

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

ANA CARLA ARAÚJO DE OLIVEIRA
ROBINSON FERREIRA VALÕES
HELOIZA ISABELLE DE LIMA FRANÇA CAMELO

**Efeitos da cinesioterapia associada à eletroestimulação para força
muscular em indivíduos com reconstrução do ligamento cruzado anterior:
Revisão narrativa**

RECIFE
2024

ANA CARLA ARAÚJO DE OLIVEIRA
ROBINSON FERREIRA VALÕES
HELOIZA ISABELLE DE LIMA FRANÇA CAMELO

**Efeitos da cinesioterapia associada à eletroestimulação para força
muscular em indivíduos com reconstrução do ligamento cruzado anterior:
Revisão narrativa**

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.

Orientador(a): Prof. Me. Glayciele
Leandro de Albuquerque

RECIFE
2024

**ANA CARLA ARAÚJO DE OLIVEIRA
ROBINSON FERREIRA VALÕES
HELOIZA ISABELLE DE LIMA FRANÇA CAMELO**

**Efeitos da cinesioterapia associada à eletroestimulação para força
muscular em indivíduos com reconstrução do ligamento cruzado anterior:
Revisão narrativa**

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.

Examinadores:

Glacyele Leandro de Albuquerque – Mestre em Fisioterapia

Isabella Lins Coelho – Especialista em Acupuntura

Luis Augusto Mendes Fontes – Mestre em Fisioterapia

Nota: _____

Data: ____/____/____

RESUMO:

Introdução: O joelho é uma articulação complexa, sendo a lesão do Ligamento Cruzado Anterior (LCA) uma das mais frequentes em esportistas e em vítimas de acidentes. Essa lesão gera instabilidade articular e inibição muscular no quadríceps, comprometendo a funcionalidade. Assim, a reabilitação tem como objetivo principal o fortalecimento muscular, demandando intervenções eficazes para solucionar esses déficits. **Objetivo:** investigar os principais efeitos da cinesioterapia associada à eletroestimulação em indivíduos com reconstrução do ligamento cruzado anterior sobre a força muscular. **Materiais e métodos:** trata-se de uma revisão narrativa, a pesquisa foi realizada nas bases de dados da SciELO, PUBMED via MEDLINE, LILACS via BVS e PeDRO. Foi utilizadas as palavras chaves em inglês obtidos pelos descritores DeCS e MeSH: “Electric Stimulation”, “Electric Stimulation Therapy”, “Exercise Therapy”, “Exercise”, “Anterior Cruciate Ligament Reconstruction”, combinadas com o operador booleano “AND” e “OR”. **Resultados e Discussão:** A cinesioterapia associada à eletroestimulação mostrou-se eficaz na reabilitação do quadríceps após reconstrução do LCA, com ganho de força e funcionalidade. A corrente FES se destacou na fase inicial, enquanto a NMES apresentou melhores resultados a longo prazo, superando os grupos controles. **Conclusão:** Este estudo demonstrou que a eletroestimulação associada à cinesioterapia é eficaz na reabilitação pós-operatória do ligamento cruzado anterior, promovendo aumento da força do quadríceps, prevenção da atrofia muscular e recuperação funcional mais rápida.

Palavras-chaves: Eletroestimulação, Exercícios e Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior

Effects of kinesiotherapy associated with electrical stimulation for muscle strength in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction: Narrative review

ABSTRACT:

Introduction: The knee is a complex joint, and Anterior Cruciate Ligament (ACL) injuries are one of the most common injuries in athletes and accident victims. This injury causes joint instability and muscle inhibition in the quadriceps, compromising functionality. Thus, rehabilitation aims primarily at strengthening muscles, requiring effective interventions to address these deficits. **Objective:** to investigate the main effects of kinesiotherapy associated with electrical stimulation on muscle strength in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. **Materials and methods:** this is a narrative review; the research was conducted in the SciELO, PUBMED via MEDLINE, LILACS via BVS and PeDRO databases. The following keywords were used in English, obtained by DeCS and MeSH descriptors: “Electric Stimulation”, “Electric Stimulation Therapy”, “Exercise Therapy”, “Exercise”, “Anterior Cruciate Ligament Reconstruction”, combined with the Boolean operators “AND” and “OR”. **Results and Discussion:** Kinesiotherapy associated with electrical stimulation was effective in quadriceps rehabilitation after ACL reconstruction, with gains in strength and functionality. FES current stood out in the initial phase, while NMES showed better long-term results, outperforming the control groups. **Conclusion:** This study demonstrated that electrical stimulation associated with kinesiotherapy is effective in postoperative rehabilitation of the anterior cruciate ligament, promoting increased quadriceps strength, preventing muscle atrophy, and faster functional recovery.

