

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**MARCELO LIMA DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DOS EFEITOS AGUDOS E TARDIOS DA CIRURGIA DE  
RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR COM TENDÃO  
FLEXOR NA CINEMÁTICA, ATIVAÇÃO MUSCULAR, EQUILIBRIO E  
FUNCIONALIDADE SUBJETIVA DOS MEMBROS INFERIORES.**

Alfenas/MG  
2022

**MARCELO LIMA DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DOS EFEITOS AGUDOS E TARDIOS DA CIRURGIA DE  
RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR COM TENDÃO  
FLEXOR NA CINEMÁTICA, ATIVAÇÃO MUSCULAR, EQUILIBRIO E  
FUNCIONALIDADE SUBJETIVA DOS MEMBROS INFERIORES.**

Tese apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor(a) em Biociências Aplicadas à Saúde da Universidade Federal Alfenas.

Área de concentração: Neurociências e comportamento.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo César Carvalho

Alfenas/MG  
2022

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Central

Oliveira, Marcelo Lima de.

Análise dos efeitos agudos e tardios da cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior com tendão flexor na cinemática, ativação muscular, equilíbrio e funcionalidade subjetiva dos membros inferiores / Marcelo Lima de Oliveira. - Alfenas, MG, 2022.

92 f. : il. -

Orientador(a): Leonardo César Carvalho.

Tese (Doutorado em Biociências Aplicadas à Saúde) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2022.

Bibliografia.

1. Joelho. 2. Fenômenos biomecânicos. 3. Equilíbrio postural. 4. Eletromiografia. I. Carvalho, Leonardo César, orient. II. Título.

MARCELO LIMA DE OLIVEIRA

## ANÁLISE DOS EFEITOS AGUDOS E TARDIOS DA CIRURGIA DE RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR COM TENDÃO FLEXOR NA CINEMÁTICA, ATIVAÇÃO MUSCULAR, EQUILIBRIO E FUNCIONALIDADE DOS MEMBROS INFERIORES

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Tese apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor Ciências pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Biociências Aplicada à Saúde.

Aprovada em: 09 de dezembro de 2022

Prof. Dr. Leonardo César Carvalho  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas  
UNIFAL-MG

Profa. Dra. Denise Hollanda Lunes  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas  
UNIFAL-MG

Prof. Dr. Adriano Prado Simão  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas  
UNIFAL-MG

Prof. Dr. Eduardo Elias Vieira de Carvalho  
Instituição: Universidade Federal do Triângulo Mineiro  
UFTM



Documento assinado eletronicamente por **Adriano Prado Simão, Professor do Magistério Superior**, em 09/12/2022, às 11:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Denise Hollanda Lunes, Professor do Magistério Superior**, em 09/12/2022, às 11:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo César Carvalho, Professor do Magistério Superior**, em 09/12/2022, às 11:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Elias Vieira de Carvalho, Usuário Externo**, em 09/12/2022, às 11:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Dernival Bertencello, Usuário Externo**, em 09/12/2022, às 11:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0878898** e o código CRC **8C490EC9**.

---

Dedico esta, bem como as conquistas de minha vida,  
aos **meus pais**, principais responsáveis por tudo que sou.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu primeiro agradecimento é dirigido a Deus, por não ter me deixado fraquejar, por meio do seu amor e poder infinito, me sustentou em cada momento da realização deste trabalho, para que eu chegasse até o fim.

Aos meus queridos pais pelo incentivo incondicional. Por não medirem esforços, estarem sempre ao meu lado e pelo apoio em todas as decisões que tive que tomar durante esta trajetória.

Aos meus familiares, meus amigos e minha namorada, pelo apoio, incentivo e momentos de descontração e alegria, onde sempre renovava as minhas energias.

Ao Prof. Dr. Leonardo César Carvalho, meu orientador, pela amizade, por caminhar ao meu lado e me orientar, pela paciência e ensinamentos sempre que o procurei, ensinamentos estes, científicos e também para a vida.

Ao Prof. Dr. Daniel Ferreira Moreira Lobato, pela atenção, paciência, amizade, confiança e por ter acreditado em mim. Por todos os ensinamentos a mim dirigidos, durante a graduação, por meio da minha iniciação científica e se estendendo para a pós-graduação.

Ao Dr. Marcelo Stegmann e ao Dr Ranielly Alves, por terem sido fundamentais na execução deste trabalho, atuando por meio do envio de pacientes e a cirurgia dos mesmos.

Aos pacientes pela importante colaboração que deram para este trabalho.

Aos alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado que participaram do trabalho, a ajuda de deles foi de suma importância para a conclusão deste trabalho.

Aos colegas de pós-graduação, onde alguns estiveram comigo durante a graduação, pelo companheirismo, auxílio, boa convivência diária e aprendizado científico, acadêmico e também pessoal.

Aos funcionários da Clínica de Fisioterapia da Unifal, pelo companheirismo, competência e fundamental ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

A ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA) tem sido cada vez mais comum em esportes recreacionais e de alto desempenho. Existem algumas técnicas que foram desenvolvidas para a reconstrução de LCA, todas elas com seus pontos positivos e negativos. Dentre elas vão se destacar a técnica com enxerto autólogo do terço medial do tendão patelar, e a técnica com enxerto autólogo de tendão da musculatura flexora de joelho, mais especificamente dos músculos grácil e semitendinoso. Apesar de uma literatura abundante a respeito da cirurgia de reconstrução de LCA e seus resultados, existem poucos dados comparando diretamente os efeitos agudos de ambas às técnicas cirúrgicas em se tratando de eletromiografia, principalmente da musculatura proximal de quadril, cinemática de membros inferiores e sua funcionalidade. Foram realizados 3 estudos, onde, o objetivo do estudo 1 foi investigar as alterações cinemáticas agudas, estratégias de equilíbrio corporal e distribuição de peso nos membros operados e não operados no seguimento de curto prazo, no período pós-operatório (15 dias). O estudo 2 teve como objetivo investigar os efeitos imediatos ou agudos da reconstrução do LCA na ativação muscular dos membros inferiores. O objetivo do estudo 3 foi investigar as alterações cinemáticas, eletromiográficas, do equilíbrio e funcionalidade subjetiva no período de 3 meses após cirurgia de reconstrução do LCA. A avaliação simultânea da cinemática tridimensional, eletromiografia e equilíbrio dos membros inferiores em apoio bipodal (por baropodometria) foi realizada durante o miniagachamento com os olhos abertos e fechados, em três momentos: pré e pós-operatórios (15 dias e 3 meses). Os resultados destes estudos indicam que após a lesão do LCA e, posteriormente a reconstrução cirúrgica, foram encontradas importantes alterações biomecânicas de membros inferiores, tanto na articulação do quadril quanto na articulação do joelho, no membro operado e no membro não operado. Ao longo do processo de reabilitação,



foi demonstrado uma melhora no padrão de movimento, melhora na ativação muscular, melhora do equilíbrio, menor distribuição de peso no membro operado e uma melhora na função subjetiva e sintomatologia do joelho.

**Palavras-chave:** joelho; fenômenos biomecânicos; equilíbrio postural; eletromiografia

## **ABSTRACT**

Rupture of the anterior cruciate ligament (ACL) has been increasingly common in recreational and high-performance sports. There are numerous techniques that have been developed for ACL reconstruction, all of them with their positive and negative points, among them the technique with autologous graft from the medial third of the patellar tendon, and the technique with autologous graft from the tendon of the flexor muscles of the knee, more specifically the gracilis and semitendinosus muscles. Despite an abundant literature on ACL reconstruction surgery and its results, there are few data directly comparing the acute effects of both surgical techniques in terms of electromyography, especially of the proximal hip musculature, lower limb kinematics and their functionality. The aim of study 1 was to investigate acute kinematic changes, body balance strategies and weight distribution in operated and non-operated limbs in the short-term follow-up, in the postoperative period (15 days). Study 2 aimed to investigate the immediate or acute effects of ACL reconstruction on lower limb muscle activation. The aim of study 3 was to investigate kinematic, electromyographic, balance and subjective functional changes in the 3-month period after surgery to reconstruct the anterior cruciate ligament. Simultaneous assessment of three-dimensional kinematics, electromyography and balance of the lower limbs in bipedal support (by baropodometry) was performed during the mini-squat with eyes open and closed, at three times: pre- and postoperatively (15 days and 3 months). The results of these studies indicate that after the ACL injury and subsequent surgical reconstruction, important biomechanical changes are found in the lower limbs, both in the hip joint and in the knee joint, in the operated limb and in the non-operated limb. And throughout the rehabilitation process, an improvement in the movement pattern, improvement in muscle activation, improved balance, less weight distribution in the operated limb and an improvement in the subjective function and symptomatology of the knee were

demonstrated.

**Keywords:** knee; biomechanical phenomena; postural balance; electromyography

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>17</b>
	<b>ESTUDO 1 .....</b>	<b>19</b>
	<b>ESTUDO 2 .....</b>	<b>41</b>
	<b>ESTUDO 3.....</b>	<b>62</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE I .....</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE II .....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO I .....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO II .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O LCA tem uma função indispensável na biomecânica do joelho, agindo como um estabilizador primário contra a translação anterior da tíbia em relação ao fêmur, e tem participação secundária na restrição da rotação medial do joelho (FUKUBAYASHI *et al.*, 1982). Em um estudo de Busfield *et al.* (2005), foi demonstrado também, que o mesmo, promove proteção à cartilagem articular e aos meniscos, diminuindo assim a possibilidade de uma degeneração articular.

A ruptura de LCA tem sido cada vez mais comum em esportes de alto desempenho. Ao tentar desacelerar e mudar de direção com o pé fixo no solo, o atleta pode promover um estresse em valgo e rotação medial ou lateral e lesionar o ligamento sem ocorrer nenhum contato com outro atleta (PRENTICE *et al.*, 2003).

Existem inúmeras técnicas que foram desenvolvidas para a reconstrução de LCA, todas elas com seus pontos positivos e negativos. Dentre elas vão se destacar a técnica com enxerto autólogo do terço medial do tendão patelar, e também a técnica com enxerto autólogo de tendão da musculatura flexora de joelho, mais especificamente dos músculos grácil e semitendinoso (O'BRIEN *et al.*, 1991). A escolha do enxerto para a reconstrução do LCA é uma questão de debate, não há um consenso comum entre as duas escolhas. A escolha do enxerto depende da experiência do cirurgião e preferência, a disponibilidade de tecido, nível de atividade do paciente, comorbidades, cirurgia prévia, e preferência do paciente (WEST *et al.*, 2005).

As desvantagens do enxerto com tendão patelar são o risco de fratura de patela, o potencial aumento de disfunção femoropatelar e a dor em região anterior no joelho. O enxerto com tendão flexor, também apresenta desvantagens tais como potencial fraqueza dos músculos isquiotibiais e cicatrização mais lenta do sítio de

ligação do enxerto (WEST *et al.*, 2005).

Estudos analisando a cinemática articular do joelho durante a marcha e a biomecânica de membros inferiores durante saltos, com indivíduos submetidos à cirurgia de reconstrução de LCA, demonstraram alterações significativas durante a marcha tendendo para um maior valgo dinâmico de joelho e durante a aterrissagem no salto com déficit de extensão de joelho, respectivamente, após a reconstrução ligamentar (ORTIZ *et al* 2014; SHABANI *et al* 2015).

Em um estudo de Nyland *et al* (2013) foi analisado possíveis compensações neuromusculares de membros inferiores em indivíduos submetidos a cirurgia de reconstrução de LCA durante o *Hop Test* com uma perna, através da eletromiografia e cinemática de membros inferiores, e concluíram que houve compensações neuromusculares, como o aumento da ativação do músculo glúteo máximo e isquiotibiais mediais durante o salto, sugerindo que estas compensações podem estar relacionadas ao déficit neurosensorial permanente pós cirurgia, e sua influência sobre as alterações via aferente de membros inferiores.

Durante a reabilitação, os fisioterapeutas precisam estar cientes de deficiências cinemáticas e neuromusculares presente nos pacientes submetidos à cirurgia de reconstrução de LCA. Levando isso em consideração, elaborando protocolos específicos a fim de minimizar possíveis recidivas da lesão e também podendo evitar o processo de degeneração condral na articulação não só do joelho, mas de todo membro inferior futuramente.

## 2 JUSTIFICATIVA

Apesar de uma literatura abundante a respeito da cirurgia de reconstrução de LCA e seus resultados, existem poucos dados comparando diretamente os efeitos agudos e tardios de ambas as técnicas cirúrgicas em se tratando de eletromiografia, principalmente da musculatura proximal de quadril, cinemática de membros inferiores e sua funcionalidade. (NOEHREN *et al* 2014; ORTIZ *et al* 2014)

Um ponto importante de análise nos estudos aqui apresentados é a avaliação pré-cirúrgica das variáveis que serão analisadas de modo agudo no pós-cirúrgico, visto que na maioria dos estudos analisados, não foi encontrado nenhuma evidencia de realização de uma avaliação pré-cirúrgica em termos de comparação com o efeito agudo pós-cirúrgico.

Déficits sensoriais podem persistir após uma cirurgia de reconstrução de LCA, e como consequência, resultar em alterações como fraqueza muscular e comprometimento do equilíbrio e desempenho funcional de membros inferiores. (BONFIM *et al.*, 2003)

Em um estudo de Abdalla *et al* (2009), em que foi comparado o pico de torque da musculatura flexora e extensora de joelho, em indivíduos submetidos a cirurgia de reconstrução de LCA tanto com enxerto do tendão patelar quanto com enxerto do tendão de flexores, eles constataram que quando o tendão patelar foi utilizado, houve um maior déficit extensor de joelho, e quando foi utilizado o tendão flexor como enxerto, os resultados demonstraram que houve um maior déficit no pico de torque da musculatura flexora de joelho. Entretanto, Leiter *et al* (2013), avaliou a força da musculatura flexora de joelho, em indivíduos submetidos a cirurgia de reconstrução de LCA com enxerto de tendão de flexores, constatando que apesar do uso da técnica,

não houve comprometimento da força muscular flexora de joelho.

A escassez de estudos que avaliam os efeitos agudos e tardios na atividade elétrica muscular, principalmente da musculatura proximal do quadril e suas implicações, cinemática do membro inferior e a funcionalidade do mesmo, requer a elaboração de estudos mais consistentes e com certo rigor metodológico, para que assim, com a análise dos resultados obtidos, elaborar protocolos de reabilitação pós-cirurgia de LCA, preconizando o grupo muscular, ou mesmo a função de membro inferior, em que se encontram mais prejudicados pós-reconstrução ligamentar, com o objetivo de criar protocolos de reabilitação mais eficientes e objetivos, favorecendo a prática clínica e obtendo melhores resultados.



### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 GERAL

Analisar e os efeitos agudos e tardios pós-cirúrgicos de cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto de tendão de flexores por meio da eletromiografia, cinemática, equilíbrio e funcionalidade de membros inferiores.

#### 3.2 ESPECÍFICOS

Verificar os efeitos agudos e tardios pós-cirúrgicos de cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto de tendão de flexores de joelho por meio da eletromiografia do glúteo máximo, glúteo médio, vasto medial, vasto lateral, semitendinoso, bíceps da coxa e gastrocnêmio porção medial.

Verificar os efeitos agudos e tardios pós-cirúrgicos de cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto de tendão de flexores de joelho por meio da cinemática de membros inferiores.

Verificar os efeitos agudos e tardios pós-cirúrgicos de cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto de tendão de flexores de joelho por meio do equilíbrio e distribuição de massa de membros inferiores.

Verificar os efeitos agudos e tardios pós-cirúrgicos de cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto de tendão de flexores de joelho por meio da funcionalidade subjetiva de membros inferiores.

## REFERÊNCIAS

1. FUKUBAYASHI, T et al. An in Vitro Biomechanical Evaluation of Anterior-Posterior Motion of the Knee. Tibial Displacement, Rotation, and Torque. **The Journal of Bone & Joint Surgery**, Needham, Massachusetts, v. 64, n. 2, p. 258–264, 1 fev. 1982.
2. BUSFIELD, B. T.; SAFRAN, M. R.; CANNON, W. D. Extensor Mechanism Disruption after Contralateral Middle Third Patellar Tendon Harvest for Anterior Cruciate Ligament Revision Reconstruction. **Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery: Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association**, New York, NY, v. 21, n. 10, p. 1268, out. 2005.
3. PRENTICE, W.E.; VOIGHT, M. L. **Técnicas em Reabilitação Musculoesqueléticas**, Porto Alegre, Artmed, p.506/509, 2003.
4. O'BRIEN, S. J et al. Reconstruction of the Chronically Insufficient Anterior Cruciate Ligament with the Central Third of the Patellar Ligament. **The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume**, v. 73, n. 2, p. 278–286, fev. 1991.
5. WEST, R. V.; HARNER, C. D. Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons**, Minneapolis, Minnesota, v. 13, n. 3, p. 197–207, 1 mai 2005.
6. ORTIZ, A.; CAPO-LUGO, C. E.; VENEGAS-RIOS, H. L. Biomechanical deficiencies in women with semitendinosus-gracilis anterior cruciate ligament reconstruction during drop jumps. **PM & R: the journal of injury, function, and rehabilitation**, Rosemont, IL, v. 6, n. 12, p. 1097–1106, dez. 2014.
7. SHABANI, B. et al. Gait knee kinematics after ACL reconstruction: 3D assessment. **International Orthopaedics**, Brussels, Belgium, v. 39, n. 6, p. 1187–1193, jun. 2015.
8. NYLAND, J et al. Lower Extremity Neuromuscular Compensations during Instrumented Single Leg Hop Testing 2-10 Years Following ACL Reconstruction. **The Knee**, London, UK, v. 21, n. 6, p. 1191–1197, dez. 2014.
9. NOEHREN, B. et al. Evaluation of proximal joint kinematics and muscle strength following ACL reconstruction surgery in female athletes. **Journal of Orthopaedic Research**, St. Louis, MO, v. 32, n. 10, p. 1305–1310, out. 2014.
10. BONFIM, T. R.; JANSEN PACCOLA, C. A.; BARELA, J. A. Proprioceptive and Behavior Impairments in Individuals with Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knees. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Reston, VA, v. 84, n. 8, p. 1217–1223, ago. 2003.
11. ABDALLA, R. J et al. Comparison between the results achieved in anterior cruciate ligament reconstruction with two kinds of autologous grafts: patellar

tendon versus semitendinous and gracilis. **Revista Brasileira de Ortopedia**, São Paulo, v. 44, n. 3, p. 204–207, jun. 2009.

12. LEITER, J. R. S et al. Long-Term Follow-up of ACL Reconstruction with Hamstring Autograft. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, Sweden, v. 22, n. 5, p. 1061–1069, mai 2014.

## **ESTUDO 1**

### **Efeitos agudos da reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto semitendinoso e grácil na cinemática e equilíbrio dos membros inferiores**

#### **RESUMO**

Esportes de alto rendimento estão associados à ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA), com 70% das lesões ocorrendo por mecanismos atraumáticos. Assim, é relevante investigar se a cirurgia do LCA tem efeitos imediatos nas estratégias de movimento, além de possíveis alterações no equilíbrio e distribuição do peso corporal, para melhor compreender o processo inicial de reabilitação dos pacientes submetidos a essa reconstrução. Este estudo analisou os efeitos agudos da cirurgia de reconstrução do LCA com enxerto de tendão dos isquiotibiais sobre o equilíbrio e a cinemática dos membros inferiores. Foram avaliados 14 atletas recreacionais (31 (9,66) anos, 1,75 (0,06) m, 79,65 (12,57) kg) submetidos à cirurgia de reconstrução unilateral do LCA com enxerto de tendão dos isquiotibiais. A avaliação simultânea da cinemática tridimensional dos membros inferiores e do equilíbrio em apoio bipodal (por baropodometria) foi realizada durante o miniagachamento com os olhos abertos e fechados, em dois momentos: pré e pós-operatório (15 dias). A abdução do joelho do lado lesado diminuiu ( $p = 0,008$ ,  $d: 0,931$ ) após a reconstrução. A área de deslocamento do centro de pressão com os olhos abertos aumentou no membro lesado ( $p = 0,001$ ,  $d: 1,288$ ), ocorreu também uma redução na distribuição da massa sobre o membro lesado ( $p = 0,001$ ,  $d: 1,339$ ) e, conseqüentemente, um aumento no membro saudável ( $p = 0,001$ ,  $d: 1,348$ ). A cirurgia de reconstrução do LCA com tendão dos isquiotibiais promove mudanças imediatas no equilíbrio e na cinemática do membro inferior.

