

O uso da estimulação elétrica computadorizada associada à cicloergometria em indivíduos com lesão medular é benéfico para os parâmetros musculares?

Is the use of computerized electrical stimulation associated with cycloergometrics in individuals with medullary lesion beneficial for the muscular parameters?

Igor Kaoru Naki¹, Marcelo Riberto², Maria Cecília dos Santos Moreira³, Linamara Rizzo Battistella⁴

RESUMO

Este artigo tem como objetivo revisar a literatura sobre o uso do *Computerized Functional Electrical Stimulation* (CFES) com desfechos musculares para os indivíduos com lesão medular. **Método:** Foi realizada revisão bibliográfica sistemática nas bases eletrônicas de dados MEDLINE, PubMed, LILACS e Portal SciELO, sem delimitação de tempo ou idioma. Utilizou-se da estratégia PICO para pesquisa, as palavras-chave foram selecionadas a partir dos descritores em ciências de saúde e relacionaram-se com lesão medular, estimulação elétrica e parâmetros musculares. **Resultados:** Foram encontrados 554 artigos. Desses, 432 foram excluídos pelo título, resultando em 122 artigos. Destes, foram excluídas as duplicidades, resultando num total de 73 artigos; 36 foram excluídos pelo resumo e 33 após a leitura do estudo. Quatro estudos foram selecionados. Dois artigos incluíram homens e mulheres em seus estudos, dois apenas homens. Três estudos incluíram tetraplégicos e paraplégicos no mesmo estudo, um incluiu apenas tetraplégicos. Um dos estudos utilizou frequência de treinamento maior, sete vezes por semana, três fizeram uso de uma frequência de treinamento de três vezes por semana. A duração dos estudos teve grande variação, de seis semanas até um ano. As medidas de resultado para a avaliação de força e resistência foram realizadas de diversas maneiras, por medida de área de secção transversal dos músculos, circunferência do membro e a biópsia muscular; contudo, todos os estudos apresentavam ao menos uma das medidas fornecidas pelo equipamento, a avaliação de potência gerada (*power output*) ou do trabalho realizado (*work output*). Em todos os estudos, houve melhora da potência gerada ou do trabalho realizado. Apesar da heterogeneidade encontrada nestes estudos, os desfechos dos estudos avaliados indicam aumento significativo de potência gerada e trabalho realizado após os períodos de treinamentos, com ganhos a partir de seis semanas e treinamentos a partir de três vezes por semana. **Conclusão:** Estudos futuros são necessários para avaliar as respostas em diferentes grupos de sujeitos, paraplégicos e tetraplégicos, em diferentes frequências de treinamento e em diferentes períodos de treinamento, proporcionando, assim, a elaboração de protocolos de treinamento cada vez mais direcionados.

Palavras-chave: estimulação elétrica, exercício, paraplegia, quadriplegia, traumatismos da medula espinal

ABSTRACT

The aim of this study was to determine whether the use of FES produces muscular benefits for individuals with spinal cord injuries. **Method:** A review of the literature was done in the electronic database MEDLINE, PubMed, LILACS and SciELO, without limitation of time or language. The PICO strategy has been used for this research. **Results:** 554 articles were found. From these, 432 were excluded by title, resulting in 122 articles left. Out of these articles the duplicates were excluded resulting in 73 articles; 36 were then excluded after reading the abstract and 33 more after reading the full text. Four studies were selected. Two articles included males and females in their studies and two only included males. Three studies included quadriplegics and paraplegics in the same study; one included only quadriplegics. One of the studies used a more frequent training routine, seven times a week; three trained only three times a week. The duration of the studies was varied considerably, from six weeks to one year. The resulting measurements for strength and resistance evaluation were performed in different manners, by muscle transverse section area measurement, limb circumference, and muscle biopsy; however, all studies presented at least one of the measurements provided by the equipment, power output or work output. Improvement of the power output and work output has been shown in all studies. Despite the heterogeneity encountered in these studies, the outcomes evaluated by them indicate a significant increase in the power output and work output after training periods, with gains starting from six weeks of training at least three times a week. **Conclusion:** Future studies are needed to assess different responses in different groups of subjects, paraplegics or quadriplegics, under different frequencies and periods of training, and thereby provide the elaboration of more directed training protocols.

Keywords: electric stimulation, exercise, paraplegia, quadriplegia, spinal cord injuries

¹ Fisioterapeuta, Instituto de Medicina Física e Reabilitação do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP.

² Médico fisiatra, Doutor, Docente da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP.

³ Fisioterapeuta, Mestre, Diretora do Serviço de Fisioterapia do Instituto de Medicina Física e Reabilitação do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP.

⁴ Médica fisiatra, Livre docente, Professora Associada da Faculdade de Medicina da USP.

