Igor Kaoru Naki

**Estudo comparativo das respostas de desempenho
musculoesquelético de pacientes tetraplégicos submetidos a
diferentes frequências de treinamento com Estimulação
Elétrica Funcional Computadorizada - CFES**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Medicina da Universidade de São Paulo
para obtenção de título de Mestre em
Ciências

Programa de: Ciências Médicas

Área de Concentração: Educação e
Saúde

Orientadora: Profa. Dra. Linamara Rizzo
Battistella

**São Paulo
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Naki, Igor Kaoru

Estudo comparativo das respostas de desempenho musculoesquelético de pacientes tetraplégicos submetidos a diferentes frequências de treinamento com Estimulação Elétrica Funcional Computadorizada - CFES / Igor Kaoru Naki. -- São Paulo, 2013.

Dissertação (mestrado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Programa de Ciências Médicas. Área de concentração: Educação e Saúde.
Orientadora: Linamara Rizzo Battistella.

Descritores: 1.Estimulação elétrica 2.Traumatismos da medula espinal
3.Exercício 4.Ergometria

USP/FM/DBD-150/13

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus pais, irmão, sogros e esposa como forma da minha gratidão.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho envolveu um grande conjunto de apoios, concedidos por várias pessoas, direta e indiretamente, que foram fundamentais para a sua execução. Embora se trate de um trabalho individual, gostaria de expressar o meu reconhecimento e agradecimento a todos aqueles que me ajudaram ao longo deste trabalho.

Assim, começaria por agradecer à Dra Linamara Rizzo Battistella, o seu empenho, dedicação e disponibilidade, assim como as linhas orientadoras ao longo deste trabalho.

À minha diretora Maria Cecília dos Santos Moreira por possibilitar a realização deste trabalho.

À minha esposa, Janaina Siman Naki, pelo incentivo incondicional, compreensão e encorajamento, durante todo este período.

À minha família, em particular, aos meus pais, meu irmão e aos meus sogros pelo zelo e apoio.

Aos meus amigos, em especial ao Dr. Marcelo, ao Flávio Rodrigo Cichon, à Marina da Paz Takami, ao Milton Seigui Oshiro e ao José Augusto Fernandes Lopes pelo seu pronto e incansável apoio.

Aos meus colegas do Hospital das Clínicas e Rede Lucy Montoro pelos momentos de entusiasmo partilhados em conjunto, em especial aos colegas das Unidades Lapa, Morumbi e Vila Mariana pela dedicação.

Meu muito obrigado.

Esta dissertação ou tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de International Committee of Medical Journals Editors (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Divisão de Biblioteca e Documentação. Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3a ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentação; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com List of Journals Indexed in Index Medicus.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivo.....	18
2	MÉTODO.....	19
2.1	Sujeitos.....	19
2.2	Material e Procedimento	21
3	RESULTADOS	32
4	DISCUSSÃO	35
5	CONCLUSÃO	40
6	REFERÊNCIAS	41
	ANEXOS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Imagem ilustrativa do equipamento ERGYS	21
Figura 2- Imagem dos eletrodos colocados em mm. glúteos	24
Figura 3- Imagem dos eletrodos colocados em mm. quadríceps	24
Figura 4- Imagem dos eletrodos colocados em mm. isquiotibiais	25
Figura 5- Imagem do enfaixamento realizado após colocação dos eletrodos	25
Figura 6- Imagem ilustrativa do paciente posicionado no equipamento .	26
Figura 7- Representação do Trabalho realizado em cada sessão	28
Figura 8- Representação do Trabalho realizado por ciclos	29
Figura 9- Comparação do trabalho do G 3 estimado e os sujeitos do G 1	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características dos sujeitos	20
Tabela 2- Número da sessão referente ao ciclo do tratamento	29
Tabela 3- Trabalho por ciclos	30
Tabela 4- Estimativas do Grupo 3	32
Tabela 5- Comparação da evolução final do trabalho do G 3 estimado e os sujeitos do G 1	33

RESUMO

Naki IK. Estudo comparativo das respostas de desempenho musculoesquelético de pacientes tetraplégicos submetidos a diferentes frequências de treinamento com estimulação elétrica computadorizada- CFES [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2013.

A mortalidade em pessoas com lesão medular é três vezes maior que na população em geral. As doenças cardiovasculares são umas das mais relevantes na lista de doenças que as acometem, ocorrendo cada vez mais precocemente. Dentre os fatores de risco para doenças cardiovasculares a inatividade física é um importante fator modificável para esta população. O grupo de tetraplégicos é o que demonstra maior comprometimento físico. Devido ao menor recrutamento muscular voluntário, as possibilidades terapêuticas para o condicionamento cardiorrespiratório são limitadas. Entre as alternativas terapêuticas está o cicloergometro com estimulação elétrica funcional computadorizada- CFES. Este estudo teve como objetivo comparar os efeitos do condicionamento dos músculos estimulados por corrente elétrica em pacientes tetraplégicos na frequência de treinamento de uma (1) vez por semana e de três (3) vezes por semana, durante seis meses de treinamento. Quatorze indivíduos adultos, homens, tetraplégicos, divididos aleatoriamente em dois grupos, realizaram CFES com as diferentes frequências de treinamento. Foi avaliada a variável trabalho desenvolvida durante cada sessão. A análise estatística foi realizada através de inferência bayesiana. As observações realizadas no presente estudo indicam que o desempenho musculoesquelético do grupo de treinamento de três vezes por semana pode ser melhor que o de uma vez por semana. A variabilidade de desempenho encontrada em estudos longitudinais sugere protocolos de intervenção mais abrangentes.

Descritores: estimulação elétrica, traumatismos da medula espinhal, exercício, ergometria

ABSTRACT

Naki, IK. Comparative study of the musculoskeletal performance of quadriplegic patients who have undergone training with computerized functional electric stimulation-CFES CFES [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2013.

Mortality in people with spinal cord injury is three times higher than in the overall population. Cardiovascular diseases are the most prevalent one affecting these individuals, occurring increasingly at an earlier age. With the risk factors for cardiovascular diseases, physical inactivity is an important and modifiable aspect for this population. The quadriplegic group is the one showing the larger physical impairment. Due to the lower volunteer muscle recruitment, therapeutic possibilities for cardiorespiratory conditioning are limited. Among the therapeutic alternatives is the computerized functional electric stimulation – CFES. This study aimed to compare the effects of ergometric training over the conditioning of the muscles of quadriplegic patients, stimulated by electric current, once and three times a week, for six months of training. Fourteen quadriplegic male adults were divided randomly into two groups, performing the training in the different treatment frequencies. Mechanical work variable was assessed throughout each treatment session. The statistical analysis was performed by Bayesian Inference. The study's observations indicate that the musculoskeletal performance of those in the three times a week treatment may be better than of those in the lower frequency group. The variability of the performance found with longitudinal studies suggests broader intervention protocols.

Descriptors: electric stimulation, spinal cord injuries, exercise, ergometry

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que o número de pessoas afetadas pela lesão medular nos Estados Unidos esteja entre 200.000 e 400.000 pessoas. Com 32 novos casos por milhão de pessoas e aproximadamente 7.800 casos por ano.¹ No mundo, com variação entre 12,1 a 57,8 casos por milhão de pessoas.² Ocorre em cerca de 82% dos casos no sexo masculino. A média da idade é de 33,4 anos. Entre as causas estão os acidentes automobilísticos (44%), atos de violência (24%), quedas (22%), esportes (8%, 2/3 destes casos por esportes de mergulho) e outros (2%).¹

A mortalidade em pessoas com lesão medular é três vezes maior que na população em geral, quando comparadas pela idade.³ Em geral, 85% dos pacientes que sobrevivem após as primeiras 24hs de lesão encontram-se vivos depois de decorridos 10 anos.¹ A média de idade das pessoas com lesão medular tem aumentado constantemente, em 2012 era de 40,7 anos de vida.⁴ 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.⁵ Os avanços da tecnologia e da medicina proporcionaram aos pacientes com lesão medular maior longevidade.⁶ Em contrapartida, estes pacientes passaram a estar suscetíveis às doenças relacionadas ao envelhecimento.

