

**ELETROESTIMULAÇÃO
MUSCULAR ASSOCIADA A
MOVIMENTOS
CONCÊNTRICOS E
EXCÊNTRICOS:
ALTERAÇÕES
ULTRASSONOGRÁFICAS DA
ESPESSURA ADIPOSA
ABDOMINAL APÓS
QUATRO SEMANAS**

**MUSCLE ELECTROSTIMULATION COMBINED WITH CONCENTRIC AND
ECCENTRIC MOVEMENTS: ULTRASOUND CHANGES IN ABDOMINAL
ADIPOSE TISSUE THICKNESS AFTER FOUR WEEKS**

Ciências da Saúde • 18/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/789701562](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/789701562)

Ricardo Rodrigues Borges de Àvila¹

Leticia Rodrigues Borges de Àvila²

Carlos Ruiz da Silva³

Vanessa Andrade dos Santos Nalin⁴

Mateus Augusto Nalin⁵

RESUMO

Introdução: A estimulação elétrica neuromuscular (NMES) produz contrações musculares por ativação elétrica de estruturas neuromusculares. Quando a contração evocada é coordenada com uma tarefa motora, a aplicação pode ser descrita como estimulação elétrica funcional (FES). Associadas a movimentos voluntários e, de modo individualizado, à resistência externa, frequência, largura de pulso, intensidade, tempos de contração e recuperação e padrão de movimento compõem um estímulo integrado. Além das respostas locais, o músculo em contração participa da regulação metabólica e da sinalização endócrina por vias que incluem AMPK, Ca^{2+} , PGC-1 α e miocinas como IL-6.

Objetivo: Descrever as alterações ultrassonográficas da espessura do tecido adiposo subcutâneo abdominal observadas em três participantes submetidos a oito sessões de FES associada a movimentos concêntricos e excêntricos durante quatro semanas, e discutir a plausibilidade fisiológica local e sistêmica do estímulo contrátil.

Métodos: Série de três casos, composta por três participantes do sexo masculino, com 31, 30 e 30 anos. Foram realizadas duas sessões semanais: uma sessão com 20 Hz, destinada predominantemente a membros inferiores e abdômen, e uma sessão com 80 Hz, destinada predominantemente a membros superiores, tronco e abdômen. Utilizou-se largura de pulso de 350 μs , quatro ciclos, períodos de 60 s de atividade e 70 s de recuperação, rampas de subida e descida de 7 s em 20 Hz e de 5 s em 80 Hz, movimentos concêntricos e excêntricos e introdução de resistência externa a partir do segundo ciclo conforme qualidade de execução e tolerância. A intensidade foi ajustada individualmente até a obtenção de contração muscular visível e compatível com o objetivo de cada programação, respeitando o limite de tolerância de cada participante. Nas sessões

de 20 Hz foram empregados níveis relativamente menores de intensidade, dentro de uma estratégia de contrações sustentáveis e menor demanda mecânica; nas sessões de 80 Hz, a intensidade foi elevada individualmente para produzir contrações mais vigorosas, sem ultrapassar a tolerância. A espessura adiposa abdominal foi avaliada por ultrassonografia de imagem em ponto padronizado a 7 cm da linha umbilical no plano horizontal, antes e após a intervenção, utilizando-se o mesmo equipamento e o mesmo protocolo de aquisição nas duas avaliações.

Resultados: Os três participantes apresentaram redução da espessura adiposa no ponto ultrassonográfico avaliado após quatro semanas. As médias inicial e final foram, respectivamente: Paciente 1, 6,70 e 4,93 mm (-1,77 mm; -26,4%); Paciente 2, 11,90 e 9,50 mm (-2,40 mm; -20,2%); e Paciente 3, 18,35 e 13,00 mm (-5,35 mm; -29,2%).

Conclusão: Observou-se redução ultrassonográfica da espessura adiposa abdominal nos três participantes após o protocolo. O delineamento não permite estabelecer causalidade nem determinar os mecanismos responsáveis. AMPK, sinalização por Ca^{2+} , oxidação de substratos, PGC-1 α e IL-6 muscular constituem mecanismos plausíveis para investigação direta em estudos controlados.

Palavras-chave: estimulação elétrica neuromuscular; FES; músculo esquelético; tecido adiposo subcutâneo; ultrassonografia; miocinas; AMPK.

ABSTRACT

Introduction: Neuromuscular electrical stimulation (NMES) produces muscle contractions through the electrical activation of neuromuscular structures. When the evoked contraction is coordinated with a motor task, the application can be described as functional electrical stimulation (FES). When combined with

voluntary movements, parameters such as external resistance, frequency, pulse width, intensity, contraction and recovery times, and movement patterns constitute an integrated stimulus. Beyond local responses, the contracting muscle participates in metabolic regulation and endocrine signaling via pathways involving AMPK, Ca^{2+} , PGC-1 α , and myokines such as IL-6.

Objective: To describe ultrasound-observed changes in abdominal subcutaneous adipose tissue thickness in three participants who underwent eight sessions of FES combined with concentric and eccentric movements over four weeks, and to discuss the local and systemic physiological plausibility of the contractile stimulus.

Methods: A case series involving three male participants aged 31, 30, and 30 years. Two weekly sessions were conducted: one at 20 Hz, targeting primarily the lower limbs and abdomen, and one at 80 Hz, targeting primarily the upper limbs, trunk, and abdomen. Parameters included a pulse width of 350 μs , four cycles, 60-second activity and 70-second recovery periods, ramp-up and ramp-down times of 7 seconds (at 20 Hz) and 5 seconds (at 80 Hz), concentric and eccentric movements, and the introduction of external resistance starting from the second cycle, based on execution quality and tolerance. Intensity was individually adjusted to achieve a visible muscle contraction consistent with the specific program's goal, while respecting each participant's tolerance limit. Relatively lower intensity levels were used in the 20 Hz sessions, as part of a strategy prioritizing sustainable contractions and lower mechanical demand. During the 80 Hz sessions, intensity was individually increased to elicit more vigorous contractions without exceeding the participant's tolerance. Abdominal adipose tissue thickness was assessed via ultrasound at a standardized point 7 cm from the umbilicus along the horizontal plane, both before and after the intervention, using the same equipment and acquisition protocol for

both assessments.

Results: All three participants showed a reduction in adipose tissue thickness at the assessed ultrasound point after four weeks. Initial and final mean values were, respectively: Patient 1, 6.70 and 4.93 mm (-1.77 mm; -26.4%); Patient 2, 11.90 and 9.50 mm (-2.40 mm; -20.2%); and Patient 3, 18.35 and 13.00 mm (-5.35 mm; -29.2%).

Conclusion: A reduction in abdominal adipose tissue thickness was observed via ultrasound in all three participants following the protocol. The study design does not allow for establishing causality or determining the underlying mechanisms. AMPK, Ca^{2+} signaling, substrate oxidation, PGC-1 α , and muscle-derived IL-6 represent plausible mechanisms for direct investigation in controlled studies.

Keywords: neuromuscular electrical stimulation; FES; skeletal muscle; subcutaneous adipose tissue; ultrasonography; myokines; AMPK.

