

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

INFLUÊNCIA DA FADIGA NO COMPORTAMENTO  
NEUROMUSCULAR DO QUADRÍCEPS FEMORAL, APÓS  
RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

**NÍCIA FARIAS BRAGA MACIEL**

NATAL - RN  
2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

INFLUÊNCIA DA FADIGA NO COMPORTAMENTO  
NEUROMUSCULAR DO QUADRÍCEPS FEMORAL, APÓS  
RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

NÍCIA FARIAS BRAGA MACIEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fisioterapia, área de concentração em Plasticidade Muscular.

Orientador: Prof. Dr. Jamilson Simões Brasileiro.

NATAL - RN  
2010

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Maciel, Nícia Farias Braga.

Influência da fadiga no comportamento neuromuscular do quadríceps femoral, após reconstrução do ligamento cruzado anterior / Nícia Farias Braga Maciel. – Natal, RN, 2010.

74 f. : il.

Orientador: Jamilson Simões Brasileiro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia.

1. Fadiga muscular – Dissertação. 2. Ligamento cruzado anterior – Dissertação. 3. Comportamento neuromuscular – Dissertação. I. Brasileiro, Jamilson Simões. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 612.744(043.2)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

INFLUÊNCIA DA FADIGA NO COMPORTAMENTO  
NEUROMUSCULAR DO QUADRÍCEPS FEMORAL, APÓS  
RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia:  
Prof. Ricardo Oliveira Guerra

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

INFLUÊNCIA DA FADIGA NO COMPORTAMENTO  
NEUROMUSCULAR DO QUADRÍCEPS FEMORAL, APÓS  
RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jamilson Simões Brasileiro - Presidente - UFRN  
Prof. Dr. Rinaldo Roberto de Jesus Guirro - USP  
Prof. Dr. José Jamacy de Almeida Ferreira - UFPB

Aprovada em

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Paulo Braga e Maria Farias, por serem meus maiores incentivadores.

Ao meu sogro, Geraldo Maciel, por sua bela história de vida.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, primeiramente, por me conceder uma vida repleta de felicidade e paz.

Ao meu orientador, Jamilson Simões Brasileiro, por ser um grande exemplo como docente e pesquisador. Sua forma suave de passar informações tão importantes me encanta e me incentiva a lecionar.

Aos meus pais amados, Paulo Braga e Maria Farias, por serem minha maior fonte de inspiração.

Ao meu querido marido, Murilo Maciel, por sua compreensão e amor.

Ao meu irmão, Paulo Farias, pela nossa união e carinho.

A minha querida amiga, Maria Isabel Noronha Neta, pelo simples fato de que tudo em Natal teria sido mais difícil e sem graça se eu não tivesse dito sua amizade.

A minha amiga Denise Dal’Ava por ser uma grande companheira em todos os momentos do mestrado.

A todo o pessoal da Base, em especial, Paulinha, Ariane, Rafaela e Ivy, pelas ajudas durante as coletas.

A minha amiga, Ana Carolina Patrício, por ter sido meu grande apoio em todo o período do mestrado.

Às minhas amigas, Aline Falcão e Karynna por ter me proporcionado bons momentos em Natal.

Aos meus amigos paraibanos, Fábio, Carol, Thayse e Viviane, pelas aventuras que passamos juntos no primeiro ano do mestrado.



Ao meu orientador de graduação, Dimitri Taurino Guedes, por me ensinar os primeiros passos para ser uma pesquisadora.

Aos professores Wouber Hericsson e Fábio Serrão, por suas contribuições dadas durante a banca de qualificação.

Aos professores José Jamacy Ferreira e Rinaldo Guirro pela disponibilidade de participação da defesa dessa dissertação, acrescentado valiosas informações.

Aos professores do mestrado em fisioterapia, em especial, Ricardo Guerra e Ana Raquel por contribuírem com minha formação.

Aos funcionários do Departamento de Fisioterapia da UFRN, em especial, Patrícia, Marcão, João e Eudione, pela constante disponibilidade em ajudar.

Ao Dr. Manoel Genn, pela disponibilidade de encaminhamento dos seus pacientes.

Aos voluntários dessa pesquisa, porque sem vocês, nada teria sido realizado.

A REUNI-Capes, pelo apoio financeiro e por me permitir a introdução à docência.

## RESUMO

A fadiga muscular é um fenômeno que envolve distúrbios fisiológicos e biomecânicos. A análise de suas alterações, em indivíduos saudáveis, possui grande importância na prevenção de lesões, mas pouco se sabe sobre suas repercussões em pacientes após reconstrução do LCA. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da fadiga no comportamento neuromuscular do quadríceps femoral de indivíduos após reconstrução do LCA. Para tanto, participaram deste estudo quarenta homens, sendo vinte saudáveis ( $26,90 \pm 6,29$  anos) e vinte após reconstrução de LCA ( $29,75 \pm 7,01$  anos) com enxerto dos tendões semitendinoso e grácil, entre 4 a 6 meses de pós-operatório. Em princípio, realizou-se uma avaliação do senso de posição articular (SPA) ativo, no dinamômetro isocinético, a uma velocidade de  $5^\circ/s$  e ângulo-alvo de  $45^\circ$ , sendo a variável analisada o seu erro absoluto. Em seguida, aplicou-se uma avaliação isométrica máxima em extensão do joelho, a  $60^\circ$  de flexão, por 10 segundos e um protocolo de fadiga muscular, sendo executadas 100 repetições isocinéticas concêntricas de flexo-extensão do joelho a  $90^\circ/s$ . Concomitantemente a esse protocolo, realizou-se a avaliação do desempenho muscular, observando o pico de torque (PT), o índice de fadiga (IFD) e a atividade eletromiográfica (Root Mean Square - RMS e frequência mediana - Fm). Por fim, repetiu-se a avaliação da SPA. As avaliações detectaram que pacientes após reconstrução do LCA apresentaram, ainda em condições pré-fadiga, o SPA alterado quando comparado com indivíduos saudáveis e que quando fatigados, ambos possuíam distúrbios no SPA, sendo que essa alteração foi significativamente mais exacerbada em pacientes após reconstrução de LCA. Quanto ao desempenho muscular, constatou-se que esses pacientes apresentam um menor PT, RMS e Fm quando comparado ao grupo controle, mas não possuem diferenças quanto ao índice de fadiga, dado pela Fm e pela dinamometria. Ademais, constatou-se que as variáveis isocinéticas e eletromiográficas, em sua grande maioria, apresentam correlações positivas. Os achados reforçam a necessidade dos cuidados aos pacientes após reconstrução do LCA, quando submetidos à fadiga, no que diz respeito aos riscos de instabilidade articular e sobrecarga do enxerto ligamentar.

Palavras-chave: Fadiga muscular, ligamento cruzado anterior, propriocepção e eletromiografia.

## ABSTRACT

Muscle fatigue is a phenomenon that promotes physiological and biomechanical disorders and their changes in healthy subjects have been widely studied and have significant importance for care in preventing injuries, but we do not have many information about its effects in patients after ACL reconstruction. Thus, this study is to analyze the effects of fatigue on neuromuscular behavior of quadriceps after ACL reconstruction. To reach this objective, participants were forty men, twenty healthy ( $26,90 \pm 6,29$  years) and twenty after ACL reconstruction ( $29,75 \pm 7,01$  years) with a graft of semitendinosus and gracilis tendons, between four to six months after surgery. At first, there was an assessment of joint position sense (JPS) at the isokinetic dynamometer at a speed of 5°/s and target angle of 45° to analyze the absolute error of JPS. Next, we applied the a muscle fatigue protocol, running 100 repetitions of isokinetic knee flexion-extension at 90°/s. Concurrently with this protocol, there was the assessment of muscle performance, as the peak torque (PT) and fatigue index, and electromyographic activity (RMS and median frequency). Finally, we repeated the assessment of JPS. The statistical analysis showed that patients after ACL reconstruction have, even under normal conditions, the amended JPS compared with healthy subjects and that after fatigue, both have disturbances in the JPS, but this alteration is significantly exacerbated in patients after ACL reconstruction. About muscle performance, we could notice that these patients have a lower PT, although there are no differences between the dynamometric and EMG fatigue index. These findings show the necessity about the cares of patients with ACL reconstruction in respect of the risks of articulate instability and overload in ligamentar graft.

Keywords: Muscular fatigue, ACL reconstruction, proprioception, muscular performance and electromyography.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Variáveis antropométricas e tempo de reconstrução do LCA..... 22

### ARTIGO I

35

**Tabela 1.** Variáveis antropométricas e tempo de reconstrução do LCA.....

### ARTIGO II

**Tabela 1.** Variáveis antropométricas e tempo de reconstrução do LCA..... 47

**Tabela 2.** Correlação entre o pico de torque isométrico e o RMS ..... 52

**Tabela 3.** Correlação entre o índice de fadiga fornecido pela dinamometria isocinética e eletromiografia (frequência mediana)..... 55

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Posicionamento do sujeito no dinamômetro isocinético .....	24
<b>Figura 2.</b> Posicionamento do sujeito no dinamômetro isocinético para avaliação do senso de posição articular.....	25
<b>Figura 3.</b> Registro das 100 contrações musculares fornecido pela dinamometria isocinética.....	26
<b>Figura 4.</b> Posicionamento dos eletrodos sobre o reto femoral, vasto medial, vasto lateral para captação do EMG.....	27

### ARTIGO I

<b>Figura 1.</b> Posicionamento do sujeito no dinamômetro isocinético para avaliação do senso de posição articular.....	36
<b>Figura 2.</b> Erro absoluto do senso de posição articular de indivíduos saudáveis e após reconstrução do LCA, em condições pré-fadiga.....	38
<b>Figura 3.</b> Erro absoluto do senso de posição articular de indivíduos saudáveis e após reconstrução do LCA, antes e depois do protocolo de fadiga muscular.....	38
<b>Figura 4.</b> Diferença de variação do senso de posição articular de indivíduos saudáveis e após reconstrução do LCA, antes e depois do protocolo de fadiga muscular.....	39

### ARTIGO II

<b>Figura 1.</b> Registro das 100 contrações musculares fornecido pela dinamometria isocinética, com janelas de tempo divididas em três sub-	
--	--

amostras.....	48
<b>Figura 2.</b> Posicionamento dos eletrodos sobre o reto femoral, vasto medial, vasto lateral para captação do EMG.....	50
<b>Figura 3.</b> Pico de torque isométrico do grupo controle e após reconstrução do LCA.....	51
<b>Figura 4.</b> RMS em isometria do grupo controle e após reconstrução do LCA.....	52
<b>Figura 5.</b> Frequência mediana em isometria do grupo controle e após reconstrução do LCA.....	53
<b>Figura 6.</b> Redução do pico de torque do grupo controle e após reconstrução do LCA, após fadiga muscular.....	53
<b>Figura 7.</b> Frequência mediana dos músculos RF, VL e VM do grupo controle e após reconstrução do LCA, respectivamente.....	54
<b>Figura 8.</b> Índice de fadiga fornecidos pela dinamometria isocinética dos grupos controle e após reconstrução do LCA.....	54
<b>Figura 9.</b> Índice de fadiga fornecidos pela eletromiografia dos músculos RF, VL e VM, dos grupos controle e após reconstrução do LCA.....	55

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
1.1.1	Fadiga muscular.....	17
1.1.1.2	Alterações proprioceptivas promovidas pela fadiga muscular.....	18
1.1.2	Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior .....	19
1.2	OBJETIVOS.....	20
1.2.1	Objetivo Geral .....	20
1.2.2	Objetivo Específico .....	20
1.3	HIPÓTESES .....	20
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	21
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	22
2.2	SUJEITOS .....	22
2.3	INSTRUMENTAÇÃO .....	23
2.4	PROCEDIMENTOS .....	23
2.4.1	Avaliação por dinamometria isocinética.....	24
2.4.1.1	Avaliação do senso de posição articular.....	25
2.4.1.2	Avaliação do desempenho muscular.....	26
2.4.1.3	Avaliação eletromiográfica .....	26
2.4.1.4	Protocolo de fadiga muscular .....	28
2.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	28
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	29
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	62
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64
<b>6</b>	<b>APÊNDICES</b> .....	71

## **1 INTRODUÇÃO**



A fadiga muscular é um processo complexo caracterizado por alterações fisiológicas e biomecânicas que podem predispor a lesões músculo-esqueléticas<sup>1</sup>.

Segundo Madigan e Pidcoe<sup>2</sup>, é um fenômeno que produz diversas alterações no comportamento neuromuscular, como uma diminuição na capacidade de produção de força, distúrbios no controle motor e no tempo de reação muscular e redução na habilidade proprioceptiva, resultando em um marcante déficit no desempenho muscular e um aumento na instabilidade articular.

Essas mudanças no comportamento neuromuscular promovidas pela fadiga muscular, em indivíduos saudáveis, são bastante estudadas<sup>3,4,5,6</sup> e as análises de suas repercussões possuem grande importância para os cuidados na prevenção de lesões, porém pouco se sabe sobre as suas alterações em portadores de distúrbios osteomioarticulares prévios.

Pacientes após reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA), por exemplo, apresentam disfunções persistentes que alteram a estabilidade articular, como a fraqueza do músculo quadríceps femoral<sup>7</sup> e distúrbios proprioceptivos provocadas pela perda de mecanorreceptores<sup>8</sup>. Todavia, mesmo possuindo essas disfunções, nos últimos meses de reabilitação, esses indivíduos são submetidos a atividades físicas que podem promover fadiga muscular.

Poucos e divergentes estudos relatam sobre o que a fadiga muscular provoca em pacientes após reconstrução de LCA. Segundo Bonato *et al.*<sup>9</sup>, indivíduos com lesão de LCA apresentam menor resistência à fadiga do que sujeitos saudáveis, decorrente da presença da fraqueza do quadríceps femoral. Por outro lado, McNair *et al.*<sup>10</sup> e Snyder-Mackler *et al.*<sup>11</sup> acreditam que pacientes com lesão crônica do LCA desenvolveram hipotrofia do tipo de fibra II, já que esses sujeitos apresentaram maior resistência à fadiga do que indivíduos saudáveis, fato semelhante ao encontrado por Drechsler *et al.*<sup>12</sup> em pacientes entre 1 e 3 meses de reconstrução do LCA.

No âmbito dos estudos com escopo na análise do senso de posição articular (SPA), nenhum trabalho foi encontrado, dentre os analisados, observando as repercussões da fadiga em pacientes após reconstrução de LCA. Apenas foi localizado o estudo de Roberts *et al.*<sup>13</sup> que afirmaram que ciclistas que sofreram lesão de LCA há uma média de 3,8 anos apresentam uma melhor habilidade proprioceptiva que indivíduos saudáveis quando fadigados.

Tendo em vista que ainda não está bem esclarecido se a fadiga muscular promove alterações no comportamento neuromuscular de pacientes após

reconstrução de LCA, o presente estudo visa elucidar essa questão, a fim de avaliar se essas alterações ocorrem e se são ou não exacerbadas, quando comparadas a indivíduos sadios.

A resposta a essa pergunta permitirá um melhor direcionamento ao retorno desses pacientes as suas atividades pré-lesão e a prática de atividades desportivas de forma segura, com os devidos cuidados ao joelho reconstruído, evitando a possibilidade de aumento na instabilidade articular ou sobrecarga do enxerto ligamentar.

## 1.1 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1.1 Fadiga muscular

Segundo Jaric *et al.*<sup>14</sup>, a fadiga muscular é definida como uma diminuição na capacidade de geração de força ou na inabilidade de manutenção do desempenho, sendo um inevitável fenômeno associado com o trabalho muscular.