As doenças cardiovasculares são documentadas como umas das mais relevantes na lista de doenças que acometem a população em geral e que tem ocorrido cada vez mais precocemente.^{7,8} Não obstante, as mesmas doenças cardiovasculares afetam a população com lesão medular.^{9,10} Estudos indicam a prevalência de doenças cardiovasculares assintomáticas em pessoas com lesão medular entre 25% a 50%.^{11,12,13} Já a taxa de prevalência de doenças cardiovasculares sintomáticas variam de 30% a 50%.^{12,14,15} Sendo que em pessoas sem lesão a taxa de prevalência varia entre de 5–10%.¹⁶

Assim, as doenças cardíacas tornaram-se uma das principais causas de morte em pacientes mais velhos.^{4,17} Cerca de um terço dos pacientes com mais de 65 anos de idade e aproximadamente metade dos pacientes com mais de 30 anos de lesão morrem por doenças cardiovasculares.^{18,19} As complicações pulmonares e cardíacas estão entre as principais causas de morte após 12 anos de lesão. Sendo a primeira e a segunda causa de morte, respectivamente.²⁰

Os principais fatores de risco para doenças cardiovasculares foram determinados no estudo de Framingham Heart,²¹ sendo eles: idade, diabetes, colesterol total, pressão sanguínea sistólica e fumo. Não surpreendentemente, os maiores fatores de risco para população com lesão medular são os mesmos que para população em geral, porém com potencial aumentado, como a inatividade física, a dislipidemia, a pressão sanguínea irregular, a alteração glicêmica e a inflamação crônica.²²⁻²⁶

O indivíduo com lesão medular, em especial a tetraplegia, frequentemente, apresenta disreflexia autonômica, hipotensão ortostática, prejuízo dos reflexos cardiovasculares, perda do reflexo cardíaco de aceleração e atrofia cardíaca (redução de massa muscular do ventrículo esquerdo). Tais alterações dos mecanismos regulatórios decorrem da interrupção das fibras descendentes do sistema nervoso simpático e da impossibilidade do centro vasomotor em responder efetivamente aos reflexos cardiovasculares e vasomotores. Os pacientes com nível de lesão abaixo de T6 não apresentam complicações cardíacas significativas relacionadas à hiperexcitabilidade vagal, pois a inervação simpática do coração provém de T3-4. Contudo, os pacientes com tetraplegia estão propensos a sintomas de bradicardia e distúrbios de condução cardíaca.¹⁶ Não obstante, os indivíduos com tetraplegia tem maior risco de morte e de desenvolver doenças respiratórias, circulatórias e úlceras de pressão, quando comparado com indivíduos com paraplegia.²

Dentre os fatores de risco para doenças cardiovasculares a inatividade física é um importante fator modificável para esta população.

A inatividade física pode causar atrofia miocárdica no paciente tetraplégico, ocorrendo principalmente no ventrículo esquerdo com a redução da massa muscular e da cavidade ventricular.²⁷ Esta atrofia tem se mostrado maior quanto maior for a idade, sendo independente do tamanho da superfície corporal, da má-nutrição ou de qualquer doença que pudesse acarretar em atrofia miocárdica. Está relacionada com a inatividade, sendo potencialmente diminuída com a estimulação elétrica das pernas e exercícios de braços.²⁸ Além disso, a realização de atividade física pode melhorar a sensibilidade à insulina de indivíduos com lesão medular.²⁹

O paciente com lesão medular quando comparado, do ponto de vista cardiovascular, com uma pessoa hígida, apresenta alterações que interferem na capacidade geração de altos níveis de consumo de oxigênio (VO₂) durante o exercício. 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. No paciente tetraplégico, isto resulta na redução da frequência cardíaca e da contractilidade do miocárdio, limitando o débito cardíaco e volume ejetado máximo, assim, reduzindo o potencial de melhora cardiovascular.

Compreendendo o funcionamento destes mecanismos cardiovasculares e vasorregulatórios nos pacientes lesados medulares, inúmeros trabalhos utilizando a estimulação elétrica funcional computadorizada (CFES) foram desenvolvidos com o intuito de avaliar as respostas fisiológicas e de desenvolver terapias eficientes para o condicionamento cardiorrespiratório destes pacientes.

A Estimulação Elétrica Funcional Computadorizada é o método de estimulação dos nervos periféricos através de eletrodos posicionados sobre a pele do paciente e conectados, através de cabos, ao computador com fins terapêuticos. É uma forma de estimulação elétrica coordenada que provoca contrações coordenadas dos músculos quadríceps, isquiotibiais e glúteos, reproduzindo o pedalar da bicicleta. No visor do computador acoplado ao cicloergômetro é possível observar os seguintes parâmetros: velocidade, em rotações por minuto (RPM); resistência mecânica máxima (carga) programada para os pedais; a porcentagem desta resistência (% carga) mecânica utilizada nos pedais; a porcentagem da intensidade de estímulo elétrico fornecida ao paciente e o tempo de corrida.

Os trabalhos iniciais apresentaram preocupação com a segurança do uso do CFES pelos pacientes e os efeitos fisiológicos decorrentes deste tipo de treinamento. Ragnarsson et al.³⁰ avaliaram a segurança e os efeitos do CFES nos pacientes com lesão medular. Dezenove pacientes com lesão medular entre C₄-T₁₀ realizaram treino no CFES, três vezes por semana, durante doze semanas, com corridas de até 15 minutos cada. Sendo avaliados os seguintes parâmetros: frequência cardíaca, pressão arterial, temperatura corporal e o desempenho da corrida. Os resultados indicaram que esta forma de estimulação elétrica era segura, que ocorreu aumento da resistência para a corrida e que houve aumento de força e resistência muscular dos mm. quadríceps.

Os estudos demonstram o incremento da condição cardiorrespiratória destes pacientes com uso do CFES, contudo, desde a aplicação do protocolo de treinamento introduzido por Petrofsky,³¹ onde a frequência de treino era de três vezes por semana e durações de 30 minutos, a maior parte das pesquisas desenvolvidas posteriormente seguiram protocolos semelhantes.

Hooker et al.³² em seu estudo com 7 tetraplégicos e 7 paraplégicos, em uma avaliação durante uma corrida de 30 minutos observaram aumento nos parâmetros de volume cardíaco ejetado, frequência cardíaca e trabalho cardíaco suficientes para o condicionamento cardiovascular destes sujeitos. Em 1992, Hooker et al.³³ avaliaram os efeitos do treinamento com CFES em dez pacientes tetraplégicos e oito pacientes paraplégicos durante 12 a 16 semanas sendo a frequência de treinamento de 2 a 3 vezes por semana. Observaram, no pós-treino, o aumento no consumo de oxigênio, na ventilação pulmonar, na frequência cardíaca e no débito cardíaco.

Fahgri et al.³⁴ avaliaram as respostas cardiovasculares em 7 tetraplégicos e 6 paraplégicos após treino por 12 semanas, 3 vezes por semana. Observaram aumento no volume cardíaco ejetado e no trabalho cardíaco. Hooker et al.³⁵ realizaram avaliação das respostas fisiológicas decorrente do treinamento de 30 minutos e 2 vezes por semana em oito pacientes (dois tetraplégicos e seis paraplégicos). Observaram significativo condicionamento cardiorrespiratório.

Mohr et al.³⁶ realizaram treinamento em 10 sujeitos com lesão medular (6 tetraplégicos e 4 paraplégicos), com duração de 30 minutos por sessão e frequência de 3 vezes por semana, durante um ano. Observaram significativo aumento no VO_2 e na carga oferecida aos pedais ao final do treinamento. Kakebeeke et al.³⁷ avaliaram os efeitos do treino intensivo no CFES para os parâmetros cardiorrespiratórios e de densidade óssea no paciente tetraplégico. O sujeito realizou treinamento com sessões de 60 minutos, cinco vezes por semana, durante um ano, apresentando melhora no condicionamento cardiorrespiratório.

Wilder et al.³⁸ realizaram uma revisão sobre os cicloergômetros induzidos por estimulação elétrica funcional. Relataram que os CFES proporcionam melhora do condicionamento cardiorrespiratório, da circulação local, da densidade óssea, entre outros. Descreveram que para melhores

resultados, os treinos deveriam ser realizados três vezes por semana, durante trinta minutos cada.