Keywords: Electric Stimulation, Exercise and Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

SUMÁRIO

1. Introdução	7
2. Materiais e Métodos	8
3. Resultados	10
4. Discussão	15
5. Conclusão	16
Referências	17

1. INTRODUÇÃO

A articulação do joelho, uma das mais complexas do corpo humano, é classificada como sinovial e gínglima, conectando três ossos principais: a tíbia, a patela e o fêmur. Essa articulação é composta por duas sub articulações: a tibiofemoral (entre tíbia e fêmur) e a patelofemoral (entre patela e fêmur), sendo mantida estável por um conjunto de ligamentos extracapsulares e intracapsulares, além de músculos flexores e extensores¹. Dentro dos ligamentos intracapsulares, o Ligamento Cruzado Anterior (LCA) é um dos principais estabilizadores da articulação do joelho, limitando movimentos excessivos rotacionais e anteroposteriores da tíbia em relação ao fêmur². As lesões no LCA são comuns em atividades esportivas, especialmente em movimentos de torção do joelho com o pé fixo, mas também podem ocorrer em situações não esportivas, como em acidentes ou quedas, gerando instabilidade articular. A ruptura do LCA, além de comprometer a estabilidade do joelho, pode inibir a ativação do músculo quadríceps, devido à disfunção das vias reflexas espinhais, o que prejudica a contração muscular e dificulta a recuperação funcional^{3,4,5}. Nesses casos, a reconstrução cirúrgica do ligamento é necessária, geralmente utilizando-se enxertos de tendões.

Atualmente, há diversas opções de enxertos disponíveis para a reconstrução do LCA, que podem ser classificados em autólogos, heterólogos e sintéticos. Os enxertos autólogos, considerados como padrão-ouro, são retirados do próprio paciente. Entre os mais utilizados, destacam-se os obtidos a partir dos tendões flexores (semitendíneo e grácil), tendões extensores (quadríceps) e o tendão patelar^{6, 7, 8}. Porém, essa intervenção pode acarretar complicações pós-operatórias, como fraqueza muscular, dor, fibrose e tendinites, além de aumentar o risco de novas lesões^{9, 3}. Uma das principais prioridades no pós-operatório é a restauração da força do quadríceps, que é fundamental para a biomecânica adequada do joelho e para evitar novas lesões. No entanto, devido à inibição muscular causada pela lesão, a ativação voluntária muitas vezes não é suficiente para recuperar a função muscular. Dessa forma, investiga-se o papel da cinesioterapia associada à eletroestimulação como uma abordagem potencialmente benéfica no recrutamento de unidades motoras e no fortalecimento do músculo quadríceps^{4,10}.

O treinamento de força, ou exercícios resistidos, visa não apenas aumentar a força muscular, mas também induzir as contrações musculares e melhorar a aptidão física do indivíduo. Os exercícios são classificados como isotônicos, por conta das alternâncias de contrações musculares concêntricas e excêntricas durante o movimento. Os exercícios de resistência podem ser realizados utilizando duas formas de carga: a carga interna (metabólica) e a carga mecânica (como pesos externos), geralmente aplicadas em séries de 10 a 12 repetições, tendo como benefício a recuperação e preservação da função muscular durante os períodos de atividade limitada ou imobilizações⁵. A estimulação elétrica neuromuscular (EENM) é uma técnica que utiliza estímulos elétricos contínuos para promover a ativação neural, gerando contrações musculares. Esta abordagem é amplamente empregada na reabilitação para tratar condições como hipertrofia, contraturas, espasticidade, e para o aumento da força muscular. No contexto esportivo, a EENM pode ser incorporada ao treinamento de atletas com o intuito de melhorar o torque isométrico, favorecendo a adaptação e o desenvolvimento das capacidades musculares de cada indivíduo¹¹. A estimulação elétrica, em suas diversas formas, é frequentemente utilizada para otimizar a função muscular. Seus efeitos incluem a promoção de força, aumento da amplitude de movimento (ADM), redução de edemas, prevenção de atrofia muscular e alívio da dor. Para fins funcionais, a estimulação elétrica é comumente aplicada em frequências mais elevadas (20-50 Hz), o que induz tetania e contrações musculares¹².

Por outro lado, a Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea (TENS) utiliza frequências muito baixas (2-10 Hz), atuando sobre fibras sensoriais aferentes menores para bloquear os impulsos dolorosos, tendo como objetivo promover a analgesia¹³. Devido à baixa frequência, a corrente TENS não visa a ativação de fibras motoras e, portanto, não provoca contrações musculares¹². Já a Estimulação Elétrica Funcional (FES) opera com frequências mais altas (50-150 Hz), aplicando correntes elétricas para provocar contrações musculares com o objetivo de restaurar funções motoras. A corrente FES é especialmente eficaz na geração de movimentos funcionais, por meio das contrações induzidas^{12, 14}. Diversos estudos buscam compreender o impacto da combinação de diferentes intervenções na reabilitação de pacientes submetidos à reconstrução do ligamento cruzado anterior (RLCA). Esses tratamentos têm sido associados a ganhos na força muscular, redução da dor e melhora na simetria dos membros inferiores. Dessa forma, explorar a combinação de cinesioterapia com eletroestimulação pode oferecer novas perspectivas sobre a recuperação da força e funcionalidade do quadríceps após a reconstrução do LCA¹⁰.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo investigar os principais efeitos da cinesioterapia associada à eletroestimulação em indivíduos com reconstrução do ligamento cruzado anterior sobre a força muscular.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Tipo de revisão, período da pesquisa, restrição linguística e temporal.

O presente trabalho consiste em uma revisão narrativa. As buscas foram realizadas entre agosto e outubro de 2024. Foram levadas em consideração a restrição linguística, aceitando-se artigos em português, inglês e espanhol. Por fim, foi adotada uma delimitação temporal de 10 anos (2014-2024).

2.2 Bases de dados, descritores e estratégia de busca.

Para a realização das buscas dos artigos, foram utilizadas plataformas de banco de dados, sendo eles a SciELO, PUBMED via MEDLINE, LILACS via BVS e PeDRO. Para obter as palavras chaves, foram utilizados os Descritores Controlados em Ciência da Saúde (DeCS) e os *Medical Subject Headings* (MeSH): “*Electric Stimulation*”, “*Electric Stimulation Therapy*”, “*Exercise Therapy*”, “*Exercise*”, “*Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*”, combinadas com o operador booleano “AND” e “OR” (Tabela 1).

