AC, Newcombe P. Muscle strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis. *Knee*. 2001;8(3):229-34.
15. Keays SL, Bullock-Saxton JE, Newcombe P, Keays AC. The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Research*. 2003;21(2):231-7.
16. Sheppard JM, Young WB. Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci*. 2006;24(9):919-32.
17. Itoh H, Ichihashi N, Sakamoto T. Functional test for the knee joint. *Bull Allied Med Sci Kobe*. 1989;5:75-81,.

18. Itoh, H, Kurosaka M, Yoshiya S, Ichihashi N, Mizuno K. Evaluation of functional deficits determined by four different hop tests in patients with anterior cruciate ligament deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998;6(4):241-5.
19. Ortiz A, Olson SL, Roddey TS, Morales J. Reliability of selected physical performance tests in young adult women. *J Strength Cond Research.* 2005;19(1):39-44.
20. Phillips N, Benjamin M, Everett T, Van Deursen RWM. Outcome and progression measures in rehabilitation following anterior cruciate ligament injury. *Phys Ther Sport.* 2000;1(4):106-18.
21. Gobbi LTB, Secco CR, Marins FHP. Preferência pedal: comportamento locomotor em terreno regular. In: Teixeira, L.A. *Avanços em comportamento motor.* São Paulo, SP: Movimento, 2001:225-47.
22. Knight CA, Kamen G. Adaptations in muscular activation of the knee extensor muscles with strength training in young and older adults. *J Electromyogr Kinesiol.* 2001;11(6):405-412.
23. Dvir, Z. *Isokinetics: muscle testing, interpretation and clinical applications.* Edinburgh: Churchill Livingstone, 2004:199.
24. Seger JY, Arvidsson B, Thorstensson A. Specific effects of eccentric and concentric training and morphology in humans. *Eur J Appl Physiol.* 1998;79(1):49-57.
25. Davies GJ, Ellenbecker TS. Aplicação da isocinética nos testes e na reabilitação. In: Andrews, JR, Harrelson GL, Wilk KE. *Reabilitação física das lesões desportivas.* 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000:160-88.
26. Wilk KE, Arrigo CA, Andrews JR. Standardized isokinetic testing protocol for the throwing shoulder: the throwers series. *Isokinetics Exerc Sci.* 1991;1:63-71.
27. Campenella B, Mattacola CG, Kimura IF. Effect of visual feedback and verbal encouragement on concentric quadriceps and hamstrings peak torque of males and females. *Isokinetics Exerc Sci.* 2000;8:1-6.
28. Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med.* 1998;26(2):231-37.
29. Hasebe Y, Tanabe Y, Yasuda K. Anterior-Cruciate-Ligament reconstruction using doubled hamstring-tendon autograft. *J Sport Rehabil.* 2005;14(4):279-93.
30. Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J. Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004;12(5):350-6.
31. McDevitt ER, Taylor DC, Miller MD, Gerber JP, Ziemke G, Hinkin D et al. Functional bracing after anterior cruciate ligament reconstruction – a prospective, randomized and multicenter study. *Am J Sports Med.* 2004;32(8):1887-92.

32. Swanik CB, Lephart SM, Swanik KA, Stone DA, Fu FH. Neuromuscular dynamic restraint in women with anterior cruciate ligament injuries. *Clin Orthop Related Research*. 2004;425:189–99.
33. Pollet V, Barrat D, Meirhaeghe E, Vaes P, Handelberg F. The role of the Rolimeter in quantifying knee instability compared to the functional outcome of ACL-reconstructed versus conservatively-treated knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2005;13(1):12-8.
34. O'Donnell S, Thomas SG, Marks P. Improving the sensitivity of the hop index in patients with an ACL deficient knee by transforming the hop distance scores. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2006;7(9):1-6.
35. Holm I, Fosdahl MA, Friis A, Risberg MA, Myklebust G, Steen H. Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. *Clin J Sport Med*. 2004;14(2):88-94.
36. Hickson RC, Hikada K, Foster C. Skeletal muscle fiber type, resistance training, and strength-related performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1994;26(5): 593-8.
37. Ploutz LL, Tesch PA, Biro RL, Dudley GA. Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J Appl Physiol*. 1994;76(4):1675-81.
38. Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Farkel JE. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol*. 1994;76(3):1247-55.
39. Carroll TJ, Stephan R, Carson RG. Neural adaptations to resistance training: implication for movement control. *Sports Med*. 2001;31(12):829-40.
40. Lieber RL. *Skeletal muscle: structure, function and plasticity – the physiological basis of rehabilitation*. 2 ed. Baltimore: Williams & Williams, 2002.
41. Tomiya A, Aizawa T, Nagatomi R, Sensui H, Kokubun S. Myofibers Express IL-6 after eccentric exercise. *Am J Sports Med*. 2004;32(2):503-8.
42. Classen J, Liepert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *J Neurophysiol*. 1998;1(2):230-4.
43. Kellis E, Baltzopoulos V. The effects of antagonist muscle force on intersegmental loading during isokinetic efforts of the knee extensors. *J Biomech*. 1999;32: 19-25.
44. Blazeovich AJ. Effect of movement pattern and velocity of strength training exercise on training adaptations during concurrent resistance and sprint/jump training [Thesis]. Lismore (NSW): School of Exercise Science and Sport Management – Southern Cross University; 2001.
45. Flück M, Hoppeler H. Molecular basis of skeletal muscle plasticity-from gene form and function. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*. 2003;146(1):159-216.

46. McHugh MP, Tyler TF, Greenberg SC, Gleim GW. Differences in activation patterns between eccentric and concentric quadriceps contractions. *J Sports Sci.* 2002;20(2):83-91.
47. Miller LE, Pierson LM, Nickols-Richardson SM, Wootten DF, Selmon SE, Ramp WK. Knee extensor and flexor torque development with concentric and eccentric isokinetic training. *Research Quart Exerc Sport.* 2006;77(1):58-63.
48. Calmels PM, Nellen M, Van der Borner I, Jourdin P. Concentric and eccentric isokinetic assessment of flexor-extensor torque ratios at the hip, knee, and ankle in a sample population of healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78(11):1224-30.
49. Tourny-Chollet C, Leroy D. Conventional vs. dynamic hamstrings-quadriceps strength ratios: a comparison between players and sedentary subjects. *Isokinetcs Exerc Sci.* 2002;10:183-92.
50. Hiemstra LA, Webber S, MacDonald PB, Kriellaars DJ. Hamstring and quadriceps strength balance in normal and hamstring anterior cruciate ligament-reconstructed subjects. *Clin J Sport Med.* 2004;14(5):274-80.
51. Kellis E, Baltzopoulos V. Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(11):1616-23.
52. Arce AS, Sánchez JC, Camacho FJF. Isokinetic evaluation of the healthy knee: position of the joint at peak torque. *Isokinetcs Exerc Sci.* 2001;9:151-4.
53. Clark R, Bryant A, Culgan JP, Hartley B. The effects of eccentric hamstring strength training on dynamic jumping performance and isokinetic strength parameters: a pilot study on the implications for the prevention of hamstring injuries. *Phys Ther Sport.* 2005;6(2):67-73.
54. Steiner LA, Harris BA, Krebs DE. Reliability of eccentric isokinetic knee flexion and extension measurements. *Arch Phys Med Rehabil.* 1993;74(12):1327-35.
55. Duchateau J, Enoka RM. Neural adaptation with chronic activity patterns in able-bodied humans. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81Suppl(11):17-27.
56. Aune AK, Holm I, Risberg MA, Jensen HK, Steen H. Four-strand hamstring tendon autograft compared with patellar tendon-bone autograft for Anterior Cruciate Ligament reconstruction: a randomized study with two-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2001;29(6):722-8.
57. Webster KE, Gonzalez-Adrio R, Feller JA. Dynamic joint loading following hamstring and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004;12(1):15-21.
58. Li RC, Maffulli N, Hsu YC, Chan KM. Isokinetic strength of the quadriceps and hamstrings and functional ability of anterior cruciate ligament deficient knees in recreational athletes. *Br J Sports Med.* 1996;30:161-4.

59. Wilk KE, Romaniello W, Soscia SM, Arrigo CA, Andrews JR. The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. *JOSPT*. 1994;20(2):60-73.

