

Quanto de perda volumétrica e de força do músculo quadríceps femoral é esperada no pós-operatório da reconstrução do ligamento cruzado anterior?

How much volumetric and strength loss of the quadriceps femoral muscle is expected in the post-operative reconstruction of the anterior cruciated ligament?

André Luis Menezes Schwansee Thiele¹, Jurandir Marcondes Ribas-Filho², Edilson Schwansee Thiele², Luis Fernando Menezes Schwansee Thiele¹, Ronaldo Mafia Cuenca³, Rafael Dib Possiedi⁴, Nelson Adami Andreollo⁵

RESUMO

Introdução: Observa-se, quando da lesão e/ou reconstrução do ligamento cruzado anterior, não somente que há diminuição da força, mas também da qualidade e da contração do quadríceps, além de atrofia muscular. A ressonância magnética e dinamometria isocinética têm oferecido melhor avaliação dos períodos pré e pós-cirúrgicos, podendo melhor monitorizar e prever a reabilitação pós-operatória.

Objetivos: Revisar o papel do volume e da força do músculo quadríceps femoral antes e após reconstrução do ligamento cruzado anterior e como estas medidas se correlacionam com as variáveis preditivas da força muscular pré e pós-operatória.

Método: Revisão integrativa colhendo informações em plataformas virtuais. Os textos foram selecionados do SciELO, Google Scholar, Pubmed e Scopus. Os descritores relacionados ao tema foram os seguintes: reconstrução do ligamento cruzado anterior; ressonância magnética; músculo quadríceps em português e inglês com busca AND ou OR, considerando o título e/ou resumo.

Resultados: Foi realizada a leitura da íntegra dos textos selecionados e incluídos 61 artigos.

Conclusão: Observou-se perda de volume e força do músculo quadríceps após a reconstrução. A perda da força muscular foi 4 vezes maior que a do volume pré-operatório e 2 vezes maior no pós-operatório com melhora após 4 meses da operação.

PALAVRAS-CHAVE: reconstrução do ligamento cruzado anterior; ressonância magnética; músculo quadríceps.

ABSTRACT

Introduction: When injured and/or reconstructed the anterior cruciate ligament, not only occurs decrease in strength, but also less contraction of the quadriceps, in addition to muscle atrophy. Magnetic resonance imaging and isokinetic dynamometry have offered better evaluation of the pre- and post-surgical periods and can better monitor and predict postoperative rehabilitation.

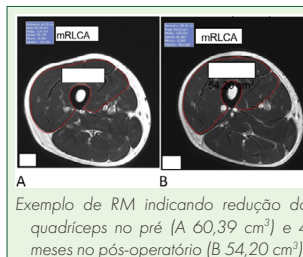
Objectives: To review the role of volume and strength of the quadriceps femoris muscle before and after reconstruction of the anterior cruciate ligament and how these measurements correlate with the predictive variables of pre- and postoperative muscle strength.

Method: Integrative review collecting information on virtual platforms. The texts were selected from SciELO, Google Scholar, Pubmed and Scopus. The descriptors related to the topic were the following: anterior cruciate ligament reconstruction; magnetic resonance imaging; quadriceps muscle in Portuguese and English with AND or OR search, considering the title and/or abstract.

Results: The entire selected texts were read and 61 articles were included.

Conclusion: A loss of volume and strength of the quadriceps muscle was observed after reconstruction. The loss of strength was 4 times greater than the preoperative volume and 2 times greater postoperatively, with improvement 4 months after the operation.

KEYWORDS: Anterior cruciate ligament reconstruction. Magnetic resonance. Quadriceps muscle.



Exemplo de RM indicando redução do quadríceps no pré (A 60,39 cm³) e 4 meses no pós-operatório (B 54,20 cm³)

Mensagem Central

A força do quadríceps femoral desempenha papel crucial na estabilidade do joelho, com função de absorção de impacto auxiliando na redução de carga nas estruturas articulares, e minimizando a repercussão sobre o joelho. Entretanto, a sua fraqueza tem sido a característica clínica mais marcante deste tipo de lesão, fortemente associada à predição de disfunção muscular permanente e osteoartrite. Assim, avaliar o volume e a força do músculo quadríceps antes e após reconstrução do ligamento cruzado anterior, e correlacionar quais variáveis são preditivas da diminuição delas no pós-operatório, é importante para estimar o déficit funcional que pode ocorrer ao paciente.

