

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM FISIOTERAPIA

IGOR JOSÉ DAS NEVES
JULIE CATARINE DORNELAS BORGES
PAULO FERREIRA DA SILVA

**Eficácia da Estimulação Elétrica Neuromuscular na Reabilitação do Quadríceps
Pós-Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior: Uma Revisão Integrativa**

RECIFE/2025

IGOR JOSÉ DAS NEVES
JULIE CATARINE DORNELAS BORGES
PAULO FERREIRA DA SILVA

**Eficácia da Estimulação Elétrica Neuromuscular na Reabilitação do Quadríceps
Pós-Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior: Uma Revisão Integrativa**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Disciplina TCC II do Curso de Bacharelado em
Fisioterapia do Centro Universitário Brasileiro -
UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão do
curso.

Orientadora: Prof. Me. Débora dos Santos Silva/
Prof.Me. Mabelle Gomes de Oliveira Cavalcanti

RECIFE/2025

IGOR JOSÉ DAS NEVES
JULIE CATARINE DORNELAS BORGES
PAULO FERREIRA DA SILVA

**EFICÁCIA DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA NEUROMUSCULAR NA
REABILITAÇÃO DO QUADRÍCEPS PÓS-RECONSTRUÇÃO DO
LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR: Uma revisão integrativa**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Disciplina TCC II do Curso de Fisioterapia do Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Examinadores:

Prof.^a Me. Débora dos Santos Silva/Mabelle Gomes de Oliveira Cavalcanti

Prof.^aIsabella Lins Coelho - Especialista em Acupuntura

Prof.^aRaiana Apolinário de Paula - Doutora em Bioquímica e Fisiologia

Nota: _____

Data: ____/____/____

RESUMO

O ligamento cruzado anterior (LCA) é fundamental para a estabilidade do joelho e frequentemente lesionado em atividades esportivas que envolvem movimentos de rotação, desaceleração e salto. Após a reconstrução cirúrgica, a perda de força do quadríceps, associada à inibição muscular artrogênica, representa um dos principais desafios do processo de reabilitação. Diante disso, este estudo teve como objetivo analisar a eficácia da estimulação elétrica neuromuscular (EENM) na reabilitação do quadríceps em pacientes submetidos à reconstrução do LCA, por meio de uma revisão integrativa da literatura. A busca foi realizada nas bases de dados PubMed, LILACS e ScienceDirect, no período de 2015 a 2025, utilizando os descritores “ligamento cruzado anterior”, “reabilitação” e “estimulação elétrica neuromuscular”, em português e inglês. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, cinco estudos experimentais e quase-experimentais foram selecionados para análise. Os resultados demonstraram que a EENM, especialmente quando associada a exercícios terapêuticos e funcionais, promove aumento significativo da força do quadríceps, redução da inibição muscular artrogênica, melhora da simetria entre os membros inferiores e aceleração do retorno às atividades funcionais. Apesar dos benefícios observados, os estudos analisados apresentam heterogeneidade quanto aos protocolos e parâmetros de aplicação, o que limita a padronização clínica. Conclui-se que a EENM é um recurso eficaz e seguro como complemento à reabilitação fisioterapêutica pós-reconstrução do LCA, contribuindo para a recuperação funcional do quadríceps, desde que inserida em programas individualizados e bem estruturados.

Palavras Chaves: Ligamento Cruzado Anterior”, “Reabilitação”, “Terapia por Estimulação Elétrica”.

Efficacy of Neuromuscular Electrical Stimulation in Quadriceps Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: An Integrative Review

ABSTRACT

The anterior cruciate ligament (ACL) is fundamental for knee stability and is frequently injured in sports activities involving rotational, deceleration, and jumping movements. After surgical reconstruction, the loss of quadriceps strength, associated with arthrogenic muscle inhibition, represents one of the main challenges in the rehabilitation process. Therefore, this study aimed to analyze the effectiveness of neuromuscular electrical stimulation (NMES) in quadriceps rehabilitation in patients undergoing ACL reconstruction, through an integrative literature review. The search was conducted in the PubMed, LILACS, and ScienceDirect databases, from 2015 to 2025, using the descriptors "anterior cruciate ligament," "rehabilitation," and "neuromuscular electrical stimulation," in Portuguese and English. After applying the inclusion and exclusion criteria, five experimental and quasi-experimental studies were selected for analysis. The results demonstrated that NMES, especially when associated with therapeutic and functional exercises, promotes a significant increase in quadriceps strength, reduction of arthrogenic muscle inhibition, improvement of symmetry between the lower limbs, and acceleration of the return to functional activities. Despite the observed benefits, the analyzed studies show heterogeneity regarding protocols and application parameters, which limits clinical standardization. It is concluded that NMES is an effective and safe resource as a complement to physiotherapy rehabilitation after ACL reconstruction, contributing to the functional recovery of the quadriceps, provided it is included in individualized and well-structured programs.

Keywords: Anterior Cruciate Ligament”, “Rehabilitation”, “Electrical Stimulation Therapy”.