Ginis et al.³⁹ em seu estudo de revisão sobre recomendação de atividade física para pessoas com lesão medular, indicaram que as atividades deveriam ser desenvolvidas pelo menos duas vezes por semana, por vinte minutos de atividades aeróbicas e treinos de força muscular com frequência de duas vezes por semana.

A melhora do condicionamento cardiorrespiratório no CFES está relacionada à melhora dos parâmetros de carga de treinamento (resistência imposta aos pedais pelo cicloergômetro). Glaser et al.⁴⁰ em seu estudo com vinte sujeitos com lesão medular e seis pessoas híginas, comparou as respostas fisiológicas submetidas ao mesmo treinamento dos sujeitos com lesão medular e observou o aumento gradual do VO_2 concomitante ao aumento da carga.

Hjeltnes et al.⁴¹ em seu estudo com cinco pacientes tetraplégicos, com frequência de treinamento de sete vezes por semana com sessões de 30 minutos cada, avaliou as alterações na composição corporal após treinamento no CFES e em concordância com o estudo anterior, observou um aumento do VO_2 com o aumento da carga.

1.1 Justificativa

Dentro do universo dos pacientes lesados medulares, o grupo de tetraplégicos é o que demonstra maior comprometimento físico. Devido ao menor recrutamento muscular voluntário, as possibilidades terapêuticas para o condicionamento cardiorrespiratório são limitadas. Entre as alternativas terapêuticas está o CFES, que é utilizado, em geral, numa frequência de três vezes por semana, propiciando benefícios metabólicos, cardiorrespiratórios e musculares.

Atualmente não existem estudos que comparem as diversas frequências de treinamento e que demonstrem qual a frequência de treinamento ideal para a obtenção dos resultados de condicionamento com o uso do CFES. Considerando que há uma perda da integridade do sistema simpático, há de se esperar uma limitada resposta muscular e cardiorrespiratória ao exercício. Destarte, identificar qual a frequência ideal de treinamento poderia colaborar para o estabelecimento de protocolos "otimizados" de tratamento, e garantir melhor custo benefício na inclusão desta tecnologia nos centros de reabilitação.

1.2 Objetivo

Este estudo teve como objetivo comparar os efeitos do treino em cicloergométrico com FES sobre o condicionamento dos músculos estimulados por pacientes tetraplégicos na frequência de treinamento de uma (1) vez por semana e de três (3) vezes por semana.

2 MÉTODO

O presente Protocolo de Pesquisa foi aprovado pela Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa- CAPPesq da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas e da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em 21/10/2009, sob o nº 1044/09 (Anexo 1), inclusive o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo 2).

2.1 Sujeitos

Os sujeitos foram recrutados no Instituto de Medicina Física e Reabilitação do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo- IMRea-HC-FMUSP. Antes da participação, todos os sujeitos leram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Participaram do estudo 14 sujeitos, adultos, homens, tetraplégicos, com lesão medular ASIA A ou B,⁴² cujas características estão representadas na Tabela 1.

Todos os sujeitos realizaram avaliação médica e foram encaminhados para a realização do treinamento com o cicloergometro com estimulação elétrica funcional computadorizada.

Foram excluídos os pacientes que apresentassem qualquer uma das seguintes condições: disreflexia autonômica frente ao estímulo elétrico, cardiopatia não compensada, fratura não consolidada de membros inferiores, limitação de Amplitude de Movimento em membros inferiores que impedissem a realização do exercício, osteoporose severa, instabilidade articular ou úlcera por pressão que o impedisse de permanecer sentado por mais de 30 minutos.

Tabela 1. Características dos sujeitos

GRUPO 1							
SUJEITO	GÊNERO [¥]	NÍVEL	ASIA*	IDADE (ANOS)	TEMPO DE LESÃO (ANOS)	FREQUÊNCIA	ASSIDUIDADE
1	M	C5	A	57	3	1	0,9
2	M	C4	A	33	2,4	1	0,9
3	M	C6	B	28	1,25	1	0,8
4	M	C7	B	37	2,83	1	0,9
5	M	C5	A	35	7	1	1,0
6	M	C4	A	38	4	1	0,8
7	M	C6	B	25	4,25	1	0,8
MÉDIA G1 ± d.p.				36,14±10,33	3,53±1,82		0,9

GRUPO3							
SUJEITO	GÊNERO [¥]	NÍVEL	ASIA*	IDADE (ANOS)	TEMPO DE LESÃO (ANOS)	FREQUÊNCIA	ASSIDUIDADE
8	M	C4	A	24	3,33	3	0,7
9	M	C5	A	33	7	3	0,7
10	M	C6	A	23	3	3	0,6
11	M	C6	B	27	9	3	0,7
12	M	C7	A	33	1	3	0,7
13	M	C4	A	25	9	3	0,7
14	M	C4	B	39	1,16	3	0,6
MÉDIA G3 ± d.p.				29,14±5,95	4,78±3,49		0,7

* ASIA (American Spinal Injury Association⁴²) escala utilizada para classificar a lesão medular, completa A, ou incompleta); ¥, sendo M, masculino;

Os sujeitos foram separados de maneira aleatória em dois grupos. A aleatorização foi efetuada a partir de uma lista obtida por um programa de computador disponível na internet (www.randomization.com) pré-elaborada. Um auxiliar de pesquisa elaborou envelopes numerados sequencialmente que continham no seu interior a frequência de treinamento de acordo com a lista. Quando foi iniciada a fase de treinamento, o pesquisador principal rompeu o lacre do envelope do paciente e programou a frequência de treinamento.

2.2 Material e Procedimento

O trabalho desenvolveu-se em três unidades do Instituto de Medicina Física de Reabilitação (IMREA-HC-FMUSP). Todos os sujeitos realizaram treinamento com o equipamento de Eletroestimulação Funcional Computadorizada (CFES), *Ergys* (Therapeutic Alliances, Inc; Fairborn, Ohio). (Figura 1).

Figura 1. Imagem ilustrativa do equipamento em uso, ERGYS

O treinamento era composto de sessões com duração de 30 minutos cada. Um dos grupos realizou o treinamento com uma frequência de 1 (uma) sessão por semana (G1) e o segundo grupo realizou o treinamento com uma frequência de 3 (três) sessões por semana (G3). O período de treinamento foi pré-determinado, sendo de 24 semanas para cada sujeito. Durante o período do estudo, os pacientes foram orientados a não iniciarem outras intervenções terapêuticas.

Este aparelho promove estimulação elétrica através de 12 eletrodos de superfície de silicone condutor 50x90mm, colocados em contato com a pele, sobre os músculos isquiotibiais, glúteos e quadríceps (dois eletrodos em cada músculo). A estimulação elétrica (onda quadrada, monofásica, de largura de pulso de 400us de duração, 60Hz de frequência, sincronizada para cada par de eletrodos) foi aplicada através de uma sequência coordenada de estímulos, promovendo um padrão de contrações musculares, resultando no pedalar do cicloergômetro.

O treinamento foi composto de treinos iguais, diferindo apenas em relação às frequências de sessões de treinamento: 1 vez por semana ou 3 vezes por semana.