Perspectiva

A perda de força do músculo quadríceps femoral é estimada em ser 4 vezes maior do que a do volume no período pré-operatório, e 2 vezes maior com 4 meses de pós-operatório, indicando melhora e início da recuperação após 4 meses da operação. A principal variável preditiva da força muscular no pós-operatório foi a força muscular antes do procedimento. Esta, por sua vez, deve ser determinada principalmente pelo volume muscular prévio e tempo da lesão.

¹Instituto Presbiteriano Mackenzie, São Paulo, SP, Brasil;

²Colégio Brasileiro de Cirurgia Digestiva, São Paulo, SP, Brasil;

³Centro de Clínica Cirúrgica, Hospital Universitário de Brasília, Universidade de Brasília, DF, Brasil;

⁴Ross Tilley Burn Centre, Sunnybrook Hospital, University of Toronto, Ontario, Canada;

⁵Departamento de Cirurgia, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas SP, Brasil

Conflito de interesse: Nenhum | Financiamento: Em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001 | Recebido em: 17/03/2024 | Aceito em: 15/05/2024 | Correspondência: andrelmstiele@hotmail.com | Editor Associada: Rafaela Fernandes Gonçalves

Como citar:

Thiele ALMS, Ribas-Filho JM, Thiele ES, Thiele LFMS, Cuenca RM, Possiedi RD, Andreollo NA. Quanto de perda volumétrica e de força do músculo quadríceps femoral é esperada no pós-operatório da reconstrução do ligamento cruzado anterior?. BioSCIENCE. 2024;82:e033

INTRODUÇÃO

A lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) é afecção frequente, com incidência estimada no Brasil de 32-78 operações de reconstrução do LCA (RLCA) por 1.000 pessoas/ano, mais frequentes em homens praticantes de alguma atividade esportiva.^{1,2}

O joelho é uma das maiores e mais utilizadas articulações do corpo humano, sujeita a variedade de forças e movimentos durante as atividades diárias, esportes e outras práticas físicas.³ LCA é 1 dos 4 ligamentos principais do joelho, frequentemente mais suscetível às lesões devido à sua posição central e ao seu papel vital na estabilização do joelho. Sua principal função é controlar e limitar os movimentos de rotação e translação do joelho, sendo responsável por 86% da restrição à anteriorização da tibia, impedindo que ela deslize para frente em relação ao fêmur, além de manter a estabilidade articular durante atividades que envolvem mudanças rápidas de direção.³

A força do quadríceps femoral desempenha papel crucial na estabilidade do joelho, com função de absorção de impacto durante atividades como corrida e saltos, auxiliando na redução de carga nas estruturas articulares, incluindo a cartilagem, e minimizando a repercussão sobre o joelho.³ Entretanto, a sua fraqueza 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 há diminuição da força, mas também da qualidade e da contração do 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 contralateral.^{1,11-16}, além do mesmo efeito deletério determinado também pela imobilização.^{17,18} A produção de força do 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 no membro lesionado e no membro contralateral.^{1,16}

Uma unidade motora é constituída por 1 neurônio motor e pelas fibras musculares que inerva.¹⁹ A inibição reflexa, associada ao desuso do membro afetado, também leva à reorganização neural cortical, com 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} Autores indicam, ainda, que a força e o volume muscular estão fortemente associados com o tamanho das unidades motoras e que a inibição neural determina também atrofia destas estruturas.^{1,6,11,12,20} Embora esta resposta muscular tenha a função de proteger a área lesada, também é responsável pela disfunção muscular prolongada e menor capacidade de reabilitação. A superação desta inibição muscular artrogênica 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 Assim, o conhecimento do comportamento do volume e da força do quadríceps antes e após RLCA pode permitir melhor orientação terapêutica e recuperação pós-operatória.

