



Análise da freqüência mediana do sinal eletromiográfico de indivíduos com lesão do ligamento cruzado anterior em exercícios isométricos de cadeia cinética aberta e fechada

Leticia Maciel Pizzato¹, Juliano Coelho Arakaki², Rodrigo Antunes Vasconcelos², Guilherme de Carvalho Sposito¹, Anamaria Siriani de Oliveira³, Cleber J. Paccola⁴ e Débora Bevilaqua Grossi³

RESUMO

Indivíduos com lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) possuem importantes alterações funcionais na musculatura periarticular do joelho. Sendo assim, é de suma importância caracterizar tais alterações, bem como enfatizar um efetivo protocolo de reabilitação para esses indivíduos, com consequente retorno às atividades físicas. O objetivo deste estudo foi analisar o comportamento da freqüência mediana (Fmed) em indivíduos com lesão do LCA durante contrações isométricas em exercícios de cadeia cinética aberta (CCA) e fechada (CCF). Entre lesados e não lesados, 40 indivíduos realizaram a extensão do joelho através da contração isométrica voluntária máxima (CIVM) nos aparelhos *leg extension* e *leg press* a 30°, 60° e 90° de flexão do joelho. Os resultados revelaram valores da Fmed menores para indivíduos com lesão do LCA quando comparados com o membro contralateral e grupo controle em CCA ($p < 0,05$). Já exercícios em CCF não apresentaram diferença estatística significativa ($p > 0,05$) na comparação entre os grupos, não evidenciando esse tipo de lesão. Portanto, a Fmed parece ser uma ferramenta eletromiográfica eficaz na caracterização da lesão crônica do LCA. Além disso, exercícios em CCF parecem ser os mais indicados para a reabilitação desses indivíduos.

ABSTRACT

Analysis of the medium frequency of the electromyographic signal of individuals with lesion of the anterior cruciate ligament in isometric exercises of open and closed kinetic chain

Subjects with injury of the anterior cruciate ligament (ACL) have shown relevant functional alterations in the knee muscles. Therefore, it is extremely important to characterize these alterations, as well as to emphasize an efficient rehabilitation protocol for these subjects and consequently return them to physical activities. The purpose of this study was to investigate the medium frequency (Fmed) of the electromyographic signal in ACL subjects with lesions during isometric exercises in open (OKC) and closed kinetic chain (CKC). Forty subjects (with and without lesion) performed knee extension during maximal voluntary isometric contraction on Leg Extension and Leg Press at 30°, 60° and 90° of knee flexion. The results showed smaller Fmed values for ACL deficient sub-

Palavras-chave: Joelho. Eletromiografia. Reabilitação.

Keywords: Knee. Electromyography. Rehabilitation.

Palabras-clave: Rodilla. Electro miografía. Rehabilitación.

jects when compared with counter lateral and control groups in OKC exercises ($p < 0,05$). However, there was not significant difference in CKC exercises between groups ($p > 0,05$), not showing thus, this kind of injury. Therefore, the Fmed can be considered an efficient tool in the LCA injury characterization. Moreover, CKC exercises seem to be the best alternative for rehabilitation of the ACL deficient subjects.

RESUMEN

Análisis de la frecuencia media de la señal electromiográfica de individuos con lesión del ligamento cruzado anterior en ejercicios isométricos de cadena cinética abierta cerrada

