

Eletroestimulação neuromuscular em pacientes com insuficiência cardíaca: uma revisão sistemática com metanálise

Neuromuscular electrostimulation in patients with heart failure: a systematic review with meta-analysis

Aline de Sousa Nassif , Fernanda Lobo de Jesus Brito , Gilmara Santa Rosa Santos ,
André Luiz Lisboa Cordeiro 

1. Centro Universitário Nobre, Feira de Santana, BA, Brasil

RESUMO

Introdução: A insuficiência cardíaca crônica (ICC) ocorre quando o coração se torna incapaz de atender adequadamente às demandas do organismo, levando à redução do fluxo sanguíneo. O paciente apresenta dispneia, fadiga e incapacidade de realizar exercícios que exigem maior esforço. A eletroestimulação neuromuscular (EENM) tem sido utilizada como tratamento para aumentar a força muscular, a capacidade funcional e a qualidade de vida. **Objetivo:** Revisar a efetividade da eletroestimulação neuromuscular sobre força muscular, qualidade de vida e capacidade funcional em pacientes com insuficiência cardíaca. **Métodos:** Trata-se de uma revisão sistemática utilizando a estratégia PICO, com buscas realizadas nas bases de dados PUBMED, SciELO e LILACS, utilizando os descritores: insuficiência cardíaca, estimulação elétrica nervosa transcutânea, qualidade de vida, força muscular e estado funcional, combinados pelos operadores booleanos “AND” e “OR”. **Resultados:** Dezoito estudos foram incluídos após o processo de seleção. A EENM não demonstrou diferença estatisticamente significativa no desfecho capacidade funcional (diferença entre médias de 12,06 metros; IC 95%, -2,55 a +26,66), porém houve diferença estatisticamente significativa para qualidade de vida (diferença entre médias de 4,20 pontos; IC 95%, 2,79 a 5,62). Os estudos demonstraram superioridade na força muscular em pacientes com ICC submetidos à EENM. **Conclusão:** A eletroestimulação neuromuscular pode ser implementada com segurança em pacientes com insuficiência cardíaca, impactando positivamente a qualidade de vida e a força muscular, porém sem efeito sobre a capacidade funcional.

Palavras-chave: insuficiência cardíaca; estimulação elétrica nervosa transcutânea; qualidade de vida; força muscular; estado funcional

ABSTRACT

Introduction: Chronic Heart Failure (CHF) occurs when the heart is unable to meet the body's demands adequately, resulting in reduced blood flow. The patient experiences dyspnea, fatigue, and an inability to perform exercises that require greater effort. Neuromuscular electrostimulation (NMES) has been used as a treatment to increase muscle strength, functional capacity, and quality of life. **Objective:** To review the effectiveness of NMES on muscle strength, quality of life, and functional capacity in patients with heart failure. **Methods:** This is a systematic review using the PICO strategy, with searches conducted in the PUBMED, SciELO, and LILACS databases using the descriptors: heart failure, transcutaneous electrical nerve stimulation, quality of life, muscle strength, and functional status, combined with the boolean operators 'AND' and 'OR'. **Results:** Eighteen studies were included after selection. NMES showed no statistically significant difference on the functional capacity outcome (difference between means 12.06 meters; 95% CI, -2.55 to +26.66), but there was a statistically significant difference in quality of life (difference between means 4.20 points; 95% CI, 2.79 to 5.62). The studies showed superiority in muscle strength for patients with CHF who were exposed to NMES. **Conclusion:** Neuromuscular electrostimulation can safely be implemented in patients with heart failure, positively impacting quality of life and muscle strength, but without affecting functional capacity.

Keywords: heart failure; transcutaneous electrical nerve stimulation; quality of life; muscle strength; functional status

Introdução

A insuficiência cardíaca (IC) é uma condição clínica caracterizada pela incapacidade do coração de bombear sangue de forma eficiente, levando a sintomas como fadiga, dispneia e retenção de líquidos. Segundo McMurray *et al.* [1], a prevalência da IC tem aumentado globalmente devido ao envelhecimento populacional e à maior sobrevivência de pacientes com doenças cardiovasculares. Apesar dos avanços terapêuticos, a IC ainda apresenta elevadas taxas de morbidade e mortalidade, tornando necessária a exploração de alternativas capazes de melhorar a qualidade de vida dos pacientes. A reabilitação cardiovascular tem se consolidado como uma abordagem importante, e a eletroestimulação neuromuscular (EENM) surge como uma intervenção promissora para otimizar o desempenho muscular e funcional de pacientes com IC [2].

A EENM utiliza estímulos elétricos para promover contração muscular e melhorar a força e a resistência muscular em indivíduos com disfunções neuromusculares. Em pacientes com IC, a função muscular periférica frequentemente encontra-se comprometida devido ao processo crônico de descondição físico, resultando em redução da capacidade funcional [3]. De acordo com Barlow *et al.* [4], a EENM tem demonstrado potencial na reabilitação da musculatura esquelética, particularmente dos membros inferiores, que são mais afetados pela IC. Essa modalidade terapêutica é capaz de estimular tanto fibras musculares de contração lenta quanto rápida, promovendo melhora do trofismo muscular e reduzindo o risco de atrofia [5].

Estudos recentes demonstram que a EENM pode melhorar a força muscular, a tolerância ao exercício e a qualidade de vida em pacientes com insuficiência cardíaca [6,7]. A combinação da EENM com programas de reabilitação cardiovascular tem se mostrado eficaz na otimização de desfechos relacionados à funcionalidade e à saúde física global desses pacientes [7]. Entretanto, ainda existem divergências quanto ao protocolo de estimulação mais adequado, incluindo frequência, intensidade e duração do tratamento. Entre esses parâmetros, a individualização terapêutica parece ser um fator essencial para maximizar os benefícios da intervenção [8].

Com base nas evidências atuais, espera-se que os achados forneçam subsídios para a integração da EENM à prática clínica da reabilitação cardiovascular, oferecendo alternativas terapêuticas mais efetivas para essa população [9,10]. Diante desse cenário, a presente revisão sistemática tem como objetivo avaliar a efetividade da eletroestimulação neuromuscular sobre força muscular, qualidade de vida e capacidade funcional em pacientes com insuficiência cardíaca.

Métodos

Tipo de estudo e registro

Esta revisão sistemática foi conduzida seguindo as diretrizes do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) [11]. O artigo foi registrado no International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) sob o número CRD42025637595.

Crêterios de elegibilidade

Esta revisão sistemática utilizou a estratégia PICOS [12]. A população do estudo foi composta por pacientes com insuficiência card cia submetidos à eletroestimulação neuromuscular. O grupo controle foi constituído por pacientes que não realizaram eletroestimulação. Os desfechos avaliados estavam relacionados à força muscular, qualidade de vida e capacidade funcional. Foram incluídos ensaios clínicos randomizados, sem restrição de idioma ou ano de publicação.

Fontes de informação

Foi realizada uma busca eletr nica nas bases de dados Web of Science, Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), PubMed, Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL) e OVID. Adicionalmente, foram examinadas as listas de referências de revisões sistemáticas prévias e de ensaios clínicos elegíveis para esta revisão. A busca dos artigos foi concluída em novembro de 2024.

Estratégia de busca

A busca foi baseada na estratégia PICOS previamente descrita e nos operadores booleanos AND e OR. A estratégia de busca utilizada no PubMed está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Estratégia de busca

("Heart Failure"[Mesh] OR "heart failure"[tiab] OR "cardiac failure"[tiab] OR "congestive heart failure"[tiab]) AND ("Electric Stimulation Therapy"[Mesh] OR "neuromuscular electrical stimulation"[tiab] OR "NMES"[tiab] OR "electromyostimulation"[tiab] OR "muscle electrical stimulation"[tiab]) AND ("Muscle Strength"[Mesh] OR "muscle strength"[tiab] OR "muscle force"[tiab] OR "Quality of Life"[Mesh] OR "quality of life"[tiab] OR "Exercise Tolerance"[Mesh] OR "functional capacity"[tiab] OR "exercise capacity"[tiab]) AND ("Randomized Controlled Trial"[Publication Type] OR "randomized"[tiab] OR "randomised"[tiab])

Seleção dos estudos

Esta revisão sistemática incluiu ensaios clínicos randomizados envolvendo pacientes com insuficiência card cia. Para serem elegíveis, os estudos clínicos deveriam alocar pacientes com insuficiência card cia para tratamento com eletroestimulação neuromuscular. Estudos envolvendo participantes de ambos os sexos também foram incluídos.