Cada sessão de treinamento era composta de no máximo 05 corridas por sessão. A sessão era considerada finalizada quando o paciente atingia 30 minutos de corrida na soma das cinco tentativas de corrida ou quando completava as cinco tentativas de corrida mesmo não atingindo os 30 minutos. Cada sessão seguiu os seguintes passos:

- Explicação ao paciente sobre o procedimento a ser feito, como o modo e os locais de colocação dos eletrodos em contato com a pele do paciente;
- Posicionamento confortável e adequado do paciente;
- Colocação dos eletrodos. (Figuras 2,3 e 4); os eletrodos eram do tipo silicone condutor, 5x9cm.
- Enfaixamento das coxas com faixa crepe para melhor acoplamento dos eletrodos(Figura 5);
- Conexão das entradas dos eletrodos aos canais do cicloergômetro e fixação os eletrodos à pele do paciente;

- Posicionamento sentado do paciente. Fixação dos pés do paciente nas botas de proteção. Fixação dos manguitos nas coxas do paciente e colocação do cinto de segurança (Figura 6);
- Conexão do aparelho à rede elétrica e acionamento o botão ON/OFF.
- Ajuste dos parâmetros de resistência (carga, “*kilo pounds*”) e de intensidade da corrente elétrica(mA);
- Intensidade: máxima de 140mA;
- Frequência de pulso: fixa no aparelho (60Hz)
- Largura de pulso: é fixa no aparelho (400us)
- Tempo de aplicação: 30 minutos.
- Aferição de pressão arterial e da frequência cardíaca no início e ao final de cada corrida.
- O início: O fisioterapeuta iniciava cada corrida girando manualmente o pedal do cicloergômetro e mantinha a rotação em no mínimo 35 rpm por 1(um) minuto. Após este período de aquecimento, o fisioterapeuta apertava o botão “Start” para iniciar a corrida de 30 (trinta) minutos. O computador acoplado ao cicloergômetro iniciava o controle de intensidade de estímulo elétrico e quantidade de carga(resistência) oferecida aos pedais, tendo como objetivo utilizar toda a carga programada, mantendo a rotação em 49 rpm. Ao final dos 30 (trinta) minutos, encerrava-se a corrida, o fisioterapeuta mantinha a rotação do pedal em no mínimo 35rpm por 2(dois) minutos. Realizando assim o período de resfriamento.
- Retirada dos manguitos das coxas do paciente e das botas protetoras dos pés do paciente;
- Retirada dos eletrodos e higienização do paciente;

- Explicação sobre a possibilidade de ocorrência de vermelhidão ocasional no local dos eletrodos;

Figura 2. Imagem ilustrativa dos eletrodos colocados em mm. glúteos

Figura 3. Imagem ilustrativa dos eletrodos colocados em mm. quadríceps

Figura 4. Imagem ilustrativa dos eletrodos colocados em mm. isquiotibiais

Figura 5. Imagem ilustrativa do enfaixamento realizado após a colocação dos eletrodos

Figura 6. Imagem ilustrativa do paciente posicionado no equipamento

Fadiga Muscular

Considerou-se fadiga muscular quando os músculos estimulados pela corrente elétrica não eram mais capazes de gerar contração muscular suficiente para manter a velocidade do pedal do cicloergômetro acima de 35 rotações por minuto (RPM).

Quando a fadiga muscular ocorria, o estímulo elétrico era interrompido automaticamente pelo computador e o fisioterapeuta realizava a rotação do pedal manualmente pelo “período de resfriamento” (2 minutos). Após o período de resfriamento, era realizado o “período de descanso” de 5 minutos. Permanecendo o paciente em repouso durante o descanso. Nesta etapa, o computador fornecia em seu visor o tempo de corrida realizado até o momento, a média da carga utilizada e a média de RPM realizados até aquele instante. Após o período de descanso a sessão era reiniciada com

mais corridas até que fossem completados os 30 minutos ou as cinco tentativas de corrida.

A cada episódio de fadiga muscular o procedimento acima era realizado, até no máximo de 05 corridas por sessão e/ou até atingir um total de 30 minutos de corrida.

Para a avaliação de desempenho musculoesquelético, foram consideradas as cargas utilizadas pelos sujeitos durante as sessões, a potência e o trabalho desenvolvido pelos sujeitos durante as sessões. Todos os sujeitos iniciaram as sessões com a carga mínima de 0Kp. A cada 03 sessões consecutivas completadas com uma corrida única de 30 minutos por sessão a carga era aumentada em 1/8Kp. Num máximo de 7/8Kp de carga.

O cálculo do trabalho (*work output*) e da potência (*power output*) desenvolvidos pelos sujeitos foi realizado da seguinte maneira:

$$\text{Potência [W]} = 0,983 \times 1/8 \times \text{Média de KP} \times \text{Média de RPM}$$

$$\text{Trabalho [J]} = \text{Potência[W]} \times \text{Tempo de corrida[s]}$$

Análise Estatística

Não foram incluídos na análise estatística os sujeitos que não apresentaram resposta aos treinamentos e serão discutidos separadamente.

Os indivíduos observados foram classificados em dois grupos. O grupo denominado de “Grupo 1” realizou treinamento 1 vez por semana e está formado por dois integrantes. No presente estudo, tais integrantes são chamados de “Sujeito 4” e “Sujeito 7”. O segundo grupo, denominado de “Grupo 3” realizou treinamento 3 vezes por semana. Tal grupo é formado por cinco pacientes, denominados de “Sujeito 8”, “Sujeito 9”, “Sujeito 10”,

“Sujeito 12” e “Sujeito 14”. Para cada sujeito foi registrado o “Trabalho” realizado na bicicleta em cada sessão. Tal informação é representada na Figura 7.

Como o número de sessões não é constante entre os diferentes sujeitos, é analisada a variável “Trabalho” em ciclos do tratamento. Mais especificamente, para cada sujeito é observado o trabalho que conseguiu realizar na sessão referente a 1/3, 2/3 e 100% do tratamento. A Tabela 2 mostra as sessões analisadas para cada sujeito para cada ciclo, observando que se o valor obtido para a sessão não for inteiro, será arredondado para o inteiro inferior quando a parte decimal for menor ou igual a 0,5 e para o inteiro superior caso contrário. Por exemplo, para o sujeito 10 resulta ser $1/3 \times 47 = 15,667$, então é considerada a sessão 16, enquanto que para $2/3 \times 47 = 31,33$ é considerada a sessão 31.

Figura 7. Representação do Trabalho realizado em cada sessão

Tabela 2. Número da sessão referente ao ciclo do tratamento

Ciclo	0%	33%	67%	100%
Grupo 3				
Sujeito 8	1	17	34	51
Sujeito 9	1	18	36	54
Sujeito 10	1	17	34	51
Sujeito 12	1	16	31	47
Sujeito 14	1	11	23	34
Grupo 1				
Sujeito 4	1	8	16	24
Sujeito 7	1	7	13	20

A Figura 8 e a Tabela 3 mostram a variável Trabalho para cada grupo nos quatro ciclos.

Figura 8. Representação do Trabalho realizado por ciclos

Tabela 3. Trabalho por ciclos

Ciclo	0%	33%	67%	100%
Grupo 3				
Sujeito 8	0	10.618,9	13.258,3	12.418,3
Sujeito 9	0	5.968,3	9.871,5	19.110,5
Sujeito 10	0	0	26.010,2	21.330,9
Sujeito 12	0	16.772	26.755,3	38.462,3
Sujeito 14	0	7.035,1	21.734,4	23.825,9
Grupo 1				
Sujeito 4	0	9.554,8	21.504,9	17.540,7
Sujeito 7	0	0	0	8161,4

Modelo estatístico

Foi escolhido o modelo de curva de crescimento e a análise bayesiana de dados longitudinais proposta em Zhang et al.⁴³ Para cada grupo, assumimos que a evolução do trabalho de cada sujeito “i” no período “t” segue o modelo

$$Y_{it} = L_i + a_t S_i + e_{it}$$

$$L_i = \mu_L + \eta_{Li}$$

$$S_i = \mu_S + \eta_{Si}$$

sendo que y_{it} denota o trabalho que o sujeito “i” realizou na sessão correspondente ao período do tratamento “t”. Podemos interpretar como “ L_i ” o nível inicial do sujeito descrito por a média do grupo e a componente do sujeito, enquanto que “ S_i ” é o incremento no nível de trabalho que o sujeito “i” conseguiu no final do tratamento, também descrito pelo incremento médio do grupo e uma componente da performance do sujeito. Assim os valores “ a_t ” ponderam quanto do incremento é conseguido no ciclo de “t-1” até “t”, ou, dito de outra forma, “ a_t ” representa a velocidade de evolução.

Observando que, por questões técnicas (identificabilidade e escala) são fixados os parâmetros

$$a_1 = 0 \quad \text{e} \quad a_4 = 1.$$

Para efeitos de estimação é realizada uma análise Bayesiana com prioris não informativas. Maiores detalhes dos parâmetros da estimação podem ser vistos no Anexo 3 e também no artigo.⁴³ Com o intuito de simplificar a interpretação dos parâmetros estimados, os valores da variável “trabalho” são divididos pela constante 40.000, ou seja, a variável “trabalho transformada” assume valores entre 0 e 1 e os parâmetros “ μ_L ” e “ μ_S ” devem ser multiplicados por 40.000 para estarem na magnitude do trabalho observado.