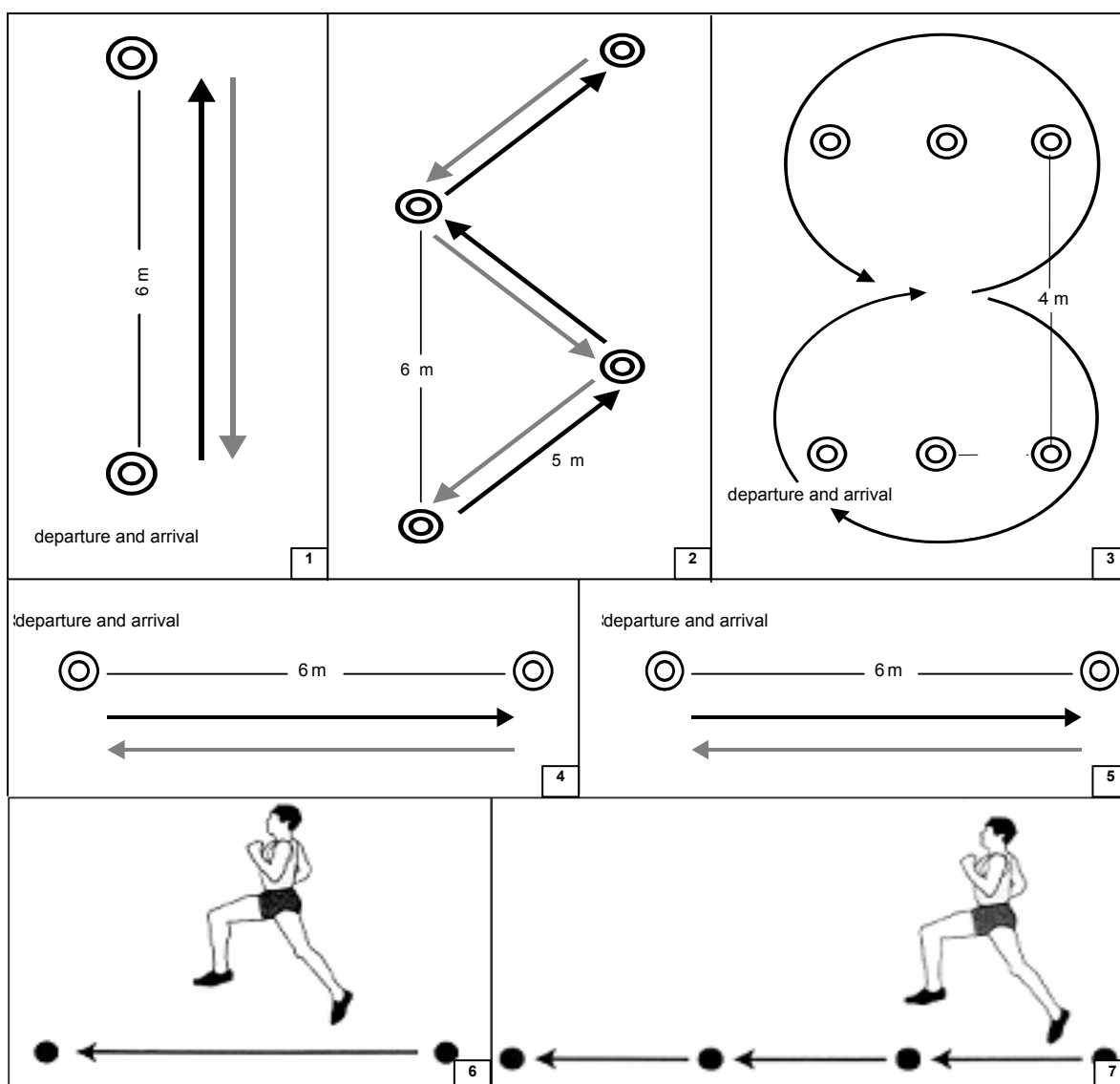


Figure 1 – Funcional tests: shuttle run (1); pivot diagonal run (2); figure-of-eight run (3); lateral run (4); carioca (5); single hop (6); triple hop (7).

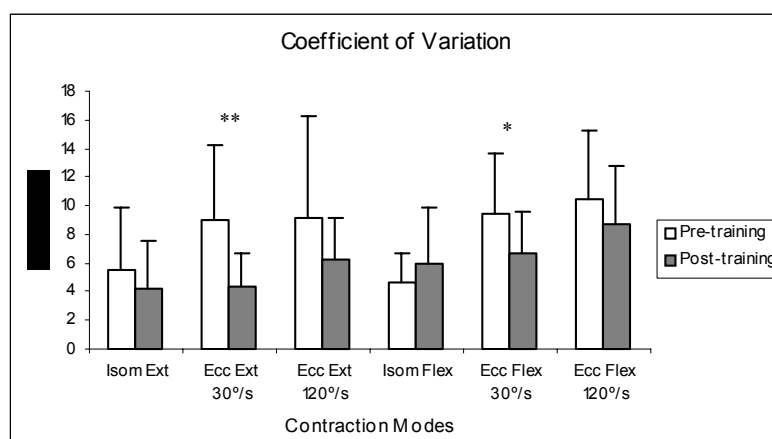
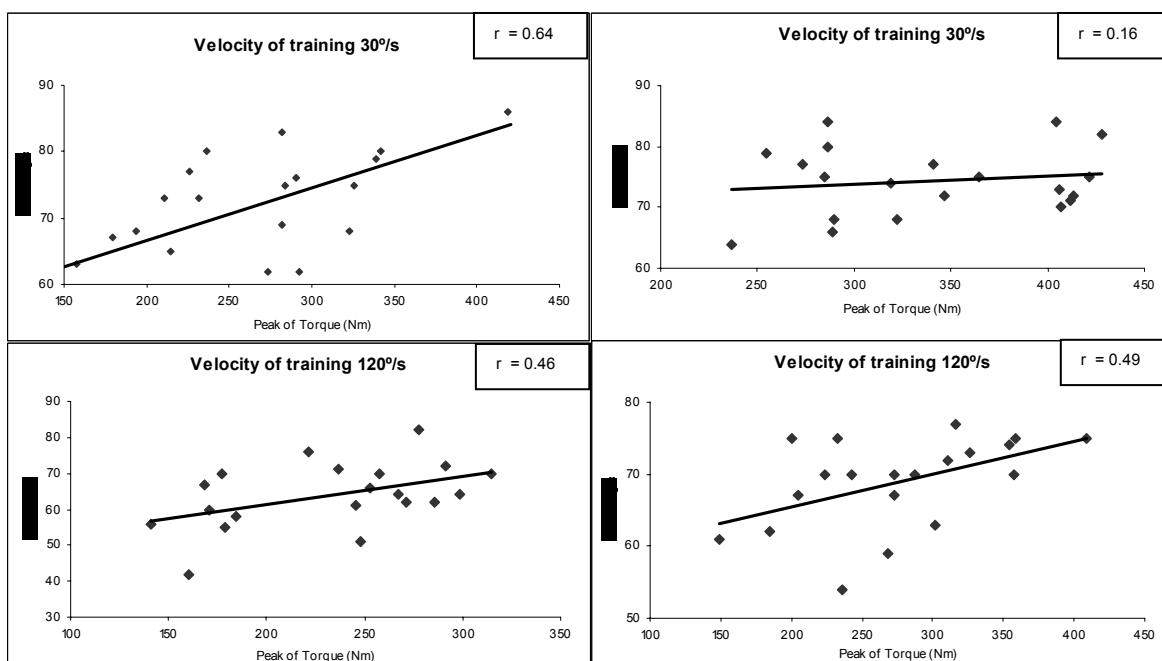


Figure 2 – Mean of the coefficient of variation percentage in the pre and post-training

Knee Extensors

Pre-training

Pos-training



Knee Flexors

Pre-training

Pos-training

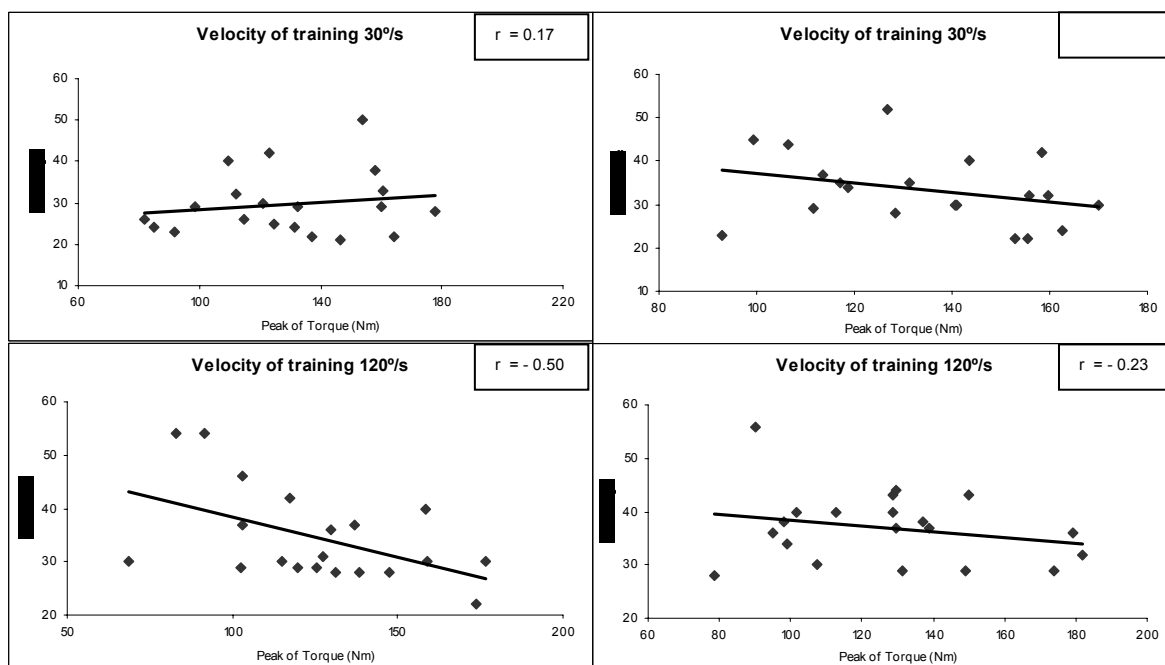


Figure 3 – Correlation between angle and mean of peak torque (30°/s e 120°/s) knee flexors e extensors at 30°/s and 120°/s