Tipicamente, existem dois tipos de fadiga, a de origem central e a periférica, sendo a primeira decorrente de processos fisiológicos que ocorrem dentro do sistema nervoso central, incluindo a inabilidade de gerar um comando central apropriado e suficiente para execução de uma determinada tarefa, distúrbios na transmissão exata da informação dada pelos neurônios motores envolvidos e na ativação sustentada do músculo por motoneurônios<sup>15</sup>.

Já a fadiga de origem periférica decorre de alterações na homeostasia do músculo, levando a uma diminuição na eficiência das unidades contráteis devido à diminuição do pH, decorrente da acidose por aumento na concentração de H<sup>+</sup>, alterações na temperatura e no fluxo sanguíneo, ao acúmulo de produtos do metabolismo celular, particularmente os resultantes da hidrólise do adenosina trifosfato, a perda da homeostasia do íon cálcio, a lesão muscular focal, a mudança da cinética de alguns íons nos meios intra e extracelulares e a depleção de substratos energéticos<sup>16</sup>.

A fadiga promove uma diminuição na capacidade de produção de força e potência e está associada a uma redução na velocidade de encurtamento muscular, ocasionando mudanças na execução do movimento e conseqüentemente danos ao desempenho muscular<sup>14</sup>.

Este fenômeno está relacionado a alterações eletromiográficas (EMG), sendo observado um aumento no número de unidades motoras recrutadas concomitante com a melhora de sua sincronização, de forma a tentar compensar a redução na capacidade de geração de força por cada unidade motora, promovendo aumento da amplitude do sinal, expresso pelo *Root Mean Square* (RMS). Já no espectro de frequência, observa-se uma diminuição na velocidade de condução do potencial de ação, em consequência do acúmulo de substratos metabólicos que diminuem o pH da fibra muscular, causando redução na frequência média e mediana (Fm)<sup>17</sup>.

#### 1.1.1.2 Alterações proprioceptivas promovidas pela fadiga muscular

A propriocepção é definida como um *input* neural que informa sobre o grau de modificação mecânica das estruturas articulares captadas pelo fuso muscular, órgão neurotendíneo<sup>18</sup> e mecanorreceptores localizados nas cápsulas, ligamentos, músculos, tendões e pele<sup>19</sup>. Essas informações são enviadas ao sistema nervoso central, onde são processadas, auxiliando na detecção do movimento e no conhecimento da posição da articulação no espaço<sup>20</sup>.

De acordo com Ribeiro *et al.*<sup>21</sup>, a habilidade proprioceptiva é geralmente dividida em dois elementos, a cinestesia e o senso de posição articular, sendo que este último detecta a habilidade do sujeito em perceber um ângulo articular determinado, seguido da movimentação do membro, ativamente ou passivamente, a fim de reproduzir o mesmo ângulo articular.

Quanto as alterações proprioceptivas decorrentes da fadiga muscular, Skinner<sup>3</sup> e Ribeiro *et al.*<sup>21</sup> constataram que a fadiga altera o SPA. Para Stillman<sup>22</sup> esse processo ocorre devido ao aumento da descarga aferente la dos fusos musculares imediatamente após o início da fadiga, seguido de mudanças na descarga aferente dos grupos III e IV, secundário aos efeitos metabólicos do exercício, conduzindo a alterações na atividade eferente. Ocorrem também mudanças na excitabilidade neuronal espinhal, microtraumas no fuso muscular e alteração na coativação alfa-gama.

### 1.1.2 Reconstrução do ligamento cruzado anterior

O ligamento cruzado anterior (LCA) é a estrutura do joelho mais frequentemente lesionada durante atividades esportivas<sup>23</sup>. Atua como estabilizador mecânico, restringindo a anteriorização e a rotação da tíbia em relação ao fêmur<sup>24</sup>, provendo uma força restritiva de 85% ao deslocamento anterior da tíbia<sup>25</sup>.

Sua lesão é decorrente de situações que exigem mudanças de direção, movimentos de pivô, paradas bruscas ou aterrissagem após o salto<sup>26</sup>, acarretando instabilidade articular e causando limitações nas atividades de vida diária e desportiva<sup>27</sup>.

O tratamento cirúrgico é recomendado, a fim de restaurar a estabilidade articular do joelho. Dentre as técnicas de reconstrução mais empregadas, destacam-se aquelas que utilizam o enxerto dos tendões do semitendinoso/grácil e do tendão patelar<sup>28</sup>. Apesar da cirurgia ser bastante eficiente, disfunções persistentes são observadas, como alterações na função dos músculos da coxa<sup>11</sup> e na propriocepção do joelho<sup>13</sup>.

Dentre as disfunções musculares observadas em pacientes após reconstrução do LCA, destaca-se a fraqueza do músculo quadríceps femoral, promovida pela redução da sobrecarga, derrame articular e dor, que pode persistir mesmo depois de mais de seis meses de pós-operatório com reabilitação agressiva<sup>7</sup>. Essa fraqueza é decorrente de uma ativação voluntária incompleta do músculo<sup>29</sup> advinda da inibição muscular artrogênica, que se trata de um reflexo de inibição contínuo da musculatura ao redor do joelho quando há danos nessa articulação, retardando a reabilitação na medida em que impede ganhos na força muscular do quadríceps femoral e altera a propriocepção<sup>30</sup>.

Bonfim *et al.*<sup>31</sup> têm constatado que pacientes após reconstrução de LCA também apresentam alterações proprioceptivas no joelho devido a perda de mecanorreceptores, estruturas sensíveis a deformações mecânicas do tecido que sinalizam o SPA. Dessa forma, é possível que danos nesse ligamento que ocorrem durante sua lesão ou reconstrução possam conduzir a uma redução na informação aferente sobre o SPA. Para Hopper *et al.*<sup>32</sup>, esse distúrbio é decorrente da perda da influência do LCA no mecanismo de *feedback* que controla o SPA através de seus efeitos no sistema fuso muscular gama.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência da fadiga no comportamento neuromuscular do joelho de indivíduos, após reconstrução do LCA.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a atividade eletromiográfica dos músculos vasto medial (VM), vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) durante protocolo de fadiga muscular.
- Analisar o desempenho do músculo quadríceps femoral, durante o protocolo de fadiga muscular.
- Avaliar o senso de posição articular ativo, antes e após o protocolo de fadiga.
- Correlacionar o índice de fadiga fornecido pela eletromiografia com o obtido pela dinamometria isocinética.

## 1.3 HIPÓTESES

H0: Pacientes após reconstrução de LCA apresentam alterações no comportamento neuromuscular, sob fadiga, semelhantes aquelas observadas em indivíduos saudáveis.

H1: Pacientes após reconstrução de LCA apresentam alterações no comportamento neuromuscular, sob fadiga, diferentes daquelas observadas em indivíduos saudáveis.

## **2 MATERIAIS E MÉTODO**

## 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

O presente trabalho trata-se de um estudo quase-experimental e foi desenvolvido no Laboratório de *Performance* Neuromuscular, do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

## 2.2 SUJEITOS

Participaram desse estudo 40 indivíduos do sexo masculino, com média de idade de  $28,32 \pm 6,73$  anos, divididos em dois grupos distintos, sendo um grupo controle (GC) e um grupo de pacientes após reconstrução de LCA (GR).

Foram inclusos no GR, os sujeitos submetidos à reconstrução do LCA com enxerto dos tendões semitendinoso e grácil, há um período entre 4 a 6 meses de pós-operatório, que estivessem em tratamento fisioterapêutico, realizando os mesmos protocolos de reabilitação, e que não apresentassem outras disfunções nos membros inferiores (MMII), exceto reparo artroscópico de menisco, concomitante a cirurgia de reconstrução do LCA. Já o GC teve como critérios de inclusão, praticar atividade física amadora, sem caráter profissional e não apresentar patologia neurológica ou traumato-ortopédica de MMII nos últimos 6 meses (Tabela 1).

Foram excluídos do estudo, os indivíduos que sentiram dor durante o procedimento, que não suportaram o protocolo de fadiga e cujas avaliações ocorreram de forma inadequada.

Antes de serem admitidos no estudo, os sujeitos preencheram uma ficha de avaliação física (Apêndice A) com o objetivo de verificar a existência de alguma disfunção que impedisse a realização dos procedimentos.

**Tabela 1.** Variáveis antropométricas e tempo de reconstrução do LCA.

	<b>GC</b>	<b>GR</b>	<b>p valor</b>
<b>Idade</b> (anos)	26,90 $\pm$ 6,29	29,75 $\pm$ 7,01	0,18
<b>Peso</b> (kg)	80,50 $\pm$ 4,15	78,43 $\pm$ 5,97	0,53
<b>Altura</b> (cm)	178,12 $\pm$ 7,02	174,23 $\pm$ 5,36	0,85
<b>IMC</b> (kg/m <sup>2</sup> )	25,45 $\pm$ 3,25	25,90 $\pm$ 3,40	0,67
<b>Tempo médio de reconstrução</b> (meses)		4,40 $\pm$ 0,83	

## 2.3 INSTRUMENTAÇÃO

Para aquisição e processamento dos sinais eletromiográficos, utilizou-se um módulo condicionador de sinais (MCS 1000) de 4 canais (EMG System do Brasil), um conversor analógico-digital - A/D (CAD, 12/36-60K) com resolução de 12 bits. O equipamento tem uma razão de rejeição de modo comum (RRMC) > 80 dB, com frequência de 1000 Hz e um filtro entre 20 e 500 Hz. Como o ganho programado no conversor foi de 50 vezes e de 20 vezes nos eletrodos, os sinais foram amplificados 1000 vezes. O software utilizado foi o EMGLab (EMG System do Brasil, Brasil), que calcula a frequência mediana através da Transformada Rápida de Fourier. Foi feito uso de eletrodos de superfície ativos, simples diferenciais (dois eletrodos auto-adesivos, separados por uma distância inter-eletrodo de 2 cm), além de um eletrodo de referência oval.

Para dinamometria, utilizou-se um dinamômetro isocinético computadorizado (*Biodex Multi-Joint System 3 Pro*, USA). O equipamento consiste essencialmente de uma cadeira, de uma unidade de recepção de força conectada a um braço de alavanca e de uma unidade de controle, cujo monitor oferece *feedback* visual ao sujeito durante a execução dos testes.

## 2.4 PROCEDIMENTOS

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Humanos – UFRN (CEP-UFRN) com parecer nº 007/10. Os sujeitos, admitidos na amostra, receberam orientações a respeito dos procedimentos e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B), conforme critérios estabelecidos pela resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

O experimento constou de uma análise inicial do SPA, seguida de uma avaliação isométrica e da aplicação do protocolo de fadiga muscular concomitante com a avaliação do desempenho muscular e da atividade eletromiográfica. Por fim, foi realizada a avaliação final do SPA.

O membro avaliado foi o reconstruído para o GR e o dominante ou não-dominante para o GC, sendo que essa escolha se deu a fim de realizar o pareamento entre os grupos. Para determinar a dominância do membro, foi perguntado ao sujeito com que perna ele chuta uma bola<sup>33</sup>.



#### 2.4.1 Avaliação no dinamômetro isocinético

No dinamômetro isocinético, foram realizadas a análise da propriocepção do joelho e do desempenho muscular do quadríceps femoral. Os sujeitos ficaram sentados com o quadril e joelho à 85° e 90° de flexão, respectivamente. O tronco, pelve e coxa foram estabilizados por meio de cintas, para evitar possíveis movimentos compensatórios (Figura 1), com a fossa poplíteia a uma distância aproximada de 5 cm do assento, a fim de eliminar possíveis interferências da pele. O eixo de rotação do dinamômetro foi alinhado com o do joelho avaliado, na altura do epicôndilo lateral do fêmur, enquanto que o apoio do braço do dinamômetro foi fixado na região distal da perna do sujeito, cerca de 5 cm acima do maléolo medial, de forma a permitir um arco completo de dorsiflexão do tornozelo.



**Figura 1.** Posicionamento do sujeito no dinamômetro isocinético.

Durante todo o teste, os sujeitos foram orientados a segurar firmemente os apoios laterais do assento, no intuito de manter a estabilização do corpo. Os ajustes da gravidade foram realizados com o joelho em 30° de flexão e calculados pelo próprio *software* do dinamômetro.

Antes de iniciarem as avaliações, foi realizada a familiarização com todos os testes aplicados. O dinamômetro isocinético foi calibrado semanalmente, conforme orientações do fabricante.

### 2.4.1.1 Avaliação do senso de posição articular

A avaliação do SPA foi realizada na forma ativa, por ser um teste mais funcional e por analisar com maior predomínio os receptores musculares, quando comparado com a forma de avaliação passiva<sup>5</sup>.

Inicialmente, foi executada com o membro partindo de 90° de flexão de joelho e realizando uma extensão ativa a uma velocidade constante de 5°/s. Quando o ângulo-alvo de 45° foi atingido, o aparelho parava nessa posição, mantendo-a por cinco segundos<sup>10</sup>, para que o indivíduo percebesse qual era o ângulo-alvo. Esse procedimento foi realizado por três vezes para cada indivíduo.

Em seguida, executou-se uma extensão ativa a partir de 90° de flexão do joelho até o ângulo-alvo, segundo julgamento do sujeito. Nesse instante, o indivíduo acionou um dispositivo, travando o equipamento no ponto desejado, sendo registrado o ângulo atingido<sup>10</sup>. Nessa etapa, o indivíduo realizou apenas uma repetição (Figura 2).

A variável analisada foi o erro absoluto, dado pela diferença entre o ângulo-alvo e o atingido pelo sujeito, em graus, sem considerar tendências direcionais de super ou subestimação do ângulo-alvo. Para evitar indução dos resultados, o *feedback* visual foi bloqueado por protetores visuais.

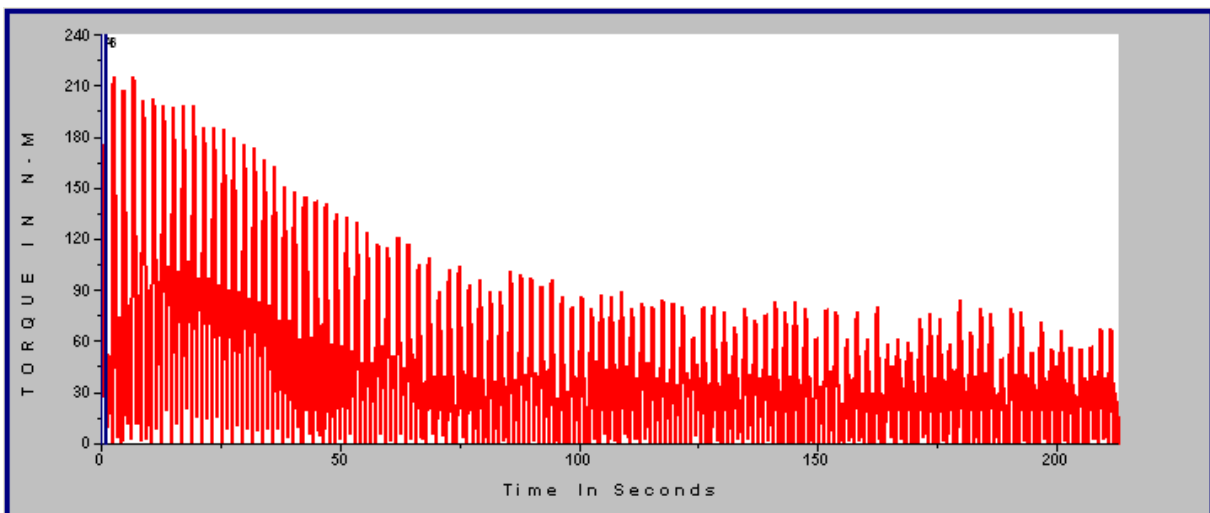


**Figura 2.** Posicionamento do sujeito no dinamômetro isocinético para avaliação do senso de posição articular.

#### 2.4.1.2 Avaliação do desempenho muscular

A avaliação do desempenho muscular foi realizada em dois momentos distintos. Primeiramente, foi solicitada uma contração isométrica máxima em extensão do joelho, no ângulo de 60° de flexão, por um período de 10 segundos. Em seguida, após dois minutos de repouso, o indivíduo executou 100 repetições concêntricas máximas de flexão e extensão do joelho a uma velocidade constante de 90°/s.