SUMÁRIO

1. Introdução.....06
2. Materiais e métodos.....07
3. Resultados.....08
4. Discussão.....14
5. Conclusão.....15
Referência.....16

1 Introdução

Na anatomia do joelho são encontrados ligamentos importantes para sua articulação, dois que conecta o fêmur à tibia; os ligamentos colaterais (medial e lateral) que unem as partes internas e externas do joelho, além dos dois intra-articulares que fazem a ligação dos ossos dentro da articulação. Estes são os responsáveis pela estabilidade e flexibilidade articular denominados como ligamentos cruzado anterior (LCA) e cruzado posterior (LCP)¹.

O LCA exerce a função de evitar a anteriorização da tibia em relação ao fêmur, limitando também a rotação interna do joelho. Este ligamento é essencial para o controle da cinemática articular, especialmente em atividades que envolvem desaceleração, mudança de direção, saltos e aterrissagens. O mecanismo de ação do LCA está diretamente ligado à estabilização passiva do joelho, contribuindo para o alinhamento dinâmico da articulação durante o movimento. Em situações de estresse mecânico excessivo, como movimentos rotacionais abruptos ou hiperextensão forçada, o LCA pode ser submetido a forças além de sua capacidade elástica, resultando em lesões².

Estes ligamentos apresentam uma média de 38 mm de comprimento e uma espessura de 11 mm. Na histologia, são semelhantes aos tendões, no entanto, o LCA apresenta fibras com maior quantidade de elastina, garantindo uma melhor flexibilidade e resistência na prática de alongamentos extensos. Os músculos quadríceps, isquiotibiais, gastrocnêmios, poplíteo, plantar, grácil e sartório também fazem parte da articulação supracitada³.

A articulação do joelho é uma das mais complexas e exigidas biomecânica no corpo humano. Fatores como instabilidade ligamentar, desalinhamentos estruturais, desequilíbrio muscular, fadiga, além de impactos diretos ou torções bruscas, podem comprometer sua integridade. Essas causas, associadas a padrões de movimento inadequados, aumentam o risco de lesões, especialmente em indivíduos fisicamente ativos. No caso do LCA, a insuficiência funcional ou a lesão completa levam a uma perda significativa da estabilidade anteroposterior e rotacional do joelho, prejudicando o controle postural e a capacidade de suportar cargas durante a marcha ou atividades esportivas⁴.

Pode-se encontrar três graus das lesões: no primeiro grau, é observada uma lesão ligamentar leve que ainda preserva a estabilidade articular; no segundo grau, já se tem uma ruptura parcial das fibras do ligamento, causando uma frouxidão ligamentar; e no terceiro grau, é a pior das lesões, que é quando se tem uma ruptura completa do ligamento e bastante instabilidade⁵.

A recuperação bem-sucedida não se baseia apenas na cirurgia, mas também em um protocolo de reabilitação adequado. A fisioterapia desempenha um papel essencial nesse processo, contribuindo para acelerar a recuperação, minimizar o risco de novas lesões e aprimorar o desempenho atlético no retorno ao esporte⁶.

Para garantir uma boa reabilitação no pós-operatório, a fisioterapia atua de forma intensa com aplicações de técnicas específicas, visando uma boa recuperação do atleta e minimizando os riscos de uma nova lesão. Entre os recursos fisioterapêuticos utilizados, destaca-se a eletroterapia, uma modalidade que emprega correntes elétricas com fins terapêuticos, sendo fundamental no controle da dor, redução de edema, estimulação da musculatura e aceleração do processo de cicatrização tecidual⁷.

A estimulação elétrica neuromuscular, conhecida como eletroterapia, constitui uma abordagem fisioterapêutica que visa ativar as contrações musculares por meio da aplicação de correntes elétricas de baixo nível. Essa técnica tem como objetivo prevenir os efeitos adversos decorrentes de processos de imobilização e de procedimentos cirúrgicos, apresentando ampla aplicabilidade clínica. Além disso, a eletroterapia contribui para a redução do tempo de recuperação do paciente⁸.

Após uma lesão do joelho, é comum ocorrer uma alteração nas relações entre a força do quadríceps e o desempenho funcional do indivíduo, caracterizada pela dificuldade em realizar contrações voluntárias da musculatura, mesmo na ausência de danos musculares ou nervosos. Essa condição é conhecida como inibição muscular artrogênica, definida como uma inibição reflexa contínua do quadríceps, que dificulta a contração voluntária da musculatura extensora do joelho⁹.

No pós-operatório, as fibras musculares afetadas não recuperam completamente seu tamanho quando os pacientes retornam às atividades, o que pode levar à atrofia muscular. Nesse contexto, a eletroestimulação elétrica neuromuscular (EENM) surge como uma estratégia para mitigar a perda de massa e força muscular⁷. Nos dois primeiros meses após a reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA), os principais objetivos

do tratamento incluem a recuperação da amplitude de movimento (ADM), a redução do edema e a restauração da força muscular¹⁰.