A eletroestimulação neuromuscular (EENM) consiste na aplicação de corrente elétrica, de baixa ou média frequência, por meio de eletrodos posicionados sobre a pele, com o objetivo de estimular um músculo específico. Estudos envolvendo outros tipos de intervenções combinadas com a EENM foram excluídos.

Processo de coleta de dados

A extração dos artigos selecionados passou pelas seguintes etapas: triagem de títulos (primeira etapa), análise dos resumos (segunda etapa) e leitura dos textos

completos (terceira etapa). Posteriormente, realizou-se uma leitura exploratória dos estudos selecionados, seguida de uma leitura seletiva e analítica. Os dados extraídos dos artigos foram sintetizados segundo autores, periódico, ano de publicação, título e conclusões, visando reunir informações relevantes para a pesquisa.

A qualidade metodológica dos estudos foi avaliada por três revisores independentes. Quando surgiram divergências, o artigo foi lido integralmente para reavaliação. Caso a discordância permanecesse, um quarto revisor avaliava o estudo e tomava a decisão final.

Itens de dados

Dois autores extraíram independentemente os dados dos estudos publicados utilizando um método padronizado de extração, considerando os seguintes aspectos:

1. Características da população estudada, como idade média, sexo, número de pacientes e diagnóstico;
2. Detalhes da intervenção, incluindo tamanho amostral, tipo de eletroestimulação neuromuscular, presença de supervisão, intensidade, frequência e duração de cada sessão;
3. Seguimento;
4. Perdas durante o acompanhamento;
5. Medidas de desfecho;
6. Resultados reportados.

Qualidade de cada estudo

A qualidade metodológica dos estudos foi avaliada por meio da escala PEDro [13], instrumento amplamente utilizado para analisar a qualidade metodológica de ensaios clínicos randomizados em pesquisas da área da saúde. A escala é composta por 11 critérios que avaliam aspectos relacionados ao delineamento metodológico e ao risco de vieses, incluindo critérios de elegibilidade, alocação aleatória, ocultação da alocação, comparabilidade inicial entre os grupos, cegamento de participantes, terapeutas e avaliadores, seguimento adequado, análise por intenção de tratar, comparações entre grupos e apresentação de medidas pontuais e de variabilidade. Cada item recebe pontuação de presença (1) ou ausência (0), sendo a pontuação máxima de 10 pontos, uma vez que o primeiro item, referente aos critérios de elegibilidade, não é contabilizado na pontuação final. A avaliação metodológica foi realizada de forma independente pelos revisores, permitindo a análise da robustez metodológica e da qualidade interna dos estudos incluídos nesta revisão sistemática.

Síntese dos resultados

A presença de heterogeneidade foi avaliada por meio do teste Qui-quadrado (χ^2) e da estatística I^2 . Essa estatística demonstra a porcentagem de variabilidade nas estimativas de efeito decorrente da heterogeneidade entre estudos, e não do erro amostral.

Avaliação estatística

A diferença entre médias dos grupos e seus respectivos intervalos de confiança de 95% foram calculados e utilizados para quantificar o efeito dos desfechos contínuos. Nas metanálises em que os estudos utilizaram as mesmas escalas de avaliação, os resultados foram apresentados como diferença de médias (DM) e intervalos de confiança de 95%. Nos casos em que escalas distintas foram empregadas, os efeitos foram calculados utilizando a diferença de médias padronizada (DMP) e respectivos intervalos de confiança de 95%. O tamanho do efeito das intervenções foi definido como pequeno se $DM < 10\%$ da escala ou $DMP < 0,4$, moderado se $DM = 10\%$ a 20% da escala ou $DMP = 0,41$ a $0,7$ ou grande se $DM > 20\%$ da escala ou $DMP > 0,7$.

Resultados

Seleção e características dos estudos

De acordo com os dados apresentados no fluxograma de seleção dos estudos (Figura 1), a busca nas bases de dados identificou um total de 1.980 artigos, dos quais 43 eram duplicados. Inicialmente, 1.870 estudos foram excluídos após a triagem de títulos e resumos. Posteriormente, após a leitura dos textos completos, 49 artigos foram excluídos por associarem a eletroestimulação neuromuscular (EENM) a outras intervenções. Dessa forma, 18 estudos atenderam aos critérios de elegibilidade e foram incluídos nesta revisão sistemática.

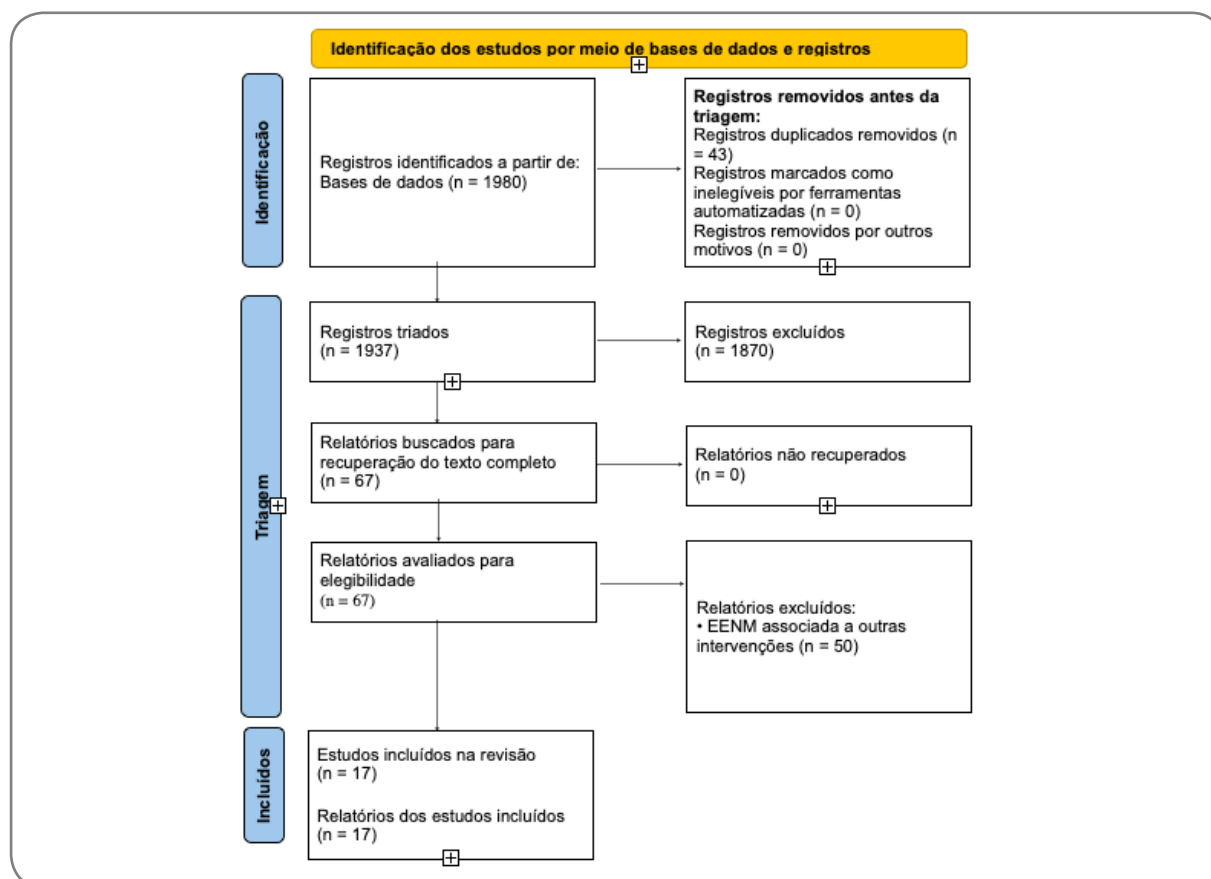


Figura 1 – Fluxograma de seleção dos estudos

Resultados da qualidade metodológica

De acordo com a escala PEDro, seis estudos foram classificados como de baixa qualidade metodológica, onze apresentaram qualidade metodológica moderada e dois foram considerados de alta qualidade. Os critérios avaliados pela escala PEDro, bem como as pontuações obtidas por cada estudo, estão apresentados detalhadamente na Tabela I.