As variáveis analisadas foram o pico de torque (PT) isométrico e o índice de fadiga (IFD). Para análise dos resultados, os registros foram divididos em três subamostras, sendo que as analisadas foram o terço inicial e final das 100 repetições (Figura 3). A escolha dessas janelas de tempo foi devido ao índice da fadiga da dinamometria, fornecido pelo equipamento, ser dado pela razão de diferença do trabalho (J) entre esses dois períodos de tempo.



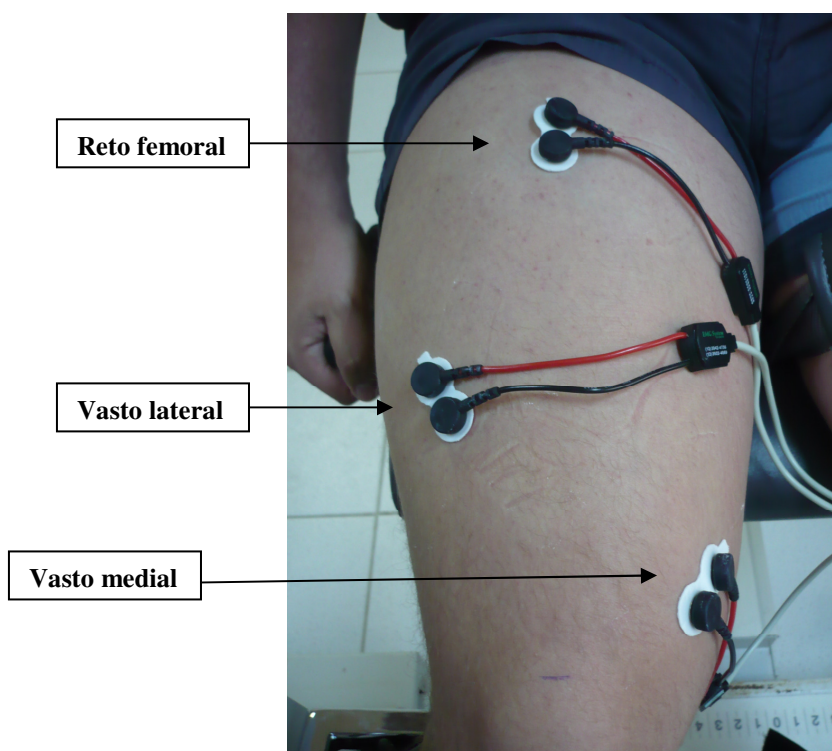
**Figura 3.** Registro das cem contrações musculares fornecido pela dinamometria isocinética.

#### 2.4.1.3 Avaliação Eletromiográfica

A atividade eletromiográfica (EMG) foi obtida no mesmo instante da aplicação do protocolo de contração isométrica e de fadiga muscular e constou do registro da frequência mediana (Fm) e da intensidade do sinal, dado pelo RMS.

Inicialmente, foram feitas demarcações para o posicionamento dos eletrodos e em seguida, a preparação da pele (tricotomia e limpeza com álcool) nos locais de acoplamento dos eletrodos.

Para captação dos sinais eletromiográficos dos músculos RF, VM e VL, os eletrodos foram posicionados num ponto a 50% de distância entre a espinha íliaca ântero-superior (EIAS) e a margem superior da patela, para o RF; a 20% de distância entre a EIAS e o espaço articular medial do joelho, para o VM; e a 1/3 da distância entre a face lateral da patela e a EIAS, para o VL, conforme recomendações de Hermes<sup>35</sup> (Figura 4). O eletrodo de referência foi colocado no maléolo medial da perna contralateral a analisada.



**Figura 4.** Posicionamento dos eletrodos sobre o reto femoral, vasto medial, vasto lateral para captação do EMG.

Os eletrodos foram fixados na pele com esparadrapo e faixas elásticas, para garantir a estabilidade. Cuidados também foram tomados na fixação dos cabos, para minimizar possíveis deslocamentos durante a aquisição do sinal e surgimento de ruídos.

A variável analisada foi o índice de fadiga fornecido pela eletromiografia, que foi obtido por meio do registro da Fm de cada contração, obtendo a média dos terços das cem contrações (adaptado de Bonato *et al.*<sup>9</sup>, 2001). Em seguida, calculou-se a variação percentual da queda da Fm pela razão entre o terço inicial e final das contrações.

#### 2.4.1.4 Protocolo de fadiga muscular

O protocolo de fadiga muscular foi realizado no dinamômetro isocinético, com o indivíduo posicionado da mesma forma da avaliação, e constou de uma única série de 100 contrações concêntricas voluntárias máximas em flexão e extensão do joelho do membro a ser analisado, partindo-se de 90° de flexão a 0° (extensão completa), com o movimento ocorrendo a uma velocidade constante de 90°/s<sup>36</sup>.

Para promover encorajamento, a todo instante foi fornecido *feedback* visual, proporcionado pelo aparelho e comando verbal padronizado dado pelo avaliador. Orientações também foram explicitadas com respeito aos cuidados à função cardiorrespiratória para evitar a manobra de Valsava.

## 2.5 ANÁLISE ESTÁTISTICA

Para análise e interpretação dos resultados, utilizou-se o programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS), versão 15.0.

A princípio, observou-se a normalidade dos dados através do teste Kolmogorov-Sminorv. As variáveis de erro absoluto do SPA, RMS isométrico do VL e a Fm do RF de indivíduos saudáveis, como também, a Fm isométrica dos três músculos analisados, IF<sub>FM</sub>VM e o IFD de pacientes após reconstrução de LCA foram não-paramétricas, todavia, as demais apresentaram distribuição normal.

Nas comparações relacionadas com a idade e IMC, aplicou-se estatística descritiva (média e desvio-padrão) e o teste t independente.

Quanto à avaliação do SPA, PT, RMS, Fm, IFD e IF<sub>FM</sub> utilizou-se o teste t de *Student* pareado ou o Wilcoxon para análises intragrupo e o Mann-Witney, intergrupo.

Na correlação entre o IF<sub>FM</sub> e IFD, foi aplicado o teste de correlação de Pearson e de Spearman.

Para todos os testes foi considerado um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ).

### **3 RESULTADOS**

Os resultados e discussão elaborados a partir dos achados desse estudo serão relatados nos seguintes artigos:

- Influência da fadiga muscular no senso de posição articular do joelho após reconstrução de LCA;
- Influência da fadiga no desempenho muscular e atividade eletromiográfica após reconstrução de LCA;

## **INFLUÊNCIA DA FADIGA MUSCULAR NO SENSO DE POSIÇÃO ARTICULAR DO JOELHO APÓS RECONSTRUÇÃO DE LCA**

### **RESUMO**

A fadiga muscular é um fenômeno que envolve distúrbios fisiológicos e biomecânicos. Suas alterações, em indivíduos saudáveis, são bastante estudadas e as análises de suas repercussões possuem grande importância para os cuidados na prevenção de lesões, todavia pouco se sabe sobre o que esse fenômeno promove em pacientes após reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA). Dessa forma, o objetivo deste estudo é investigar os efeitos da fadiga muscular sob o senso de posição articular (SPA) de pacientes submetidos à reconstrução do LCA. Para tanto, participaram deste estudo quarenta homens, sendo vinte saudáveis ( $26,90 \pm 6,29$  anos) e vinte após reconstrução de LCA ( $29,75 \pm 7,01$  anos) com enxerto dos tendões semitendinoso e grácil, entre quatro a seis meses de pós-operatório. Em princípio, realizou-se uma avaliação do SPA ativo, no dinamômetro isocinético, a uma velocidade de  $5^\circ/s$  e ângulo-alvo de  $45^\circ$ , sendo a variável analisada o seu erro absoluto. Em seguida, aplicou-se o protocolo de fadiga muscular, sendo executadas 100 repetições isocinéticas concêntricas de flexo-extensão do joelho a  $90^\circ/s$ . Concomitantemente a esse protocolo, realizou-se a avaliação do índice de fadiga, dado pela dinamometria isocinética. Por fim, repetiu-se a avaliação da SPA. Após os testes, observou-se que pacientes após reconstrução do LCA apresentaram, ainda em condições pré-fadiga, o SPA alterado quando comparado com indivíduos saudáveis e que quando fatigados, ambos possuíam distúrbios no SPA, sendo que essa alteração é significativamente mais exacerbada em pacientes após reconstrução de LCA. Quanto ao desempenho muscular, constatou-se que esses pacientes e indivíduos saudáveis não apresentam diferenças nos índices de fadiga, quando comparados ao grupo controle. Dessa forma, conclui-se que o grupo controle e o submetido à reconstrução do LCA apresentam mesmas resistências, entretanto, para estes pacientes, os riscos de instabilidade articular e sobrecarga do enxerto ligamentar, em situações de fadiga, é acentuado.

Palavras-chave: Ligamento cruzado anterior, resistência e propriocepção.



## ABSTRACT

Muscle fatigue is a phenomenon that involves physiological and biomechanical disorders. Their changes in healthy individuals, are widely studied and have great importance for care in preventing injury, but little is known about its effects in patients after reconstruction of anterior cruciate ligament (ACL). Thus, the purpose of this study is to investigate the effects of muscle fatigue on joint position sense (SPA) of patients undergoing ACL reconstruction. To this end, participants were forty men, twenty healthy subjects ( $26,90 \pm 6,29$  years old) and twenty after ACL reconstruction ( $29,75 \pm 7,01$  years old) with a graft of semitendinosus and gracilis tendons, between four to six months postoperatively. At first, there was an active evaluation of the SPA on the isokinetic dynamometer at a speed of 5°/s and target angle of 45°, the variable analyzed is the absolute error. Then we applied the protocol of muscle fatigue, running 100 repetitions of isokinetic concentric knee flexion and extension at 90°/s. Concomitantly with this protocol, we carried out an assessment of the fatigue index, given by isokinetic dynamometry. Finally, we repeated the evaluation of the SPA. After these tests, we found that patients after ACL reconstruction showed, even in pre-fatigue, the SPA changes when compared with healthy individuals and that when fatigued, both owned disturbances in the SPA, this alteration is significantly exacerbated in patients after ACL reconstruction. With regard to muscle performance, it was found that these patients and healthy subjects shows no difference in the rate of fatigue. These findings reinforce the need of care for patients after ACL reconstruction of the risk of joint instability and overloading of the graft ligament.

Keywords: Muscle fatigue, anterior cruciate ligament and proprioception.

## 1. INTRODUÇÃO

A fadiga muscular é um processo complexo associado a alterações fisiológicas e biomecânicas, que pode predispor a lesões músculo-esqueléticas<sup>1</sup>, sendo definida como uma diminuição na capacidade de geração de força ou na inabilidade na manutenção do desempenho<sup>2</sup>.

De acordo com Skinner<sup>3</sup> e Ribeiro et al.<sup>4</sup>, a fadiga muscular promove alterações na propriocepção, reduzindo o senso de posição articular (SPA). Para Stillman<sup>5</sup>, esse processo ocorre devido ao aumento da descarga aferente la dos fusos musculares imediatamente após o início da fadiga, seguido de mudanças na descarga aferente dos grupos III e IV, secundário aos efeitos metabólicos do exercício, conduzindo a alterações na atividade eferente. Ocorrem também mudanças na excitabilidade neuronal espinhal, microtraumas no fuso muscular e distúrbios na coativação alfa-gama.

Essas alterações promovidas pela fadiga muscular, em indivíduos saudáveis, são bastante estudadas e as análises de suas repercussões possuem grande importância para os cuidados na prevenção de lesões, haja vista que déficits proprioceptivos podem causar instabilidade articular<sup>6</sup>. Porém, pouco se sabe sobre os distúrbios que esse fenômeno gera em quem já apresenta disfunções proprioceptivas prévias, como pacientes após reconstrução de ligamento cruzado anterior (LCA).

Bonfim *et al.*<sup>7</sup> têm constatado que pacientes após reconstrução de LCA possuem alterações proprioceptivas no joelho devido a perda de mecanorreceptores, estruturas sensíveis a deformações mecânicas do tecido que sinalizam o SPA. Assim, é possível que os danos nesse ligamento, que ocorrem durante sua lesão, possam conduzir a uma redução na informação aferente sobre o SPA. Para Osterning *et al.*<sup>8</sup>, esse distúrbio é decorrente da perda da influência do LCA no mecanismo de *feedback* que controla o SPA através de seus efeitos no sistema fuso muscular gama.

Dessa forma, ao se constatar que nos últimos meses de sua reabilitação, pacientes após reconstrução de LCA iniciam atividades físicas que podem induzi-los a fadiga, e que apenas foram observados estudos, dentre os analisados, que avaliam o SPA desses indivíduos em condições não-fatigantes, o presente estudo

tem como objetivo investigar os efeitos da fadiga muscular sobre o SPA em pacientes submetidos à reconstrução de LCA.

## **2. MATERIAIS E MÉTODO**

### **Sujeitos**

Participaram do estudo 40 indivíduos do sexo masculino, com média de idade de  $28,32 \pm 6,73$  anos, divididos em dois grupos distintos, cada um contendo 20 voluntários, sendo um controle (GC) e um de pacientes submetidos à reconstrução de LCA (GR).

Como critérios de inclusão para o GR, os sujeitos deveriam ter sido submetidos à reconstrução do LCA com enxerto dos tendões do semitendinoso e grácil, há um período de 4 a 6 meses de pós-operatório, que estivessem em tratamento fisioterapêutico, realizando os mesmo protocolos de reabilitação e que não apresentassem outras disfunções nos membros inferiores (MMII), exceto reparo artroscópico de menisco, concomitante a cirurgia de reconstrução do LCA.

Já no GC, os indivíduos deveriam praticar atividade física amadora, sem nenhum caráter profissional e não apresentarem patologia neurológica ou traumatológica nos MMII, nos últimos seis meses (Tabela 1). Foram excluídos do estudo, os indivíduos que apresentassem dor durante o procedimento ou que não realizassem os protocolos de fadiga de forma adequada, sendo a perda amostral de quatro voluntários.

Os voluntários foram avaliados clinicamente antes do estudo e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme critérios estabelecidos pela resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde (CNS). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética local com o número 007/10.

**Tabela 1.** Variáveis antropométricas e tempo de reconstrução do LCA.

	<b>GC</b>	<b>GR</b>	<b>Valor de p</b>
<b>Idade</b> (anos)	26,90 ±6,29	29,75±7,01	0,18
<b>Massa</b> (kg)	80,50 ± 4,15	78,43 ± 5,97	0,53
<b>Estatura</b> (cm)	178 ± 7,02	174 ± 5,36	0,85
<b>IMC</b> (kg/m <sup>2</sup> )	25,45±3,25	25,90 ±3,40	0,67
<b>Tempo médio de reconstrução</b> (meses)		4,40±0,83	

### Procedimentos

O experimento constou de uma avaliação inicial e final do SPA, intercalada pela avaliação do desempenho muscular, concomitante a aplicação do protocolo de fadiga muscular.