1. INTRODUÇÃO

A estimulação elétrica neuromuscular compreende a aplicação transcutânea de pulsos capazes de despolarizar estruturas excitáveis e produzir contração muscular (Maffiuletti, 2010). FES não designa uma forma de onda exclusiva, mas a coordenação da contração eletricamente evocada para auxiliar ou produzir uma tarefa funcional (Peckham; Knutson, 2005). Na prática, podem ser empregados pulsos de baixa frequência ou correntes alternadas de média frequência moduladas em bursts. A corrente Russa utiliza classicamente uma portadora senoidal em quilohertz organizada em bursts; configurações conhecidas como Aussie também utilizam corrente alternada em quilohertz, com durações de burst distintas (Ward, 2009). Essas diferenças físicas não demonstram superioridade clínica universal: a resposta depende da dose

efetivamente entregue, intensidade tolerada, impedância, posicionamento dos eletrodos, músculo-alvo e tarefa associada (Maffiuletti, 2010; Doucet; Lam; Griffin, 2012).

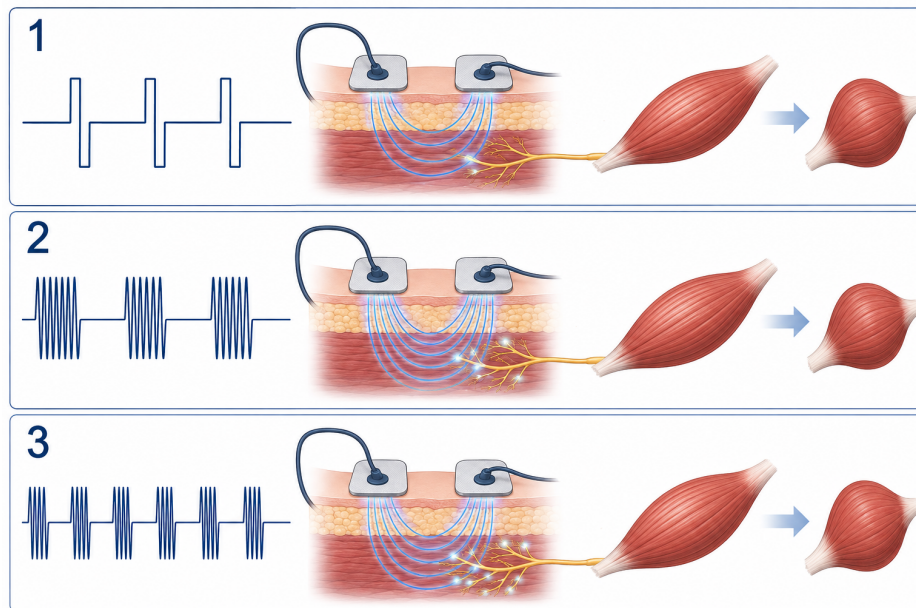


Figura 1. Comparação conceitual das arquiteturas de estimulação.

(1) Pulsos de baixa frequência compatíveis com a lógica da FES/NMES. (2) Portadora de média frequência organizada em bursts, representação conceitual da corrente Russa. (3) Portadora de média frequência organizada em bursts mais curtos, representação conceitual da corrente Aussie. A figura não expressa equivalência de parâmetros nem superioridade entre correntes.

No presente protocolo foi utilizada FES por permitir o controle explícito de variáveis de baixa frequência, largura de pulso e organização temporal da contração. A largura de pulso foi de 350 μ s. Uma sessão semanal foi programada a 20 Hz e outra a 80 Hz. Frequência e intensidade influenciam a força evocada e a fadiga; frequências mais altas podem elevar a força inicial, mas também acelerar seu declínio (Dreibati et al., 2010). A escolha foi formulada com a hipótese clínica de combinar estímulos com características metabólicas e mecânicas diferentes. Entretanto, frequência isolada não determina “via oxidativa” ou “via glicolítica”. Intensidade, duração, relação trabalho-recuperação, massa muscular recrutada,

disponibilidade de substratos e tarefa motora também modulam a contribuição energética (Hargreaves; Spriet, 2020). Como consumo de oxigênio, lactato, enzimas metabólicas e recrutamento de fibras não foram mensurados, a hipótese deve permanecer explicitamente mecanística.

1.1. Frequência, Fibras Musculares e Plasticidade

As fibras do músculo esquelético humano apresentam um continuum de características contráteis e metabólicas. Em termos didáticos, fibras tipo I exibem menor velocidade de encurtamento, maior densidade mitocondrial e capilar e maior resistência à fadiga; fibras tipo IIa ocupam posição intermediária; e fibras tipo IIx apresentam maior velocidade e potência, menor capacidade oxidativa relativa e maior fatigabilidade. Esse esquema não representa compartimentos rígidos. Fibras híbridas e transições fenotípicas são frequentes, e o recrutamento produzido pela estimulação elétrica depende fortemente da geometria do campo elétrico e da intensidade aplicada, não apenas da frequência (Schiaffino; Reggiani, 2011).

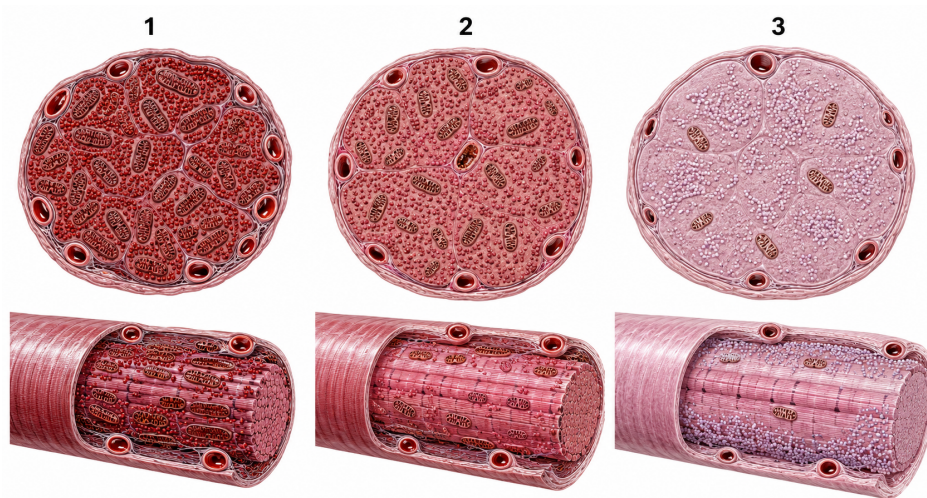


Figura 2. Representação didática de fenótipos de fibras musculares. (1) Fenótipo tipo I, com maior densidade relativa de mitocôndrias, capilares e pigmentação associada à mioglobina. (2) Fenótipo tipo IIa, com características intermediárias. (3) Fenótipo tipo IIx, com maior diâmetro relativo, menor densidade mitocondrial e capilar e maior representação de estoques glicolíticos. A figura representa tendências relativas e não categorias absolutas.

1.2. Movimento, Resistência Externa e Qualidade de Execução

Quando a eletroestimulação é sobreposta a uma tarefa voluntária, o estímulo deixa de ser definido apenas pela forma de onda. Padrão de movimento, amplitude, velocidade, fase concêntrica, fase excêntrica e resistência externa modificam a tensão e a demanda neuromuscular. Teschler et al. (2021) empregaram eletroestimulação sobreposta a movimentos dinâmicos, com supervisão e sincronização do movimento com a estimulação, observando melhora de força e função em pessoas com sarcopenia. Uma revisão de estudos com indivíduos saudáveis e populações ortopédicas relatou ganhos de força com NMES sobreposta, especialmente quando associada a exercícios submáximos concêntricos e excêntricos, embora com heterogeneidade metodológica (Borzuola et al., 2023). Em atletas, outra revisão mostrou que modo de aplicação, intensidade e especificidade do movimento influenciam os resultados (Micke et al., 2023). Evidência recente também sugere

efeito aditivo da NMES ao treinamento resistido sobre força e massa muscular, sem autorizar generalização entre doses, populações ou protocolos (Narvaez et al., 2025). Em estudo clínico anterior dos autores, FES associada a movimento integrou um planejamento multimodal, oferecendo antecedente clínico para a organização técnica empregada nesta série, sem isolar o efeito específico da eletroestimulação (Ávila et al., 2025b).