A EENM é um método que favorece o fortalecimento e o recrutamento de unidades motoras, promovendo uma melhora na amplitude do movimento articular do joelho. Além disso, quando aplicados com parâmetros adequados à excitabilidade do músculo, os estímulos elétricos contribuem para minimizar a hipotrofia muscular, auxiliando na recuperação funcional¹⁷.

A EENM promove a contração muscular por meio da aplicação de correntes elétricas nos músculos-alvo e é comumente utilizada nos programas iniciais de reabilitação, potencializando a contração muscular e contornando os efeitos da inibição artrogênica após a cirurgia⁷. Essa técnica pode ser aplicada de forma isolada ou combinada com atividades funcionais e programas de reabilitação convencionais. Entretanto, há divergências quanto aos parâmetros ideais da EENM, incluindo tamanho do eletrodo, frequência, intensidade, duração de pulso, tipo de corrente, ciclo de trabalho, tempo de rampa e ângulo do joelho, fatores que podem dificultar a padronização de protocolos terapêuticos voltados ao fortalecimento do quadríceps¹¹.

Dessa forma, o objetivo é sintetizar e analisar eficácia da eletroterapia no pós-operatório de pacientes submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior, considerando seus efeitos na recuperação da força dos membros inferiores.

2. Materiais e Métodos

Este estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa, cujo objetivo é reunir, analisar e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre o uso da eletroterapia em pacientes submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior (RLCA). A partir da identificação dos temas centrais relacionados ao controle da dor, recuperação funcional e desempenho, foi formulada a seguinte questão norteadora: “Qual é o impacto da estimulação elétrica neuromuscular sobre o fortalecimento muscular do quadríceps em pacientes submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior?”

A estratégia de identificação e seleção dos estudos ocorreu por meio de publicações indexadas nas bases de dados eletrônicas PubMed, LILACS e ScienceDirect, no período entre 2015 e 2025. Foram incluídos artigos publicados em português e inglês, disponíveis na íntegra, que abordassem a utilização da estimulação elétrica neuromuscular no LCA.

Para a busca dos artigos, utilizaram-se os seguintes Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e seus correspondentes em inglês (Mesh): “Ligamento Cruzado Anterior”, “Reabilitação”, “Terapia por Estimulação Elétrica”, assim como em inglês: “Anterior Cruciate Ligament”, “Rehabilitation”, “Electrotherapy”. O operador booleano **AND** foi aplicado conforme a estratégia descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Bases de dados e descritores utilizados

Table 1 – Databases and descriptors used

Base de Dados	Descritores Aplicados
PubMed	“Anterior Cruciate Ligament” AND “Rehabilitation” AND “Electrotherapy”
LLACS	“Rehabilitation” AND “Anterior Cruciate Ligament” AND “Electrotherapy”
ScienceDirect	“Anterior Cruciate Ligament” AND “Rehabilitation” AND “TENS” AND “Electrotherapy”

Fonte: Autoria própria, 2025.

Source: Author's own work, 2025.

Os critérios de elegibilidade foram estruturados com base na ferramenta PICOT (População, Intervenção, Comparação, Desfechos e Tipo de estudo). Considerou-se como população pacientes submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior; a intervenção foi a aplicação da eletroterapia em diferentes intensidades; os desfechos envolveram melhora funcional e o tipo de estudo foi ensaio clínico, conforme demonstrado na Tabela 2.