Tabela I - Classificação dos artigos segundo a Escala PEDro

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
Dobšák et al. [14]		X		X						X	X	4
Deley et al. [15]		X		X				X		X	X	5
Deley et al. [16]		X		X						X	X	4
Eicher et al. [17]		X									X	2
Harris et al. [18]		X		X				X		X	X	5
Karavidas et al. [19]		X		X			X	X		X	X	6
Araújo et al. [20]		X	X	X			X	X		X	X	7
Banerjee et al. [21]		X								X	X	3
Karavidas et al. [22]		X		X			X			X	X	5
Karavidas et al. [23]		X		X			X	X		X	X	6
Nuhr et al. [24]		X	X	X				X		X	X	6
Quittan et al. [25]		X		X			X			X	X	5
Groehs et al. [26]		X		X			X	X			X	5
Sacilotto et al. [27]		X		X				X	X	X	X	6
Kucio et al. [28]		X	X	X				X		X	X	6
Forestieri et al. [29]		x	x	x			x			x	x	6
Kadoglou et al. [30]		x		x						x	x	4
Ennis et al. [31]		x	x	x	x		x		x	x	x	8

Itens da Escala PEDro: 1) Os critérios de elegibilidade foram especificados (* - Este item não é utilizado para o cálculo da pontuação PEDro); 2) Os participantes foram distribuídos aleatoriamente nos grupos; 3) A alocação dos participantes foi sigilosa (oculta); 4) Os grupos eram inicialmente semelhantes em relação aos principais indicadores prognósticos; 5) Todos os participantes foram cegados quanto ao estudo; 6) Todos os terapeutas que administraram a intervenção foram cegados; 7) Todos os avaliadores responsáveis pela mensuração de pelo menos um desfecho principal foram cegados; 8) As medidas de pelo menos um desfecho principal foram obtidas em mais de 85% dos participantes originalmente alocados nos grupos; 9) Todos os participantes cujos resultados foram apresentados receberam o tratamento ou condição controle conforme alocados originalmente ou, quando isso não ocorreu, os dados foram analisados utilizando análise por intenção de tratar para pelo menos um desfecho; 10) Os resultados das comparações estatísticas entre os grupos foram apresentados para pelo menos um desfecho principal; 11) O estudo apresentou medidas de precisão e variabilidade para pelo menos um desfecho principal. Classificação da qualidade metodológica: a) Alta qualidade metodológica; b) Qualidade metodológica moderada; c) Baixa qualidade metodológica.

Participantes

Um total de 292 pacientes recebeu a intervenção nos estudos incluídos nesta revisão. A idade dos participantes variou entre 18 e 66 anos, com predominância do sexo masculino, representando 195 indivíduos (66%) da amostra total. Os demais dados demográficos e clínicos estão apresentados na Tabela II.

A Tabela III apresenta os principais parâmetros utilizados para a aplicação da eletroestimulação neuromuscular (EENM) na população estudada.

Tabela II – Resumo das características dos artigos analisados

Autor/Ano	País	Amostra	Participantes	Controle	Intervenção	Desfechos avaliados	Resultados
Deley et al. 2008 [15]	EUA	44	Pacientes com insuficiência cardíaca crônica estável	Programas convencionais de treinamento aeróbico	Cinco semanas de treinamento físico associado à eletromioestimulação (EMS)	Capacidade funcional	Ambos os protocolos promoveram melhora significativa na distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos (TC6M) (+13,8% no grupo EMS e +16,5% no grupo controle; $p < 0,001$).
Dobšák et al. [14]	República Tcheca	30	Pacientes com insuficiência cardíaca crônica estável, classe NYHA II-III	Oito semanas de treinamento em bicicleta ergométrica	Oito semanas de estimulação elétrica domiciliar de baixa frequência (LFES)	Capacidade funcional e qualidade de vida	Distância percorrida em 6 minutos aumentou significativamente em ambos os grupos (LFES: 398 ± 105 m para 435 ± 112 m; $p < 0,05$; bicicleta: 425 ± 118 m para 483 ± 120 m; $p < 0,03$).
Deley et al. 2005 [16]	França	24	Pacientes com insuficiência cardíaca crônica estável	Programas convencionais de treinamento aeróbico	EMS aplicada em quadríceps e panturrilhas por estimuladores portáteis de duplo canal	Capacidade funcional e força muscular	Ambos os protocolos melhoraram significativamente o TC6M (+11,9% EMS; +15,3% exercício convencional). A força dos extensores do joelho aumentou significativamente em ambos os grupos ($p < 0,05$).
Eicher et al. [17]	França	24	Pacientes com insuficiência cardíaca crônica estável	Programa tradicional de bicicleta ergométrica	Estimulação elétrica dos músculos dos membros inferiores	Capacidade funcional	A distância percorrida em 6 minutos melhorou significativamente em ambos os grupos. A melhora foi maior no grupo de EMS (+ 72 m) do que no grupo de bicicleta (+ 29 m).
Harris et al. [18]	Reino Unido	46	Pacientes estáveis NYHA II-III	Programa de treinamento com bicicleta ergométrica por seis semanas	Estimulação elétrica de quadríceps e gastrocnêmios	Capacidade funcional, qualidade de vida e força muscular	Observaram-se aumentos significativos no teste de caminhada de 6 minutos (44,6 m; intervalo de confiança [IC] de 95%: 29,3–60,9 m), bem como aumentos significativos semelhantes após o treinamento (40,6 m; IC de 95%: 28,2–53,0 m), na força máxima de membros inferiores (5,32 kg; IC de 95%: 3,18–7,45 kg) e na força máxima de membros inferiores (5,35 kg; IC de 95%: 1,53–9,17 kg). Os escores de qualidade de vida melhoraram após o treinamento quando os grupos da bicicleta e do estimulador foram considerados em conjunto, mas não quando analisados separadamente (–0,43; IC de 95%: –8,13 a –0,56).
Karavidas et al. 2013 [19]	Grécia	30	Pacientes com insuficiência cardíaca com fração de ejeção preservada	Programa placebo	Seis semanas de estimulação elétrica funcional (FES)	Capacidade funcional e qualidade de vida	Uma melhora significativa na distância percorrida em 6 minutos ($F = 21,61$, $P = 0,001$), resumo do Questionário de Cardiomiopatia de Kansas City ($F = 8,68$, $P = 0,006$), Questionário de Vida com Insuficiência Cardíaca de Minnesota ($F = 6,43$, $P = 0,017$)