Individuos con lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) poseen importantes alteraciones funcionales en la musculatura periarticular de la rodilla. Siendo así, es de suma importancia caracterizar tales alteraciones, así como enfatizar un efectivo protocolo de rehabilitación para estos individuos para que puedan retornar a las actividades físicas. El objetivo de este estudio ha sido el de analizar el comportamiento de la frecuencia mediana (Fmed) en individuos con lesión de LCA durante contracciones isométricas en ejercicios de cadena cinética abierta (CCA) y cerrada (CCC). 40 individuos, entre lesionados y no lesionados, realizaron extensión de la rodilla a través de contracción isométrica voluntaria máxima (CIVM) en los aparatos *leg extension* y *leg press* a 30°, 60° y 90° de flexión de la rodilla. Los resultados revelaron valores de Fmed menores para individuos con lesión cuando al ser comparados con el miembro contra lateral y el grupo control en CCA ($p < 0,05$). Por otro lado, ejercicios en CCC no presentaron diferencia estadística significativa ($p > 0,05$) al compararse entre los grupos, no dando evidencia de este tipo de lesión. Por lo tanto, Fmed parece ser una herramienta electromiográfica eficaz en la caracterización de la lesión crónica de LCA. Además de esto los ejercicios en CCF parecen ser los más indicados para la rehabilitación de estos individuos.

INTRODUÇÃO

A lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) é uma das mais comuns e sérias lesões durante a realização de atividades físicas⁽¹⁾. Com a ruptura do LCA ocorre uma instabilidade na articulação do joelho com uma excessiva rotação interna e translação anterior da tíbia, principalmente nos últimos graus de extensão, causando limitações nas atividades de vida diária e esportiva desses indivíduos⁽²⁻³⁾. A fim de compensar a perda da estabilidade torna-se essencial o papel da musculatura periarticular, uma vez que a estabilidade articular do joelho depende da combinação entre tensão ligamentar, congruência entre as superfícies articulares e contração da musculatura periarticular⁽³⁻⁴⁾.

1. Graduanda em Fisioterapia pela FMRP-USP.

2. Fisioterapeuta. Mestre em Ortopedia, Traumatologia e Reabilitação do Aparelho Locomotor FMRP-USP.

3. Fisioterapeuta. Professora Doutora do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor.

4. Médico. Professor Doutor do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor.

Recebido em 4/7/05. Versão corrigida recebida em 22/9/05. Aceito em 22/5/06.

Endereço para correspondência: Débora Bevilaqua-Grossi, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto-USP, Campus Universitário – 14049-900 – Ribeirão Preto, SP – Brasil. Tel./fax: (16) 602-4413/633-0336. E-mail: debo-rabg@fmrp.usp.br

Vários estudos enfatizaram o importante papel da musculatura na estabilização da articulação do joelho, principalmente em indivíduos com lesão do LCA, demonstrando o seu papel na estabilidade articular^(3,5-7).

As principais alterações funcionais em indivíduos com lesão do LCA são a perda da força e a redução do padrão de atividade voluntária muscular, sendo estas alterações mais evidentes no músculo quadríceps da coxa (QC)⁽⁸⁻¹⁰⁾. Quando o LCA é rompido a lesão afeta não só a estabilidade ligamentar como também a *performance* neuromuscular, com conseqüente fraqueza do músculo QC devido à perda de mecanorreceptores nele localizados. Esta ausência dos receptores suprime o recrutamento das unidades motoras durante a contração voluntária e este bloqueio da aferência sensorial resulta na inativação da musculatura periarticular^(8-9,11).

Williams *et al.*⁽⁹⁾ observaram, através da eletromiografia de superfície (SEMG), diminuição na ativação muscular voluntária do músculo QC em indivíduos com lesão do LCA comparados com indivíduos sem lesão durante realização de exercícios estáticos e dinâmicos. Posteriormente, os mesmos autores verificaram fraqueza e atrofia significativa do músculo quadríceps em indivíduos com lesão unilateral do LCA, comparando os membros lesado e contralateral e falha na ativação voluntária em ambos os grupos⁽¹⁰⁾.

O objetivo dos protocolos de reabilitação são a restauração da força muscular, restabelecimento da mobilidade articular, normalização do controle neuromuscular e retorno aos esportes com níveis similares aos dos períodos prévios à lesão. Esses objetivos são baseados em conhecimentos contínuos dos déficits funcionais dos membros inferiores em pacientes com lesão do LCA, uma vez que o fortalecimento muscular pré-operatório facilita o retorno precoce aos esportes após o procedimento cirúrgico de reconstrução ligamentar⁽¹²⁻¹³⁾, através da combinação de exercícios em cadeia cinética aberta (CCA) e fechada (CCF), objetivando o retorno da força muscular⁽¹⁴⁻¹⁵⁾.

