

Estado da publicação: Não informado pelo autor submissor

AVALIAÇÃO DO VOLUME E FORÇA DO MÚSCULO QUADRÍCEPS ANTES E APÓS OPERAÇÃO DE RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

André Luis Menezes Schwanssee Thiele, Edilson Schwanssee Thiele , Luis Fernando Menezes Schwanssee Thiele , Fernando Issamu Tabushi , Paulo Afonso Nunes Nassif , Luiz Martins Collaço, Jose Fernando Polanski , Jurandir Marcondes Ribas Filho

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.8471>

Submetido em: 2024-04-17

Postado em: 2024-04-17 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

A moderação deste preprint recebeu o endosso de:

Oswaldo Malafaia (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1829-7071>)

AVALIAÇÃO DO VOLUME E FORÇA DO MÚSCULO QUADRÍCEPS ANTES E APÓS OPERAÇÃO DE RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

EVALUATION OF VOLUME AND STRENGTH OF THE QUADRICEPS MUSCLE BEFORE AND AFTER ANTERIOR CRUCIATED LIGAMENT RECONSTRUCTION SURGERY

André Luis Menezes Schwannsee Thiele¹, Edilson Schwannsee Thiele², Luis Fernando Menezes Schwannsee Thiele¹, Fernando Issamu Tabushi¹, Paulo Afonso Nunes Nassif, Luiz Martins Collaço¹, Jose Fernando Polanski¹, Jurandir Marcondes Ribas-Filho²

Afiliação dos autores: ¹Faculdade Evangélica Mackenzie do Paraná, Curitiba, PR, Brasil; ²Colégio Brasileiro de Cirurgia Digestiva, São Paulo, SP, Brasil

ORCID

André Luis Menezes Schwannsee Thiele - <https://orcid.org/0000-0001-9374-548X>

Edilson Schwannsee Thiele - <https://orcid.org/0000-0001-9482-5596>

Luis Fernando Menezes Schwannsee Thiele - <https://orcid.org/0000-0002-4323-0450>

Fernando Issamu Tabushi - <https://orcid.org/0000-0002-3150-2164>

Paulo Afonso Nunes Nassif - <https://orcid.org/0000-0002-1752-5837>

Luiz Martins Collaço - <https://orcid.org/0000-0002-3215-1650>

Jose Fernando Polanski - <https://orcid.org/0000-0003-3151-2327>

Jurandir Marcondes Ribas-Filho - <https://orcid.org/0000-0002-5251-7672>

Correspondência

André Luis Menezes Schwannsee Thiele

Email: andrelmsthiele@hotmail.com

Conflito de interesse: Nenhum

Financiamento: Em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001

Imagem



Volume muscular do quadríceps circunscrito pela linha vermelha

Mensagem Central

A fraqueza do músculo quadríceps tem sido a característica clínica mais marcante da lesão do ligamento cruzado anterior, e fortemente associada à predição de disfunção muscular

permanente e osteoartrite. Observa-se não somente diminuição da força, mas também da qualidade e da contração do músculo, além de atrofia muscular. Este estudo apresenta resultados que podem auxiliar os cirurgiões na condução mais apropriada dessas lesões com vistas à recuperação mais rápida das atividades habituais dos pacientes.

Perspectiva

A necessidade de reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho tem aumentado nos últimos anos e continuam as discussões sobre o melhor enxerto, procedimentos adicionais e técnicas cirúrgicas que possam melhorar cada vez mais os resultados biomecânicos e funcionais do joelho. A falta de padronização dificulta o consenso sobre o conjunto de intervenções pré, intra e pós-operatórias que podem permitir melhores resultados. Este estudo embora com limitação no tempo de seguimento, apresenta sinalizações que podem auxiliar com mais firmeza os entendimentos sobre este procedimento.

Contribuição dos autores

Conceituação: André Luis Menezes Schwannsee Thiele

Análise formal: Edilson Schwannsee Thiele

Metodologia: Jurandir Marcondes Ribas-Filho

Redação (esboço original): Todos os autores

Redação (revisão e edição): Todos os autores

RESUMO – Introdução: O ligamento cruzado anterior é um dos principais ligamentos do joelho, frequentemente mais suscetível às lesões devido à sua posição central e seu papel vital na estabilização desta articulação. A força do quadríceps desempenha papel crucial, com função de absorção de impacto, auxiliando na redução de carga. **Objetivo:** Avaliar o volume e a força do músculo quadríceps antes e após a reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho, sua correlação e quais as variáveis preditivas da força muscular pré e pós-operatória. **Método:** Coorte prospectiva de 37 pacientes avaliados no pré-operatório e com 4 meses após a operação, por meio de ressonância magnética e dinamometria isocinética. As medidas do membro submetido à operação foram comparadas ao membro contralateral como controle. **Resultado:** O volume do músculo quadríceps foi de $65,2 \pm 13,4 \text{ cm}^3$ antes e de $63,4 \pm 15,9 \text{ cm}^3$ após, significativamente menor no controle nos 2 momentos, com redução de $3,0 \text{ cm}^3$ (4,1%) no pré e $7,8 \text{ cm}^3$ no pós (12,0%). A força muscular foi de $105,5 \pm 29,9 \text{ N/m}$ antes e de $100,9 \pm 28,6 \text{ N/m}$ após, significativamente menor no membro operado ($126,4 \pm 28,2 \text{ N/m}$ e $129,6 \pm 27,6 \text{ N/m}$, $p < 0,001$). Esta redução foi semelhante nos 2 momentos de avaliação, em média de $17,5 \text{ N/m}$ (16,3%) no pré e de $22,8 \text{ N/m}$ (22,5%) no pós. A perda de força foi maior que a perda de volume muscular, sendo que o volume muscular e o tempo da lesão do ligamento cruzado anterior foram os principais determinantes da força muscular no pré. A força no pós foi determinada principalmente pela do pré. **Conclusão:** A perda de força muscular foi 4 vezes maior que a perda de volume no pré e 2 vezes maior no pós, indicando início da recuperação com 4 meses no pós-operatório.

PALAVRAS-CHAVE - Reconstrução do ligamento cruzado anterior. Músculo quadríceps. Dinamometria isocinética. Ressonância nuclear magnética.

ABSTRACT - Introduction: The anterior cruciate ligament is one of the main ligaments of the knee, often more susceptible to injuries due to its central position and its vital role in stabilizing this joint. The strength of the quadriceps plays a crucial role, with impact absorption function, helping to reduce load. **Objective:** To evaluate the volume and strength of the quadriceps muscle before and after reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee, their

correlation and which variables predict pre- and postoperative muscle strength. **Method:** Prospective cohort of 37 patients evaluated preoperatively and 4 months after the operation, using magnetic resonance imaging and isokinetic dynamometry. The measurements of the limb undergoing the operation were compared to the contralateral limb as a control. **Result:** The volume of the quadriceps muscle was 65.2+13.4cm³ before and 63.4+15.9 cm³ after, significantly lower in the control at both moments, with a reduction of 3.0cm³ (4.1%) in the pre and 7.8 cm³ post (12.0%). Muscle strength was 105.5+29.9N/m before and 100.9+28.6N/m after, significantly lower in the operated limb (126.4+28.2N/m and 129.6+27.6N /m, p<0.001). This reduction was similar in the 2 evaluation moments, on average of 17.5N/m (16.3%) in the pre and 22.8N/m (22.5%) in the post. The loss of strength was greater than the loss of muscle volume, with muscle volume and time of anterior cruciate ligament injury being the main determinants of muscle strength in the pre-op. The strength in the post was mainly determined by that in the pre. **Conclusion:** The loss of muscle strength was 4 times greater than the loss of volume pre-operatively and 2 times greater post-operatively, indicating the beginning of recovery 4 months post-operatively.