Table 1 – Comparisons of the means of peak torque (Nm) before and after 6 weeks of isokinetic eccentric training of the knee extensors

Torque	Mean of Peak Torque (Nm)			Gain (%)
	Pre-training	Post-training	t-test (paired)	
Extensors				
Isometric	217.5 ± 42.5	259.3 ± 51.2**	0.0001	16
Eccentric 30°/s	232.2 ± 55.9	318.8 ± 55.6**	< 0.0001	27
Eccentric 120°/s	215.7 ± 50.4	259.8 ± 67.4**	0.0001	17
Flexors				
Isometric	108.7 ± 27.1	115.1 ± 32.2	0.0587	6
Eccentric 30°/s	113.9 ± 28.4	123.3 ± 20.8*	0.0159	8
Eccentric 120°/s	108.3 ± 29.8	111.8 ± 31.2	0.238	3

Legend: Nm = Newton.meter

* for significance level $p \leq 0.05$ ** for significance level $p \leq 0.01$ **Table 2** – Time to Peak Torque (ms) between pre and post-training after 6 weeks of isokinetic eccentric training of knee extensors

Torque	Time to Peak Torque (ms)	
	Pre-training	Post-training
Extensors		
Eccentric 30°/s	2723 ± 755	2185 ± 219*
Eccentric 120°/s	951 ± 368	775 ± 236
Flexors		
Eccentric 30°/s	2343 ± 541	2259 ± 636
Eccentric 120°/s	555 ± 113	528 ± 75

* $p = 0.003$ (Wilcoxon)**Table 3** – Hamstrings/Quadriceps ratio between pre and post-training in non-dominant limb

Contraction Modes	Hamstrings/Quadriceps Ratios (%)			
	Pre-training	Pos-training	t-test (paired)	Difference (%)
Isometric	49.8 ± 8.3	45.1 ± 7.8	0.0057**	10
Eccentric 30°/s	50.4 ± 7.5	40.3 ± 7.0	< 0.0001**	20
Eccentric 120°/s	54.8 ± 10.3	47.7 ± 12.3	0.0023**	13

Table 4 – Comparison of the means of the functional tests before and after 6 weeks of isokinetic eccentric training of the knee extensors

Functional Tests	Evaluations		
	Pre-training	Pos-training	p value
Shuttle run (s)	13.80 ± 0.87	13.57 ± 0.88	0.19 ◇
Lateral run (s)	14.92 ± 2.24	14.48 ± 1.47	0.33 †
Carioca (s)	19.48 ± 3.95	16.91 ± 1.97	< 0.01 †
Pivot Diagonal run (s)	34.58 ± 3.09	32.40 ± 2.54	< 0.01 †
Figure-of-eight run (s)	16.68 ± 2.95	16.14 ± 2.59	0.15 ◇
SHDL (m)	1.95 ± 0.15	2.02 ± 0.13	< 0.05 †
SHNDL (m)	1.96 ± 0.16	2.05 ± 0.12	< 0.01 ◇
THDL (m)	5.81 ± 0.35	5.93 ± 0.36	< 0.05 †
THNDL (m)	5.77 ± 0.32	5.95 ± 0.35	< 0.01 †

Results: mean ± stand deviation

Legend: SHDL = single hop dominant limb; SHNDL = single hop non-dominant limb; THDL = triple hop dominant limb; THNDL = triple hop non-dominant limb; s = second; m = meter.

◇ (Wilcoxon); † (t test)

Table 5 – Correlation between means of peak torque (MPT) and agility tests (carioca, lateral, shuttle, pivot diagonal, and figure-of-eight) before and after 6 weeks of isokinetic eccentric training of knee extensors

Contraction Modes	Correlation MPT X Agility Tests			
	Pre-training (r)		Post-training (r)	
	Extensors	Flexors	Extensors	Flexors
<i>Isometric</i>				
MPT x Shuttle run	-0.01	0.15	-0.21	0.15
MPT x Lateral run	-0.17	-0.06	-0.15	-0.02
MPT x Carioca	0.10	-0.03	-0.18	0.01
MPT x Pivot diagonal run	-0.04	0.07	-0.04	0.04
MPT x Figure-of-eight run	0.12	0.27	0.09	0.15
<i>Eccentric 30%</i>				
MPT x Shuttle run	-0.19	-0.31	-0.23	-0.15
MPT x Lateral run	-0.29	-0.36	-0.14	-0.18
MPT x Carioca	-0.30	-0.17	-0.26	-0.16
MPT x Pivot diagonal run	-0.36	-0.24	-0.15	-0.12
MPT x Figure-of-eight run	-0.18	-0.17	0.10	-0.05
<i>Eccentric 120%</i>				
MPT x Shuttle run	-0.20	-0.29	-0.24	-0.38
MPT x Lateral run	-0.39	-0.43	-0.24	-0.46
MPT x Carioca	-0.35	-0.27	-0.34	-0.31
MPT x Pivot diagonal run	-0.17	-0.21	-0.19	-0.36
MPT x Figure-of-eight run	-0.14	-0.13	-0.19	-0.38

Legend: r = correlation index.

Table 6 – Correlation between means of peak torque (MPT) and hop tests (single and triple) before and after 6 weeks of isokinetic eccentric training of knee extensors

Hop Tests	Correlation MPT X Hop for Distance			
	Pre-training (r)		Post-training (r)	
	Extensors	Flexors	Extensors	Flexors
<i>Single</i>				
MPT Isometric	0.26	0.48	0.23	0.24
MPT Eccentric 30°/s	0.50	0.63	0.34	0.41
MPT Eccentric 120°/s	0.53	0.78	0.35	0.60
<i>Triple</i>				
MPT Isometric	0.38	0.36	0.33	0.36
MPT Eccentric 30°/s	0.56	0.49	0.38	0.41
MPT Eccentric 120°/s	0.18	0.39	0.11	0.43

Legend: r = correlation index.

APÊNDICE C

Eccentric Isokinetic Training of the Knee Extensors Alters the H/Q Torque Ratio Without
Altering the H/Q EMG Ratio in Healthy Subjects

(Artigo submetido ao Journal of Electromyography and Kinesiology)

**ECCENTRIC ISOKINETIC TRAINING OF THE KNEE EXTENSORS ALTERS
THE H/Q TORQUE RATIO WITHOUT ALTERING THE H/Q EMG RATIO IN
HEALTHY SUBJECTS**

Heleodório Honorato dos Santos; Mariana Arias Ávila; Daniela Naomi Hanashiro; Tania de
Fátima Salvini

Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, CP 676, CEP 13565-905,
São Carlos, SP, Brasil.

Autor para correspondência: Heleodório Honorato dos Santos

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Fisioterapia.

Rodovia Washington Luis, Km 235, CP 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil.

Telefone: 16 3351-8345

Fax: 16 33612081

E-mail: dorioufscar@click21.com.br

Running title: Eccentric training *versus* functional tests

ABSTRACT

Objective: To assess the effects of eccentric isokinetic training of knee extensors on H/Q torque and EMG ratio in healthy subjects. *Methodology:* Twenty active and healthy males (age 22.5 ± 2.1 years; height 172 ± 10 cm; weight 67.8 ± 9.5 kg; body mass index/BMI 22.5 ± 2.0 kg/m²) were assessed as to torque (isometric and eccentric at 30 and 120°/s) and EMG of knee extensors and flexors, before and after 6 weeks of eccentric isokinetic training at 30°/s. *Results:* The knee extensor torque increased in all assessed modes and velocities ($p < 0.01$). The H/Q torque ratio decreased in all assessments taken ($p < 0.01$), however the H/Q EMG ratio maintained the pre-training values ($p > 0.05$). The torque/EMG correlation was weak ($r < 0.5$) for all modes of contraction, before and after training. *Conclusions:* Eccentric training causes different effects on extensor torque and EMG signal. Although eccentric exercise is the best option for increase in muscle strength, special attention is needed when using it in strengthening programs that focus on knee extensors given that the alterations in the H/Q ratio can contribute to joint instability.