Endereço para correspondência:
Instituto de Medicina Física e Reabilitação HCFMUSP
- Serviço de Fisioterapia
Rua Diderot, 43 Vila Mariana
São Paulo - SP
CEP 04116-030
E-mail: iknaki@usp.br

Recebido em 08 de Outubro 2011.
Aceito em 25 de Novembro de 2011.

DOI: 10.5935/0104-7795.20110009

INTRODUÇÃO

A lesão medular afeta cerca de 32 pessoas por milhão e aproximadamente 7.800 pessoas por ano, nos Estados Unidos.¹ No mundo, a variação é de 12,1 a 57,8 casos por milhão de pessoas.² Sua ocorrência é predominantemente no sexo masculino, com cerca de 82% dos casos e a média da idade é 33,4 anos.¹

Em geral, 85% dos pacientes que sobrevivem após as primeiras 24 horas de lesão encontram-se vivos depois de decorridos 10 anos.¹ Projeções sugerem a necessidade de expansão da capacidade de atendimento/tratamento dos pacientes com lesão medular e a necessidade de preparo para o envelhecimento desta população.³ Os avanços da tecnologia e da medicina proporcionaram aos pacientes com lesão medular maior longevidade.⁴ Em contrapartida, estes pacientes passaram a estar suscetíveis às doenças relacionadas ao envelhecimento. Estudos indicam a prevalência de doenças cardiovasculares assintomáticas em pessoas com lesão medular entre 25% e 50%.⁵⁻⁷ Já a taxa de prevalência de doenças cardiovasculares sintomáticas variam de 30% a 50%,^{6,8,9} sendo que, em pessoas sem lesão, a taxa de prevalência varia entre 5% e 10%.¹⁰ Torna-se, assim, uma das principais causas de morte em pacientes mais velhos com lesão medular.¹¹ Cerca de um terço dos indivíduos com lesão medular com mais de 65 anos de idade e aproximadamente metade daqueles com mais de 30 anos de lesão morrem por doenças cardiovasculares.¹² As complicações pulmonares e cardíacas estão entre as principais causas de morte após 12 anos dessa lesão, sendo a primeira e a segunda causa de morte, respectivamente.¹³ A mortalidade em pessoas com lesão medular é três vezes maior que na população em geral, quando comparadas pela idade.¹⁴

Do ponto de vista cardiovascular, quando comparado com uma pessoa hígida, o indivíduo com lesão medular apresenta alterações que interferem na capacidade de geração de altos níveis de consumo de oxigênio (VO₂). Na pessoa hígida, ocorre a redistribuição de sangue dos tecidos inativos para suprir o trabalho muscular. Esta vasorregulação é atribuída à ação do sistema nervoso simpático, que no paciente com lesão medular apresenta-se total ou parcialmente ausente, de acordo com o nível de lesão. Isto resulta na redução da frequência cardíaca e da contractilidade do miocárdio, limitando o débito cardíaco e volume ejetado máximo, o que reduz o potencial de melhora do desempenho cardiovascular.

Não obstante, a atrofia muscular e aumento de gordura corporal ocorrem logo após a lesão e continuam aumentadas com o decorrer da idade. Estas mudanças na composição corporal e a inatividade predispõem as pessoas com lesão medular às anormalidades metabólicas e aceleraram o desenvolvimento de doenças cardiovasculares.¹⁵

Compreendendo estes mecanismos cardiovasculares e vasorregulatórios nos pacientes com lesões medulares, a publicação de trabalhos utilizando a estimulação elétrica funcional computadorizada (*Computerized Functional Electrical Stimulation* - CFES) vem aumentando, com o intuito de avaliar as respostas fisiológicas e de desenvolver terapias eficientes para o condicionamento cardiorrespiratório destes pacientes.

A CFES é o método de estimulação dos nervos periféricos modulada por computador através de eletrodos acoplados à pele com fins terapêuticos. É uma forma de estimulação elétrica coordenada que provoca contração sequenciada dos músculos quadríceps, isquiotibiais e glúteos, reproduzindo o pedalar da bicicleta.

Sua grande vantagem consiste na possibilidade de produzir a movimentação de pedais de um cicloergômetro por meio da contração ativa dos músculos dos membros inferiores mediada pelo efeito do estímulo elétrico. Isso viabiliza tal atividade mesmo para o indivíduo sem controle algum dessa musculatura. Com o avanço do treinamento, ocorre a resposta adaptativa do indivíduo e a resistência ao movimento nos pedais pode ser modificada, provocando maior sobrecarga aeróbia e melhor condicionamento cardiovascular. A melhora do condicionamento cardiorrespiratório no CFES está relacionada à melhora dos parâmetros de carga de treinamento (resistência imposta pelo cicloergômetro). Glaser et al.,¹⁵ em seu estudo com 20 sujeitos com lesão medular, compararam as respostas fisiológicas de pessoas hígidas submetidas ao mesmo treinamento dos sujeitos com lesão medular e observaram o aumento gradual do VO₂ concomitante ao aumento da carga. Hjeltnes et al.,¹⁶ em seu estudo com cinco pacientes tetraplégicos, avaliaram as alterações na composição corporal após treinamento no CFES e, em concordância com o estudo anterior, observaram elevação do VO₂ com o aumento da carga. Figoni¹⁷ avaliou as respostas ao exercício em pacientes tetraplégicos, observando o incremento do VO₂ e do débito cardíaco com aumento da carga a partir de 9 W.