**Palavras-chave:** Joelho; Fenômenos Biomecânicos; Equilíbrio postural.

## Introdução

Esportes de alto rendimento estão associados à ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA), com 70% das lesões ocorrendo por mecanismos atraumáticos<sup>1</sup>, envolvendo rotação medial excessiva do fêmur ou hiperextensão forçada do joelho<sup>2</sup>. Dentre os fatores de risco conhecidos, destaca-se a relação entre o valgo de joelho e as magnitudes das forças de tração ligamentares.<sup>3</sup> Esse fato é preocupante, visto que indivíduos submetidos à cirurgia de reconstrução do LCA apresentam alterações cinemáticas significativas durante os saltos e na marcha, podendo ocasionar um valgo de joelho excessivo, mesmo após a reconstrução, podendo predispor o indivíduo a lesões recorrentes.<sup>4,5</sup>

O LCA tem importante função proprioceptiva e mecânica na estabilização do joelho e os níveis de estabilidade mecânica encontrados pré-lesão não são completamente restaurados após a reconstrução ligamentar.<sup>6,7,8</sup> Assim, déficits proprioceptivos são comuns, prejudicando o retorno aos níveis de função pré-lesão<sup>9</sup>, e agravado pela manifestação de um distúrbio no controle neuromuscular, afetando as respostas motoras do membro operado.

Normalmente, a instabilidade da articulação do joelho é avaliada por meio de medidas passivas, como testes ortopédicos especiais e artrometria.<sup>11</sup> No entanto, a instabilidade do joelho durante atividades dinâmicas não está relacionada às medidas passivas e pode persistir por vários meses após a reabilitação pós-operatória.<sup>12</sup> Fatores biomecânicos e neuromusculares podem contribuir para a instabilidade dinâmica da articulação do joelho, como fraqueza da musculatura pósterolateral do quadril e amplitude de movimento excessiva de rotação medial do quadril,<sup>13</sup> além da restrição da dorsiflexão,<sup>14</sup> afetando funções como equilíbrio e controle postural.

O centro de pressão (COP) é sugerido para avaliar o controle postural e a

função sensório-motora em pacientes que reconstruíram o LCA.<sup>15</sup> Nesses casos, espera-se que o controle postural estático e dinâmico do paciente seja influenciado pela cirurgia devido à diminuição da propriocepção de joelho.<sup>16</sup> Embora Mattacola e colaboradores.<sup>17</sup> não tenham encontrado alterações no equilíbrio ao comparar o membro lesado com o saudável, Dauty, Collon e Dubois<sup>18</sup> afirmaram que o equilíbrio postural do lado afetado foi reduzido em relação ao lado não afetado ou em relação ao indivíduos saudáveis, demonstrando divergência de conceitos sobre o tema.

Os fisioterapeutas precisam estar cientes das mudanças agudas ou imediatas no padrão de movimento e déficits neuromusculares nos membros inferiores, presentes em pacientes submetidos à cirurgia de reconstrução do LCA, para desenvolver protocolos específicos para reduzir o risco de recorrência da lesão e minimizar o processo de degeneração condral no joelho.<sup>19,20</sup> Até onde sabemos, a literatura revela estudos que investigaram apenas os efeitos tardios da cirurgia de reconstrução do LCA<sup>21,22</sup>, não sendo encontrados estudos sobre os efeitos agudos ou imediatos dessa cirurgia. Assim, é relevante investigar se a cirurgia do LCA tem efeitos imediatos nas estratégias de movimento, além de possíveis alterações no equilíbrio e distribuição do peso corporal, para melhor compreender o processo inicial de reabilitação dos pacientes submetidos a essa reconstrução.

Estudos prospectivos têm mostrado que os padrões de movimento alterados do tronco e quadris (além do joelho) são potenciais fatores de risco para LCA.<sup>14,23,24</sup> Assim, os membros inferiores devem ser avaliados como um todo para identificar de forma abrangente, os fatores de risco para lesões do LCA. Portanto, este estudo tem como objetivo investigar as alterações cinemáticas agudas, estratégias de equilíbrio corporal e distribuição de peso nos membros operados e não operados no seguimento de curto prazo, no período pós-operatório (15 dias). Foi hipotetizado que há

diminuição da adução do quadril, abdução do joelho e diminuição na descarga de peso no membro operado, podendo-se identificar fatores de risco ou mecanismos de proteção articular, após a cirurgia de reconstrução do LCA. Também foi hipotetizado que outras alterações compensatórias poderiam ser encontradas no membro contralateral.

## **Métodos**

### **Participantes**

A amostra foi composta por 14 atletas recreacionais do sexo masculino (31,31 média (9,66 DP) anos, 79,65 (12,57) kg, 1,75 (0,06) m, 25,96 (3,76) kg / m<sup>2</sup> e 17,5 (0,70) meses de lesão), encaminhados ao setor de Fisioterapia pelo médico responsável pelas cirurgias. Após conhecer os procedimentos aos quais seriam submetidos, todos os sujeitos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Não houve perda de amostra no presente estudo. A reconstrução do LCA foi realizada pelo mesmo cirurgião ortopédico, com o enxerto obtido sempre na perna lesada. Os participantes foram submetidos ao mesmo protocolo de reabilitação após a cirurgia: nas primeiras 2 semanas, com foco no controle do edema ou da dor, na recuperação da extensão completa (sem órtese pós-operatória) no aumento gradual da flexão do joelho e sustentação de peso e, assim, normalizar a marcha (sem muletas).

Foram considerados os seguintes critérios de inclusão: idade variando de 18 a 50 anos, com ruptura primária unilateral isolada do LCA verificada por artroscopia ou ressonância magnética, e clinicamente por sinal positivo nos testes de *Lachman* e gaveta anterior e compartilhando o mesmo cirurgião e protocolo de reabilitação. Os participantes deveriam ser saudáveis e ativos, praticando exercícios regulares pelo

menos três vezes por semana, por um mínimo de 30 minutos por sessão, o que corresponde ao nível de estratificação 5 na escala de atividade de *Tegner*.<sup>25</sup> Os critérios de exclusão foram: indivíduos do sexo feminino; com histórico de cirurgia e / ou disfunção no joelho contralateral; com qualquer disfunção ou cirurgia nos quadris, tornozelos ou pés; qualquer doença neurológica, cardiovascular, respiratória, metabólica, reumática ou vestibular que impedisse o movimento durante a coleta de dados.<sup>26</sup> O estudo foi realizado no Laboratório de Biomecânica e Análise do Movimento Humano da Universidade Federal de Alfenas e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos nº 1.566.422.

## **Procedimentos**

A avaliação ocorreu em dois momentos distintos: uma avaliação pré-cirúrgica e outra 15 dias após a cirurgia de reconstrução do LCA. A avaliação pré-cirúrgica consistiu em avaliação física para verificação dos critérios de inclusão e exclusão e análise simultânea da cinemática de membros inferiores e equilíbrio durante o miniagachamento (30° de flexão de joelho) com apoio bipodal, com olhos abertos e fechados. A avaliação da cinemática e do equilíbrio foi repetida após 15 dias da reconstrução ligamentar, devido a um período ideal em que os efeitos imediatos da reconstrução pudessem ser avaliados. Respeitando um período mínimo de protocolo pós-operatório, onde a descarga de peso do membro operado já é liberada e as comorbidades pós-operatórias são controladas. O ângulo de flexão do joelho de 30° foi escolhido para evitar maior estresse no enxerto e na articulação.

## **Aquisição e processamento de dados cinemáticos**

Para coleta e processamento dos dados cinemáticos, foi utilizado o sistema de



análise de movimento *3-D Foundation Motion Capture Package Motive (NaturalPoint, Inc. Corvallis, EUA)*. Foram utilizadas seis câmeras *V100R2 Optitrack Flex (NaturalPoint, Inc. Corvallis, EUA)* com frequência de aquisição de 120 Hz. O cenário cinemático foi composto em sequência de três câmeras de cada lado, dispostas em paralelo e numeradas de 1 a 6, mantendo a mesma posição em todas as coletas.

Após calibração estática e dinâmica do sistema, marcadores reflexivos foram colocados para avaliação pelo mesmo examinador em todas as coletas. Os 16 marcadores foram distribuídos bilateralmente em: 1 e 2) ápice das cristas ilíacas, 3 e 4) trocânter maior do fêmur, 5 e 6) epicôndilo medial do fêmur, 7 e 8) epicôndilo lateral do fêmur, 9 e 10) maléolo medial, 11 e 12) maléolo lateral, 13 e 14) superior à cabeça do primeiro metatarso e 15 e 16) superiormente à cabeça do 5º metatarso. Essa distribuição de marcadores foi necessária para determinar o alinhamento do quadril e joelho durante a tarefa funcional, para registrar as variações angulares durante os movimentos realizados.

Os participantes foram previamente familiarizados com o movimento de miniagachamento a 30° de flexão do joelho medido inicialmente pela goniometria. Com um comando verbal (“Prepare-se, vai...”), os participantes realizaram o movimento previamente treinado, cinco vezes com os olhos abertos e cinco vezes com os olhos fechados.

Em seguida, os dados foram exportados para o software *Visual3D (Cmotion Inc. Rockville, EUA)* para posterior processamento e geração das variáveis angulares de cada complexo articular. As variáveis cinemáticas analisadas foram a excursão máxima (diferença entre o valor máximo e o valor mínimo): na abdução / adução do quadril, na rotação lateral / medial do quadril, na abdução / adução do joelho e na rotação lateral / medial do joelho, bem como a excursão para esses movimentos

considerando o ângulo específico de 30° joelho flexão (ângulo alvo). Essas variáveis foram calculadas subtraindo-se os ângulos do quadril e joelho alcançados nessas condições daqueles registrados na posição anatômica com apoio bipodal na posição ortostática. Por convenção biomecânica, valores positivos mostram excursões na adução do quadril e rotação medial e valores negativos representam excursões na abdução do joelho e rotação lateral.

A sequência Cardan XZY foi utilizada para obter os ângulos articulares, considerando o sistema de coordenadas do segmento distal em relação ao sistema de coordenadas do segmento proximal, onde o eixo X representa os movimentos no plano sagital (flexão / extensão), o eixo Z os movimentos no plano transversal (rotação medial / lateral) e movimentos do eixo Y no plano frontal (abdução / adução).<sup>27</sup>

### **Aquisição e processamento dos dados baropodométricos**

Para a coleta e processamento dos dados de equilíbrio, foi utilizado um baropodômetro *FootWork (IST Informatique, França)* para verificar o deslocamento do centro de pressão (COP) e a distribuição da massa durante o miniagachamento, simultaneamente à avaliação cinemática. Esta avaliação consiste em medir a distribuição da carga e os deslocamentos do COP durante a posição ortostática ou em movimento sobre uma plataforma. Também foram coletadas as medidas de descarga de peso apoiado sob cada membro inferior do corpo. Os valores obtidos para cada membro foram registrados como valores de descarga de peso para o membro lesado e o membro saudável. Os participantes foram inicialmente posicionados na plataforma de baropodometria, mantendo uma distância de base de 10 cm entre a linha média de cada calcâneo e os membros superiores ao longo do corpo, fixando o olhar em um ponto fixo no nível dos olhos, a dois metros deles. Os

dados foram adquiridos em uma frequência de aquisição de 100 Hz e analisados usando *FootWork Pro v. 3.2.2.0* - (IST Informatique, França).

### **Análise estatística**

Inicialmente, os dados foram analisados por meio de métodos estatísticos descritivos para visualização de seus componentes: média, desvio padrão, mediana, valores mínimo e máximo. Em seguida, todos os conjuntos de dados foram testados quanto à sua distribuição estatística (normalidade), usando o teste de Shapiro-Wilk, e o teste de Levene para sua homocedasticidade (igualdade de variâncias), considerando para ambos os testes um nível de significância de 5%. Quando ambos os critérios (distribuição normal e homocedasticidade) foram atendidos, o teste t de *Student* foi realizado para amostras dependentes e, quando qualquer um dos critérios não foi atendido, o teste de *Wilcoxon* foi aplicado com a alternativa não paramétrica correspondente - ambos os testes usaram um 5% nível de significância. A correção de *Bonferroni* foi usada na configuração de comparações múltiplas, para corrigir a taxa de erro do experimento ao usar testes 't' em comparações múltiplas (com a correção de *Bonferroni*, o valor de  $p < 0,0166$  foi aceito como significativo). O tamanho do efeito (ES) foi calculado por meio do índice de *Cohen d* obtido por meio do software *G \* Power 3.1.7*, sendo estabelecidos os seguintes parâmetros: “trivial” (ES < 0,2), “pequeno” (ES > 0,2), “moderado” (ES > 0,5) ou “grande” (ES > 0,8).

## **Resultados**

### **Cinemática**

Os resultados da avaliação cinemática mostram que o membro lesado reduziu significativamente a excursão máxima em abdução do joelho com olhos fechados

(ABJL) durante o miniagachamento bípede após reconstrução ligamentar (Tabela 1).

**Tabela 01** - Avaliação da cinemática do quadril e joelho do grupo submetido à reconstrução do LCA com tendões flexores (n = 14), antes e após 15 dias da reconstrução cirúrgica, durante o mini agachamento bipodal com os olhos abertos e olhos fechados nas excursões máximas encontradas.

VARIÁVEL	OLHOS	PRE-	POS 15-	p valor	ES(d)
ADQL	OA	1,35° (0,99)	1,22° (1,15)	0,764	0,120
	OF	1,29° (1,28)	1,30° (1,58)	0,979	0,006
RMQL	OA	4,09° (5,16)	1,01° (2,10)	0,060	0,781 <sup>b</sup>
	OF	3,15° (4,36)	2,28° (3,59)	0,508	0,217 <sup>a</sup>
ABJL	OA	-2,21° (4,31)	-1,12° (1,95)	0,433	0,291 <sup>a</sup>
	OF	-3,88° (3,22)	-1,22° (2,23)	0,008*	0,931 <sup>c</sup>
RLJL	OA	-1,28° (2,98)	-0,47° (1,98)	0,331	0,308 <sup>a</sup>
	OF	-1,37° (2,48)	-0,69° (2,32)	0,638	0,283 <sup>a</sup>
ADQS	OA	0,86° (0,68)	1,64° (1,03)	0,030	0,893 <sup>c</sup>
	OF	1,13° (0,86)	1,90° (1,54)	0,120	0,617 <sup>b</sup>
RMQS	OA	2,88° (4,04)	2,57° (4,74)	0,638	0,070
	OF	3,16° (5,59)	1,92° (3,37)	0,445	0,268 <sup>a</sup>
ABJS	OA	-1,96° (2,18)	-2,30° (1,69)	0,300	0,171
	OF	-2,18° (2,12)	-1,85° (2,35)	0,594	0,147
RLJS	OA	-1,57° (1,33)	-1,66° (1,40)	0,865	0,065
	OF	-2,03° (1,76)	-2,06° (1,72)	0,525	0,017

Legenda: ADQL - excursão em adução do quadril do membro inferior lesado; RMQL - excursão em rotação medial do quadril do membro inferior lesado; ABJL - excursão na abdução do joelho do membro inferior lesado; RLJL - excursão em rotação lateral do joelho do membro inferior lesado; ADQS - excursão em adução do quadril do membro inferior saudável; RMQS - excursão em rotação medial do quadril do membro inferior saudável; ABJS - excursão em abdução do joelho do membro inferior saudável; RLJS - excursão em rotação lateral do joelho do membro inferior saudável; Adução (+); Abdução (-); Rotação medial (+); Rotação lateral (-); OA - olhos abertos; OF - olhos fechados. \* Indica diferença significativa entre os valores. <sup>a</sup> Efeito pequeno. <sup>b</sup> Efeito moderado. <sup>c</sup> Grande efeito.

Ao avaliar o miniagachamento no ângulo alvo de flexão do joelho (30°), ocorreu redução significativa na excursão do movimento de abdução do joelho no membro lesado (ABJL) durante a avaliação com os olhos fechados (Tabela 02).

**Tabela 02** - Avaliação da cinemática do quadril e joelho do grupo submetido à reconstrução do LCA com tendões flexores (n = 14), antes e após 15 dias da reconstrução cirúrgica, durante o mini agachamento bipodal com os olhos abertos e olhos fechados no ângulo alvo de 30° de flexão de joelho.

VARIÁVEL	OLHOS	PRE-	POS 15-	p valor	ES(d)
ADQL	OA	-0,77° (2,48)	-1,39° (2,10)	0,096	0,267 <sup>a</sup>
	OF	-1,42° (2,23)	-1,37° (2,37)	0,880	0,021
RMQL	OA	-0,72°(4,34)	-1,71° (1,93)	0,392	0,262 <sup>a</sup>
	OF	-1,03°(4,35)	0,18° (2,21)	0,343	0,321 <sup>a</sup>
ABJL	OA	-1,17°(3,05)	0,68° (2,05)	0,122	0,686 <sup>b</sup>
	OF	-1,12° (2,86)	0,85° (2,08)	0,011*	0,769 <sup>c</sup>
RLJL	OA	0,55° (1,54)	-0,10° (1,10)	0,199	0,473 <sup>a</sup>
	OF	0,16°(1,73)	-0,07° (2,00)	0,510	0,122
ADQS	OA	-1,78° (1,53)	-0,88° (1,83)	0,110	0,529 <sup>b</sup>
	OF	-1,65° (1,68)	-1,04° (2,16)	0,282	0,310 <sup>a</sup>
RMQS	OA	0,22° (5,19)	-0,47° (4,23)	0,676	0,144
	OF	0,42° (4,82)	-1,06° (3,52)	0,280	0,342 <sup>a</sup>
ABJS	OA	0,39° (2,22)	-0,51° (2,18)	0,191	0,409 <sup>a</sup>
	OF	0,52° (1,95)	-0,93° (2,65)	0,104	0,609 <sup>b</sup>
RLJS	OA	-0,29° (1,54)	-0,36° (1,36)	0,911	0,047
	OF	-3,96° (12,95)	-0,64° (3,28)	0,371	0,284 <sup>a</sup>

Legenda: ADQL - excursão em adução do quadril do membro inferior lesado; RMQL - excursão em rotação medial do quadril do membro inferior lesado; ABJL - excursão na abdução do joelho do membro inferior lesado; RLJL - excursão em rotação lateral do joelho do membro inferior lesado; ADQS - excursão em adução do quadril do membro inferior saudável; RMQS - excursão em rotação medial do quadril do membro inferior saudável; ABJS - excursão em abdução do joelho do membro inferior saudável; RLJS - excursão em rotação lateral do joelho do membro inferior saudável; Adução (+); Abdução (-); Rotação medial (+); Rotação lateral (-); OA - olhos abertos; OF - olhos fechados. \* Indica diferença significativa entre os valores. <sup>a</sup> Efeito pequeno. <sup>b</sup> Efeito moderado. <sup>c</sup> Grande efeito

## Equilíbrio e distribuição de massa

Ao avaliar o equilíbrio estático pela baropodometria, foi possível observar um

aumento significativo na área de oscilação do COP no membro lesado. (Tabela 3).

**Tabela 03** - Avaliação baropodométrica antes e após a reconstrução do LCA com tendões flexores (n = 14), durante o miniagachamento bipodal com olhos abertos e olhos fechados sobre o membro lesado, saudável e corpo.