Mikkelsen *et al.*⁽¹⁴⁾ observaram uma recuperação mais rápida, em pacientes pós-reconstrução de LCA, combinando CCA e CCF, quando comparados com exercícios isolados em CCF. Ross *et al.*⁽¹⁵⁾ mostraram que a combinação de CCA e CCF pode ser usada na reabilitação pós-reconstrução do LCA sem causar excessiva tensão no ligamento e estresse na articulação patelofemoral.

Tais exercícios têm sido avaliados através da análise do RMS do sinal SEMG para verificar o padrão de ativação voluntária dos músculos do joelho, tanto em indivíduos normais como em indivíduos com lesão do LCA⁽¹⁶⁻¹⁹⁾. No entanto, a SEMG apresenta outras ferramentas que têm sido pouco exploradas na literatura que analisa indivíduos com lesão do LCA, como a frequência mediana (Fmed). A Fmed do sinal eletromiográfico é uma variável que divide o espectro de potência em duas regiões iguais⁽²⁰⁾, podendo ser utilizada para a detecção de fadiga muscular fisiológica⁽²¹⁾ e atrofia de fibra tipo II⁽²²⁾, com conseqüente variação na velocidade de condução na fibra muscular⁽²³⁾.

Além disso, a Fmed depende da característica muscular, ou seja, do tipo de fibra predominante em cada músculo. Para o músculo VL parece haver uma relação diretamente proporcional entre o aumento do torque, intensidade da contração e a Fmed, encontrando altos valores da Fmed com o aumento da intensidade da contração durante poucos segundos de esforço em indivíduos normais⁽²⁴⁾.

Por outro lado, diferentes autores verificaram a redução da Fmed nos músculos da coxa utilizando ou não protocolos de fadiga^(21-22,25-27).

McHugh *et al.*⁽²¹⁾, ao pesquisarem a Fmed em indivíduos com lesão do LCA pré e pós-operatório, encontraram uma pronunciada redução da Fmed durante contração isométrica no membro lesado comparado com o membro contralateral durante a realização de um protocolo de fadiga. Mesmo sem realizar um protocolo de fadiga, McNair e Wood⁽²²⁾ também encontraram significante redu-

ção da Fmed em indivíduos com lesão do LCA durante contração isométrica.

Portanto, os estudos revelaram que a Fmed é influenciada pela lesão do LCA e que os protocolos de reabilitação são designados à combinação de diferentes tipos de exercícios. Porém, estudos analisando a Fmed têm se voltado mais para a realização de exercícios em CCA e não está estabelecido o comportamento da Fmed em CCF em indivíduos com lesão do LCA.

Um melhor entendimento do comportamento da Fmed pode nos orientar quanto ao modo mais efetivo de reabilitação.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar o comportamento da Fmed do sinal eletromiográfico de indivíduos com lesão do LCA em exercícios isométricos de CCA e CCF.

MÉTODOS

Amostra

Participaram deste estudo 40 voluntários do sexo masculino (31,1 ± 7,45 anos, 174 ± 6,65cm de altura). Vinte indivíduos com lesão unilateral do LCA e 20 indivíduos sem lesão do LCA. O grupo de indivíduos com lesão do LCA foi subdividido em dois grupos de 20 voluntários cada: LCA lesado (LCA) e contralateral ao LCA lesado (LCA-C). O grupo sem lesão, grupo controle, foi dividido também em dois subgrupos: controle dominante (AD) e controle não-dominante (AND).

Os voluntários foram informados sobre os objetivos do trabalho e assinaram o termo de consentimento formal e livre esclarecido aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa em Seres Humanos do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (HCFMRP-USP). A triagem dos voluntários com lesão do LCA foi realizada no ambulatório de joelho do HCFMRP-USP. A lesão ainda foi confirmada através da realização de exames clínicos e da positividade dos testes específicos de gaveta anterior, *pivot shift* e Lachman.