O CFES mostra-se como uma interessante alternativa para o treinamento aeróbio de

pessoas com lesão medular, tendo o componente muscular um importante papel para a realização deste treinamento.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo determinar se o uso do CFES produz desfechos musculares benéficos para os indivíduos com lesão medular.

MÉTODO

Crítérios de inclusão

Os critérios de inclusão e exclusão são definidos com base na pergunta que norteia a revisão:

- Sem delimitação de período de publicação;
- Sem delimitação de idioma.

Tipos de estudos

Estudos publicados de ensaios clínicos controlados e aleatorizados, ensaios clínicos *quasi*-aleatorizados e controlados, ensaios clínicos controlados, séries de casos e estudos de caso.

Características dos participantes

Indivíduos adultos com lesão medular traumática, definida como uma lesão penetrante ou não penetrante da medula espinhal resultante de forças externas.

Tipos de intervenção

Uso de estimulação elétrica computadorizada (CFES) em pacientes com lesão medular, definida como o uso de estimuladores elétricos computadorizados. Estes são equipamentos que geram pulsos de baixa intensidade transmitidos por eletrodos de superfície causando contrações coordenadas de grandes músculos das pernas. Possuem sensores que propiciam um *feedback* contínuo para o adequado controle das contrações musculares e para a resistência do pedal.

Desfechos

Alterações tróficas musculares.

Método de busca para a identificação dos estudos

A pesquisa não teve limitação de data ou linguagem.

Bases eletrônicas de dados

- Medline

- Pubmed
- Lilacs
- Portal SciELO

A estratégia de busca utilizada baseou-se em perguntas estruturadas na forma P.I.C.O. ("*Paciente*", "*Intervenção*", "*Controle*", "*Outcome/Desfecho*"). Foram utilizados como descritores: (*Spinal Cord Injuries* OR *Quadriplegia* OR *Paraplegia*) AND (*Electric Stimulation*) AND (*Ergometry*); (*Spinal Cord Injuries* OR *Quadriplegia* OR *Paraplegia*) AND (*Electric Stimulation*) AND (*Bicycling*); (*Spinal Cord Injuries* OR *Quadriplegia* OR *Paraplegia*) AND (*Electric Stimulation*) AND (*Exercise*); (*Spinal Cord Injuries* OR *Quadriplegia* OR *Paraplegia*) AND (*Electric Stimulation*) AND (*Exercise test*); Tetraplegia AND Estimulação elétrica; Paraplegia AND Estimulação elétrica; Traumatismos da medula espinal AND Estimulação elétrica.

Definições dos descritores

Spinal Cord Injuries/Traumatismos da medula espinal: Lesões penetrantes e não penetrantes da medula espinal resultantes de forças externas traumáticas (ex.: ferimentos por armas de fogo, traumatismos em chicotadas, etc.).

Electric Stimulation/Estimulação elétrica: Uso de correntes ou potenciais elétricos para obter respostas biológicas.

Quadriplegia/Tetraplegia: Perda grave ou completa da função motora em todos os quatro membros, podendo resultar de doenças cerebrais, doenças da medula espinhal, doenças do sistema nervoso periférico, doenças neuromusculares ou, raramente, doenças musculares.

Paraplegia/Paraplegia: Perda grave ou completa da função motora nas extremidades inferiores e porções inferiores do tronco. Esta afecção é mais frequentemente associada com doenças da medula espinhal, doenças cerebrais, doenças do sistema nervoso periférico, doenças neuromusculares ou, raramente, doenças que possam também causar fraqueza bilateral das pernas.

Exercise Test/Teste de esforço: Atividade física controlada, mais ativa que o descanso, desempenhado para permitir a avaliação das funções fisiológicas, particularmente a cardiovascular e pulmonar, mas também a capacidade aeróbica. Geralmente, o máximo de exercício (mais intenso) é exigido, mas o exercício submáximo também é utilizado. A intensidade do exercício frequentemente é graduada utilizando-se critérios como frequência do trabalho feito, consumo de oxigênio e frequência cardíaca

Exercise/Exercício: Atividade física geralmente regular e feita com a intenção de melhorar ou manter a aptidão física ou a saúde. É diferente de esforço físico, que é voltado principalmente para as respostas fisiológicas e metabólicas ao uso da energia.