O membro avaliado foi o reconstruído para o GR e o dominante ou não-dominante para o GC, sendo que essa escolha se deu a fim realizar o pareamento entre os grupos. Para determinar a dominância do membro, foi perguntado ao sujeito com que perna ele chuta uma bola<sup>9</sup>.

Durante a avaliação, os sujeitos foram posicionados em um dinamômetro isocinético (*Biodex Multi-Joint System 3, USA*) com seu acessório para articulação do joelho, na postura sentada, com o quadril e joelho à 85° e 90°, de flexão, respectivamente. O tronco, pelve e coxa foram estabilizados por meio de cintas, para evitar possíveis movimentos compensatórios, com a fossa poplíteia a uma distância aproximada de 5 cm do assento. O eixo de rotação do dinamômetro foi alinhado com o do joelho avaliado, na altura do epicôndilo lateral do fêmur, enquanto que o apoio do braço do dinamômetro foi fixado na região distal da perna do sujeito, cerca de 5 cm acima do maléolo medial. O dinamômetro isocinético foi calibrado semanalmente, conforme orientações do fabricante e, antes das avaliações, realizou-se a familiarização com todos os testes.

A avaliação do SPA foi realizada na forma ativa, por ser um teste mais funcional e por analisar com maior predomínio os receptores musculares, quando comparado com a forma passiva<sup>5</sup>.

Inicialmente, foi executada com o membro partindo de 90° de flexão de joelho e realizando uma extensão ativa a uma velocidade constante de 5°/s. Quando

o ângulo-alvo de 45° foi atingido, o aparelho parava nessa posição, mantendo-a por cinco segundos<sup>10</sup>, para que o indivíduo percebesse qual era o ângulo-alvo. Esse procedimento foi executado por três vezes para cada indivíduo.

Em seguida, realizou-se uma extensão ativa a partir de 90° de flexão do joelho até o ângulo-alvo, segundo julgamento do sujeito. Nesse instante, o indivíduo acionava um dispositivo, travando o equipamento no ponto desejado, sendo registrado o ângulo atingido<sup>10</sup>. Nessa etapa, o indivíduo executava apenas uma repetição (Figura 1).

A variável analisada foi o erro absoluto, dado pela diferença entre o ângulo-alvo e o atingido pelo sujeito, em graus, sem considerar tendências direcionais de super ou subestimação do ângulo-alvo. Para evitar indução dos resultados, o *feedback* visual foi bloqueado por protetores visuais.



**Figura 1.** Posicionamento do sujeito no dinamômetro isocinético para avaliação do SPA.

A avaliação do desempenho muscular foi realizada no dinamômetro isocinético, no mesmo momento de aplicação do protocolo de fadiga muscular, e constou de uma única série de 100 contrações isocinéticas concêntricas máximas em flexão e extensão do joelho, partindo-se de 90° de flexão a 0° (extensão completa), com o dinamômetro a uma velocidade de 90°/s<sup>11</sup>.

Para promover encorajamento, a todo instante foi fornecido *feedback* visual, proporcionado pelo aparelho, além de um comando verbal padronizado, dado pelo

avaliador. Orientações também foram explicitadas com respeito aos cuidados à função cardiorrespiratória, evitando-se a manobra de Valsava.

A variável analisada foi o índice de fadiga fornecido pelo dinamômetro isocinético.

### **Análise Estatística**

Para análise e interpretação dos resultados, utilizou-se o programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS), versão 15.0.

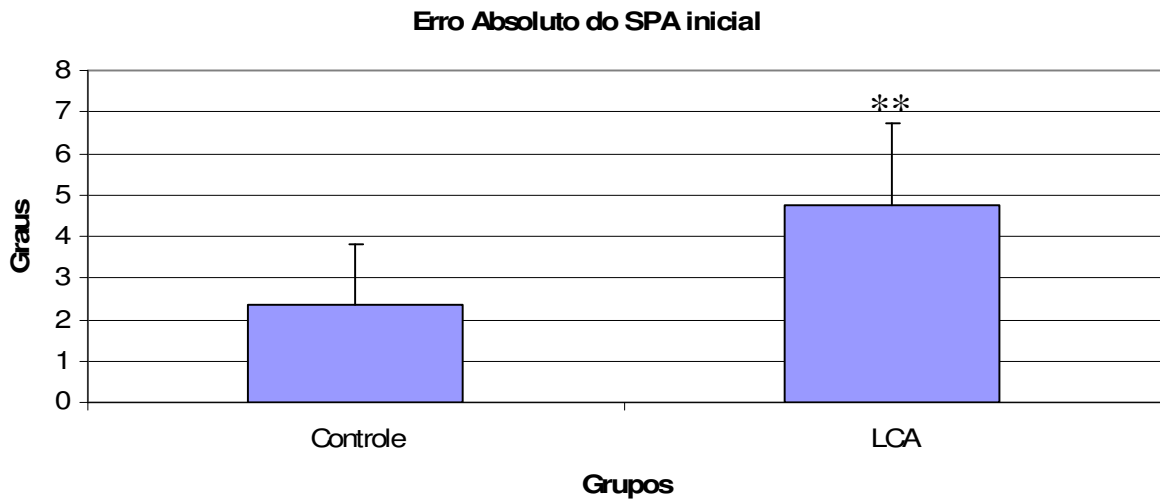
A princípio, observou-se a normalidade dos dados por meio do teste Kolmogorov-Sminorv. As variáveis de erro absoluto do SPA de indivíduos saudáveis e o índice de fadiga do grupo reconstrução foram não-paramétricas, todavia, as demais apresentaram distribuição normal.

Nas comparações relacionadas com a idade e IMC, aplicou-se estatística descritiva (média e desvio-padrão) e o teste t de *Student* independente. Quanto à avaliação do SPA utilizou-se o teste t de *Student* pareado ou o Wilcoxon para análises intragrupo e o Mann-Whitney, intergrupo. E na comparação entre os índices de fadiga, aplicou-se o teste Mann-Whitney.

Para todos os testes foi considerado um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ).

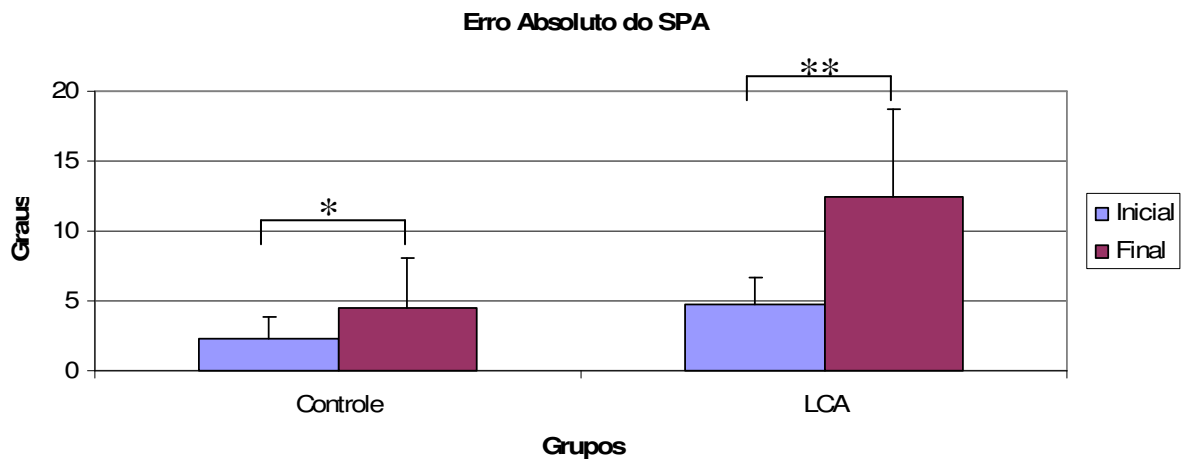
### **3. RESULTADOS**

Pacientes após reconstrução de LCA apresentam distúrbios significativos no SPA ( $4,75^{\circ} \pm 1,97^{\circ}$ ), ainda em condições pré-fadiga, quando comparados a indivíduos saudáveis ( $2,35^{\circ} \pm 1,46^{\circ}$ ;  $p=0,00$ ; Figura 2).



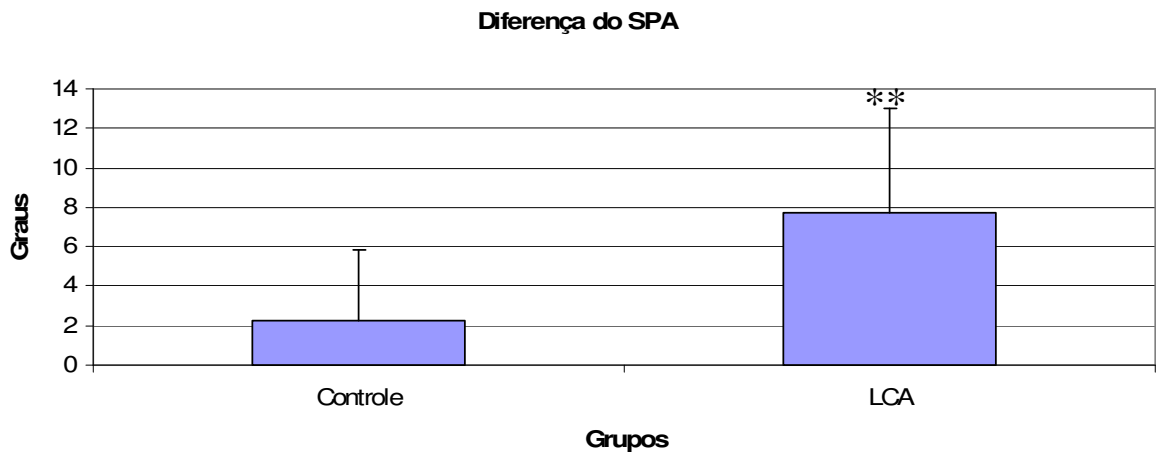
**Figura 2.** Erro absoluto do senso de posição articular de indivíduos saudáveis e após reconstrução de LCA, em condições pré-fadiga (\*\* $p < 0,00$ ).

Após a fadiga muscular, foi constatada uma alteração significativa no SPA, quando comparado ao período pré-fadiga, tanto em indivíduos saudáveis ( $4,45^\circ \pm 3,66^\circ$ ;  $p = 0,02$ ) quanto em pacientes após reconstrução de LCA ( $12,40^\circ \pm 6,29^\circ$ ;  $p = 0,00$ ; Figura 3).



**Figura 3.** Erro absoluto do senso de posição articular de indivíduos saudáveis e após reconstrução de LCA, antes e depois do protocolo de fadiga muscular. (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,00$ ).

Essa diferença no SPA, após aplicação do protocolo de fadiga muscular foi significativamente mais exacerbada no grupo após reconstrução de LCA ( $7,75^\circ \pm 5,27^\circ$ ), quando comparado ao controle ( $2,20^\circ \pm 3,64^\circ$ ;  $p = 0,00$ ; Figura 4).



**Figura 4.** Diferença da variação do senso de posição articular de indivíduos saudáveis e após reconstrução de LCA, antes e depois do protocolo de fadiga muscular (\*\* $p < 0,00$ ).

No que diz respeito ao índice de fadiga, pode-se constatar que não houve diferenças significativas entre o grupo controle ( $51,50\% \pm 7,08\%$ ) e após reconstrução do LCA ( $50,27\% \pm 8,45\%$ ;  $p=0,872$ ), detectando que ambos os grupos apresentam resistências à fadiga semelhantes.

#### 4. DISCUSSÃO

Diante do contexto experimental empregado, pode-se detectar que pacientes após reconstrução do LCA apresentam distúrbios no SPA, mesmo antes de serem submetidos à fadiga. Segundo Osternig, Caster e James (2008)<sup>8</sup>, isto pode ser explicado pela perda dos mecanorreceptores e de conexões nervosas do ligamento, promovendo uma interrupção no sistema fuso muscular gama. Esse sistema promove uma ligação entre mecanorreceptores e fusos musculares, permitindo um ajuste contínuo da rigidez dos músculos ao redor de uma articulação, como forma de garantir estabilidade articular dinâmica<sup>12</sup>.

O presente estudo também constatou que a fadiga muscular alterou o SPA tanto no grupo controle quanto em pacientes após reconstrução do LCA. Esse resultado também foi observado por outros autores<sup>6,7,13</sup> que afirmaram que isto é decorrente de um aumento no limiar de descarga do fuso muscular e conseqüentemente mudanças na coativação alfa-gama. Mais especificamente, os nociceptores são ativados devido ao acúmulo de substratos metabólicos advindos



da contração muscular, incluindo a bradicinina, ácido araquidônico, prostaglandina E<sub>2</sub>, potássio e ácido láctico, que têm ação direta no padrão de descarga dos fusos musculares<sup>4,14</sup>.

Ademais, observou-se que quando fatigados, as alterações no SPA são significativamente mais acentuadas no grupo após reconstrução do LCA quando comparado ao controle. Isso pode ter ocorrido, pois a fadiga afeta mais as estruturas musculares do que as articulares<sup>15</sup>. Dessa forma, pressupõe-se que a fadiga promoveu uma diminuição da contribuição do fuso muscular para detectar o SPA, fazendo com que a perda dos mecanorreceptores, como as terminações de Ruffini, os corpúsculos de Paccini e as terminações nervosas livres, decorrentes do trauma, da reconstrução e do desuso, fique mais evidenciada.

Por fim, na análise do desempenho muscular, não foi detectada diferenças nos índices de fadiga entre os grupos. Portanto, pode-se constatar que pacientes após reconstrução do LCA e indivíduos saudáveis apresentam-se em situação semelhante quanto a resistência muscular. Esse resultado acrescenta-se aos achados desse estudo, pois permite constatar que o acentuado distúrbio no SPA desses pacientes não foi devido a uma menor resistência à fadiga desses pacientes.

Dessa forma, diante desses resultados, pode-se observar que pacientes após reconstrução do LCA, no período entre quatro a seis meses de pós-operatório, devem merecer cuidados especiais quando submetidos à fadiga. Embora esses sujeitos apresentem o mesmo índice de resistência à fadiga que indivíduos clinicamente saudáveis, o risco de instabilidade articular e sobrecarga do enxerto ligamentar são acentuados, devido aos distúrbios no SPA desses indivíduos, quando fatigados.

## **5. CONCLUSÃO**

A fadiga muscular altera o SPA ativo tanto em indivíduos saudáveis quanto em pacientes após reconstrução de LCA, sendo que este último grupo já apresenta alterações do SPA, ainda em condições pré-fadiga. Ademais, observa-se que, apesar de possuírem a mesma resistência à fadiga, esses sujeitos apresentam alterações ainda mais exacerbadas quando expostos as condições de fadiga, do que o grupo controle.

## 6. REFERÊNCIAS

1. Padua DA, Arnold BL, Perrin DH, Gansneder BM, Cargia CR, Granata KP. Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. *J Athl Train.* 2006; 41(3): 294-304.
2. Jaric S, Blesic S, Milanovic S, Radovanovic S, Anastasijevic MLR. Changes in movement final position associated with agonist and antagonist muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol.* 1999; 80: 467-71.
3. Skinner HB, Wyatt MP, Hodgdon JA, Conard DW, Barrack RL. Effect of fatigue on joint position sense of the knee. *J Orthop Res.* 1986; 4:112-8.
4. Ribeiro F, Mota J, Oliveira J. Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee in the elderly *Eur J Appl Physiol.* 2007; 99: 379–85.
5. Stillman BC. An investigation of the clinical assessment of joint position sense. Doctor of Philosophy. The University of Melbourne. Victoria, Austrália 2000.
6. Roberts D, Ageberg E, Anderson G, Fridèn T. Clinical measurements of proprioception, muscle strength and laxity in relation to function in the ACL-injured knee. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2007; 15(1): 9-16.
7. Bonfim TR, Paccola CAJ, Barela JA. Proprioceptive and Behavior Impairments in Individuals With Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knees. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003; 84: 1217-23.
8. Osternig LR, Caster BL, James CR. Contralateral hamstring (biceps femoris) coactivation patterns and anterior cruciate ligament dysfunction. *Med Sci Sport Exerc* 1994; 27:805-8.
9. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am J Sports Med.* 2003; 31(1): 41-46.