A resistência externa não deve ser tratada como componente obrigatório. Nesta série, ela foi introduzida somente a partir do segundo ciclo, condicionada à capacidade funcional, à tolerância e à qualidade do padrão motor. Essa decisão é metodologicamente relevante: ao acrescentar carga, aumenta-se potencialmente a tensão mecânica, mas também a complexidade e a carga muscular total. A execução tecnicamente adequada e a supervisão devem anteceder qualquer progressão.

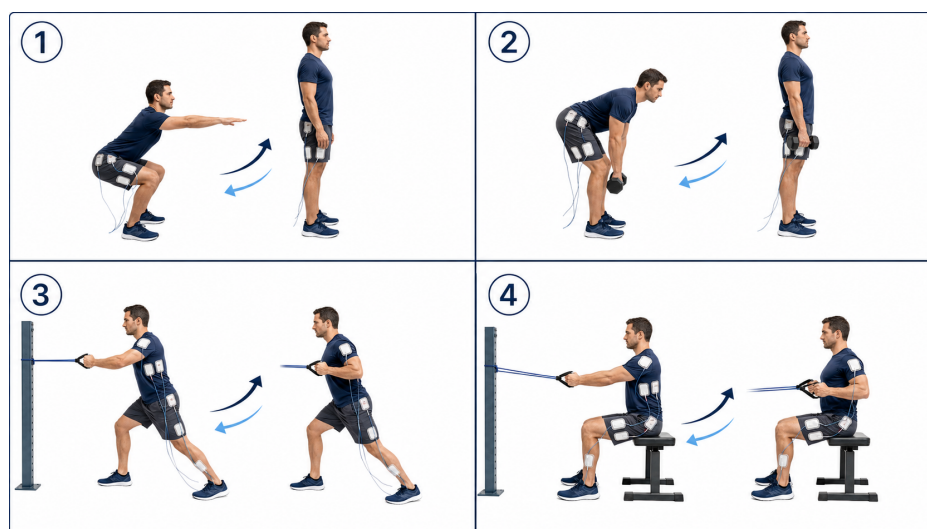


Figura 3. Exemplos de padrões de movimento associados à eletroestimulação. (1) Agachamento, com fases descendente e ascendente. (2) Dominância de quadril, com resistência externa opcional. (3) Padrão de puxar em base estável. (4) Padrão de puxar sentado. As setas representam fases concêntrica e excêntrica. A ilustração não reproduz necessariamente todos os movimentos aplicados nos participantes.

1.3. Músculo Como Órgão Endócrino e Metabólico

O músculo esquelético é simultaneamente órgão contrátil, reservatório metabólico e tecido secretor (Pedersen; Febbraio, 2012). A contração eleva a demanda por ATP, modifica a razão AMP/ADP:ATP e mobiliza sinalização de Ca^{2+} . A AMPK funciona como integrador do estado energético. Entre seus alvos, a fosforilação da acetil-CoA carboxilase reduz a formação de malonil-CoA, diminuindo a inibição sobre a CPT1 e favorecendo a entrada de ácidos graxos de cadeia longa na mitocôndria. A captação por CD36, CaMKII/CaMKK, ERK1/2 e programas relacionados a PGC-1 α integram uma rede mais ampla (Turcotte; Abbott, 2012). A IL-6 também pode ativar AMPK no músculo esquelético em modelos experimentais (Kelly et al., 2009). Importante: a oxidação de ácidos graxos induzida pela contração também pode ocorrer por mecanismos parcialmente independentes da AMPK (Dzamko et al., 2008).

A IL-6 oferece um exemplo especialmente relevante de dependência do contexto. Na obesidade, produção persistente por adipócitos e células imunes integra o ambiente inflamatório de baixo grau. Durante contrações, a IL-6 pode ser liberada transitoriamente pelo músculo e atuar como miocina. Bustamante et al. (2014) demonstraram em modelos celulares e musculares de roedores que a estimulação elétrica induziu expressão de IL-6 por mecanismo envolvendo ATP extracelular, sinalização de Ca^{2+} e circuito autócrino JAK2/STAT3. Petersen e Pedersen (2005) contextualizaram a resposta anti-inflamatória aguda associada ao exercício; Han et al. (2020) demonstraram experimentalmente que a origem celular da IL-6 modifica seus efeitos sobre a inflamação do tecido adiposo. Portanto, IL-6 não deve ser classificada de forma absoluta como “pró” ou “anti-inflamatória”.

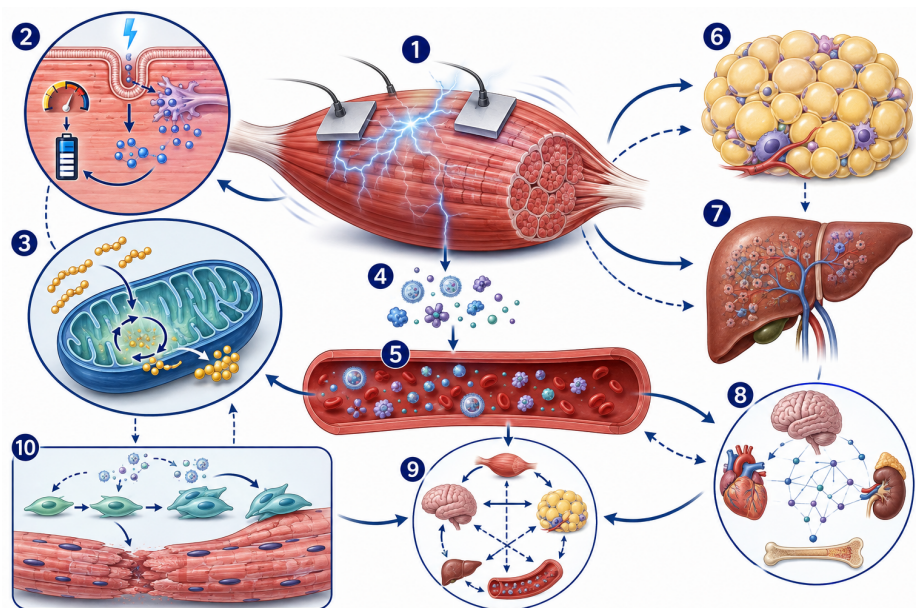


Figura 4. Músculo esquelético como órgão contrátil, metabólico e secretor. (1) Eletroestimulação e contração muscular. (2) Alteração do estado energético e sinais de Ca^{2+} . (3) Captação e oxidação mitocondrial de substratos. (4) Liberação de mediadores musculares. (5) Transporte pela circulação. (6) Comunicação com tecido adiposo. (7) Integração hepática. (8) Comunicação sistêmica com outros órgãos. (9) Rede multiorgânica bidirecional. (10) Ativação e participação de células satélites na remodelação muscular. O esquema sintetiza plausibilidade biológica; nenhuma dessas vias foi mensurada nos participantes.