Os objetivos desta revisão foram avaliar o volume e a força do músculo quadríceps femoral antes e após RLCA, verificando como essas medidas se correlacionam e quais as principais variáveis determinantes da força do músculo quadríceps femoral no pré e pós-operatório.

MÉTODO

Esta é revisão integrativa colhendo informações em plataformas virtuais. Os textos foram selecionado do SciELO, Google Scholar, Pubmed e Scopus. Os descritores relacionados ao tema foram os seguintes: reconstrução do ligamento cruzado anterior; ressonância magnética; músculo quadríceps em português e inglês com busca AND ou OR, considerando o título e/ou resumo. Após, considerando-se somente os que tinham maior relação, foi realizada a leitura da íntegra dos textos e incluídos 61 artigos.

DISCUSSÃO

O ligamento cruzado anterior (LCA)

Ele é estrutura anatômica de 30 mm de comprimento e 10 mm de largura, composto predominantemente de fibras de colágeno, perfeitamente alinhadas, que ligam a parede lateral da incisura intercondilar femoral ao platô tibial anteromedial, garantindo melhor resistência para os movimentos contínuos e complexos da articulação do joelho.³ Suas propriedades como comprimento, área de secção transversal, volume, número de feixes, orientação angular, forma do tecido, orientação e torção das fibras, além de propriedades do local de inserção, entre outros parâmetros, são importantes para a orientação do procedimento terapêutico cirúrgico. A área e o comprimento da secção transversal do LCA, por exemplo, podem ser utilizados para determinar o tamanho do enxerto, enquanto a orientação angular pode informar sobre a melhor colocação do túnel ósseo.³

Ruptura do LCA e fatores de risco

Essa ruptura é das lesões que mais afetam os praticantes de esportes, representando mais da metade das lesões de joelho que envolvem rotações e mudanças repentinas de direção, como no futebol, basquete e futebol americano, ocorrendo em cerca de 68,6/100.000 pessoas por ano.²¹⁻²³ Sua maior parte (70%) ocorre sem contato, em movimentos de lateralidade, rotação e pouso. As lesões de LCA tem grande impacto pessoal financeiro e emocional, com perdas de temporadas de esporte, bolsas acadêmicas esportivas, performance acadêmica e capacidade funcional, com maior risco também de desenvolvimento de osteoartrite de joelho.^{4,23-26} A incidência dessa lesão, considerando atletas masculinos e femininos, é de 2,8%, o que equivale a 1 lesão do LCA para cada 36 atletas, sendo de 1 para cada 29 atletas mulheres e 1 para cada 50 homens, sendo, portanto, 1,5 vezes mais frequente no sexo feminino. Esta maior predisposição está associada às peculiaridades anatômicas, efeitos hormonais, controle

neuromuscular e biomecânica feminina que incluem LCA mais largo, incisura intercondilar mais estreita, maior inclinação do platô lateral da tíbia, maior frouxidão ligamentar e, habitualmente, maior índice de massa corporal.^{27,28} Atletas amadores são os que possuem maior risco de lesão do LCA, seguido pelos atletas de elite e atletas intermediários. O risco de segunda lesão é maior que 20% em ambos os sexos.^{29,30}

Sua etiologia é multifatorial e tem sido motivo de vários estudos. Alguns deles apontam para variáveis morfológicas, outros indicam que história familiar de lesão do LCA representa risco 2,5 vezes maior de sofrer da mesma afecção.²⁸⁻³¹ Bayer et al³², em revisão sistemática incluindo 5.834 lesões, observaram que o estreitamento da incisura intercondilar foi a variável mais frequentemente associada à ela, com largura média significativamente menor do que nos joelhos não afetados, com risco 7 vezes maior com largura inferior a 17 mm. O formato da incisura, com ápice estreito, também esteve associado com risco 2,3 vezes maior de lesão do LCA do que o formato mais largo com duplo ápice. Outras variáveis encontradas foram, ainda, a morfologia condilar, raio da curvatura femorocondilar e morfologia do platô tibial. Estes aspectos anatômicos podem ser decisivos na escolha do tamanho do enxerto e sucesso da RLCA.