Tabela II – Continuação

Autor/Ano	País	Amostra	Participantes	Controle	Intervenção	Desfechos avaliados	Resultados
Araújo et al. [20]	Brasil	30	Pacientes internados na enfermaria para tratamento de insuficiência cardíaca de um hospital terciário de cardiologia.	Não receberam EENM	Submeteu-se a reabilitação convencional e NMES por 60 minutos (frequência de onda de 20 Hz, duração de pulso de 20 μ s), duas vezes ao dia, em dias consecutivos até a alta hospitalar.	Capacidade funcional	Distância percorrida em metros no TC6 pelos pacientes submetidos à EENM antes: $372,9 \pm 62,4$ e depois: 500 ± 68 , $p < 0,001$. Os pacientes do grupo controle tiveram antes: $379,7 \pm 43,5$ e depois: $372,9 \pm 46,9$
Banerjee et al. [21]	Reino Unido	18	ICC estável por disfunção sistólica do ventrículo esquerdo com sintomas de Classe II-III da New York Heart Association	Período de controle de 8 semanas durante o qual mantiveram seu nível de atividade habitual	Programa de treinamento de EMS de 8 semanas	Capacidade funcional e força muscular	TC6M e força dos quadríceps em comparação com os valores basais e a resposta de controle
Karavidas et al. 2008 [22]	Grécia	30	Pacientes com ICC estável	Placebo	Programa FES por seis semanas	Capacidade funcional e qualidade de vida	Uma melhora significativa no KCCQ funcional ($F = 76,666$, $p < 0,001$), KCCQ geral ($F = 41,508$, $p < 0,001$) foi observada no grupo FES em comparação ao placebo. Os pacientes do grupo FES também tiveram um aumento significativo no TC6M ($F = 19,413$, $p < 0,001$) em comparação com o placebo.
Karavidas et al. 2006 [23]	Grécia	24	Pacientes com fração de ejeção do ventrículo esquerdo inferior a 40% e sintoma classe II-III da New York Heart Association	Entrada de corrente recebida até o limiar sensorial sem contrações musculares.	FES durante seis semanas	Capacidade funcional e qualidade de vida	Uma melhora significativa no teste de caminhada de 6 minutos ($7,5 \pm 3,3\%$) e no Minnesota Living Score ($18,2 \pm 8,6\%$) foi observada apenas no grupo tratado com FES.
Nuhr et al. [24]	Áustria	32	Pacientes com diagnóstico de insuficiência cardíaca crônica	NMES até o limiar sensorial, sem contrações musculares	EENM que gerava contrações musculares; (Largura de pulso de 0,5 ms e frequência de 15 Hz)	Capacidade funcional e qualidade de vida	O escore de qualidade de vida diminuiu no grupo intervenção (53 ± 20 , $P < 0,001$), enquanto o grupo controle permaneceu inalterado (66 ± 22 , ns). No teste de caminhada de 6 minutos (TC6) foi observada diferença significativa: Grupo intervenção (227 ± 138 m vs 299 ± 137 m). Grupo controle (237 ± 132 m vs 243 ± 145 m)

Tabela II – Continuação

Autor/Ano	País	Amostra	Participantes	Controle	Intervenção	Desfechos avaliados	Resultados
Quittan et al. [25]	Áustria	42	Pacientes com progressão estável da doença listados para transplante	EENM até o limiar sensorial, sem contrações musculares.	Os pacientes receberam sessões diárias de EENM, duas vezes ao dia, durante 8 semanas, com frequência de 50 Hz e ciclo de trabalho (regime on/off).	Força muscular e qualidade de vida	A força muscular aumentou em média 22,7 para os músculos extensores do joelho e 35,4 para os músculos flexores do joelho. O Grupo Controle permaneceu inalterado ou diminuiu -8,4 na força extensora. A área transversal aumentou 15,5 no Grupo de Estimulação e 1,7 no Grupo Controle. As atividades da vida diária e a qualidade de vida melhoraram no Grupo de Estimulação, mas não no Grupo de Controle.
Groehs et al. [26]	Brasil	30	Pacientes hospitalizados com insuficiência cardíaca descompensada	Estimulação elétrica com intensidade < 20 mA	A estimulação elétrica funcional consistiu na estimulação dos membros inferiores com frequência de 10 Hz, largura de pulso de 150 ms e intensidade de 70 mA por 60 minutos/dia durante 8 a 10 dias consecutivos	Capacidade funcional, força muscular e qualidade de vida	Tanto o grupo FES quanto o grupo controle apresentaram aumento nos resultados do teste de caminhada ($p < 0,001$ e $p = 0,001$, respectivamente). Porém, a distância percorrida foi maior no grupo FES do que no grupo controle ($p < 0,001$). A força muscular extensora do joelho aumentou no grupo FES ($p < 0,001$), mas não no grupo controle. As comparações entre os grupos revelaram que o escore de qualidade de vida foi maior no grupo FES do que no grupo controle ($p < 0,001$).
Sacilotto et al. [27]	Brasil	28	Pacientes com insuficiência cardíaca grave	A aplicação da corrente não induziu contração muscular.	A estimulação foi aplicada, induzindo contração muscular visível, duas vezes por semana durante um período de 7 dias por semana, 50 minutos (frequência de pulso de 50 Hz, tempo de subida/descida de 2/2 segundos e tempo de contração/relaxamento de 3/9 segundos, respectivamente).	Qualidade de vida e capacidade funcional	A distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos (TC6) aumentou imediatamente após a realização do protocolo de EENM quando comparada à distância percorrida antes do tratamento de EENM: 324 ± 117 m vs 445 ± 100 m, $p = 0,02$. O grupo placebo não apresentou diferenças nos valores do TC6 antes e depois do tratamento. No grupo EENM, houve redução significativa nos escores obtidos por meio do Questionário de Qualidade de Vida (QQV), indicando melhora na qualidade de vida (64 ± 22 vs 45 ± 17 , $p < 0,01$)
Kucio et al. [28]	Polônia	72	Pacientes com ICC estável	Recebeu tratamento exclusivamente farmacológico e com exercícios.	EENM administrada	Qualidade de vida e capacidade funcional	Três semanas de reabilitação induziram aumentos significativos ($p < 0,05$) na distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos e melhora na qualidade de vida em todos os grupos, mas as diferenças entre os grupos não foram significativas ($p > 0,05$).

Tabela II – Continuação

Autor/Ano	País	Amostra	Participantes	Controle	Intervenção	Desfechos avaliados	Resultados
Forestieri et al. [29]	Brasil	70	Pacientes hospitalizados com insuficiência cardíaca avançada descompensada	Eles não receberam NMES, apenas o tratamento padrão.	Uma corrente bifásica de 40 Hz, duração de pulso de 400 μ s, modo 'on-time' de 10 segundos e 'off-time' de 20 segundos, com amplitude máxima de 60 mA, foi aumentada de acordo com a tolerância do paciente até que fosse observada contração muscular. O tratamento durou 2 semanas, duas vezes ao dia, durante 60 minutos.	Capacidade funcional	Em relação à capacidade funcional, os grupos eram homogêneos no início do estudo, e foi observada melhora significativa na distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos em ambos os grupos pós-protocolo em comparação aos valores basais ($p < 0,05$). No entanto, o grupo EMS apresentou um aumento significativamente maior em comparação ao grupo controle após a aplicação do protocolo ($p < 0,001$), em relação ao valor basal ($p < 0,001$).
Kadoglou et al. [30]	Grécia	120	Com ICC estável (sem descompensação recente) (classe II/III da NYHA e fração de ejeção do ventrículo esquerdo $<40\%$)	Estimulação de menor intensidade (5 Hz), não provocando contrações visíveis ou palpáveis.	Contrações musculares visíveis organizando o fornecimento de uma corrente elétrica direta a 25 Hz por 5 segundos seguida de um descanso de 5 segundos por cada estimulador.	Capacidade funcional	O TC6M foi significativamente melhorado no grupo FES (efeito do tratamento na alteração do TC6M 41,8, IC 95% 34,6–48,9)
Ennis et al. [31]	Reino Unido	60	Ensaio de viabilidade randomizado sobre os efeitos da estimulação elétrica muscular de baixa frequência em pacientes com insuficiência cardíaca avançada.	Nível de estimulação muito baixo (LF-EMS) (frequência: 99 Hz, largura de pulso: 150 μ s, amplitude máxima de corrente: 7,3 mA)	Contrações rítmicas nos grupos musculares da perna	Capacidade funcional, força muscular e qualidade de vida	Melhoras não significativas após LF-EMS (ponto de tempo de 8 semanas) e grupos simulados foram observadas na distância de caminhada de 6 minutos (6MWD) com um aumento médio da linha de base de 24 m ($p = 0,13$) no grupo LF-EMS Não houve diferenças significativas entre os grupos na mudança da linha de base para força muscular. Houve uma melhora não significativa na qualidade de vida em ambos os grupos