10. Surenkok O, Aytarb A, Tuzunb EH, Akmanc MN. Cryotherapy impairs knee joint position sense and balance Isokinetics and Exercise Science. 2008; 16: 69–73.
11. Gerdle B, Larsson B, Karlsson S. Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque. A study of repetitive maximum isokinetic knee extensions. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2000; 10: 225-32.
- 12 . Fonseca ST, Ocarino JM, Silva PLP. Ajuste da rigidez muscular via sistema fusso-muscular gama: implicações para o controle da estabilidade articular. Rev. bras. fisioter. 2004; 8: 3:187-195
13. Ageberg E. Consequences of a ligament injury on neuromuscular function and relevance to rehabilitation – using the anterior ligament-injured knee as model. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2002; 12: 205-212.
14. Macefield G, Gandevia SC, Burke D. Perceptual response to microstimulation of single afferents innervating joint, muscle, and skin of the human hand. J Physiol. 1990; 429:113-129.
15. Ribeiro F, Oliveira J, Effect of local muscular fatigue in the knee joint proprioception. Fisioter. Mov. 2008; 21(2):71-83.

## **INFLUÊNCIA DA FADIGA NO DESEMPENHO MUSCULAR E ATIVIDADE ELETROMIOGRÁFICA APÓS RECONSTRUÇÃO DE LCA**

### **RESUMO**

A fadiga muscular é um fenômeno que envolve distúrbios fisiológicos e biomecânicos. Suas alterações, em indivíduos saudáveis, são bastante estudadas, mas pouco se sabe sobre suas repercussões em pacientes após reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA). Dessa forma, o objetivo deste estudo é analisar e correlacionar o desempenho do músculo quadríceps femoral e a atividade eletromiográfica dos músculos vasto medial (VM), vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) de pacientes após reconstrução de LCA. Para tanto, participaram deste estudo quarenta homens, sendo vinte saudáveis ( $36,90 \pm 6,29$  anos) e vinte após reconstrução de LCA ( $29,75 \pm 7,01$  anos) com enxerto dos tendões semitendinoso e grácil, entre quatro a seis meses de pós-operatório. Em princípio, realizou-se avaliação isométrica máxima em extensão do joelho, a  $60^\circ$  de flexão, por 10 segundos. Em seguida, aplicou-se o protocolo de fadiga muscular, sendo executado 100 repetições isocinéticas concêntricas de flexo-extensão do joelho a  $90^\circ/s$ , concomitante a avaliação do desempenho muscular (pico de torque – PT e índice de fadiga) e da atividade eletromiográfica (RMS e frequência mediana). Após a análise estatística, observou-se que pacientes após reconstrução do LCA apresentaram, durante contração isométrica, um menor RMS, PT, e Fm do VL e VM, quando comparado ao grupo controle, mas não mostraram diferenças quanto ao índice de fadiga da dinamometria e o da eletromiografia. Já as correlações entre as variáveis isocinéticas e eletromiográficas apresentaram-se positivas. A partir desses achados pode-se pressupor que pacientes após reconstrução do LCA apresentam hipotrofia seletiva das fibras tipo II, reduzindo a força, mas sem alterar sua resistência à fadiga.

Palavras-chave: Fadiga muscular, LCA e eletromiografia.

## ABSTRACT

Muscle fatigue is a phenomenon that involves physiological and biomechanical disorders. Their changes in healthy individuals, are well studied, but little is known about its effects in patients after reconstruction of anterior cruciate ligament (ACL). Thus, the purpose of this study is to analyze and correlate the performance of the quadriceps muscle and the electromyographic activity of vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL) and rectus femoris (RF) in patients after ACL reconstruction. To this end, participants were forty men, twenty healthy subjects ( $36.90 \pm 6.29$  years old) and twenty after ACL reconstruction ( $29.75 \pm 7.01$  years old) with a graft of semitendinosus and gracilis tendons, between four to six months postoperatively. At first assessment took place in isometric knee extension at  $60^\circ$  of flexion for 10 seconds. Then we applied the protocol of muscle fatigue, running 100 repetitions of isokinetic concentric knee flexion and extension at  $90^\circ/s$ , concomitant assessment of muscle performance and EMG activity. After statistical analysis, we found that patients after ACL reconstruction present during isometric contraction, a lower RMS, PT, and Fm VL and VM, when compared to the control group, but have differences in the fatigue index dynamometry and electromyography. Since the correlations between the isokinetic and electromyographic variables were positive. From these findings it can be assumed that patients after ACL reconstruction show selective atrophy of type II fibers, reducing the force, but without changing its resistance to fatigue.

Keywords: muscle fatigue, ACL, and electromyography.

## 1. INTRODUÇÃO

A fadiga muscular é definida como uma diminuição na capacidade de geração de força ou na inabilidade na manutenção do desempenho, sendo um inevitável fenômeno associado com o trabalho muscular<sup>1</sup>.

Segundo Madigan e Pidcoe<sup>2</sup>, este fenômeno produz uma diminuição na capacidade de produção de força, afeta o controle motor e o tempo de reação muscular, resultando em uma marcante redução no desempenho muscular e no aumento da instabilidade articular. Para Masuda *et al.*<sup>3</sup>, a fadiga também está relacionada a alterações eletromiográficas (EMG), sendo observada uma redução na frequência mediana (Fm) decorrente da diminuição de velocidade de condução do potencial de ação, em consequência do acúmulo de substratos metabólicos que diminuem o pH da fibra muscular.

Essas mudanças no comportamento neuromuscular promovidas pela fadiga muscular, em indivíduos saudáveis, são bastante estudadas<sup>4,5</sup> e possuem grande importância para a reabilitação, porém pouco se sabe sobre as suas repercussões em portadores de distúrbios neuromusculares prévios.

Pacientes após reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA), por exemplo, apresentam disfunções persistentes, como a fraqueza do músculo quadríceps femoral<sup>7</sup>, promovida pela redução da sobrecarga, derrame articular e dor, que pode persistir mesmo depois de mais de seis meses de pós-operatório com reabilitação agressiva<sup>6</sup>.

Essa fraqueza é decorrente de uma ativação voluntária incompleta do músculo<sup>7</sup> advinda da inibição muscular artrogênica, que trata-se de um reflexo de inibição contínuo da musculatura ao redor do joelho quando há danos nessa articulação, retardando a reabilitação na medida em que impede ganhos na força muscular<sup>8</sup>.

Mesmo ainda possuindo essas disfunções, nos últimos meses da reabilitação, indivíduos após reconstrução do LCA são submetidos a atividades físicas que podem promover fadiga muscular.

Dessa forma, tendo em vista que ainda não estão bem esclarecidas quais as repercussões que a fadiga muscular promove em pacientes após reconstrução do LCA, este estudo tem como objetivo analisar e correlacionar o desempenho do

músculo quadríceps femoral e a atividade eletromiográfica dos músculos vasto medial (VM), vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) de pacientes após reconstrução de LCA.

## **2. MATERIAIS E MÉTODO**

### **Sujeitos**

Participaram do estudo 40 indivíduos do sexo masculino, com média de idade de  $28,32 \pm 6,73$  anos, divididos em dois grupos distintos, cada um contendo 20 voluntários, sendo um controle (GC) e um de pacientes após reconstrução de LCA (GR).

Como critérios de inclusão para o GR, os sujeitos deveriam ter sido submetidos à reconstrução do LCA com enxerto dos tendões do semitendinoso e grácil, há um período de 4 a 6 meses de pós-operatório, que estivessem em tratamento fisioterapêutico, realizando os mesmos protocolos de reabilitação, e que não apresentassem outras disfunções nos membros inferiores (MMII), exceto reparo artroscópico de menisco, concomitante a cirurgia de reconstrução do LCA. Já no GC, os indivíduos deveriam praticar atividade física amadora, sem caráter profissional, e não possuírem nenhuma patologia neurológica ou traumato-ortopédica nos MMII nos últimos seis meses. Foram excluídos do estudo, os indivíduos que apresentassem dor durante o procedimento e que não realizassem os protocolos de fadiga de forma adequada (Tabela 1).

Os voluntários foram avaliados por uma ficha de avaliação clínico-física e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme critérios estabelecidos pela resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde (CNS). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética local com o número 007/10.

**Tabela 1.** Variáveis antropométricas e tempo de reconstrução do LCA.

	<b>GC</b>	<b>GR</b>	<b>p valor</b>
<b>Idade</b> (anos)	26,90 ±6,29	29,75±7,01	0,18
<b>Massa</b> (kg)	80,50 ± 4,15	78,43 ± 5,97	0,53
<b>Estatura</b> (cm)	178 ± 7,02	174 ± 5,36	0,85
<b>IMC</b> (kg/m <sup>2</sup> )	25,45±3,25	25,90 ±3,40	0,67
<b>Tempo médio de reconstrução</b> (meses)		4,40±0,83	

### Procedimentos

O experimento constou da avaliação do desempenho muscular e atividade eletromiográfica durante uma contração isométrica e concomitante com a aplicação do protocolo de fadiga muscular.

O membro avaliado foi o reconstruído para o GR e o dominante ou não-dominante para o GC, sendo que essa escolha se deu a fim de realizar o pareamento entre os grupos. Para determinar a dominância do membro, foi perguntado ao sujeito com que perna ele chuta uma bola<sup>9</sup>.

Na avaliação, os sujeitos foram posicionados no dinamômetro isocinético, na postura sentada, com o quadril e joelho à 85° e 90°, de flexão, respectivamente. O tronco, pelve e coxa foram estabilizados por meio de cintas, para evitar possíveis movimentos compensatórios, com a fossa poplíteia a uma distância aproximada de 5 cm do assento, a fim de eliminar possíveis interferências da pele. O eixo de rotação do dinamômetro foi alinhado com o do joelho avaliado, na altura do epicôndilo lateral do fêmur, enquanto que o apoio do braço do dinamômetro foi fixado na região distal da perna do sujeito, cerca de 5 cm acima do maléolo medial, de forma a permitir um arco completo de dorsiflexão do tornozelo.

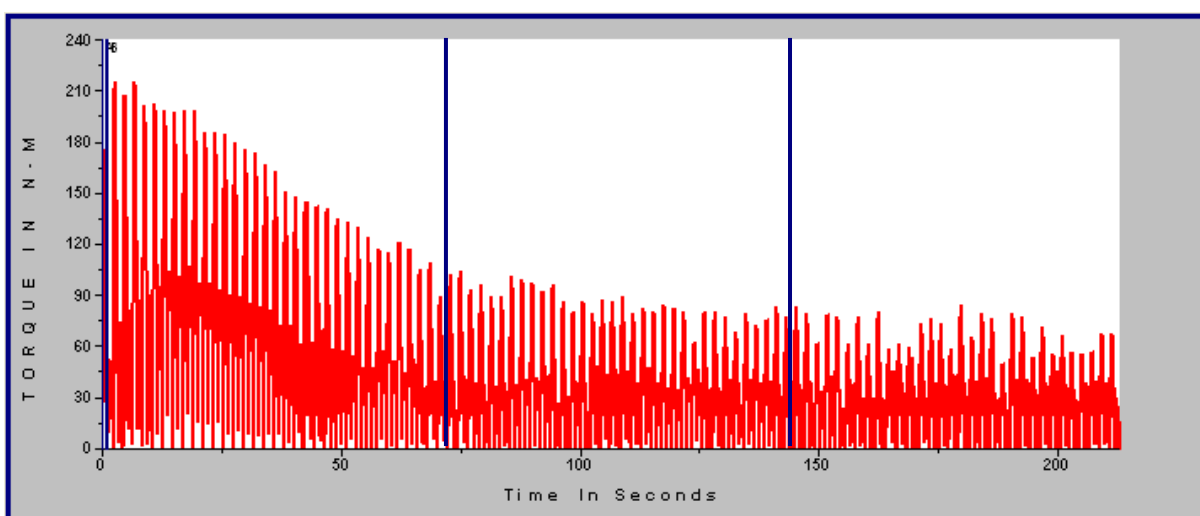
Durante todo o teste, os sujeitos foram orientados a segurar firmemente os apoios laterais do assento, no intuito de manter a estabilização do corpo. Os ajustes da gravidade foram realizados com o joelho em 30° de flexão e calculados pelo próprio software do dinamômetro.



Antes de iniciarem as avaliações, foi realizada a familiarização de todos os testes aplicados. O dinamômetro isocinético foi calibrado semanalmente, conforme orientações do fabricante.

A avaliação do desempenho muscular foi realizada em dois momentos distintos. Primeiramente, foi realizada uma contração isométrica máxima em extensão do joelho, no ângulo de 60° de flexão, por um período de 10 segundos. Em seguida, após dois minutos de repouso, o indivíduo executou 100 repetições concêntricas de flexão e extensão do joelho a uma velocidade constante de 90°/s.

A variável analisada foi o pico de torque (PT) isométrico e o índice de fadiga (IFD). Para análise dos resultados, os registros foram divididos em três sub-amostras, sendo que as analisadas foram o terço inicial e final das 100 repetições (Figura 3). A escolha dessas janelas de tempo foi devido ao índice da fadiga da dinamometria, fornecido pelo equipamento, ser dado pela razão de diferença do trabalho (J) entre esses dois períodos de tempo.



**Figura 1.** Registro das contrações musculares fornecido pela dinamometria isocinética, com as janelas de tempo divididas em três sub-amostras.

A captação da eletromiografia (EMG) foi obtida durante avaliação da contração isométrica e no mesmo instante da aplicação do protocolo de fadiga muscular e constou do registro da amplitude do sinal, dado pelo *Root Mean Square* (RMS) e frequência mediana (Fm).

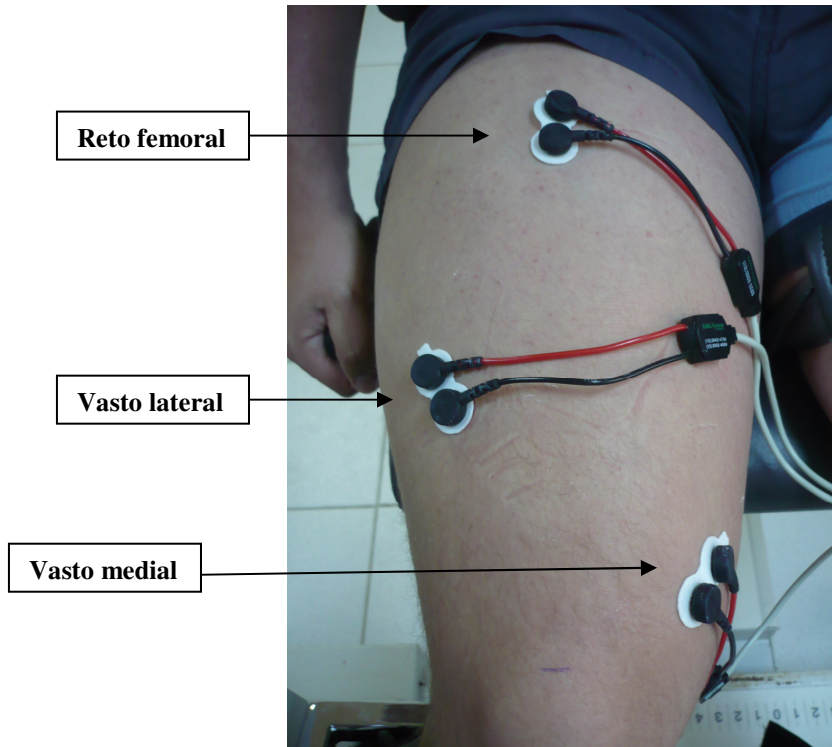
Para aquisição e processamento dos sinais eletromiográficos, utilizou-se um módulo condicionador de sinais (MCS 1000) de 4 canais (EMG System do Brasil), um conversor analógico-digital - A/D (CAD, 12/36-60K) com resolução de 12 bits. O

equipamento tem uma razão de rejeição de modo comum (RRMC) > 80 dB, com frequência de 1000 Hz e um filtro entre 20 e 500 Hz. Como o ganho programado foi de 50 vezes, os sinais foram amplificados 1000 vezes. O software utilizado foi o EMGLab (EMG System do Brasil, Brasil), que calcula a frequência mediana através da Transformada Rápida de Fourier. Foi feito uso de eletrodos de superfície ativos, simples diferenciais (dois eletrodos auto-adesivos, separados por uma distância inter-eletrodo de 2 cm), além de um eletrodo de referência oval.