Academia Americana de Cirurgiões Ortopédicos³³ disponibilizou resumo das diretrizes de prática clínica do manejo das lesões do LCA indicando que: a) RLCA deve ser feita precocemente, desde que lesões adicionais de meniscos e cartilagem começam a surgir a partir de 3 meses da lesão; b) técnicas com feixe único ou feixe múltiplo possuem resultados semelhantes; c) deve-se dar preferência ao autoenxerto; d) programas de prevenção de lesão de LCA devem ser incentivados especialmente entre atletas; e) reconstrução do ligamento lateral anterior ou a tenodese extra-articular lateral deve ser considerada, quando da reconstrução com autoenxerto de isquiotibiais, para reduzir a falha do enxerto e melhorar a função em curto prazo; f) aspiração de efusões dolorosas podem ser consideradas, quando necessárias; g) RLCA é considerada de baixo risco, especialmente em pacientes jovens e mais ativos fisicamente; e h) lesões meniscais associadas devem ser igualmente corrigidas.

A reconstrução do LCA

Nos últimos 20 anos tem-se observado aumento expressivo do número de casos de RLCA passando, nos Estados Unidos da América, de 32,9/100.00 em 1994³² para 74,6/100.00 em 2014³², com mais de 175.000 RLCA realizadas por ano.³⁴ O tratamento conservador está indicado para aqueles indivíduos com pouca atividade física e sem outras lesões associadas, mas a melhora funcional após a RLCA parece ser maior do que após o tratamento conservador. O tratamento conservador pode resultar em instabilidade articular persistente e lesão meniscal. O cirúrgico, além das complicações pós-operatórias imediatas como infecção, trombose profunda e complicações anestésicas, pode cursar com instabilidade recorrente, artrofibrose, lesão neurovascular, dor no joelho e lesão do LCA contralateral. A escolha do tratamento

depende de múltiplos fatores como idade, comorbidades e desejo de manutenção da atividade física desportiva.³⁵

Sugere-se, assim, que sejam utilizados autoenxertos, considerando os critérios principais de características do paciente, idade e necessidade de atividade física, para tal decisão.³³

Volume e força do músculo quadríceps femoral

RLCA do joelho é operação importante para restaurar a estabilidade do joelho e permitir que ocorra retorno às atividades cotidianas e esportivas após lesão ligamentar grave. No entanto, pode levar à deficiência de força e função do quadríceps e performance biomecânica.²¹

A força do quadríceps está entre as variáveis importantes para restauração da atividade física e prática esportiva com segurança e menor risco de lesões reincidentes. Déficits de força deste grupo muscular estão associados ao maior risco de ruptura do enxerto na ordem de 10 vezes para cada 10% de redução da relação entre a força dos músculos isquiotibiais e quadríceps.³⁶

Muitos autores referem que há perda de força muscular do quadríceps após a RLCA, o que tem impacto negativo na recuperação pós-operatória e no retorno às atividades físicas e desportivas.^{18,21,23,37} A atrofia e diminuição dessa força ocorre rapidamente após a imobilização dos membros inferiores, com perda de massa muscular observada já com 5 dias de imobilização, atingindo seu ponto máximo com 2 semanas. Curran et al.²¹ e Garcia et al.¹⁸ observaram que a assimetria de força muscular do quadríceps é maior que 20% com 9-12 meses após a RLCA, diminuindo para 10% com 18-24 meses. Ao mesmo tempo, a imobilização indicada no pós-operatório de RLCA tem finalidade primordial de proteger o enxerto.