EMS = eletromioestimulação (electrical myostimulation); LFES = estimulação elétrica de baixa frequência (low-frequency electrical stimulation); NYHA = New York Heart Association; ICC (CHF) = insuficiência cardíaca crônica (Chronic Heart Failure); ICFeP (HFpEF) = insuficiência cardíaca com fração de ejeção preservada (Heart Failure with preserved ejection fraction); FES = estimulação elétrica funcional (Functional Electrical Stimulation); TC6M (6MWT) = teste de caminhada de 6 minutos (6-minute walk test); KCCQ = Kansas City Cardiomyopathy Questionnaire

Tabela III - Características da intervenção com eletroestimulação neuromuscular (EENM) nos estudos incluídos na revisão

Autor	Intensidade	Corrente	Frequência	Músculos	Largura de pulso	Tempo (min/dia)	Frequência (dias/semana)	Duração (semanas)
Deley et al. 2008 [15]	Máxima tolerada	Bifásica	10 Hz	QDC/CM	0.2 ms	60	5	5
Dobšák et al. [14]	Até máximo de 60 mA	Bifásica	10 Hz	QDC/CM	200 ms	60	7	8
Deley et al. 2005 [16]	Máxima tolerada	Bifásica	10 Hz	QDC/CM	0.2 ms	60	5	5
Eicher et al. [17]	NA	NA	10 Hz	QDC/GM	200 ms	30	7	3.5
Harris et al. [18]	Contração muscular visível	NA	25 Hz	QDC/GM	NA	30	6	6
Karavidas et al. 2013 [19]	Contração muscular visível	NA	25 Hz	QDC/GM	NA	30	5	6
Araújo et al. [20]	NA	Bifásica	20 Hz	QDC	200 µs	120	7	2
Banerjee et al. [21]	Máximo de 300 mA	NA	4 Hz	QDC/HAM/GLUT/CM	NA	60	5	8
Karavidas et al. 2008 [22]	Contração muscular visível	NA	25 Hz	QDC/GM	NA	30	5	6
Karavidas et al. 2006 [23]	Contração muscular visível	NA	25 Hz	QDC/GM	NA	30	5	6
Nuhr et al. [24]	25–30% da contração voluntária máxima	Bifásica simétrica	15 Hz	QDC/HM	0.5 ms	240	7	10
Quittan et al. [25]	25–30% da contração voluntária máxima	Bifásica simétrica	50 Hz	QDC/HM	0.7 ms	2 semanas: 30 min; depois 6 semanas: 60 min	5	8
Groehs et al. [26]	Contração muscular visível	Bifásica simétrica	10 Hz	QDC/HM	150	60	7	10
Sacilotto et al. [27]	Contração muscular visível	Bifásica simétrica	50 Hz	QDC	NA	50	2	7
Kucio et al. [28]	Contração muscular visível	Bifásica simétrica	35 Hz	QDC/TS	NA	40	6	3
Forestieri et al. [29]	Máxima tolerada	Bifásica simétrica	40Hz	QDC	400-µs	60	2	Duração da intervenção hospitalar
Kadoglou et al. [30]	Contrações musculares visíveis	Bifásica simétrica	25 Hz	Gastrocnêmio	NA	NA	NA	6
Ennis et al. [31]	Contrações rítmicas produzidas	Bifásica simétrica	4–5 Hz	Grupos musculares dos membros inferiores	620 µs	NA	NA	8

QDC = quadríceps; CM = músculos da panturrilha (calf muscles); GM = gastrocnêmio (gastrocnemius muscle); HAM = isquiotibiais (hamstrings); GLUT = glúteos (gluteal muscles); HM = músculos dos isquiotibiais (hamstring muscles); TS = tríceps sural; Hz = hertz; ms = milissegundos; µs = microssegundos; mA = miliampères; min = minutos; d/wk = dias por semana; wk = semanas; NA = não informado

Capacidade funcional

Dezesseis estudos [14–29,31] analisaram o impacto da eletroestimulação neuromuscular (EENM) sobre a capacidade funcional. Para a metanálise dessa comparação, foi utilizado um modelo de efeitos aleatórios ($I^2 = 74\%$; $df = 15$; $p = 0,00001$), indicando heterogeneidade substancial entre os estudos. Os resultados não demonstraram diferença estatisticamente significativa entre o grupo submetido à EENM e o grupo controle em relação à capacidade funcional (diferença entre médias = 12,06 metros; IC 95%: -2,55 a 26,66; Figura 2).

Qualidade de vida

Nove estudos [14,18,19,22,24,26–28,31] analisaram o impacto da eletroestimulação neuromuscular (EENM) sobre a qualidade de vida. Para a metanálise dessa comparação, foi utilizado um modelo de efeitos aleatórios ($I^2 = 97\%$; $df = 8$; $p = 0,00001$), indicando elevada heterogeneidade entre os estudos incluídos. Os resultados demonstraram diferença estatisticamente significativa entre o grupo submetido à EENM e o grupo controle em relação à qualidade de vida (diferença entre médias = 4,20 pontos; IC 95%: 2,79 a 5,62; Figura 3), sugerindo benefício da intervenção para esse desfecho.