KEYWORDS - Reconstruction of the anterior cruciate ligament. Quadriceps muscle. Isokinetic dynamometry. Nuclear magnetic resonance.

INTRODUÇÃO

A lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) tem incidência estimada nos EUA de 250.000 casos por ano¹ e, no Brasil, são realizadas até 78 operações de reconstrução do LCA (RLCA) por 1.000 pessoas/ano, mais frequentes em homens praticantes de atividades esportivas.² LCA é um dos principais ligamentos do joelho, frequentemente mais suscetível às lesões devido à sua posição central e seu papel vital na estabilização desta articulação; a força do quadríceps desempenha papel crucial, com função de absorção de impacto, auxiliando na redução de carga.³

Entretanto, a fraqueza do músculo quadríceps tem sido a característica clínica mais marcante deste tipo de lesão, fortemente associada à predição de disfunção muscular permanente e osteoartrite.^{1,4-9} Observa-se, quando da lesão e/ou RLCA, não somente diminuição da força, mas também da qualidade e da contração do músculo quadríceps, além de atrofia muscular.^{5,10}

Postula-se que a lesão do LCA diminui a propriocepção do joelho e o recrutamento de unidades motoras musculares, levando à atrofia e perda de força muscular no membro lesado e no membro contralateral^{1,11-16}, além do mesmo efeito deletério também determinado pela imobilização.^{17,18}

A produção de força do músculo quadríceps é altamente dependente do seu volume, da qualidade do impulso neural e limiar de recrutamento de suas unidades motoras. Na lesão do LCA ocorre a denominada inibição muscular artrogênica que leva à inibição reflexa do conjunto de suas unidades motoras, manifestando-se clinicamente por fraqueza muscular, diminuição da ativação voluntária e atrofia do quadríceps bilateral.^{1,16}

Esta inibição reflexa, associada ao desuso do membro afetado, também leva à reorganização neural cortical, redução da excitabilidade corticoespinhal e do impulso cortical, que também contribuem para a atrofia estrutural persistente e para a redução da capacidade muscular.^{1,6,11-16} A força e o volume muscular estão fortemente associados com o tamanho das unidades motoras e a inibição neural determina também atrofia destas estruturas.^{1,6,11,12,19-21} Embora esta resposta tenha a função de proteger a área lesada, também é responsável pela disfunção muscular prolongada e menor capacidade de reabilitação. A superação desta

inibição é, assim, um dos principais fatores limitantes da recuperação da força e atrofia muscular que se segue após a lesão do LCA e RLCA.¹

O objetivo deste estudo foi avaliar o volume e a força do músculo quadríceps antes e após a RLCA, sua correlação e quais as variáveis preditivas da força muscular pré e pós-operatória.

MÉTODO

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos, com CCAE 68531223.1.0000.01103 (Plataforma Brasil), aplicando termo de consentimento livre e esclarecido. Refere-se à uma coorte prospectiva, com a hipótese de que o volume e força do músculo quadríceps sofrem redução após a RLCA e que as 2 medidas se correlacionam. Foram incluídos 37 pacientes avaliados no pré-operatório (pré) e com 4 meses após a operação (pós), por meio de ressonância magnética e dinamometria isocinética.

Como critérios de inclusão foram considerados: a) atletas amadores de ambos os sexos; b) idade entre 18 e 40 anos; e c) submetidos à RLCA com enxerto quádruplo dos músculos semitendíneo e grácil. Foram excluídos aqueles: a) submetidos à reconstrução com outro tipo de enxerto; b) com lesão de cartilagem confirmada na ressonância magnética (RM), e c) com história de operação prévia do joelho. As variáveis estudadas incluíram: idade, sexo, lado afetado, dominância, força e volume do músculo quadríceps.

O volume do quadríceps foi obtido com cortes axiais, varredura FSE (*fast spin echo*), espessura e espaçamento de 10 mm e realizado com equipamento Signa™ 1,5Tma Tesla GE® HealthCare, Illinois, Chicago USA, com cortes axiais da coxa, campo de visão de 42, espessura de 10 mm^{7,22,23}, espaçamento de 1 mm e feitos 44 cortes a partir da linha articular do joelho. Entre as 44 imagens obtidas, os cortes escolhidos foram determinados a partir da imagem proximal com melhor apresentação do músculo reto femoral e a imagem distal determinada pela melhor apresentação do músculo vasto medial e lateral, sem a presença de imagem da patela. A partir da determinação da primeira imagem proximal, todas as demais foram medidas até a imagem determinada como a última distal. O volume muscular foi medido em centímetros cúbicos por meio do *software* Arya versão 23.7.1, excluindo o osso e a gordura subcutânea (Figura 1).

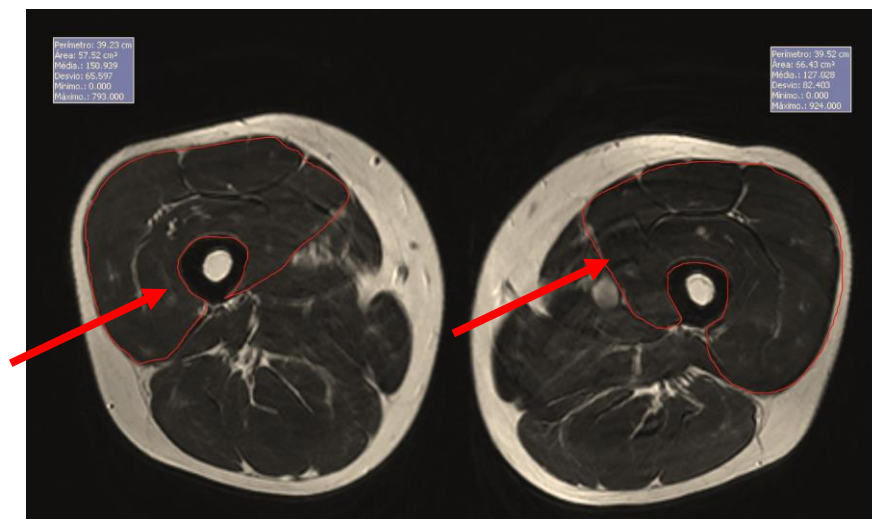


FIGURA 1 – Ressonância magnética do músculo quadríceps: as setas indicam o volume muscular circunscrito pela linha vermelha

O exame da força foi realizado com o dinamômetro isocinético (*Metabolic System Bike*, Cybex® - Divisão de Lumex, Ronkonkoma, NY) e o pico de torque foi medido em Newton/metro (Nm) na velocidade angular de 180°/s.^{9,24-26} As medidas do membro submetido à RLCA (mRLCA) foram comparadas ao membro contralateral (mControle).

