

Avaliação do ácido láctico em indivíduos saudáveis após utilização de EENM em músculo tibial anterior com protocolos de repouso diferentes

Evaluation of the lactic acid in healthy individuals after use of NMES on the tibialis anterior muscle with different times of rest

Fernanda Ishida Corrêa^{1,2}; Guilherme Cardoni Ramos³; Filipo Almeida Schiffini³; André de Almeida Tessarolo³; André de Souza Melo³; Luciana Maria Malosá Sampaio⁴; João Carlos Ferrari Corrêa⁴

¹Doutoranda em Engenharia Biomédica do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento – Univap.

²Docente do curso de Fisioterapia – Uninove.

³Discentes do curso de Fisioterapia – Uninove.

⁴Docentes do Programa de Mestrado em Ciências da Reabilitação – Uninove.

Endereço para correspondência

Fernanda Ishida Corrêa
Av. Francisco Matarazo, 612, Água Branca,
05001-100 – São Paulo – SP [Brasil]
fecorreia@uninove.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é verificar, em indivíduos saudáveis, o tempo de repouso necessário para a reabsorção do ácido láctico, evitando, assim, a fadiga muscular. Foram coletadas amostras de sangue de 18 indivíduos, em sete momentos. Utilizou-se uma corrente quadrada e bifásica com 50 Hz, com t"on" de 10 seg., e t"off" variável a cada sessão: 10 seg. (protocolo 1) e 60 seg. (protocolo 2), sobre o ponto motor do músculo tibial anterior. Após as coletas do sangue, foi feita a lactacidemia, método eletroenzimático. Observou-se que não houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os protocolos 1 ($1,35 \pm 0,22$) e 2 ($1,24 \pm 0,12$). Com base nos resultados, pode-se afirmar que a ferramenta de mensuração, utilizada neste estudo, lactacidemia, não se mostrou eficaz na detecção e mensuração da fadiga muscular do músculo tibial anterior, o que inviabilizou a verificação do tempo ideal de repouso (t"off"), sendo necessários mais estudos em busca de protocolos seguros.

Descritores: Ácido láctico; Estimulação elétrica; Fadiga muscular.

Abstract

The objective of this work is to verify in healthy individuals the time of rest that is necessary for the reabsorption of the lactic acid, to prevent muscular fatigue. Blood samples of 18 individuals were collected, at seven moments. A square shaped and two-phase chain was used, with 50 Hz, 10 second of t"on", and changeable t"off" to each session: 10 second (protocol 1) and 60 second (protocol 2), on the motor point of tibialis anterior muscle. After the collection of blood, the lactic acidemia was executed. It was observed that there was not statistical significant difference ($p < 0,05$) between protocols 1 ($1,35 \pm 0,22$) and 2 ($1,24 \pm 0,12$). In accordance with our results, we can affirm that the tool of measurement used in this study, lactic acidemia, is not efficient in the detection and measurement of the muscular fatigue of tibialis anterior muscle, making impracticable, therefore, to verify the ideal time of rest (t"off").

Key words: Electric stimulation; Lactic acid; Muscle fatigue.

Introdução

Uma das principais características do sistema neuromuscular é a sua capacidade adaptativa crônica, uma vez que, quando o treinamento está sujeito a um estímulo como a imobilização ou perante o efeito do envelhecimento, pode adaptar-se às exigências funcionais e, da mesma forma, a alterações agudas, tais como as associadas ao exercício prolongado ou intenso, sendo uma das mais conhecidas o fenômeno habitualmente referido como fadiga muscular^{1, 2, 3}.

A fadiga muscular é considerada uma falha na manutenção do nível desejado de rendimento e trabalho durante uma atividade repetitiva ou sustentada^{4, 5, 6}. A incapacidade do músculo esquelético de gerar elevados níveis de força muscular ou mantê-los no tempo, é chamada fadiga neuromuscular⁷. Estudos de fadiga têm sido realizados no âmbito da recuperação funcional de sujeitos com patologias ou lesões em determinadas estruturas do sistema nervoso e em sujeitos com patologias neuromuscular^{2, 6, 7, 8}. O papel da fadiga neuromuscular na variação da proprioceptividade e do controle motor é influenciada pela idade, sexo dos sujeitos e pela manifestação dos padrões de ativação e coativação de alguns grupos musculares⁶.

Existem diversas terapias para estimular os pacientes que apresentam alguns distúrbios ou patologias. Entre elas destacamos a estimulação elétrica funcional (FES) – uma forma de tratamento que utiliza a corrente elétrica para provocar contração de músculos paralisados ou enfraquecidos decorrentes de lesões do neurônio motor superior⁹.

A FES é uma técnica que tem como base a produção da contração por meio de estimulação elétrica que despolariza o nervo motor, produzindo uma resposta sincrônica em todas as unidades motoras do músculo. Esse sincronismo promove a contração eficiente, mas é necessário treinamento específico, para se evitar a fadiga precoce que impediria a utilização funcional do método com objetivos reabilitacionais¹⁰.

O pulso elétrico da FES é composto por ondas bifásicas simétricas de baixa frequência com pulso retangular. Esse tipo de onda possibilita um fluxo igual de corrente em ambas as direções dos eletrodos, minimizando a ionização da pele e produzindo um efeito de estimulação eficaz. Assim, produz-se uma corrente sem direção que se aproxima do modo fisiológico, isto é, como reagiria um músculo normal⁸.

Não é possível obter um movimento funcional de um membro paralisado por um simples pulso elétrico. É necessária uma série de estímulos, com uma certa duração, seguida por uma frequência apropriada de repetição, que recebe o nome de trem de pulsos^{2, 7, 11}.