2. OBJETIVO

Descrever uma série de três casos submetidos a quatro semanas de FES associada a movimentos concêntricos e excêntricos, com alternância semanal de programações de 20 e 80 Hz, e apresentar as alterações da espessura adiposa abdominal avaliadas por ultrassonografia de imagem. Como objetivo secundário, discutir de modo crítico a plausibilidade de adaptações locais e sistêmicas relacionadas ao estímulo contrátil, sem atribuir aos casos mecanismos moleculares não mensurados.

3. MÉTODOS

3.1. Delineamento e Participantes

Série de três casos composta por três participantes do sexo masculino: Paciente 1, com 31 anos; Paciente 2, com 30 anos; e Paciente 3, com 30 anos. Durante as quatro semanas, foram orientados a manter a alimentação habitual e a não realizar outras atividades físicas; ao final, relataram ter seguido essas orientações, sem monitoramento instrumental da ingestão ou da atividade. Todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e autorizaram expressamente o uso científico e a publicação dos dados clínicos, fotografias e imagens ultrassonográficas, com preservação da identidade.

3.2. Protocolo de Eletroestimulação e Movimento

Variável	Descrição
Equipamento	BIOSTIM TENS/FES, Bioset; quatro canais.
Modalidade	FES.
Largura de pulso	350 μ s.
Frequência	20 Hz em uma sessão semanal; 80 Hz na outra sessão semanal.
Distribuição corporal	20 Hz: predominantemente membros inferiores e abdômen. 80 Hz: predominantemente membros superiores, tronco e abdômen.
Duração	Quatro semanas; duas sessões por semana; oito sessões no total.
Organização	Quatro ciclos; 60 s de atividade e 70 s de recuperação.
Movimento	Fases concêntricas e excêntricas; atenção à qualidade de execução.

Carga externa	Introduzida a partir do segundo ciclo, conforme capacidade, execução e tolerância individual.
Intensidade	Ajustada individualmente por canal até contração muscular visível e compatível com o objetivo da programação, respeitando a tolerância. Em 20 Hz, níveis relativamente menores; em 80 Hz, níveis relativamente maiores para contrações mais vigorosas, sempre dentro do limite individual.
Rampas	20 Hz: subida de 7 s e descida de 7 s. 80 Hz: subida de 5 s e descida de 5 s.

3.3. Ultrassonografia de Imagem

A espessura do tecido adiposo subcutâneo abdominal foi avaliada antes e após a intervenção por ultrassonografia de imagem, utilizando-se o mesmo equipamento e o mesmo protocolo técnico nas duas avaliações. O ponto anatômico foi padronizado a 7 cm da linha umbilical no sentido horizontal. A medida foi obtida entre a superfície cutânea e a interface entre o tecido adiposo e o músculo. Para favorecer a comparabilidade longitudinal, foram reproduzidos o ponto anatômico, a orientação do transdutor, os ajustes de imagem e a técnica de contato. Utilizou-se gel, sem compressão intencional do tecido. A ultrassonografia é não invasiva, livre de radiação ionizante e capaz de mensuração regional, com evidências de confiabilidade quando local anatômico e técnica de aquisição são repetidos (Toomey et al., 2011; Wagner, 2013). A distância de 7 cm constitui a padronização desta série, e não um ponto anatômico universal.

3.4. Análise dos Dados

Os resultados foram apresentados individualmente, com valores absolutos em milímetros, variação absoluta e variação percentual. Em razão do número de casos e da ausência de grupo controle, a análise foi descritiva, sem aplicação de teste inferencial. As imagens pareadas foram organizadas com identificação das avaliações inicial e final e apresentação das respectivas medidas.

4. RESULTADOS

Caso	Características informadas	Inicial (mm)	Final (mm)	Δ mm	Δ %
1	31 anos; sexo masculino	6,70*	4,93*	-1,77	-26,4%
2	30 anos; sexo masculino	11,90†	9,50†	-2,40	-20,2%

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em:

<https://revistatopicos.com.br/artigos/eletroestimulacao-muscular-associada-a-movimentos-concentricos-e-excentricos-alteracoes-ultrassonograficas-da-espessura-adiposa-abdominal-apos-quatro-semanas?noblockage>

* Média de três medidas (6,6; 6,6; 6,9 mm inicialmente e 4,6; 5,7; 4,5 mm ao final). † Uma medida em cada avaliação. ‡ Média de duas medidas (19,2; 17,5 mm inicialmente e 13,1; 12,9 mm ao final).

Após quatro semanas, os três participantes apresentaram redução da espessura adiposa subcutânea no ponto abdominal avaliado. No Paciente 1, a média diminuiu de 6,70 para 4,93 mm (-1,77 mm;

-26,4%); no Paciente 2, de 11,90 para 9,50 mm (-2,40 mm; -20,2%); e no Paciente 3, de 18,35 para 13,00 mm (-5,35 mm; -29,2%). Não foram mensurados massa muscular, gasto energético, ingestão calórica, AMPK, IL-6, lactato ou oxidação de substratos.

4.1. Documentação Clínica e Ultrassonográfica

As fotografias têm função documental e não foram utilizadas para cálculo de desfechos. O desfecho descritivo principal foi a espessura ultrassonográfica no ponto abdominal padronizado. Nas fotografias, a imagem inicial encontra-se à esquerda e a final à direita. Nos painéis ultrassonográficos dos Pacientes 1 e 3, a avaliação inicial está na parte superior e a final na parte inferior.

Paciente 1



Figura 5. Paciente 1: documentação fotográfica inicial (esquerda) e final (direita). Imagens do arquivo clínico, apresentadas com autorização específica para uso científico.