Técnica cirúrgica

Foi empregado enxerto quádruplo dos músculos semitendíneo e grácil. Com o paciente sob raquianestesia, em decúbito dorsal, foi realizada a incisão longitudinal de cerca de 4 cm, no sentido distal a partir da interlinha articular medial. Posteriormente procedeu-se a abertura da fáscia do músculo sartório e liberação dos tendões, suturando suas extremidades com fio Ethibond® n°2. Em seguida, foi passado o fio com o tendão do músculo semitendíneo pelo extrator de tendão, posicionando o joelho como um “4” e direcionando-o proximalmente, mantendo tração no fio, até que a origem do tendão fosse liberada de seu corpo muscular. O mesmo procedimento foi feito com o músculo grácil, com a retirada do enxerto (Figura 2).

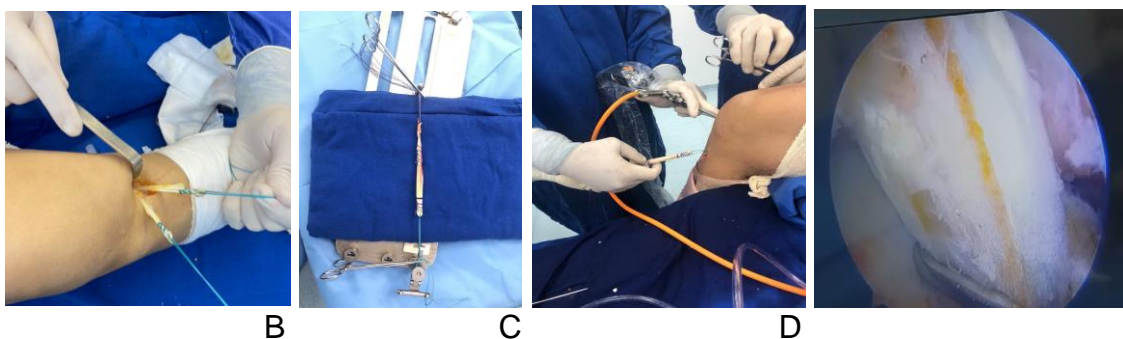


FIGURA 2 – Procedimento cirúrgico: A) retirada do enxerto dos músculos semitendíneo e grácil; B) preparo do enxerto; C) passagem e fixação do neoligamento via artroscópica; D) neoligamento fixado

O enxerto (Figura 2B) foi preparado simultaneamente, limpando a porção muscular de cada tendão, cortando-o em sua região proximal, no comprimento de 20 cm, com sutura da outra extremidade com fio Ethibond® n°2, colocando-os lado a lado, dobrados sobre fio Ethibond® n°5.

As terminações do enxerto foram então suturadas, unindo os tendões um ao outro, com fio Vicril® n°0. Na porção que foi colocada no fêmur, os tendões foram suturados por 3 cm e na tíbia por 4 cm. A porção articular não foi suturada. RLCA foi realizada por meio de artroscopia, com construção de túneis tibial e femoral com diâmetro igual ao do enxerto. No fêmur foi utilizado 1 parafuso de 25 mm de comprimento e 1 mm de diâmetro mais estreito que o do túnel ósseo, introduzido sob fio-guia sob tensão nas extremidades do enxerto. Para a tíbia foi utilizado 1 parafuso de 30 mm de comprimento e diâmetro igual ao do túnel. Tanto no fêmur quanto na tíbia, o parafuso foi colocado o mais próximo possível da superfície articular. A Figura 2 C/D ilustra a passagem do neoligamento e o neoligamento fixado. O fechamento cirúrgico foi realizado por planos, sem dreno de sucção e com enfaixamento compressivo, com o membro em extensão.

Fisioterapia convencional foi iniciada no pré e pós^{22,23,27,28}, sendo adotado o protocolo de reabilitação acelerada 24 h após o procedimento.^{22,23,27-30}

Análise estatística

As medidas de tendência central e de dispersão estão expressas em médias e desvio-padrão e em medianas, intervalo interquartilico. As variáveis categóricas estão expressas em suas frequências absoluta e relativa. A diferença entre variáveis contínuas foi realizada pelo teste t para amostras dependentes, e a análise da variância fatorial, com teste post-hoc de Duncan foi aplicada para estudar o volume e força muscular conforme o momento de avaliação e membro afetado. A correlação de Pearson foi aplicada para verificar o grau de associação entre as medidas de volume, força muscular, idade e tempo entre a lesão e RCLA e a regressão múltipla para identificar as variáveis preditivas para a força muscular pré e pós-operatória. Para todos os testes foi considerado o nível de significância de 5%. A amostra foi estimada considerando os testes aplicados, a natureza de dependência das variáveis, nível de significância de 5%, erro do tipo II de 10%, com poder de teste de 90%, indicando amostra mínima de 35 casos.

RESULTADO

Os resultados foram apresentados conforme as diretrizes *STrengthening the Reporting of OBservational studies in Epidemiology* (STROBE).

A mediana de idade foi de 30(19-44) anos sendo 24 homens (64,9%) e 13 mulheres (35,1%). A lesão ligamentar ocorreu no joelho direito em 16 casos (43,2%) e à esquerda em 21 (56,7%). Em 62,0% ela ocorreu no membro dominante. RLCA foi realizada com 43(23–97) dias após a lesão do LCA.

Volume do músculo quadríceps

Ele foi significativamente menor nos 2 momentos de avaliação, no mRLCA (65,2 cm³ e 63,4 cm³ no mRLCA (membro em operação) vs. 68,2 cm³ e 71,2 cm³ no mControle (membro contralateral, p< 0,001). No pós, no mRLCA o volume permaneceu semelhante ao observado no pré (p=0,37, Figura 3)

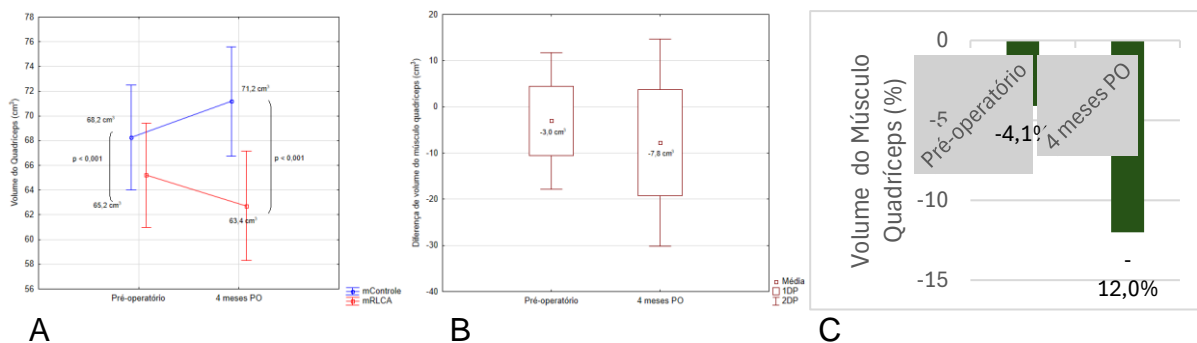


FIGURA 3 – Músculo quadríceps antes e após a RLCA: A) volume muscular; B) diferença do volume em cm³ entre os membros afetado e controle; C) diferença de volume em porcentagem entre os membros afetado e controle