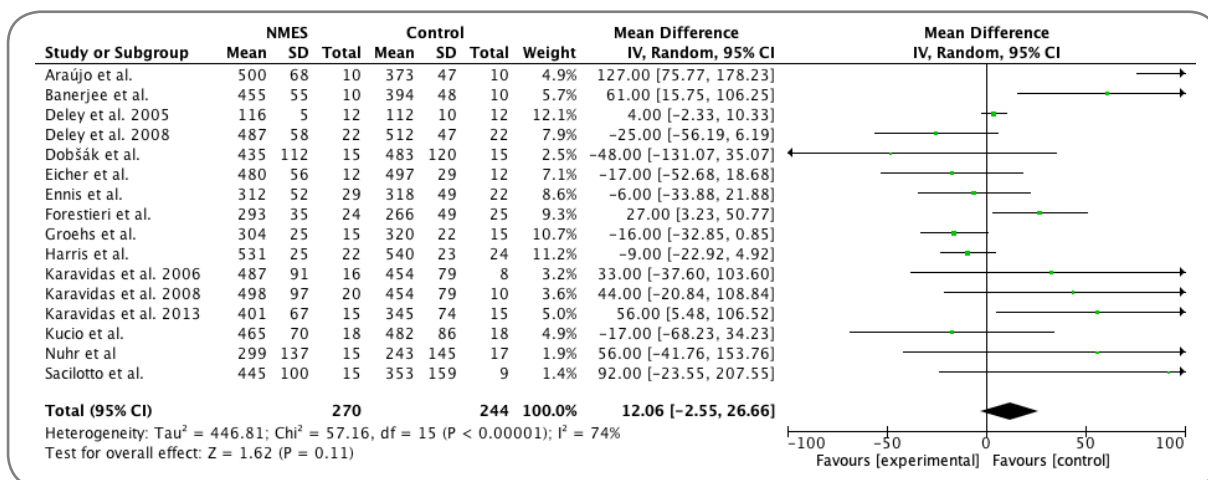


Figura 2 – Forest plot dos resultados da metanálise

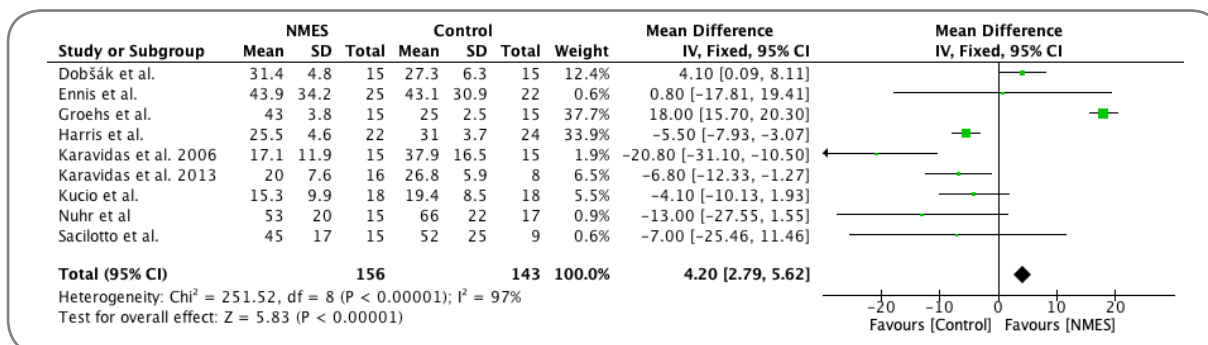


Figura 3 – Forest plot dos resultados da metanálise

Além disso, foi realizada uma análise específica, separando o efeito da eletro-

estimulação neuromuscular (EENM) sobre a capacidade funcional durante a hospitalização e na fase 2 da reabilitação cardiovascular (Figuras 4 e 5).

Capacidade funcional no ambiente hospitalar

Três estudos analisaram o impacto da EENM sobre a capacidade funcional em cenários hospitalares. Para a metanálise dessa comparação, foi utilizado um modelo de efeitos fixos ($I^2 = 94\%$; $df = 2$; $p < 0,00001$), evidenciando elevada heterogeneidade entre os estudos incluídos. Os resultados não demonstraram diferença estatisticamente significativa entre o grupo submetido à EENM e o grupo controle em relação à capacidade funcional no ambiente hospitalar (diferença entre médias = 7,02 metros; IC 95%: -6,25 a +20,30; Figura 4).

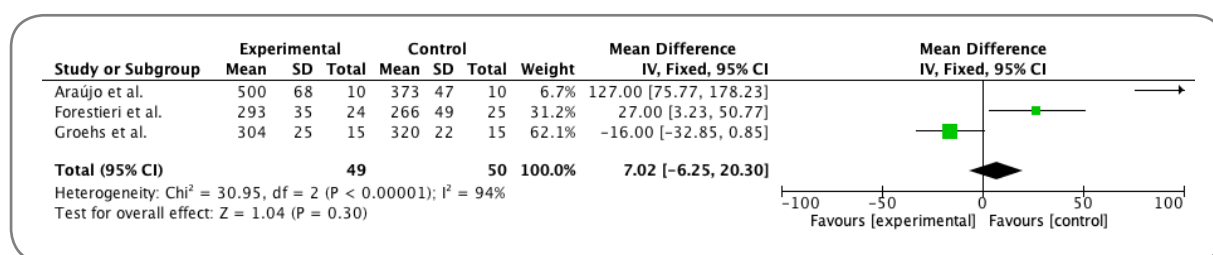


Figura 4 – Forest plot dos resultados da metanálise

Capacidade funcional em cenário extra-hospitalar

Treze estudos analisaram o impacto da eletroestimulação neuromuscular (EENM) sobre a capacidade funcional em cenários extra-hospitalares. Para a metanálise dessa comparação, foi utilizado um modelo de efeitos fixos ($I^2 = 53\%$; $df = 12$; $p = 0,01$), indicando heterogeneidade moderada entre os estudos incluídos. Os resultados não demonstraram diferença estatisticamente significativa entre o grupo submetido à EENM e o grupo controle em relação à capacidade funcional em ambiente extra-hospitalar (diferença entre médias = 2,12 metros; IC 95%: -3,20 a +7,45; Figura 5).

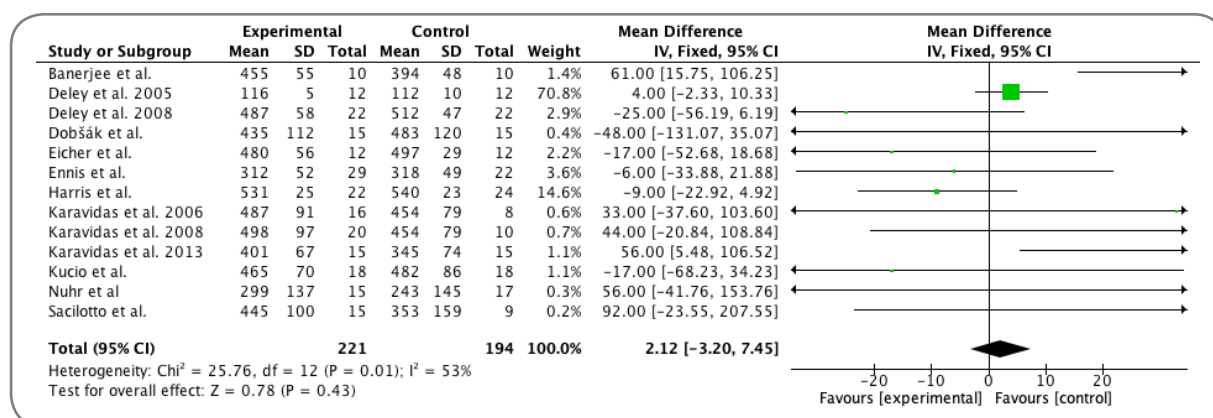


Figura 5 – Forest plot dos resultados da metanálise

Discussão

A eletroestimulação neuromuscular (EENM) tem sido amplamente investigada como ferramenta terapêutica para melhorar a capacidade funcional, a força muscular e a qualidade de vida em pacientes com insuficiência cardíaca crônica (ICC). A presente discussão analisa os resultados dos estudos incluídos, que avaliaram o impacto da EENM em pacientes com ICC estável ou descompensada, abordando tanto a efetividade dessa abordagem quanto os fatores que podem influenciar os desfechos observados.

Os resultados dos estudos revisados demonstram de forma consistente que a distância percorrida no teste de caminhada de 6 minutos (TC6M) constitui uma variável sensível às alterações promovidas pela EENM. A maioria dos estudos relatou melhora significativa da capacidade funcional dos pacientes, destacando-se os trabalhos de Deley *et al.* [15] e Eicher *et al.* [17], que demonstraram aumentos expressivos na distância percorrida após a utilização da EENM. Deley *et al.* [15], por exemplo, observaram aumento de 13,8% no grupo submetido à EENM, em comparação com 16,5% no grupo controle submetido ao exercício convencional. Resultados ainda mais expressivos foram encontrados por Sacilotto *et al.* [27], que identificaram aumento médio de 120 metros na distância percorrida após o tratamento com EENM.

Essa melhora pode ser explicada pela capacidade da EENM de promover ativação muscular direta, sem necessidade de esforço voluntário significativo. Em pacientes com importante fraqueza muscular, condição frequente nos estágios avançados da ICC, a estimulação elétrica permite ativação da musculatura periférica e respiratória insuficientemente recrutada durante atividades físicas convencionais, como a caminhada. Além disso, a EENM pode aumentar a eficiência muscular, favorecer ganho de força e reduzir fadiga muscular. Esse mecanismo torna a intervenção particularmente relevante para indivíduos que apresentam dificuldade de ativação muscular decorrente das limitações impostas pela doença.

Embora tanto a EENM quanto os programas convencionais de exercício demonstrem benefícios sobre a capacidade funcional, o impacto da EENM parece ser mais pronunciado em pacientes com mobilidade reduzida ou limitações físicas importantes. Estudos como os de Groehs *et al.* [26] e Deley *et al.* [18] observaram maiores incrementos no TC6M após a aplicação da EENM quando comparada às intervenções convencionais, especialmente em indivíduos com ICC avançada ou fraqueza muscular acentuada. Esses achados sugerem que a EENM pode representar estratégia mais eficaz para indivíduos incapazes de realizar exercícios tradicionais de maneira adequada, contribuindo para redução das barreiras funcionais impostas pela doença.