Key-words: eccentric training, EMG, isokinetic, H/Q ratio, dynamometry

1. INTRODUCTION

In recent decades, isokinetic dynamometry has been widely used in muscle assessment, particularly because it provides control over certain variables such as contraction mode, movement velocity, applied resistance, range-of-motion (ROM), etc. It also provides reliable test and training results (Dauty and Josse, 2004; Konishi et al., 2003; Manskea et al., 2003; Von Porat et al., 2007).

Similarly, the use of electromyography (EMG) has been very frequent in the study of human movement (Kleissen et al., 1998; Kumar and Mital, 1996) and in neuromuscular diagnosis (Dumitru, 1995; Kyrolainen et al., 1995; Luttmann et al., 1996). The latter involves the study of possible myoelectrical signal alterations in gait assessment, in the use of *biofeedback* for patients, in therapeutic procedures such as balance and proprioception, and in exercise programs that can directly influence motor control (Soderberg and Knutson, 2000; Stegeman et al., 2000).

Researchers have increasingly used isokinetic dynamometry in conjunction with EMG in the attempt to answer questions related to muscle function, e.g. comparisons between static and dynamic tasks (Earl; Schmitz; Arnold, 2001; Judge; Moreau; Burke, 2003), observation of agonist and antagonist muscle behavior (Kellis and Baltzopoulos, 1998; Shields et al., 2005), and the effects of resisted training programs with fixed volume (Ghori; Donne; Luckwill, 1995; Seger; Arvidsson; Thorstensson, 1998; Shields *et al.*, 2005) or progressive volume (Judge; Moreau; Burke, 2003) on certain joints or segments of the body.

The Hamstring/Quadriceps (H/Q) torque ratio has been one of the most frequently used variables in isokinetic dynamometry studies (Aagaard et al., 1998; Rosene et al., 2001; Urabe, 2005) on knee joint balance, both in conventional form (Aagaard et al., 1998) and functional form (Aagaard et al., 1998; Kellis and Baltzopoulos, 1999; Rosene et al., 2001; Tourny-Chollet; Leroy, 2002). Some studies have shown that the H/Q torque ratio varies from 40 to 80%, depending on population, age and gender, and that when it is lower than 40% there is an increase in shear strength and knee instability, overloading especially the anterior cruciate ligament/ACL (Kellis; Baltzopoulos, 1998; 1999; Lastayo *et al.*, 2003; Wojtys; Asthon-Miller; Huston, 2002).

The EMG studies, however, analyze the behavior of the muscle signal in different types of contraction (isometric, concentric or eccentric) (Andersen *et al.*, 2005; Hakkinen *et al.*, 2003; Hamlin; Quigley, 2001; Judge; Moreau; Burke, 2003; McCarthy; Pozniak; Agre, 2002; Rabita; Pérot; Lensen-Corbiel, 2000), at different velocities (Ghori;

Donne; Luckwill, 1995), different intensities (Higbie et al., 1996; Shields et al., 2005), controlled ranges of motion (Ghori; Donne; Luckwill, 1995) and in various training programs (Hakkinen *et al.*, 2003; Judge; Moreau; Burke, 2003; Knight; Kamen, 2001), but few of these studies adopted the EMG ratio between flexors and extensors as a tool for muscle function assessment (DiFabio et al., 1992; Kallis and Katis, 2007; Youdas et al., 2007).

Even without verifying if this ratio changes with training, Kellis and Katis (2007) and Youdas et al. (2007) report that the H/Q EMG ratio associated with that of torque proves to be an excellent tool to assess knee function, monitor rehabilitation programs or assess the effects of training programs because it provides an index of neuromuscular adaptation to exercise.

Due to the fact that eccentric exercise promotes greater neural activation compared to isometric and concentric exercise (LaStayo *et al.*, 2003), therefore considered an important stimulus in hypertrophy, protein synthesis activation (Goldspink, 1999) and muscle strength improvement (Seger; Thorstensson, 2005), the aim of the present study was to assess the effects of eccentric isokinetic training of knee extensors on the H/Q torque and EMG ratios in healthy subjects.

2. METHODS

2.1 Sample

The sample initially consisted of 25 subjects, however 5 were excluded (3= pain in the knee during training sessions; 2= dropped out). Therefore, 20 active, healthy male university students (age 22.5 ± 2.1 years; height 1.72 ± 0.10 m; weight 67.8 ± 9.5 kg; body mass index/BMI 22.5 ± 2.0 kg/m²), who did not do muscle strength training or reported knee problems or history of knee injury, completed the study.

All subjects signed a free and informed consent (Resolution 196/96 of the National Health Council) according to the regulations of the University's Ethics Committee and the Helsinki declaration.

2.2 Instrumentation

The joint torque assessment and muscle strength training of the knee extensors were performed on an isokinetic dynamometer, *Biodex Multi-Joint System 3* (*Biodex*

Biomedical Systems, Inc., Shirley, NY), and electromyographic signals were acquired with an electromyography (*EMG System, Brazil*).

2.3 Torque evaluate

First, we determined the lower limb dominance of the subjects by asking which leg they would use to kick a ball, verifying which limb they used in the balance test, and on which limb they stood to jump over an obstacle (box) placed in front of them (Knight and Kamen, 2001). Five subjects had right dominance and 15 had left dominance.

The subjects warmed up for 5 minutes on a stationary bicycle (75W), at a speed of 20 km/h, as recommended by Earl et al., 2001; Schmitz and Westwood, 2001; Linnamo et al., 2002. Next, in a stance position, they performed a series of stretching exercises with 3 repetitions (30 s of stretching followed by 30 s of rest), for the knee flexor and extensor muscles and the plantar flexor muscles of both limbs (Coury et al., 2006).

After the warm-up, the subjects sat on the isokinetic dynamometer with the back rest at a 5° inclination from the vertical position and knees flexed at 90°. To avoid compensatory movements, straps were used on the trunk, pelvis and thigh, distally.

The rotation axis of the dynamometer was aligned with the anatomical axis of the knee (lateral epicondyle of the femur), and the arm of the lever was attached to the distal part of the leg (5 cm above the medial malleolus), so as to allow a full arch of ankle dorsiflexion (Dvir, 2004; Coury et al., 2006).

During assessment and training, the subjects were instructed to hold firmly onto the side supports of the seat to aid exertion during the counter-resisted movement. The adjustments to correct the effect of gravity on torque were made with the knee at 60° and calculated by the equipment's own software, according to Dvir (2004).

Knee extensor and flexor torque was measured in isometric and eccentric isokinetic modes (30 and 120°/s). To measure maximal isometric torque, the arm of the dynamometer was set to 60° for the extensors (Davies and Ellenbecker, 2000; Pincivero et al., 2003), and at 30° for flexors (Davies and Ellenbecker, 2000). Assessment consisted of a series of 3 maximal voluntary isometric contractions (MVIC), each maintained for 5 s, with 1-minute intervals (Wilk et al., 1991; Judge et al., 2003; Pincivero et al., 2004). The mean of the 3 peak torques (PT) obtained was recorded for each subject as recommended by Clebis and Natali (2001), Seger and Thorstensson (2005).

The eccentric tests consisted of a series of 5 consecutive maximal voluntary eccentric contractions (MVEC), with 3-minute rest periods between tests (Dvir, 2004; Coury, 2006). At the end of each series, the means of the peak torques (MPT) of the 5 contractions were calculated for the knee extensors and flexors at each speed tested (30°/s and 120°/s).

The joint range-of-motion (ROM) of the eccentric isokinetic torques was 70° (20° - 90° for extensors; 90° - 20° for flexors) (Coury, 2006), and before each test the subjects performed 3 submaximal eccentric contractions of the flexors and extensors followed by a 1-minute rest to become acquainted with the equipment (Ghourri et al., 1995; Croisier et al., 2007).

To generate the MVECs, the isokinetic dynamometer was programmed with torques 30% higher than the values generated in the isometric assessments. These values were periodically increased over the training period.

During assessments and training, the subjects were given standardized verbal encouragement (“push, push, push, harder, harder”) by the same assessor so that they would achieve maximal contraction. Subjects also received visual feedback by following the graph on the equipment’s screen (Campenella et al., 2000; Earl et al., 2001; Pincivero et al., 2003).