Tabela 1 – Estratégias de buscas
Table 1 – Search strategies

Banco de dados	Estratégias de buscas
SciELO	((((Electric Stimulation) OR (Electric Stimulation Therapy)) AND (Exercise Therapy)) OR (Exercise)) AND (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction)
PUBMED via MEDLINE	((((Electric Stimulation) OR (Electric Stimulation Therapy)) AND (Exercise Therapy)) OR (Exercise)) AND (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction)
LILACS via BVS	((((Electric Stimulation) OR (Electric Stimulation Therapy)) AND (Exercise Therapy)) OR (Exercise)) AND (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction)
PeDRO	"Anterior Cruciate Ligament Reconstruction" "Electric Stimulation Therapy" "Exercise Therapy"

Fonte: autoria própria (2024)
Source: own authorship (2024)

2.3 Realização das buscas e seleção dos estudos.

Foram executadas as pesquisas relacionadas ao tema abordado, levando em consideração o objetivo do trabalho “explorar os principais efeitos da cinesioterapia associada à eletroestimulação em indivíduos com reconstrução do ligamento cruzado anterior sobre a força muscular”. O estudo foi realizado através de três pesquisadores de forma independente, onde as buscas e seleções foram feitas pela leitura de títulos e resumos, após as escolhas, foi realizada uma análise sobre cada artigo encontrado, sendo lidos na íntegra e incluídos ao estudo, sendo eles aqueles que se encaixam no critério de elegibilidade.

2.4 Critérios de elegibilidade (PICOT)

Os estudos foram analisados e selecionados por meio dos critérios de elegibilidade, organizados através da ferramenta PICOT (população, intervenção, comparação, desfechos (outcomes) e tipo de estudo) (Tabela 2).

Tabela 2 – Critérios de elegibilidade
Table 2 – Eligibility criteria

Critérios	Inclusão	Exclusão
P	Indivíduos com reconstrução do ligamento cruzado anterior	Indivíduos com outros tipos de lesões associadas
I	Cinesioterapia associada à eletroestimulação	Cinesioterapia passiva e correntes de baixa frequência (< 10 Hz)
C	-	-
O	Força muscular do quadríceps	-
T	Ensaio clínico	-

Fonte: autoria própria (2024)
Source: own authorship (2024)

2.4 Características dos estudos incluídos

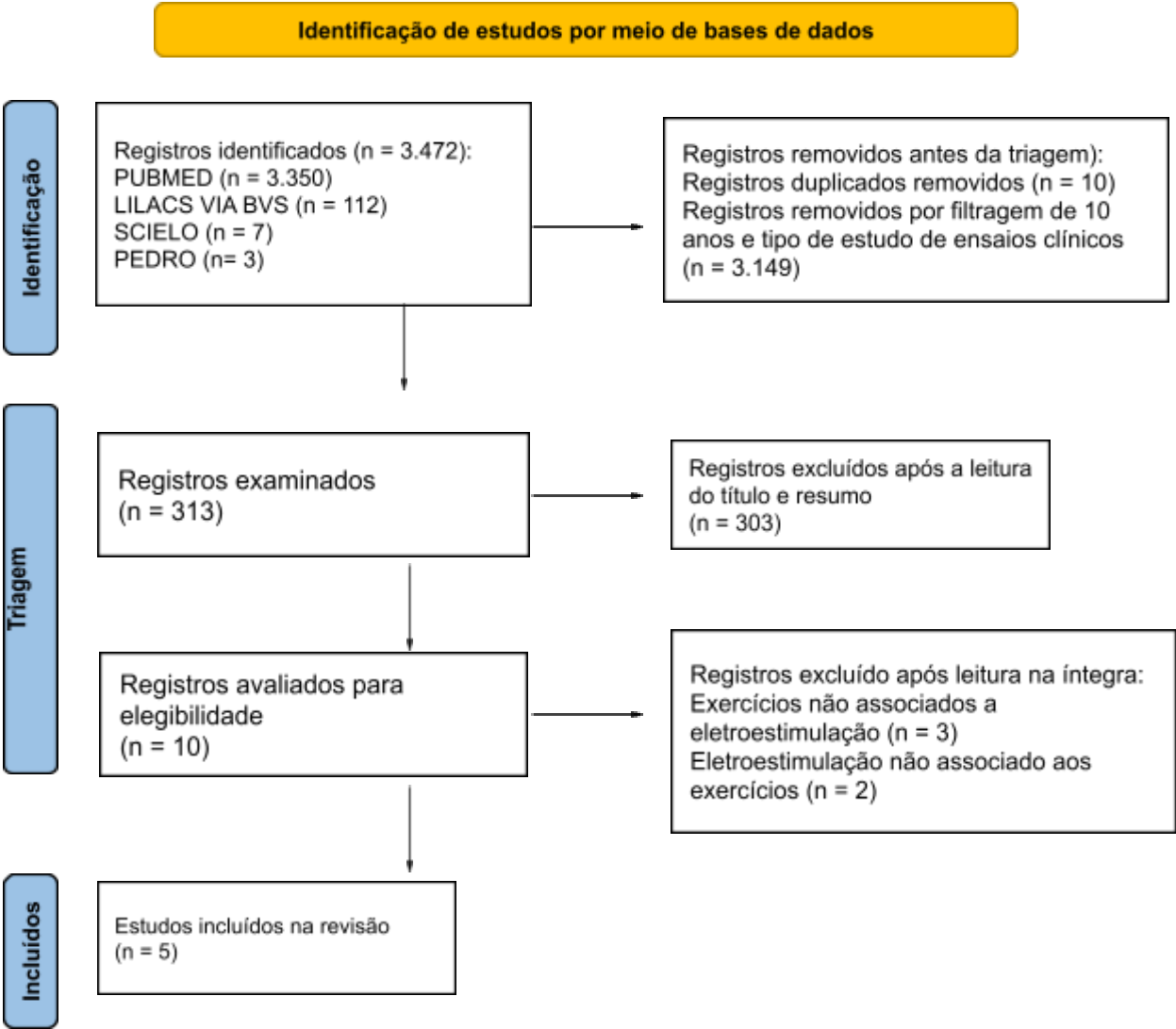
Os estudos selecionados foram analisados com base na data de publicação, nas intervenções realizadas (frequência, duração, parâmetros e tempo), na presença de grupos comparativos, nos desfechos avaliados, assim como nos métodos de avaliação desses desfechos e nas análises estatísticas aplicadas.