Apesar dos benefícios observados na preservação da massa muscular, força muscular e função cardiorrespiratória, ainda permanecem lacunas relacionadas aos mecanismos celulares e moleculares envolvidos nos efeitos da EENM. A investigação de aspectos como recrutamento seletivo de fibras musculares, modulação da perfusão periférica, influência sobre a oxigenação tecidual e impacto sobre vias metabólicas e inflamatórias poderá fortalecer a fundamentação científica dessa intervenção.

Além disso, maior compreensão mecanística pode contribuir para o desenvolvimento de protocolos terapêuticos mais específicos, identificação de subgrupos de pacientes com maior potencial de benefício e maior segurança na aplicação clínica.

Por outro lado, em pacientes com maior preservação funcional e melhor mobilidade, o treinamento convencional baseado em exercícios aeróbicos e resistidos, como descrito por Dobšák *et al.* [14], apresentou resultados semelhantes ou até superiores aos da EENM. A mobilização ativa proporcionada pelo exercício convencional parece ser mais eficiente na manutenção e melhora da capacidade aeróbica e força muscular em indivíduos com menor comprometimento físico. Dessa forma, embora a EENM possa ser particularmente vantajosa em pacientes com maior limitação funcional, o exercício convencional continua sendo estratégia relevante em pacientes com ICC menos avançada. Assim, a escolha entre EENM e treinamento convencional depende principalmente do estágio clínico da doença e das limitações físicas apresentadas.

A variabilidade dos resultados observados entre os estudos pode ser atribuída a diversos fatores, destacando-se principalmente as diferenças nos protocolos de aplicação da EENM. Estudos que utilizaram frequências de estimulação mais elevadas, como 50 Hz, conforme observado por Groehs *et al.* [26] e Sacilotto *et al.* [27], apresentaram melhores resultados relacionados ao ganho de força muscular e melhora do desempenho funcional. Frequências mais elevadas tendem a produzir contrações musculares mais intensas e visíveis, potencializando adaptações fisiológicas relevantes. Em contraste, protocolos com menor frequência ou intensidade subótima, como os descritos por Nuhr *et al.* [24] e Ennis *et al.* [31], apresentaram efeitos reduzidos ou não significativos. Dessa forma, o equilíbrio adequado entre frequência, intensidade e duração da estimulação parece ser determinante para maximização dos efeitos terapêuticos.

Adicionalmente, a heterogeneidade dos protocolos de EENM identificada entre os estudos incluídos, envolvendo diferenças na frequência de estimulação, duração das sessões, intensidade da corrente e tempo total de tratamento, dificulta o estabelecimento de recomendações padronizadas e pode explicar, ao menos parcialmente, os resultados divergentes encontrados na literatura.

Outro fator potencialmente associado aos resultados é a duração do protocolo terapêutico. Protocolos mais prolongados, como os empregados por Karavidas *et al.* [22] e Banerjee *et al.* [21], geralmente demonstraram resultados mais robustos. A continuidade da estimulação ao longo de semanas ou meses parece ser fundamental para promover adaptações musculares sustentadas e benefícios duradouros. Protocolos de curta duração podem produzir efeitos imediatos, porém frequentemente não mantêm os ganhos obtidos ao longo do tempo. Dessa forma, o uso consistente e prolongado da EENM parece necessário para obtenção de benefícios clínicos mais estáveis em pacientes com ICC.

A melhora da qualidade de vida também se destacou como importante desfecho identificado nos estudos incluídos. Embora a EENM tenha demonstrado impacto

positivo sobre a capacidade funcional, seus efeitos sobre a qualidade de vida mostraram maior variabilidade. Estudos conduzidos por Groehs *et al.* [26] e Sacilotto *et al.* [27] observaram melhora significativa nesse desfecho, associada principalmente à redução de sintomas como dispneia e fadiga. Esses benefícios podem estar relacionados à melhora da eficiência muscular e redução da sobrecarga funcional. Entretanto, estudos como Harris *et al.* [18] e Ennis *et al.* [30] não identificaram diferenças significativas entre os grupos, sugerindo que a melhora funcional isoladamente pode não ser suficiente para promover alterações expressivas em aspectos psicológicos e emocionais, os quais frequentemente demandam abordagem terapêutica multidimensional.

Apesar dos resultados promissores, algumas limitações devem ser consideradas. Muitos estudos incluídos apresentaram pequeno tamanho amostral e elevada heterogeneidade dos protocolos de estimulação, dificultando comparações diretas entre os achados [30,31]. Além disso, a maioria das investigações incluiu pacientes em estágios mais avançados da insuficiência cardíaca, limitando a generalização dos resultados para populações com menor gravidade clínica.

Dessa forma, futuras pesquisas devem incluir amostras mais heterogêneas, contemplando diferentes estágios da insuficiência cardíaca, além de investigar protocolos ideais de intensidade, frequência e duração da EENM. Estudos adicionais também devem explorar programas de reabilitação combinando EENM e exercício convencional, buscando estratégias terapêuticas mais abrangentes e potencialmente mais eficazes para essa população.

Conclusão

Os resultados desta revisão indicam que a eletroestimulação neuromuscular (EENM) pode proporcionar benefícios relacionados à qualidade de vida e, em alguns estudos, promover melhora da capacidade funcional, particularmente em desfechos como o teste de caminhada de 6 minutos. No entanto, quando os dados foram agrupados estatisticamente, o impacto sobre a capacidade funcional não se mostrou consistente entre os estudos, evidenciando divergência entre a interpretação narrativa dos achados individuais e os resultados obtidos por meio da análise quantitativa.

A EENM parece ser especialmente útil em pacientes com mobilidade reduzida ou fraqueza muscular significativa, oferecendo vantagens terapêuticas que nem sempre são alcançadas por programas convencionais de exercício. Entretanto, os protocolos de aplicação da EENM devem ser cuidadosamente ajustados, especialmente quanto à frequência e intensidade da estimulação, visando maximizar seus potenciais benefícios clínicos. Para pacientes com maior preservação funcional, o treinamento convencional permanece uma estratégia eficaz e válida, sendo que sua associação com a EENM pode potencializar os resultados terapêuticos. Dessa forma, uma abordagem multimodal, envolvendo eletroestimulação neuromuscular, programas estruturados de exercícios físicos e monitoramento contínuo da qualidade de vida,

pode representar uma estratégia mais abrangente e apropriada para o manejo clínico de pacientes com insuficiência cardíaca crônica.

Conflito de interesses

Os autores declararam não ter conflito de interesses.

Fontes de financiamento

Esta pesquisa não recebeu qualquer financiamento específico de agências de financiamento dos setores público, privado ou sem fins lucrativos.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Nassif AS, Brito FLJ, Santos GSR, Cordeiro ALL; Coleta de dados: Nassif AS, Brito FLJ, Santos GSR; Análise e interpretação dos dados: Cordeiro ALL; Redação do manuscrito: Nassif AS, Brito FLJ, Santos GSR; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Cordeiro ALL