MEMBRO	VARIÁVEL	OLHOS	PRE-	POS 15-	p-valor	ES(d)
Lesado	A-P (cm)	OA	8,83 (4,54)	7,68 (3,58)	0,510	0,277 <sup>a</sup>
		OF	9,06 (3,87)	7,82 (3,31)	0,551	0,342 <sup>a</sup>
	L-L (cm)	OA	1,57 (0,54)	2,17 (1,11)	0,140	0,624 <sup>b</sup>
		OF	1,82 (0,70)	3,86 (5,56)	0,221	0,388 <sup>a</sup>
	Área de deslocamento (cm <sup>2</sup> )	OA	3,19 (1,42)	12,88 (8,13)	0,001*	1,288 <sup>c</sup>
		OF	12,78 (6,11)	10,15 (6,91)	0,424	0,401 <sup>a</sup>
Saudável	A-P (cm)	OA	9,37 (4,26)	7,36 (3,09)	0,124	0,527 <sup>b</sup>
		OF	9,36 (3,55)	7,62 (3,01)	0,158	0,525 <sup>b</sup>
	L-L (cm)	OA	1,40 (0,58)	2,18 (2,15)	0,184	0,404 <sup>a</sup>
		OF	1,54 (0,62)	2,14 (1,08)	0,077	0,639 <sup>b</sup>
	Área de deslocamento (cm <sup>2</sup> )	OA	11,62 (8,41)	10,13 (7,49)	0,530	0,186
		OF	13,43 (9,45)	10,77 (6,48)	0,551	0,317 <sup>a</sup>
Corpo	A-P (cm)	OA	8,67 (4,40)	6,19 (2,97)	0,750	0,637 <sup>b</sup>
		OF	8,67 (3,83)	6,11 (2,48)	0,490	0,760 <sup>b</sup>
	L-L (cm)	OA	3,23 (0,78)	4,06 (1,23)	0,600	0,770 <sup>b</sup>
		OF	3,96 (1,11)	4,69(1,15)	0,106	0,645 <sup>b</sup>
	Área de deslocamento (cm <sup>2</sup> )	OA	24,33 (17,38)	21,66 (17,34)	0,433	0,153 <sup>a</sup>
		OF	28,92 (18,21)	23,64 (12,54)	0,510	0,393 <sup>a</sup>

Legenda: A-P - Deslocamento ântero-posterior; L-L - Deslocamento lateral-lateral; Olhos abertos OE; CE-olhos fechados. \* Indica diferença significativa entre os valores. <sup>a</sup> Efeito pequeno. <sup>b</sup> Efeito moderado. <sup>c</sup> Grande efeito.

Ao avaliar a distribuição da massa pela baropodometria, foi possível observar uma diminuição significativa entre os valores pré e pós-reconstrução para o membro lesado e um aumento significativo para o membro saudável tanto na condição de olhos abertos quanto fechados (Tabela 4).

**Tabela 04** - Distribuição da massa (em %) dos participantes submetidos à reconstrução do LCA com tendões flexores (n = 14), antes e depois (15 dias) da reconstrução cirúrgica do membro lesado e do membro saudável, durante o miniagachamento bipodal com olhos abertos e olhos fechados.

MEMBRO	OLHOS	PRE-	POS 15-	p-valor	ES(d)
Membro Lesado	OA	50,17 (4,03)	35,65 (12,29)	0,001*	1,339 <sup>c</sup>
	OF	49,77 (4,21)	36,11 (11,75)	0,001*	1,324 <sup>c</sup>
Membro Saudável	OA	49,83 (4,01)	64,35 (12,29)	0,001*	1,348 <sup>c</sup>
	OF	50,23 (4,21)	63,89 (11,84)	0,001*	1,341 <sup>c</sup>

Legenda: OA Olhos abertos; OF- olhos fechados. \* Indica diferença significativa entre os valores. <sup>a</sup> Efeito pequeno. <sup>b</sup> Efeito moderado. <sup>c</sup> Grande efeito.

## Discussões

Este estudo analisou os efeitos agudos da cirurgia de reconstrução do LCA com tendão dos isquiotibiais na cinemática dos membros inferiores e no equilíbrio. Os resultados mostram mudanças no padrão de movimento do quadril do lado saudável no miniagachamento, com aumento do ângulo de adução do quadril no pós-operatório. Tal alteração presente no estudo pode ser atribuída a uma mudança na simetria de descarga do peso corporal, aumentando a descarga de peso do lado são, em relação ao lado afetado.<sup>28</sup>

O aumento da adução do quadril do lado saudável pode ter ocorrido por mecanismos compensatórios de descarga de peso naquele membro, uma vez que pacientes com reconstrução do LCA tendem a evitar descarga de peso ou movimentação do membro operado devido aos efeitos negativos da cirurgia no membro ou mesmo por medo (cinesiofobia).<sup>29</sup> Como consequência, os pacientes tendem a gerar alterações indesejáveis no movimento articular, levando a uma sobrecarga no membro saudável. Essas assimetrias de descarga de peso e

movimento nos membros inferiores são comuns entre os indivíduos após a reconstrução do LCA, e podem persistir até dois anos após a cirurgia.<sup>30</sup> Portanto, é fundamental identificar essas assimetrias de postura e movimento e restaurá-las o mais rápido possível, uma vez que a persistência de tais alterações pode levar ao desenvolvimento precoce de osteoartrite do joelho e predispor o paciente à recorrência da lesão.<sup>31</sup>

Outra alteração observada em nosso estudo ocorreu no movimento de abdução do joelho do membro lesado durante a excursão máxima e durante o ângulo alvo de 30° de flexão do joelho. Nesse caso, ocorreu redução da abdução do joelho no período pós-operatório em relação ao pré-operatório, no miniagachamento com os olhos fechados. Os pacientes podem ter restringido o movimento de abdução por medo e dor, como mecanismo de proteção articular<sup>31</sup>, pois no pós-operatório de 15 dias há relato de dor na região da articulação do joelho, principalmente na área doadora do enxerto. A dor está associada à perda de função e medo de se mover no pós-operatório, principalmente na fase aguda, entretanto, durante a reabilitação, os sintomas diminuem e o paciente evolui sua funcionalidade de membros inferiores.<sup>32</sup>

A lesão do LCA pode resultar em alterações neuroplásticas devido à perda de mecanorreceptores e compensações neuromusculares. A neuroplasticidade, após a lesão do LCA, provavelmente ocorre devido a uma combinação de mudanças no feedback sensorial após a lesão, bem como compensações comportamentais para o controle motor. Os mecanorreceptores perdidos no ligamento lesado, a inflamação associada e o derrame articular podem alterar a entrada sensorial para o sistema nervoso central, aumentando a dependência de fontes sensoriais alternativas, como feedback visual e, simultaneamente, possibilitando a ocorrência de padrões de movimento compensatórios.<sup>33</sup>



Neste estudo, a relevância clínica foi demonstrada em relação a mudanças no padrão de movimento, descarga de peso e mudanças no centro de pressão corporal, em tarefas com olhos abertos e fechados, em que tal alteração de movimento, ou uma combinação deles, podem ser fatores de risco para lesão do LCA.

De acordo com nossos resultados, houve diferença significativa na distribuição da massa corporal durante a tarefa com os olhos abertos e fechados, com valores menores para o membro lesado e valores maiores para o membro saudável no pós-operatório. Assim, constatou-se que o membro saudável recebeu maior descarga de peso no pós-operatório, em comparação ao membro lesado. Esses achados corroboram com os resultados verificados na avaliação cinemática e sugerem que os participantes adotaram estratégias de proteção da articulação,<sup>34</sup> reduzindo a descarga de peso no membro operado e, conseqüentemente, sobrecarregando o membro contralateral saudável, influenciando sua cinemática, alterando o padrão de movimento de adução de quadril com maiores valores. Com base nesses resultados, e associados a achados anteriores,<sup>35,36</sup> que identificaram déficits de equilíbrio em indivíduos após cirurgia de reconstrução do LCA. Destacamos a relevância da avaliação dessa condição no pós-operatório precoce, pois a interferência precoce pode minimizar possíveis assimetrias e recuperar a plenitude da função, nas primeiras semanas após a reconstrução.

Durante o processo de reabilitação pós-cirúrgica, deve-se avaliar a análise de possíveis alterações de postura e movimento, déficits neuromusculares e alterações de equilíbrio presentes em pacientes submetidos à cirurgia de reconstrução do LCA. Sendo importante atuar sobre os fatores modificáveis relacionados ao risco de uma segunda lesão ou lesão do LCA no membro não operado, com treinamento neuromuscular, força e aprendizagem motora, para otimizar o sucesso da reabilitação

e retorno ao esporte.<sup>37</sup> Tais alterações podem estar presentes tanto na fase aguda como persistir em estágios mais avançados.<sup>35, 36,38</sup> Após identificá-los, deve-se atuar para minimizar possíveis recorrências de lesão no membro operado, bem como qualquer envolvimento do membro contralateral saudável, uma vez que o lado contralateral tem duas vezes mais chance de ser lesado quando comparado ao lado ipsilateral já operado.<sup>35</sup>

Embora o miniagachamento seja considerado uma tarefa de baixa demanda, necessitando de pequenos ajustes musculares e articulares,<sup>39</sup> na avaliação do equilíbrio com os olhos abertos houve um aumento na área de deslocamento do COP do membro lesado após a cirurgia. Esse achado se justifica pelo fato de que, além de haver alterações proprioceptivas influenciadas pela ruptura,<sup>23</sup> também pode ocorrer déficit funcional,<sup>40</sup> apesar da restauração da estabilidade mecânica, comprometendo a estabilidade dinâmica dos membros inferiores.<sup>34</sup> Por outro lado, apesar da alteração no equilíbrio do membro lesado, o COP do corpo não foi afetado. É provável que o membro saudável tenha desenvolvido uma estratégia de estabilização que reflita o estado de equilíbrio, uma vez que há uma redução não significativa na área do COP do membro saudável associado, o que aumenta a distribuição da massa corporal ipsilateral. Portanto, a mudança direta do equilíbrio do membro lesado e a reconstrução ligamentar merecem a atenção do fisioterapeuta, uma vez que alterações no equilíbrio, distribuição de peso e coordenação podem aumentar o risco de lesão.<sup>30,41</sup>

Este estudo apresentou limitações, tais como: uso de amostra de conveniência e restrições de tamanho. No entanto, devemos observar a dificuldade de recrutamento de indivíduos para um estudo desse tipo e a impossibilidade de direcionar a que tipo de intervenção cirúrgica os pacientes serão submetidos. Além disso, o objetivo do

estudo foi avaliar os efeitos imediatos da cirurgia com tendões autólogos dos isquiotibiais como enxerto, no membro afetado e no membro saudável, e nenhum outro tipo de enxerto.

Portanto, a amostra deve ser por conveniência. Também consideramos como limitação este estudo não ter um grupo de controle externo, o que nos daria outras perspectivas em relação aos efeitos imediatos da cirurgia de reconstrução do LCA. Assim, esses resultados são aplicáveis apenas ao perfil de nossos participantes, não podendo ser extrapolados para outras populações. Por fim, outra limitação é o fato de não termos medido objetivamente a dor dos participantes no período do exame, onde dor no joelho pode estar relacionada a algum tipo de alteração do movimento a fim de proteger ou diminuir a demanda no membro operado.<sup>40</sup> Assim, acreditamos que o potencial fator limitante desse fato é, no máximo, limitado. Por fim, destaca-se a baixa demanda para a tarefa utilizada na avaliação (miniagachamento). Porém, considerando o período de reconstrução aguda, não seria seguro realizar atividades com maior demanda nos membros inferiores. Assim, considerando o tema pouco explorado na literatura, este estudo, apesar das limitações descritas, pode contribuir com o corpo de conhecimento na área e fomentar outros desdobramentos.

## **Conclusão**

Estes pacientes submetidos à reconstrução do LCA com enxerto de tendão dos isquiotibiais apresentam alterações cinemáticas nos membros afetados e saudáveis no pós-operatório inicial, demonstrando diminuição da abdução do joelho do lado operado. Além disso, foi observada uma piora do equilíbrio com os olhos abertos sobre o membro operado, com maior valor da área de deslocamento do COP no momento pós-operatório, e alteração da simetria de descarga do peso, tanto para o membro

operado quanto para o saudável.

## REFERÊNCIAS

1. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. (2007) A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy*. 23(12):1320–1325.
2. Fukubayashi T, Torzilli PA, Sherman MF, Warren RF. (1982) An in vitro biomechanical evaluation of anterior-posterior motion of the knee. Tibial displacement, rotation, and torque. *J Bone Joint Surg Am*. 64(2):258-64.
3. Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, Shepard MF, Finerman GA, Slauterbeck JL. (1995) Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orthop Res*. 13(6):930–5.
4. Ortiz A, Capo-Lugo CE, Venegas-Rios HL. (2014) Biomechanical deficiencies in women with semitendinosus-gracilis anterior cruciate ligament reconstruction during drop jumps. *PM&R*. 6(12):1097-106.
5. Shabani B, Bytyqi D, Lustig S, Cheze L, Bytyqi C, Neyret P. (2015) Gait knee kinematics after ACL reconstruction: 3D assessment. *Int Orthop*. 39(6):1187–93.
6. O'Brien SJ, Warren RF, Pavlov H, Panariello R, Wickiewicz TL. (1991) Reconstruction of the chronically insufficient anterior cruciate ligament with the central third of the patellar ligament. *J Bone Joint Surg Am*. 73(2):278-86.
7. Dhillon MS, Bali K, Prabhakar S. (2011) Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian journal of orthopaedics*. 45(4):294-300.

8. Angoules AG. (2013) Anterior Cruciate Ligament Mechanoreceptors Regeneration Following Reconstruction Using Autografts. *Journal of Sports Medicine & Doping Studies*. 3(2), 1-2.
9. Williams GN, Chmielewski T, Rudolph K, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. (2001) Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. *J Orthop Sports Phys Ther*.31(10):546-66.
10. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. (2014) Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med* .48(21):1543-52.
11. Liu SH, Osti L, Henry M, Bocchi L. (1995) The diagnosis of acute complete tears of the anterior cruciate ligament. Comparison of MRI, arthrometry and clinical examination. *J Bone Joint Surg Br*. 77(4):586-588.
12. Failla MJ, Arundale AJ, Logerstedt DS, Snyder-Mackler L.(2015) Controversies in knee rehabilitation: anterior cruciate ligament injury. *Clinics in sports medicine*. 34(2):301-12.
13. Bittencourt, N. F. N et al. (2012) Foot and Hip Contributions to High Frontal Plane Knee Projection Angle in Athletes: A Classification and Regression Tree Approach. *J Orthop Sports Phys Ther*. 42(12):996–1004.
14. Bell-Jenje T, Olivier B, Wood W, Rogers S, Green A, McKinon W. (2016) The association between loss of ankle dorsiflexion range of movement, and hip adduction and internal rotation during a step down test. *Manual therapy*. 21:256-61.

15. Mohammadi F et al. (2012) Static and Dynamic Postural Control in Competitive Athletes after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*20(8): 1603-1610.
16. Kapreli E et al. (2009) Anterior Cruciate Ligament Deficiency Causes Brain Plasticity: A Functional MRI Study. *Am J Sports Med.* 37(12) 2419–2426.
17. Mattacola CG et al. (2002) Strength, Functional Outcome, and Postural Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Athletic Training.* 37(3): 262-268.
18. Dauty M, Collon S, Dubois C. (2010) Change in Posture Control after Recent Knee Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? *Clinical Physiology and Functional Imaging.* 30(3): 187-191.
19. Barenius B, Ponzer S, Shalabi A, Bujak R, Norlén L, Eriksson K. (2014) Increased risk of osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: a 14-year follow-up study of a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 42(5):1049–57.
20. Wellsandt E, Zeni JA, Axe MJ, Snyder-Mackler L. (2017) Hip joint biomechanics in those with and without post-traumatic knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury. *Clin Biomech (Bristol, Avon).*50:63–9.
21. Nyland J, Mattocks A, Kibbe S, Kalloub A, Greene JW, Caborn DN. (2015) Anterior cruciate ligament reconstruction, rehabilitation, and return to play: 2015 update. *Journal of Sports Medicine.* 7:21-32.
22. Shi DL, Wang YB, Ai ZS. (2010) Effect of anterior cruciate ligament reconstruction on biomechanical features of knee in level walking: a meta-analysis. *Chinese Medical Journal.* 123(21):3137-3142.

23. Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Slauterbeck JR, et al. (2007) Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med.* 35(3):359-67.
24. Lessi GC, Silva RS, Serrão FV. (2018) Comparison of the effects of fatigue on kinematics and muscle activation between men and women after anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther Sport.* 31:29–34.
25. Blackburn JT et al. (2006) Influences of Experimental Factors on Spinal Stretch Reflex Latency and Amplitude in the Human Triceps Surae. *Journal of Electromyography and Kinesiology.* 16(1): 42-50.
26. Chappel JD et al. (2002) Comparison of Knee Kinetics between Male and Female Recreational Athletes in Stop-Jump Tasks. *Am J Sports Med.* 30:2:261–267.
27. Andrade LM, Barros RM. L. de. (2002) Gait Analysis: Experimental Protocol based on Kinematic and Anthropometric Variables. 2002. 94f. Thesis (Master's degree) - Physical Education School, UNICAMP, Campinas.
28. Picorelli AMA, Hatton AL, Gane EM, Smith MD. (2018) Balance performance in older adults with hip osteoarthritis: A systematic review. *Gait & Posture.* 65:89-99.
29. Hartigan EH, Lynch AD, Logerstedt DS, Chmielewski TL, Snyder-Mackler L. (2013) Kinesiophobia after anterior cruciate ligament rupture and reconstruction: noncopers versus potential copers. *J Orthop Sports Phys Ther.* 43(11):821-832.
30. Paterno MV et al. (2010) Biomechanical Measures during Landing and Postural Stability Predict Second Anterior Cruciate Ligament Injury after Anterior

- Cruciate Ligament Reconstruction and Return to Sport. *Am J Sports Med.* 38(10): 1968-1978.
31. Gomes JL, de Castro JV, Becker R. (2008) Decreased hip range of motion and noncontact injuries of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* 24(9):1034-1037.
32. Van de velde SK et al. (2009) Increased Tibiofemoral Cartilage Contact Deformation in Patients with Anterior Cruciate Ligament Deficiency. *Arthritis and Rheumatism.* 60(12): 3693-3702.
33. Grooms DR, Onate JA. (2016) Neuroscience Application to Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention. *Sports Health.* 8(2):149–52.
34. Chmielewski TL, Jones D, Day T, Tillman SM, Lentz TA, George SZ. (2008) The Association of Pain and Fear of Movement/reinjury with Function during Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 38(12): 746-753.
35. Denti M et al. (2008) Motor Control Performance in the Lower Extremity: Normals vs. Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knees 5–8 Years from the Index Surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 8(5): 296-300.
36. Howells BE et al. (2013) The Assessment of Postural Control and the Influence of a Secondary Task in People with Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knees Using a Nintendo Wii Balance Board. *British Journal of Sports Medicine.* 47(14): 914-919.
37. S, D. S.; GD, M.; TE, H. Neuromuscular Training to Target Deficits Associated with Second Anterior Cruciate Ligament Injury. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, v. 43, n. 11.



38. T, S. et al. (2020) Patients With Abnormal Limb Kinetics at 6 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Have an Increased Risk of Persistent Medial Meniscal Abnormality at 3 Years. *Orthopaedic journal of sports medicine*, v. 8, n. 1, 23.
39. Willson JD, Ireland ML, Davis I. (2006) Core strength and lower extremity alignment during single leg squats. *Med Sci Sports Exerc.* 38(5):945-952.
40. Fremerey RW, Lobenhoffer P, Zeichen J, Skutek M, Bosch U, Tscherne H. (2000) Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament: a prospective, longitudinal study. *J Bone Joint Surg Br.* 82(6):801–6.
41. Fulton J, Wright K, Kelly M, Zebrosky B, Zanis M, Drvol C, et al. (2014) Injury risk is altered by previous injury: a systematic review of the literature and presentation of causative neuromuscular factors. *Int J Sports Phys Ther.* 9(5):583–95.