3. RESULTADOS

Durante a busca nas plataformas de dados PUBMED via MEDLINE, LILACS via BVS, SciELO e PeDRO, foram inicialmente encontrados 3.472 artigos relevantes para a pesquisa. A distribuição entre as bases foi de 3.350 artigos no PUBMED via MEDLINE, 112 no LILACS via BVS, 7 no SciELO e 3 no PeDRO. Após aplicar os filtros de exclusão com critérios de tempo (últimos 10 anos) e tipo de estudo (ensaios clínicos), foram removidos 3.159 artigos, dos quais 3.149 foram excluídos com base nos filtros e 10 por duplicação entre as bases de dados.

A triagem inicial incluiu a leitura dos títulos e resumos de 313 artigos, resultando na exclusão de 303 artigos que não atendiam aos critérios de elegibilidade. Em seguida, 10 artigos foram analisados integralmente para avaliação de elegibilidade, sendo que 5 deles foram excluídos por não atenderem aos critérios específicos de inclusão do estudo. Assim, ao final desse processo de seleção, foram incluídos 5 artigos para compor a revisão, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma PRISMA
Figure 1 - PRISMA flowchart



Fonte: autoria própria (2024)
Source: own authorship (2024)

Os estudos incluídos apresentam indivíduos que foram submetidos a reconstrução do ligamento cruzado anterior em suas amostras, abordando a combinação da estimulação elétrica neuromuscular com os exercícios. (Tabela 3). A seguir, a próxima tabela refere-se às informações sobre os protocolos das intervenções utilizadas, assim como seus resultados. (Tabela 4).

Tabela 3 - Características dos estudos incluídos
Table 3 - Characteristics of the included studies

Autor (Ano)	Tipo de estudo	Amostra	Grupo controle	Grupo intervenção	Frequência, duração e período de tratamento	Métodos de avaliação	Resultados
LABANCA et al., (2018)	Estudo randomizado controlado	63 pacientes do sexo masculino, com idades entre 18 e 40 anos	GC1: STSTS; GC2:NAT // 21 pacientes para ambos os grupos, com variação de idade 20 ± 3)	GI: EENM+STSTS // 21 pacientes selecionados com variação de idade entre $23,2 \pm 4,6$ anos	60 dias de protocolo, 5 dias por semana	Contrações voluntárias isométricas máximas e medidas antropométricas	GI apresentou maior força muscular em comparação com o GC2 e GC3
LABANCA et al., (2022)	Ensaio clínico randomizado	34 indivíduos com idade entre 18 a 50 anos, com ambos os sexos (20 H) e (14 M)	GC: apenas exercícios (STSTS, SQ e STEP) (n= 17)	GI: EENM+exercícios (STSTS, SQ e STEP) (n= 17)	3 meses de protocolo, 5 dias por semana	Contrações voluntárias isométricas máxima e testes isocinéticos	GI demonstrou melhorias na função e força muscular do joelho em comparação ao GC
LEPLEY LINDSEY et al., (2014)	Ensaio clínico randomizado	Indivíduos que não apresentavam outras lesões anteriores no joelho	GC1: exercício excêntrico no Leg Press + reabilitação padrão // 8 pacientes. GC2: EENM + reabilitação padrão // 10 pacientes GC3: reabilitação padrão // 10 pacientes	GI: receberam EENM + exercício excêntrico no Leg Press + reabilitação padrão // 8 pacientes	12 semanas de tratamento, 2 vezes por semana;	Contrações isométricas voluntárias máximas através do dinamômetro.	GC1: recuperou a ativação do quadríceps melhor do que os grupos GC2 e GC3; já os grupos GI e GC1 recuperaram a força muscular melhor que os grupos GC2 e GC3.
MORAN et al., (2019)	Estudo randomizado controlado	23 indivíduos com idade entre 18 a 40 anos de ambos os sexos	GC: EENM (n= 13) // EENM + protocolo padrão de reabilitação	GI: FES + caminhada (n= 10) // FES no quadríceps + caminhada + protocolo padrão de reabilitação	4 semanas de tratamento	Torque máximo de contração isométrica	Em comparação com a EENM, os pacientes que foram submetidos ao FES, obtiveram melhores resultados na força e simetria do quadríceps, embora ambas as intervenções tenham sido eficazes.