Referências

1. Murphy SP, Ibrahim NE, Januzzi JL Jr. Heart failure with reduced ejection fraction: a review. *JAMA*. 2020;324(5):488-504. doi: 10.1001/jama.2020.10262. Erratum in: *JAMA*. 2020;324(20):2107. doi: 10.1001/jama.2020.21736
2. Dawson A, Bonner C, Donald M, *et al*. The role of physical activity in heart failure rehabilitation: an update. *Eur J Prev Cardiol*. 2020;27(2):123-33. doi: 10.1016/j.jacc.2011.04.020
3. Mounsey LA, Guo M, Lau ES, Ho JE. Exercise training in heart failure: clinical benefits and mechanisms. *Circ Res*. 2025 Jul 7;137(2):273-89. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.124.325533
4. Coletti RH. The ischemic model of chronic muscle spasm and pain. *Eur J Transl Myol*. 2022;32(1):10323. doi: 10.4081/ejtm.2022.10323
5. Ploesteanu RL, Nechita AC, Turcu D, Manolescu BN, Stamate SC, Berteau M. Effects of neuromuscular electrical stimulation in patients with heart failure - review. *J Med Life*. 2018;11(2):107-18
6. Carraro U, Rigatelli G, Rossini K, Barbiero M, Rigatelli G. Demand dynamic bio-girdling in heart failure: improved efficacy of dynamic cardiomyoplasty by LD contraction during aortic out-flow. *Int J Artif Organs*. 2003;26(3):217-24. doi: 10.1177/039139880302600307
7. Jones S, Man WD, Gao W, Higginson IJ, Wilcock A, Maddocks M. Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;10(10):CD009419. doi: 10.1002/14651858.CD009419.pub3
8. Guilherme D, Ferreira M, Oliveira E. Tailoring neuromuscular electrical stimulation protocols in heart failure patients: A review. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2022;42(3):159-67. doi: 10.18103/mra.v10i12.3369
9. Gomes Neto M, Oliveira FA, Reis HF, de Sousa Rodrigues- E Jr, Bittencourt HS, Oliveira Carvalho V. Effects of neuromuscular electrical stimulation on physiologic and functional measurements in patients with heart failure: A systematic review with meta-analysis. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2016;36(3):157-66. doi: 10.1097/HCR.0000000000000151
10. Maddocks M, Gao W, Higginson IJ, Wilcock A. Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2013;(1):CD009419. doi: 10.1002/14651858.CD009419.pub2. Update in: *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;10:CD009419. doi: 10.1002/14651858.CD009419.pub3
11. Maher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med*. 2009;6(7):e1000097.
12. Santos CMC, Pimenta CAM, Nobre MR. The PICO strategy for the research question construction and evidence search. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2007;15(3):508-11. doi: 10.1590/s0104-11692007000300023
13. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. 2003;83(8):713-21. PMID: 12882612
14. Dobsák P, Nováková M, Fiser B, Siegelová J, Balcáková P, Spinarová L, *et al*. Electrical stimulation of skeletal muscles. An alternative to aerobic exercise training in patients with chronic heart failure? *Int Heart J*. 2006;47(3):441-53. doi: 10.1536/ihj.47.441
15. Deley G, Kervio G, Verges B, Hannequin A, Petitdant MF, Salmi-Belmioub S, *et al*. Compari-

son of low-frequency electrical myostimulation and conventional aerobic exercise training in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2005;12(3):226-33. doi: 10.1097/01.hjr.0000166455.23346.a5

16. Deley G, Eicher JC, Verges B, Wolf JE, Casillas JM. Do low-frequency electrical myostimulation and aerobic training similarly improve performance in chronic heart failure patients with different exercise capacities? *J Rehabil Med.* 2008;40(3):219-24. doi: 10.2340/16501977-0153

17. Eicher JC, Dobsak P, Berteau O, Walker P, Verges B, Maillefert JF, et al. Rehabilitation in chronic congestive heart failure: comparison of bicycle training and muscle electrical stimulation. *Scr Med (Brno)* 2004;77(5-6): 261-70.

18. Harris S, LeMaitre JP, Mackenzie G, Fox KA, Denvir MA. A randomised study of home-based electrical stimulation of the legs and conventional bicycle exercise training for patients with chronic heart failure. *Eur Heart J.* 2003;24(9):871-8. doi: 10.1016/s0195-668x(02)00822-9

19. Karavidas AI, Raisakis KG, Parissis JT, Tsekoura DK, Adamopoulos S, Korres DA, et al. Functional electrical stimulation improves endothelial function and reduces peripheral immune responses in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2006;13(4):592-7. doi: 10.1097/01.hjr.0000219111.02544.ff

20. Araújo CJ, Gonçalves FS, Bittencourt HS, dos Santos NG, Mecca Junior SV, Neves JL, et al. Effects of neuromuscular electrostimulation in patients with heart failure admitted to ward. *J Cardiothorac Surg.* 2012;7:124. doi: 10.1186/1749-8090-7-124

21. Banerjee P, Caulfield B, Crowe L, Clark AL. Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength, peak VO₂, and exercise capacity in patients with stable chronic heart failure. *J Card Fail.* 2009;15(4):319-26. doi: 10.1016/j.cardfail.2008.11.005

22. Karavidas A, Parissis J, Arapi S, Farmakis D, Korres D, Nikolaou M, et al. Effects of functional electrical stimulation on quality of life and emotional stress in patients with chronic heart failure secondary to ischaemic or idiopathic dilated cardiomyopathy: a randomised, placebo-controlled trial. *Eur J Heart Fail.* 2008;10(7):709-13. doi: 10.1016/j.ejheart.2008.05.014

23. Karavidas A, Driva M, Parissis JT, Farmakis D, Mantzaraki V, Varounis C, et al. Functional electrical stimulation of peripheral muscles improves endothelial function and clinical and emotional status in heart failure patients with preserved left ventricular ejection fraction. *Am Heart J.* 2013;166(4):760-7. doi: 10.1016/j.ahj.2013.06.021

24. Nuhr MJ, Pette D, Berger R, Quittan M, Crevenna R, Huelsman M, et al. Beneficial effects of chronic low-frequency stimulation of thigh muscles in patients with advanced chronic heart failure. *Eur Heart J.* 2004;25(2):136-43. doi: 10.1016/j.ehj.2003.09.027

25. Quittan M, Wiesinger GF, Sturm B, Puig S, Mayr W, Sochor A, et al. Improvement of thigh muscles by neuromuscular electrical stimulation in patients with refractory heart failure: a single-blind, randomized, controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 2001;80(3):206-14. doi: 10.1097/00002060-200103000-00011

26. Groehs RV, Antunes-Correa LM, Nobre TS, Alves MJ, Rondon MU, Barreto AC, et al. Muscle electrical stimulation improves neurovascular control and exercise tolerance in hospitalised advanced heart failure patients. *Eur J Prev Cardiol.* 2016 Oct;23(15):1599-608. doi: 10.1177/2047487316654025

27. Sacilotto MCB, Lavagnoli CFR, Silveira-Filho LM, Vilarinho KAS, Oliveira ESB, Carvalho DD, et al. A simpler and shorter neuromuscular electrical stimulation protocol improves functional status and modulates inflammatory profile in patients with end-stage congestive heart failure. *Int. J. Cardiovasc. Sci.* 2017;30(6):484-95. doi: 10.5935/2359-4802.20170064.

28. Kucio C, Stastny P, Leszczyńska-Bolewska B, Engelmann M, Kucio E, Uhler P, et al. Exercise-based cardiac rehabilitation with and without neuromuscular electrical stimulation and its effect on exercise tolerance and life quality of persons with chronic heart failure. *J Hum Kinet.* 2018;65:151-64. doi: 10.2478/hukin-2018-0045

29. Forestieri P, Bolzan DW, Santos VB, Moreira RSL, de Almeida DR, Trimer R, et al. Neuromuscular electrical stimulation improves exercise tolerance in patients with advanced heart failure on continuous intravenous inotropic support use-randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2018;32(1):66-74. doi: 10.1177/0269215517715762

30. Ennis S, McGregor G, Hamborg T, Jones H, Shave R, Singh SJ, et al. Randomised feasibility trial into the effects of low-frequency electrical muscle stimulation in advanced heart failure patients. *BMJ Open.* 2017;7(8):e016148. doi: 10.1136/bmjopen-2017-016148

31. Kadoglou NP, Mandila C, Karavidas A, Farmakis D, Matzaraki V, Varounis C, et al. Effect of functional electrical stimulation on cardiovascular outcomes in patients with chronic heart failure. *Eur J Prev Cardiol.* 2017;24(8):833-39. doi: 10.1177/2047487316687428