O índice de fadiga fornecido pela eletromiografia (IFE) foi obtido por meio do registro da Fm de cada contração, obtendo a média dos terços das cem contrações. Em seguida, calculou-se a porcentagem de queda da Fm pela razão entre o terço inicial e final das contrações.

Inicialmente, foram feitas demarcações para o posicionamento dos eletrodos e em seguida, a preparação da pele (tricotomia e limpeza com álcool) nos locais de acoplamento dos eletrodos.

Para captação dos sinais eletromiográficos dos músculos RF, VM e VL, os eletrodos foram posicionados num ponto a 50% de distância entre a espinha ilíaca ântero-superior (EIAS) e a margem superior da patela, para o RF; a 20% de distância entre a EIAS e o espaço articular medial do joelho, para o VM; e a 1/3 da distância entre a face lateral da patela e a EIAS, para o VL, conforme recomendações de Hermes<sup>10</sup> (Figura 4). O eletrodo de referência foi colocado no maléolo medial da perna contralateral a analisada.



**Figura 2.** Posicionamento dos eletrodos sobre o reto femoral, vasto medial, vasto lateral para captação do EMG.

Os eletrodos foram fixados na pele com esparadrapo e faixas elásticas, para garantir a estabilidade. Cuidados também foram tomados na fixação dos cabos, para minimizar possíveis deslocamentos durante a aquisição do sinal e surgimento de ruídos.

O protocolo de fadiga muscular foi realizado no dinamômetro isocinético, com o indivíduo posicionado da mesma forma da avaliação, e constou de uma única série de 100 contrações concêntricas voluntárias máximas de flexão e extensão do joelho do membro a ser analisado, partindo-se de 90° de flexão a 0° (extensão completa), com o movimento ocorrendo a uma velocidade constante de 90°/s<sup>11</sup>.

Para promover encorajamento, a todo instante foi fornecido *feedback* visual, proporcionado pelo aparelho e comando verbal padronizado dado pelo avaliador. Orientações também foram explicitadas com respeito aos cuidados à função cardiorrespiratória para evitar a manobra de Valsava.

### **Análise Estatística**

Para análise e interpretação dos resultados, utilizou-se o programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS), versão 15.0. Inicialmente, foi

verificada a normalidade dos dados (teste de Kolmogorov-Sminov) e constatou-se que as variáveis isométricas de RMS do VL, a Fm dos três músculos do GR e a Fm do RF do GC, como também, os dados isocinéticos de índice de fadiga eletromiográfico do VM e o índice de fadiga do dinamômetro do GR apresentaram-se não-paramétricas. Sendo que as demais variáveis possuíram distribuição normal.

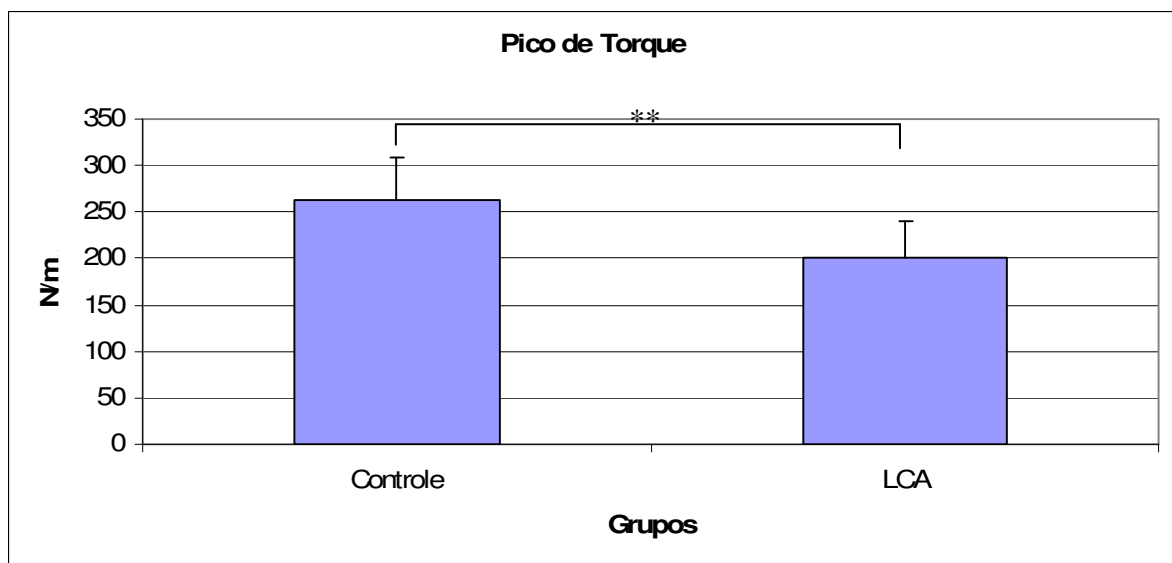
Nas comparações relacionadas com a idade e IMC, aplicou-se estatística descritiva (média e desvio-padrão) e o teste t independente.

Na avaliação do PT isométrico, utilizou-se o teste t de *Student* independente. Para análise do RMS e Fm em isometria, e do índice de fadiga dado pela dinamometria e pela eletromiografia, aplicou-se o teste de Mann-Whitney.

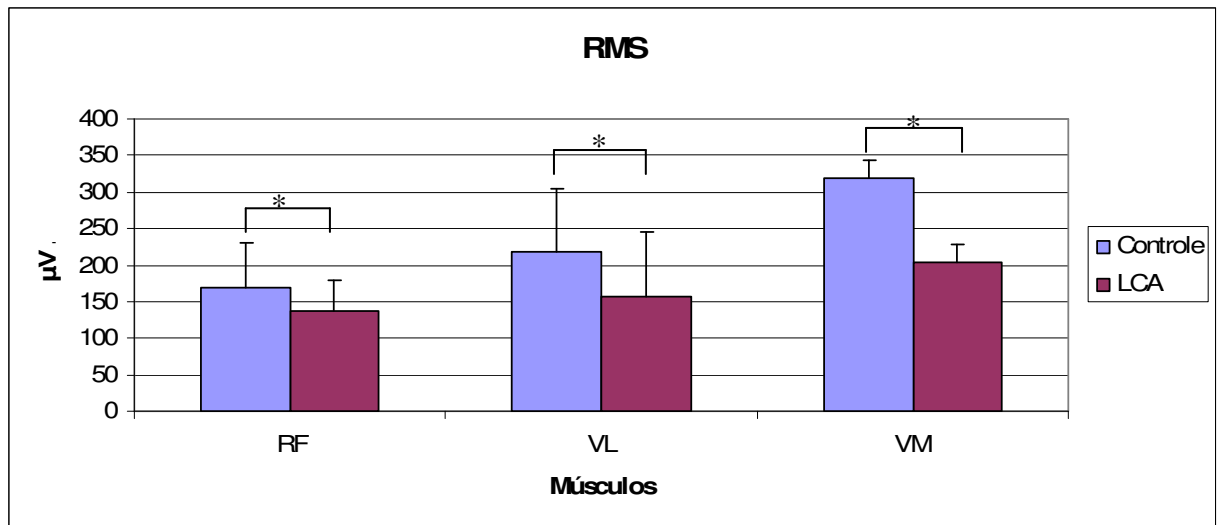
Para todos os testes será considerado um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ).

### 3. Resultados

De acordo com os dados obtidos com a avaliação isométrica, pode-se constatar que pacientes após reconstrução de LCA possuem menor PT ( $p=0,00$ ; Figura 3) e RMS (RF:  $p = 0,04$ , VL:  $p = 0,03$  e VM:  $p= 0,01$ ; Figura 4) quando comparado a indivíduos saudáveis.



**Figura 3.** Pico de torque isométrico dos grupos controle e após reconstrução de LCA (\*\* $p<0,00$ ).



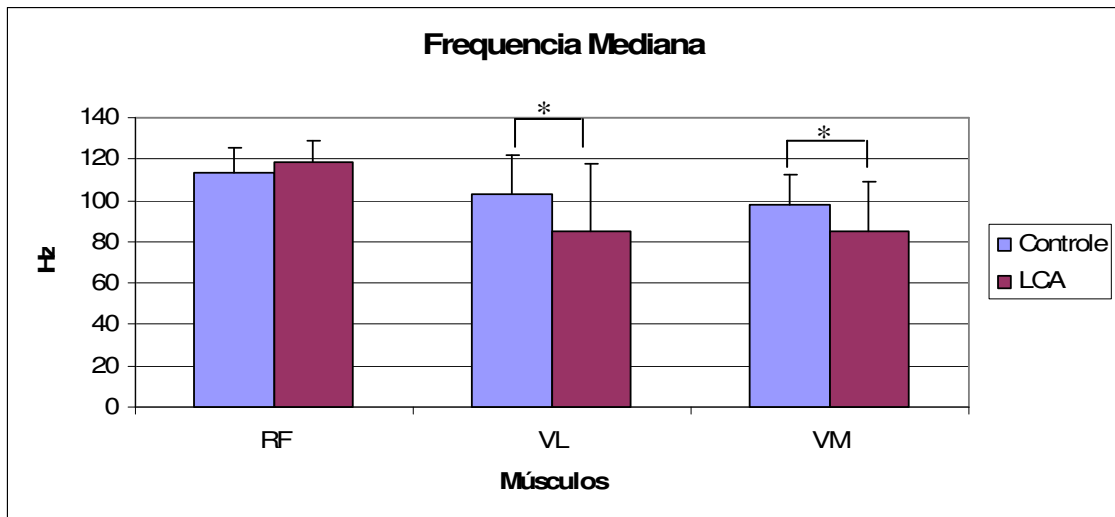
**Figura 4.** RMS em isometria dos grupos controle e após reconstrução de LCA (\* $p < 0,05$ ).

Na análise da relação entre o RMS e PT, durante avaliação isométrica, observou-se uma correlação positiva forte entre a PT e o RF e fraca entre o PT e VM de ambos os grupos. A correlação entre o PT e VL apresentou-se moderada e forte, para o GC e GR, respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 2.** Correlação entre o pico de torque isométrico e o RMS.

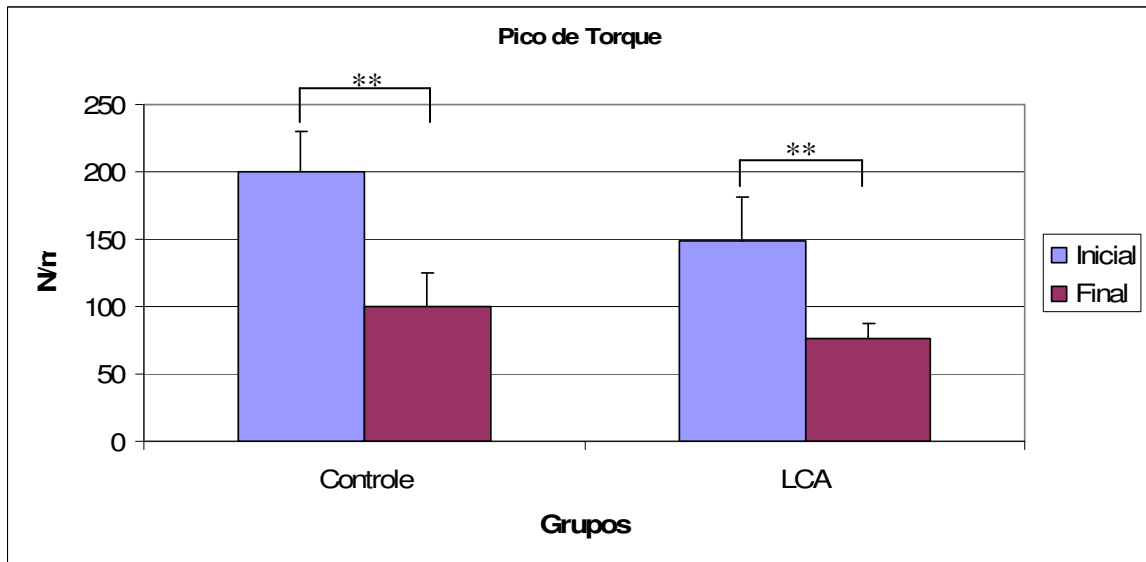
		RMS RF	RMS VL	RMS VM
<b>GC</b>	PT	$r=0,87$ $p=0,00^*$	$r= 0,56$ $p= 0,01$	$r= 0,34^*$ $p= 0,04$
<b>GR</b>	PT	$r=0,78$ $p=0,00^*$	$r= 0,91$ $p= 0,00^*$	$r= 0,29$ $p= 0,03^*$

No que diz respeito à análise da frequência mediana, foi detectado que o GR apresenta essa variável reduzida nos músculos VL e VM (VL:  $p = 0,04$ , VM:  $p= 0,04$ ), mas sem possuir diferenças significativas no músculo RF (Figura 5).

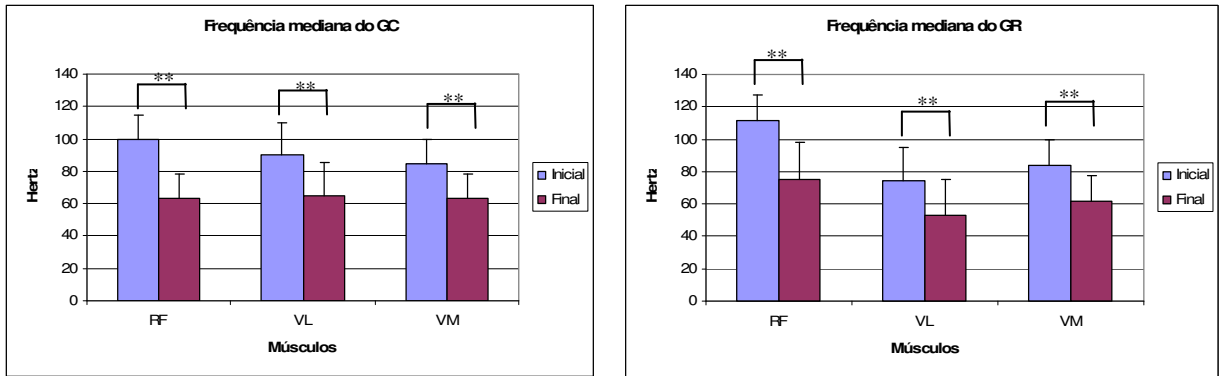


**Figura 5.** Frequência mediana em isométrica dos grupos controle e após reconstrução de LCA (\* $p < 0,05$ ).

Quanto à avaliação isocinética concêntrica, detectou-se que os grupos, GC e GR, apresentaram uma diminuição no PT ( $p = 0,00$ ;  $p = 0,00$ ; Figura 6) e Fm (GC e GR RF, VL e VM:  $p = 0,00$ ; Figura 7) após a fadiga muscular.