RODRIGUEZ et al., (2020)	Ensaio clínico controlado randomizado	90 indivíduos, com idade entre 14 a 45 anos	GC: uso de exercícios e EENM placebos (n= 45)	GI: combinação da EENM com ECC	8 semanas de tratamento	Dinamômetro isocinético, máquina de ultrassom e análise de movimento tridimensional	O GI mostrou resultados positivos mostrando que o uso da EENM associada aos exercícios leva a melhorias na força muscular.
--------------------------	---------------------------------------	---	---	--------------------------------	-------------------------	---	--

Legenda: STSTS (*sit to-stand-to-sit*/ exercício de sentar-levantar-sentar); SQ (*squat*/ agachamento); STEP (*step-up-step-down*/ subir-descer degrau); NAT (nenhum tratamento associado); EENM (estimulação elétrica neuromuscular); H (homem); M (mulher); FES (estimulação elétrica funcional); ECC (exercícios excêntricos); GI (grupo de intervenção); GC (grupo controle); GC1, GC2, GC3 (grupo controle 1, grupo controle 2 e grupo controle 3).

Fonte: autoria própria (2024)
Source: own authorship (2024)

Tabela 4 - Características dos protocolos dos estudos
Table 4 - Characteristics of study protocols

Autores (ano)	Protocolos	Resultados
LABANCA et al., (2018)	EENM: frequências alternadas de 35 à 50 Hz, com intensidade máxima de 120 mA, aplicada nos músculos vasto medial e vasto lateral. CINESIOTERAPIA: exercício funcional progressivamente (sentar para levantar), de 6 a 12 repetições em séries ajustadas ao longo de 15-60 dias.	Força extensora maior no GI em 60 e 180 dias. Melhor recuperação do GI comparado a GC1 e GC2. Protocolo EENM+STSTS eficaz para extensão do joelho.
LABANCA et al., (2022)	EENM: frequências alternadas de 35-50 Hz, até 120 mA, aplicado em vasto medial, vasto lateral, reto femoral e semitendíneo. CINESIOTERAPIA: exercícios funcionais STSTS, agachamento, step-up, ajustados ao longo de 15-60 dias (5x/semana).	Melhora significativa no GI em força extensora e flexora (T3-T5). Melhor simetria muscular no GI. Menor perda de volume muscular e vantagens na recuperação funcional.
LEPLEY LINDSEY et al., (2014)	EENM: com frequências de 2500 Hz, 75 rajadas/s, 10 contrações isométricas (10s). CINESIOTERAPIA: Exercícios excêntricos: leg press, 20-60° de flexão, 4 séries de 10 repetições (60-90% intensidade máxima).	GI e GC1: maiores ganhos em força e ativação do quadríceps. GI destacou-se na ativação comparado ao GC3. Protocolos intensivos alcançaram força e ativação semelhantes a indivíduos saudáveis.
MORAN et al., (2019)	FES: 40 Hz, largura de pulso de 300 µs, intensidade até 100 mA. CINESIOTERAPIA: 10 minutos durante caminhada (3x/semana, 4 semanas).GC: EENM com 20s contração/10s descanso (3x/semana).	GI recuperou 82% da força pré-RLCA (contra 47% no GC). Melhor simetria de força no GI comparado ao GC.A corrente FES demonstrou superioridade na recuperação muscular e simetria inter-membros.
RODRIGUEZ et al., (2020)	EENM: intensidade até 40% da força contralateral, 2x/semana (8 semanas). CINESIOTERAPIA: ECC: 70-90% do 1-RM, 2x/semana (8 semanas).	Melhora significativa na simetria de força e ativação muscular. Preservação da saúde da cartilagem no GI. Protocolo EENM+ECC eficaz para força muscular, simetria e preservação articular.

Fonte: autoria própria (2024)
Source: own authorship (2024)

Os estudos de Labanca et al.¹⁵ avaliaram a eficácia da EENM associada ao exercício de sentar-levantar-sentar (STSTS) em 63 pacientes pós-reconstrução do ligamento cruzado anterior, divididos em três grupos: EENM + STSTS (GI), STSTS isolado (GC1) e reabilitação padrão (GC2). O protocolo de EENM aplicou estímulos nos músculos vasto medial e lateral, com intensidades de até 120 mA e ciclos de 8 segundos de contração e descanso. Os exercícios STSTS foram progressivamente ajustados ao longo de 60 dias. As avaliações de força muscular aos 60 e 180 dias após a cirurgia mostraram que o GI apresentou maior força extensora do joelho em ambos os ângulos (30° e 90°) e períodos, além de força flexora superior ao GC2 aos 60 dias. Todos os grupos apresentaram aumento da força extensora entre os períodos avaliados, mas o protocolo EENM + STSTS destacou-se como o mais eficaz para melhorar a força muscular, especialmente a extensão do joelho. Um outro estudo conduzido por Labanca et al.¹⁶ investigou os efeitos da EENM associada a exercícios funcionais em pacientes pós-reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto de tendão. O estudo envolveu 34 pacientes divididos em grupo intervenção (GI), que realizou EENM + exercícios funcionais, e grupo controle (GC), que seguiu a reabilitação padrão. O protocolo do GI inclui exercícios como sentar-levantar-sentar, agachamento e subir-descer degrau, realizados junto à EENM aplicada nos músculos vasto medial e lateral, reto femoral e semitendíneo com sessões cinco vezes por semana entre o 15º e o 60º dia pós-cirúrgico. As avaliações, realizadas entre 15 e 380 dias após a cirurgia, mostraram que o GI apresentou maiores ganhos de força muscular, especialmente nos extensores e flexores do joelho, além de uma recuperação mais rápida da simetria muscular (LSI). Quanto à regeneração tendínea, ambos os grupos tiveram aumento no comprimento do tendão semitendíneo, mas o GC apresentou maior perda de volume muscular em casos sem regeneração. Concluiu-se que o protocolo EENM + exercícios funcionais acelerou a recuperação muscular, melhorou a simetria e funcionalidade entre os membros e foi mais eficaz em comparação à reabilitação padrão.