Entretanto, alguns outros fatores podem contribuir para maior ou menor perda de força deste importante grupo muscular do joelho. O bloqueio do nervo femoral e o torniquete intraoperatório parecem aumentar a atrofia e diminuir a força do quadríceps, enquanto o treinamento com restrição de fluxo sanguíneo e uso de suplementos podem ter efeito contrário.^{17,38}

Outros autores relacionam a perda muscular ao tipo de técnica cirúrgica utilizada.^{39,40-42} Alguns estudos apontam para a atrofia e diminuição do volume muscular do quadríceps após a RLCA^{17,18,21,34} e poucos postulam que a área e o volume têm correlação com sua força.^{7,25} Hunnicut et al.⁴³ relataram redução na movimentação voluntária do volume do quadríceps associada a 60% da variação da sua força muscular em 6 meses no pós-operatório. Na revisão sistemática conduzida por Birchmeier et al.³⁴ observou-se que dos 11 estudos selecionados, em apenas 4 foi encontrada diferença entre os membros e entre os períodos pré e pós-operatório. Verificou-se que há pequena diminuição da área e do volume do quadríceps, sem significado clínico relevante e sem associação expressiva com a fraqueza muscular pós-operatória na RLCA, indicando que outras variáveis como composição das fibras musculares, conteúdo de gordura muscular e inervação podem estar envolvidos. Ainda, apontaram para a importância do treinamento isquêmico e de resistência para melhorar a função deste grupo muscular.⁴⁴ A fraqueza muscular é considerada, assim, das

principais sequelas da RLCA, que pode ser responsável por provocar diminuição de desempenho funcional, modificações no padrão de deambulação, diminuição da espessura da cartilagem do joelho e, assim, aumentar o risco de reincidência da lesão.⁴⁵

A inibição muscular reflexa é a principal causa determinante da atrofia e fraqueza muscular^{14,16} que se segue após a lesão do LCA. Essa lesão, com consequente RLCA e imobilização, levam à diminuição da excitabilidade corticoespinal e inibição do reflexo muscular artrogênico, com redução do recrutamento de unidades motoras. Este fenômeno, associado à ação de citocinas inflamatórias, aumenta o número de fibras desnervadas e, com o tempo, começa a haver substituição de fibras rápidas por fibras lentas, infiltração gordurosa, com desenvolvimento de atrofia e fraqueza muscular, responsável pela disfunção muscular prolongada e menor capacidade de reabilitação, que leva, novamente a inibição corticoespinal e do reflexo muscular artrogênico, em círculo vicioso (Figura 1).^{1,6,11,13-16,20,46}

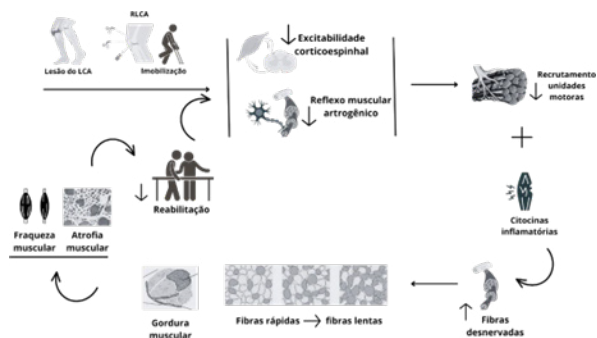


FIGURA 1 — Infográfico ilustrando o mecanismo de atrofia e fraqueza muscular após a lesão do LCA e o mecanismo de atrofia e fraqueza muscular persistente

A mensuração de volume do quadríceps obtido por ressonância magnética é método de imagem que permite avaliar o volume e a composição muscular do quadríceps, sem exposição à radiação ionizante. Este método fornece informações detalhadas sobre a anatomia e fisiologia muscular, incluindo a distribuição de gordura e tecido conjuntivo, permitindo avaliação mais completa dos desequilíbrios musculares (Figura 2).³⁴

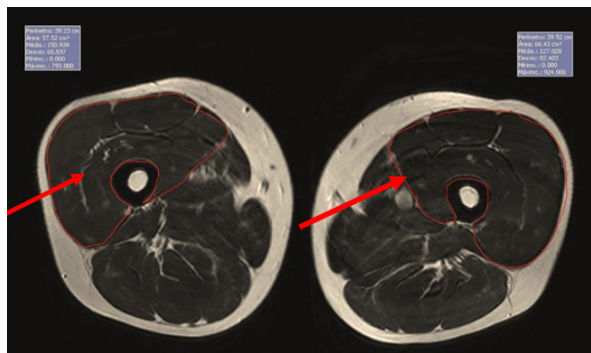


FIGURA 2 — RM do músculo quadríceps femoral excluindo o osso e a gordura subcutânea, com as setas indicando os volumes circunscritos pelas linhas vermelhas no membro com lesão LCA (esquerda) e membro contralateral (direita) no pré-operatório.