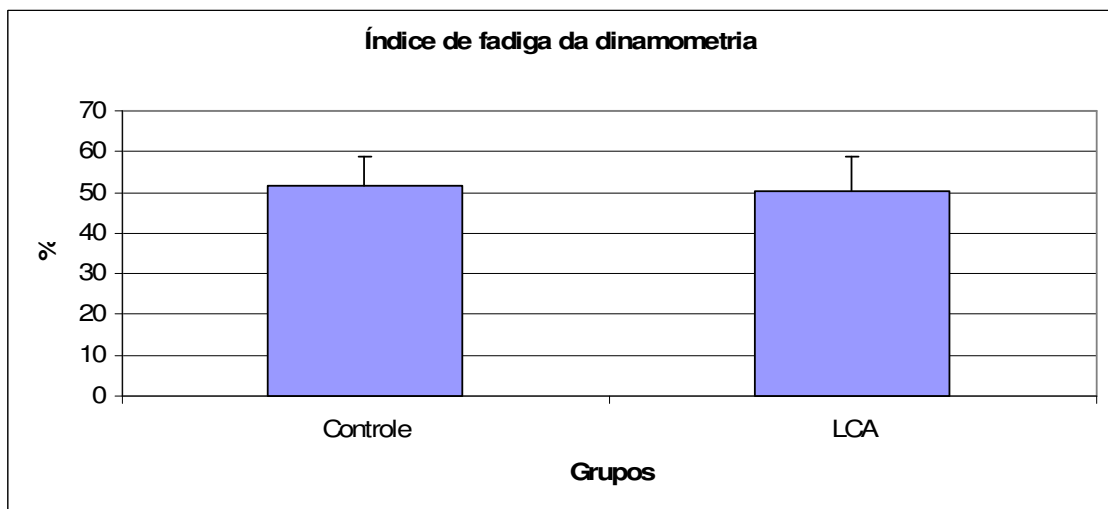


**Figura 6.** Redução do pico de torque dos grupos controle e após reconstrução de LCA após fadiga muscular (\*\* $p < 0,00$ ).

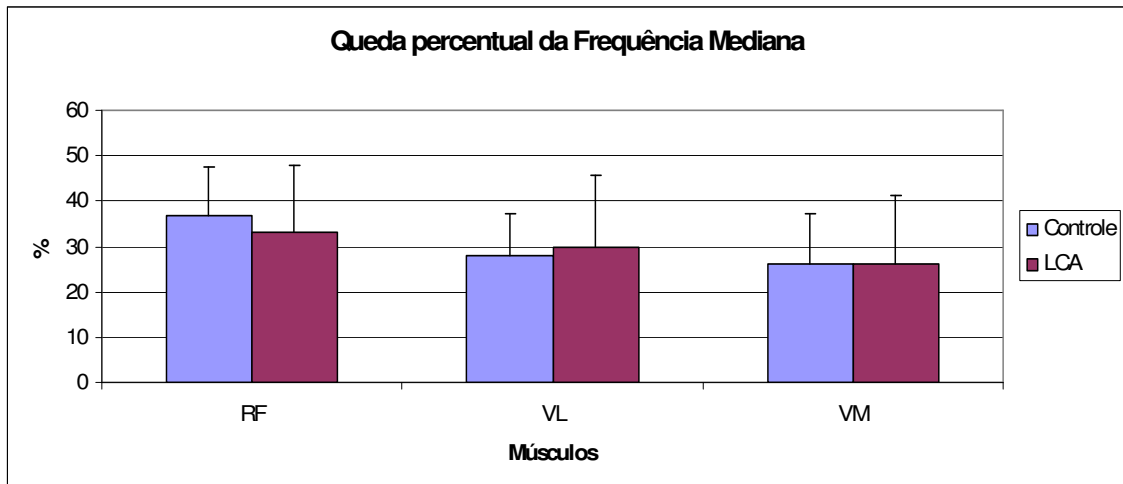


**Figura 7.** Frequência mediana dos músculos reto femoral, vasto medial e vasto lateral dos grupos controle e após reconstrução de LCA, respectivamente (\*\*p<0,00).

No que diz respeito ao índice de fadiga, detectou-se não haver diferenças significativas entre os grupos, nem por meio da variável fornecida pela dinamometria (p=0,54; Figura 8), nem pela eletromiografia (RF: p=0,35, VL: p=0,51, VM: p=0,44; Figura 9).



**Figura 8.** Índice de fadiga fornecido pela dinamometria isocinética dos grupos controle e após reconstrução de LCA.



**Figura 9.** Índice de fadiga fornecido pela eletromiografia dos músculos reto femoral, vasto medial e vasto lateral dos grupos controle e após reconstrução de LCA.

Já no que se refere à relação entre o índice de fadiga dado pela dinamometria e o fornecido pela frequência mediana, constatou-se no GC e GR, uma correlação positiva forte entre o IFD e  $IFE_{FM}$  RF. (Tabela 4 e 5).

**Tabela 3.** Correlação entre o índice de fadiga fornecido pela dinamometria isocinética e pela eletromiografia (frequência mediana).

		$IFE_{FM}$ RF	$IFE_{FM}$ VL	$IFE_{FM}$ VM
<b>GC</b>	IFD	$r=0,68$ $p=0,001^*$	$r= 0,80$ $p= 0,73$	$r= 0,23$ $p= 0,32$
<b>GR</b>	IFD	$r=0,48$ $p=0,03^*$	$r= 0,11$ $p= 0,64$	$r= 0,17$ $p= 0,47$

#### 4. Discussão

Nas condições experimentais utilizadas, ainda em situação pré-fadiga, a partir da avaliação isométrica, constatou-se que o GR apresenta um menor pico de torque quando comparados ao GC. Resultado que possui concordância com outros achados da literatura<sup>12,13</sup>, que relatam esse acontecimento devido a fraqueza residual do músculo quadríceps femoral, resultante da inibição muscular artrogênica e de uma hipotrofia por desuso ocorrida pela redução da prática de atividade física<sup>14</sup>.

Concomitante com a redução do pico de torque, constatou-se uma diminuição no RMS de todos os músculos analisados, RF, VL e VM, fato justificado pela presença da inibição muscular artrogênica, que é resultado da atividade reflexa que altera as informações aferentes originárias da articulação lesionada, levando a



uma diminuição na atividade eferente conduzida para o músculo. Especificamente, a perda dos mecanorreceptores do LCA interrompe o reflexo ligamentar-muscular entre o LCA e o quadríceps, promovendo uma inabilidade de recrutar ativamente as unidades motoras com alto limiar de excitação durante a contração voluntária do músculo<sup>15</sup>.

Quanto à relação entre o PT e o RMS dos músculos RF, VL e VM, em isometria, pode-se constatar, em indivíduos saudáveis, uma correlação forte e moderada entre o PT e o RMS do reto femoral e vasto lateral, respectivamente. Esse resultado decorre do fato desses músculos serem os principais extensores do joelho, já o vasto medial, por não ser um potente extensor, apresentou uma correlação positiva fraca.

Achados semelhantes foram encontrados em pacientes após reconstrução do LCA, observando mudanças apenas no VL, no qual se constatou uma correlação positiva forte. Essa diferença, detectando uma maior correlação no GR quando comparado ao GC, pode ter ocorrido, pois esses pacientes apresentaram um pico de torque reduzido<sup>12,16</sup>.

Na análise da frequência mediana, durante a contração isométrica, pode-se observar uma menor frequência de disparo das unidades motoras dos músculos VM e VL de pacientes após reconstrução de LCA quando comparados a indivíduos saudáveis, mas sem nenhuma alteração significativa no músculo RF. Essa redução na Fm ocorreu devido a uma hipotrofia seletiva das fibras do tipo II que ocorre devido à lesão do LCA, conforme sugere McNair *et al.*<sup>17</sup>, Snyder-Mackler *et al.*<sup>18</sup>, Noguchia *et al.*<sup>19</sup> e Drechsler *et al.*<sup>20</sup>. Para McHugh *et al.*<sup>21</sup>, uma menor frequência mediana é atribuída a hipotrofia seletiva das fibras de contração rápida baseado no fato de que essa variável eletromiográfica primeiramente reflete a velocidade de condução nervosa, que é maior em fibras musculares rápidas do que lentas.

Quanto ao RF não ter apresentado nenhum comprometimento significativo da Fm, acredita-se que é decorrente desse músculo apresentar um menor comprometimento de suas fibras na lesão e reconstrução do LCA, haja vista ser um músculo biarticular.

Já em condições de fadiga muscular, durante o protocolo isocinético concêntrico, detectou-se que o pico de torque e frequência mediana de ambos os grupos declinaram após a fadiga. Isso ocorre devido à depleção dos substratos metabólicos, diminuição da produção de cálcio pelo retículo sarcoplasmático,

redução da sensibilidade da troponina C ao  $\text{Ca}^{2+}$ , levando a uma competição entre o  $\text{H}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , alterando o processo de acoplamento excitação-contração<sup>22,23</sup>.

Por fim, na análise do índice de fadiga muscular, tanto a variável fornecida pela dinamometria isocinética quanto a dada pela eletromiografia de superfície, não se constataram diferenças significativas entre os grupos, ou seja, ambos apresentam resistência à fadiga semelhante, permitindo pressupor que não há comprometimento significativo no tipo de fibra tipo I, fortalecendo a hipótese da hipotrofia seletiva das fibras tipo II.

Na correlação dessas duas variáveis, IFD e  $\text{IF}_{\text{FM}}$ , durante o protocolo de fadiga muscular, tanto em indivíduos saudáveis quanto em pacientes após reconstrução do LCA, pode-se constatar uma correlação positiva forte entre o índice de fadiga da dinamometria e o índice de fadiga, dado pela FM do músculo RF, não sendo observada nenhuma correlação da variável do dinamômetro com os demais vastos. A princípio, esperava-se que houvesse correlação da dinamometria com o músculo VL, pelo fato dele ser o principal extensor do joelho<sup>13</sup>, todavia, esse resultado pode ser decorrente de que, segundo Cifrek *et al.*<sup>24</sup> e Gerdle *et al.*<sup>25</sup>, o RF apresenta maiores valores iniciais da frequência mediana e um elevado índice de fadiga, haja vista que possui maior redução da frequência mediana em relação ao VL e VM, durante o exercício físico.

Os resultados desse estudo, indicando sempre correlações fortes para o músculo RF e fracas ou sem correlação, para os demais vastos, podem ser decorrentes do fato dos indivíduos terem executado contrações voluntárias máximas (CVM). Para Cifrek *et al.*<sup>24</sup>, a frequência mediana é dependente da intensidade da contração muscular e conforme Karlsson *et al.*<sup>4</sup>, unidades motoras rápidas, como as do músculo RF, podem aumentar seu recrutamento em até 100% da CVM. Já unidades motoras lentas, como as do VM, alcançam sua saturação em baixos níveis de contração. Quanto ao músculo VL, Bernadi *et al.*<sup>26</sup>, tem mostrado que seu limiar de saturação está entre 40 a 60% de CVM.

## 5. Conclusão

Pacientes após reconstrução do LCA apresentam alterações nas variáveis isocinéticas e eletromiográficas, ainda em condições pré-fadiga, com uma redução no pico de torque, no RMS do RF, VL e VM e na frequência mediana dos músculos

VL e VM. Já em condições de fadiga muscular, ambos os grupos, GR e GC, apresentam redução do pico de torque e frequência mediana, mas não possuem diferenças no índice de fadiga fornecido pela dinamometria e eletromiografia.

Com respeito às relações entre as variáveis isocinéticas e eletromiográficas, observou-se correlações positivas.

## 6. Referências

1. Jaric S, Blesic S, Milanovic S, Radovanovic S, Anastasijevic MLR. Changes in movement final position associated with agonist and antagonist muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol.* 1999; 80: 467-71.
2. Madigan ML, Pidcoe PE. Changes in landing biomechanics during a fatiguing landing activity. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003; 13: 491–8.
3. 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: 39-46.
4. Karlsson JS, Ostlund N, Larsson B, Gerdle B. An estimation of the influence of force decrease on the mean power spectral frequency shift of the EMG during repetitive maximum dynamic knee extensions *Journal of Electromyography and Kinesiology.* 2003; 13: 461–8.
5. Boyas S, Maisetti O, Guevel A. Changes in sEMG parameters among trunk and thigh muscles during a fatiguing bilateral isometric multi-joint task in trained and untrained subjects. *Journal of Electromyography and Kinesiology.* 2009; 19: 259–268.
6. Mchugh M, Tyler T, Nicholas S, Browne M, Gleim G. Electromyographic analysis of quadriceps fatigue after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy.* 2001; 31 (1): 25-32.

7. Konishi Y, Aihara Y, Sakai M, Ogawa G, Fukubayashi T. Gamma loop dysfunction in the quadriceps femoris of patients who underwent anterior cruciate ligament reconstruction remains bilaterally. *Scand J Med Sci Sports*. 2006; 17:393-9.
8. Palmieri RM, Weltman A, Edwards JE, Tom JA, Saliba EN, Mistry DJ, Ingersoll CD. Pre-synaptic modulation of quadriceps arthrogenic muscle inhibition. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2005; 13:370-6.
9. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*. 2003; 31(1): 41-6.
10. Hermes H J, Merletti B R, Stegemann D, Blok J, Rau G, Disselhorst-Klug C, Hagg G. European recommendations for surface electromyography. Results of the SENIAM project Roessingh Research and Development bv, Enschede, The Netherlands (1999).
11. Gerdle B, Larsson B, Karlsson S. Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque. A study of repetitive maximum isokinetic knee extensions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2000; 10: 225-32.
12. Urbach D, Nebelung W, Weiler HT, Awiszus F. Bilateral deficit of voluntary quadriceps muscle activation after unilateral ACL tear. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31:1691–6.
13. Lautamies R, Harilainen A, Kettunen J, Sandelin J, Kujala UM. Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008; 16:1009–16.
14. Fitzgerald GK, Axe M J, Snyder-Mackler L. A decision making scheme for returning patients to high-level activity with nonoperative treatment after anterior

cruciate ligament rupture. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*. 2000; 8, 76–82

15. Palmieri-Smith R, Thomas AC, Wojtys EM. Maximizing Quadriceps Strength After ACL Reconstruction. *Clin Sports Med*. 2008; 27: 405–424

16. Gerdle B, Larsson B, Karlsson S. Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque. A study of repetitive maximum isokinetic knee extensions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2000; 10: 225-32.

17. Mcnair PJ, Wood GA. Frequency analysis of the EMG from the quadriceps of ACL individuals. *Eletromyogr. Clin. Neurophysiol*. 1993; 33: 43-48.

18. Snyder-Mackler L, Binder-Macleod S A, Williamms P R. Fatigability of human quadriceps femoris muscle following ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc*. 1993; 25: 783-789.

19. Noguchia J, Horibeb S, Abea T, Soejimaa T, Maeda T. Frequency analysis of surface EMG on knee extensors with anterior cruciate ligament insufficiency. *The Knee*. 1999. 6:1-7.

20. Drechsler W I, Cramp M C, Scott O M. Changes in muscle strength and EMG median frequency after anterior cruciate ligament reconstruction. *Eur J Appl Physiol* 2006; 98 (6):613–23.