O volume do músculo quadríceps foi 3,0 cm³ ($\pm 7,5$ cm³) menor no mRLCA do que no mControle antes da RLCA, e 7,8 cm³ ($\pm 11,4$ cm³) menor no pós (p=0,03). Em porcentagem, esta perda foi de 4,1% ($\pm 11,6\%$) antes da RLCA e de 12,0% ($\pm 18,1\%$) após. A Figura 4 ilustra exemplo de RM no período pré com volume do músculo quadríceps de 60,39 cm³ no mRLCA

e de 72,58 cm³ no mControle e no pós com 54,20 cm³ no mRLCA e de 70,87 cm³ no mControle, indicando redução de 6,19 cm³ no mRLCA e de 1,71 cm³ no mControle.

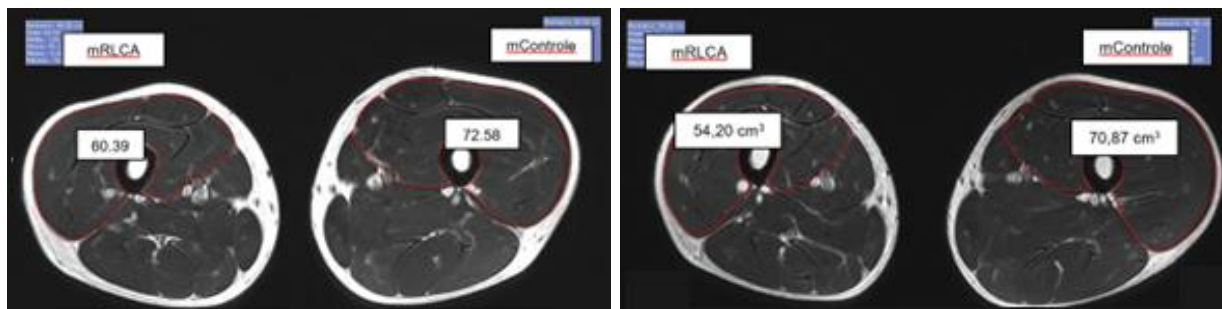


FIGURA 4 - RM indicando volume do músculo quadríceps: A) pré-operatório: 60,39 cm³ no mRLCA e B 72,58 cm³ no mControle; B) pós-operatório: 54,20 cm³ no mRLCA e 70,87 cm³ no mControle

Força do músculo quadríceps

Ela foi significativamente menor nos 2 momentos de avaliação no mRLCA (105,5 N/m e 100,9 N/m no mRLCA vs. 126,4 N/m e 129,6 N/m no mControle, $p < 0,001$). No pós, tanto no mControle quanto no mRLCA não houve modificação significativa da força ($p = 0,15$ e $p = 0,38$, Figura 5).

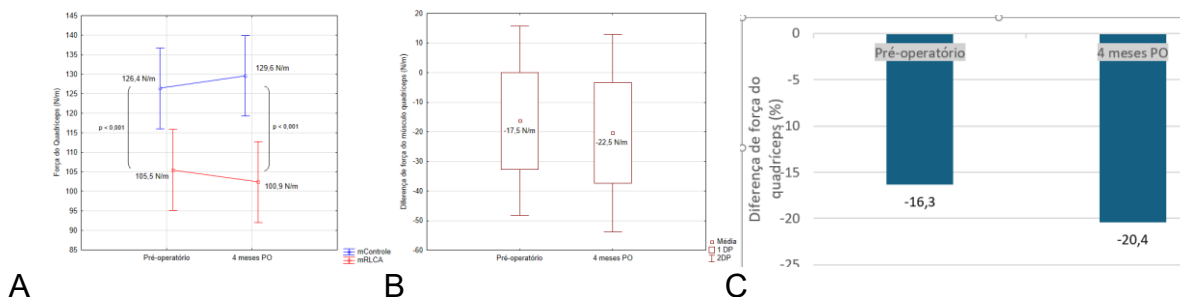


FIGURA 5 – Músculo quadríceps antes e após a RLCA: A) força muscular; B) diferença da força em newtons por metro entre os membros afetado e controle; C) diferença da força em porcentagem entre os membros afetado e controle

A força do músculo quadríceps foi 17,5 N/m ($\pm 21,2$ N/m) menor no mRLCA do que no mControle antes da RLCA, e 22,8 N/m ($\pm 27,9$ N/m) menor no pós-operatório ($p = 0,29$), e em porcentagem esta perda foi de 16,3% ($\pm 16,3\%$) pré RLCA e de 20,4% ($\pm 17,0\%$) no pós (Figura 5).

A Figura 6 ilustra exemplo da dinamometria isocinética no período pré com força muscular de 107,00 N/m no mRLCA e de 141,0 N/m no mControle, e no pós com 93,0 N/m no mRLCA e de 144,0 N/m no mControle indicando redução de 14,0 N/m no mRLCA e aumento de 3,0 N/m no mControle. No pós, a força muscular era de 93,0 N/m no mRLCA e de 144,0 N/m no mControle indicando redução de 14,0 N/m no mRLCA e aumento de 3,0 N/m no mControle.

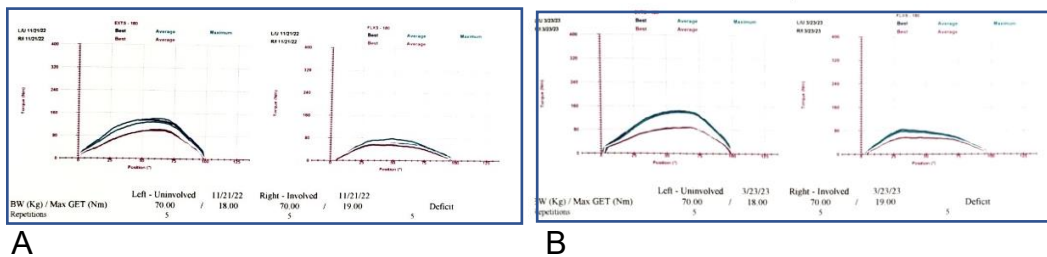


FIGURA 6 – Exemplo de dinamometria isocinética indicando a força do músculo quadríceps no período pré (A) e no pós-operatório (B)

Correlação entre a força e o volume do músculo quadríceps

Houve correlação moderada entre o volume e a força antes e após a RLCA, independentemente do mControle ou mRLCA (r máximo=0,42, Figura 7). Houve maior perda de força do que de volume muscular no mRLA em relação ao mControle (Tabela 1).