## ESTUDO 2

### Efeitos agudos da reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto semitendinoso e grácil na ativação muscular do membro inferior

#### RESUMO

**Objetivo:** Existem poucas informações sobre as repercussões agudas da reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA) na ativação muscular, principalmente na musculatura proximal do quadril. Assim, este estudo analisou os efeitos agudos da reconstrução do LCA com autoenxerto de semitendíneo/grácil (ST/G) na ativação muscular dos membros inferiores.

**Método:** Quatorze atletas recreacionais do sexo masculino que apresentaram uma ruptura unilateral primária do LCA e foram submetidos à reconstrução do LCA com um enxerto ST/G. O sinal eletromiográfico de superfície (EMG) foi registrado de cada participante durante a contração isométrica voluntária máxima (CIVM) dos músculos glúteo máximo e glúteo médio, vasto lateral e vasto medial, semitendíneo, bíceps femoral e músculos gastrocnêmios mediais e também durante o miniacachamento bipodal com olhos abertos e fechados, antes da cirurgia e 15 dias de pós-operatório. O sinal (EMG) foi normalizado pela média da CIVM.

**Resultados:** A avaliação pós-operatória mostrou redução da ativação muscular no glúteo máximo ( $p = 0,013$ ,  $d: 0,48$ ) no membro não operado e também no músculo glúteo médio ( $p = 0,013$ ,  $d: 0,79$ ), semitendíneo ( $p = 0,001$ ,  $d: 2,46$ ), bíceps femoral ( $p < 0,001$ ,  $d: 1,5$ ) e gastrocnêmio medial ( $p = 0,001$ ,  $d: 1,45$ ) durante a CIVM no membro operado. A avaliação pós-operatória também revelou alterações positivas na atividade EMG dos músculos locais da coxa e do quadril nos membros operados e não operados durante o miniacachamento com olhos abertos e olhos fechados ( $p < 0,05$ ).

**Conclusão:** A cirurgia de reconstrução do LCA com enxerto ST/G promove alterações imediatas na ativação muscular do membro inferior operado e não operado.

**Palavras-chave:** Biomecânica, eletromiografia, ligamento cruzado anterior, joelho

#### O que é conhecido

- A lesão do LCA é multifatorial, podendo ocorrer déficits neuromusculares nos membros inferiores, resultando em disfunção sensório-motora, comprometendo a estabilidade dinâmica do joelho.
- Até o momento, vários fatores associados ao controle neural e capacidade muscular têm sido sugeridos como relacionados ao risco de lesão do LCA sem contato.

**O que há de novo**

- A cirurgia de reconstrução do LCA pode resultar em alterações negativas imediatas nos músculos locais do joelho e da coxa, bem como nos músculos proximais do quadril do membro operado e não operado.
- Desta forma, nossos resultados identificam déficits precoces na reabilitação, os quais merecem atenção, pois os pacientes podem vivenciar essas alterações em todas as fases da reabilitação pós-cirúrgica e aumentar o risco de lesão de contato do LCA.

## INTRODUÇÃO

O ligamento cruzado anterior (LCA) desempenha um papel essencial na biomecânica do joelho, atuando como um estabilizador primário contra a translação tibial anterior em relação ao fêmur, e com um papel secundário na restrição da rotação medial do joelho.<sup>1</sup> Além disso, foi demonstrado que O LCA promove proteção da cartilagem articular e do menisco, reduzindo assim a possibilidade de degeneração articular.<sup>2</sup>

A ruptura do LCA tem se tornado cada vez mais comum em esportes de alto rendimento. Tem sido relatado que 70% das lesões do LCA ocorrem sem contato, ou seja, como resultado de um movimento alterado<sup>3</sup>, por exemplo, quando um atleta está tentando desacelerar e muda a direção do movimento com o pé fixado no solo, ou quando o valgo excessivo do joelho e o estresse de rotação medial ou lateral no joelho ocorrem sem qualquer contato com outro atleta causando a ruptura do LCA.<sup>4</sup> Assim, as alterações biomecânicas que causam o valgo excessivo do joelho podem se tornar uma condição perigosa para lesões nesta articulação.<sup>5</sup> Outros fatores, incluindo anatomia óssea, controle neuromuscular, regulação hormonal e genética, são conhecidos por contribuir para a lesão do LCA quando a lesão resulta de um evento sem contato.<sup>6</sup>

Em um estudo prospectivo,<sup>7</sup> observou-se que os músculos abdutores e rotadores laterais do quadril estavam mais fracos no início da temporada em atletas que sofreram lesão do LCA. Os autores também concluíram que os atletas que apresentavam relação de força inferior a 20,3% do peso corporal para os rotadores laterais e 34,4% para os abdutores do quadril apresentavam risco aumentado de lesão do LCA. Esses achados são reforçados pelo conceito de que o risco aumentado de lesão do LCA é multifatorial e requer um conjunto de alterações biomecânicas e neuromusculares, atuando simultaneamente, que podem variar dependendo do

movimento realizado, por exemplo, saltos ou agachamentos.<sup>8</sup> Nesse contexto, a fraqueza dos abdutores e rotadores laterais do quadril,<sup>2,8</sup> a mobilidade excessiva da rotação medial do quadril e a restrição da dorsiflexão,<sup>9</sup> isoladamente ou em combinação com os movimentos atléticos, têm sido destacados.

A reconstrução do LCA restaura a estabilidade mecânica da articulação do joelho, mas padrões de movimento alterados são comuns após a cirurgia, razão pela qual muitos atletas não conseguem retornar ao nível de função pré-lesão do LCA.<sup>10</sup> Nesse sentido, com propriocepção reduzida ou resposta articular aferente de joelho, um distúrbio no controle neuromuscular pode ocorrer e afetar as respostas motoras, resultando em disfunção sensório-motora do membro lesado.<sup>11</sup> Embora o principal objetivo da reconstrução do LCA seja restaurar o paciente ao seu nível de atividade pré-lesão, há evidências de que as alterações na função dos músculos quadríceps, isquiotibiais e glúteos permanecem, mesmo depois que o atleta retorna ao seu nível de atividade pré-lesão.<sup>12,13</sup>

Do ponto de vista clínico, outro aspecto crítico é que estudos anteriores analisaram apenas a ativação muscular no pós-operatório tardio de reconstrução do LCA.<sup>12,14</sup> Há fortes evidências de que os pacientes submetidos à reconstrução do LCA têm uma recuperação mais rápida quando utilizam protocolos de reabilitação que combinam exercícios de cadeia cinética aberta (CCA) e cadeia cinética fechada (CCF) em comparação a protocolos que utilizam apenas atividades em cadeia cinética fechada,<sup>15</sup> sem causar grande estresse no ligamento e na articulação patelofemoral.<sup>16</sup> Além disso, sabe-se que a reabilitação deve focar nos exercícios de fortalecimento bem como exercícios que permitem ao paciente recuperar a estabilidade dinâmica do joelho e retornar ao nível de atividade pré-lesão.<sup>17</sup> A abordagem dos fatores que podem levar um indivíduo a uma lesão futura, como fraqueza dos músculos do quadril,

também deve fazer parte de reabilitação.

Até onde sabemos, não foi encontrado na literatura nenhum estudo que avaliasse a ativação muscular no pós-operatório imediato de reconstrução do LCA. Dessa forma, uma proposta que investigue as repercussões imediatas da reconstrução na ativação muscular do membro inferior é inovadora e relevante para a prática clínica, pois amplia o conhecimento do clínico sobre os déficits neuromusculares já presentes no início da reabilitação. Assim, o fisioterapeuta precisa estar atento às mudanças nos padrões de movimento e também no desempenho neuromuscular que podem estar presentes em pacientes submetidos à reconstrução do LCA, a fim de elaborar protocolos específicos para minimizar a possível recorrência da lesão e evitar degeneração condral na articulação do joelho.

Além disso, é importante identificar possíveis alterações neuromusculares específicas no membro operado e também no membro não operado, que é o objetivo do presente estudo, tanto nos músculos quadríceps<sup>18</sup> quanto nos músculos que atuam no quadril,<sup>19</sup> já na fase aguda após reconstrução do LCA. Tais alterações são potencialmente modificáveis por meio de intervenções, durante a reabilitação, otimizando todo o processo.<sup>20,21</sup> Assim, este estudo teve como objetivo investigar os efeitos imediatos ou agudos da reconstrução do LCA na ativação muscular dos membros inferiores. Foi hipotetizado que a reconstrução ligamentar tem impacto imediato na função muscular, não apenas na musculatura local da coxa, mas também na musculatura proximal do quadril.

## **MÉTODOS**

### **Desenho e amostra do estudo**

O estudo prospectivo foi desenhado para analisar os efeitos agudos da

reconstrução do LCA com autoenxerto de semitendíneo/grácil (ST/G) na ativação muscular dos membros inferiores. Este estudo prospectivo teve como amostra quatorze atletas recreacionais do sexo masculino (média  $\pm$  DP; idade,  $31,31 \pm 9,66$  anos; altura,  $1,75 \pm 0,06$  m; massa corporal,  $79,65 \pm 12,57$  kg; índice de massa corporal,  $25,96 \pm 3,76$  kg / m<sup>2</sup>; tempo de lesão  $17,5 \pm 0,70$  meses) participaram neste estudo. Um atleta recreacional foi definido como qualquer pessoa que participa de atividade aeróbica ou atlética pelo menos 3 vezes por semana por um mínimo de 30 minutos por sessão<sup>22</sup>, que atingiu o nível 5 na escala de atividade de Tegner.<sup>23</sup> Para serem incluídos no estudo, os participantes deveriam também apresentar ruptura primária unilateral do LCA verificada por imagem artroscópica ou ressonância magnética, diagnosticada clinicamente por sinal positivo nos testes de *Lachman* ou gaveta anterior e não ter realizado reabilitação pré-operatória, a fim de padronizar as condições sensório-motoras para avaliação basal, entre os diferentes participantes. A reconstrução do LCA foi realizada pelo mesmo cirurgião ortopédico, com o enxerto obtido sempre na perna lesada. Os participantes foram submetidos ao mesmo protocolo de reabilitação após a cirurgia: nas primeiras 2 semanas, com foco no controle do edema ou da dor, recuperar a extensão completa (sem órtese pós-operatória) e aumentar gradativamente a flexão do joelho, aumentar gradativamente a descarga de peso e, assim, normalizar a marcha (sem muletas).

Os critérios de exclusão foram: qualquer homem com lesão atual ou cirurgia anterior no membro inferior, ou que apresentasse condições cardiovasculares, pulmonares, neurológicas ou sistêmicas que limitassem a atividade física.<sup>24</sup> Todos os participantes do estudo leram e assinaram um termo de consentimento informado antes as avaliações e todos os procedimentos de teste foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade (1.566.422).

## Procedimentos

Após o exame físico, uma avaliação eletromiográfica de superfície (EMG) dos músculos glúteo máximo e glúteo médio, vasto lateral e vasto medial, semitendíneo, bíceps femoral e gastrocnêmio medial foi realizada durante a contração isométrica voluntária máxima (CIVM), seguindo a tolerância à dor (escala visual analógica = 3) e durante uma tarefa de miniagachamento bipodal em diferentes demandas (com olhos abertos e fechados), antes da cirurgia e 15 dias de pós-operatório. Os dados EMG foram obtidos usando um sistema de aquisição *Trigno 8 Channel Wireless (Delsys, Inc. Natick, MA, EUA)*. O modo de aquisição de sinal foi amostrado em uma frequência de 1000 Hz. com o ganho de 1000 vezes, com filtro de passa alta de 20 Hz, filtro de passa baixa de 500 Hz e filtro de 60 Hz presente no aparelho para impedir interferências da rede elétrica

Os eletrodos foram aderidos nos músculos dos membros operados e não operados seguindo as orientações do SENIAM. Antes da aplicação do eletrodo, as áreas correspondentes foram suavemente raspadas para remover qualquer cabelo ou detritos, e foram limpas com lenços umedecidos com álcool.<sup>25</sup> O mesmo modelo foi usado em relação ao posicionamento dos eletrodos em pré e pós-operatório, orientando a segunda avaliação, por meio de estudo prévio de confiabilidade.

Os dados de CIVM foram coletados durante o teste de força muscular manual no qual a posição articular foi padronizada, conforme segue: glúteo médio (20 ° de abdução do quadril em decúbito lateral) e glúteo máximo (5 ° de extensão do quadril em decúbito ventral com flexão de joelho a 90°),<sup>26</sup> vasto lateral e vasto medial (60° de flexão do joelho na posição sentada),<sup>27</sup> semitendíneo e bíceps femoral (45° de flexão do joelho em posição prona) e gastrocnêmio medial (posição neutra da articulação túbio-tarsal em posição supina).<sup>28</sup> Cinco sinais EMG para cada grupo muscular foram



adquiridos durante o teste de CIVM para cada participante. Cada contração máxima foi realizada por 6 segundos, com intervalo de 2 minutos entre as contrações.

Ao final da avaliação EMG, todos os participantes foram submetidos a uma avaliação dinâmica e simultânea de todos os grupos musculares durante a realização de um miniagachamento bipodal. Com os participantes posicionados em ortostatismo, mantendo uma distância de base de 10 cm entre a linha média de cada calcâneo e com os membros superiores posicionados ao longo do corpo, foi solicitado que olhassem para um ponto localizado ao nível dos olhos, a 2 metros de distância. A partir dessa posição, eles foram orientados a realizar a tarefa de miniagachamento até atingirem 30 ° de flexão do joelho, com segurança, e retornarem à posição inicial, realizando todo o movimento durante o período de 6 segundos, período em que foi realizada a atividade EMG gravado. Cinco aquisições EMG foram registradas com os participantes realizando a tarefa na condição de olhos abertos e 5 aquisições adicionais de EMG foram registradas com os participantes realizando a tarefa na condição de olhos fechados. O mesmo protocolo de avaliação foi aplicado a todos os participantes, com o objetivo de avaliar as condições e desempenho neuromuscular. Antes do teste, todos os voluntários estavam familiarizados com o movimento e a amplitude de flexão do joelho (30° de flexão), controlada por um software específico de análise de movimento - *Visual3D v5.02.07 (C-motion Inc. Rockville, EUA)*.

### **Medidas de resultado**

Os dados brutos foram processados no software *EMGworks Acquisition 4.3 (Delsys, Inc. Natick, MA, EUA)*. Para análise da ativação muscular, foram processados os dados do *Root Mean Square (RMS)*, excluindo o primeiro e o último segundos da EMG, totalizando 4 segundos. Os dados EMG foram normalizados pela CIVM,

permitindo avaliar o nível de atividade do músculo durante a tarefa em investigação em relação à capacidade máxima de ativação neural.

#### Sinais EMG durante a tarefa

Normalização =  
(RMS/RMS)

Valor de referência obtido a partir da  
EMG do mesmo músculo (CIVM)

#### Análise estatística

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software *Statistica*™ (versão 7.0, StatSoft, Inc, Tulsa, OK, EUA). Os valores descritivos (médias, desvios-padrão) para cada variável foram obtidos inicialmente. A análise da distribuição estatística e homogeneidade de variância foi realizada pelos testes *Shapiro-Wilk W* e de Levene, respectivamente. Com relação aos dados paramétricos, o teste t de *Student* para amostras dependentes foi usado para comparações intragrupo (pré-X pós-reconstrução) para cada membro. Com relação aos dados não paramétricos, o teste dos postos sinalizados de *Wilcoxon* foi usado para comparações intragrupo. A correção de *Bonferroni* foi usada na configuração de comparações múltiplas, para corrigir a taxa de erro do experimento ao usar testes 't' em comparações múltiplas (com a correção de *Bonferroni*, o valor de  $p < 0,0166$  foi aceito como significativo). O tamanho do efeito (ES) foi calculado usando o d de Cohen pelo software *G \* Power* 3.1.7.

## RESULTADOS

Os dados da CIVM da avaliação pré-operatória inicial e 15 dias após a reconstrução ligamentar estão representados na Tabela 1. Os resultados demonstram que houve diferença significativa entre os valores EMG pré e pós-reconstrução no

membro não operado para glúteo máximo ( $P = 0,013$ ;  $d = 0,48$ ) e membro operado para o glúteo médio ( $P = 0,013$ ;  $d = 0,79$ ), semitendíneo ( $P = 0,001$ ;  $d = 2,46$ ), bíceps femoral ( $P < 0,001$ ;  $d = 1,50$ ) e gastrocnêmio medial ( $P = 0,001$ ;  $d = 1,45$ ) músculos;

Músculo	Membro	Pre	Pós 15	<i>P</i>	Cohen d	%
GMAX	Operado	61,85±23,84	60,88±39,59	0,929	0,02	-2
	Não operado	78,95±38,04	60,55±37,22	0,013*	0,48	-24
GMED	Operado	82,66±45,03	52,01±31,27	0,013*	0,79	-38
	Não operado	90,74±53,08	92,75±31,25	0,397	-0,04	+2
VM	Operado	77,25±49,94	49,40±36,25	0,035	0,63	-37
	Não operado	83,88±41,65	86,69±45,78	0,730	-0,06	+3
VL	Operado	95,78±62,84	80,15±47,52	0,313	0,28	-17
	Não operado	121,01±63,88	129,91±75,06	0,728	-0,12	+7
ST	Operado	176,43±71,45	42,21±28,30	0,001*	2,46	-77
	Não operado	220,27±161,16	167,94±81,44	0,056	0,40	-34
BF	Operado	120,42±61,87	45,88±25,48	<0,001*	1,5	-62
	Não operado	113,55±47,19	134,29±52,98	0,218	-0,41	+18
G	Operado	153,86±88,31	56,14±34,84	0,001*	1,45	-74
	Não operado	139,81±72,32	128,91±65,49	0,683	0,15	-8

com valores mais baixos após a reconstrução ligamentar.

**Tabela 1** - Avaliação EMG da CIVM ( $\mu V$ ) dos músculos dos membros inferiores dos pacientes submetidos à reconstrução do LCA com autoenxerto ST / G ( $n = 14$ ), antes e após (15 dias) da cirurgia de reconstrução.

GMAX = m. glúteo máximo; GMED = m. glúteo médio; VM = m. vasto medial; VL = m. vasto lateral; ST = m. semitendíneo; BF = m. bíceps femoral; G = m. gastrocnêmio medial. \* Indica diferença significativa dos valores da linha de base; % = indica diferença percentual da pós-reconstrução em relação à pré-reconstrução.

Os dados da avaliação EMG da tarefa de miniagachamento com os olhos abertos, normalizados pela CIVM, na avaliação pré-operatória inicial e 15 dias após a reconstrução ligamentar são apresentados na Tabela 2. Os resultados demonstram que houve diferença significativa entre os pré- e valores pós-reconstrução no membro não operado para o músculo glúteo máximo ( $P = 0,005$ ;  $d = -0,89$ ) com valores maiores

na segunda avaliação. Para o membro operado, houve maiores valores na avaliação pós-reconstrução para glúteo médio ( $P = 0,011$ ;  $d = -0,87$ ), semitendíneo ( $P = 0,002$ ;  $d = -2,19$ ), bíceps femoral ( $P = 0,016$ ;  $d = -0,72$ ), e músculos gastrocnêmios mediais ( $P = 0,004$ ;  $d = -1,09$ ), e valores mais baixos para o músculo vasto medial ( $P = 0,016$ ;  $d = 1,20$ ).