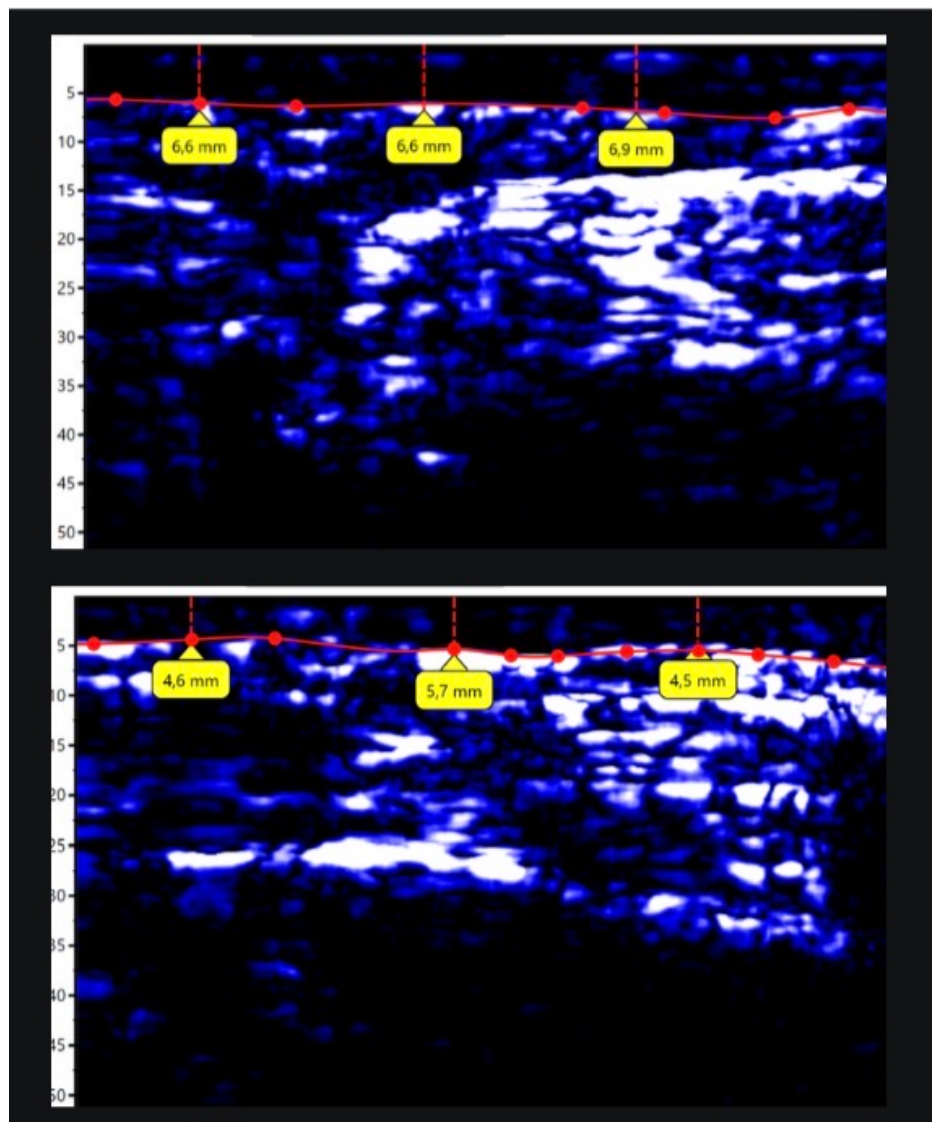


Figura 6. Paciente 1: ultrassonografia inicial (superior: 6,6; 6,6; 6,9 mm; média 6,70 mm) e final (inferior: 4,6; 5,7; 4,5 mm; média 4,93 mm). Redução média de 1,77 mm (26,4%).

Paciente 2



Inicial

Final

Figura 7. Paciente 2: documentação fotográfica inicial (esquerda) e final (direita). Imagens do arquivo clínico, apresentadas com autorização específica para uso científico. Paciente 2: ultrassonografia inicial (11,9 mm; esquerda) e final (9,5 mm; direita). Redução de 2,40 mm (20,2%).

Paciente 3



Figura 8. Paciente 3: documentação fotográfica inicial (esquerda) e final (direita). Imagens do arquivo clínico, apresentadas com autorização específica para uso científico.

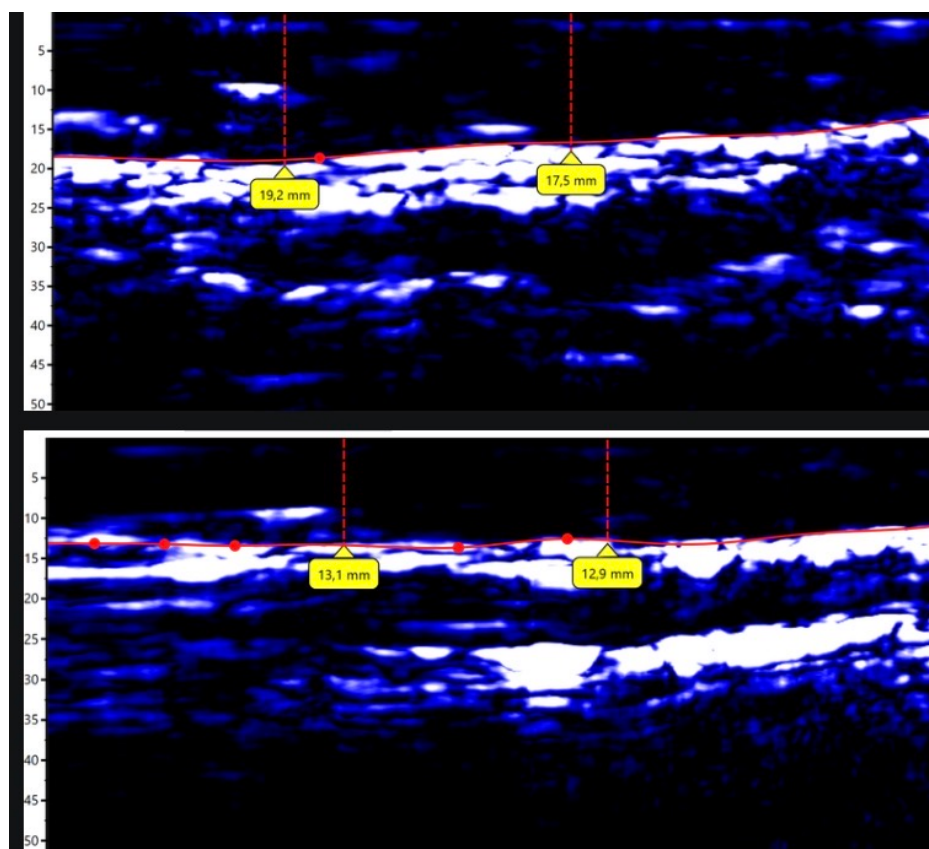


Figura 9. Paciente 3: ultrassonografia inicial (superior: 19,2 e 17,5 mm; média 18,35 mm) e final (inferior: 13,1 e 12,9 mm; média 13,00 mm). Redução média de 5,35 mm (29,2%).

5. DISCUSSÃO

Nesta série, os três participantes apresentaram redução da espessura do tecido adiposo subcutâneo abdominal no ponto ultrassonográfico padronizado após oito sessões de FES associada a movimentos concêntricos e excêntricos. A concordância direcional entre os casos, apesar das diferentes espessuras iniciais, justifica a formulação de uma hipótese exploratória: contrações repetidas, distribuídas em grandes grupos musculares e combinadas ao movimento voluntário, podem modificar a demanda energética local e sistêmica e favorecer maior utilização de substratos. Essa interpretação encontra suporte no papel do músculo esquelético como tecido contrátil, metabólico e secretor e na capacidade da NMES de produzir força quando aplicada em intensidade motora (Doucet; Lam; Griffin, 2012; Pedersen; Febbraio, 2012). Entretanto,

sem grupo controle e sem monitoramento objetivo da dieta e da atividade, não se pode atribuir a redução observada ao protocolo nem excluir variação de medida ou fatores comportamentais.

5.1. Interpretação do Achado Ultrassonográfico

A ultrassonografia de imagem permite quantificar a espessura adiposa regional de forma não invasiva e apresenta boa aplicabilidade para o acompanhamento longitudinal quando se repetem o ponto anatômico, a orientação do transdutor e a técnica de aquisição (Wagner, 2013). Neste estudo, as avaliações foram realizadas no mesmo ponto abdominal, e a apresentação pareada das imagens reforça a consistência do registro. A pressão exercida pelo transdutor é uma variável metodológica relevante, pois pode alterar a espessura aparente do tecido; por isso, a padronização do contato e do posicionamento deve permanecer explicitada no método (Toomey et al., 2011). Considerado nesse contexto, o resultado descreve uma alteração regional do tecido adiposo subcutâneo e oferece um desfecho objetivo para discutir os efeitos potenciais de um protocolo contrátil repetido.