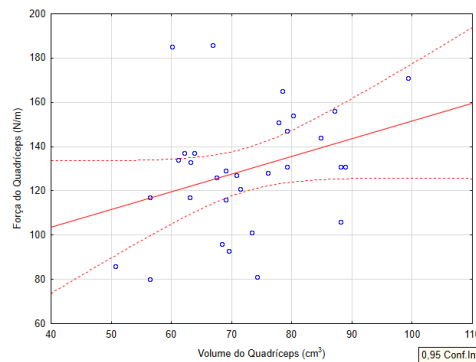


FIGURA 7 - Correlação entre a força e o volume do músculo quadríceps (n=37)

TABELA 1 – Força e volume do músculo quadríceps nos membros afetado e controle antes e após a RLCA (n=37)

MEDIDA	MOMENTO		p
Força (N/m)	Pré-operatório	4 meses PO	p (pré vs PO)
mControle	126,4 ± 28,2	129,6 ± 27,6	0,66
mRLCA	105,5 ± 29,9	100,9 ± 28,6	0,67
p (entre os membros)	p < 0,001	p < 0,001	---
Volume (cm³)	Pré-operatório	4 meses PO	p (pré vs PO)
mControle	68,2 ± 10,7	71,2 ± 11,5	0,34
mRLCA	65,2 ± 13,4	63,4 ± 15,4	0,03
p (entre os membros)	p < 0,001	p < 0,001	---

Nota: Teste t amostras dependentes: pré-operatório: p< 0,001; PO: p = 0,01 PO=pós-operatório; N/m=Newtons por metro

A força e volume do músculo quadríceps não apresentaram correlação com a idade, dominância ou tempo entre a lesão do LCA e a RLCA (p>0,05)

Variáveis da força do músculo quadríceps pré e pós-operatória

O volume muscular e o tempo da lesão do LCA foram as principais variáveis determinantes da força no pré-operatório, sendo ambos responsáveis por 50% da sua variabilidade (Coeficiente β = 0,50, p<0,001). Já a força pós-operatória foi determinada

principalmente por aquela pré (Coeficiente $\beta = 0,74$, $p < 0,001$). No pós, nenhum dos pacientes havia retornado às suas práticas esportivas habituais, evolução esperada para este momento.

DISCUSSÃO

RLCA permanece como um desafio para os cirurgiões ortopédicos e desde a primeira delas realizada em 1895³¹ - passando do procedimento aberto até a artroscopia nos dias de hoje - muitas dúvidas ainda existem sobre o seu melhor manejo.^{22,23,26-28,32,33} Existe ampla discussão na literatura sobre o tamanho, volume e força do músculo quadríceps antes e após a RLCA, isto porque os índices de insucesso, seja por ausência de recuperação funcional plena (25% a 60%)^{34,35}, impossibilidade de retorno às atividades desportivas amadoras e/ou profissionais (17% a 65%)³⁶⁻³⁹, osteoartrite (33% a 51%)^{40,38,41}, reincidência da lesão do LCA (3% a 35%)^{38,39,41-43} ou de ligamentos correlatos (8%)³⁹, são elevados.

Na amostra aqui estudada, observou-se menor volume do músculo quadríceps no mRLCA antes e após a RLCA, com perda 3 vezes maior no pós, de 7,8 cm³ (12,0%). Žargi⁴⁴ relataram, de forma semelhante, perda volumétrica de 17,4% apenas no mRLCA. Na revisão sistemática conduzida por Birchmeier⁴⁵ a perda de volume girou em torno de 7-10%, na dependência do grupo muscular estudado. Garcia¹⁸ observaram, igualmente, atrofia muscular nas primeiras 9 semanas após RLCA, com perda de volume de 21,5% no mRLCA e de 12,3% no membro contralateral. Kaneguchi⁴⁶ verificaram, também, atrofia muscular bilateral após RLCA, mais acentuada no membro afetado, resultado similar ao observado na amostra aqui estudada.

Embora o volume muscular seja determinante primário da força em indivíduos sem lesão do LCA, na sua presença tem-se postulado que alterações do sistema nervoso central e do músculo quadríceps são causa conjunta da fraqueza muscular observada nestes pacientes.^{35,45}

Na presente amostra, observou-se redução de 17,5 N/m na força do músculo quadríceps no mRLCA no Pré-OP e perda semelhante, de 22,5 N/m no pós. Outros autores também verificaram o mesmo, embora em menor grau, variando de 9,5 a 14 N/m, podendo se prolongar por até 2 anos após a operação e culminar com reincidência da lesão, em risco estimado de até 15 vezes mais que em controles saudáveis.^{9,21,37,47-50}

A perda de força foi 4 vezes maior do que a de volume no pré e 2 no pós, indicando início da recuperação com 4 meses da operação. A correlação entre a força e o volume muscular foi moderada, independentemente do membro ou momento de avaliação, em concordância com outros autores, indicando, assim, que o volume muscular é apenas um dos aspectos envolvidos neste fenômeno.⁴⁵

A força do músculo quadríceps antes da RLCA tem sido apontada como um dos principais fatores preditivos da força muscular encontrada após o procedimento⁵¹⁻⁵⁴, o que foi observado nesta amostra e igualmente por outros autores⁵¹⁻⁵⁴ com volume responsável por 38% da variabilidade da força muscular pós-operatória, enquanto no presente estudo a força muscular pré-operatória é que foi a principal determinante, responsável por 74% de sua variabilidade.

LCA é rico em inervação sensorial e a estimulação de seus mecanorreceptores determina respostas reflexas no arco neural. Na presença de lesão ocorre alteração deste mecanismo de propriocepção e de recrutamento de unidades motoras musculares, levando à atrofia muscular e perda de força muscular do membro lesado e no membro contralateral.^{13,14,35,55}

A atrofia do músculo quadríceps é atribuída à inibição neurológica, diminuição do estímulo contrátil e imobilização, além de alterações na estrutura, composição muscular,

descondicionamento muscular e diminuição da contração voluntária¹⁸. Alguns autores têm apontado que há também alteração na qualidade muscular, com alterações nos tipos de fibras e alterações celulares^{56,57}, enquanto outros indicando diminuição na sua qualidade, com infiltração fibrótica^{57,58} além da infiltração de gordura intramuscular que diminuem a capacidade de geração de força muscular.^{18,59,60} Há, também, baixo limiar de recrutamento e taxa de disparo mais lenta das unidades motoras e o bloqueio no estímulo neural durante o período de inibição muscular artrogênica; isto leva às reduções progressivas nas junções neuromusculares e motoneurônios na periferia, resultando no acúmulo de fibras desnervadas dentro do músculo.¹ As unidades motoras inibidas são catabolizadas por ação de citocinas inflamatórias^{1,46} e, ao longo do tempo, pode haver transição de fenótipos musculares, resultando em unidades motoras com fibras heterogêneas, com substituição de fibras de rápida (tipo II) por fibras de contração lenta (tipo I)¹², com subsequente descondicionamento destas estruturas.¹

Sabe-se também que a imobilização dos membros leva à rápida perda de massa muscular e, se a RLCA aparece como opção terapêutica que possibilita a reconstrução ligamentar, a atrofia e conseqüente perda de força muscular decorrente da imobilização, necessária para proteção do enxerto, passa a ser o segundo grande problema a ser enfrentado para recuperação funcional plena.^{17,18,21}