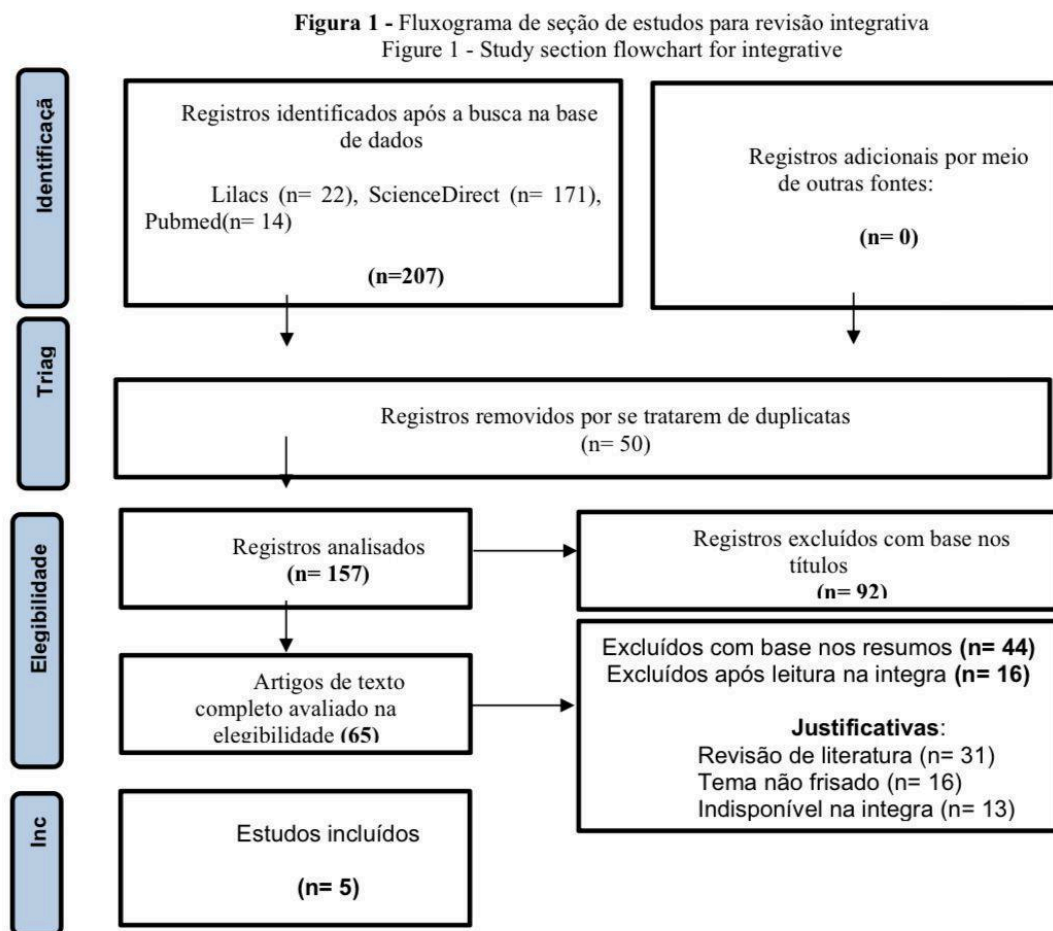
Tabela 2 – Critérios de elegibilidade (PICOT)**Table 2 – Eligibility criteria (PICOT)**

Critério	Inclusão	Exclusão
P (População)	Pacientes submetidos à cirurgia de reconstrução do LCA com inibição muscular artrogênica dos quadríceps	Lesão sem ser LCA ou tivessem uma condição cardíaca conhecida
I (Intervenção)	Estimulação elétrica neuromuscular (EENM), isolada ou combinada com exercícios funcionais/convenções de reabilitação	Pacientes sem uso de EENM ou com protocolos não padronizados
C (Controle)	Reabilitação convencional sem EENM ou com uso de protocolos diferentes da EENM	Pacientes submetidos a combinações de técnicas não padronizadas
O (Outcomes)	Recuperação da força do quadríceps, melhoria da função muscular	Falha na recuperação funcional ou persistência da inibição muscular
T (Tipo de Estudo)	Ensaio clínico randomizado, prospectivo	Estudos observacionais, relatos de caso, revisões de literatura

Fonte: Autoria própria, 2025

3 Resultados

Após a aplicação dos critérios de filtragem, foram encontrados 207 artigos, distribuídos entre as seguintes bases de dados: LILACS (22), SciencDirect (171) e PubMed (14). Desses, 50 foram excluídos por serem duplicados, restando 157 para análise detalhada quanto à elegibilidade. Durante a triagem, 92 artigos foram excluídos após a leitura dos títulos, por não estarem em conformidade com o tema da pesquisa. Assim, 65 artigos permaneceram para a etapa seguinte. Após a leitura dos resumos, 44 foram excluídos, e, posteriormente, 16 foram eliminados após leitura na íntegra por não atenderem aos critérios de inclusão. Dessa forma, apenas 5 artigos seguiram para leitura completa e foram selecionados para compor esta revisão, conforme representado no fluxograma da Figura 1.



Fonte: Autoria própria, 2025

A organização dos dados extraídos dos 5 artigos foi descrita na tabela 3 com os principais resultados.

Tabela 3. Análise dos resultados**Tabela 3. Analysis of results**

Autor (ano)	Amostra	Tipo de estudo	Instrumentos de avaliação	Controle	Intervenção	Resultados	Limitações do estudo
Lepley et al. 2015 ¹²	36 pacientes submetidos à reconstrução do LCA, divididos em quatro grupos (N&E, E-only, N-only, STND) + 10 controles saudáveis.	Ensaio clínico randomizado	Técnica de explosão superposta; razão de ativação central; contrações isométricas voluntárias máximas (Nm/kg).	Grupo padrão de tratamento (STND) sem eletroterapia.	EENM 2x/semana nas 6 primeiras semanas pós-operatórias (N&E e N-only).	E-only apresentou melhor recuperação da ativação do quadríceps que N-only e STND ($p<0,05$). N&E e E-only recuperaram força semelhante aos controles no retorno ao esporte.	Amostra reduzida; seguimento restrito; resultados não generalizáveis para todas as populações clínicas.
Toth et al. 2020 ¹³	25 pacientes (12 homens e 13 mulheres) com ruptura aguda do LCA submetidos à reconstrução.	Ensaio clínico randomizado	Biópsias do vasto lateral; análise de fibras musculares (MHC I e II); força do quadríceps (contrações voluntárias máximas).	Estimulação simulada (microcorrente).	EENM 5x/semana, iniciada antes da cirurgia e mantida por 3 semanas após a RLCA.	EENM reduziu a atrofia das fibras rápidas (MHC II) e preservou contratilidade das lentas (MHC I). Sem diferença significativa na força total aos 6 meses.	Amostra pequena (n=21 concluíram); seguimento limitado (6 meses).