5.2. Plausibilidade Metabólica: AMPK e Oxidação de Ácidos Graxos

A contração muscular eleva rapidamente a renovação de ATP e modifica o estado energético celular, criando condições para a ativação de vias que ampliam a captação e a oxidação de substratos. A AMPK ocupa posição central nessa resposta: sua ativação favorece a fosforilação da acetil-CoA carboxilase (ACC), reduz a disponibilidade de malonil-CoA e, conseqüentemente, atenua a inibição da carnitina-palmitoiltransferase 1 (CPT1), facilitando o

transporte de ácidos graxos de cadeia longa para a mitocôndria. Paralelamente, a translocação do transportador CD36 aumenta a disponibilidade intracelular de ácidos graxos, enquanto sinais dependentes de Ca^{2+} , CaMKII/CaMKK e ERK1/2 integram a resposta da contração e convergem para o controle do metabolismo lipídico (Turcotte; Abbott, 2012). A repetição desse estímulo também se relaciona à regulação de PGC-1 α , coordenador de adaptações oxidativas e mitocondriais do músculo esquelético (Pedersen; Febbraio, 2012; Hargreaves; Spriet, 2020). Assim, o achado ultrassonográfico pode ser interpretado à luz de uma rede contrátil capaz de aumentar a demanda energética e favorecer a utilização de lipídios, sem reduzir a explicação a uma única proteína. De fato, modelos experimentais demonstram que a oxidação de ácidos graxos estimulada pela contração pode ser preservada mesmo quando a atividade da AMPK muscular está comprometida, confirmando a existência de vias complementares e parcialmente independentes de AMPK (Dzamko et al., 2008).

5.3. IL-6: Origem, Tempo e Contexto

Além da demanda energética, a contração modifica a função secretora do músculo. Bustamante et al. (2014) demonstraram que a estimulação elétrica capaz de provocar contração induziu a expressão muscular de IL-6 por um mecanismo envolvendo liberação extracelular de ATP, sinalização de Ca^{2+} e ativação do circuito JAK2/STAT3. A IL-6 liberada agudamente pelo músculo atua como miocina e participa da comunicação metabólica entre tecidos; em modelos experimentais, também foi relacionada à ativação da AMPK e ao aumento da oxidação de ácidos graxos no músculo esquelético (Kelly et al., 2009). Seu significado biológico depende, contudo, da origem e do padrão temporal de liberação. Na

contração, a elevação transitória da IL-6 integra uma resposta associada ao aumento de IL-1ra e IL-10 e à modulação de TNF- α , compondo um perfil anti-inflamatório agudo (Petersen; Pedersen, 2005). Em contraste, a exposição persistente no tecido adiposo disfuncional participa da inflamação metabólica. Han et al. (2020) reforçaram essa distinção ao demonstrarem que a IL-6 derivada de adipócitos favoreceu a infiltração de macrófagos no tecido adiposo, enquanto a IL-6 derivada do músculo exerceu efeito supressor nesse processo. Dessa forma, a contração evocada pode acrescentar ao estímulo mecânico uma dimensão endócrina e metabólica pertinente à hipótese investigada. Como a IL-6 não foi mensurada nesta série, essa via não explica diretamente o desfecho observado.

5.4. Adaptações Locais, Tensão e Células Satélites

A FES produz recrutamento motor por despolarização de estruturas neuromusculares e pode gerar níveis de força suficientes para promover adaptações de função e força muscular, dependendo da intensidade, do volume e da população estudada (Maffiuletti, 2010; Doucet; Lam; Griffin, 2012). No protocolo descrito, a estimulação foi associada a ações concêntricas e excêntricas, e a resistência externa foi introduzida a partir do segundo ciclo. Essa combinação amplia a tensão mecânica total e pode aumentar o custo energético da tarefa, ao mesmo tempo que fornece estímulos relacionados à remodelação muscular. A participação de células satélites, síntese proteica e adição mionuclear integra a adaptação do músculo ao estímulo mecânico repetido, especialmente quando há sobrecarga progressiva (Lim et al., 2022). Embora o desfecho central desta série seja adiposo, preservar e estimular o tecido muscular é fisiologicamente relevante, pois a massa muscular constitui importante componente da capacidade de utilização de glicose e

ácidos graxos e da comunicação metabólica sistêmica (Pedersen; Febbraio, 2012).

5.5. Oxidação de Ácidos Graxos e Reprogramação Metabólica das Células Satélites

A relação entre metabolismo lipídico e reparação muscular ultrapassa a oxidação de ácidos graxos pelas fibras contráteis. As células satélites, células-tronco residentes do músculo esquelético, alteram suas exigências metabólicas ao transitar entre quiescência, ativação, proliferação, compromisso miogênico e diferenciação. Pala et al. (2018) demonstraram, em modelos murinos, que esses estados apresentam perfis metabólicos distintos e que a perturbação farmacológica da oxidação de ácidos graxos mitocondrial e peroxissomal modifica o destino das células miogênicas durante a regeneração. Em particular, o bloqueio da oxidação peroxissomal favoreceu diferenciação precoce, mostrando que o metabolismo lipídico não atua apenas como fonte energética, mas participa do controle temporal entre expansão do reservatório progenitor e diferenciação.

Evidência genética recente fortalece esse mecanismo. Yue et al. (2025) observaram enriquecimento progressivo de vias de oxidação mitocondrial de ácidos graxos durante ativação, proliferação e compromisso miogênico. A deleção de Cpt2 especificamente em células satélites reduziu a respiração mitocondrial, a expansão e a diferenciação após lesão aguda, diminuiu acetil-CoA e a acetilação de proteínas, incluindo Pax7, e atrasou marcadamente a regeneração muscular. A reposição de acetato restaurou parcialmente o fluxo metabólico e os defeitos regenerativos, indicando que a contribuição da oxidação lipídica envolve tanto

produção de energia quanto disponibilidade de acetil-CoA para mecanismos regulatórios de acetilação (Yue et al., 2025).

Entretanto, essa via depende de regulação quantitativa e temporal. Qiu et al. (2024) mostraram que a superexpressão de Cpt1a em células miogênicas e células satélites reduziu o reservatório celular, prejudicou a proliferação e comprometeu a regeneração; o fenótipo foi associado ao aumento de acilcarnitinas, e a exposição de células controle a acilcarnitinas também reduziu sua proliferação. Em conjunto, os achados de Pala et al. (2018), Qiu et al. (2024) e Yue et al. (2025) afastam uma interpretação linear de que maior oxidação lipídica seria sempre benéfica. Eles sustentam um modelo de plasticidade metabólica no qual a deficiência de fluxo por CPT2, a perturbação organelar e a ativação excessiva de CPT1A podem, por mecanismos diferentes, desorganizar o equilíbrio entre manutenção, expansão e diferenciação das células satélites.

Aplicado ao presente protocolo, esse eixo amplia a interpretação da contração evocada: o estímulo contrátil aumenta demanda energética e pode participar do remodelamento muscular, enquanto a resposta regenerativa exige coordenação entre utilização de substratos pelas fibras e reprogramação metabólica das células satélites. Isso não significa que a gordura subcutânea abdominal medida pela ultrassonografia tenha sido diretamente transferida para as células satélites. O vínculo sustentado pelas evidências é metabólico: ácidos graxos disponíveis ao músculo podem ser oxidados pelas fibras para produção energética, enquanto, dentro das próprias células satélites, o fluxo de FAO contribui para ATP, acetil-CoA, acetilação de proteínas e regulação do destino celular. Como Pala et al. (2018), Qiu et al. (2024) e Yue et al. (2025) utilizaram modelos celulares e animais de miogênese e lesão

muscular, esses trabalhos fundamentam a plausibilidade mecânica desta interpretação, sem constituir mensuração direta dessas vias nos participantes submetidos à FES.