Músculo	Membro	Pre	Pós 15	<i>P</i>	Cohen d	%
GMAX	Operado	12,89±12,59	16,73±11,80	0,272	-0,31	+29
	Não operado	8,87±4,68	14,51±7,55	0,005*	-0,89	+63
GMED	Operado	26,03±13,31	41,42±20,91	0,011*	-0,87	+59
	Não operado	24,28±10,21	34,03±17,97	0,025	-0,66	+40
VM	Operado	51,83±23,02	27,07±17,67	0,016*	1,20	-52
	Não operado	42,83±21,46	42,29±21,11	1,000	0,02	-0,2
VL	Operado	47,01±16,26	26,49±17,48	0,093	1,21	-56
	Não operado	48,07±29,10	38,66±15,97	0,168	0,40	-20
ST	Operado	14,50±7,45	52,56±23,40	0,002*	-2,19	+262
	Não operado	14,87±9,49	14,59±7,57	0,730	0,03	-0,2
BF	Operado	12,66±10,60	23,76±18,93	0,016*	-0,72	+87
	Não operado	11,76±5,34	8,46±6,52	0,064	0,55	-71
G	Operado	15,19±6,32	29,94±17,99	0,004*	-1,09	+97
	Não operado	23,74±11,97	18,55±10,47	0,286	0,46	-78

**Tabela 2** - Avaliação eletromiográfica normalizada pela CIVM dos músculos dos membros inferiores dos pacientes submetidos à reconstrução do LCA com autoenxerto ST / G ( $n = 14$ ), antes e após (15 dias) da cirurgia de reconstrução, durante miniagachamento com olhos abertos.

GMAX = m. glúteo máximo; GMED = m. glúteo médio; VM = m. vasto medial; VL = m. vasto lateral; ST = m. semitendíneo; BF = m. bíceps femoral; G = m. gastrocnêmio medial. \* Indica diferença significativa dos valores da linha de base; % = indica diferença percentual da pós-reconstrução em relação à pré-reconstrução.

Os dados da avaliação EMG para a tarefa de miniagachamento com olhos fechados, normalizados pela CIVM, na avaliação pré-operatória inicial e 15 dias após a reconstrução ligamentar são apresentados na Tabela 3. Os resultados demonstram que houve diferença significativa entre os pré- e valores pós-reconstrução no membro

não operado para o músculo glúteo máximo ( $P = 0,005$ ;  $d = -0,81$ ) com valores maiores na segunda avaliação. Para o membro operado, houve maiores valores na avaliação pós-reconstrução para o glúteo médio ( $P = 0,0011$ ;  $d = -0,89$ ), semitendíneo ( $P = 0,001$ ;  $d = -2,38$ ) e gastrocnêmio medial ( $P = 0,004$ ;  $d = -1,10$ ) músculos.

Músculo	Membro	Pre	Pós 15	<i>P</i>	Cohen d	%
GMAX	Operado	11,86±10,83	15,47±11,58	0,198	-0,32	+30
	Não operado	9,45±6,56	14,99±7,06	0,005*	-0,81	+58
GMED	Operado	25,92±13,79	41,49±20,53	0,011*	-0,89	+60
	Não operado	24,34±10,02	34,06±19,25	0,039	-0,63	+39
VM	Operado	53,76±25,22	29,27±15,69	0,021	1,16	-54
	Não operado	38,45±17,77	40,70±19,93	0,807	-0,11	+5
VL	Operado	46,22±18,58	30,62±17,30	0,110	0,86	-34
	Não operado	45,63±27,90	35,45±15,66	0,134	0,44	-23
ST	Operado	14,29±6,36	52,81±21,93	0,001*	-2,38	+269
	Não operado	12,92±7,15	13,19±4,24	0,221	-0,04	+2
BF	Operado	10,28±4,95	23,03±18,74	0,046	-0,93	+124
	Não operado	9,97±3,42	6,77±2,62	0,121	1,05	-33
G	Operado	16,43±7,30	32,46±19,16	0,004*	-1,10	+97
	Não operado	20,70±12,24	16,60±11,11	0,384	0,35	-20

**Tabela 3** - Avaliação eletromiográfica normalizada pela CIVM dos músculos dos membros inferiores dos pacientes submetidos à reconstrução do LCA com autoenxerto ST / G ( $n = 14$ ), antes e após (15 dias) da cirurgia de reconstrução, durante miniagachamento com olhos fechados.

GMAX = m. glúteo máximo; GMED = m. glúteo médio; VM = m. vasto medial; VL = m. vasto lateral; ST = m. semitendíneo; BF = m. bíceps femoral; G = m. gastrocnêmio medial. \* Indica diferença significativa dos valores da linha de base; % = indica diferença percentual da pós-reconstrução em relação à pré-reconstrução.

## DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar os efeitos agudos da reconstrução do LCA na ativação muscular do membro inferior em indivíduos submetidos a esse procedimento cirúrgico. Foi hipotetizado que a reconstrução ligamentar tem impacto imediato na função dos músculos locais do joelho e da coxa, bem como nos músculos

proximais do quadril. Essa hipótese foi parcialmente sustentada pela análise EMG dos membros operados. Embora as alterações eletromecânicas já tenham sido documentadas e esperadas durante a ativação dos músculos isquiotibiais ipsilaterais após a reconstrução do LCA com enxerto de isquiotibiais, a literatura ainda não mostrou tais alterações agudas após 15 dias da cirurgia. Desta forma, nossos resultados identificam déficits precoces na reabilitação, os quais merecem atenção.<sup>29</sup>

Alterações pós-operatórias de EMG foram observadas no teste de CIVM tanto nos músculos proximais do quadril (glúteo médio) quanto nos músculos locais da coxa (vasto medial, vasto lateral, bíceps femoral). Essa ativação EMG reduzida na reconstrução pós-LCA foi um achado significativo, uma vez que esses músculos são fundamentalmente importantes para a estabilização dinâmica da articulação do joelho.<sup>10,30</sup> Além disso, é importante identificar possíveis déficits neuromusculares após a cirurgia de reconstrução do LCA porque os pacientes podem apresentar essas alterações em todas as fases da reabilitação pós-cirúrgica, em que essas assimetrias musculares podem persistir por vários anos após a cirurgia.<sup>31</sup> Assim, seria importante restaurar o padrão sensorial motor do paciente, incluindo mudanças no padrão de ativação muscular, que podem ser encontradas em pacientes que sofreram lesão do LCA,<sup>32</sup> a fim de reduzir a sobrecarga da articulação e diminuir o estresse no enxerto, podendo ajudar a minimizar o risco de lesões, incluindo osteoartrite do joelho e uma nova ruptura do enxerto.

Quando a atividade EMG é comparada para o mesmo músculo em dias diferentes em indivíduos diferentes, o sinal EMG deve ser normalizado.<sup>26</sup> Nesse sentido, os dados brutos relatados no presente estudo foram normalizados. A divisão do sinal EMG durante a tarefa foi demonstrada pelo valor do mesmo músculo durante a CIVM, permitindo assim a avaliação do nível de atividade do músculo de interesse

durante a tarefa em investigação em relação à capacidade máxima de ativação neural de o músculo. Após esse processo, foi possível identificar as alterações eletromiográficas durante as tarefas de miniagachamento com olhos abertos e olhos fechados. Houve aumento da ativação pós-operatória dos músculos glúteo máximo e glúteo médio do membro não operado, bem como dos músculos glúteo médio, semitendíneo, bíceps femoral e gastrocnêmio medial do membro operado. Porém, houve diminuição da ativação pós-operatória do músculo vasto medial do membro operado em relação à ativação pré-operatória. Deve-se notar que o aumento da ativação muscular normalizada, que ocorreu no período pós-reconstrução, parece estar mais significativamente relacionado à diminuição da ativação da CIVM (que é considerada no cálculo da ativação muscular normalizada) do que ao aumento da ativação muscular durante o período funcional tarefa.

A diminuição da CIVM no pós-operatório pode ser decorrente da condição protetora do membro operado, uma vez que a inibição muscular protetora causada pela cirurgia do joelho poderia impedir a ativação muscular efetiva.<sup>32</sup> Nesse sentido, sugere-se que os dados possam ser analisados da forma convencional (após o procedimento de normalização) ou comparando-os com os dados originais (dados brutos sem o procedimento de normalização)<sup>26</sup>, o que não foi feito neste estudo.

Os resultados do presente estudo mostram alterações eletromiográficas nos músculos que são de fundamental importância para a reabilitação da articulação do joelho. No entanto, esses resultados devem ser interpretados com cautela, e avaliações progressivas durante a reabilitação devem ser utilizadas para orientar o clínico a considerar os possíveis déficits de ativação muscular em cada fase pós-cirúrgica. O músculo quadríceps pode sofrer uma inibição após a cirurgia de reconstrução do LCA ou algum procedimento cirúrgico que possa ser realizado no

joelho,<sup>33</sup> identificar tal evento e intervir prontamente nele é de suma importância para um bom prognóstico durante a reabilitação. Nesse sentido, o presente estudo identificou que os músculos proximais do quadril apresentam alterações nos padrões de ativação muscular no momento agudo do pós-operatório, evidenciando assim que esses músculos também precisam de uma atenção precoce, para que possam estabelecer sua ativação efetiva, evitando sobrecargas articulares e possíveis fatores de riscos para uma nova lesão.

Além disso, outro estudo<sup>34</sup> mostrou que existem déficits persistentes na perimetria do membro inferior operado e diminuição da força do quadríceps no pós-operatório, essas são as principais preocupações dos fisioterapeutas. A restauração da ativação do músculo quadríceps mostra algumas evidências do impacto das adaptações morfológicas periféricas persistentes na fraqueza muscular. Nossos resultados indicam que os protocolos de reabilitação para esses pacientes precisam abordar esse impacto no pós-operatório imediato, ajudando assim os pacientes a evitar lesões secundárias. A tendência de proteção, restrição de movimentos e diminuição da descarga de peso no membro operado são questões relevantes no tratamento da lesão e influenciam diretamente na capacidade de garantir um bom prognóstico para a reabilitação.

Verificamos alterações na ativação muscular do membro contralateral não operado. Esse achado está de acordo com a literatura que sugere que a lesão do LCA pode influenciar o membro não envolvido, resultando em déficits funcionais e de força.<sup>35</sup> Considerando que a frequência de ruptura contralateral após lesão anterior do LCA pode variar entre 8,2 a 16% dos casos,<sup>36</sup> destacamos a importância de avaliar as repercussões imediatas da reconstrução do LCA no membro não envolvido.

Os autores reconhecem algumas limitações relacionadas ao estudo atual.



Embora a tarefa de miniagachamento pareça ser uma atividade de baixa demanda, exigindo poucos músculos e limitados ajustes articulares, nossos resultados demonstraram que houve uma diminuição na ativação tanto da musculatura proximal do quadril quanto dos músculos locais do joelho durante o período pós-operatório inicial. A tarefa de miniagachamento foi escolhida a fim de não sobrecarregar o enxerto no pós-operatório precoce por um movimento de amplitude seguro.<sup>37</sup> No entanto, esses resultados devem ser explorados em estudos futuros, a fim de ajudar os médicos a melhor assistir esses pacientes e promover uma abordagem mais eficaz. protocolo de reabilitação. A identificação precoce de alterações específicas, tanto nos flexores do joelho quanto nos músculos que atuam no quadril, pode ter implicações importantes no que diz respeito à reabilitação após a reconstrução do LCA e, portanto, pode afetar positivamente os atletas e o retorno bem-sucedido à competição com risco mínimo de nova lesão. Consideramos também como limitação o fato de o presente estudo não possuir grupo controle externo, o que nos daria outras perspectivas em relação aos efeitos imediatos da cirurgia de reconstrução do LCA. Assim, esses resultados são aplicáveis ao perfil de nossos participantes, não podendo ser extrapolados para outras populações.

Por fim, outra limitação é o fato de não termos medido a dor no período do exame, tal a dor no joelho poderia estar relacionada a algum tipo de alteração do movimento a fim de proteger ou diminuir a demanda no membro operado.<sup>38</sup>

## **CONCLUSÃO**

Em conclusão, a cirurgia de reconstrução do LCA com enxerto ST / G pode resultar em mudanças negativas imediatas na ativação muscular do membro operado e não operado em indivíduos submetidos a este procedimento cirúrgico.

## REFERÊNCIAS

1. Fukubayashi T, Torzilli PA, Sherman MF et al (1982) An in vitro biomechanical evaluation of anterior-posterior motion of the knee. tibial displacement, rotation, and torque. *J Bone Joint Surg.* 64(2): 258–264.
2. Busfield BT, Safran MR, Cannon WD (2005) Extensor mechanism disruption after contralateral middle third patellar tendon harvest for anterior cruciate ligament revision reconstruction. *Arthroscopy* 21(10): 1268.
3. Sutton KM, Bullock JM (2013) Anterior cruciate ligament rupture: differences between males and females. *J Am Acad Orthop Surg.* 21(1): 41–50.
4. Prentice WE, Voight ML (2003) Técnicas em reabilitação musculoesquelética, 1ª ed., Porto Alegre, Artmed.
5. Schmitz RJ, Ficklin TK, Shimokochi Y et al (2008) Varus/valgus and internal/external torsional knee joint stiffness differs between sexes. *Am J Sports Med* 36(7): 1380–1388.
6. Grooms DR, Onate JA (2016) Neuroscience application to noncontact anterior cruciate ligament injury prevention. *Sports Health* 8(2): 149–152.
7. Khayambashi K, Ghoddosi N, Straubi RK et al (2016) Hip muscle strength predicts noncontact anterior cruciate ligament injury in male and female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 44(2): 355–361.
8. Bittencourt NFN, Ocarino JM, Mendonça LD et al (2012) Foot and hip contributions to high frontal plane knee projection angle in athletes: a classification and regression tree approach. *J Orthop Sports Phys Ther.* 42(12): 996–1004.

9. Bell-Jenje T, Olivier B, Wood W et al (2016) The association between loss of ankle dorsiflexion range of movement, and hip adduction and internal rotation during a step down test. *Man Ther.* 21: 256–261.
10. Arden CL, Taylor NF, Feller JA et al (2014) Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med.* 48(21): 1543–1552.
11. Kapreli E, Athanasopoulos S, Gliatis J et al (2009) Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study. *Am J Sports Med.* 37(12): 2419–2426.
12. Vairo GL, Myers JB, Sell TC et al (2008) Neuromuscular and biomechanical landing performance subsequent to ipsilateral semitendinosus and gracilis autograft anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 16(1): 2–14.
13. Tsai TC, McLean S, Colletti PM et al (2012) Greater muscle co-contraction results in increased tibiofemoral compressive forces in females who have undergone anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Res.* 3(12): 2007–2014.
14. Hansen C, Einarson E, Thomsom A et al (2017) Hamstring and calf muscle activation as a function of bodyweight support during treadmill running in ACL reconstructed athletes. *Gait Posture* 58: 154-158.
15. Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E (2000) Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to

- return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 8(6): 337-42.
16. Ross MD, Denegar CR, Winzenried JA (2001) Implementation of open and closed kinetic chain quadriceps strengthening exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Strength Cond Res.* 15(4): 466-73.
  17. Cavanaugh JT.; Powers M (2017) ACL Rehabilitation Progression: Where Are We Now? *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*10(3):289–296.
  18. Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J, Ingersoll CD (2010) Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train* 45(1):87–97.
  19. Dalton EC, Pfile KR, Weniger GR, Ingersoll CD, Herman D, Hart JM (2011) Neuromuscular Changes After Aerobic Exercise in People with Anterior Cruciate Ligament– Reconstructed Knees. *J Athl Train*46(5):476–83.
  20. Zebis MK, Bencke J, Andersen LL, Døssing S, Alkjaer T, Magnusson SP, et al (2008) The effects of neuromuscular training on knee joint motor control during sidecutting in female elite soccer and handball players. *Clin J Sport Med*18(4):329–37.
  21. Donnell-Fink LA, Klara K, Collins JE, Yang HY, Goczalk MG, Katz JN, et al (2015) Effectiveness of Knee Injury and Anterior Cruciate Ligament Tear Prevention Programs: A Meta-Analysis. *PLoS ONE.* 10(12):e0144063.
  22. Blackburn JT, Mynark RG, Padua DA et al (2006) Influences of experimental factors on spinal stretch reflex latency and amplitude in the human triceps surae. *J Electromyogr Kinesiol.* 16(1): 42–50.
  23. Tegner Y, Lysholm J (1985) Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Rel Res.* 198: 43–49.
  24. Chappell JD, Yu B, Kirkendall DT et al (2002) A comparison of knee kinetics

- between male and female recreational athletes in stop-jump tasks. *Am J Sports Med.* 30(2): 261–267.
25. Contreras B, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ et al (2016) A comparison of gluteus maximus, biceps femoris, and vastus lateralis electromyography amplitude for the barbell, band, and american hip thrust variations. *J Appl Biomech.* 32(3): 254-260.
26. Bolgia LA, Uhl TL (2007) Reliability of electromyographic normalization methods for evaluating the hip musculature. *J Electromyog Kinesiol.* 17(1): 102–111.
27. Albertus-Kajee Y, Tucker R, Derman W et al (2011) Alternative methods of normalizing EMG during running. *J Electromyog Kinesiol.* 21(4): 579–586.
28. Hsu WL, Krishnamoorthy V, Scholz JP (2006) An alternative test of electromyographic normalization in patients. *Muscle Nerve* 33(2): 232–241.
29. Ristanis S, Tsepis E, Giotis D, Stergiou N, Cerulli G, Georgoulis AD (2009) Electromechanical delay of the knee flexor muscles is impaired after harvesting hamstring tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 37(11):2179– 86.
30. Claiborne TL, Armstrong CW, Gandhi V et al (2006) Relationship between hip and knee strength and knee valgus during a single leg squat. *J Appl Biomech.* 22(1): 41–50.
31. Abourezk MN, Ithurburn MP, McNally MP et al (2017) Hamstring strength asymmetry at 3 years after anterior cruciate ligament reconstruction alters knee mechanics during gait and jogging *Am J Sports Med.* 45(1): 97– 105.
32. Hopkins JT, Ingersoll CD (2000) Arthrogenic muscle inhibition: a limiting factor in joint rehabilitation. *J Sport Rehabil.* 9(2): 135–159.

33. Rice DA, McNair PJ (2010) Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Semin Arthritis Rheum* 40(3):250–66.
34. Norte GE, Knaus KR, Kuenze C et al (2018) MRI-based assessment of lower extremity muscle volumes in patients before and after ACL reconstruction. *J Sport Rehabil.* 27(3): 201-212.
35. Hartigan EH, Zeni J, Di Stasi S, Axe MJ, Snyder-Mackler L (2012) Preoperative Predictors for Noncopers to Pass Return to Sports Criteria After ACL Reconstruction. *J Appl Biomech.* 28(4):366–73.
36. Howells BE, Clark RA, Ardern CL, Bryant AL, Feller JA, Whitehead TS, et al (2013) The assessment of postural control and the influence of a secondary task in people with anterior cruciate ligament reconstructed knees using a Nintendo Wii Balance Board. *Br J Sports Med.* 47(14):914–9.
37. Beynnon BD, Fleming BC (1998) Anterior cruciate ligament strain in-vivo: a review of previous work. *J Biomech.* 31(6):519–25.
38. Janssen WGM, Bussmann HBJ, Stam HJ (2002) Determinants of the sit-to-stand movement: a review. *Phys Ther.* 82(9):866–79.