21. McHugh MP, Tyler TF, Browne MG, Gleim GW, and Nicholas SJ. Electromyographic Predictors of Residual Quadriceps Muscle Weakness after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2002; 30: 334 – 9.

22. Stackhouse S K, Reisman D S, Stuart A B. Challenging the role of pH in the Skeletal Muscle Fatigue. *Physical Therapy*. 2001; 81: 1897 – 902.

23. Place N, Bruton JD, Westerblad H. Mechanisms of fatigue induced by isometric contractions in exercising humans and in mouse isolated single muscle fibres. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* (2009) 36, 334–9.
24. Cifrek M, Tonkovic S, Medved V. Measurement and analysis of surface myoelectric signals during fatigued cyclic dynamic contractions. *Measurement*. 2000; 27: 85–92.
25. Gerdle B, Henriksson-Larsén K, Lorentzon R, Wring M L. Dependence of the mean power frequency of the electromyogram on muscle force and fibre type, *Acta Physiol. Scand.* 1991; 42: 457–65.
26. Bernardi M, Solomonow M, Sanchez J H, Baratta R V, Nguyen G. Motor unit recruitment strategy of knee antagonist muscles in a step-wise, increasing isometric contraction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995; 70(6): 493–501.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante dos resultados obtidos a partir dos ensaios experimentais desenvolvidos nesse estudo, pode-se concluir que:

- A fadiga muscular altera o SPA ativo tanto em indivíduos saudáveis quanto em pacientes após reconstrução de LCA;
- Pacientes após reconstrução de LCA já apresentam distúrbios no SPA, ainda em condições pré-fadiga e quando fatigados, suas alterações são ainda mais exacerbadas;
- Quanto ao desempenho muscular, em condições pré-fadiga, observa-se que pacientes após reconstrução do LCA apresentam uma redução no pico de torque extensor, RMS e na frequência mediana do músculo quadríceps femoral;
- Em situação de fadiga muscular, tanto indivíduos saudáveis quanto os referidos pacientes, possuem os índices de fadiga, fornecido pela dinamometria isocinética e eletromiografia, semelhantes.
- No que diz respeito às análises das relações entre as variáveis isocinéticas e eletromiográficas, observou-se, durante contrações isométricas, correlações positivas entre o RMS dos músculos do quadríceps femoral e o pico de torque extensor do joelho, em indivíduos saudáveis e após reconstrução de LCA.
- Já durante o protocolo de fadiga muscular isocinético, detectou-se que o índice de fadiga, dado pela frequência mediana do músculo reto femoral mostrou-se que correlaciona positivamente com o índice de fadiga dado pela dinamometria.

O presente estudo apresenta algumas limitações no que diz respeito ao tamanho da amostra, como também, pelo fato do dinamômetro isocinético, na avaliação do SPA, não registrar valores em casas decimais, reduzindo a sensibilidade da avaliação.

Como sugestão, outros trabalhos podem ser desenvolvidos, realizando o acompanhamento das repercussões da fadiga muscular nesses pacientes, desde o primeiro mês de pós-operatório até o período de retorno as atividades pré-lesão, podendo utilizar de outros métodos de avaliação como plataformas de força e câmeras de cinemetria, para observar se a fadiga também promove alterações cinemáticas e se elas são ou não mais exacerbadas em pacientes após reconstrução do LCA.



## **6 REFERÊNCIAS**

1. Padua DA, Arnold BL, Perrin DH, Gansneder BM, Cargia CR, Granata KP. Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females. *J Athl Train*. 2006; 41(3): 294-304.
2. Madigan ML, Pidcoe PE. Changes in landing biomechanics during a fatiguing landing activity. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003; 13: 491–498.
3. Skinner HB, Wyatt MP, Hodgdon JA, Conard DW, Barrack RL. Effect of fatigue on joint position sense of the knee. *J Orthop Res*. 1986; 4:112-8.
4. Miura K, Ishibashi Y, Tsuda E, Okamura Y, Otsuka Y, Toy S. The Effect of Local and General Fatigue on Knee Proprioception. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*. 2004; 20(4): 414-8.
5. Herrington L. Knee-Joint Position Sense: The Relationship Between Open and Closed Kinetic Chain Tests. *J Sport Rehabil*. 2005; 14: 356-62.
6. Allen TJ, Proske U. Effect of muscle fatigue on the sense of limb position and movement. *Exp Brain Res*. 2006; 170: 30–8.
7. Mchugh M, Tyler T, Nicholas S, Browne M, Gleim G. Electromyographic analysis of quadriceps fatigue after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2001; 31 (1): 25-32.
8. Friemert B, Bach C, Schwarz W, Gerngross H, Schmidt R. Benefits of active motion for joint position sense. *Knee Surgery, Sports Traumatology Arthroscopy*. 2006; 14(6): 564-70.
9. Bonato P, Cheng M S, Gonzales-Cueto J, Leardini A, O'Connor J, Roy SH. EMG-Based Measures of fatigue during a repetitive squat exercises. Assessment of dynamic conditions can provide information about compensatory muscle function in ACL patients. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*. 2001; 20 (6): 133-43.

10. Mcnair PJ, Wood GA. Frequency analysis of the EMG from the quadriceps of ACL individuals. *Eletromyogr. Clin. Neurophysiol.* 1993; 33: 43-8.
11. Snyder-Mackler L, Binder-Macleod S A, Williamms P R. Fatigability of human quadriceps femoris muscle following ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc.* 1993; 25: 783-89.
12. Drechsler WI, Cramp MC, Scott OM. Changes in muscle strength and EMG median frequency after anterior cruciate ligament reconstruction. *Eur J Appl Physiol* 2006; 98 (6):613–23.
13. Roberts D, Ageberg E, Andersson G, Fridén T. Effects of short-term cycling on knee joint proprioception in ACL-deficient patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004; 12: 357-63.
14. Jaric S, Blesic S, Milanovic S, Radovanovic S, Anastasijevic MLR. Changes in movement final position associated with agonist and antagonist muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol.* 1999; 80: 467-71.
15. Enoka RM. Mechanisms of Muscle Fatigue: Central Factors and Task Dependency. *Journal of Electromyography and Kinesiology.* 1995; 5(3):141-9.
16. Ascensão A, Magalhães J, Oliveira J, Duarte J, Soares J. Fisiologia da fadiga muscular. Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica. *Rev Port Cien Desp.* 2003; 3(1):108-23.
17. 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: 39-46.
18. Williams GN, Chmielewski T, Rudolph K, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. *J Orthop Sports Phys* 2001; 31(10): 546-66.

19. Carpenter JE, Blasier RB, Pellizzon GG. The effects of muscle fatigue on shoulder joint position sense. *Am J Sports Med.* 1998; 26(2):262–265.
20. Hewett TE, Paterno MS, Myer GD. Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee. *Clin Orthop* 2002; 402: 76-94
21. Ribeiro F, Mota J, Oliveira J. Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee in the elderly. *Eur J Appl Physiol.* 2007; 99: 379–385.
22. Stillman BC. An investigation of the clinical assessment of joint position sense. Doctor of Philosophy. The University of Melbourne. Victoria, Australia 2000.
23. Hootman JM, Dick R, Agel J. Epidemiology of Collegiate Injuries for 15 Sports: Summary and Recommendations for Injury Prevention Initiatives. *Journal of Athletic Training.* 2007; 42(2): 311-19.
24. Kvist J, Gillquist J. Anterior positioning of tibia during motion after anterior cruciate ligament injury. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33 (7):1063-72.
25. Butler D, Noyes F, Grood E. Ligamentous restraints to anteroposterior drawer. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am.* 1980; 62: 259-70.
26. Yu B, Kirkendall DT, Garrett WE. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: anatomy, physiology and motor control. *Sports Med. Arthosc. Rev.* 2002; 10: 58-68.
27. Pizzato LM, Arakaki JC, Vasconcelos RA, Sposito GC, Oliveira AS, Paccola C. Análise da frequência mediana do sinal eletromiográfico de indivíduos com lesão do ligamento cruzado anterior em exercícios isométricos de cadeia cinética aberta e fechada. *Rev Bras Med Esporte.* 2007; 3(1):1-5.
28. Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE. Treatment of Anterior Cruciate Ligament Injuries, Part 1. *Am. J. Sports Med.* 2005; 33: 1579-602.

29. Konishi Y, Aihara Y, Sakai M, Ogawa G, Fukubayashi T. Gamma loop dysfunction in the quadriceps femoris of patients who underwent anterior cruciate ligament reconstruction remains bilaterally. *Scand J Med Sci Sports*. 2006; 17:393-99.
30. Palmieri RM, Weltman A, Edwards JE, Tom JA, Saliba EN, Mistry DJ, Ingersoll CD. Pre-synaptic modulation of quadriceps arthrogenic muscle inhibition. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2005; 13:370-376.
31. Bonfim TR, Paccola CAJ, Barela JA. Proprioceptive and Behavior Impairments in Individuals With Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knees. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003; 84: 1217-23.
32. Hopper DM, Creagh MJ, Formby PA, Goh SC, Boyle JJ, Strauss GR. Functional Measurement of Knee Joint Position Sense After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Strauss Arch Phys Med Rehabil*. 2003; 84: 868-72.
33. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*. 2003; 31(1): 41-6.
34. Surenkok O, Aytarb A, Tuzunb EH, Akmanç MN. Cryotherapy impairs knee joint position sense and balance *Isokinetics and Exercise Science*. 2008; 16: 69–73.
35. Hermes HJ, Merletti BR, Stegemann D, Blok J, Rau G, Disselhorst-Klug C, Hagg G. European recommendations for surface electromyography. Results of the SENIAM project Roessingh Research and Development bv, Enschede, The Netherlands (1999).
36. Gerdle B, Larsson B, Karlsson S. Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque. A study of repetitive maximum isokinetic knee extensions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2000; 10: 225-32.

37. Rozzi SL, Lephart SM, Fu FH. Effects of Muscular Fatigue on Knee Joint Laxity and Neuromuscular Characteristics of Male and Female Athletes. *Journal of Athletic Training* 1999; 34 (2): 106-14
38. Kellis E, Kouvelioti V. Agonist versus antagonist muscle fatigue effects on thigh muscle activity and vertical ground reaction during drop landing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2009; 19: 55-64.
39. Ageberg E. Consequences of a ligament injury on neuromuscular function and relevance to rehabilitation – using the anterior ligament-injured knee as model. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2002; 12: 205-12.
40. Roberts D, Ageberg E, Anderson G, Fridè T. Clinical measurements of proprioception, muscle strength and laxity in relation to function in the ACL-injured knee. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2007; 15(1): 9-16.
41. Macefield G, Gandevia SC, Burke D. Perceptual response to microstimulation of single afferents innervating joint, muscle, and skin of the human hand. *J Physiol.* 1990; 429:113-29.
42. Rozzi S, Yuktananandan P, Pincevero D, Lephart SM. Role of fatigue on proprioception and neuromuscular control. In: Lephart SM, Fu FH, editors. *proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000: 375-84.

## **6 APÊNDICES**



## APÊNDICE A – FICHA DE AVALIAÇÃO

### Identificação:

**Nome:**

**C.P.F:**

**Data de nascimento:**

**Idade:**

**Telefone:**

**Médico responsável:**

**Data da cirurgia:**

**Tempo entre a lesão e a cirurgia:**

1) Queixa principal: \_\_\_\_\_.

2) Antecedentes pessoais: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

3) Exames complementares: \_\_\_\_\_.

4) Atividade física

Modalidade: \_\_\_\_\_.

Nível de atividade: ( ) 2 a 3 vezes por semana; ( ) 4 a 5 vezes por semana;  
( ) Mais de 5 vezes por semana.

### Exame Físico

Altura: \_\_\_\_ m

Peso: \_\_\_\_ kg

IMC: \_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup>

Dominância MMII - ( ) D ( ) E ( ) Ambidestro

Membro reconstruído - ( ) D ( ) E

Membro avaliado - ( ) D ( ) E

Natal, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE**  
**MESTRADO EM FISIOTERAPIA**

**APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Este é um convite para você participar da pesquisa “Influência da fadiga no comportamento neuromuscular após reconstrução de ligamento cruzado anterior” que é coordenada pelo Professor Dr. Jamilson Simões Brasileiro e sua orientanda de mestrado Nícia Farias Braga.

Sua participação é voluntária, o que significa que você poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento, sem que isso lhe traga nenhum prejuízo ou penalidade.

Essa pesquisa procura avaliar os efeitos da fadiga muscular no comportamento neuromuscular de indivíduos após reconstrução do ligamento cruzado anterior. Serão realizados os seguintes procedimentos: avaliação inicial do senso de posição articular, seguida da aplicação do protocolo de fadiga muscular concomitante com a avaliação do desempenho muscular e da atividade elétrica do músculo e por fim, uma segunda avaliação do senso de posição articular.

Os riscos envolvidos nessa pesquisa são mínimos, podendo apresentar um desconforto muscular provocado pelo exercício, que é reduzido devido a você ser fisicamente ativo.

Você terá os seguintes benefícios ao participar da pesquisa: o conhecimento de como está sua função muscular e de senso de posição articular do joelho, bem como, saber que sua participação tem ajudado no progresso da ciência de reabilitação.

Todas as informações obtidas serão sigilosas e seu nome não será identificado em nenhum momento. Os dados serão guardados em local seguro e a divulgação dos resultados será feita de forma a não identificar os voluntários.

Caso haja algum gasto decorrente desta pesquisa, você será ressarcido, bem como receberá uma indenização por danos também decorrentes desta pesquisa,

desde que a necessidade de ressarcimento e indenização sejam devidamente comprovados.

Você ficará com uma cópia deste Termo e toda a dúvida que você tiver a respeito desta pesquisa, poderá perguntar diretamente para Jamilson Simões Brasileiro, no endereço: Campus Universitário da UFRN, Lagoa Nova, Caixa Postal 1524, CEP: 59072-970, Natal-RN, ou pelo telefone: (84)3215-4274.

Dúvidas a respeito da ética dessa pesquisa poderão ser questionadas ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFRN, no endereço: Endereço: Praça do Campus, Campus Universitário, CP 1666- Natal/RN, CEP: 59078-970 ou pelo telefone: (84) 3215-3135.

### **Consentimento Livre e Esclarecido**

Declaro que compreendi os objetivos desta pesquisa, como ela será realizada, os riscos e benefícios envolvidos e concordo em participar voluntariamente da pesquisa “Influência da fadiga no comportamento neuromuscular após reconstrução de ligamento cruzado anterior”.

#### **Participante da pesquisa:**

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_



\_\_\_\_\_  
Assinatura

#### **Pesquisador responsável:**

Nome: Nícia Farias Braga Maciel

Endereço: Campus Universitário da UFRN, Lagoa Nova, Caixa Postal 1524, CEP: 59072-970, Natal-RN.

Telefone (84)9152-1994. E-mail: nicia\_farias@hotmail.com

**Professor Orientador:**

Nome: Jamilson Simões Brasileiro

Endereço: Campus Universitário da UFRN, Lagoa Nova, Caixa Postal 1524, CEP: 59072-970, Natal-RN.

Telefone: (84)3215-4274/4275. E-mail: [brasileiro@ufmet.br](mailto:brasileiro@ufmet.br)

**Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Norte**

Endereço: Praça do Campus, Campus Universitário, CP 1666- Natal/RN.

CEP: 59078-970.

Telefone: (84) 3215-3135. E-mail: [cepufnr@reitoria.ufrn.br](mailto:cepufnr@reitoria.ufrn.br)

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)