Kong et al. 2022 ¹⁴	45 pacientes submetidos à RLCA (34 homens e 11 mulheres; média de 28,76 ± 0,8 anos).	Ensaio clínico randomizado.	Escore de Lysholm, IKDC, circunferência da coxa (5 e 15 cm), equilíbrio Y posterior medial/lateral.	Grupo controle (CON).	Exercício de reabilitação (ER) com EENM.	Todos os grupos melhoraram nos escores e equilíbrio (p<0,05). EENM apresentou maior circunferência a 15 cm e melhor força/resistência do quadríceps e isquiotibiais.	Amostra pequena; ausência de randomização; acompanhamento curto.
Labanca et al. 2018 ¹⁵	63 pacientes com RLCA.	Ensaio clínico randomizado.	Força isométrica máxima de extensores/flexores do joelho; simetria de carga em STS e salto com contramovimento.	Reabilitação padrão sem eletroterapia (NAT).	EENM sobreposta a exercícios de sentar-levantar (EENM + STSTS).	EENM + STSTS aumentou força extensora, reduziu dor e melhorou simetria em 60 e 180 dias. STSTS isolado melhorou simetria em relação ao NAT aos 60 dias.	Acompanhamento curto; especificidade do exercício pode limitar generalização; adesão ao protocolo não descrita.
Moran et al. 2019 ¹⁶	23 indivíduos (10 no grupo FES e 13 no grupo NMES)	Ensaio clínico randomizado	Avaliação da velocidade da marcha, simetria da marcha em apoio unipodal, força máxima isométrica do quadríceps e simetria intermembros de força.	Grupo NMES (estimulação elétrica neuromuscular tradicional).	Grupo FES: estimulação elétrica funcional sincronizada com a caminhada. Grupo NMES: estimulação elétrica neuromuscular com ciclo de 10s ligado/10s desligado. Ambas aplicadas por 10	Ambos os grupos recuperaram velocidade e simetria da marcha após 4 semanas. O grupo FES recuperou 82% da força do quadríceps pré-cirúrgica, enquanto o grupo NMES recuperou 47% (p=0,02). O grupo FES	Estudo preliminar, com tamanho amostral reduzido e ausência de análise cinética e cinemática da marcha, o que limita a compreensão completa dos efeitos da EEF

minutos,
3x/semana,
associadas
reabilitação

apresentou maior
simetria de força
à

Legenda: RLCA → Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior. EENM → Estimulação Elétrica Neuromuscular: técnica de fisioterapia que aplica correntes elétricas nos músculos para potencializar a contração muscular. RFS → Restrição do Fluxo Sanguíneo: método de treino que utiliza uma faixa ou cuff para limitar parcialmente o fluxo sanguíneo, promovendo hipertrofia e força muscular com cargas menores. ER → Exercício de Reabilitação: programa de exercícios específicos para recuperar força, mobilidade e função após cirurgia ou lesão. STSTS → Sit-to-Stand-to-Sit (sentar-levantar-sentar): exercício repetitivo de sentar e levantar de uma cadeira, usado para reabilitação de força e função do quadríceps. NMES → Neuromuscular Electrical Stimulation (equivalente à EENM, em inglês): mesma técnica de estimulação elétrica aplicada aos músculos. NAT → No Additional Treatment (nenhum tratamento adicional) **Fonte: Autoria própria, 2025. Source: Author's own work, 2025.**

Lepley et al.¹² realizaram um ensaio clínico longitudinal, paralelo, envolvendo 36 pacientes submetidos à reconstrução do LCA, divididos em quatro grupos de tratamento (N&E, E-only, N-only, STND) e 10 controles saudáveis. A avaliação da função do quadríceps foi feita utilizando a técnica de explosão superposta para determinar a razão de ativação central, e as contrações isométricas voluntárias máximas (Nm/kg). A intervenção incluiu EENM aplicada duas vezes por semana durante as seis primeiras semanas pós-operatórias nos grupos N&E e E-only, combinada ou não com exercícios excêntricos realizados duas vezes por semana a partir da sexta semana (N&E e E-only). O grupo padrão de tratamento (STND) não recebeu eletroterapia. Os resultados mostraram que o grupo E-only apresentou melhor recuperação da ativação do quadríceps em comparação com N-only e STND ($P < 0,05$), enquanto os grupos N&E e E-only recuperaram a força melhor que N-only e STND, atingindo níveis semelhantes aos controles saudáveis no retorno ao esporte ($P > 0,05$). Entre as limitações, destacam-se a amostra reduzida, o segmento restrito ao retorno ao esporte e a dificuldade de generalizar os resultados para outras populações clínicas.