A dinamometria isocinética (Figuras 3A, B, C) é considerada como o melhor método para avaliação da força muscular após a RLCA. Os testes realizados com altas velocidades simulam a situação de atividade desportiva, enquanto em baixa permite detectar déficits de força.³⁶ É técnica que permite quantificar a força, trabalho e potência muscular em diferentes posições e pode ser realizada de 3 maneiras diferentes: isométrica, dinâmica e isocinética. A dinamometria isométrica mede a força máxima em diferentes posições articulares, enquanto a dinâmica avalia a força durante contrações concêntricas ou excêntricas, sendo útil para simulações de atividades da vida diária. Já na dinamometria isocinética, a velocidade é constante e predeterminada, permitindo avaliar a força máxima que pode ser gerada pelo músculo em cada posição.⁴⁷ Durante a avaliação isocinética, solicita-se que o paciente realize movimentos em velocidade constante, com amplitude de movimento pré-definida. O exame permite verificar a eficácia da reabilitação em pacientes com lesões musculoesqueléticas, monitorar a recuperação muscular e auxiliar na tomada de decisões clínicas, como o momento certo para o retorno às atividades esportivas.⁴⁸

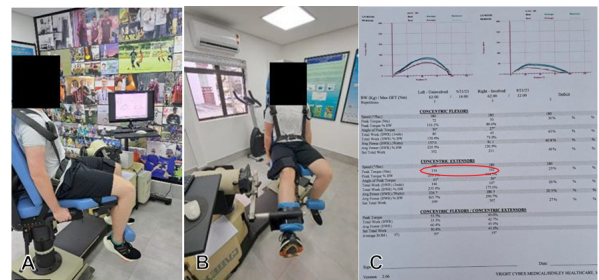


FIGURA 3 — Dinamometria isocinética com paciente na cadeira flexo-extensora realizando: A) trabalhos excêntrico e concêntrico; B) dinamometria isocinética em movimentação; C) resultado da dinamometria isocinética

A restauração da força muscular do quadríceps está entre os 6 critérios para permissão de retorno às atividades desportivas, e a fisioterapia supervisionada parece ter papel fundamental para isso. Czamara et al.⁴⁹ indicaram que 6 meses de fisioterapia supervisionada com 60 ou mais sessões resultaram em melhor recuperação dos músculos flexores e extensores do joelho.

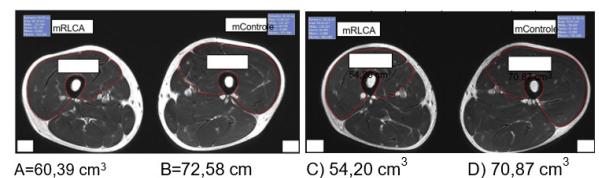


FIGURA 4 — Exemplo de ressonância magnética de paciente indicando o volume do quadríceps no período pré-operatório (A e B) e 4 meses no pós-operatório (C e D)

A Figura 4 ilustra RM de mesmo paciente com 4 meses de pós-operatório com volume do quadríceps de 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.

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%)^{32,43}, impossibilidade de retorno às atividades desportivas amadoras e/ou profissionais (17% a 65%)^{28,37,50,51}, osteoartrite (33% a 51%)^{26,50,52}, reincidência da lesão do LCA (3% a 35%)^{27,36,50-52} ou de ligamentos correlatos (8%)⁵¹, são elevados.