O estudo de Lepley et al.¹⁷ avaliaram a combinação de estimulação elétrica neuromuscular e exercícios excêntricos na recuperação da força e ativação do quadríceps após a reconstrução do ligamento cruzado anterior. O estudo incluiu 36 participantes divididos em quatro grupos: GI (EENM + exercícios excêntricos), GC1 (exercícios excêntricos), GC2 (somente EENM) e GC3 (tratamento padrão). O protocolo de EENM foi aplicado nas primeiras seis semanas pós-operatórias, enquanto os exercícios excêntricos foram iniciados na sexta semana, ambos com duas sessões semanais. A avaliação de força foi realizada por contrações isométricas, e a ativação muscular foi medida pela razão de ativação central (CAR). Os resultados mostraram que os grupos GI e GC1 apresentaram os maiores ganhos de ativação muscular e força no retorno ao esporte (RTP), com GC1 superior ao GC3. O GI também superou o GC3, com tendências de melhores resultados que o GC2. Ambos os protocolos mais intensivos (EENM + exercícios excêntricos) mostraram ganhos de força e ativação semelhantes aos de indivíduos saudáveis, enquanto os grupos GC2 e GC3 apresentaram déficits significativos. Melhorias na ativação foram correlacionadas a ganhos de força. Conclui-se que os protocolos mais intensivos são mais eficazes na reabilitação muscular.

O estudo de Moran et al.¹⁸ investigou a viabilidade do uso da Estimulação Elétrica Funcional no quadríceps durante a caminhada, combinada com a reabilitação padrão, em pacientes no início do pós-operatório de reconstrução do ligamento cruzado anterior. Participaram 23 indivíduos, divididos em dois grupos: GI (FES durante a caminhada) e GC (EENM). Ambos os grupos realizaram sessões de estimulação elétrica três vezes por semana, mas o GI utilizou FES enquanto caminhava, enquanto o GC aplicou EENM em contrações isométricas. A eficácia foi medida pela velocidade e simetria da marcha, pico de força e força isométrica do quadríceps. Após 4 semanas, ambos os grupos recuperaram a velocidade de marcha pré-cirúrgica, mas o GI teve uma recuperação significativamente melhor na força máxima do quadríceps (82% da força pré-cirúrgica) em comparação ao GC (47%). O GI também apresentou melhor simetria de força entre os membros, atingindo níveis próximos aos observados antes da cirurgia, enquanto o GC ainda apresentava déficits significativos. Esses resultados indicam que a FES é eficaz na recuperação da força e simetria do quadríceps, superando o uso isolado de EENM.

Rodriguez et al.¹⁹ investigaram o impacto da EENM combinada com exercícios excêntricos (ECC) na recuperação da força do quadríceps, simetria biomecânica e saúde da cartilagem após a reconstrução do ligamento cruzado anterior. O estudo envolveu 90 pacientes, divididos em grupos de intervenção (GI) e controle (GC). O GI recebeu EENM e ECC, enquanto o GC recebeu intervenções placebo. Os tratamentos foram realizados duas vezes por semana, com EENM sendo ajustada para 40% da força máxima do membro contralateral e os ECC iniciados a 70% do 1-RM, aumentando para 90% ao longo das semanas. Após 9 e 18 meses, o GI apresentou melhorias significativas na simetria da força muscular, força isocinética e isométrica, ativação muscular e redução da atrofia do quadríceps, além de melhores resultados biomecânicos e na saúde da cartilagem. A utilização de EENM com ECC foi eficaz não só para a recuperação muscular e simetria, mas também para preservar a saúde articular. O estudo confirmou a eficácia do protocolo adotado com análises estatísticas robustas.

4. DISCUSSÃO

Os estudos analisados apontam importantes aspectos relacionados à eficácia da combinação dos protocolos na reabilitação pós-reconstrução do LCA. O estudo de Labanca et al.¹⁵ destaca que a combinação de estimulação elétrica neuromuscular com o protocolo funcional de sentar para levantar não apenas melhora significativamente a força do quadríceps, mas também promove a simetria de carga entre os membros inferiores. Esses resultados sugerem que a integração de EENM a um movimento funcional contribui para a ativação de unidades motoras de contração rápida, que são frequentemente inibidas no período pós cirúrgico. Essa abordagem pode ser mais eficaz do que o uso isolado de EENM, que não necessariamente resulta em melhorias nos movimentos funcionais. Adicionalmente, o estudo demonstra que os efeitos positivos do protocolo EENM + STSTS são mantidos a longo prazo, o que ressalta a importância de uma intervenção precoce para prevenir a atrofia muscular e desequilíbrios funcionais. A utilização de frequências variáveis de estimulação elétrica, combinadas com exercícios excêntricos, também mostrou ser eficaz na ativação de fibras musculares de contração rápida e lenta, promovendo uma recuperação muscular mais abrangente. No estudo de Labanca et al.¹⁶, a abordagem com EENM+ também se destacou por sua capacidade de melhorar a força muscular e a função do joelho, mesmo com as limitações impostas pelo período inicial de reabilitação. A sobreposição de EENM a exercícios funcionais de baixa intensidade mostrou-se crucial para aumentar a ativação muscular sem sobrecarregar a articulação. Esse protocolo promoveu uma melhora duradoura na circunferência da coxa, simetria de carga e amplitude de movimento do joelho, prevenindo complicações como a osteoartrite. Entretanto, a falta de diferenças morfológicas significativas nos tendões sugere que a melhoria funcional observada é mais relacionada às adaptações neurais do que à recuperação estrutural do tendão.