Bicycling/Ciclismo: O uso da bicicleta para transporte ou recreação. Isto não inclui o uso da bicicleta no estudo das respostas corporais aos exercícios físicos.

Ergometry/Ergometria: Qualquer método de medida da quantidade de trabalho feita por um organismo, geralmente durante esforço físico. A ergometria inclui também medidas de força. Alguns instrumentos utilizados nestas determinações incluem a manivela manual e a bicicleta ergométrica.

A seleção dos estudos foi realizada por meio da avaliação dos títulos e dos resumos (*abstracts*) identificados na busca inicial por dois pesquisadores, de forma independente e cegada, obedecendo rigorosamente aos critérios de inclusão e exclusão definidos no protocolo de pesquisa. Quando o título e o resumo não foram esclarecedores, buscou-se o artigo na íntegra, para não correr o risco de deixar estudos importantes fora da revisão sistemática. As discordâncias que porventura ocorreram foram resolvidas por consenso.

Os dados foram extraídos de cada estudo por meio de um formulário padronizado, contendo informações sobre idade dos sujeitos, número de sujeitos incluídos no estudo, tipo de intervenção, tempo de sessão, número de sessões, frequência das sessões, tipos de resultados medidos, e conclusão dos autores sobre os desfechos das intervenções.

RESULTADOS

A busca inicial identificou 554 artigos (Tabela 1), dos quais foram excluídos aqueles em duplicidade (48). A leitura do título (432) e do resumo (36) excluiu 468 artigos. Dos 37 restantes, somente quatro obedeceram aos critérios de inclusão nesta revisão após leitura integral do texto. Foram excluídos os artigos de revisão bibliográfica, estudos em que os sujeitos não eram adultos, estudos com terapias associadas (protocolo de fortalecimento com estimulação elétrica funcional e estimulação elétrica computadorizada, por exemplo), estudos com sujeitos lesados medulares com lesão incompleta e atividade motora (ASIA C, D, E) e estudos sobre o metabolismo e consumo de oxigênio do músculo. Foram incluídos artigos que utilizavam cicloergômetros não estacionários.

Apesar da preocupação em selecionar estudos mais homogêneos em relação às características da lesão (completa ou incompleta), tipo de intervenção e tipo de medidas, alguns estudos apresentaram certa heterogeneidade, como apresentado na Tabela 2.

Dois artigos incluíram homens e mulheres em seus estudos,^{18,19} dois apenas homens.^{16,20} Três estudos incluíram tetraplégicos e paraplégicos no mesmo estudo,¹⁸⁻²⁰ um incluiu apenas tetraplégicos.¹⁶ Dois estudos incluíram ao menos um sujeito com lesão incompleta em seu estudo,^{19,20} dois incluíram apenas sujeitos com lesão completa.^{16,18} Um dos estudos utilizou frequência de treinamento maior, sete vezes por semana,¹⁶ três fizeram uso de frequência de treinamento de três vezes por semana.¹⁸⁻²⁰ A duração dos estudos teve grande variação, de seis semanas²⁰ até um ano.¹⁹

As amostras das populações dos estudos apresentaram um número reduzido de sujeitos^{16,18-20} e não foram encontrados estudos de ensaios clínicos aleatorizados e controlados. As medidas de resultado para a avaliação de força e resistência foram realizadas de diversas maneiras, por medida de área de secção transversal dos músculos^{16,19} (ambos os estudos observaram aumento significativo nas secções transversais), circunferência do membro^{19,20} (um dos estudos relatou aumento na circunferência da coxa,¹⁹ já o outro relatou manutenção na circunferência)²⁰ e a biópsia muscular,^{18,19} (um dos estudos relatou aumento na área das fibras musculares,¹⁸ já o outro não observou alteração),¹⁹ contudo, todos os estudos apresentavam ao menos uma das medidas fornecidas pelo equipamento, a avaliação de potência (*power output*) ou do trabalho realizado (*work output*).^{16,18-20}

DISCUSSÃO

Apesar de a pesquisa realizada neste estudo ter sido ampla, o número de artigos selecionados foi reduzido. O uso de palavras-chaves e termos amplos desta maneira na busca dos artigos justificou-se, pois os estudos sobre estimulação elétrica computadorizada poderiam estar associados a diversos descritores. Apesar de a tecnologia associada ao CFES não ser recente, a disponibilidade de equipamentos não é grande e a exigência de regularidade no treinamento exige esforços complementares por parte dos usuários para obter as respostas cardiovasculares e musculoesqueléticas desejadas, o que pode ter contribuído para reduzir o número