Toth et al.¹³ conduziram um ensaio clínico randomizado (nível de evidência 1) com 25 pacientes (12 homens e 13 mulheres) com ruptura aguda do LCA submetidos à reconstrução. A avaliação incluiu biópsias bilaterais do vasto lateral para análise do tamanho e da contratilidade das fibras musculares, além de contrações voluntárias máximas do quadríceps seis meses após a cirurgia. A intervenção consistiu em EENM, aplicada cinco dias por semana, iniciada antes da cirurgia e mantida por três semanas após a RLCA. O grupo controle recebeu um tratamento simulado com microcorrente. Os resultados mostraram que a EENM reduziu a atrofia das fibras musculares rápidas (MHC II) e preservou a contratilidade das fibras lentas (MHC I), mantendo potência e velocidade. Entretanto, não houve diferenças significativas na força total do quadríceps entre os grupos aos seis meses. As limitações incluíram a amostra pequena (apenas 21 pacientes completaram o estudo) e o seguimento limitado a seis meses para avaliação da força muscular.

Kong et al.¹⁴ realizaram um estudo retrospectivo com 45 pacientes submetidos à RLCA (média de idade $28,76 \pm 0,8$ anos; 34 homens e 11 mulheres). As avaliações envolveram o escore de Lysholm, escore subjetivo IKDC, circunferência da coxa a 5 e 15 cm, além de testes de equilíbrio Y posterior medial e lateral. A intervenção incluiu exercícios de reabilitação combinados com EENM ou com restrição do fluxo sanguíneo (RFS), comparados a um grupo controle (CON). Todos os grupos apresentaram melhora significativa nos escores de Lysholm, IKDC, circunferência da coxa a 5 cm e equilíbrio Y posterior medial/lateral ($p < 0,05$). Entretanto, o grupo com EENM mostrou maior circunferência a 15 cm, melhor força e resistência do quadríceps e isquiotibiais, e melhor desempenho no equilíbrio Y anterior em comparação com o controle ($p < 0,05$). Entre as limitações, destacam-se o caráter retrospectivo do estudo, a amostra pequena, a falta de randomização e o curto período de acompanhamento.

Labanca et al.¹⁴ conduziram um ensaio clínico randomizado com 63 pacientes submetidos à RLCA. A avaliação da função muscular incluiu a força isométrica máxima dos músculos extensores e flexores do joelho, além da assimetria na carga dos membros inferiores medida durante movimentos de sentar-levantar (STS) e salto com contramovimento. A intervenção consistiu na EENM sobreposta aos exercícios de STS (EENM + STSTS), comparada a STSTS isolado e a nenhum tratamento adicional (NAT) à reabilitação padrão. Os resultados mostraram que EENM + STSTS promoveu maior força dos extensores, menor percepção de dor e maior simetria de carga em comparação com STSTS isolado e NAT após 60 e 180 dias. O STSTS isolado melhorou a simetria em comparação com NAT aos 60 dias.

O estudo de Moran et al.¹⁵, um ensaio clínico randomizado piloto, investigou a eficácia da estimulação elétrica funcional (EEF) do quadríceps durante a caminhada, associada à reabilitação padrão, após a reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA). Participaram 23 indivíduos, divididos em grupo EEF ($n=10$) e grupo EENM ($n=13$). As intervenções foram aplicadas por 10 minutos, três vezes por semana. Avaliaram-se velocidade e simetria da marcha, força máxima isométrica e simetria de força entre os membros. Ambos os grupos recuperaram a marcha após quatro semanas, porém o grupo EEF apresentou maior recuperação da força do quadríceps (82% vs. 47%) e melhor simetria de força.

4 Discussão

A análise conjunta dos estudos revela que, embora todos investiguem o papel da eletroestimulação na reabilitação após a RLCA, cada autor aborda o tema por perspectivas distintas, o que permite comparar resultados, metodologias e conclusões.

Lepley et al.¹² e Toth et al.¹³ convergem ao destacar que a EENM tem efeito importante sobre a ativação neuromuscular e preservação estrutural do quadríceps. Enquanto Lepley et al.¹² demonstram melhora direta na força e na ativação muscular, especialmente nos grupos que combinaram EENM e exercícios excêntricos, Toth et al.¹³ complementam essa visão ao mostrar que a eletroestimulação também atua na integridade das fibras musculares, reduzindo a atrofia das fibras rápidas. No entanto, divergem quanto ao impacto funcional: Lepley et al. observam recuperação da força semelhante a controles saudáveis, ao passo que Toth et al. não encontram diferenças significativas na força máxima após seis meses. Essa diferença pode estar relacionada às distintas intensidades de aplicação, ao momento da intervenção ou aos métodos de avaliação utilizados.