### ESTUDO 3

**Título: Efeitos agudos e tardios da reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto semitendinoso e grácil na cinemática, eletromiografia, equilíbrio e funcionalidade subjetiva de membros inferiores.**

#### RESUMO

Mais de 70% das lesões do ligamento cruzado anterior (LCA) ocorrem por um mecanismo sem contato. Alterações biomecânicas e neuromusculares, afetando tanto a perna lesada quanto a contralateral, após a lesão do LCA, aumentam ainda mais o risco de uma lesão do LCA contralateral. E déficits sensoriais podem persistir após uma cirurgia de reconstrução de LCA. É fundamental identificar de modo precoce alterações biomecânicas e aspectos funcionais que podem se tornar fatores de risco relacionados a lesão do LCA e lesões degenerativas da articulação do joelho e atuar de modo preventivo frente as variáveis, visto que tais alterações podem persistirem anos após a reconstrução do LCA. Neste sentido, o objetivo do estudo foi investigar as alterações cinemáticas, eletromiográficas, do equilíbrio e funcionalidade subjetiva no período de 3 meses após cirurgia de reconstrução do LCA. Vinte e oito atletas recreacionais do sexo masculino participaram neste estudo. A avaliação ocorreu em três momentos distintos: uma avaliação pré-cirúrgica, outra 15 dias após e mais uma avaliação com três meses após a cirurgia de reconstrução do LCA. Uma análise simultânea da cinemática, eletromiografia e equilíbrio de membros inferiores durante o minigachamento (30° de flexão de joelho) com apoio bipodal foi realizada. Houve uma diminuição da abdução do joelho operado ( $p=0.028$ ) e uma menor abdução do joelho saudável ( $p=0.020$ ) ( $p=0.018$ ). Houve um aumento no recrutamento neuromuscular do membro lesado dos músculos Glúteo máximo ( $p=0.04$ ), Vasto medial ( $p=0.04$ ), Vasto Lateral ( $p=0.05$ ), Semitendinoso ( $p<.001$ ). E no membro saudável, houve um aumento do Glúteo máximo ( $p=0.023$ ) e Glúteo médio ( $p=0.004$ ) com os olhos fechados. Houve uma diminuição da ativação do Glúteo médio ( $p=0.037$ ) com os olhos abertos. Houve um aumento da área de deslocamento do membro inferior ( $p=0.003$ ). Os resultados deste estudo indicam que após a lesão do LCA seguido pela reconstrução cirúrgica são encontradas importantes alterações

biomecânicas de membros inferiores, tanto na articulação do quadril quanto na articulação do joelho, no membro operado e no membro não operado.

**Palavras chave:** *Biomecânica, Ligamento cruzado anterior. Joelho*

## **INTRODUÇÃO**

Mais de 70% das lesões do ligamento cruzado anterior (LCA) ocorrem por um mecanismo sem contato.<sup>1</sup> Fatores de risco que predisõem um indivíduo à lesão do LCA são categorizados como modificáveis ou não modificáveis. Fatores modificáveis são aqueles que podem ser alterados no indivíduo (por exemplo, força muscular ou flexibilidade). Fatores de risco não modificáveis, incluem aqueles que são intrínsecos e não podem ser controlados pelo indivíduo (por exemplo, estrutura anatômica).<sup>2</sup>

Alterações biomecânicas e neuromusculares, afetando tanto a perna lesada quanto a contralateral, após a lesão do LCA, aumentam ainda mais o risco de uma lesão do LCA contralateral.<sup>3</sup> E déficits sensoriais podem persistir após uma cirurgia de reconstrução de LCA, e como consequência, resultar em alterações como fraqueza muscular e comprometimento do equilíbrio e desempenho funcional de membros inferiores.<sup>4</sup> Onde também alguns indivíduos podem apresentarem déficits neuromusculares persistentes de membros inferiores.<sup>5,6</sup>

Dentre os fatores de risco conhecidos, destaca-se a relação entre o valgo dinâmico de joelho e as forças de tração exercidas sobre os ligamentos.<sup>7</sup> Esse fator é preocupante, visto que indivíduos submetidos à cirurgia de reconstrução do LCA apresentam alterações cinemáticas significativas durante os saltos e na marcha, podendo ocasionar um valgo de joelho excessivo, mesmo após a reconstrução, predispondo o indivíduo a lesões recorrentes.<sup>8,9</sup>



Alterações biomecânicas e neuromusculares que podem causar o valgo excessivo do joelho, podem se tornar uma condição perigosa para lesões ligamentares e cartilaginosas nesta articulação.<sup>10</sup> Sugere-se que déficits neuromusculares e de força dos músculos que atuam no quadril podem aumentar o risco de lesão do LCA.<sup>11</sup> Esses achados são reforçados pelo conceito de que a lesão do LCA é multifatorial e requer um conjunto de alterações biomecânicas e neuromusculares, atuando simultaneamente, que podem variar dependendo do movimento realizado.<sup>12</sup>

A ruptura do LCA, pode influenciar negativamente o controle postural, bem como a estabilidade mecânica do joelho.<sup>13,14</sup> O equilíbrio ou a estabilidade postural desempenham um papel importante na articulação do joelho<sup>15</sup>, por essa razão, exercícios que visam restaurar o equilíbrio são utilizados dentro do ambiente clínico, após uma cirurgia de reconstrução do LCA.<sup>16,17</sup>

É fundamental identificar de modo precoce alterações biomecânicas e aspectos funcionais que podem se tornar fatores de risco relacionados a lesão do LCA e lesões degenerativas da articulação do joelho e atuar de modo preventivo frente as variáveis, visto que tais alterações podem persistirem anos após a reconstrução do LCA.<sup>18,19</sup> Wright e colaboradores<sup>20</sup> demonstraram em uma revisão sistemática que o risco de ruptura do LCA em cinco anos ou mais após a reconstrução do LCA, no joelho contralateral, foi de 11,8%, neste sentido, destaca-se também a importância de avaliar o membro contralateral a lesão e cirurgia de reconstrução do LCA e identificar alterações biomecânicas que podem atuar na articulação do joelho do membro contralateral, visto que a lesão contralateral do LCA é uma das complicações mais sérias após a reconstrução do LCA para pacientes e cirurgiões.<sup>3</sup>

A alta taxa de lesão secundária após o retorno ao esporte após a reconstrução do LCA equivale a um risco 30 a 40 vezes maior de lesão do LCA em comparação com pessoas sem lesão. Esses dados indicam que uma reabilitação aprimorada pode reduzir o risco de uma segunda lesão.<sup>21</sup> Neste sentido, o objetivo do estudo foi investigar as alterações cinemáticas, eletromiográficas, do equilíbrio e funcionalidade subjetiva no período de 15 dias e 3 meses após cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior. Nossa hipótese é de que os resultados encontrados no pré e pós operatório imediato com 15 dias evoluam satisfatoriamente dentro do processo de reabilitação após três meses de pós operatório.

## **MÉTODOS**

O estudo prospectivo analisou os efeitos agudos e tardios da reconstrução do LCA com autoenxerto duplo semitendíneo / grácil (ST / G) na cinemática, ativação muscular, funcionalidade subjetiva e equilíbrio dos membros inferiores. Vinte e oito atletas recreacionais do sexo masculino (média  $\pm$  DP; idade,  $32,11 \pm 8,41$  anos; altura,  $1,77 \pm 0,06$  m; massa corporal,  $82,58 \pm 11,33$  kg; índice de massa corporal,  $26,47 \pm 3,02$  kg / m<sup>2</sup>; tempo de lesão  $10,7 \pm 7,86$  meses) participaram neste estudo. Um atleta recreacional é definido como qualquer pessoa que participa de atividade aeróbica ou atlética pelo menos 3 vezes por semana por um mínimo de 30 minutos por sessão <sup>22</sup>, que atingiu o nível 5 na escala de atividade de Tegner.<sup>23</sup> Para serem incluídos no estudo, os participantes deveriam apresentar um exame de imagem demonstrando ruptura primária unilateral do LCA, diagnosticada clinicamente por sinal positivo nos testes de Lachman ou gaveta anterior e não ter realizado reabilitação pré-operatória, a fim de padronizar as condições sensório-motoras para avaliação basal. A reconstrução do LCA foi realizada pelo mesmo cirurgião ortopédico, com o enxerto

obtido sempre na perna lesada. Os participantes foram submetidos ao mesmo protocolo de reabilitação após a cirurgia durante as 12 primeiras semanas de avaliações: nas primeiras 2 semanas, com foco no controle do inchaço ou da dor, recuperar a extensão completa (sem órtese pós-operatória) e aumentar gradativamente a flexão do joelho e extensão de joelho normal, aumentar gradativamente a descarga de peso e, assim, normalizar a marcha (sem muletas). Dando continuidade ao protocolo, até o 3 mês de avaliação com foco no aumento de força e controle neuromuscular dos músculos que atuam no quadril, joelho e tornozelo e pé, com exercícios em CCA e CCF.

Os critérios de exclusão foram: qualquer participante com lesão atual ou cirurgia anterior no membro inferior, ou que apresentasse condições cardiovasculares, pulmonares, neurológicas ou sistêmicas que limitassem a atividade física.<sup>24</sup> Todos os participantes do estudo leram e assinaram um termo de consentimento informado antes as avaliações e todos os procedimentos de teste foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade (1.566.422).

## **Procedimentos**

A avaliação ocorreu em três momentos distintos: uma avaliação pré-cirúrgica, outra 15 dias após e mais uma avaliação com três meses após a cirurgia de reconstrução do LCA. A avaliação pré-cirúrgica consistiu em avaliação física para verificação dos critérios de inclusão e exclusão e análise simultânea da cinemática, eletromiografia e equilíbrio de membros inferiores durante o miniagachamento (30° de flexão de joelho) com apoio bipodal, com olhos abertos e fechados. O ângulo de flexão do joelho de 30° foi escolhido para evitar maior estresse no enxerto e na articulação do joelho.

## Cinemática

Para coleta e processamento dos dados cinemáticos, foi utilizado o sistema de análise de movimento *3-D Foundation Motion Capture Package Motive* (NaturalPoint, Inc. Corvallis, EUA). Foram utilizadas seis câmeras *V100R2 Optitrack Flex* (NaturalPoint, Inc. Corvallis, EUA) com frequência de aquisição de 120 Hz. O cenário cinemático foi composto em sequência de três câmeras, em paralelo e numeradas de 1 a 6, mantendo a mesma posição em todas as coletas.

Após a calibração estática e dinâmica do sistema, marcadores reflexivos foram colocados para avaliação pelo mesmo examinador em todas as coletas. Os 16 marcadores foram distribuídos em: 1 e 2) ápice das cristas ilíacas (bilateralmente), 3 e 4) trocânter maior do fêmur (bilateralmente), 5 e 6) epicôndilo medial do fêmur (bilateralmente), 7 e 8) epicôndilo lateral do fêmur (bilateralmente), 9 e 10) maléolo medial (bilateralmente), 11 e 12) maléolo lateral (bilateralmente), 13 e 14) superior à cabeça do primeiro metatarso (bilateralmente) e 15 e 16) superiormente à cabeça do 5º metatarso (bilateralmente). Essa distribuição de marcadores foi necessária para determinar o alinhamento do quadril e joelho durante a tarefa funcional, para registrar as variações angulares durante os movimentos realizados.

Os participantes foram previamente familiarizados com o movimento de miniagachamento a 30º de flexão do joelho medido inicialmente pela goniometria. Com um comando verbal (“Prepare-se, vai ...”), os participantes familiarizaram com o movimento, e o realizou cinco vezes com os olhos abertos e cinco vezes com os olhos fechados.

O software *Visual3D* (Cmotion Inc. Rockville, EUA) foi utilizado para posterior processamento e geração das variáveis angulares de cada complexo articular. As

variáveis cinemáticas analisadas foram: abdução / adução do quadril, rotação lateral / medial do quadril, abdução / adução do joelho e rotação lateral / medial do joelho, considerando o ângulo específico de 30° de flexão joelho (ângulo alvo). Essas variáveis foram calculadas subtraindo-se os ângulos do quadril e joelho alcançados nessas condições daqueles registrados na posição anatômica com apoio bipodal na posição ortostática. Por convenção biomecânica, os valores positivos mostram excursões na adução do quadril e rotação medial e valores negativos representam excursões na abdução do joelho e rotação lateral.

A sequência Cardan XZY foi utilizada para obter os ângulos articulares, considerando o sistema de coordenadas do segmento distal em relação ao sistema de coordenadas do segmento proximal, onde o eixo X representa os movimentos no plano sagital (flexão / extensão), o eixo Z os movimentos no plano transversal (rotação medial / lateral) e movimentos do eixo Y no plano frontal (abdução / adução).<sup>25</sup>

## **Eletromiografia**

Uma avaliação eletromiográfica (EMG) dos músculos glúteo máximo e glúteo médio, vasto lateral e vasto medial, semitendíneo, bíceps femoral e gastrocnêmio medial foi realizada durante a contração isométrica voluntária máxima (CIVM), seguindo a tolerância à dor (escala visual analógica = 3) e durante a tarefa de miniagachamento bipodal em diferentes demandas (com olhos abertos e fechados). Os dados EMG foram obtidos usando um sistema de aquisição *Trigno 8 Channel Wireless* (Delsys, Inc. Natick, MA, EUA). O modo de aquisição do sinal foi calibrado em uma frequência de 1000 Hz, com o ganho de 1000 vezes, com filtro de passa alta de 20 Hz, filtro de passa baixa de 500 Hz e filtro de 60 Hz presente no aparelho para impedir interferências da rede elétrica.

Os eletrodos foram aderidos superficialmente nos músculos dos membros operados e não operados seguindo as orientações do SENIAM. Antes da aplicação dos eletrodos, as áreas correspondentes foram limpas com álcool e tricotomizadas para remover qualquer cabelo ou detritos.<sup>26</sup> O mesmo modelo foi usado em relação ao posicionamento dos eletrodos em pré e pós-operatório, orientando a segunda e a terceira avaliação, por meio de estudo prévio de confiabilidade.

Os dados de CIVM foram coletados durante o teste de força muscular manual no qual a posição articular foi padronizada, conforme segue: glúteo médio (20 ° de abdução do quadril em decúbito lateral) e glúteo máximo (5 ° de extensão do quadril em decúbito ventral com flexão de joelho a 90°)<sup>27</sup>, vasto lateral e vasto medial (60 ° de flexão do joelho na posição sentada)<sup>28</sup>, semitendíneo e bíceps femoral (45 ° de flexão do joelho em posição prona) e gastrocnêmio medial (posição neutra da articulação tíbio-tarsal em posição supina)<sup>29</sup>. Cinco sinais EMG para cada grupo muscular foram adquiridos durante o teste de CIVM para cada participante. Cada contração máxima foi realizada por 6 segundos, com intervalo de 2 minutos entre as contrações.

Ao final da avaliação EMG, todos os participantes foram submetidos a uma avaliação dinâmica e simultânea de todos os grupos musculares durante a realização de um miniagachamento bipodal. A partir desta posição, foram solicitados a realizar a tarefa de miniagachamento até atingirem 30 ° de flexão do joelho, com segurança, e retornarem à posição inicial, realizando todo o movimento durante o período de 6 segundos, Cinco aquisições EMG foram registradas com os participantes realizando a tarefa na condição de olhos abertos e 5 aquisições adicionais de EMG foram registradas com os participantes realizando a tarefa na condição de olhos fechados. O mesmo protocolo de avaliação foi aplicado a todos os participantes, com o objetivo

de avaliar as condições e desempenho neuromuscular.

### **Avaliação subjetiva da funcionalidade**

A avaliação subjetiva de *Lysholm*<sup>30</sup> foi utilizada para caracterizarmos funcionalmente a amostra. Essa escala é amplamente utilizada para avaliação específica de sintomas e função do joelho e foi validada para a língua portuguesa.<sup>31</sup> Ela foi utilizada em dois momentos distintos, durante a avaliação pré operatória e durante a avaliação pós operatória de três meses.

### **Equilíbrio Postural**

Para coleta e processamento dos dados de equilíbrio, foi utilizada a baropodômetro *FootWork* (IST Informatique, França) para verificar o deslocamento do centro de pressão (COP) e a distribuição de massa durante o miniagachamento, simultaneamente à avaliação cinemática e eletromiográfica. Esta avaliação consiste em medir a distribuição da carga e os deslocamentos do COP durante a posição ortostática ou em movimento sobre uma plataforma. Também foram coletadas as medidas da distribuição de massa sob cada membro inferior. Os valores obtidos para cada membro em porcentagem total foram registrados como valores de descarga de peso para o membro lesado e o membro saudável. Com os participantes inicialmente posicionados na plataforma de baropodometria, mantendo uma distância de base de 10 cm entre a linha média de cada calcâneo e os membros superiores ao longo do corpo, os participantes fixaram o olhar no nível dos olhos, a dois metros de distância deles. Os dados foram adquiridos em uma frequência de aquisição de 100 Hz e analisados usando *FootWork Pro v. 3.2.2.0* - (IST Informatique, França).

## **Estatística**

Para análise estatística dos dados, foi utilizado o software estatístico JAMOV (Sidney, Austrália, 2021), versão 1.8. Inicialmente os dados foram analisados por meio de métodos estatísticos descritivos, sendo obtidos valores de média e desvio-padrão. Em seguida, todos os conjuntos de dados foram testados quanto a sua distribuição (normalidade), por meio dos testes de *Shapiro-Wilk*. Nos casos em que as variáveis apresentaram distribuição normal, utilizou-se ANOVA para medidas repetidas, com medidas relativas ao fator tempo (PRÉ, PÓS 15 DIAS e PÓS 3 MESES), seguido pelo teste post hoc de Bonferroni. Nos casos em que as variáveis não apresentaram distribuição normal, foi utilizado o teste de Friedman seguido pelo post hoc de Durbin Conover de comparação por pares, para verificar diferenças entre os diversos tempos em um mesmo grupo. Foi considerado para todas as análises um nível de significância de 5%.

## **RESULTADOS**

### **Cinemática**

Os resultados cinemáticos do presente estudo demonstram que houve uma diminuição da abdução do joelho operado ( $p=0,028$ ) durante a tarefa com os olhos abertos, entre a avaliação pré operatória e pós operatória com 15 dias e com 3 meses. Também demonstra que houve uma menor abdução do joelho saudável ( $p=0,020$ ) ( $p=0,018$ ) durante a tarefa com os olhos abertos entre a avaliação pré operatória, com 15 dias e com 3 meses e com os olhos fechados entre as avaliações com 15 dias de pós operatório e com 3 meses. (Tabela 01)



**Tabela 01** - Avaliação da cinemática do quadril e joelho do grupo submetido à reconstrução do LCA com tendões flexores (n = 28), antes e após 15 dias e 3 meses da reconstrução cirúrgica, durante o miniagachamento bipodal no ângulo alvo de joelho(30°flexão).

VARIÁVEL	OLHOS	PRÉ-	PÓS-15	PÓS-3	p-valor
ADQL	OA	-1,18(2,54)	-1,05(2,10)	-0,97(1,68)	0,165
	OF	-1,07(2,25)	-1,19(2,06)	-0,38(1,45)	0,334
RMQL	OA	-2,38(5,16)	-1,99(3,98)	-1,74(4,40)	0,790
	OF	-2,38(5,27)	-0,70(4,50)	-0,96(4,78)	0,461
ABJL	OA	-0,78(2,97) <sup>a</sup>	0,79(2,09) <sup>b</sup>	0,11(1,06)	0,028*
	OF	-0,58(2,39)	0,83(2,16)	0,49(1,19)	0,155
RLJL	OA	-0,31(3,41)	-0,62(2,83)	0,88(2,28)	0,247
	OF	-0,23(3,19)	-0,33(2,92)	1,03(2,45)	0,420
ADQS	OA	-2,13(1,51)	-1,42(2,46)	-0,38(2,46)	0,127
	OF	-2,01(1,70)	-1,19(2,04)	-0,48(2,13)	0,549
RMQS	OA	-1,81(4,86)	-2,02(4,06)	-0,65(3,92)	0,627
	OF	-1,45(4,68)	-2,11(3,52)	-0,15(4,08)	0,546
ABJS	OA	-0,90(3,06)	-0,74(2,21) <sup>a</sup>	1,25(1,68) <sup>b</sup>	0,020*
	OF	0,12(2,05)	-0,83(2,64) <sup>a</sup>	0,81(1,43) <sup>b</sup>	0,018*
RLJS	OA	-0,55(1,83)	-0,98(2,15)	0,49(1,45)	0,114
	OF	-1,30(2,67)	-1,08(3,29)	0,67(2,04)	0,214

Legenda: ADQL - excursão em adução do quadril do membro inferior lesado; RMQL - excursão em rotação medial do quadril do membro inferior lesado; ABJL - excursão na abdução do joelho do membro inferior lesado; RLJL - excursão em rotação lateral do joelho do membro inferior lesado; ADQS - excursão em adução do quadril do membro inferior saudável; RMQS - excursão em rotação medial do quadril do membro inferior saudável; ABJS - excursão em abdução do joelho do membro inferior saudável; RLJS - excursão em rotação lateral do joelho do membro inferior saudável; Adução (+); Abdução (-); Rotação medial (+); Rotação lateral (-); OA - Olhos abertos; OF - olhos fechados. \* Indica diferença significativa entre os valores. <sup>a</sup> diferente estatisticamente de <sup>b</sup>.