Por sua vez, Lepley et al.¹⁷ e Rodriguez et al.¹⁹ reforçam a relevância de protocolos que combinam EENM com exercícios excêntricos. Esses estudos destacam que os exercícios excêntricos desempenham um papel fundamental na ativação seletiva de fibras musculares do tipo II, que são essenciais para a restauração da força e função muscular. Embora a EENM isolada tenha mostrado benefícios na força muscular, sua combinação com exercícios excêntricos revelou ser mais eficaz na recuperação funcional e biomecânica, além de contribuir para a saúde da cartilagem articular. Outro aspecto relevante é apresentado por Moran et al.¹⁸, que explora a aplicação da estimulação elétrica funcional durante a marcha. Esse protocolo foi associado a uma maior recuperação da força muscular do quadríceps em comparação com a EENM tradicional, sugerindo que a sincronização da estimulação com movimentos funcionais potencia o controle motor e promove uma recuperação mais equilibrada entre os membros operado e não operado. No entanto, a FES não demonstrou diferenças significativas em variáveis de marcha, como velocidade e simetria de apoio, reforçando a importância de combinar essa técnica com protocolos de reabilitação tradicionais para obter resultados mais completos.

Ao comparar os resultados dos estudos analisados, observa-se uma convergência sobre a importância da combinação de EENM com exercícios funcionais para a recuperação pós-reconstrução do LCA. Labanca et al.¹⁵ e Labanca et al.¹⁶ destacam os benefícios da integração de EENM a movimentos funcionais, como o STSTS, no aumento da força do quadríceps e na promoção de simetria de carga, enquanto Moran et al.¹⁸ reforçam que a corrente FES, aplicada durante a marcha, potencia o controle motor. Entretanto, Moran et al. apontam que a corrente FES não influencia variáveis como a simetria de apoio, sugerindo que protocolos puramente funcionais podem ser insuficientes sem a inclusão de exercícios adicionais, como os excêntricos defendidos por Lepley et al.¹⁷ e Rodriguez et al.¹⁹. Estes, por sua vez, destacam que os exercícios excêntricos são fundamentais para a recuperação de fibras musculares do tipo II, mas não abordam diretamente a funcionalidade durante as atividades diárias. Apesar dessas diferenças, todos os estudos concordam que intervenções que combinam estimulação elétrica e movimentos dinâmicos ou específicos resultam em melhores desfechos musculares e funcionais do que intervenções isoladas.

Apesar das limitações apontadas, como tamanhos de amostra reduzidos, falta de grupos de controle saudáveis e avaliações indiretas da morfologia muscular, os achados discutidos sugerem que intervenções precoces e combinadas podem otimizar a reabilitação pós reconstrução do LCA. A integração de EENM com exercícios funcionais ou excêntricos, além da utilização de FES durante atividades como a marcha, parece ser uma abordagem promissora para restaurar a função muscular, prevenir desequilíbrios biomecânicos e reduzir o risco de complicações a longo prazo. Estudos futuros, com maior diversidade de populações e protocolos otimizados, são necessários para validar e expandir esses achados.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo destacou os benefícios da combinação entre eletroestimulação e cinesioterapia no tratamento pós-operatório de reconstrução do ligamento cruzado anterior. A integração dessas abordagens mostrou-se eficaz na promoção de diversos aspectos da recuperação funcional e biomecânica.

Entre os principais efeitos observados, destaca-se o aumento significativo da força do músculo quadríceps, essencial para a estabilidade do joelho e para o desempenho em atividades funcionais e esportivas. Além disso, a eletroestimulação demonstrou ser uma ferramenta valiosa na prevenção da atrofia muscular, problema comum em decorrência da imobilização e desuso pós-cirúrgico.

Outro ponto relevante foi a aceleração no processo de reabilitação, permitindo um retorno mais precoce às atividades diárias e esportivas, o que impacta positivamente tanto a recuperação física quanto o bem-estar psicológico dos pacientes. Essa combinação terapêutica também contribuiu para a prevenção de desequilíbrios biomecânicos e degeneração articular, fatores cruciais para a manutenção da saúde a longo prazo e para a redução do risco de complicações, como osteoartrite.

Os achados reforçam a relevância de protocolos combinados, que maximizam os benefícios da cinesioterapia ao potencializar a ativação muscular e o controle motor por meio da eletroestimulação. Assim, a integração dessas modalidades terapêuticas apresenta-se como uma abordagem promissora e abrangente para otimizar a reabilitação de pacientes no pós-operatório de RLCA, ampliando as possibilidades de recuperação funcional e qualidade de vida.

Estudos futuros são recomendados para explorar adaptações de protocolos em diferentes populações e investigar a longo prazo os impactos dessa combinação na prevenção de complicações articulares e na restauração funcional plena.