3 RESULTADOS

Para o Grupo 3, os resultados são listados na Tabela 4 seguinte onde “Est.” é o valor estimado, “SE” o erro padrão e “IC” intervalo de confiança das estimativas de nível de significância 95% .

Tabela 4. Estimativas do Grupo 3

Grupo 3				
Parâmetro	Est.	SE	IC	
a_2	0,3283	0,2361	-0,0506	0,6468
a_3	0,8365	0,1974	0,4647	1,2470
μ_L	0,0261	0,2724	-0,5106	0,5899
μ_S	0,5619	0,2991	-0,0036	1,1790

Na Tabela 4 pode ser observado que a velocidade de evolução “ a_3 ” do segundo ciclo para o terceiro foi maior que a velocidade “ a_2 ” do primeiro ciclo para o segundo.

Por outro lado, como o Grupo 1 possui somente dois sujeitos, não foi possível obter estimações confiáveis dos parâmetros do modelo, mesmo combinando o modelo com outras técnicas estatísticas como por exemplo “Cross validation”. Por isso foi realizada uma comparação entre as estimativas de desempenho do Grupo 3 e os valores observados do Grupo 1. A primeira comparação consiste em analisar a distribuição do parâmetro “ μ_S ” e observar se o trabalho realizado na última sessão dos sujeitos do Grupo 1 encontra-se acima ou abaixo da mediana de “ μ_S ”. Lembrando que tal parâmetro representa a variação do trabalho entre a primeira sessão e a última sessão. A Tabela 5, resume os achados, mostrando que ambos os sujeitos do Grupo 1 tiveram um trabalho final inferior à mediana do Grupo 3.

Especificamente, o trabalho final do sujeito 4 encontra-se entre o percentil 25% e a mediana do Grupo 3 enquanto que o sujeito 7 teve um desempenho bem inferior à mediana do Grupo 3, entorno do percentil 10%.

Tabela 5. Comparação da evolução final do trabalho do Grupo 3 estimado e os sujeitos do Grupo 1

	Estimado G3				Observado G1
	2,50%	10%	25%	50%	
mu S	-145,7	8.168,0	15.292,0	22.120,0	
Sujeito 4, t=4					17.540,7
Sujeito 7, t=4					8.161,4

Por outro lado, o método de análise Bayesiana utilizado também permite estimar, para cada sujeito do Grupo 3 e para cada ciclo, a mediana do trabalho e os percentis 2,5% e 92,5%. Fazendo a média entre os cinco pacientes de tais valores obtemos intervalos de confiança para o trabalho em cada ciclo. Assim é possível identificar o comportamento dos dois sujeitos do Grupo 1 em relação à distribuição de desempenho do Grupo 3. O intervalo de confiança do trabalho do Grupo 3 e os valores observados do Grupo 1 são mostrados na Figura 9.

Figura 9. Comparação do trabalho do Grupo 3 estimado e os sujeitos do Grupo 1

Novamente pode ser visto que o sujeito 7 teve um comportamento significativamente inferior, fora do intervalo de confiança, em relação ao Grupo 3. Por outro lado, o sujeito 4 acompanha a mediana estimada do Grupo 3 até o terceiro ciclo e na fase final apresenta um desempenho inferior. Se for assumido um paciente hipotético no Grupo 1 com desempenho dado pela média desse grupo, pode ser observado que o seu trabalho estaria abaixo da mediana do grupo 3 com velocidade de crescimento inferior à estimada para o Grupo 3.

O estudo de caso apresentado permite inferir que a velocidade de evolução de um sujeito cresce ao longo do tratamento quando realizado o tratamento com uma frequência de três vezes por semana. Em relação à comparação da evolução em diferentes frequências de sessões, os resultados dão indícios de que a maior frequência pode implicar resultados melhores. Porém deve se ter presente que o baixo número de pacientes analisados e a grã variabilidade entre eles (no Grupo 1 há um sujeito com um desempenho próximo aos sujeitos do grupo 3 enquanto que o outro sujeito quase não consegue evolução no tratamento) não permitem fazer inferências estatísticas que confirmem a discriminação dos grupos.

4 DISCUSSÃO

Assiduidade

O trabalho desenvolveu-se em uma situação comum de atendimento no Centro de Reabilitação em regime ambulatorial.

A tetraplegia é uma das condições de saúde que mais causam dependência física ao indivíduo, demandando maior auxílio de terceiros para a realização de atividades de locomoção, alimentação, higiene e vestuário. Não obstante, as alterações inerentes à lesão, aumentam os riscos de ocorrência úlceras por pressão, infecções urinárias, infecções respiratórias, distúrbios cardiovasculares entre outras.

As infecções urinárias, a falta de retaguarda de transporte, a falta de cuidador e as infecções respiratórias foram as causas citadas pelos sujeitos deste trabalho para a assiduidade média de 80% apresentada. Hicks et al.⁴⁴ em seu estudo longitudinal de nove meses de duração, com sujeitos paraplégicos e tetraplégicos e com frequência de treinamento de duas vezes por semana, tiveram uma assiduidade de 82,5%. Dolbow et al.⁴⁵ em seu estudo de 16 semanas de duração, com dezessete sujeitos, avaliaram a assiduidade ao treinamento com o CFES com frequência de treinamento de três vezes por semana, em duas etapas. Durante as primeiras oito semanas, os treinamentos ocorreram no centro médico de avaliação, as oito semanas seguintes ocorreram em cada domicílio de cada sujeito. Os resultados de assiduidade foram de respectivamente 71,7% e 62,9%.

Outros investigadores encontraram uma assiduidade de 2,7 sessões por semana, em um máximo de 3 sessões por semana. Contudo, seus estudos tiveram um acompanhamento de 12 e 16 semanas.^{33,34}

Variabilidade de desempenho

Todos os sujeitos do presente estudo apresentaram melhora nos parâmetros de tempo de exercício ao final dos seis meses de treinamento. Contudo, a melhora do parâmetro de trabalho não ocorreu em todos os sujeitos.

A variabilidade de desempenho entre os sujeitos intragrupos encontrada neste estudo também foi encontrada em estudos anteriores. Mohr et al.⁴⁶ estudaram os efeitos do uso do CFES em dez sujeitos com lesão medular, durante doze meses de treinamento e frequência de três sessões por semana. Todos os sujeitos apresentaram melhora nos parâmetros de carga, potência e trabalho, exceto um. Este apresentou aumento apenas no parâmetro de tempo. Este que não apresentou melhora, não tinha a maior idade, o maior tempo de lesão ou mais alto nível de lesão.

Hjeltnes et al.⁴⁷ em seu estudo com cinco sujeitos com lesão medular, com treinamento realizado 7 vezes por semana, durante oito semanas, demonstrou a melhora nos parâmetros de carga, potência e trabalho de todos os seus sujeitos, exceto de um, que assim como no estudo anterior, melhorou apenas no parâmetro de tempo de corrida. Este sujeito não era o que tinha maior idade, nem tempo de lesão, ou maior nível de lesão. Gerrits et al.⁴⁸ em seu estudo com 7 sujeitos, com treinos de 3 vezes por semana, durante seis semanas, apresentaram dois sujeitos que não obtiveram melhora nos parâmetros de carga, potência e trabalho. Estes também não eram os que possuíam maior idade, mas os que tinham maior nível de lesão

A lesão medular causa importante atrofia muscular e transformação na proporção de fibras musculares nos músculos abaixo do nível da lesão. Biering-Sørensen et al.⁴⁹ em seu estudo de revisão sobre o comportamento muscular após lesão medular, indica haver um rápido processo inicial de atrofia muscular, com a ativação de proteínas de degradação muscular nos primeiros dias pós-lesão medular. Relata também, haver um consenso sobre a transformação de proporção de fibras musculares do tipo I para o

tipo II em todos os músculos abaixo do nível de lesão para a maioria das pessoas com lesão medular. Com variação na velocidade de transformação nos diversos estudos.

Uma possível explicação para a variabilidade de desempenho poderia decorrer da variação de transformação das fibras. Gerrits et al.⁵⁰ estudaram a variabilidade nas propriedades contráteis dos músculos paralisados de seis sujeitos com lesão medular, com classificação ASIA A. Três destes sujeitos, com mais de 10 anos de lesão, dois homens e uma mulher, apresentaram altos níveis de miosina de cadeia pesada tipo I, de contração lenta. Fato este, incomum em sujeitos com mais de dez anos após lesão medular.