A atrofia muscular do quadríceps explica, assim, apenas parte da perda de força deste músculo, comum em pacientes com lesão do LCA.^{7,8,17,44,46,61,62}

A inibição muscular artrogênica é fator crítico que limita os resultados ideais de reabilitação após a lesão e RLCA.^{1,11,13-16,20,63} Este fenômeno foi recentemente ratificado por McPherson⁶⁴ que, em estudo randomizado, observaram que pacientes com lesão do LCA apresentaram menor tamanho e menor potencial de ação das unidades motoras do músculo quadríceps nos 2 membros ainda com 12 meses após a RLCA. Este foi o primeiro estudo que quantificou a atividade das unidades motoras de membros com e sem lesão do LCA, corroborando a hipótese de que a inibição do músculo quadríceps é bilateral e, portanto, independe de lesão unilateral, apoiando a atrofia muscular persistente observada clinicamente. Além disso, Riehm⁶⁵, em 2024, encontraram déficit da estrutura dinâmica neural de coordenação neuromuscular (cérebro para o músculo do quadril), significativamente assimétrica nos pacientes submetidos à RLCA.

Estes são, possivelmente, os 2 principais pilares nos quais as próximas investigações devem se apoiar para a melhor compreensão deste mecanismo, fundamental para a reabilitação de pacientes com lesão do LCA.

RLCA tem aumentado nos últimos anos e continuam as discussões sobre o melhor enxerto, procedimentos adicionais e técnicas cirúrgicas que possam melhorar cada vez mais os resultados biomecânicos e funcionais do joelho.^{1,2,21} A falta de padronização interinstitucional da RLCA dificulta o consenso sobre o conjunto de intervenções pré, intra e pós-operatória que podem permitir melhores resultados, recomendando-se assim estudos multicêntricos, com amostras representativas e desenhos padronizados para melhor elucidação sobre as variáveis associadas ao sucesso da RLCA.¹⁷

Este estudo tem por limitação o relativo curto tempo de seguimento. Contudo, as sinalizações que ele apresentou sobre a utilização da RLCA e seu manuseio podem servir para nortear outros estudos em mais longo prazo, posicionando com mais firmeza os entendimentos sobre este procedimento.

CONCLUSÃO

A perda de força foi 4 vezes maior que a do volume muscular no pré-operatório e 2 vezes maior no pós-operatório, indicando início da recuperação muscular, tanto no volume como na força, a partir de 4 meses do procedimento. A força muscular pré-operatória, por sua vez, foi determinada principalmente pelo volume muscular prévio e pelo tempo da lesão.

REFERÊNCIAS

1. Sherman DA, Rush J, Stock MS, Ingersoll CD, Norte GE. Neural drive and motor unit characteristics after anterior cruciate ligament reconstruction: implications for quadriceps weakness. *Peer J*. 2023;6(11):e16261. doi.org/10.7717/peerj.16261.
2. Costa LA, Foni NO, Antonioli E, Carvalho RT, Paião ID, Lenza M, et al. Analysis of 500 anterior cruciate ligament reconstructions from a private institutional register. *PlosOne*. 2018;13(1):e0191414. doi.org/10.1371/journal.pone.0191414.
3. Cone SG, Howe D, Fisher MB. Size and shape of the human anterior cruciate ligament and the impact of sex and skeletal growth: A systematic review. *JBJs Reviews*. 2019;7(6):e8. doi.org/10.2106/jbjs.rvw.18.00145.
4. Øiestad BE, Juhl CB, Culvenor AG, Berg B, Thorlund JB. Knee extensor muscle weakness is a risk factor for the development of knee osteoarthritis: an updated systematic review and meta-analysis including 46 men and 819 women. *Br J Sports Med*. 2022;56(6):349-355. doi.org/10.1136/bjsports-2021-104861.
5. Holmgren D, Noory S, Mosntröm E, Grindem H, Stålman S, Wörner T. Weaker quadriceps muscle strength with a quadriceps tendon graft compared with a patellar or hamstring tendon graft at 7 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2024;52(1):69-76. doi.org/10.1177/03635465231209442.
6. Sherman DA, Baumeister J, Stock MS, Murray AM, Bazett-Jones DM, Norte GE. Weaker quadriceps corticomuscular coherence in individuals after reconstruction during force tracing. *Med Sci Sports Exerc*. 2023;55(4):625-632. doi.org/10.1249/mss.0000000000003080.
7. Thomas AC, Wojtys EM, Brandon C, Palmieri-Smith RM. Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Sports Med*. 2016;19(1):7-11. doi.org/10.1016/j.jsams.2014.12.009.
8. Williams GN, Buchanan TS, Barrance PJ, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Quadriceps weakness, atrophy, and activation failure in predicted noncopers after anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*. 2005;33(3):402-407. doi.org/10.1177/0363546504268042.
9. Tsai L-C, Jeanfreau CM, Hamblin KA, Popovich JM, Lyle MA, Cottmeyer DF, et al. Time, graft, sex, geographic location, and isokinetic speed influence the degree of quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(10):3367-3376. doi.org/10.1007/s00167-022-06906-7.
10. Johnson AK, Rodriguez KM, Lepley AS, Palmieri-Smith RM. Quadriceps torque complexity before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Med Sport*. 2023;26(10):533-538. doi.org/10.1016/j.jsams.2023.09.009.
11. Rush JL, Glaviano NR, Norte GE. Assessment of quadriceps corticomotor and spinal-reflexive excitability in individuals with a history of anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2021;51(5):961-990. doi.org/10.1007/s40279-020-01403-8.
12. Pette D, Staron RS. Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions. *Microsc Res Tech*. 2000;50(6):500-509. doi.org/10.1002/1097-0029(20000915)50:6%3C500::aid-jemt7%3E3.0.co;2-7.
13. Fleming JD, Ritzmann R, Centner C. Effect of an anterior cruciate ligament rupture on knee proprioception within 2 years after conservative and operative treatment: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med*. 2022;52(5):1091-1102. doi.org/10.1007/s40279-021-01600-z.
14. Schilaty ND, Mc Pherson AL, Nagai T, Bates NA. Arthrogenic muscle inhibition manifest in thigh musculature motor unit characteristics after anterior cruciate ligament injury. *Eur J Sport Sci*. 2023;23(5):840-850. doi.org/10.1080/17461391.2022.2056520.
15. Inns TB, Bass JJ, Hardy EJO, Wilkinson DJ, Stashuk DW, Atherton PJ, et al. Motor unit dysregulation following 15 days of unilateral lower limb immobilisation. *J Physiol*. 2022;600(21):4753-4769. doi.org/10.1113/jp283425.