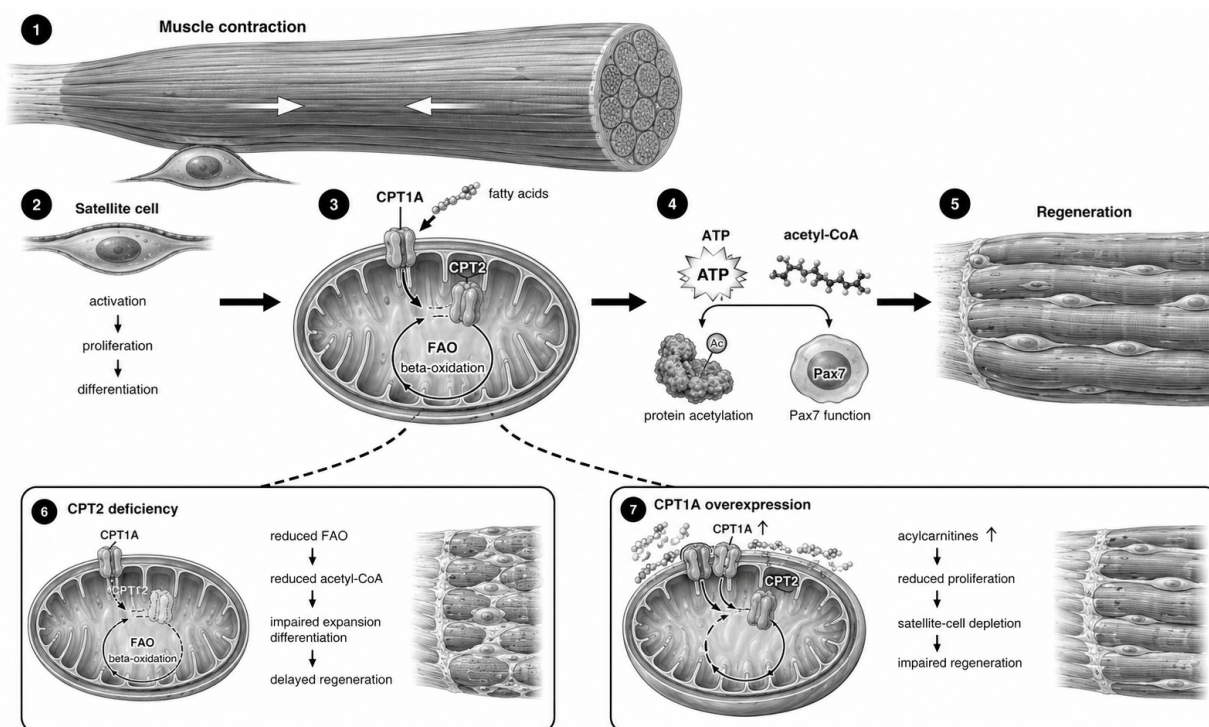


Figura 10. Integração conceitual entre estímulo contrátil, metabolismo lipídico e células satélites. (1) A contração evocada e o movimento associado produzem demanda energética e remodelamento muscular. (2) Células satélites transitam entre quiescência, ativação, proliferação e diferenciação. (3) A entrada mitocondrial de ácidos graxos e a β -oxidação participam do suprimento metabólico. (4) O fluxo contribui para ATP, acetyl-CoA e processos de acetilação relacionados à função celular. (5) Quando regulado de acordo com o estado celular, integra a expansão e a diferenciação necessárias à regeneração. (6) A deficiência de CPT2 reduz fluxo metabólico, expansão/diferenciação e retarda a regeneração. (7) A superexpressão de CPT1A pode elevar acilcarnitinas, reduzir proliferação e comprometer o reservatório de células satélites. Esquema autoral baseado em Pala et al. (2018), Qiu et al. (2024) e Yue et al. (2025).

5.6. O Significado de Combinar 20 e 80 Hz

A alternância entre 20 e 80 Hz foi empregada para diversificar as características do estímulo contrátil. A intensidade não foi fixada em um valor absoluto comum: foi aumentada por canal até a verificação de contração visível, compatível com o objetivo da sessão, e limitada pela tolerância individual. Em 20 Hz, foram utilizadas intensidades

relativamente menores com a intenção de obter contrações sustentáveis e menor demanda mecânica; em 80 Hz, a intensidade foi elevada individualmente para produzir contrações mais vigorosas e maior tensão. Frequências mais elevadas tendem a produzir maior força inicial, mas podem acelerar seu declínio, enquanto frequências mais baixas podem produzir contrações menos fatigáveis quando as demais variáveis são mantidas (Dreibati et al., 2010; Maffiuletti, 2010). Não se deve, contudo, classificar 20 Hz como uma “via oxidativa” e 80 Hz como uma “via glicolítica” de forma isolada. A contribuição energética resulta da interação entre frequência, intensidade, largura de pulso, duração, relação entre atividade e recuperação, massa muscular recrutada e movimento executado (Hargreaves; Spriet, 2020).

5.7. Movimento e Carga Como Variáveis Clínicas

A associação da eletroestimulação ao movimento voluntário transforma a sessão em uma tarefa neuromuscular integrada. Amplitude, velocidade, fase concêntrica, fase excêntrica e resistência externa modificam a tensão e a demanda energética produzidas durante cada período de estimulação. Teschler et al. (2021) demonstraram melhora de força e função após quatro semanas de eletroestimulação sobreposta a movimentos dinâmicos, com supervisão da execução e sincronização do movimento com o período de estimulação. Revisões sobre estimulação sobreposta também indicam que sua combinação com contrações voluntárias e exercício resistido pode ampliar adaptações de força e desempenho (Borzuola et al., 2023; Micke et al., 2023), e Narvaez et al. (2025) observaram efeito aditivo da NMES ao treinamento resistido sobre força e massa muscular. Esses dados respaldam a inclusão dos movimentos concêntricos e excêntricos e da resistência externa

como componentes ativos da dose aplicada, desde que individualizados conforme tolerância e qualidade do padrão motor. Os estudos clínicos publicados pelo grupo dos autores acrescentam continuidade a essa linha de investigação: Ávila et al. (2025a) relataram o uso de eletroestimulação de baixa frequência associada ao ultrassom de baixa frequência, e Ávila et al. (2025b) descreveram uma abordagem integrada de eletroterapia para harmonização corporal em 30 dias. Em conjunto, esses antecedentes e a presente série sustentam o desenvolvimento de protocolos nos quais corrente, movimento, carga e organização temporal são tratados como variáveis interdependentes.

5.8. Limitações

A interpretação deve considerar o número reduzido de participantes, a ausência de grupo controle e o acompanhamento não instrumental da alimentação e da atividade física. A ultrassonografia é sensível à pressão e ao posicionamento do transdutor, embora a repetição do ponto anatômico e a apresentação das imagens pareadas fortaleçam o registro longitudinal. Estudos subsequentes devem incluir grupo comparador, controle de variáveis comportamentais, quantificação da dose elétrica e mecânica e marcadores de metabolismo muscular e adiposo, permitindo testar diretamente os mecanismos discutidos.

6. CONCLUSÃO

Após quatro semanas, a FES associada a movimentos concêntricos e excêntricos e à introdução progressiva de resistência externa foi acompanhada por redução da espessura adiposa abdominal no

ponto ultrassonográfico avaliado nos três participantes. Por se tratar de uma série de casos sem grupo controle e sem controle objetivo de variáveis comportamentais, o estudo não demonstra que a intervenção tenha causado essa redução. Foram discutidos como mecanismos possíveis a demanda energética, a captação e a oxidação de substratos, a sinalização por AMPK/Ca²⁺, a adaptação relacionada a PGC-1 α e a liberação muscular de IL-6. Esses mecanismos são biologicamente plausíveis, mas não foram mensurados. A concordância direcional entre os casos justifica estudos controlados com quantificação da dose e mensuração direta de desfechos metabólicos, musculares e inflamatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁVILA, R. R. B.; ÁVILA, L. R. B.; MOLEIRO, D.; RUIZ-SILVA, C. Effectiveness of the combined use of low-frequency electrostimulation with low-frequency ultrasound: a case study. IOSR Journal of Dental and Medical Sciences, v. 24, n. 7, ser. 7, p. 61-67, 2025a. DOI: 10.9790/0853-2407076167.