Tabela 1. Número de artigos encontrados/selecionados, por associação de descritores

Descritores	Traumatismo da medula espinhal	Paraplegia	Tetraplegia	Spinal cord injuries OR quadriplegia OR paraplegia	Total
Electric stimulation AND exercise test	*	*	*	93/24	93/24
Electric stimulation AND exercise	*	*	*	301/50	301/50
Electric stimulation AND bicycling	*	*	*	57/17	57/17
Electric stimulation AND ergometry	*	*	*	90/31	90/31
Estimulação elétrica	08/00	02/00	03/00	*	13/00
Total	08/00	02/00	03/00	*	554/122

Tabela 2. Descrição dos artigos utilizados nesta revisão

Autor	Número de participantes (homens/mulheres)	Média de idade em anos ± desvio padrão (variação em anos)	Nível de lesão	Média de tempo de lesão em anos ± desvio padrão (variação em anos)	Lesão Completa (C) Incompleta (I)*	Equipamento
Chilibeck 1999 ¹⁸	6 (5 homens, 1 mulher)	(31-50)	C5-T8	(3-25)	Todos C	ERGYS 2 (Therapeutic Alliances Inc., Ohio, USA)
Gerrits 2000 ²⁰	7 (homens)	40,4 ± 11,0(28-61)	C5-T8	9,8 ± 10,0(1 -27)	5C e 2I	ERGYS 2(Therapeutic Alliances Inc., Ohio, USA)
Hjeltnes 1997 ¹⁴	5 (homens)	35 ± 6,1	C5-C7	10,2 ± 7,6 (4-23)	Todos C	ERGYS1 (Therapeutic Alliances Inc., Ohio, USA)
Mohr 1997 ¹⁹	10 (8 homens, 2 mulheres)	35,3 ± 7,2 (27-45)	C6-T4	12,5 ± 6,2 (3-23)	9 C e 1 I	REGYS 1 (Therapeutic Alliances Inc., Ohio, USA)
Descrição da Aleatorização	Freq. de treino por semana	Tempo de cada sessão	Duração do treinamento	Relata perdas?	Tipo de medida	
Não aleatorizado	3	30 min	8 semanas	Não relata	Biópsias musculares do músculo vasto lateral, obtidas antes e após o treino. Trabalho realizado (work output)	
Não aleatorizado	3	30 min	6 semanas	Não relata	Circunferência da coxa, medida a 5 e 20 cm da patela. Trabalho realizado (work output)	
Não aleatorizado	7	30 min	8 semanas	Relata e justifica perdas	Secção transversal através de tomografia computadorizada de glúteos máximo e médio, isquiotibiais e quadríceps. Força gerada (power output)	
Não aleatorizado	3	30 min	12 meses	Não relata	Circunferência da coxa, medidos a 10 e 20 cm da patela. Secção transversal do músculo da coxa, porção média, por ressonância magnética funcional; e biópsia muscular do músculo vasto lateral; Potência gerada (power output)	
Resultados				Conclusão do Autor		
Aumento médio de 23% na área das fibras musculares e 39% no número de capilares				Oito semanas de treinamento 3x/sem de CFES promove o aumento proporcional da área das fibras e do número de capilares. Estas mudanças podem aumentar parâmetros funcionais, como a resistência muscular em indivíduos com lesão medular		
Seis semanas de treinamento no FES-LCE não alteraram significativamente a circunferência da coxa. Medida a 5 cm e 20 cm da patela. Respetivamente, 40,2 ± 3,2 centímetros antes, e 40,4 ± 2,5 centímetros; e 47,8 ± 2,9 centímetros antes, e 48,0 ± 3,4 centímetros após o treinamento. Aumento significativo do trabalho gerado média de 4 ± 5 kJ para 13 ± 14 kJ.				O presente estudo demonstra claramente que 6 semanas de treinamento no FES-LCE pode melhorar as propriedades fisiológicas do músculo quadríceps em indivíduos com SCI em relação à resistência à fadiga.		
Aumento significativo da secção transversal dos músculos em 22% ou 58cm ² . Aumento na carga (6 W) para (22,4 W). Quatro sujeitos foram capazes de realizar a sessão de treino no CFES por 30min com cargas variando de 6 W(suj3 e 4) a 12,2 W(suj. 2) e 18,3 W(suj. 1), mas o sujeito 4 fadigou após 20 min a 6 W.				O treinamento realizado 7x/sem durante 8 semanas promove significante aumento na resistência muscular em pacientes tetraplégicos.		
A circunferência da coxa, a 20 cm da patela, aumentou 0,9±0,2 cm (P<0,05) após 6 meses e 1,8 ± 0,3 após 12 meses, respectivamente 3 e 5% de aumento. Aumento de 5% na secção transversal dos músculos da coxa. Não houve aumento significativo das áreas das fibras musculares.				As mudanças musculoesqueléticas que ocorrem no lesado medular após a lesão podem ser reversíveis. O treinamento das pernas com eletroestimulação é uma ferramenta efetiva de reabilitação.		