16. Pietrosimone B, Lepley AS, Kuenze C, Harkey MS, Hart JM, Blackburn JT, et al. Arthrogenic muscle inhibition following anterior cruciate ligament injury. *J Sport Rehabil.* 2022;14(31):694-706. doi.org/10.1123/jsr.2021-0128.
17. Baron JE, Parker EA, Duchman KR, Westermann RW. Perioperative and Postoperative factors influence quadriceps atrophy and strength after ACL reconstruction: a systematic review. *Orthop J Sports Med.* 2020;30(8):2325967120930296. doi.org/10.1177/2325967120930296.
18. Garcia A, Curran MT, Palmieri-Smith RM. Longitudinal assessment of quadriceps muscle morphology before and after anterior cruciate ligament reconstruction and its associations with patient-reported outcomes. *Sports Health.* 2020;12(3):271-278. doi.org/10.1177/1941738119898210.
19. Del Vecchio A, Holobar A, Falla D, Felici F, Enoka RM, Farina D. Tutorial: Analysis of motor units discharge characteristics from high-density surface EMG signals. *J Electromyogr Kinesiol.* 2020;53:102426. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2020.102426>.
20. Sterczala AJ, Miller JD, Dimmick HL, Wray ME, Trevino MA, Herda TJ. Eight weeks of resistance training increases strength, muscle cross-sectional area and motor unit size, but does not alter firing rates in the vastus lateralis. *Eur J Appl Physiol.* 2020;120(1):281-294. doi.org/10.1007/s00421-019-04273-9.
21. Curran MT, Bedi A, Kujawa M, Palmieri-Smith RA. A cross-sectional examination of quadriceps strength, biomechanical function, and functional performance from 9 to 24 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2020;48(10):2438-2446. doi.org/10.1177/0363546520940310.
22. Kochman M, Kasprzak M, Kielar A. ACL reconstruction: Which additional physiotherapy interventions improve early-stage rehabilitation? A systematic review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(3):15893. doi.org/10.3390/ijerph192315893.
23. Carter HM, Littlewood C, Webster KE, Smith BE. The effectiveness of preoperative rehabilitation programmes on postoperative outcomes following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):647. doi.org/10.1186/s12891-020-03676-6.
24. Drigny J, Calmes A, Reboursière E, Hulet C, Gauthier A. Changes in the force-velocity relationship of knee muscles after anterior cruciate ligament reconstruction using the isokinetic 2-point model. *Int J Sports Physiol Perform.* 2023;18(11):1336-1344. doi.org/10.1123/ijspp.2023-0108.
25. Herbawi F, Lozano-Lozano M, Lopez-Garzon M, Postigo-Martin P, Ortiz-Cormino L, Martin-Alguacil JL, et al. Systematic review and meta-analysis of strength recovery measured by isokinetic dynamometer technology after anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon autografts vs hamstring tendon autografts or patellar tendon autografts. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(11):6764. doi.org/10.3390/ijerph19116764.
26. Jiang H, Zhang L, Zhang R-Y, Zheng Q-J, Li M-Y. Comparison of hamstring and quadriceps strength after anatomical versus nonanatomical anterior cruciate ligament reconstruction: a retrospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):452. doi.org/10.1186/s12891-021-04350-1.
27. Czamara A, Krzeminska K, Widuchowski W, Dragan SL. The muscle strength of the knee joint after ACL reconstruction depends on the number and frequency of supervised physiotherapy visits. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(20):10588. doi.org/10.3390/ijerph182010588.
28. Glatke KE, Tummala SV, Chhabra A. Anterior cruciate ligament reconstruction recovery and rehabilitation: A Systematic review. *J Bone Joint Surg.* 2022;104(8):739-754. doi.org/10.2106/jbjs.21.00688.
29. Elabd OM, Alghadir AH, Ibrahim AR, Hasan S, Rizvi MR, Sharma A, et al. Functional outcomes of accelerated rehabilitation protocol for anterior cruciate ligament reconstruction in amateur athletes: a randomized clinical trial. *J Rehabil Med.* 2024;22(56):jrm12296. <https://doi.org/10.2340/jrm.v56.12296>.
30. Wright AR, Richardson AB, Kikuchi CK, Goldberg DB, Marumoto JM, Kan DM. Effectiveness of accelerated recovery performance for post-ACL reconstruction rehabilitation. *Hawaii J Health Welf.* 2019;78(11 Suppl 2):41-46. [acesso 2023 Apr 15]. Available at: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6874690/pdf/hjhs7811_S2_0041.pdf.
31. White AE, Nest DV, Tjoumakaris FP, Freedman KB. Journey around the notch: A systematic review on the history of ACL reconstruction in the United States. *J Knee Surg.* 2022;35(1):61-71. doi.org/10.1055/s-0040-1712947.
32. D'ambrosi R, Ursino N, Feo F. Quadrupled semitendinosus anterior cruciate ligament reconstruction without the use of tourniquet and minimal instrumentation: The "double d" technique. *Arthrosc Tech.* 2023;12(9):e1589-e1593. doi.org/10.1016/j.eats.2023.05.008.
33. Powell CW, Norton CD, Colon LF, Wilson AW, Bruce JR. Quadruple hamstring autograft technique for anterior cruciate ligament reconstruction reduces allograft augmentation. *Arthrosc Sports Rehabil.* 2022;4(6):e2059-e2063. doi.org/10.1016%2Fj.asmr.2022.09.006.