ÁVILA, R. R. B.; MOLEIRO, D.; RIBEIRO, B. S.; SCHERNER, B.; MARTELLI, F. P.; RUIZ-SILVA, C.; ÁVILA, L. R. B. Body Blend Method: integrated electrotherapy approach for body harmonization in 30 days. IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences, v. 20, n. 4, ser. 1, p. 15-18, 2025b.

BORZUOLA, R.; LAUDANI, L.; LABANCA, L.; MACALUSO, A. Superimposing neuromuscular electrical stimulation onto voluntary contractions to improve muscle strength and mass: a systematic review. European Journal of Sport Science, v. 23, n. 8, p. 1547-1559, 2023. DOI: 10.1080/17461391.2022.2104656.

BUSTAMANTE, M.; FERNÁNDEZ-VERDEJO, R.; JAIMOVICH, E.; BUVINIC, S. Electrical stimulation induces IL-6 in skeletal muscle through extracellular ATP by activating Ca^{2+} signals and an IL-6 autocrine loop. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, v. 306, n. 8, p. E869-E882, 2014. DOI: 10.1152/ajpendo.00450.2013.

DOUCET, B. M.; LAM, A.; GRIFFIN, L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale Journal of Biology and Medicine*, v. 85, n. 2, p. 201-215, 2012. PMID: 22737049.

DREIBATI, B.; LAVET, C.; PINTI, A.; POUMARAT, G. Influence of electrical stimulation frequency on skeletal muscle force and fatigue. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, v. 53, n. 4, p. 266-277, 2010. DOI: 10.1016/j.rehab.2010.03.004.

DZAMKO, N. et al. AMPK-independent pathways regulate skeletal muscle fatty acid oxidation. *The Journal of Physiology*, v. 586, n. 23, p. 5819-5831, 2008. DOI: 10.1113/jphysiol.2008.159814.

HAN, M. S. et al. Regulation of adipose tissue inflammation by interleukin 6. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 117, n. 6, p. 2751-2760, 2020. DOI: 10.1073/pnas.1920004117.

HARGREAVES, M.; SPRIET, L. L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, v. 2, n. 9, p. 817-828, 2020. DOI: 10.1038/s42255-020-0251-4.

KELLY, M. et al. Activation of AMP-activated protein kinase by interleukin-6 in rat skeletal muscle. *Diabetes*, v. 58, n. 9, p. 1953-1960, 2009. DOI: 10.2337/db08-1293.

LIM, C. et al. An evidence-based narrative review of mechanisms of resistance exercise-induced human skeletal muscle hypertrophy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 54, n. 9, p. 1546-1559, 2022. DOI: 10.1249/MSS.00000000000002929.

MAFFIULETTI, N. A. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *European Journal of Applied Physiology*, v. 110, p. 223-234, 2010. DOI: 10.1007/s00421-010-1502-y.

MICKE, F.; HELD, S.; LINDENTHAL, J.; DONATH, L. Effects of electromyostimulation on performance parameters in sportive and trained athletes: a systematic review and network meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, v. 23, n. 8, p. 1570-1580, 2023. DOI: 10.1080/17461391.2022.2107437.

NARVAEZ, G.; APAFLO, J.; WAGLER, A.; MCAINCH, A.; BAJPEYI, S. The additive effect of neuromuscular electrical stimulation and resistance training on muscle mass and strength. *European Journal of Applied Physiology*, v. 125, n. 6, p. 1687-1700, 2025. DOI: 10.1007/s00421-024-05700-2.

PALA, F. et al. Distinct metabolic states govern skeletal muscle stem cell fates during prenatal and postnatal myogenesis. *Journal of Cell Science*, v. 131, n. 14, jcs212977, 2018. DOI: 10.1242/jcs.212977.

PECKHAM, P. H.; KNUTSON, J. S. Functional electrical stimulation for neuromuscular applications. *Annual Review of Biomedical Engineering*, v. 7, p. 327-360, 2005. DOI: 10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140103.

PEDERSEN, B. K.; FEBBRAIO, M. A. Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nature Reviews Endocrinology*, v. 8, p. 457-465, 2012. DOI: 10.1038/nrendo.2012.49.

PETERSEN, A. M. W.; PEDERSEN, B. K. The anti-inflammatory effect of exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 98, n. 4, p. 1154-1162, 2005. PMID: 15772055.

QIU, J. et al. Overexpression of CPT1A disrupts the maintenance and regenerative function of muscle stem cells. *The FASEB Journal*, v. 38, n. 19, e70071, 2024. DOI: 10.1096/fj.202400947R.

SCHIAFFINO, S.; REGGIANI, C. Fiber types in mammalian skeletal muscles. *Physiological Reviews*, v. 91, n. 4, p. 1447-1531, 2011. DOI: 10.1152/physrev.00031.2010.

TESCHLER, M.; HEIMER, M.; SCHMITZ, B.; KEMMLER, W.; MOOREN, F. C. Four weeks of electromyostimulation improves muscle function and strength in sarcopenic patients: a three-arm parallel randomized trial. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, v. 12, n. 4, p. 843-854, 2021. DOI: 10.1002/jcsm.12717.

TOOMEY, C. M. et al. Accuracy and reliability of ultrasound measures of subcutaneous adipose tissue thickness in humans. *Ultrasound in Medicine & Biology*, v. 37, n. 6, p. 957-967, 2011. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2011.03.007.

TURCOTTE, L. P.; ABBOTT, M. J. Contraction-induced signaling: convergent cascades in regulation of muscle fatty acid metabolism. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, v. 90, n. 11, p. 1419-1433, 2012. DOI: 10.1139/y2012-124.

WAGNER, D. R. Ultrasound as a tool to assess body fat. *Journal of Obesity*, v. 2013, 280713, 2013. DOI: 10.1155/2013/280713.

WARD, A. R. Electrical stimulation using kilohertz-frequency alternating current. *Physical Therapy*, v. 89, n. 2, p. 181-190, 2009. DOI: 10.2522/ptj.20080060.

YUE, F. et al. Mitochondrial fatty acid oxidation regulates adult muscle stem cell function through modulating metabolic flux and protein acetylation. *The EMBO Journal*, v. 44, n. 9, p. 2566-2595, 2025. DOI: 10.1038/s44318-025-00397-1.

¹ Faculdades FACOP; Instituto Ávila de Ensino; fisioterapeuta; pós-graduado em Fisioterapia Dermatofuncional, Docência do Ensino Superior e Nutrição Estética e Ortomolecular, Brasil.

² Faculdades FACOP; Instituto Ávila de Ensino; Biomedicina, Brasil.

³ Physiotherapist, Aesthetician and Cosmetologist, Dentistry Student; PhD, MSc; College of International Medicine and Aesthetics Harold Gillies (USA), Faculdade CTA (Brazil).

⁴ Instituto Ávila de Ensino; biomédica esteta, Brasil.

⁵ Instituto Ávila de Ensino; educador físico; especialista em Fisiologia do Exercício, Brasil.