Como critérios de inclusão foram adotados: lesão unilateral do LCA, membro contralateral sadio e tempo de lesão maior que seis meses. Foram excluídos do estudo voluntários que apresentavam lesões bilaterais do LCA, fraturas em membros inferiores, lesões ligamentares combinadas, dor, bloqueio articular, cirurgias prévias.

Instrumentação

Para a realização dos esforços isométricos de extensão da perna foi utilizado o aparelho de CCA *Leg extension* (Queens®, São Paulo, Brasil) e o aparelho de CCF *Leg press* (Nakagym®, São Paulo, Brasil).

A captação mioelétrica foi realizada por eletrodos ativos de superfície simples diferenciais (EMG System do Brasil®, São José dos Campos, Brasil), composto por duas barras retangulares de 10 x 2mm paralelas, de prata pura, espaçadas por 10mm e fixadas em um encapsulado de resina acrílica de 20 x 41 x 5mm. Esses eletrodos apresentavam impedância de entrada maior que 10GΩ, CMRR mínimo de 130dB e ganho de 20 vezes.

A análise do sinal SEMG foi feita através de um módulo condicionador de sinais de oito canais e placa conversora analógico/digital de 12 bites de resolução de faixa dinâmica da frequência de amostragem de 1KHz (*Myosystem Br-1*, Prosecon®, Uberlândia, Brasil). Esse condicionador de sinais apresenta filtro analógico de segunda ordem do tipo Butterworth, de passa-baixas de 500Hz e passa-altas de 20Hz.

Para auxiliar na redução do ruído de aquisição foi utilizado um eletrodo de referência circular de aço inoxidável que foi fixado na tuberosidade anterior da tibia do membro a ser testado com gel e esparadrapo.

Protocolo experimental

Para o aquecimento os voluntários realizaram alternadamente três séries de 30 segundos de alongamentos musculares ativos



Figura 1 – Posicionamento em cadeia cinética aberta (CCA)



Figura 2 – Posicionamento em cadeia cinética fechada (CCF)

para os músculos quadríceps e isquiotibiais seguido de três séries de 20 repetições de contrações submáximas no aparelho de CCA com intervalos de dois minutos entre as séries.

Posteriormente foi realizada a demarcação dos locais de posicionamento dos eletrodos de SEMG. Os posicionamentos dos eletrodos de SEMG foram feitos de acordo com Bevilaqua Grossi *et al.*⁽²⁸⁾, para os músculos vasto lateral longo (VLL), reto da coxa (RC), vasto medial oblíquo (VMO) e de acordo com as normas do SENIAM⁽²⁹⁾ para os músculos bíceps da coxa (BC) e semitendinoso (ST).

Os voluntários foram devidamente posicionados sentados na cadeira do *leg extension*, com apoio posterior de tronco, 100° de flexão de quadril, 90° de flexão do joelho, membros superiores paralelos ao tronco e o membro que não estava sendo testado permaneceu relaxado ou em posição de conforto do voluntário. Os voluntários foram presos ao aparelho a fim de evitar movimentos compensatórios durante os esforços em extensão da perna (figura 1). Para esforços em CCF, os voluntários foram devidamente posicionados sentados na cadeira do *leg press* com os membros superiores paralelos ao tronco. O membro a ser testado foi alinhado em uma linha imaginária entre a espinha íliaca ântero-superior-côndilo femoral lateral-maléolo fibular para evitar movimentos compensatórios de rotação, abdução e adução de quadril. O pé do membro a ser testado foi posicionado na plataforma de resistência com o ângulo tibiotársico a 90°. O membro que não estava sendo testado permaneceu relaxado ou em posição de conforto do voluntário (figura 2).

O voluntário foi instruído a realizar o movimento de extensão da perna durante sete segundos de CIVM para os ângulos 30°, 60° e 90°. Foram realizadas três repetições da CIVM de extensão para cada ângulo analisado e intervalo de dois minutos foi dado para cada voluntário entre as contrações para evitar os efeitos da fadiga muscular.