REFERÊNCIAS

1. Dufour M, Pillu M. Biomecânica funcional: Membros, Cabeça, Tronco. São Paulo: Editora Manole; 2016. Disponível em: <https://www.fea.br/wp-content/uploads/2021/06/Biomeca%CC%82nica-Funcional.pdf>
2. Yoo H, Marappa-Ganeshan R. Anatomia, Pelve Óssea e Membro Inferior, Ligamento Cruzado Anterior do Joelho. [Atualizado em 24 de julho de 2023]. Em: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559233/>
3. Erickson LN, Hickey Lucas KC, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, et al. Efeito do treinamento de restrição do fluxo sanguíneo na força muscular do quadríceps, morfologia, fisiologia e biomecânica do joelho antes e depois da reconstrução do ligamento cruzado anterior: Protocolo para um ensaio clínico randomizado. Fisioterapia. 2019;99(8):1010–9. doi: <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz062>.
4. Velázquez-Saornil J, Ruíz-Ruiz B, Rodríguez-Sanz D, Romero-Morales C, López-López D, Calvo-Lobo C. Efficacy of quadriceps vastus medialis dry needling in a rehabilitation protocol after surgical reconstruction of complete anterior cruciate ligament rupture. Medicine (Baltimore). 2017;96(17). doi: 10.1097/MD.00000000000006726. PMID: 28445290; PMCID: PMC5413255. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28445290/>
5. Santos GC, Freire EF, Freire RF, Júnior ES. Análise comparativa da hipertrofia e fortalecimento do músculo quadríceps a partir do exercício resistido x eletroestimulação (FES). CBS [Internet]. 2015;2(3):21–32. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsbiosauade/article/view/1834>
6. Faustino CAC. Reconstrução do LCA com o uso dos tendões dos músculos flexores mediais do joelho e fixação femoral com o sistema de Rigidifix®: relato preliminar. Acta Ortop Bras [Internet]. 2004;12(4):212–6. doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-78522004000400003>.
7. Bitun PB, Miranda CR, Escudero RB, Araf M, Souza DG de. Comparison of grafts for anatomical reconstruction of the ACL: patellar versus semitendinosus/gracilis . Rev bras ortop [Internet]. 2015Jan;50(1):50–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2015.02.004>
8. Pereira RN, Karam FC, Schwanke RL, Millman R, Foletto ZM, Schwanke CHA. Correlation between anthropometric data and length and thickness of the tendons of the semitendinosus and gracilis muscles used for grafts in reconstruction of the anterior cruciate ligament. Rev Bras Ortop [Internet]. 2016;51(2):175–80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2016.01.011>.
9. Cristiani R, Mikkelsen C, Wange P, et al. O tipo de autoenxerto afeta a força muscular e o desempenho do salto após a reconstrução do LCA. Um ensaio clínico randomizado comparando autoenxertos de tendão patelar e tendão do tendão da coxa com reabilitação padrão ou acelerada. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2021;29:3025–36. doi: <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06334-5>.
10. Salvini TF, Durigan JLQ, Peviani SM, Russo TL. Effects of electrical stimulation and stretching on the adaptation of denervated skeletal muscle: implications for physical therapy. Braz J Phys Ther [Internet]. 2012May;16(3):175–83. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1413-35552012005000027>
11. Wright RW, Preston E, Fleming BC, Amendola A, Andrich JT, Bergfeld JA, et al. A systematic review of anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: part II: open versus closed kinetic chain exercises, neuromuscular electrical stimulation, accelerated rehabilitation, and miscellaneous topics. J Knee Surg. 2008;21(3):225–234. doi:10.1055/s-0030-1247823. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18686485/>

12. Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale J Biol Med*. 2012;85(2):201–15. PMID: 22737049; PMCID: PMC3375668. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22737049/>
13. Barros AL, Costa FJ, Moura TAB, Siqueira FS, Gomes AP. Estudo comparativo dos efeitos das correntes Aussie, Interferencial e Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea (TENS) no tratamento da lombalgia crônica. *Interfaces (Rev Ext Cult Soc)*. 2023;11(2):64–80. Disponível em: <https://interfaces.unileao.edu.br/index.php/revista-interfaces/article/view/995/876>.
14. Bohórquez IJR, Souza MN, Pino AV. Influência de parâmetros da estimulação elétrica funcional na contração concêntrica do quadríceps. *Rev Bras Eng Bioméd [Internet]*. 2013;29(2):153–65. doi: <https://doi.org/10.4322/rbeb.2013.012>.
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;50(3):407–16. doi: 10.1249/MSS.0000000000001462. PMID: 29059108. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29059108/>
16. Labanca L, Rocchi JE, Giannini S, et al. Early superimposed NMES training is effective to improve strength and function following ACL reconstruction with hamstring graft regardless of tendon regeneration. *J Sports Sci Med*. 2022;21(1):91–103. doi: 10.52082/jssm.2022.91. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35250338/>
17. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee*. 2015;22(3):270–7. doi: 10.1016/j.knee.2014.11.013. PMID: 25819154. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4754794/>
18. 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. PMID: 31299999. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-31299999>
19. Rodriguez K, Garcia SA, Spino C, et al. Michigan Initiative for Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation (MiACLR): A Protocol for a Randomized Clinical Trial. *Phys Ther*. 2020;100(12):2154–64. doi: 10.1093/ptj/pzaa169. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-32939539>