*Lesão completa, sensorial e motora completa; lesão incompleta, sensorial incompleta, mas motora completa

final de artigos que atendessem aos critérios definidos.

Assim sendo, o número de artigos encontrados que versavam, de fato, sobre os efeitos musculares da CFES não eram muitos. Davis et al.²¹ realizaram uma revisão de literatura sobre diversos desfechos com o uso do CFES, morfologia e bioquímica do músculo, respostas cardíacas e hemodinâmicas, densi-

dade óssea, mudanças funcionais na capacidade em realizar o exercício, aspectos psicossociais e respostas metabólicas generalizadas e encontraram 865 artigos, sendo selecionados 177 artigos. Peng et al.²² realizaram outra revisão de literatura avaliando aspectos cardiovasculares, ósseos, musculares entre outros. No aspecto muscular, foram selecionados oito artigos, incluindo avaliações sobre

trofismo muscular e espasticidade, não sendo excluídos os estudos cujos sujeitos tinham lesão incompleta. Estes autores observaram que o uso do CFES promovia aumento da massa e resistência muscular, redução na frequência e na duração dos espasmos musculares, aumento da sensibilidade à insulina, aumento dos parâmetros ventilatórios e aumento no consumo de oxigênio.

Nesta revisão, coincidentemente, os estudos selecionados fizeram uso de aparelhos da mesma marca, *Ergys (Therapeutic Alliances Inc, Ohio, USA)*, o que permite afirmar que os resultados têm consistência maior. Contudo, outros equipamentos de CFES, ou equipamentos de cicloergometria associados a outro aparelho de estimulação elétrica também já foram utilizados. Kakebeeke et al.²³ usaram o *StimMaster (ELA, Dayton, OH.)*, enquanto Berry e col usaram o *Mobile Recumbent Tricycle (Inspired Cycle Engineering Ltd., Falmouth, Cornwall, UK)* adaptado para acoplamento com estimulação elétrica. Duffel et al.²⁴ realizaram seu estudo com o uso de um triciclo *Trice (Inspired Cycle Engineering, Ltd., UK)* e um estimulador elétrico *Stanmore stimulator*. Scremin et al.²⁵ fizeram uso do *REGYS (Therapeutic Alliances Inc, Ohio, USA)*.

Os CFES foram introduzidos no mercado na década de 80 com o primeiro equipamento comercializado - *REGYS (Therapeutic Alliances Inc)*. Desde então, outras empresas introduziram no mercado novos modelos e protocolos de CFES ou cicloergômetros associados a outros aparelhos de estimulação elétrica. Não obstante, o alto custo e manutenção do equipamento e as complicações clínicas inerentes à população estudada, podem ter colaborado para o reduzido número de estudos realizados.

As medidas de avaliação utilizadas nos estudos desta revisão foram a avaliação da microestrutura muscular por biópsia, medida da circunferência o membro (coxa), avaliação da secção transversal dos músculos (coxa), *work output* e *power output*.

A avaliação da secção transversal dos músculos utilizada em dois estudos^{16,19} demonstrou aumento da área das fibras musculares examinadas. Contudo, este aumento nas áreas das fibras musculares não foi observado por meio do exame de biópsia muscular.¹⁹ Segundo os autores deste estudo, as áreas das fibras musculares menores que 200µm² não foram contadas, pois poderiam ser confundidas com artefatos, podendo, assim, justificar este achado controverso. Já Chilibeck et al.¹⁸ avaliaram a área das fibras musculares por biópsia e observaram aumento na área das fibras após o período de treinamento.

A medida de circunferência da coxa foi utilizada por Mohr et al.¹⁹ e Gerrits et al.²⁰ O primeiro observou aumento nesta medida, já o segundo não observou a mesma mudança. Gerrits et al.²⁰ relatam que este resultado pode estar associado ao fato desta medida ser pouco sensível e sujeita a erros de medição, apesar de ser facilmente aplicada.

Os parâmetros *work output* e *power output* utilizados nestes estudos indicam o rendimento do exercício, ou seja, a capacidade do indivíduo em realizar o exercício. O parâmetro *work output* refere-se à quantidade de energia despendida durante o exercício, medida em Joule (J). O parâmetro *power output* refere-se à velocidade com que a quantidade de energia é despendida por unidade de tempo durante o exercício, medida em Watt (W). Fighi¹⁷ correlacionou melhora cardiorrespiratória em indivíduos tetraplégicos submetidos ao exercício a partir do desempenho de uma potência de 9 W (210 kcal/hora), comparada a caminhada com velocidade de 3,2 km/h para pessoas sem lesão medular. Em outro estudo,²² os autores identificaram que indivíduos com lesão medular treinados no CFES apresentavam pico de consumo máximo de O₂ equivalente ao de um indivíduo sem lesão medular caminhando a 4,8 km/h ou pedalando a 50 W.