Os achados de Stevens et al.¹⁸ corroboram os resultados observados por Lepley et al.¹² e Labanca et al.¹⁵, reforçando que a EENM apresenta maior impacto clínico quando aplicada precocemente, fase em que a inibição neuromuscular do quadríceps é mais acentuada. Esse estudo fortalece a evidência de que a eletroestimulação não atua isoladamente, mas potencializa os efeitos do exercício terapêutico conduzido pela fisioterapia, acelerando a recuperação da força e reduzindo assimetrias funcionais relevantes para a progressão segura da reabilitação.

Além disso, os resultados dialogam com Moran et al.¹⁵ ao sugerirem que intervenções que favorecem a ativação muscular em contextos funcionais ou próximos da tarefa motora tendem a produzir respostas neuromusculares mais eficientes. Assim, a inclusão deste estudo amplia a consistência da discussão ao demonstrar que diferentes formas de eletroestimulação, quando bem prescritas e integradas ao raciocínio clínico fisioterapêutico, contribuem para melhores desfechos funcionais após a RLCA.

Kong et al.¹⁴ reforçam os achados de Lepley et al.¹² ao demonstrar que a EENM se associa a maior força muscular e maior circunferência da coxa quando comparada a outros métodos, como a restrição de fluxo sanguíneo. Além disso, seus resultados indicam melhor desempenho em testes funcionais, como o equilíbrio Y, o que sugere que os ganhos promovidos pela EENM não se restringem ao fortalecimento, mas envolvem também controle motor. Contudo, o caráter retrospectivo do estudo limita a comparação direta com ensaios clínicos controlados, como os conduzidos por Toth e Lepley.

Labanca et al.¹⁴ ampliam a interpretação sobre os efeitos da EENM ao mostrar que, quando associada a exercícios funcionais como o sentar-levantar, a técnica gera ganhos expressivos em força extensora, simetria de carga e redução da dor. Essa abordagem funcional aproxima-se da proposta de Moran et al.¹⁶, que utilizaram a estimulação elétrica funcional durante a marcha e observaram recuperação mais rápida da força e da simetria do quadríceps. Ambos os autores sugerem que intervenções que combinam eletroestimulação com tarefas motoras específicas têm maior potencial de transferência para atividades do cotidiano e desempenho esportivo, sendo possivelmente mais eficazes do que a aplicação passiva da eletroestimulação.

Ao comparar todos os autores, observa-se um padrão consistente: protocolos que integram a eletroestimulação ao movimento, como exercícios excêntricos, STS ou marcha, tendem a produzir melhores resultados do que a EENM aplicada de forma isolada. Essa tendência reforça a importância do princípio da especificidade e do treinamento baseado em função na reabilitação musculoesquelética.

Por outro lado, algumas divergências também são evidentes. Toth et al.¹³ sugerem que a preservação estrutural das fibras musculares não se traduz automaticamente em maior força funcional, ao passo que Lepley et al.¹² e Labanca et al.¹⁵ afirmam que a eletroestimulação aplicada em conjunto com exercícios é capaz de acelerar a recuperação da força. Moran et al.¹⁶, por sua vez, mostram que a EEF pode ser superior à EENM tradicional em tarefas de simetria e força, sugerindo que diferentes tipos de estimulação têm impactos distintos no controle motor¹².

Em conjunto, os autores demonstram que a EENM e a EEF são ferramentas valiosas no processo de reabilitação pós-RLCA. No entanto, seus efeitos dependem de fatores como: frequência de

aplicação, associação com tarefas funcionais, momento de início da intervenção e critérios de avaliação. Apesar das evidências positivas, limitações metodológicas recorrentes como amostras reduzidas, protocolos heterogêneos e seguimento curto indicam a necessidade de pesquisas mais robustas para consolidar o papel dessas técnicas na prática clínica.

Além disso, observa-se que a variabilidade dos protocolos de eletroestimulação empregados nos estudos dificulta a padronização das recomendações clínicas. Parâmetros como intensidade, frequência, duração das sessões e número total de aplicações diferem significativamente entre os autores, o que pode influenciar diretamente os resultados obtidos. Essa heterogeneidade metodológica reforça a necessidade de cautela na extrapolação dos achados e destaca a importância de futuros estudos que busquem estabelecer diretrizes mais uniformes para o uso da EENM e da EEF no contexto pós-reconstrução do ligamento cruzado anterior^{7,10}. Por fim, do ponto de vista clínico, os achados sugerem que a eletroestimulação deve ser considerada como um recurso complementar dentro de um programa de reabilitação multifatorial, e não como uma intervenção isolada. A integração da EENM ou da EEF com exercícios terapêuticos progressivos, treinamento funcional e estratégias de controle neuromuscular parece potencializar os ganhos de força, simetria e desempenho funcional. Dessa forma, a individualização do tratamento, respeitando as características do paciente, o estágio da reabilitação e os objetivos funcionais, emerge como um elemento-chave para maximizar os benefícios dessas modalidades terapêuticas.