A ordem dos ângulos, aparelhos e membro a ser testado foi aleatória.

Análise dos dados da Fmed SEMG

Os sinais SEMG brutos foram processados digitalmente, sendo analisado os cinco segundos finais de cada CIVM e filtrados com filtro passa-baixas de 20-500Hz. A normalização dos dados da Fmed em cada angulação foi realizada através da CIVM de extensão do joelho a 50° de flexão para os ventres do músculo quadríceps, tanto em CCA como em CCF. Já para os ventres do músculo isquiotibial, a normalização foi realizada através da CIVM de flexão do joelho a 30° de flexão em CCA.

Análise estatística

Utilizou-se o método da análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas e a técnica de formação de contrastes, quando necessário, para a comparação entre os grupos nos diferentes tipos de exercícios, CCA e CCF. Adotou-se como nível de significância $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Ao compararmos grupo controle dominante e grupo controle não-dominante, não foi observada diferença estatística significativa; sendo assim, serão considerados como um único grupo controle (A) ($p > 0,05$).

Durante a realização de exercícios em CCA, os resultados revelaram valores da Fmed menores para o grupo LCA em relação aos demais grupos. Nos exercícios em CCF, por sua vez, não evidenciaram diferença estatística para os valores da Fmed em relação aos músculos avaliados entre os diferentes grupos estudados ($p > 0,05$) (tabela 1).

TABELA 1
Valores normalizados da Fmed de todos os grupos e músculos nos exercícios de cadeia cinética aberta (CCA) e fechada (CCF)

	CCA			CCF		
	LCA	LCA-C	A	LCA	LCA-C	A
VLL	99,38 ± 13,30*	106,17 ± 11,77	101,66 ± 13,15	99,23 ± 12,24	103,16 ± 20,80	98,02 ± 14,41
RC	95,74 ± 12,02*	103,33 ± 14,15**	98,21 ± 13,49	103,06 ± 17,75	110,72 ± 33,44	107,46 ± 20,81
VMO	105,64 ± 22,01	103,38 ± 21,45	105,11 ± 19,34	96,84 ± 14,76	92,18 ± 16,68	95,51 ± 17,43
BC	87,43 ± 25,43**	89,59 ± 27,65	106,5 ± 20,16	84,86 ± 19,88	78,29 ± 19,88	90,13 ± 15,31
ST	80,29 ± 27,64	87,70 ± 29,49	87,22 ± 24,87	97,02 ± 27,31	99,32 ± 39,75	94,14 ± 30,12

VLL – vasto lateral longo, RC – reto da coxa, VMO – vasto medial oblíquo, BC – bíceps da coxa, ST – semitendinoso.

* $p \leq 0,05$ na comparação entre os grupos LCA e LCA-C. LCA – grupo LCA lesado, LCA-C – grupo contralateral a lesão do LCA.

** $p \leq 0,05$ na comparação entre os grupos LCA e A. LCA – grupo LCA lesado, A – grupo controle.

Os valores da Fmed foram significativamente menores para os músculos RC ($p = 0,02$) e VLL ($p = 0,03$) na comparação entre os grupos LCA e LCA-C (figura 3). Já na comparação entre os grupos LCA e A, houve diferença estatística significativa para os músculos RC ($p = 0,05$) e BC ($p < 0,001$) (figura 4).

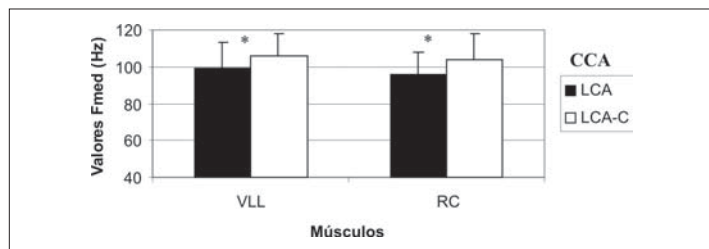


Figura 3 – Valores normalizados da Fmed dos músculos vasto lateral longo (VLL) ($p = 0,03$) e reto da coxa (RC) ($p = 0,02$) nos grupos LCA e LCA-C ($n = 20$) em cadeia cinética aberta (CCA). LCA – grupo LCA lesado, LCA-C – grupo contralateral a lesão do LCA.