A lesão medular promove importantes alterações no tecido muscular ao longo do tempo. Ocorre uma importante atrofia muscular nos músculos paralisados, no primeiro ano após a lesão, mantendo um "estado estacionário" de trofismo a partir de então.^{26,27} Não obstante, nos músculos paralisados destes indivíduos com lesão medular ocorre a transformação de fibras tipo I (contração lenta e resistente à fadiga) em fibras musculares tipo IIB (contração rápida e rápida fadiga). Com um consequente predomínio de fibras musculares tipo IIB em relação às fibras musculares tipo I e IIA (contração rápida e resistente à fadiga).²⁸

O treinamento com o CFES é capaz de reverter parcialmente estas alterações no tecido muscular. Morh et al.¹⁹ observaram reversão da atrofia muscular e redução do tecido adiposo, com aumento significativo das fibras musculares tipo IIA em relação às fibras tipo IIB.

Os achados descritos acima podem ser criticados à medida que nenhum dos estudos selecionados é ensaio clínico aleatorizado, nem controlado ou mascarado. Todavia, o conhecimento clínico nos permite afirmar com segurança que indivíduos com lesão medular completa não melhoram o trofismo muscular sem algum tipo de estímulo direto sobre a musculatura, como com uma corrente elétrica, e que a simples movimentação cíclica passiva só implica em manutenção de amplitude articular e regulação do tônus. Uma vez que não havia grupos controle, não faria sentido a aleatorização dos sujeitos. Por fim, o mascaramento em estudos clínicos tem por objetivo reduzir a impressão de que possa haver

tendenciosidade na aferição dos resultados por interferência do sujeito de pesquisa ou do avaliador. Como os desfechos musculares selecionados foram obtidos objetivamente por equipamentos ou biópsia, não se esperam interferências dessa natureza. Desta forma, podemos afirmar que esta síntese dos resultados da literatura oferece respostas claras quanto ao efeito do exercício associado ao CFES sobre os parâmetros musculares, todavia, com a ressalva de aplicar-se apenas a um grupo restrito de pacientes com lesão medular completa.

CONCLUSÃO

Apesar da heterogeneidade encontrada nestes estudos, os desfechos avaliados indicam o treinamento com o uso do CFES em indivíduos com lesão medular promove melhora nos parâmetros musculares, com aumento significativo da potência e do trabalho realizado após os períodos de treinamento, com ganhos a partir de seis semanas,²⁰ frequência de treinamento a partir de três vezes por semana¹⁸⁻²⁰ e duração de 30 minutos de sessão, o que significa que tais pacientes conseguiram suportar melhor a sobrecarga de atividade física imposta. Este estudo ainda deixa abertas as questões sobre os efeitos deste tipo de treinamento em indivíduos com lesão incompleta e a relação dose-resposta, ou seja, se mais densidade de treinamento pode ser mais eficaz ou existe um efeito teto.

REFERÊNCIAS

1. National Spinal Cord Injury Association [homepage on the Internet]. New York: NSCIA; c2009 [cited 2009 Feb 20]. Available from: <http://www.spinalcord.org/>
2. Van den Berg ME, Castellote JM, Mahillo-Fernandez I, de Pedro-Cuesta J. Incidence of spinal cord injury worldwide: a systematic review. *Neuroepidemiology*. 2010;34(3):184-92.
3. Lasfargues JE, Custis D, Morrone F, Carswell J, Nguyen T. A model for estimating spinal cord injury prevalence in the United States. *Paraplegia*. 1995;33(2):62-8.
4. DeVivo MJ, Rutt RD, Black KJ, Go BK, Stover SL. Trends in spinal cord injury demographics and treatment outcomes between 1973 and 1986. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(5):424-30.
5. Phillips WT, Kiratli BJ, Sarkarati M, Weraarchakul G, Myers J, Franklin BA, et al. Effect of spinal cord injury on the heart and cardiovascular fitness. *Curr Probl Cardiol*. 1998;23(11):641-716.
6. Washburn RA, Fighi SF. Physical activity and chronic cardiovascular disease prevention in spinal cord injury: a comprehensive literature review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 1998;23:16-32.