Não obstante, no presente estudo a ocorrência de indivíduos que eram incapazes de completar uma sessão de 30 minutos de exercício foi elevada. Cerca de metade dos sujeitos não foi capaz de realizar os 30 minutos de exercício por sessão, proposto inicialmente. Dois sujeitos no grupo de treinamento de três vezes por semana e cinco sujeitos no grupo de treinamento de uma vez por semana.

Petrofsky et al.⁵¹ em seu estudo com noventa sujeitos paraplégicos, avaliaram os treinamentos de fortalecimento isocinético com diferentes tempos de duração e frequências de treinamento por semana. Observaram que os treinamentos de 30 minutos por sessão eram melhores que os de 5 minutos ou de 15 minutos. Observaram também que os desempenhos de trabalho(J) melhoravam com os treinamentos de uma, três e cinco vezes semana. Sendo que o desempenho foi melhor no grupo que treinou três vezes por semana em relação ao grupo que treinou cinco ou uma vez por semana. Possivelmente, para a maioria dos indivíduos, o incremento de força necessário para a melhora do desempenho no CFES decorra de treinamentos com frequência de treinamento de três vezes por semana. Sendo o treinamento com frequência de treinamento de uma vez por

semana insuficiente para sobrepor à resistência do pedal do cicloergômetro, para a maioria dos sujeitos.

Em muitos estudos com o CFES foi utilizada uma etapa inicial de treinamento em cicloergometro chamada de habituação. Consistia de um treinamento de fortalecimento dos mm. quadríceps com duração de cerca de 12 semanas antes do início do treinamento com estimulação elétrica computadorizada.⁵²⁻⁵⁷ Gloss et al.⁵³ em seu estudo considerou essencial o período de habituação para que os sujeitos iniciassem o CFES. Petrofsky et al.⁵⁷ relataram que a resistência média ao exercício na primeira sessão foi de apenas 8,3 min, apesar da realização do período de habituação de 4 a 6 semanas. No presente estudo, todos os sujeitos foram capazes de realizar inicialmente o exercício no CFES, mesmo que poucos minutos. Tendo em vista que diversos estudos não apresentaram maiores benefícios com o uso do período de habituação, o mesmo não foi realizado no presente estudo.

Petrofsky et al.⁵⁸ realizaram um estudo com 45 indivíduos paraplégicos, com o objetivo de avaliar os efeitos do treinamento de força prévio e concomitante ao treinamento com o CFES. Observaram que o treinamento de força prévio proporcionava incremento do desempenho, porém quando também utilizado concomitantemente proporcionava resultados ainda melhores de desempenho.

Figoni et al.⁵⁹ em seu estudo com 30 sujeitos, 17 tetraplégicos e 13 paraplégicos, avaliaram as respostas fisiológicas no uso do CFES com aumento progressivo de carga em uma sessão. Observaram que o desempenho de potência(W) do grupo de paraplégicos foi 67% maior que o grupo de tetraplégicos. Sugerindo que as alterações nas respostas hemodinâmicas, devido ao bloqueio das fibras do sistema simpático, justificassem a diferença de desempenho. Os resultados do presente estudo sugerem que a falta de condicionamento muscular é um fator limitante anterior às limitações cardíacas e hemodinâmicas decorrentes do nível de lesão. Fatores relacionados a quantidade estímulo de sobrecarga muscular

parecem ser mais determinantes no desempenho do exercício que uma possível limitação pela restrição de aumento de frequência e de força de contração cardíaca que ocorre na tetraplegia.⁶⁰

Limitações

O trabalho desenvolveu-se em três Unidades do Instituto Medicina Física e de Reabilitação do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo em situações cotidianas de atendimento ambulatorial. Este fato nos possibilitou observar a reprodutibilidade dos atendimentos em ambas às frequências de treinamento. Observamos que a frequência de atendimento de três vezes por semana teve menor assiduidade ao tratamento quando comparado ao grupo de frequência de tratamento de uma vez por semana. Provavelmente relacionada às dificuldades citadas anteriormente. Não obstante, a assiduidade de 70% apresentada pelo grupo de frequência de treinamento de três vezes por semana nos encoraja a propor intervenções de condicionamento muscular anteriores e concomitantes ao treinamento com o CFES com o intuito de obtenção de melhores resultados.

5 CONCLUSÃO

As observações realizadas no presente estudo indicam que o desempenho musculoesquelético do grupo de treinamento de três vezes por semana pode ser melhor que o de uma vez por semana. A variabilidade de desempenho encontrada sugere protocolos de intervenção mais abrangentes.

Não obstante, estudos longitudinais com populações mais vulneráveis clinicamente podem sugerir métodos de análises estatísticas diferenciadas, como a inferência bayesiana.

6 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. 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. 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.
4. Spinal Cord Injury Facts and Figures at a Glance. *J Spinal Cord Med*. 2012;35(1):68–9.
5. 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.
6. 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.
7. Imai K, Kadowaki T, Aizawa Y. Standardized indices of mortality among persons with spinal cord injury: accelerated aging process. *Ind Health*. 2004;42(2):213-8.
8. Whiteneck GG, Charlifue SW, Frankel HL, Fraser MH, Gardner BP, Gerhart KA, et al. Mortality, morbidity, and psychosocial outcomes of persons spinal cord injured more than 20 years ago. *Paraplegia*. 1992;30(9):617-30
9. DeVivo MJ, Krause JS, Lammertse DP. Recent trends in mortality and causes of death among persons with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(11):1411-9.
10. Garshick E, Kelley A, Cohen SA, Garrison A, Tun CG, Gagnon D, et al. A prospective assessment of mortality in chronic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2005;43(7):408-16.
11. 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.

12. Washburn RA, Figoni 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.
13. Janssen TW, van Oers CA, van Kamp GJ, Ten Voorde 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.
14. 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.
15. 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.
16. American Heart Association [homepage on the Internet]. Dallas: American Heart Association; c2009 [cited 2009 Feb 25] Available from: <http://www.heart.org/>
17. 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.
18. 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.
19. Whiteneck G. Learning from empirical investigations. In: Men-ter R, Whiteneck G, editor. *Perspectives on aging with spinal cord injury.* New York: Demos; 1992.
20. The National Spinal Cord Injury Statistical Center. Annual reports 9 and 10 for the Model Spinal Cord Injury Care Systems. New York: NSCISC; 1992.
21. D'Agostino RB Sr, Vasan RS, Pencina MJ, Wolf PA, Cobain M, Massaro JM, et al. General cardiovascular risk profile for use in primary care: the Framingham Heart Study. *Circulation.* 2008;117(6):743-53.
22. Groah SL, Nash MS, Ward EA, Libin A, Mendez AJ, Burns P, et al. Cardiometabolic risk in community-dwelling persons with chronic spinal cord injury. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2011;31(2):73-80.

23. Lieberman JA, Hammond FM, Barringer TA, Goff DC Jr, Norton HJ, Bockenek WL, Scelza WM. Adherence with the National Cholesterol Education Program guidelines in men with chronic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2011;34(1):28-34.
24. Lieberman JA, Hammond FM, Barringer TA, Norton HJ, Goff DC Jr, Bockenek WL, et al. Comparison of coronary artery calcification scores and National Cholesterol Education program guidelines for coronary heart disease risk assessment and treatment paradigms in individuals with chronic traumatic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2011;34(2):233-40.
25. Middleton JW, Leong G, Mann L. Management of spinal cord injury in general practice - part 2. *Aust Fam Physician.* 2008;37(5):331-2,335-8.
26. Wahman K, Nash MS, Lewis JE, Seiger A, Levi R. Cardiovascular disease risk and the need for prevention after paraplegia determined by conventional multifactorial risk models: the Stockholm spinal cord injury study. *J Rehabil Med.* 2011;43(3):237-42.
27. Nash MS, Bilsker S, Marcillo AE, Isaac SM, Botelho LA, Klose KJ, et al. Reversal of adaptive left ventricular atrophy following electrically-stimulated exercise training in human tetraplegics. *Paraplegia.* 1991;29(9):590-9.
28. Sawka MN. Physiology of upper body exercise. In: Kandalf KB, editor. *Exercise and sports science reviews.* New York: Macmillan; 1986. p. 175-211.
29. Mohr T, Dela F, Handberg A, Biering-Sørensen F, Galbo H, Kjaer M. Insulin action and long-term electrically induced training in individuals with spinal cord injuries. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(8):1247-52.
30. Ragnarsson KT, Pollack S, O'Daniel W Jr, Edgar R, Petrofsky J, Nash MS. Clinical evaluation of computerized functional electrical stimulation after spinal cord injury: a multicenter pilot study. *Arch Phys Med Rehabil.* 1988;69(9):672-7.
31. Petrofsky JS, Phillips CA, Stafford DE. Closed loop control for restoration of movement in paralysed muscles. *Orthopaedics.* 1984;7:1289-302.
32. Hooker SP, Figoni SF, Glaser RM, Rodgers MM, Ezenwa BN, Faghri PD. Physiologic responses to prolonged electrically stimulated leg-cycle exercise in the spinal cord injured. *Arch Phys Med Rehabil.* 1990;71(11):863-9.