* $p \leq 0,05$

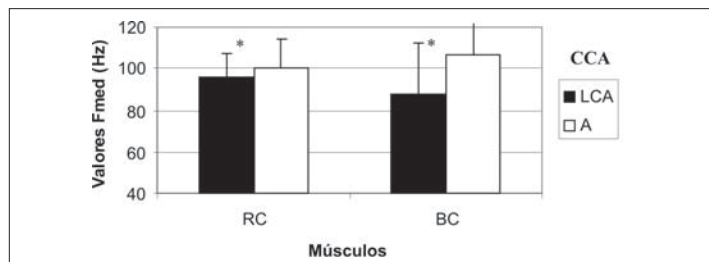


Figura 4 – Valores normalizados da Fmed dos músculos reto da coxa (RC) ($p = 0,05$) e bíceps da coxa (BC) ($p = 0,001$) nos grupos LCA e A ($n = 40$) em cadeia cinética aberta (CCA). LCA – grupo LCA lesado, A – grupo controle.

* $p \leq 0,05$

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo revelaram que a Fmed no grupo lesado apresentou valores significativamente menores quando comparado com o grupo contralateral e grupo controle para os músculos VLL, RC durante a realização de exercícios em CCA.

Estes resultados podem ser atribuídos às mudanças na ativação dos músculos da coxa de indivíduos com lesão do LCA a fim de impedir a excessiva translação anterior da tibia, que ocorre principalmente no final da extensão em CCA favorecida pela ação do músculo quadríceps. Nesta situação ocorre uma inibição recíproca deste músculo a fim de evitar o aumento do cisalhamento da tibia em relação ao fêmur⁽⁶⁻⁹⁾. Esta inibição do quadríceps pode ser atribuída ainda à perda de mecanorreceptores localizados no LCA^(8-9,11) ou atrofia de fibras tipo II⁽²³⁾. De acordo com estes resultados podemos sugerir que a Fmed pode ser um parâmetro para caracterizar a lesão do LCA, confirmando os resultados de McNair e Wood⁽²²⁾ que, ao analisarem o comportamento da Fmed no músculo VL em indivíduo com lesão do LCA, comparando membro lesado com membro contralateral sadio, encontraram significativa queda da Fmed nos membros com lesão do LCA.

Outros estudos que se propuseram a analisar o comportamento da Fmed também verificaram significativa redução da Fmed ao realizarem protocolos de indução da fadiga^(22,26-28). Esta queda foi atribuída à mudança na tipagem de fibras musculares devido ao protocolo. A proposta deste estudo foi avaliar o comportamento da Fmed em indivíduos com lesão crônica do LCA sem a utilização de um protocolo de indução à fadiga e, ainda assim, foi constatado comportamento similar entre indivíduos com e sem lesão do LCA que realizaram este protocolo de fadiga. Tais resultados reforçam a hipótese de que indivíduos com lesão crônica do LCA apresentam atrofia de fibras do tipo II no músculo quadríceps.

Não foram encontrados na literatura trabalhos que analisassem o comportamento da Fmed dos músculos quadríceps e isquiotibiais simultaneamente durante exercícios em CCA e CCF. Os resultados revelaram que, provavelmente como mecanismo compensatório, a fim de conter a excessiva rotação interna e translação anterior da tibia, a lesão do LCA pode desencadear uma maior ativação dos músculos isquiotibiais, especialmente o BC em CCA, ocasionando uma sobrecarga deste músculo devido a sua constante ativação para manter a estabilidade articular. Esta sobrecarga na lesão crônica poderia levar a mudanças na tipagem de fibras, desencadeando atrofia de fibra tipo II e resultando em uma redução da Fmed. Tal explicação pode justificar os menores valores da Fmed encontrados no músculo BC em CCA. Entretanto, são necessários mais estudos para o melhor entendimento do comportamento dos valores da Fmed dos músculos isquiotibiais em indivíduos com lesão do LCA.