## Eletromiografia

Os resultados eletromiográficos do presente estudo demonstraram que no membro lesado houve um aumento significativo no recrutamento neuromuscular entre a avaliação pré operatória e a avaliação pós operatória de 3 meses do Glúteo máximo (p=0,04), Vasto medial (p=0,04), Vasto Lateral (p=0,05), Semitendinoso (p <,001). E

no membro contralateral, houve um aumento significativo no recrutamento neuromuscular do Glúteo máximo ( $p=0,023$ ) entre o momento pré operatório e a avaliação pós operatória de 3 meses do músculo Glúteo médio ( $p=0,004$ ) na tarefa com os olhos fechados entre o momento pós operatório com 15 dias e 3 meses. Houve uma diminuição da ativação neuromuscular do Glúteo médio ( $p=0,037$ ) na tarefa com os olhos abertos entre o momento pós operatório com 15 dias e 3 meses. (Tabela 02)

**Tabela 02** - Avaliação EMG normalizada pela média da maior CIVM dos músculos dos membros inferiores de pacientes submetidos à reconstrução do LCA com tendões flexores ST / G ( $n = 28$ ), antes e após 15 dias e 3 meses da cirurgia de reconstrução, durante miniagachamento.

MEMBRO	MÚSCULO	OLHOS	PRÉ-	PÓS-15	PÓS-3	p-valor
Lesado	GMAX	OA	25,3(17,4) <sup>a</sup>	26,4(17,1)	27,1(19,4) <sup>b</sup>	0,046*
		OF	24,7(17,2)	25,1(16,7)	26,2(18,7)	0,062
	GMED	OA	27,2(13,6)	26,8(13,4)	26,6(11,4)	0,133
		OF	27,3(13,6)	26,3(13,5)	25,6(11,7)	0,056
	VM	OA	43,1(24,8) <sup>a</sup>	18,1(12,2) <sup>b</sup>	45,4(25,3) <sup>a</sup>	0,004*
		OF	40,5(24,5) <sup>a</sup>	20,0(12,2) <sup>b</sup>	37,6(14,7) <sup>a</sup>	0,042*
	VL	OA	36,3(17,7)	22,6(17,2) <sup>a</sup>	39,8(15,8) <sup>b</sup>	0,050*
		OF	33,5(16,1)	23,5(15,6) <sup>a</sup>	40,2(15,1) <sup>b</sup>	0,029*
	ST	OA	14,0(5,96) <sup>a</sup>	11,8(5,12) <sup>a</sup>	22,5(6,97) <sup>b</sup>	<,001*
		OF	10,7(6,25) <sup>a</sup>	13,4(6,44) <sup>a</sup>	22,3(6,15) <sup>b</sup>	<,001*
	BF	OA	12,1(6,74)	10,4(6,38)	10,3(4,52)	0,063
		OF	11,7(6,09)	10,2(6,26)	10,6(4,8)	0,097
	G	OA	14,5(6,35)	11,4(6,27)	14,3(6,10)	0,096
		OF	15,3(7,16)	12,1(5,63)	17,2(10,0)	0,103
Saudável	GMAX	OA	24,3(16,9) <sup>a</sup>	22,2(18,0) <sup>a</sup>	29,2(19,9) <sup>b</sup>	0,023*
		OF	23,9(16,3)	20,1(12,5) <sup>a</sup>	27,5(16,5) <sup>b</sup>	0,003*
	GMED	OA	24,9(12,7)	30,4(15,4) <sup>a</sup>	23,9(10,4) <sup>b</sup>	0,037*
		OF	24,4(12,3) <sup>a</sup>	28,7(14,1) <sup>b</sup>	24,4(10,3) <sup>a</sup>	0,004*
	VM	OA	38,6(23,8)	38,5(26,4)	46,7(29,0)	0,779
		OF	38,6(23,2)	36,8(24,0)	36,7(14,1)	0,913
	VL	OA	33,5(18,3)	35,3(18,8)	40,9(20,8)	0,882
		OF	34,8(18,5)	33,3(17,4)	37,0(24,6)	0,801
	ST	OA	17,9(14,0)	19,4(16,3)	13,3(9,10)	0,223
		OF	16,2(10,5)	18,8(13,6)	11,6(6,23)	0,338
	BF	OA	11,5(8,87)	13,3(9,84)	10,3(6,28)	0,257
		OF	10,0(5,91)	12,5(9,40)	10,7(6,14)	0,441
	G	OA	19,3(13,0)	16,3(10,4)	17,5(9,65)	0,807
		OF	19,2(14,4)	13,7(7,47)	19,0(10,0)	0,368

GMAX = m. glúteo máximo; GMED = m. glúteo médio; VM = m. vasto medial; VL = m. vasto lateral; ST = m.

semitendinoso; BF= m. bíceps femoral; G= m. gastrocnêmio medial. \* Indica diferença significativa entre os valores. <sup>a</sup> diferente estatisticamente de <sup>b</sup>.

## Estabilometria

Os resultados do presente estudo demonstraram que houve um aumento significativo da área de deslocamento do membro inferior lesado na avaliação pós operatória de quinze dias e três meses em relação a avaliação pré operatória ( $p=0,003$ ). E os resultados de distribuição de massa do presente estudo demonstraram que houve uma diminuição significativa da distribuição de massa do membro lesado na avaliação pós operatória com 15 dias e um aumento significativo na avaliação pós operatória de três meses e do membro saudável houve um aumento significativo durante a avaliação pós operatória com quinze dias e uma diminuição significativa na avaliação de três meses ( $p=0,001$ ). (Tabela 03)

**Tabela 03** - Avaliação estabilométrica da área de deslocamento do centro de pressão e distribuição de massa (em %) antes, após 15 dias e 3 meses a reconstrução do LCA com tendões flexores ( $n = 28$ ), durante o miniagachamento bipodal com olhos abertos e olhos fechados.

		Estabilometria				
MEMBRO	VARIÁVEL	OLHOS	PRÉ-	PÓS-15	PÓS-3	p-valor
Lesado	Área de deslocamento (cm <sup>2</sup> )	OA	3,31(1,74) <sup>a</sup>	13,8(10,1) <sup>b</sup>	10,4(6,98) <sup>b</sup>	0,003*
		OF	13,3(7,20)	12,2(7,97)	8,83(5,05)	0,271
Saudável	Área de deslocamento (cm <sup>2</sup> )	OA	9,59(8,81)	11,7(7,22)	9,36(6,64)	0,835
		OF	14,1(9,41)	12,1(7,00)	8,33(5,15)	0,073
		Distribuição de massa				
MEMBRO		OLHOS	PRÉ-	PÓS-15	PÓS-3	p-valor
Lesado		OA	48,6(4,67) <sup>a</sup>	38(11,6) <sup>b</sup>	46,8(5,38) <sup>a</sup>	0,001*
		OF	48,7(5,74) <sup>a</sup>	38,1(11,3) <sup>b</sup>	46,5(4,13) <sup>a</sup>	0,001*
Saudável		OA	51,4(4,68) <sup>a</sup>	62(11,6) <sup>b</sup>	53,2(5,38) <sup>a</sup>	0,001*
		OF	51,3(5,71) <sup>a</sup>	61,9(11,3) <sup>b</sup>	53,5(4,13) <sup>a</sup>	0,001*

Legenda: Olhos abertos OA; OF- Olhos fechados. \* Indica diferença significativa entre os valores. <sup>a</sup> diferente estatisticamente de <sup>b</sup>.

## Avaliação Funcional Subjetiva

O resultado do presente estudo referente a avaliação funcional subjetiva por meio do questionário Lysholm Knee Scoring Scale demonstrou um aumento significativo ( $p=0,0001$ ) entre a avaliação pré operatória e a avaliação pós operatória com 3 meses. (Tabela 04)

**Tabela 04** - Avaliação funcional subjetiva por meio do questionário específico para sintomas do joelho "Lysholm Knee Scoring Scale" antes e após 3 meses a reconstrução do LCA com tendões flexores ( $n = 28$ ).

VARIÁVEL	PRÉ OPERATÓRIO	PÓS OPERATÓRIO 3 MESES	%	p-valor	ES(d)
Lysholm	76,2 (18,6)	95,0 (4,4)	25%	0,0001*	1,11

Legenda: \* Indica diferença estatística entre os valores. 91 a 100 pontos excelente; 84 a 90, boa; 65 a 83, regular; e 64 ou menos, insatisfatória.

## DISCUSSÃO

O presente estudo demonstra que houve uma diminuição da abdução do joelho lesado e também do joelho saudável entre as avaliações pré e pós operatórias. A abdução de joelho, juntamente com a rotação lateral de joelho e com a adução e rotação medial de quadril, pode levar a um padrão de movimento incorreto conhecido como valgo dinâmico de joelho, que é reconhecido como fator de risco para lesões de membros inferiores e especificamente do LCA.<sup>32,33</sup> Portanto, as alterações encontradas no presente estudo foram benéficas em se tratando de prevenção de lesão do LCA e também de uma re-ruptura do enxerto, visto que a diminuição da abdução de joelho pode diminuir as forças de tração exercidas sobre os ligamentos e no estresse articular do joelho.<sup>7</sup>

Alterações biomecânicas ao longo da reabilitação do LCA podem estar associadas a degeneração da cartilagem articular do joelho<sup>34</sup> e desfechos não satisfatório, neste sentido, avaliações biomecânicas precoces e o acompanhamento durante a reabilitação pode ser útil na identificação de padrões de movimento potencialmente deletérios, mas modificáveis,<sup>35</sup> onde alterações nos ângulos articulares dos membros inferiores podem fornecer informações importantes sobre a

fonte de resultados ruins de curto e longo prazo após reconstrução do LCA.<sup>36,37</sup>

A eletromiografia de superfície foi usada para medir a atividade neuromuscular dos músculos glúteo máximo e médio, vasto medial e lateral, semitendinoso, bíceps da coxa e gastrocnêmio porção medial. Muitos indivíduos experimentam déficits persistentes na função neuromuscular dos membros inferiores após a reconstrução do LCA.<sup>6,38</sup> Os isquiotibiais funcionam como estabilizadores dinâmicos mediais de joelho,<sup>39</sup> e, com a retirada os enxertos de ST/G, enfraquecendo os agonistas do LCA,<sup>40</sup> sugere-se que a estabilização medial é prejudicada, gerando uma instabilidade ou o valgo dinâmico e podendo aumentar o risco de uma nova lesão.

Derrame articular persistente e dano aos tecidos moles na articulação do joelho podem levar a reduções na ativação muscular e fraqueza muscular de quadríceps.<sup>41</sup> Alterações na atividade neuromuscular do musculo vasto medial e vasto lateral, foram encontradas no presente estudo, com menores valores no momento pós operatório com 15 dias e com maiores valores no momento pós operatório com três meses, entretanto, tais alterações neuromusculares também foram encontradas nos músculos que atuam no quadril. É importante destacar que alterações de força e de ativação muscular dos músculos que atuam no quadril podem estar relacionadas ao aumento do valgo dinâmico de joelho,<sup>42</sup> onde estudos sugerem que controle neuromuscular do quadril modula a cinemática dos membros inferiores, no plano frontal.<sup>43,44</sup> Neste sentido, abordar os músculos que atuam no joelho mas também os músculos que atuam no quadril, com treino de força e controle neuromuscular, durante o processo de reabilitação, é de suma importância.

O risco de uma nova lesão e osteoartrite de joelho precocemente é maior em indivíduos que foram submetidos a reconstrução do LCA em comparação com indivíduos não lesionados.<sup>45</sup> Neste sentido, identificar alterações biomecânicas de

membros inferiores, potencialmente de risco, de modo precocemente, é importante para a boa evolução ao longo da reabilitação. Após a reconstrução e reabilitação do LCA, os sistemas proprioceptivos são restaurados, podendo assumir níveis acima dos encontrados no momento pré operatório.<sup>46</sup> Segundo os estudos de Bartels (2019) e Gokalp (2016),<sup>47,48</sup> houve uma queda no desempenho de equilíbrio após 4 semanas de cirurgia, melhorando os valores após 12 semanas.

O presente estudou, identificou alterações da área de deslocamento do membro operado, com maior valor, no momento pós operatório com 15 dias em relação ao momento pré operatório, e na avaliação de 3 meses, houve uma diminuição do valor. Neste sentido, destacamos a importância da reabilitação pós-operatória adequada na restauração da função proprioceptiva e do equilíbrio de membros inferiores. Também se destaca a importância da melhora da ativação muscular no presente estudo, influenciando de forma benéfica do controle dos membros inferiores durante a tarefa proposta, apontando para melhores valores de alterações do movimento articular de joelho, equilíbrio e descarga de peso, entre as avaliações pós operatórias.<sup>49</sup>

Conforme esperado, os participantes do nosso estudo apresentaram uma diminuição da descarga de peso no membro operado na avaliação pós operatória com 15 dias e um aumento da descarga do peso do lado operado ao longo do processo de reabilitação. Com o aumento da descarga de peso do membro operado, também foi observado um aumento na ativação dos músculos analisados do mesmo membro ao longo do processo de reabilitação. Neste sentido, interpreta-se que com o aumento da demanda sobre o membro operado, aumenta-se a demanda do controle neuromuscular do membro operado, com o objetivo de estabilizar a articulação do joelho, protegendo o enxerto.

O Lysholm Knee Score (LKS) é amplamente utilizado e é um dos questionários mais eficazes para avaliar lesões no joelho.<sup>31</sup> Os resultados encontrados no presente estudo, com melhores valores no momento pós operatório 3 meses em relação a avaliação pré operatória podem ser justificados, tendo em vista que houve uma melhora no padrão de movimento do joelho, um aumento do padrão de ativação muscular, equilíbrio e descarga de peso no membro operado.

## **CONCLUSÃO**

Os resultados deste estudo indicam que após a lesão do LCA seguido pela reconstrução cirúrgica houve uma diminuição da abdução do joelho operado e saudável, um aumento no recrutamento neuromuscular entre a avaliação pré operatória e a avaliação pós operatória de 3 meses nos músculos avaliados do membro operado e do membro saudável, um aumento da área de deslocamento do membro inferior operado, uma diminuição da distribuição de massa do membro lesado e um aumento do membro saudável com 15 dias de pós operatório e com 3 meses acontece o processo inverso, um aumento da distribuição de massa do membro lesado e uma diminuição do membro saudável e uma melhora na avaliação funcional subjetiva. E ao longo do processo de reabilitação, foi demonstrado uma melhora no padrão de movimento, melhora na ativação muscular, melhora do equilíbrio, menor distribuição de peso no membro operado e uma melhora na função subjetiva e sintomatologia do joelho.

## **REFERÊNCIAS**

1. GRIFFIN, L. Y. et al. Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: Risk Factors and Prevention Strategies. **The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons**, v. 8, n. 3, p. 141–150, jun. 2000.
2. UHORCHAK, J. M. et al. Risk Factors Associated with Noncontact Injury of the Anterior Cruciate Ligament: A Prospective Four-Year Evaluation of 859 West Point Cadets. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 6, p. 831–842, dez. 2003.
3. SWÄRD, P.; KOSTOGIANNIS, I.; ROOS, H. Risk Factors for a Contralateral Anterior Cruciate Ligament Injury. **Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA**, v. 18, n. 3, p. 277–291, mar. 2010.
4. BONFIM, T. R.; JANSEN PACCOLA, C. A.; BARELA, J. A. Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 84, n. 8, p. 1217–1223, ago. 2003.
5. GARDINIER, E. S. et al. Gait and Neuromuscular Asymmetries after Acute Anterior Cruciate Ligament Rupture. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, n. 8, p. 1490–1496, ago. 2012.
6. KUENZE, C. M. et al. Persistent Neuromuscular and Corticomotor Quadriceps Asymmetry After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Journal of Athletic Training**, v. 50, n. 3, p. 303–312, mar. 2015.
7. MARKOLF, K. L. et al. Combined Knee Loading States That Generate High Anterior Cruciate Ligament Forces. **Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society**, v. 13, n. 6, p. 930–935, nov. 1995.
8. ORTIZ, A.; CAPO-LUGO, C. E.; VENEGAS-RIOS, H. L. Biomechanical Deficiencies in Women with Semitendinosus-Gracilis Anterior Cruciate Ligament Reconstruction during Drop Jumps. **PM & R: the journal of injury, function, and rehabilitation**, v. 6, n. 12, p. 1097–1106, dez. 2014.
9. SHABANI, B. et al. Gait Knee Kinematics after ACL Reconstruction: 3D Assessment. **International Orthopaedics**, v. 39, n. 6, p. 1187–1193, jun. 2015.
10. KUMAR, D. et al. Frontal Plane Knee Mechanics and Medial Cartilage MR Relaxation Times in Individuals with ACL Reconstruction: A Pilot Study. **The Knee**, v. 21, n. 5, p. 881–885, out. 2014.
11. KHAYAMBASHI, K. et al. Hip Muscle Strength Predicts Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Male and Female Athletes: A Prospective Study. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 44, n. 2, p. 355–361, fev. 2016.
12. BITTENCOURT, N. F. N. et al. Foot and Hip Contributions to High Frontal Plane Knee Projection Angle in Athletes: A Classification and Regression Tree



- Approach. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 42, n. 12, p. 996–1004, dez. 2012.
13. FREMEREY, R. W. et al. Proprioception after Rehabilitation and Reconstruction in Knees with Deficiency of the Anterior Cruciate Ligament: A Prospective, Longitudinal Study. **The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume**, v. 82, n. 6, p. 801–806, ago. 2000.
  14. FULTON, J. et al. Injury Risk Is Altered by Previous Injury: A Systematic Review of the Literature and Presentation of Causative Neuromuscular Factors. **International Journal of Sports Physical Therapy**, v. 9, n. 5, p. 583–595, out. 2014.
  15. AKBARI, A. et al. The Effects of Balance Training on Static and Dynamic Postural Stability Indices After Acute ACL Reconstruction. **Global Journal of Health Science**, v. 8, n. 4, p. 68–81, 31 jul. 2015.
  16. BRUKNER, P. D., & KHAN, K. . *Clinical Sports Medicine* (2nd ed). New York: McGraw Hill. 2001.
  17. COOPER, R. L.; TAYLOR, N. F.; FELLER, J. A. A Randomised Controlled Trial of Proprioceptive and Balance Training after Surgical Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. **Research in Sports Medicine (Print)**, v. 13, n. 3, p. 217–230, set. 2005.
  18. AMANO, K. et al. Persistent Biomechanical Alterations After ACL Reconstruction Are Associated With Early Cartilage Matrix Changes Detected by Quantitative MR. **Orthopaedic Journal of Sports Medicine**, v. 4, n. 4, p. 2325967116644421, abr. 2016.
  19. VAN MEER, B. L. et al. Degenerative Changes in the Knee 2 Years After Anterior Cruciate Ligament Rupture and Related Risk Factors: A Prospective Observational Follow-up Study. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 44, n. 6, p. 1524–1533, jun. 2016.
  20. WRIGHT, R. W. et al. Ipsilateral Graft and Contralateral ACL Rupture at Five Years or More Following ACL Reconstruction: A Systematic Review. **The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume**, v. 93, n. 12, p. 1159–1165, 15 jun. 2011.
  21. WIGGINS, A. J. et al. Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 44, n. 7, p. 1861–1876, jul. 2016.
  22. BLACKBURN JT, MYNARK RG, PADUA DA et al Influences of experimental factors on spinal stretch reflex latency and amplitude in the human triceps surae. **J Electromyogr Kinesiol.** 16(1): 42–50, 2006.
  23. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries.