For the purpose of comparison between subjects, the torque values in the assessments before and after training were normalized by body mass in each of the subjects.

To allow sufficient recovery time, the training protocol began 48 hours after the initial assessment. For this same reason, the final assessment was only conducted after the same amount of recovery time starting from the last training session (Knight and Kamen, 2001).

2.4 Isokinetic training

While the subjects performed the previously described warm-up and muscle stretching protocol, the dynamometer was calibrated according to its instruction manual. After calibration, the subjects performed a bilateral eccentric training program to strengthen the knee extensors at a speed of 30°/s (Croisier et al., 2007), consisting of 3 series of 10 MVECs (Higbie et al., 1996; Dvir, 2004), with 3-minute rest periods between series (Higbie et al., 1996; Kraemer et al., 2002). Sessions took place twice a week (with a rest period of at least 48 hours between sessions) for 6 weeks (12 sessions). The first training session began with the dominant limb, and limbs were alternated starting from the second training session.

2.5 Surface Electromyography (EMG)

An electromyography (800C model, EMG *System* do Brasil) was used to record the electric signal of the vastus medialis obliquus (VMO), vastus lateralis longus (VLL), rectus femoris (RF), semitendinosus (ST) and biceps femoris (BF) muscles (Aagaard et al., 2002; Nakajima et al., 2003; Williams et al., 2004; Shields et al., 2005), with the following technical specifications: hardware with 12-bit analog-to-digital (A/D) conversion board; 1000 amplifier gain; Butterworth band pass filter (20 to 500Hz, 2nd order); common mode rejection rate (CMRR) > 100 dB; signal-to-noise ratio < 3 μ V RMS; 10⁹ Ohm impedance; active, bipolar, superficial electrodes with 20 times preamplification and *AqDados* software for collection and analysis of 1000Hz sample frequency signals, per channel, on a Windows platform.

The measurements for electrode placement were taken with the subject at stance, and the lower limb to be assessed was positioned with the foot on the support and the hip and knee at 90° flexion. For the VMO muscle, the electrode was positioned at 80% of the distance between the anterior superior iliac spine (ASIS) and anterior joint space at the edge of the medial collateral ligament (MCL); for the VLL, the electrode was positioned at 2/3 of the distance between the ASIS and the lateral border of the patella; for the RF, at 50% of the distance between the ASIS and the upper border of the patella; for the ST, at 50% of the distance between the ischial tuberosity and the medial epicondyle of the tibia; and for the BF, at 50% of the distance between the ischial tuberosity and the lateral epicondyle of the tibia, according to the Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM, 1999).

The skin was then shaved and cleaned with a 70% alcohol solution to reduce impedance. The electrodes were fitted into a customized rubber support and attached with adhesive tape and Velcro strips to avoid sliding over the skin and noise. The parallel bars of the electrodes were positioned perpendicularly to the direction of the muscle fibers (SENIAM, 1999).

For EMG signal analysis and processing, the times considered were 5 s, 2 s and 0.5 s for the isometric and eccentric modes at 30°/s and 120°/s, respectively. The time window was selected from the central part of the EMG signal (Larsson et al., 2003), and the mean of the 3 contractions was found for each assessed mode and speed.

Next, the signals were converted to ASCII and run on MatLab 7.1 to calculate the root mean square (RMS [μ V]). The static actions had their signals normalized by the

MVICs (Soderberg and Knutson, 2000; Fonseca et al., 2001), and the dynamic actions by the mean of the PTs to guarantee the comparisons between muscles and between subjects (Soderberg and Knutson, 2000).

2.6 Data Analysis

Descriptive statistics (mean and standard deviation) and inferential statistics (paired t-test, ANOVA *One-Way*, MANOVA and intraclass correlation coefficient [ICC]) were conducted by means of the *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) 13.0. In the ICC tests, the following classification was considered: weak ($r = 0$ to 0.5), moderate ($r = 0.51$ to 0.75) and strong ($r = 0.76$ to 1.0). The level of significance for all analyses was 5% ($p < 0.05$).

In the torque assessments, MPTs were analyzed between: 1) the contraction modes and velocities (ANOVA *One-Way*); 2) pre- and post-training (paired t-test).

Two-way multivariate analysis (MANOVA) was used for the comparison between the pre- and post-training means of the normalized RMS of the EMG signals of the analyzed muscles (VMO, VLL, FR, ST and FB) and for the comparison between the contraction mode means (isometric, eccentric at $30^\circ/s$ and $120^\circ/s$). This analysis was followed by a Tukey post hoc test to pinpoint the occurrence of possible differences.

The ICC was used to assess possible correlations between PT and RMS of the studied muscles, for all assessed modes and velocities (isometric, eccentric at $30^\circ/s$ and $20^\circ/s$), both before and after training.

3. RESULTS

3.1 Torque

In the comparison between the pre- and post-training PTMs of the knee extensors, there was a difference in all the assessed modes, with increase in the isometric mode (15%), the eccentric mode at $30^\circ/s$ (33%) and the eccentric mode at $120^\circ/s$ (15%). There was no difference in pre- and post-training PTM for the knee flexors (Table 1).

Before training, eccentric torque at $30^\circ/s$ was greater than isometric torque, both for extensors and flexors. After training, the difference for extensors was higher ($p < 0.01$) between the isometric mode and the eccentric mode at $30^\circ/s$, and between the eccentric

modes at 30°/s and at 120°/s. However, the flexor torque maintained the same difference ($p < 0.05$) found before training between the isometric mode and the eccentric mode at 30°/s.

Table 1

3.1.1 H/Q torque ratio

There was a decrease in the post-training H/Q ratio in all of the assessed modes and velocities (Table 2). The greatest decline (20%) occurred in the eccentric mode at the velocity of 30°/s, followed by eccentric mode at 120°/s (13%) and the isometric mode (10%).

Before training, there was a difference between the isometric mode and the eccentric mode at 120°/s ($p < 0.05$, ANOVA *One Way – post hoc Tukey*). After training, there was a difference between the isometric mode and the eccentric mode at 30°/s ($p < 0.05$), but especially between the eccentric modes at 30°/s and 120°/s ($p < 0.01$). These results show that the training increased the difference in the H/Q ratio between the modes of contraction.

Table 2

3.2 EMG

There was no difference in the pre- and post-training RMS value in any of the assessed contraction modes, both for the extensors ($F_{2,113}=0.096$ $p=0.962$) and flexors ($F_{2,113}=0.283$, $p=0.754$) of the knee (Table 2). However, in the comparison among the contraction modes (isometric vs. eccentric at 30°/s vs. eccentric at 120°/s), there was a difference in the RMS values for the extensors ($F_{6,224}= 628.313$; $p < 0.0001$) and flexors ($F_{4,226}= 877.556$; $p < 0.0001$). These differences occurred among all the contraction modes ($p < 0.01$; Tukey post hoc test) both before and after training. Despite this, the EMG activity was greater in the isometric mode, followed by the eccentric contraction at 120°/s and at 30°/s, both for extensors and flexors (Table 3).

Table 3

3.3 Intraclass Correlation Coefficient (MPT versus RMS)

In general, the correlations between MPT and RMS were weak ($r < 0.5$) for knee extensors and flexors both before and after training. Although some correlations proved to be

positive and others negative (Table 4), there was no statistic significance in the pre- and post-training comparison ($p= 0.80$).

Table 4

3.4 H/Q EMG ratio

In the comparison of the H/Q EMG ratio, between knee flexors and extensors, there was no difference among the pre- and post-training values of any of the modes of contraction (Table 5).

Table 5

In the comparison of the values of H/Q EMG ratio among all modes of contraction, there was no difference before training ($p=0.202$). After training, a difference was found among the modes ($p=0.047$), however the *post hoc test (Tukey)* showed only a trend between the isometric mode and the eccentric mode at $30^{\circ}/s$ ($p=0.058$).

4 DISCUSSION

4.1 Torque

The increase in torque found in the present study after knee extensor training corroborates other authors' findings in studies using eccentric training (Carroll et al., 2001; Knight and Kamen, 2001; Kraemer et al., 2002; Lieber, 2002; Tomiya et al., 2004).

Torque gain in the assessed training modes and velocities has also been described in prior studies (Higbie et al., 1996; Seger et al., 1998; Kellis and Baltzopoulos, 1999). The training program also favored additional gains (15%) for the isometric mode and the eccentric mode at $120^{\circ}/s$, as previously shown (Blazevich, 2000; Coburn et al., 2006).

Some studies have demonstrated that neural remodeling is likely to have a greater contribution to strength gain in the first 8 weeks of resistance training (Classen et al., 1998; Carroll et al., 2001; Kraemer et al., 2002; Lieber, 2002) than the increase of the cross section of the muscle (Knight and Kamen, 2001). Given that the training program applied in this study lasted 6 weeks, the torque gains observed may have been due mostly to neural adaptation.