Assim, verifica-se na literatura recente, a busca pela melhor compreensão dos fatores e mecanismos que possam estar associados a estes tipos de insucessos, marcados por, pelo menos, 21 revisões sistemáticas nos últimos 5 anos.^{3,17,22,27-32,34,41,50,53-62}

CONCLUSÃO

A perda de força do músculo quadríceps femoral é estimada em ser 4 vezes maior do que a do volume no período pré-operatório, e 2 vezes maior com 4 meses de pós-operatório, indicando melhora e início da recuperação após 4 meses da operação. A principal variável preditiva da força muscular no pós-operatório foi a força muscular antes do procedimento. Esta, por sua vez, foi determinada principalmente pelo volume muscular prévio e tempo da lesão.

Contribuição dos autores

Conceituação: André Luis Menezes Schwansee Thiele

Análise formal: Edilson Schwansee Thiele

Metodologia: Jurandir Marcondes Ribas-Filho

Redação (esboço original): Todos os autores

Redação (revisão e edição): Todos os aut ores

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. *PeerJ*. 2023;6(11):e16261. Doi: 10.7717/peerj.16261
2. Costa LA, Foni NO, Antonoli E, Carvalho RT, Paiao ID, Lenza M, et al. Analysis of 500 anterior cruciate ligament reconstructions from a private institutional register. *PlosOne*. 2018;13(1):e0191414. Doi: 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: 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):349-55. Doi: 10.1136/bjsports-2021-104861
5. Holmgren D, Noory S, Mosntröm E, Grindem H, Stålmán 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: 10.1177/03635465231209442
6. Sherman DA, Baumeister J, Stock MS, Murray AM, Bazett-Jones DM, Norte GE. Weaker quadriceps corticospinal coherence in individuals after reconstruction during force tracing. *Med Sci Sports Exerc*. 2023;55(4):625-32. Doi: 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: 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):402-7. Doi: 10.1177/0363546504268042
9. Tsai LC, 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):3367-76. Doi: 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):533-8. Doi: 10.1016/j.jsams.2023.09.009
11. Rush JL, Glaviano NR, Norte GE. Assessment of quadriceps corticospinal 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):961-90. Doi: 10.1007/s40279-020-01403-8
12. Pette D, Staron RS. Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions. *Microsc Res Tech*. 2000;50(6):500-9. Doi: 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):1091-102. Doi: 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):840-50. Doi: 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):4753-69. Doi: 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: 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: 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):271-8. Doi: 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. Doi: 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):281-94. Doi: 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):2438-446. Doi: 10.1177/0363546520940310
22. Pairat de Fontenay B, Willy RW, Elias ARC, Mizner RL, Dubé MO, Roy JS. Running biomechanics in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *Sports Med*. 2019;49(9):1411-24. Doi: 10.1007/s40279-019-01120-x
23. Garcia SA, Moffitt 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 Athl Train*. 2020;55(3):246-54. Doi: 10.4085/1062-6050-38-19
24. 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: a cross-sectional study. *J Athl Train*. 2018;53(5):475-85. Doi: 10.4085/1062-6050-102-17
25. 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: 10.1016/j.joca.2018.05.011
26. Lie MM, Risberg MA, Storheim K, Engebretsen I, 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):1162-7. Doi: 10.1136/bjsports-2018-099751
27. 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):873-82. Doi: 10.1136/bjsports-2020-103408