34. Bayer S, Meredith SJ, Wilson K, Sa D, Pauyo T, Byrne K, et al. Knee morphological risk factors for anterior cruciate ligament injury. *J Bone Joint Surg.* 2020;102(8):703-718. doi.org/10.2106/jbjs.19.00535.
35. Hunnicutt JL, Mcleod MM, Slone HS, Gregory CM. Quadriceps muscle strength, size, and activation and physical function after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train.* 2020;55(3):238-245. doi.org/10.4085%2F1062-6050-516-18.
36. Sun Z, Cięższyk P, Humińska-Lisowska K, Michałowska-Sawczyn M, Yue, S. Genetic determinants of the anterior cruciate ligament rupture in sport: an up-to-date systematic review. *J Human Kinet.* 2023;15(87):105-117. doi.org/10.5114%2Fjkh%2F163073.
37. Niederer D, Kalo K, Vogel J, Wilke J, Giesche F, Vogt L, Banzer W. Quadriceps torque, peak variability and strength endurance in patients after anterior cruciate ligament reconstruction: Impact of local muscle fatigue. *J Motor Behav.* 2020;52(1):22-32. doi.org/10.1080/00222895.2019.1570909.
38. Sherman DA, Glaviano NR, Norte GE. Hamstrings neuromuscular function after anterior cruciate ligament reconstruction: A Systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2021;51(8):1751-1769. doi.org/10.1007/s40279-021-01433-w.
39. Ebert JR, Edwards P, Annear, PT. Good clinical scores, no evidence of excessive anterior tibial translation, a high return to sport rate and a low re-injury rate is observed following anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstrings augmented with suture tape. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(8):5207-5220. doi.org/10.1007/s00402-023-04835-9.
40. Lie MM, Risberg MA, Storheim K, Engebretsen L, Øiestad BE. What's the rate of knee osteoarthritis 10 years after anterior cruciate ligament injury? An updated systematic review. *Br J Sports Med.* 2019;53(18):1162-1167. doi.org/10.1136/bjsports-2018-099751.
41. Norte GE, Knaus KR, Kuenze C, Handsfield GG, Meyer CH, Blemker SS, et al. MRI-based assessment of lower-extremity muscle volumes in patients before and after ACL reconstruction. *J Sport Rehabil.* 2018;27(3):201-212. doi.org/10.1123/jsr.2016-0141.
42. Patel AD, Bullock GS, Wrigley J, Paterno MV, Sell TC, Losciale JM. Does sex affect second ACL injury risk? A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2021;55(15):873-882. doi.org/10.1136/bjsports-2020-103408.
43. Barford KW, Feller JA, Clark R, Hartwig T, Devitt BM, Webster, KE. Strength testing following anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective cohort study 3 investigating overlap of tests. *J Strength Cond Res.* 2019;33(11):3145-3150. doi.org/10.1519/jsc.0000000000002491.
44. Žargi TG, Drobnič M, Vauhnik R, Koder J, Kacin A. Factors predicting quadriceps femoris muscle atrophy during the first 12weeks following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee.* 2017;24(2):319-328. doi.org/10.1016/j.knee.2016.11.003.
45. Birchmeier T, Lisee C, Kane K, Brazier B, Triplett A, Kuenze C. Quadriceps muscle size following ACL injury and reconstruction: A systematic review. *J Orthop Res.* 2020;38(3):598-608. doi.org/10.1002/jor.24489.
46. Kaneguchi A, Umehara T, Yamaoka K, Ozawa J. Bilateral muscle atrophy after anterior cruciate ligament reconstruction in rats. Protective effects of anti-inflammatory drug celecoxib. *Knee.* 2022;35:201-2012. doi.org/10.1016/j.knee.2022.03.011.
47. Norte GE, Hertel J, Saliba SA, Diduch DR, Hart JM. Quadriceps neuromuscular function in patients with anterior cruciate ligament reconstruction with or without knee osteoarthritis: across-sectional study. *J Athl Train.* 2018;53(5):475-485. doi.org/10.4085/1062-6050-102-17.
48. Lisee C, Lepley AS, Birchmeier T, O'hagan K, Kuenze C. Quadriceps strength and volitional activation after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Sports Health.* 2019;11(2):163-179. doi.org/10.1177/1941738118822739.
49. Huber R, Viecelli C, Bizzini M, Friesenbichler B, Dohm-Acker M, Rosenheck T, et al. Knee extensor and flexor strength before and after anterior cruciate ligament reconstruction in a large sample of patients: influence of graft type. *Phys Sportsmed.* 2019;47(1):85-90. doi.org/10.1080/00913847.2018.1526627.
50. Johnston PT, McClelland JA, Feller JA, Webster KE. Knee muscle strength after quadriceps tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction: systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(9):2918-2933. doi.org/10.1007/s00167-020-06311-y.
51. Qiu J, He X, Fu S-C, Ong MT-Y, Leong HT, Yung PS-H. Is pre-operative quadriceps strength a predictive factor for the outcomes of anterior cruciate ligament reconstructions. *Int J Sports Med.* 2020;41(13):912-920. doi.org/10.1055/a-1144-3111.

52. Carter HM, Lewis GN, Smith BE. Preoperative predictors for return to physical activity following anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR): a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023;24(1):471. doi.org/10.1186/s12891-023-06489-5.
53. Iwame T, Matsuura T, Okahisa T, Iwase J, Uemura H, Sairyo K. Factors correlating with recovery of quadriceps strength after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autografts. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2020;30(2):307-3012. doi.org/10.1007/s00590-019-02580-7.
54. Shibata Y, Matsushita T, Araki D, Kida A, Takiguchi K, Ueda Y, et al. Prediction of quadriceps strength recovery after anterior cruciate ligament reconstruction with a hamstring autograft: Decision tree analysis. *J Orthop Sci.* 2019;24(2):301-305. doi.org/10.1016/j.jos.2018.10.007.
55. Robinson JD, Williamson T, Carson T, Whelan RJ, Abelow SP, Gilmer BB. Primary anterior cruciate ligament repair: Current concepts. *J ISAKOS.* 2023;8(6):456-466. doi.org/10.1016/j.jisako.2023.08.008.
56. Noehren B, Kosmac K, Walton G, Murach KA, Lyles MF, Loeser RF, et al. Alterations in quadriceps muscle cellular and molecular properties in adults with moderate knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2018;26(10):4-35. doi.org/10.1016/j.joca.2018.05.011.
57. Noehren B, Andersen A, Hardy P, Johnson DL, Ireland MI, Thompson KL, et al. Cellular and morphological alterations in the vastus lateralis muscle as the result of ACL injury and reconstruction. *J Bone Joint Surg.* 2016;98(18):1541-1547. doi.org/10.2106/jbjs.16.00035.
58. Fry CS, Johnson DL, Ireland ML, Noehren B. ACL injury reduces satellite cell abundance and promotes fibrogenic cell expansion within skeletal muscle. *J Orthop Res.* 2017;35(9):1876-1885. doi.org/10.1002/jor.23502.
59. Garcia SA, Moffit TJ, Vakula MN, Holmes C, Montgomery MM, Pamukoff DN. Quadriceps muscle size, quality, and strength and self-reported function in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athlc Train.* 2020;55(3):246-254. doi.org/10.4085/1062-6050-38-19.
60. Grozier C, Keen M, Collins K, Tolzman J, Fajardo R, Slade JJ, et al. Rectus femoris ultrasound echo intensity is a valid estimated of percent intramuscular fat in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Ultrasound Med Biol.* 2023;49(12):2590-2595. doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.08.027.
61. Zargi TG, Drobic M, Koder J, Strazar K, Kacin A. The effects of preconditioning with ischemic exercise on quadriceps femoris muscle atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction: a quasi-randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2016;52(3):310–20. [acesso 2023 Apr 15]. Available at: <https://www.minervamedica.it/en/journals/europa-medico-fisica/article.php?cod=R33Y2016N03A0310>.
62. Hunt ER, Davi SM, Parise CN, Clark K, Pelt DWV, Confides AL, et al. Temporal disruption of neuromuscular communication and muscle atrophy following noninvasive ACL injury in rats. *J Appl Physiol.* 2022;132(1):46-57. doi.org/10.1152/jappphysiol.00070.2021.
63. Lepley AS, Gribble PA, Thomas AC, Tevald MA, Sohn DH, Pietrosimone BG. Quadriceps neural alterations in anterior cruciate ligament reconstructed patients: a 6-month longitudinal investigation. *Scand J Med Sci Sports.* 2015;25(6):828-839. doi.org/10.1111/sms.12435.
64. McPherson AL, Schilaty ND, Anderson S, Nagai T, Bates NA. Arthrogenic muscle inhibition after anterior cruciate ligament injury: injured and injured limb recovery over time. *Front Sports Act Living.* 2023;21(5):1143376. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1143376>.
65. Riehm CD, Bonnette S, Rush JL, Diekfuss JA, Koohestani M, Myer G, et al. Corticomuscular cross-recurrence analysis reveals between-limb differences in motor control among individuals with ACL reconstruction. *Exp Brais Res.* 2024;242(2):355-365. doi.org/10.1007/s00221-023-06751-1.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.