4.1.1 H/Q torque ratio

Our results show that the training program promoted a significant reduction in the conventional H:Q torque ratio (20%), especially at the assessed velocity, in which the rate of flexors represented 40% of the rate of extensors. Also, in the eccentric mode at 120°/s (13%) and in the isometric mode (10%), the ratio decreased because of the significant increase in extensor torque due to training.

To avoid levels considered to be within the limits of joint destabilization (H/Q ratio <40%), the training program applied in the present study was conducted for a short period of time (6 weeks) but long enough to identify an adaptation without posing a great risk to the joint. This precaution was based on a study by LaStayo et al. (2003) on the contribution of eccentric contraction for injury, prevention, rehabilitation and sport, in which they state that, when excessively applied, in particular to a muscle group, it can lead to joint instability.

4.2 EMG

According to Suzuki et al. (2002), high strength levels are associated with an increase in EMG activity. Therefore, changes in the electromyographic signal are used to infer alterations in the neural activity associated with muscle contraction.

A possible explanation for the differences found in the EMG activity in this study, among isometric contractions and eccentric contractions (30 and 120°/s), is the fact that in response to eccentric action, the extracellular membrane increases the expression, synthesis and deposition of collagen in the muscle, strengthening the passive elements that also contribute to the generation of strength (KJAER, 2004), therefore requiring less motor unit (MU) recruitment to perform the task, although related to gender, type of training and velocity of motion (Kellis and Baltzopoulos, 1998; Aagaard et al., 2000).

In contrast, during concentric or isometric action in which only the contractible elements are activated, the need for a quantity of MUs is directly proportional to the force generated because there is no participation of passive components (Ghori et al., 1995; Seger et al., 1998; Kellis and Baltzopoulos, 1999). This corroborates our results, in which the higher RMS range was in the isometric mode, both for extensors and flexors.

Another theory for the lower RMS range in the eccentric contraction is the occurrence of continuous disconnections of cross bridges before the release of ATP (Kellis and Baltzopoulos, 1999; Proske and Morgan, 2001), which requires more strength during the

eccentric actions with lower oxygen consumption (Kellis and Baltzopoulos, 1999), as well as damage to the excitation-contraction coupling (Proske and Morgan, 2001).

As demonstrated in the results of this study, the training did not alter the EMG values for either extensors or flexors. This goes against the study by Kjaer (2004), which reported high generated force in untrained subjects as a result of eccentric exercise, but on a low, unsynchronized pattern of EMG activity. Our sample's profile (active but untrained subjects), low frequency (twice weekly) and short period of training (6 weeks) possibly contributed to the maintenance of the EMG range.

Another possible reason for the maintenance of the post-training EMG range involves the mechanism of neural inhibition during maximal eccentric activities (Kellis and Baltzopoulos, 1998). It consists of the activation of central pathways (descending) and peripheral pathways (GTO, muscle spindle and joint receptors) to protect the joint structures from injury when producing high strength (Kellis and Baltzopoulos, 1998; Aagaard et al., 2000; Folland and Williams, 2007). Autogenic inhibition, associated with strength training, is also well documented in the literature (Wilmore and Costill, 2005).

As in our study, in which greater EMG activity was observed in the isometric mode followed by the eccentric mode at 120 and 30°/s, Kellis and Baltzopoulos (1999) also observed that the neural activation (EMG) resulting from isokinetic tests depends on the mode of contraction and angle velocity, proving that at greater velocities the eccentric actions are associated with greater EMG activity when compared to slower velocities. However, when confirming the EMG range depends on motion velocity, Miller and Croce (2002) reported that with the increase in velocity the RMS of the EMG signal decreased in all tested velocities (100, 200, 300 and 400°/s) during knee extension.

In fact, there are conflicting results in regard to EMG activity in the various modes of contraction. Some authors reported a smaller EMG signal range in the eccentric actions when compared to the isometric and concentric ones (Komi et al., 2000; Linnamo et al., 2002), while others showed the opposite results (Higbie et al., 1996; Andersen et al., 2005).

Regarding the torque/EMG correlation, our results show that, in spite of the significant gains in torque, in all assessed modes and velocities, there was a weak correlation ($r < 0.5$) between these variables as seen in the studies by Rabita et al. (2000) and McCarthy et al. (2002), which shows that the MU recruitment level was not altered with eccentric training in the assessed modes and velocities, both before and after training.

Unlike our results, Judge et al. (2003) and Andersen et al. (2005) found moderate ($r = 0.63$; $p < 0.01$) to strong ($r = 0.77$; $p < 0.01$) torque/EMG correlations, respectively. This suggests that there is an improvement in neural adaptation of the knee extensors after the application of a resistance training program. However, these studies used programs with isotonic, concentric and eccentric exercises, including progressive resistance, over a period of 4 to 6 months, in athletes and healthy individuals, respectively. This differed from our study in mode, volume and duration of training program.

The results of the present study show that the H/Q EMG ratio did not have the same behavior as the H/Q torque ratio, which indicates that there is no direct relationship between them. Although the ANOVA test showed differences among the modes, there was only a trend between the isometric mode and the eccentric mode at 30°/s, probably caused by the slight increase in the H/Q EMG ratio value in the eccentric mode at 30°/s after training.

Of the studies found in the literature on H/Q EMG ratio, none of them used a training program. They simply compared knees with and without ACL deficiency (DiFabio et al., 1992), different angles of knee movement (Kellis and Katis, 2007) and the behavior of men and women during one-legged squat (Youdas et al., 2007).

The trouble discussing the results of the present study is due to the fact that most studies use different modes of contraction, velocities and training programs from those of our study (Higbie et al., 1996; Komi et al., 2000; Linnamo et al., 2002; Andersen et al., 2005). While isokinetic training was an added feature in the present study compared to other studies, it hampered the discussion because the isokinetic dynamometer has been generally used in assessments, but not for training. The advantage of using it in training is that it allows greater control over some variables (velocity of contraction, ROM, mode of contraction, etc.).

Another limitation of our study was that it did not include a concentric assessment at the same velocities (30 and 120°/s) as the eccentric assessment, which would have aided the discussion of the results as most studies compare concentric and eccentric modes.

Another factor that may be relevant in future investigations is the calculation of net torque (active torque - passive torque) in the isokinetic dynamometer and its correlation to the EMG activity in the eccentric contraction. It is possible that, with the adoption of this formula, the torque/EMG correlation in this type of contraction will be better represented because it will allow the identification of the contribution of passive elements of the muscle to total torque.

5. CONCLUSIONS

The given results allow us to conclude that: 1) the eccentric isokinetic training of the knee extensors increases extensor torque in different contraction modes and at different contraction velocities but it does not affect EMG activity of knee extensors and flexors; 2) there is no correlation between the PTM and the RMS of the EMG of knee extensors and flexors; and 3) the H/Q torque and EMG ratios behave differently, which suggests that there is no direct relationship between them.

Therefore, although eccentric exercise is the best option for increase in muscle strength, special attention is needed when using it in strengthening programs that emphasize knee extensors given that the alterations in the H/Q ratio can contribute to joint instability.

Acknowledgements: Financial support from Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERENCES

- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol.* 2002;93:1318–26.
- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol.* 2000;89:2249–57.
- Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med.* 1998;26(2):231-7.
- Amiridis IG, Martin A, Morlon B, Martin L, Cometti G, Pousson M, Van Hoecke J. Co-activation and tension-regulating phenomena during isokinetic knee extension in sedentary and highly skilled humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;73:149–56.
- Andersen LL, Andersen JL, Magnusson SP, Aagaard P. Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. *Eur J Appl Physiol.* 2005;93:511–8.
- Blazevich A. Effect of movement pattern and velocity of strength training exercise on training adaptations during concurrent resistance and sprint/jump training. (2000) Doctoral thesis, School of Exercise and Sport Management, Southern Cross University, Lismore, Australia.