28. Sun Z, Cieszczyk 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):105-17. Doi: 10.5114%2Fjhk%2F163073
29. Montalvo AM, Schneider DK, Webster KE, Yut L, Galloway MT, Heidt RS, et al. Anterior cruciate ligament injury risk in sport: A Systematic review and meta-analysis of injury incidence by sex and sport classification. *J Athl Train.* 2019;54(5):472-82. Doi: 10.4085/1062-6050-407-16
30. Montalvo AM, Schneider DK, Yut L, Webster KE, Beynnon B, Kocher MS, et al. "What's my risk of sustaining an ACL injury while playing sports?" A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2019;53(16):1003-12. Doi: 10.4085/1062-6050-407-16
31. Hasani S, Feller JA, Webster KE. Familial Predisposition to anterior cruciate ligament injury: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med.* 2022;52(11):2657-68. Doi: 10.1007/s40279-022-01711-1
32. 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):703-18. Doi: 10.2106/jbjs.19.00535
33. Brophy RH, Lowry KJ. American Academy of Orthopaedic Surgeons Clinical Practice Guideline Summary: Management of anterior cruciate ligament injuries. *J Am Acad Orthop Surg.* 2023;31(11):531-7. Doi: 10.5435/jaaos-d-22-01020
34. 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: 10.1002/jor.24489
35. Rodriguez K, Soni M, Joshi PK, Patel SC, Shreya D, Zamora DI, et al. Anterior cruciate ligament injury: Conservative versus surgical treatment. *Cureus.* 2021;13(12):e20206. Doi: 10.7759%2Fcureus.20206
36. 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):3145-50. Doi: 10.1519/jsc.0000000000002491
37. Niederer D, Kalo K, Vogel J, Wilke J, Giesche F, Vogt L, et al. 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: 10.1080/00222895.2019.1570909
38. Moran U, Gottlieb U, Gam A, Springer S. Functional electrical stimulation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled pilot study. *J Neuroeng Rehabil.* 2019;16(1):89. Doi: 10.1186/s12984-019-0566-0
39. 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: 10.1080/00913847.2018.1526627
40. Hunnicutt JL, Gregory CM, Mcleod MM, Woolf SK, Chapin RW, Slone HS. Quadriceps recovery after anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon versus patellar tendon autografts. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(4):2325967119839786. Doi: 10.1177/2325967119839786
41. 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):2918-33. Doi: 10.1007/s00167-020-06311-y
42. Wilson WT, Banger MS, Hopper GP, Blyth MJG, Mackay GM, Riches PE. Deficits in muscle strength are not seen following recovery from augmented primary repair of anterior cruciate ligament tears. *J ISAKOS.* 2023;8(6):436-41. Doi: 10.1016/j.jisako.2023.09.008
43. 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):238-45. Doi: 10.4085%2F1062-6050-516-18
44. Zargi TG, Drobnic 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.
45. Johnson AK, Rodriguez KM, Lepley AS, Palmieri-Smith RM. Quadriceps torque complexity before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Sports Med.* 2023;26(10):533-8. Doi: 10.1016/j.jsams.2023.09.009
46. 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):828-39. Doi: 10.1111/sms.12435
47. Laboute E, Verhaeghe E, Ucay O, Minden A. Evaluation kinaesthetic proprioceptive deficit after knee anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction in athletes. *J Exp Orthop.* 2019;6(1):6. Doi: 10.1186%2Fs40634-019-0174-8
48. 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):1336-44. Doi: 10.1123/ijspp.2023-0108
49. 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: 10.3390%2Fijerph182010588
50. 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):1751-69. Doi: 10.1007/s40279-021-01433-w
51. 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):5207-20. Doi: 10.1007/s00402-023-04835-9
52. 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):201-12. Doi: 10.1123/jsr.2016-0141
53. 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):e1589-93. Doi: 10.1016/j.eats.2023.05.008
54. 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: 10.3390/ijerph192315893
55. 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: 10.1186/s12891-020-03676-6
56. 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):163-79. Doi: 10.1177/1941738118822739
57. 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: 10.1055/s-0040-1712947
58. Cronström A, Creaby MW, Ageberg E. Do knee abduction kinematics and kinetics predict future anterior cruciate ligament injury risk? A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;20(21):563. Doi: 10.1186/s12891-020-03552-3
59. 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):912-20. Doi: 10.1055/a-1144-3111
60. Kellis E, Sahinis C, Baltzopoulos V. Is hamstrings-to-quadriceps torque ratio useful for predicting anterior cruciate ligament and hamstring injuries? A systematic and critical review. *J Sport Health Sci.* 2023;12(3):343-58. Doi: 10.1016/j.jshs.2022.01.002
61. 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: 10.1186/s12891-023-06489-5
62. Crupzacki AP, Pereira CIP, Skare TL. Lesões musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho em indivíduos em home office durante a pandemia COVID-19. *BioSCIENCE.* 2022;80(2):28-31. Doi: 10.55684/80.2.6