5. Conclusão

A estimulação elétrica neuromuscular (EENM) mostrou-se uma ferramenta eficaz na recuperação do quadríceps em pacientes submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior (LCA), ajudando a restaurar força, simetria entre os membros e funcionalidade para o dia a dia e atividades esportivas. Quando combinada a exercícios funcionais, seus efeitos são ainda mais expressivos, superando os obtidos apenas com a reabilitação convencional.

Apesar desses resultados promissores, ainda existem limitações importantes, como a diversidade de protocolos, parâmetros de aplicação, tamanho reduzido das amostras e curto período de acompanhamento, que dificultam a generalização dos achados. Por isso, estudos futuros com amostras maiores, protocolos padronizados e avaliações detalhadas da função muscular e da marcha são essenciais para consolidar a EENM como recurso seguro e eficiente.

Ainda assim, os resultados apontam que a EENM é um complemento valioso na reabilitação, contribuindo para que os pacientes retomem suas atividades com mais confiança, segurança e qualidade de movimento.

Referência

1. Sobral, RF. & Guimarães, JEV. Reabilitação no pós-operatório de ligamento cruzado anterior: cuidados e suporte do fisioterapeuta. *Revista Saúde dos Vales*. 2024; 12 (1): 1-19.
2. Coutinho, HS. & Brito, MAP. Lesões em atletas do time de futebol de Araçatuba/SP uma revisão de literatura. 2019;
3. Figueira, VLG. & Silva Júnior, JA. A Importância da fisioterapia imediata nos pós-operatório do ligamento cruzado anterior. *Research, Society and Development*. 2022; 11 (1): 1-7.
4. Souza, JES. & Oliveira Neto, MD. Fisioterapia no pós-operatório de lesão do ligamento cruzado anterior. *Research, Society and Development*. 2023; 12 (14): 1-9.
5. Oliveira, P. L. Júnior, Imoto; A. M.; T Santos, Borges, J.H.S.; Nunes, P.; Barin, F. R. B; Damando, M. 2022. *Revista ortopédica de medicina esportiva*.
6. Melo, L. O. et al.. O impacto da intervenção fisioterapêutica pré-operatória em pacientes com lesão de LCA: evolução funcional pós-operatória. 2024.
7. 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 Jul 12;16(1):89. doi: 10.1186/s12984-019-0566-0. PMID: 31299999; PMCID: PMC6626389..
8. de Souza ALV, de Faria MEM. Eletroestimulação no pós-operatório precoce de ligamento cruzado anterior (LCA). *Rev Saúde Dos Vales*. 2023;3(1).
9. Hauger, Michael P. Reiman, J. M. Bjordal, C. Sheets, L. Ledbetter e A. P. Goode. A pesquisa foi aceita em 1º de agosto de 2017 e publicada em fevereiro de 2018.
10. 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 Jul 12;16(1):89. doi: 10.1186/s12984-019-0566-0. PMID: 31299999; PMCID: PMC6626389.
11. Conley CEW, et al. A comparison of neuromuscular electrical stimulation parameters for postoperative quadriceps strength in patients after knee surgery: a systematic review. *Sports Health*. 2021;13(2):116-127.
12. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee*. 2015 Jun;22(3):270-7. doi: 10.1016/j.knee.2014.11.013. Epub 2014 Dec 10. PMID: 25819154; PMCID: PMC4754794.
13. Toth MJ, Tourville TW, Voigt TB, Choquette RH, Anair BM, Falcone MJ, Failla MJ, Stevens-Lapslaey JE, Endres NK, Slauterbeck JR, Beynnon BD. Utility of Neuromuscular Electrical Stimulation to Preserve Quadriceps Muscle Fiber Size and Contractility After Anterior Cruciate Ligament Injuries and Reconstruction: A Randomized, Sham-Controlled, Blinded Trial. *Am J Sports Med*. 2020 Aug;48(10):2429-2437. doi: 10.1177/0363546520933622. Epub 2020 Jul 6. PMID: 32631074; PMCID: PMC7775613.
14. Kong DH, Jung WS, Yang SJ, Kim JG, Park HY, Kim J. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation and Blood Flow Restriction in Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Nov 15;19(22):15041. doi: 10.3390/ijerph192215041. PMID: 36429760; PMCID: PMC9690111.
15. Labanca L, Rocchi JE, Laudani L, Guitaldi R, Virgulti A, Mariani PP, Macaluso A. Neuromuscular Electrical Stimulation Superimposed on Movement Early after ACL Surgery. *Med Sci Sports Exerc*. 2018 Mar;50(3):407-416. doi: 10.1249/MSS.0000000000001462. PMID: 29059108.
16. 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.
17. Kyung-Min K, Ted C, Jay H e Susan S. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction on Quadriceps Strength, Function, and PatientOriented Outcomes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* July 6, 2017.
18. Stevens, J. E.; Mizner, R. L.; Snyder-Mackler, L. Early neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, v. 42, n. 3, p. 212–221, 2012.