- Campenella B, Mattacola CG, Kimura IF. Effect of visual feedback and verbal encouragement on concentric quadriceps and hamstrings peak torque of males and females. *Isokinetics Exerc Sci.* 2000;8:1-6.
- Carroll TJ, Stephan R, Carson RG. Neural adaptations to resistance training: implication for movement control. *Sports Med.* 2001;31(12):829-40.
- Classen J, Liepert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *J Neurophysiol.* 1998;1:230-4.
- Clebis NK, Natali MRM. Lesões musculares provocadas por exercícios excêntricos. *Rev Bras Ciênc Mov.* 2001;9(4):47-53.
- Coury HJCG, Brasileiro JS, Salvini TF, Poletto PR, Carnaz L, Hansson G.-A. Change in knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training for quadriceps in subjects submitted to anterior cruciate ligament reconstruction. *Gait and Posture.* 2006;24:370-74.
- Coburn JW, Housh TJ, Malek MH, Weir JP, Cramer JT, Beck TW, Johnson GO. Neuromuscular responses to three days of velocity-specific isokinetic training. *J Strength Cond Res.* 2006;20(4):892-8.
- Croisier JL, Malnati M, Reichard LB, Peretz C, Dvir Z. Quadriceps and hamstring isokinetic strength and electromyographic activity measured at different ranges of motion: a reproducibility study. *J Electromyography and Kinesiology.* 2007;17(4):484-92.
- Dauty M, Josse M.P. Correlations and differences of performance between soccer players, professionals, young players and amateurs, from the 10-meter sprint test and knee isokinetic assessment. *Sci Sports.* 2004;19:75-9.
- Davies GJ, Ellenbecker TS. Aplicação da isocinética nos testes e na reabilitação. In: Andrews JR, Harrelson GL, Wilk KE. *Reabilitação física das lesões desportivas.* 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000:160-188.
- Di Fabio RP, Graf B, Badke MB, Breunig A, Jensen K. Effect of knee joint laxity on long-loop postural reflexes: evidence for a human capsular-hamstring reflex. *Experimental Brain Research.* 1992;90(1):189-200.
- Dumitru D. *Electrodiagnostic medicine.* Philadelphia: Hanley and Belfus, 1995.
- Dvir Z. *Isokinetics: muscle testing. Interpretation and clinical applications.* 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 2004.
- Earl JE, Schmitz RJ, Arnold BL. Activation of the VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. *J Electromyogr Kinesiol.* 2001;11(6):381-6.
- Fonseca ST, Silva PLP, Ocarino JM, Ursine PGS. Analysis of an EMG method for quantification of muscular co-contraction. *Rev Bras Ciênc e Mov.* 2001;9(3):23-30.

Ghori GMU, Donne B, Luckwill RG. Relationship between torque and EMG activity of a knee extensor muscle during isokinetic concentric and eccentric actions. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 1995;5(2):109-15.

Goldspink G. Molecular mechanisms involved in the determination of muscle fiber mass and phenotype. *Adv Exerc Sports Physiol.* 1999;5(2):27-39.

Hakkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89:42–52.

Hamlin MJ, Quigley BM. Quadriceps concentric and eccentric exercise 1: Changes in contractile and electrical activity following eccentric and concentric exercise. *J Sci Med Sport.* 2001;4(1):88-103.

Higbie EJ, Cureton GL, Warren III GL, Prior BM. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol.* 1996; 81(5):2173-81.

Judge LW, Moreau C, Burke JR. Neural adaptations with sport-specific resistance training in highly skilled athletes. *J Sports Sci.* 2003;21:419–27.

Kellis E, Baltzopoulos V. Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:1616-23.

Kellis, E, Baltzopoulos V. The effects of antagonist muscle force on intersegmental loading during isokinetic efforts of the knee extensors. *J Biomech.* 1999;32:19-25.

Kellis E, Katis A. Quantification of functional knee flexor to extensor moment ratio using isokinetics and electromyography. *J Athl Train.* 2007;42(4):477-85.

Kjær M. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiol Rev.* 2004;84:649–98.

Kleissen RFM, Buurke JH, Harlaar J, Zilvold G. Electromyography in the biomechanical analysis of human movement and its clinical application. *Gait & Posture.* 1998; 8:143-58.

Knight CA, Kamen G. Adaptations in muscular activation of the knee extensor muscles with strength training in young and older adults. *J Electromyogr Kinesiol.* 2001;11:405-12.

Komi PV, Linnamo V, Silventoinen P, Sillanpaa M. Force and EMG power spectrum during eccentric and concentric actions. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(10):1757–62.

Konishi Y, Konishi H, Fukubayashi T. Gamma loop dysfunction in quadriceps contralateral side in patients with ruptured ACL. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2003;35(6): 897-900.

Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, Fleck SJ, Franklin B, Fry AC, Hoffman JR, Newton RU, Potteiger R, Stone MH, Ratamess NA, Triplett-McBride T. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:364-80.

- Kumar S, Mital A. *electromyography in ergonomics*. London: Taylor and Francis, 1996.
- Kyrolainen H, Komi PV, Belli A. Mechanical efficiency in athletes during running. *Scand J Med Sci Sports*. 1995;5:200-8.
- Larsson B, Karlsson S, Eriksson M, Gerdle B. Test–retest reliability of EMG and peak torque during repetitive maximum concentric knee extensions. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003;13:281–7.
- LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, Snyder-Mackler L, Reich T, Lindstedt SL. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. *J Orthop Sports Ther*. 2003;33:557-71.
- Lieber RL. *Skeletal muscle: structure, function and plasticity – the physiological basis of rehabilitation*. 2 ed. Baltimore: Williams & Williams, 2002.
- Linnamo V, Strojnik V, Komi PV. EMG power spectrum and features of the superimposed M-wave during voluntary eccentric and concentric actions at different activation levels. *Eur J Appl Physiol*. 2002;86:534–40.
- Luttmann A, Jager M, Sokeland J, Laurig W. Electromyographical study on surgeons in urology II: determination of muscular fatigue. *Ergonomics*. 1996;39(2):298-313.
- Manskea RC, Smitha BS, Rogers ME, Wyatt FB. Closed kinetic chain (linear) isokinetic testing: relationships to functional testing *Isokinetics Exerc Sci*. 2003;11:171–9.
- McCarthy JP, Pozniak MA, Agre JC. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(3):511-9.
- Miller JP, Croce RV. Effect of movement velocity and movement pattern on the root mean square and the median frequency of the electromyographic activity of the quadriceps during isokinetic testing. *Isokinetics Exer Sci*. 2002;10:193–8.
- Nakajima M, Kawamura K, Takeda I. Electromyographic analysis of a modified maneuver for quadriceps femoris muscle setting with co-contraction of the hamstrings. *J Orthop Res*. 2003;21:559–64.
- Pincivero DM, Coelho AJ, Campy RM, Salfetnikov Y, Suter E. Knee extensor torque and quadriceps femoris EMG during perceptually-guided isometric contractions . *J Electromyogr Kinesiol*. v. 13, p. 159–167, 2003.
- Pincivero DM, Salfetnikov Y, Campy RM, Coelho AJ. Angle- and gender-specific quadriceps femoris muscle recruitment and knee extensor torque. *J Biomech*. 2004;37:1689–97.
- Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol*. 2001;573(2):333-45.
- Rabita G, Pérot C, Linsel-Corbeil G. Differential effect of knee extension isometric training on the different muscles of the quadriceps femoris in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2000;83:531-8.

- Rosene JM, Forgarty TD, Mahaffey BL. Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *J Athl Train*. 2001;36(4):378-83.
- Schmitz RJ, Westwood KC. Knee extensor electromyographic activity-to-work ratio is greater with isotonic than isokinetic contractions. *J Athl Train*. 2001;36(4):384-7.
- Seger JY, Arvidsson B, Thorstensson A. Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *Eur J Appl Physiol*. 1998;79:49-57.
- Seger JY, Thorstensson A. Muscle strength and myoelectric activity in prepubertal and adult males and females. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994;69:81-7.
- Seger JY, Thorstensson A. Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. *Int J Sports Med*. 2005;26(1):45-52.
- SENIAM: European recommendations for surface electromyography. Roessingh Research and Development, Enschede, The Netherlands, 1999.
- Shields RK, Madhavan S, Gregg E, Leitch J, Petersen B, Salata S, Wallerich S. Neuromuscular control of the knee during a resisted single-limb squat exercise. *Am J Sports Med*. 2005;33(10):1520-6.
- Soderberg GL, Knutson LM. A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. *Phys Ther*. 2000;80(5):485-98.
- Stegeman DF, Blok JH, Hermes HJ, Roeleveld K. Surface EMG models: properties and applications. *J Electromyogr Kinesiol*. 2000;10:313-26.
- Suzuki H, Conwit RA, Stashuk D, Santarsiero L, Metter EJ. Relationships between surface-detected EMG signals and motor unit activation. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(9):1509-17.
- Tomiya A, Aizawa T, Nagatomi R, Sensu, H, Kokubun S. Myofibers Express IL-6 after eccentric exercise. *Am J Sports Med*. 2004;32(2):503-8.
- Tourny-Chollet C, Leroy D. Conventional vs. dynamic hamstrin-quadriceps strength ratios: a comparison between players and sedentary subjects. *Isokinetics Exerc Sci*. 2002;10:183-92.
- Urabe Y, Kobayashi R, Sumida S, Tanaka K, Yoshida N, Nishiwaki GA, Tsutsumi E, Ochi M. Electromyographic analysis of the knee during jump landing in male and female athletes. *Knee*. 2005;12:129-34.
- Von Porat A, Henriksson M, Holmström E, Roos EM. Knee kinematics and kinetics in former soccer players with a 16-year-old ACL injury – the effects of twelve weeks of knee-specific training. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2007;8(35):1-10.
- Wilk KE, Arrigo CA, Andrews JR. Standardized isokinetic testing protocol for the throwing shoulder: the throwers series. *Isokinetics Exerc Sci*. 1991;1:63-71.