33. Hooker SP, Figoni SF, Rodgers MM, Glaser RM, Mathews T, Suryaprasad AG, et al. Physiologic effects of electrical stimulation leg cycle exercise training in spinal cord injured persons. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992;73(5):470-6.
34. Faghri PD, Glaser RM, Figoni SF. Functional electrical stimulation leg cycle ergometer exercise: training effects on cardiorespiratory responses of spinal cord injured subjects at rest and during submaximal exercise. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992;73(11):1085-93.
35. Hooker SP, Scremin AM, Mutton DL, Kunkel CF, Cagle G. Peak and submaximal physiologic responses following electrical stimulation leg cycle ergometer training. *J Rehabil Res Dev.* 1995;32(4):361-6.
36. 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.
37. 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.
38. Wilder RP, Jones EV, Wind TC, Edlich RF. Functional electrical stimulation cycle ergometer exercise for spinal cord injured patients. *J Long Term Eff Med Implants.* 2002;12(3):161-74.
39. Ginis KA, Hicks AL, Latimer AE, Warburton DE, Bourne C, Ditor DS, et al. The development of evidence-informed physical activity guidelines for adults with spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2011;49(11):1088-96.
40. 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, editors. *Proceedings of the Tenth Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.* New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers; 1988. p.1638-40.
41. Hjeltne 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.
42. Maynard FM Jr, Bracken MB, Creasey G, Ditunno JF Jr, Donovan WH, Ducker TB, et al. *International Standards for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury.* American Spinal Injury Association. *Spinal Cord.* 1997;35(5):266-74.

43. Zhang Z, Hamagami F, Wang L, Nesselroade JR. Bayesian analysis of longitudinal data using growth curve models. *Int J Behav Dev.* 2007;31(4):374–83.
44. Hicks AL, Martin KA, Ditor DS, Latimer AE, Craven C, Bugaresti J, et al. Long-term exercise training in persons with spinal cord injury: effects on strength, arm ergometry performance and psychological well-being. *Spinal Cord.* 2003;41(1):34-43.
45. Dolbow DR, Gorgey AS, Ketchum JM, Moore JR, Hackett LA, Gater DR. Exercise adherence during home-based functional electrical stimulation cycling by individuals with spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012 ;91(11):922-30.
46. 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.
47. Hjeltne 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.
48. 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.
49. Biering-Sørensen B, Kristensen IB, Kjaer M, Biering-Sørensen F. Muscle after spinal cord injury. *Muscle Nerve.* 2009;40(4):499-519.
50. Gerrits HL, Hopman MT, Offringa C, Engelen BG, Sargeant AJ, Jones DA, et al. Variability in fibre properties in paralysed human quadriceps muscles and effects of training. *Pflugers Arch.* 2003;445(6):734-40.
51. Petrofsky JS, Stacy R, Laymon M. The relationship between exercise work intervals and duration of exercise on lower extremity training induced by electrical stimulation in humans with spinal cord injuries. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82(5-6):504-9.
52. Hooker SP, Figoni SF, Rodgers MM, Glaser RM, Mathews T, Suryaprasad AG, Gupta SC. Physiologic effects of electrical stimulation leg cycle exercise training in spinal cord injured persons. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992;73(5):470-6.

53. Goss FL, McDermott A, Robertson RJ. Changes in peak oxygen uptake following computerized functional electrical stimulation in the spinal cord injured. *Res Q Exerc Sport*. 1992;63(1):76-9.
54. Arnold PB, McVey PP, Farrell WJ, Deurloo TM, Grasso AR. Functional electric stimulation: its efficacy and safety in improving pulmonary function and musculoskeletal fitness. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(7):665-8.
55. Pacy PJ, Hesp R, Halliday DA, Katz D, Cameron G, Reeve J. Muscle and bone in paraplegic patients, and the effect of functional electrical stimulation. *Clin Sci (Lond)*. 1988;75(5):481-7.
56. Pollack SF, Axen K, Spielholz N, Levin N, Haas F, Ragnarsson KT. Aerobic training effects of electrically induced lower extremity exercises in spinal cord injured people. *Arch Phys Med Rehabil*. 1989;70(3):214-9.
57. Petrofsky JS, Stacy R. The effect of training on endurance and the cardiovascular responses of individuals with paraplegia during dynamic exercise induced by functional electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992;64(6):487-92.
58. Petrofsky JS, Laymon M. The effect of previous weight training and concurrent weight training on endurance for functional electrical stimulation cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91(4):392-8.
59. Figoni SF, Rodgers MM, Glaser RM, Hooker SP, Feghr PD, Ezenwa BN, et al. Physiologic responses of paraplegics and quadriplegics to passive and active leg cycle ergometry. *J Am Paraplegia Soc* 1990;13(3):33-39.
60. Figoni SF. Exercise responses and quadriplegia. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25(4):433-441.

ANEXO 1

APROVAÇÃO

A Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa - CAPPesq da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas e da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de 21/10/2009, **APROVOU** o Protocolo de Pesquisa nº **1044/09**, intitulado: **"ESTUDO COMPARATIVO DAS RESPOSTAS DE DESEMPENHO MUSCULOESQUELÉTICO DE PACIENTES TETRAPLÉGICOS SUBMETIDOS A DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE TREINAMENTO COM O CFES"** apresentado pelo Departamento de **MEDICINA LEGAL, ÉTICA MÉDICA, MEDICINA SOCIAL E DO TRABALHO**, inclusive o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar à CAPPesq, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa (Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 196, de 10/10/1996, inciso IX.2, letra "c").

Pesquisador (a) Responsável: **Marcelo Riberto**

Pesquisador (a) Executante: **Igor Kaoru Naki**

CAPPesq, 23 de Outubro de 2009

Prof. Dr. Eduardo Massad
Presidente da Comissão de
Ética para Análise de Projetos
de Pesquisa

ANEXO 2

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. NOME:

DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO : M ☐ F ☐

DATA NASCIMENTO:/...../.....

ENDEREÇO Nº APTO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP:..... TELEFONE: DDD (.....).....

2. RESPONSÁVEL LEGAL

NATUREZA (grau de parentesco, tutor, curador etc.)

DOCUMENTO DE IDENTIDADE : SEXO: M ☐ F ☐

DATA NASCIMENTO.:/...../.....

ENDEREÇO: Nº APTO:

BAIRRO: CIDADE:

CEP: TELEFONE: DDD (.....).....

DADOS SOBRE A PESQUISA

1. TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA :

Estudo comparativo das respostas de desempenho musculoesquelético de pacientes tetraplégicos submetidos a diferentes frequências de treinamento com o CFES

2. PESQUISADOR : Dr Marcelo Riberto

3. CARGO/FUNÇÃO: Médico CREMESP: 78929

4. UNIDADE DO HCFMUSP: Instituto de Medicina Física e Reabilitação - IMREA-HCFMUSP

5. AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA:

RISCO MÍNIMO X RISCO MÉDIO ☐

RISCO BAIXO ☐ RISCO MAIOR ☐

6. DURAÇÃO DA PESQUISA : Vinte e quatro meses

HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-HCFMUSP

As informações aqui fornecidas são para sua participação voluntária neste estudo. Neste estudo queremos decidir quantas vezes por semana deve ser feito o treinamento na “bicicleta” movida por estimulação elétrica (Ergys1) em pessoas que sofreram lesão na medula como o senhor. Além disso, queremos definir a quantidade de esforço que as pernas poderão agüentar durante o treinamento.