7. Janssen TW, van Oers CA, van Kamp GJ, TenVoorde BJ, van der Woude LH, Hollander AP. Coronary heart disease risk indicators, aerobic power, and physical activity in men with spinal cord injuries. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78(7):697-705.
8. Bauman WA, Kahn NN, Grimm DR, Spungen AM. Risk factors for atherogenesis and cardiovascular autonomic function in persons with spinal cord injury. *Spinal Cord.* 1999;37(9):601-16.
9. Levi R, Hultling C, Seiger A. The Stockholm Spinal Cord Injury Study: 2. Associations between clinical patient characteristics and post-acute medical problems. *Paraplegia.* 1995;33(10):585-94.
10. American Heart Association [homepage on the Internet]. Dallas: American Heart Association; c2009 [cited 2009 Feb 25] Available from: <http://www.heart.org/>
11. DeVivo MJ, Black KJ, Stover SL. Causes of death during the first 12 years after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 1993;74(3):248-54.
12. Cardús D, Ribas-Cardús F, McTaggart WG. Coronary risk in spinal cord injury: assessment following a multivariate approach. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992;73(10):930-3.
13. Annual reports 9 and 10 for the Model Spinal Cord Injury Care Systems. The National Spinal Cord Injury Statistical Center. Birmingham: University of Alabama; 1992.
14. Van den Berg ME, Castellote JM, de Pedro-Cuesta J, Mahillo-Fernandez I. Survival after spinal cord injury: a systematic review. *J Neurotrauma.* 2010;27(8):1517-28.
15. Glaser RM, Figoni SF, Collins SR, Rodgers MM, Suryaprasad AG, Gupta SC, et al. Physiologic responses of SCI subjects to electrically induced leg cycle ergometry. In: Harris G, Walker C. Proceedings of the Tenth Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE. 1988;4:1638-40.
16. Hjeltnes N, Aksnes AK, Birkeland KI, Johansen J, Lannem A, Wallberg-Henriksson H. Improved body composition after 8 wk of electrically stimulated leg cycling in tetraplegic patients. *Am J Physiol.* 1997;273(3 Pt 2):R1072-9.
17. Figoni SF. Exercise responses and quadriplegia. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(4):433-41.
18. Chilibeck PD, Jeon J, Weiss C, Bell G, Burnham R. Histochemical changes in muscle of individuals with spinal cord injury following functional electrical stimulated exercise training. *Spinal Cord.* 1999;37(4):264-8.
19. Mohr T, Andersen JL, Biering-Sørensen F, Galbo H, Bangsbo J, Wagner A, et al. Long-term adaptation to electrically induced cycle training in severe spinal cord injured individuals. *Spinal Cord.* 1997;35(1):1-16.
20. Gerrits HL, de Haan A, Sargeant AJ, Dallmeijer A, Hopman MT. Altered contractile properties of the quadriceps muscle in people with spinal cord injury following functional electrical stimulated cycle training. *Spinal Cord.* 2000;38(4):214-23.
21. Davis GM, Hamzaid NA, Fornusek C. Cardiorespiratory, metabolic, and biomechanical responses during functional electrical stimulation leg exercise: health and fitness benefits. *Artif Organs.* 2008;32(8):625-9.
22. Peng CW, Chen SC, Lai CH, Chen CJ, Chen CC, Mizrahi J, et al. Clinical benefits of functional electrical stimulation cycling exercise for subjects with central neurological impairments. *J Med Biol Eng.* 2011;31(1):1-11.
23. Kakebeeke TH, Hofer PJ, Frotzler A, Lechner HE, Hunt KJ, Perret C. Training and detraining of a tetraplegic subject: high-volume FES cycle training. *Am J Phys Med Rehabil.* 2008;87(1):56-64.
24. Duffell LD, Donaldson Nde N, Perkins TA, Rushton DN, Hunt KJ, Kakebeeke TH, et al. Long-term intensive electrically stimulated cycling by spinal cord-injured people: effect on muscle properties and their relation to power output. *Muscle Nerve.* 2008;38(4):1304-11.
25. Scremin AM, Kurta L, Gentili A, Wiseman B, Perell K, Kunkel C, et al. Increasing muscle mass in spinal cord injured persons with a functional electrical stimulation exercise program. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(12):1531-6.
26. Taylor PN, Ewins DJ, Fox B, Grundy D, Swain ID. Limb blood flow, cardiac output and quadriceps muscle bulk following spinal cord injury and the effect of training for the Odstock functional electrical stimulation standing system. *Paraplegia.* 1993;31(5):303-10.
27. Round JM, Barr FM, Moffat B, Jones DA. Fibre areas and histochemical fibre types in the quadriceps muscle of paraplegic subjects. *J Neurol Sci.* 1993;116(2):207-11.
28. Lotta S, Scelsi R, Alfonsi E, Saitta A, Nicolotti D, Epifani P, et al. Morphometric and neurophysiological analysis of skeletal muscle in paraplegic patients with traumatic cord lesion. *Paraplegia.* 1991;29(4):247-52.