Williams GN, Barrance PJ, Snyder-mackler L, Buchanan TS. Altered quadriceps control in people with anterior cruciate ligament deficiency. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004;36(7):1089-97.

Wilmore JH, Costill AL. *Fisiologia do esporte*. 2 ed. Barueri: Manole, 2001.

Wojtys EM, Ashton-Miller JA, Huston LJ. A gender-related difference in the contribution of the knee musculature to sagittal-plane shear stiffness in subjects with similar knee laxity. *J Bone Joint Surg.* 2002;84(A):10-6.

Youdas JW, Hollman JH, Hitchcock JR, Hoyne GJ, Johnsen JJ. Comparison of hamstring and quadriceps femoris electromyographic activity between men and women during a single-limb squat on both a stable and labile surface. *J Strength Cond Res.* 2007;21(1): 105-11.

Table 1 – Peak torque means of the extensors and flexors, before and after eccentric training of knee extensors, normalized for body weight

Contraction Modes	Extensors (Nm)			Flexors (Nm)		
	Pre-training	Post-training	Paired t-test	Pre-training	Post-training	Paired t-test
Isometric	324.0 ± 55.6	383.4 ± 54.3	< 0.01	160.1 ± 38.1	168.8 ± 40.4	0.07
Eccentric 30°/s	387.3 ± 78.0*	502.0 ± 55.8**	< 0.01	192.5 ± 37.9*	200.5 ± 32.9*	0.13
Eccentric 120°/s	344.0 ± 67.6	406.6 ± 75.4	< 0.01	186.2 ± 37.3	188.6 ± 37.9	0.67

* = p<0.05, compared to the isometric contraction (before and after training);

** = p<0.01, compared to the isometric contraction and the eccentric contraction at 120°/s (after training).

Table 2 – Hamstring/Quadriceps torque ratio before and after eccentric isokinetic training of the knee extensors

Contraction Modes	H/Q Ratio (%)			
	Pre-training	Post-training	Paired t-test	Difference (%)
Isometric	49.8 ± 8.3	45.1 ± 7.8	<0.01	10
Eccentric 30°/s	50.4 ± 7.5	40.3 ± 7.0**	<0.01	20
Eccentric 120°/s	54.8 ± 10.3*	47.7 ± 12.3	<0.01	13

* = p<0.05, compared to the isometric H/Q ratio (before training);

** = p<0.01, compared to the isometric H/Q ratio and eccentric at 120°/s H/Q ratio (after training);

Table 3 – Normalized *Root Mean Square* (RMS) of surface EMG of the extensor and flexor knee muscles before and after eccentric isokinetic training of the knee extensors

Muscles/ Contraction Modes	Pre-training	Post-training
Extensors		
<i>Isometric</i>		
VMO	1.33 ± 0.08	1.31 ± 0.06
VLL	1.33 ± 0.07	1.31 ± 0.06
RF	1.29 ± 0.03	1.38 ± 0.03
<i>Eccentric at 30°/s</i>		
VMO	0.20 ± 0.04*	0.21 ± 0.04*
VLL	0.19 ± 0.03*	0.21 ± 0.03*
RF	0.21 ± 0.03*	0.22 ± 0.03*
<i>Eccentric at 120°/s</i>		
VMO	0.26 ± 0.03*◇	0.27 ± 0.04*◇
VLL	0.25 ± 0.03*◇	0.27 ± 0.03*◇
RF	0.26 ± 0.03*◇	0.28 ± 0.03*◇
Flexors		
<i>Isometric</i>		
ST	1.27 ± 0.03	1.26 ± 0.03
BF	1.32 ± 0.05	1.30 ± 0.04
<i>Eccentric at 30°/s</i>		
ST	0.23 ± 0.04*	0.25 ± 0.03*
BF	0.19 ± 0.03*	0.21 ± 0.03*
<i>Eccentric at 120°/s</i>		
ST	0.28 ± 0.05*◇	0.29 ± 0.04*◇
BF	0.24 ± 0.04*◇	0.25 ± 0.04*◇

* = p<0.01 compared to the isometric mode; ◇ = p<0.05, compared to the eccentric mode at 30°/s.

Table 4 – Correlation between the peak torque means and the surface EMG of the knee extensors and flexors before and after eccentric isokinetic training of the knee extensors

Mucles/Contraction Modes	Pre-training (r)	Post-training (r)
<i>Extensors</i>		
PTM_ versus_ Isometric EMG	0.01	-0.13
PTM_ versus_ Eccentric EMG_ at 30°/s	-0.13	0.13
PTM_ versus_ Eccentric EMG_ at 120°/s	0.26	0.10
<i>Flexors</i>		
PTM_ versus_ Isometric EMG	0.11	0.08
PTM_ versus_ Eccentric EMG_ at 30°/s	-0.23	-0.38
PTM_ versus_ Eccentric EMG_ at 120°/s	-0.16	-0.09

r = correlation index.

Table 5 – Comparison of the H/Q surface EMG ratio before and after eccentric training in each mode of contraction

Contraction Modes	H/Q EMG Ratio (%)		
	Pre-training	Post-training	Paired t-test
Isometric	0.98 ± 0.04	0.98 ± 0.04	0.741
Eccentric at 30°/s	1.06 ± 0.18	1.09 ± 0.18	0.634
Eccentric at 120°/s	1.00 ± 0.14	1.00 ± 0.15	0.865

APÊNDICE D

Ficha de Avaliação Funcional

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA
Laboratório de Plasticidade do Músculo Esquelético

Registro nº _____

Voluntário: _____

Avaliação: _____ Dominância: _____ Fone: _____

FICHA DE AVALIAÇÃO FUNCIONAL

1 – Testes de Agilidade

	Eventos	Distância (m)	Tempo (s)
1	Corrida em linha reta	6 m	
2	Deslocamento lateral	6 m	
3	Carioca	6 m	
4	Corrida diagonal (zig-zag)	30 m	
5	Figura em 8	4 m	

2 – Testes de Impulsão

Saltos simples	1º Salto (m)	2º Salto (m)	3º Salto (m)	Média (m)
MID				
MIE				

Saltos triplo	1º Salto (m)	2º Salto (m)	3º Salto (m)	Média (m)
MID				
MIE				

São Carlos, ____ / ____ / _____

APÊNDICE E

Ficha de Avaliação Funcional (Estudo LCA)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA
Laboratório de Plasticidade do Músculo Esquelético

FICHA DE AVALIAÇÃO FUNCIONAL

Nome: _____

Telefone: _____ Membro Acometido: Esq. () Dir. ()

Avaliação: Inicial () Final ()

2.2 - Testes Funcionais (Saltos)

Simples	1ª Tentativa (m)	2ª Tentativa (m)	3ª Tentativa (m)	Média (m)
MNAcom				
MAcom				

Triplo	1ª Tentativa (m)	2ª Tentativa (m)	3ª Tentativa (m)	Média (m)
MNAcom				
MAcom				

Cruzado	1ª Tentativa (s)	2ª Tentativa (s)	3ª Tentativa (s)	Média (s)
MNAcom				
MAcom				

Figura 8	1ª Tentativa (s)	2ª Tentativa (s)	3ª Tentativa (s)	Média (s)
MNAcom				
MAcom				

São Carlos, ____/____/____

APÊNDICE F

Ficha de Avaliação Clínica (Estudo LCA)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA
Laboratório de Plasticidade do Músculo Esquelético

FICHA DE AVALIAÇÃO CLÍNICA

Nome: _____

End: _____

_____ Telefone: _____

1. Membro Acometido: Esq. () Dir. ()

2. Causa da lesão: _____

3. Tempo de lesão: _____

4. Tempo lesão/cirurgia: _____

5. Lesão associada: _____

6. Exame de imagem: _____

7. Tempo de cirurgia: _____

8. Técnica cirúrgica: _____

9. Intercorrências: _____

10. Tempo cirurgia/fisioterapia: _____

11. Tempo de tratamento fisioterapêutico: _____

12. Frequência: _____ X semana

13. Tempo pós-tratamento: _____

14. Cirurgião: _____

15. Prática desportiva: _____

16. Dor: () sim () não / Edema: () sim () não / Falseio: () sim () não

São Carlos, _____ / _____ / _____