Durante a realização de exercícios em CCF não foram encontradas diferenças significativas nos valores da Fmed entre os grupos. Estes resultados sugerem que exercício em CCF parece não induzir uma resposta diferente no indivíduo com lesão do LCA, isto é, o comportamento da Fmed dos músculos da coxa não foi alterado nos exercícios em CCF, diferentemente dos exercícios em CCA que, por serem mais seletivos, resultam em um maior estresse para a articulação do joelho^(2,30). Os exercícios em CCF são apontados como mais seguros devido ao menor estresse causado no LCA, menor força de cisalhamento^(2,30-31), maior estabilidade articular e por ativar não somente os músculos específicos da articulação do joelho, mas outros músculos do membro inferior^(30,32). Além disso, exercícios em CCF parecem ser similares às atividades funcionais, as quais são fundamentais para o retorno à prática esportiva e/ou atividades recreacionais⁽³¹⁾. Os resultados deste trabalho sugerem, na reabilitação de indivíduos com lesão do LCA, especialmente nas lesões iniciais, que a utilização de exercícios em CCF parece favorecer a estabilidade articular⁽³¹⁻³²⁾, minimizando os efeitos da lesão sobre a fadiga muscular, uma vez que não ocorre alteração na Fmed dos músculos da coxa.

Entre as limitações do estudo, uma variável relevante para ser utilizada juntamente com a Fmed seria a análise da força muscular. Tal recurso, além de funcionar como um *feedback* para os voluntários durante a CIVM, nos proporcionaria um melhor controle do movimento a partir da força exercida por cada voluntário, uma vez que a velocidade de condução da fibra muscular é influenciada pela força de contração. Além disso, apesar de não ser o objetivo do estudo e por ser a Fmed uma ferramenta eficiente na quantificação da fadiga muscular, um protocolo de indução à fadiga poderia ter evidenciado a diferença entre os grupos e exercícios.

CONCLUSÃO

Dentro das condições experimentais podemos concluir que a Fmed apresenta valores menores para indivíduos com lesão no LCA em CCA para os músculos VLL, RC e BC, sugerindo que a mesma é um parâmetro do sinal EMG capaz de caracterizar este tipo de lesão.