- Clin Orthop Rel Res.** 198: 43–49, 1985.
24. CHAPPELL JD, YU B, KIRKENDALL DT et al. A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletes in stop-jump tasks. **Am J Sports Med.** 30(2): 261–267, 2002.
25. ANDRADE LM, BARROS RM. L. DE. Gait Analysis: Experimental Protocol based on Kinematic and Anthropometric Variables. 94f. Thesis (Master's degree) - Physical Education School, UNICAMP, Campinas. 2002.
26. CONTRERAS B, VIGOTSKY AD, SCHOENFELD BJ et al. A comparison of gluteus maximus, biceps femoris, and vastus lateralis electromyography amplitude for the barbell, band, and american hip thrust variations. **J Appl Biomech.** 32(3): 254-260, 2016.
27. BOLGLA LA, UHL TL. Reliability of electromyographic normalization methods for evaluating the hip musculature. **J Electromyog Kinesiol.** 17(1): 102–111, 2007.
28. ALBERTUS-KAJEE Y, TUCKER R, DERMAN W et al. Alternative methods of normalizing EMG during running. **J Electromyog Kinesiol.** 21(4): 579–586, 2011.
29. HSU WL, KRISHNAMOORTHY V, SCHOLZ JP An alternative test of electromyographic normalization in patients. **Muscle Nerve** 33(2): 232–241, 2006.
30. LYSHOLM J, GILQUIST J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring Scale. **Am J Sports Med.** 10(3):150-54, 1982.
31. PECCIN, M. S.; CICONELLI, R.; COHEN, M. Specific questionnaire for knee symptoms - the "Lysholm Knee Scoring Scale": translation and validation into Portuguese. **Acta Ortop Bras.** 14(5):268-72, 2006.
32. ALENTORN-GELI, E. et al. Prevention of Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injuries in Soccer Players. Part 1: Mechanisms of Injury and Underlying Risk Factors. **Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA**, v. 17, n. 7, p. 705–729, jul. 2009.
33. WILCZYŃSKI, B.; ZORENA, K.; ŚLĘZAK, D. Dynamic Knee Valgus in Single-Leg Movement Tasks. Potentially Modifiable Factors and Exercise Training Options. A Literature Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 21, p. E8208, 6 nov. 2020.
34. SHIMIZU, T. et al. Abnormal Biomechanics at 6 Months Are Associated With Cartilage Degeneration at 3 Years After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery: Official Publication of the Arthroscopy Association of North**

- America and the International Arthroscopy Association**, v. 35, n. 2, p. 511–520, fev. 2019.
35. HEWETT, T. E.; WEBSTER, K. E. Early Abnormal Biomechanics May Lead to Increased Risk of Osteoarthritis and Poorer Outcomes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery: Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association**, v. 35, n. 4, p. 1012–1013, abr. 2019.
  36. FU, R. Z.; LIN, D. D. Surgical and Biomechanical Perspectives on Osteoarthritis and the ACL Deficient Knee: A Critical Review of the Literature. **The Open Orthopaedics Journal**, v. 7, p. 292–300, 2013.
  37. ANDRIACCHI, T. P.; MÜNDERMANN, A. The Role of Ambulatory Mechanics in the Initiation and Progression of Knee Osteoarthritis. **Current Opinion in Rheumatology**, v. 18, n. 5, p. 514–518, set. 2006.
  38. OTZEL, D. M.; CHOW, J. W.; TILLMAN, M. D. Long-Term Deficits in Quadriceps Strength and Activation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine**, v. 16, n. 1, p. 22–28, fev. 2015.
  39. AGEBERG, E. et al. Knee Extension and Flexion Muscle Power after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Patellar Tendon Graft or Hamstring Tendons Graft: A Cross-Sectional Comparison 3 Years Post Surgery. **Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA**, v. 17, n. 2, p. 162–169, fev. 2009.
  40. HERBORT, M. et al. Should the Ipsilateral Hamstrings Be Used for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the Case of Medial Collateral Ligament Insufficiency? Biomechanical Investigation Regarding Dynamic Stabilization of the Medial Compartment by the Hamstring Muscles. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 45, n. 4, p. 819–825, mar. 2017.
  41. HOPKINS, J. T.; INGERSOLL, C. D. Arthroscopic Muscle inhibition: A Limiting Factor in Joint Rehabilitation. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 9, n. 2, p. 135–159, 1 maio 2000.
  42. HOLLMAN, J. H. et al. Relationships between Knee Valgus, Hip-Muscle Strength, and Hip-Muscle Recruitment during a Single-Limb Step-Down. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 18, n. 1, p. 104–117, fev. 2009.
  43. HOLLMAN, J. H. et al. Coupled Gluteus Maximus and Gluteus Medius Recruitment Patterns Modulate Hip Adduction Variability During Single-Limb Step-Downs: A Cross-Sectional Study. **Journal of Sport Rehabilitation**, v. 30, n. 4, p. 625–630, 20 nov. 2020.
  44. HOLLMAN, J. H. et al. Frontal and Transverse Plane Hip Kinematics and Gluteus Maximus Recruitment Correlate with Frontal Plane Knee Kinematics

- during Single-Leg Squat Tests in Women. **Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)**, v. 29, n. 4, p. 468–474, abr. 2014.
45. PATERNO, M.V., RAUH, M.J., SCHMITT, L.C., FORD, K.R., HEWETT, T.E. Incidence of contralateral and ipsilateral anterior cruciate ligament (ACL) injury after primary ACL reconstruction and return to sport. **Clin. J. Sport Med.** 22, 116–121, 2012.
46. TUĞCU, I., TOK, F., YILMAZ, B., TASKAYNATAN, M.A., GÖKTEPE, A.S., MÖHÜR, H., YAZICIOĞLU, K., ÖZGÜL, A. The gulhane anterior cruciate ligament rehabilitation protocol following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. **Turkish J. Phys. Med. Rehabil.** 59, 117–122, 2013.
47. BARTELS, T., BREHME, K., PYSCHIK, M., POLLAK, R., SCHAFFRATH, N., SCHULZE, S., DELANK, K.-S., LAUDNER, K., SCHWESIG, R. Postural stability and regulation before and after anterior cruciate ligament reconstruction – A two years longitudinal study. **Phys. Therapy Sport** 38, 49–58, 2019.
48. GOKALP, O., AKKAYA, S., AKKAYA, N., BUKER, N., GUNGOR, H.R., OK, N., YORUKOGLU, C. Preoperative and postoperative serial assessments of postural balance and fall risk in patients with arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. **J. Back Musculoskeletal Rehabil.** 29, 343–350, 2016.
49. TAGESSON, S.; OBERG, B.; KVIST, J. Tibial Translation and Muscle Activation during Rehabilitation Exercises 5 Weeks after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 20, n. 1, p. 154–164, fev. 2010.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os resultados deste estudo indicam que após a lesão do LCA e posteriormente reconstrução cirúrgica, são encontradas importantes alterações biomecânicas de membros inferiores, tanto na articulação do quadril quanto na articulação do joelho, no membro operado e no membro não operado. E ao longo do processo de reabilitação, foi demonstrado uma melhora no padrão de movimento, melhora na ativação muscular, melhora do equilíbrio, melhor distribuição de peso no membro operado e uma melhora na função subjetiva e sintomatologia do joelho.

## Apêndice I TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado (a) para participar, como voluntário, em uma pesquisa. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Desde logo fica garantido o sigilo das informações.

### INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

**Título do Projeto: COMPARAÇÃO DOS EFEITOS AGUDOS E TARDIOS DA CIRURGIA DE RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR COM TENDÃO PATELAR X TENDÃO FLEXOR NA ELETROMIOGRAFIA, CINEMÁTICA E FUNÇÃO DE MEMBROS INFERIORES.**

Pesquisador Responsável:

Telefone para contato (inclusive ligações a cobrar):

Pesquisadores participantes:

Telefones para contato:

O objetivo do presente estudo é analisar os efeitos agudos e tardios pós-cirúrgicos de cirurgia de reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior com enxerto de Tendão Patelar versus Tendão de flexores através da eletromiografia (sinal elétrico gerado no musculo ativo), cinemática (análise do movimento) e funcionalidade (testes funcionais) de membros inferiores. Serão realizadas seis avaliações: pré-cirurgia, pós-cirurgia com 15 dias e com 3 6 9 12 meses pós-cirurgia. Este experimento é totalmente não invasivo e oferece riscos mínimos à sua saúde. Caso ocorra dor muscular, fadiga (cansaço), desencadeie processo inflamatório ou mesmo reagudização da lesão, será oferecido tratamento fisioterapêutico para o controle da dor ou qualquer outra lesão estabelecida.

Nome e Assinatura do pesquisador:

- CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO

Eu, \_\_\_\_\_, abaixo assinado, concordo em participar do presente estudo, como sujeito. Fui devidamente informado e esclarecido pelo pesquisador \_\_\_\_\_ sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido o sigilo das informações e que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve à qualquer penalidade ou interrupção de meu acompanhamento/assistência/tratamento.

Local e data \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

**Assinatura do sujeito ou responsável:** \_\_\_\_\_

## Apêndice II

### AVALIAÇÃO FISIOTERAPÊUTICA MUSCULOESQUELÉTICA DE MEMBROS INFERIORES

#### IDENTIFICAÇÃO/DADOS PESSOAIS

---

Nome: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_  
 Data de Nascimento: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_  
 Estado Civil: \_\_\_\_\_  
 Profissão/Ocupação: \_\_\_\_\_  
 Endereço: \_\_\_\_\_ Nº: \_\_\_\_\_ Bairro: \_\_\_\_\_  
 Telefones de contato: \_\_\_\_\_

#### Avaliação de Força Muscular:

<u>MOVIMENTO</u>	Quadril D	Quadril E	Joelho D	Joelho E	Tornozelo D	Tornozelo E
FLEXÃO						
EXTENSÃO						
ABDUÇÃO			X	X	X	X
ADUÇÃO			X	X	X	X
ROTAÇÃO MEDIAL			X	X	X	X
ROTAÇÃO LATERAL			X	X	X	X

#### Avaliação de ADM:

<u>ARTICULAÇÃO</u>	<u>MOVIMENTO</u>	<u>ADM</u>	
		Direita	Esquerda
Quadril	FLEXÃO		
Quadril	EXTENSÃO		
Quadril	ADUÇÃO		
Quadril	ABDUÇÃO		
Quadril	ROTAÇÃO LATERAL		
Quadril	ROTAÇÃO MEDIAL		
Joelho	FLEXÃO		
Tornozelo	FLEXÃO PLANTAR		
Tornozelo	DORSIFLEXÃO		

#### Testes especiais:

<u>TESTES</u>	<u>RESULTADO</u>
Gaveta Anterior	
Lachman	
Apley de Compressão	
Estresse em Valgo	
Estresse em Varo	
Teste de Thomas	
Teste de Ely	

Lesão prévia: \_\_\_\_\_

Membro acometido: \_\_\_\_\_

Presença de Dor? Sim ( ) Não ( )

Peso: \_\_\_\_ Altura: \_\_\_\_ IMC: \_\_\_\_

## Anexo I – Parecer consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
ALFENAS



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Comparação dos efeitos agudos e tardios da cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior com tendão patelar X tendão flexor na eletromiografia, cinemática e função de membros inferiores.

**Pesquisador:** Daniel Ferreira Moreira Lobato

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 53086516.4.0000.5142

**Instituição Proponente:** UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - UNIFAL-MG

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 1.566.422

#### Apresentação do Projeto:

O Projeto visa analisar os efeitos agudos e tardios pós-cirúrgicos de cirurgia de reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior com enxerto de Tendão Patelar versus Tendão de Flexores através da eletromiografia, cinemática e funcionalidade de membros inferiores. O estudo será realizado no Laboratório de Biomecânica e Marcha da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) – Unidade II - Santa Clara, na cidade de Alfenas-MG. Sessenta indivíduos de ambos os gêneros, indivíduos esses encaminhados ao setor de Fisioterapia da Universidade Federal de Alfenas, pelo médico responsável pelas cirurgias realizadas nos mesmos. A amostragem selecionada será dividida em dois grupos, de acordo com cada técnica cirúrgica a que foram submetidos: 1) Pacientes submetidos à cirurgia de reconstrução de LCA com enxerto de tendão patelar (n=30); 2) Pacientes submetidos à cirurgia de reconstrução de LCA com enxerto de tendão de flexores de joelho (n=30). Posteriormente a uma entrevista e avaliação física para verificação de critérios de inclusão e exclusão, o indivíduo realizará uma avaliação simultânea da cinemática dos membros inferiores, avaliação eletromiográfica do grupo muscular específico e pré-determinado e avaliação baropodométrica. A avaliação acontecerá em seis momentos distintos: uma avaliação pré-cirúrgica, outra com 15 dias pós-cirurgia de reconstrução

**Endereço:** Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700

**Bairro:** centro

**CEP:** 37.130-000

**UF:** MG

**Município:** ALFENAS

**Telefone:** (35)3299-1318

**Fax:** (35)3299-1318

**E-mail:** comite.etica@unifal-mg.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
ALFENAS



Continuação do Parecer: 1.586.422

de Ligamento Cruzado Anterior e outras 4 avaliações no 3º, 6º, 9º e 12º meses decorridos da cirurgia de reconstrução do LCA, inserindo os testes funcionais a partir do 6º mês. Todas as pessoas serão atendidas durante um ano na Clínica Escola de Fisioterapia da UNIFAL-MG, por meio de protocolos específicos para reabilitação das lesões do LCA. Testes estatísticos adequados serão selecionados para as comparações de interesse, considerando um nível de significância mínimo de 5%.

**Objetivo da Pesquisa:**

Analisar os efeitos agudos e tardios pós-cirúrgicos de cirurgia de reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior com enxerto de Tendão Patelar versus Tendão de flexores através da eletromiografia, cinemática e funcionalidade de membros inferiores.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

**Riscos:** Após a realização das avaliações e sessões de intervenção, há risco de dor articular e muscular leve, comum a qualquer início de atividade física. Para tal efeito, os pesquisadores assumirão o compromisso de realizar a abordagem fisioterapêutica adequada para minimizar essas possíveis condições. **Benefícios:** Diretamente, os participantes do estudo serão submetidos a uma avaliação que determinará quais as repercussões sofridas pela cirurgia de reconstrução do LCA, o que fornecerá informações para o clínico elaborar o melhor protocolo de reabilitação para o caso em questão. Além disso, participarão de um programa de treinamento/condicionamento físico, o qual pode ser responsável em reduzir fatores de risco para lesões no membro inferior. Indiretamente, contribuirão para o desenvolvimento de estratégias de intervenção mais eficientes em Fisioterapia, beneficiando o treinamento/tratamento de pessoas envolvidas com o esporte.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Metodologia adequada e atualizada, cronograma de execução coerente com a proposta.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

- a. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) – Presente e Adequado
- b. Termo de Assentimento (TA) – Não se aplica
- c. Termo de Assentimento Esclarecido (TAE) – Não se aplica
- d. Termo de Compromisso para Utilização de Dados e Prontuários (TCUD) – Não se aplica
- e. Termo de Anuência Institucional (TAI) – Presente e Adequado

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700  
 Bairro: centro CEP: 37.130-000  
 UF: MG Município: ALFENAS  
 Telefone: (35)3299-1318 Fax: (35)3299-1318 E-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
ALFENAS**



Continuação do Parecer: 1.566.422

- f. Folha de rosto - Presente e Adequado
- g. Projeto de pesquisa completo e detalhado - Presente e Adequado
- h. Outro (especificar) – Não se aplica

**Recomendações:**

Não há

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Recomendação de aprovação do Projeto.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

O colegiado do CEP acata o parecer do relator.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_547748.pdf	01/05/2016 07:42:30		Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto_assinada2.pdf	01/05/2016 07:41:28	Daniel Ferreira Moreira Lobato	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA.pdf	01/05/2016 07:34:49	Daniel Ferreira Moreira Lobato	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Tcle2.pdf	01/05/2016 07:32:58	Daniel Ferreira Moreira Lobato	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_CEP_Final3.pdf	01/05/2016 07:31:53	Daniel Ferreira Moreira Lobato	Aceito
Outros	Anuencia_EE.pdf	04/02/2016 16:57:37	Daniel Ferreira Moreira Lobato	Aceito
Outros	Anuencia_Clinica.pdf	04/02/2016 16:57:07	Daniel Ferreira Moreira Lobato	Aceito
Orçamento	ORCAMENTO.pdf	04/02/2016 16:55:23	Daniel Ferreira Moreira Lobato	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700

Bairro: centro

CEP: 37.130-000

UF: MG

Município: ALFENAS

Telefone: (35)3299-1318

Fax: (35)3299-1318

E-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
ALFENAS



Continuação do Parecer: 1.566.422

ALFENAS, 30 de Maio de 2016

---

**Assinado por:**  
**Marcela Fillé Haddad**  
**(Coordenador)**

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700

Bairro: centro

CEP: 37.130-000

UF: MG

Município: ALFENAS

Telefone: (35)3299-1318

Fax: (35)3299-1318

E-mail: [comite.etica@unifal-mg.edu.br](mailto:comite.etica@unifal-mg.edu.br)

**Anexo II**  
**QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE LYSHOLM**

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

Data da cirurgia: \_\_\_\_\_ Data da avaliação: \_\_\_\_\_

( ) Aval. inicial      ( ) 3º mês      ( ) 6º mês      ( ) 9º mês      ( ) 12º mês

ASSINALE A ALTERNATIVA QUE MELHOR REPRESENTA OS SINAIS E/OU  
SINTOMAS PRESENTES EM SEU JOELHO NO MOMENTO ATUAL

MANCAR (CLAUDICAR)	
Nunca	5
Leve ou periodicamente	3
Intenso e constantemente	0

APOIO	
Nenhum	5
Bengala ou muleta	2
Impossível	0

TRAVAMENTO (BLOQUEIO)	
Nenhum travamento ou sensação de travamento	15
Tem a sensação, mas sem travamento	10
Travamento ocasional	6
Freqüente	2
Articulação (junta) travada no exame	0

INSTABILIDADE	
Nunca falseia	25
Raramente, durante atividades atléticas ou outros exercícios pesados	20
Freqüentemente durante atividades atléticas ou outros exercícios pesados (ou incapaz de participação)	15
Ocasionalmente em atividades diárias	10
Freqüentemente em atividades diárias	5
Em cada passo	0
<b>DOR</b>	

Nenhuma	25
Inconstante ou leve durante exercícios pesados	20
Marcada durante exercícios pesados	15
Marcada durante ou após caminhar mais do que 2 km	10
Marcada durante ou após caminhar menos do que 2 km	5
Constante	0

<b>INCHAÇO</b>	
Nenhum	10
Com exercícios pesados	6
Com exercícios comuns	2
Constante	0

<b>SUBINDO ESCADAS</b>	
Nenhum problema	10
Levemente prejudicado	6
Um degrau de cada vez	2
Impossível	0

<b>AGACHAMENTO</b>	
Nenhum problema	5
Levemente prejudicado	4
Não além de 90 graus	2
Impossível	0

PONTUAÇÃO TOTAL =

<b>QUADRO DE PONTUAÇÃO</b>		
91-100 pontos	EXCELENTE	( )
82-90 pontos	BOM	( )
60-81 pontos	RAZOÁVEL	( )
< 60 pontos	RUIM	( )