Nós vamos comparar o treino realizado uma vez por semana com o treino realizado três vezes por semana. Como nós não sabemos se existe diferença entre os dois, alguns participantes do estudo farão o treinamento 1 vez por semana e outros farão três vezes por semana. O que vai decidir a frequência que o senhor vai fazer o exercício é a sorte, isso quer dizer que vamos sortear em que grupo o senhor vai estar. Então o senhor tem a mesma chance de ficar em qualquer um dos grupos.

O treinamento será composto de sessões no aparelho chamado Ergys 1.

Cada sessão seguirá as seguintes etapas:

- O senhor será posicionado confortável e adequadamente na “bicicleta”, como na figura abaixo:

- Serão colocados os eletrodos na frente e atrás das coxas, e nos glúteos e ligados no computador da “bicicleta”.
- Seus pés serão fixados nas botas de proteção e as coxas no assento da cadeira da “bicicleta”.
- O fisioterapeuta iniciará a corrida girando o pedal da bicicleta e mantendo a rotação em no mínimo 35 rotações por minuto, por 1 (um) minuto para aquecimento. , o terapeuta apertará o botão “INICIO” para iniciar a corrida de 30 (trinta) minutos. Quando o aparelho for ligado, uma corrente elétrica vai estimular os músculos das suas pernas e elas vão movimentar a “bicicleta”. O computador ligado à bicicleta inicia o controle de intensidade e carga, tendo como objetivo utilizar toda a carga

programada, mantendo a rotação em 49 rotações por minuto. Ao final dos 30 (trinta) minutos, encerra-se a sessão, o terapeuta manterá a rotação do pedal em no mínimo 35 rotações por minuto, por 2 (dois) minutos para volta a calma ou “RESFRIAMENTO”.

- O fisioterapeuta irá medir a pressão arterial e a frequência cardíaca antes e após a realização do exercício.
- Os eletrodos serão retirados da sua pele e a área será limpa em seguida, o senhor poderá perceber que a pele ficou um pouco avermelhada por causa dos eletrodos, mas isso passa sozinho, e não precisa de nenhum cuidado especial..

Durante o período que o senhor participar deste estudo, pedimos que evite participar de outros tratamentos ou, se os fizer, por favor comunique ao fisioterapeuta Igor Kaoru Naki ou ao Dr. Marcelo Riberto.

O treinamento rotineiro realizado nesta instituição compreende treinamentos com a frequência de uma vez por semana. Se o senhor não quiser participar deste estudo, o seu acompanhamento com a equipe multiprofissional continuará da mesma forma.

Os possíveis desconfortos que o senhor pode sentir são sensação de cansaço e queda de pressão arterial. Se isso ocorrer, a sessão será interrompida e o encosto da cadeira será reclinado e suas pernas elevadas. A sessão só é reiniciada quando o senhor se sentir melhor e concordar em continuar.

O benefício que o senhor perceberá com esse treinamento é a melhora da tolerância aos esforços, ou seja, o senhor deve conseguir fazer esforços físicos maiores ou por mais tempo, mas somente ao final deste estudo é que saberemos se é melhor fazer uma ou três vezes por semana, ou se o resultado é o mesmo com essas duas frequências.

Em qualquer etapa do estudo, você terá acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas. O principal investigador é o Dr Marcelo Riberto que pode ser encontrado no endereço Rua Diderot,43 Vila Mariana- São Paulo-SP. Telefone(s) (011)55490111 (ramal fisioterapia) e (011) 98260029. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) – Rua Ovídio Pires de Campos, 225 – 5º andar – tel: 3069-6442 ramais 16, 17, 18 ou 20, FAX: 3069-6442 ramal 26 – E-mail: cappesq@hcnet.usp.br.

É garantida a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sem qualquer prejuízo à continuidade de seu tratamento na Instituição;

Direito de confidencialidade – As informações obtidas serão analisadas em conjunto com outros pacientes, não sendo divulgado a identificação de nenhum paciente;

Direito de ser mantido atualizado sobre os resultados parciais das pesquisas, quando em estudos abertos, ou de resultados que sejam do conhecimento dos pesquisadores;

Despesas e compensações: não há despesas pessoais para o participante em qualquer fase do estudo, incluindo exames e consultas. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação. Se existir qualquer despesa adicional, ela será absorvida pelo orçamento da pesquisa.

Compromisso do pesquisador de utilizar os dados e o material coletado somente para esta pesquisa

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, descrevendo o estudo “Estudo comparativo das respostas de desempenho musculoesquelético de pacientes tetraplégicos submetidos a diferentes frequências de treinamento com o CFES”

Eu discuti com o Dr Marcelo Riberto sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso a tratamento hospitalar quando necessário. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido, ou no meu atendimento neste Serviço.

Assinatura do paciente/representante legal

Data ____/____/____

Assinatura da testemunha

Data ____/____/____

para casos de pacientes menores de 18 anos, analfabetos, semi-analfabetos ou portadores de deficiência auditiva ou visual.

(Somente para o responsável do projeto)

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste paciente ou representante legal para a participação neste estudo.

Assinatura do responsável pelo estudo

Data ____/____/____

ANEXO 3

Neste apêndice são mostrados os parâmetros usados para a simulação para a estimação assim como as séries simuladas e as suas auto-correlações.

As distribuições a priori utilizadas são as sugeridas em [1] e listadas na Tabela A1.

Tabela A1. Distribuições a priori dos parâmetros do modelo

Parâmetro		Priori
a_2		Normal(0,100000)
a_3		Normal(0,100000)
μ_L		Normal(0,100000)
μ_S		Normal(0,100000)
$1/\sigma_e^2$		Gamma(0.001,0.001)
σ_L^2	σ_{LS}	Wishart [1 0 0 1 ,2]
σ_{LS}	σ_S^2	

O software usado foi o WinBugs e os parâmetros de simulação foram

- 1 cadeia
- Valores iniciais gerados pelo WinBugs
- Thin =30 (escolhidos observando os gráficos de autocorrelação)
- Refresh = 1
- Iterações entre 1.000 e 100.000

Estimadores dos parâmetros, onde

Para[1]<-Sigma L Para[2]<-Sigma S Para[3]<-Cov[1,2]
 Para[4]<-rho
 Para[5]<-Sig_e[1] Para[6]<-Sig_e[2] Para[7]<-Sig_e[3]
 Para[8]<-Sig_e[4]
 Para[9]<-um L Para[10]<-um S Para[11]<-A2
 Para[12]<-A3

node	mean	sd	MC error	2.5%	median	97.5%	start	sample
Para[1]	0,3492	0,4334	0,006586	0,0822	0,2439	1,31	1000	3300
Para[2]	0,4082	0,4503	0,008204	0,09624	0,282	1,48	1000	3300
Para[3]	-0,01048	0,2639	0,004575	-0,4694	-0,00767	0,5139	1000	3300
Para[4]	-0,0298	0,4058	0,007248	-0,767	-0,03682	0,742	1000	3300
Para[5]	0,02836	0,06537	0,001186	0,6726	0,01052	0,1667	1000	3300
Para[6]	0,03325	0,08556	0,001547	0,001136	0,01754	0,1468	1000	3300
Para[7]	0,03896	0,09205	0,001358	0,001036	0,0203	0,1842	1000	3300
Para[8]	0,02956	0,06541	0,001273	0,6715	0,01166	0,1812	1000	3300
Para[9]	0,0261	0,2724	0,00506	-0,5106	0,01812	0,5899	1000	3300
Para[10]	0,5619	0,2991	0,00544	-0,00364	0,553	1,179	1000	3300
Para[11]	0,3283	0,2361	0,003401	-0,05067	0,331	0,6468	1000	3300
Para[12]	0,8365	0,1974	0,003171	0,4647	0,8313	1,247	1000	3300

Séries dos parâmetros

Função de autocorrelação

Distribuição dos estimadores de μ_S , a_2 , a_3