A Fmed é influenciada pelo tipo de exercício, se CCA ou CCF. Os exercícios em CCF parecem minimizar os efeitos da lesão do LCA, podendo ser mais eficientes na reabilitação destes indivíduos quando comparados com exercícios em CCA.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Análise da Postura e Movimento Humano (LAPOMH) da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto-USP pelo suporte técnico e às instituições de apoio à pesquisa, CNPq/PIBIC-USP e Fapesp – 2003/01431-3 pelo apoio financeiro.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Fu FH, Bennet CH, Lattermann C, Ma CB. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part 1: Biology and biomechanics of reconstruction. *Am J Sports Med.* 1999;27:821-30.
2. Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Wilk KE, Andrews JR. Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(4):556-69.
3. Kvist J, Gillquist J. Anterior positioning of tibia during motion after anterior cruciate ligament injury. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(7):1063-72.
4. Czerniecki J, Lippert F, Olerud JE. A biomechanical evaluation of tibiofemoral rotation in anterior cruciate ligament deficient knees during walking and running. *Am J Sports Med.* 1988;16(4):327-31.
5. Markolf KL, Graff-Radford A, Amstutz HC. In vivo knee stability. A quantitative assessment using an instrumented clinical testing apparatus. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60:664-74.
6. Williams GN, Chmielewski T, Rudolph KS, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;3:546-66.
7. Chmielewski TL, Rudolph KS, Snyder-Mackler L. Development of dynamic knee stability after acute ACL injury. *J Electromyogr Kinesiol.* 2002;12:267-74.
8. Williams GN, Barrance PJ, Snyder-Mackler L, Axe MJ, Buchanan TS. Specificity of muscle action after anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Res.* 2003;21(6):1131-7.
9. Williams GN, Barrance PJ, Snyder-Mackler L, Buchanan TS. Altered quadriceps control in people with anterior ligament deficiency. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;1089-97.
10. Williams GN, Buchanan TS, Barrance PJ, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Quadriceps weakness, atrophy, and activation failure in predicted noncopers after anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 2005;33(3):402-7.
11. 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.
12. Fitzgerald GK, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Proposed practice guidelines for non-operative anterior cruciate ligament rehabilitation of physically active individuals. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2000;30(4):194-203.
13. Tyler TF, McHugh MP. Neuromuscular rehabilitation of a female Olympic ice hockey player following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(10):577-87.
14. Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E. Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8(6):337-42.
15. Ross MD, Denegar CR, Winzenried JA. Implementation of open and closed kinetic chain quadriceps strengthening exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Strength Cond Res.* 2001;15(4):466-73.
16. Beutler AI, Cooper LW, Kirkendall DT, Garrett WE Jr. Electromyographic analysis of single-leg, closed chain exercises: implications for rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train.* 2002;37(1):13-8.
17. 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.
18. Heller BM, Pincivero DM. The effects of ACL injury on lower extremity activation during closed kinetic chain exercise. *J Sports Med Phys Fitness.* 2003;43(2):180-8.
19. Kubo K, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Activation of agonist and antagonist muscles at different joint angles during maximal isometric efforts. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91:349-52.
20. Stulen FB, De Luca CJ. Frequency parameters of the myoelectric signal as a measure of muscle conduction velocity. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1981;28(7):515-23.
21. McHugh MP, Tyler TF, Nicholas SJ, Browne MG, Gleim GW. Electromyographic analysis of quadriceps fatigue after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(1):25-32.
22. McNair PJ, Wood GA. Frequency analysis of the EMG from the quadriceps of anterior cruciate ligament deficient individuals. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 1993;33(1):43-8.
23. Kupa, et al. Effects of muscle fiber type and size on EMG median frequency and conduction velocity. *J Appl Physiol.* 1995;79:23-32.
24. Pincivero DM, Campy RM, Salfetnikov Y, Bright A, Coelho AJ. Influence of contraction intensity, muscle, and gender on median frequency of the quadriceps femoris. *J Appl Physiol.* 2001;90(3):804-10.
25. Mannion AF, Dolan P. Relationship between myoelectric and mechanical manifestations of fatigue in the quadriceps femoris muscle group. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;74(5):411-9.
26. Masuda K, Masuda T, Sadoyama T, Inaki M, Katsuta S. Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. *J Electromyogr Kinesiol.* 1999;9(1):39-46.
27. Masuda T, Kizuka T, Zhe JY, Yamada H, Saitou K, Sadoyama T, et al. Influence of contraction force and speed on muscle fiber conduction velocity during dynamic voluntary exercise. *J Electromyogr Kinesiol.* 2001;11(2):85-94.
28. Bevilacqua Grossi D, Pedro VM, Bérzin F. Análise funcional dos estabilizadores patelares. *Acta Ortopédica Brasileira.* 2004;12(2):99-104.
29. Hermes HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. European recommendations for surface electromyography – Results of the SENIAM Project. 1999.
30. Yack HJ, Collins CE, Whieldon TJ. Comparison of closed and open kinetic chain exercise in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med.* 1993;21(1):49-54.
31. Beynnon BD, Johnson RJ, Fleming BC. The science of anterior cruciate ligament rehabilitation. *Clin Orthop Relat Res.* 2002;(402):9-20.
32. Fonseca ST, Silva PLP, Ocarino JM, Guimarães RB, Oliveira MTC, Lage CA. Analyses of dynamic co-contraction level in individuals with anterior cruciate ligament injury. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14:239-47.