Segundo Lianza¹², a FES permite uma entrada seletiva repetitiva aferente até o sistema nervoso central e ativa não só a musculatura local, mas também os mecanismos reflexos necessários para a reorganização da atividade motora e dos movimentos, prejudicados em decorrência de lesão dos neurônios motores superiores. Além disso, a eletroestimulação funcional provoca um aumento generalizado dos potenciais elétricos até equilibrar os pulsos excitatórios e inibitórios, estimulando os motoneurônios desativados, enquanto o paciente tem a oportunidade de experimentar conscientemente o “movimento normal” e de reaprendê-lo por meio da repetição.

Nos regimes de treinamento existe uma relação direta entre a intensidade de contração, produzida eletricamente, e o aumento da força muscular. Quanto maior a intensidade tolerada, maior o número de unidades motoras recrutadas e maior a profundidade de ativação a partir dos eletrodos de superfície¹².

Nos programas de estimulação elétrica, sobretudo quando se objetiva o fortalecimento muscular, os controles *on time/off time* (taxa de repetição de trens de pulso) são essenciais, já que a contração estimulada contínua do músculo esquelético ocasiona fadiga muscular muito rápida, o que implica queda da força gerada. O período *on time* de estimulação muscular, para muitas aplicações, é, geralmente, ajustado

até 10 ou 15 segundos, e o *off time*, de 1 ou 2 minutos, sendo comumente praticado em 60 segundos^{2, 8, 9, 10}.

Tem sido sugerido na literatura^{2, 8, 9, 10} que esse intervalo, de aproximadamente 60 segundos, é necessário, após contrações de 10 segundos de duração, para prevenir fadiga muscular durante o processo de fortalecimento com estimulação elétrica.

Evidências sugerem que altas forças contráteis são necessárias para aumentar a força muscular, isto é, para treiná-la efetivamente. A geração desses níveis de contração pode ser efetivada pelo uso de altas intensidades de estimulação. Esse tipo de contração é muito fatigante e leva a uma rápida queda de força se o *off time* for muito curto. Significativos ganhos de força no quadríceps femoral de pacientes foram conseguidos pela utilização de um período *on time* de 10 segundos, seguido por um *off time*, de 2 minutos, com 10 a 15 contrações por sessão^{10, 11}.

Objetiva-se atingir o máximo tolerável de contrações com as aplicações de estimulação elétrica, quando se procura o fortalecimento muscular. À medida que se continua o tratamento, a amplitude de estimulação deve ser aumentada gradualmente até que o limiar motor seja alcançado e excedido¹⁰.

Este estudo tem como principal objetivo verificar o tempo necessário de repouso entre um estímulo elétrico e outro para evitar a fadiga muscular em indivíduos saudáveis. Para isso, analisou-se, inicialmente, a possibilidade de utilizar a dosagem de ácido láctico como ferramenta de mensuração da fadiga muscular, pós-utilização da terapia por estimulação elétrica funcional.

Material e métodos

Amostra:

Após cálculo estatístico da amostra (n=18), foram triados e avaliados 29 indivíduos saudáveis, com idade entre 35 e 50 anos. Os critérios de inclusão foram não apresentarem ou terem

apresentado algum comprometimento musculoesquelético, neurológico ou quaisquer outros tipos de alteração que impedissem o uso adequado da estimulação elétrica.

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Nove de Julho, sob o número 08/155876. Todos os pacientes foram informados dos procedimentos e consentiram em participar do estudo, assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Procedimento / Protocolo:

Foi realizado um estudo transversal, cego e cruzado, no qual se analisaram 18 indivíduos saudáveis.

O trabalho foi iniciado com a triagem dos pacientes, conforme critérios de inclusão e exclusão. Ao finalizar a fase informativa (termo de consentimento), foi dada ao voluntário uma orientação sobre as atividades a serem executadas durante a coleta dos dados, bem como da finalidade do trabalho.

Programa de fortalecimento muscular pela FES

O fortalecimento muscular sobre o ponto motor do músculo tibial anterior, foi feito por estimulação elétrica funcional, utilizando-se um aparelho portátil FES VIF 475, da marca QUARK, que emite uma corrente quadrada e bifásica, com frequência de estimulação de 50 Hz, período *on time* de 10 segundos, três séries de 15 contrações (repetições), com intervalo de 60 segundos entre cada série, sendo a variável deste estudo o período *off time* de 10 segundos (protocolo 1) e de 30 segundos (protocolo 2). Entre cada uma das sessões (protocolo) foi utilizado um intervalo de tempo de dois dias para repouso.

Lactacidemia

Efetou-se coleta de sangue (repouso-pré-tratamento) após cada série de 15 repetições, e no 3º, 6º e 9º minutos subsequentes ao término da terapia. Foram utilizadas luvas cirúrgicas

descartáveis e, após a assepsia do lóbulo da orelha com álcool, realizou-se a punção por meio de uma lanceta descartável. Desprezou-se a primeira gota de sangue para evitar a sua contaminação com o lactato eliminado pelo suor. Em seguida, foram coletados vinte e cinco microlitros de sangue arterializado. Com o uso de capilares de vidro herarinizados e calibrados, o sangue coletado foi depositado em tubos (Ependorfs), contendo 50 μ l de fluoreto de sódio a 1%, para evitar a continuação da glicólise.

Após as coletas do sangue, as amostras foram estocadas em freezer a -10°C e, posteriormente, analisadas por meio de um analisador de lactato, método eletroenzimático, com o aparelho YSI 1500 Sports (Yellow Springs Inc. USA).

Análise estatística

Foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, observando-se distribuição normal para todos os dados. Adotou-se nível de significância de 5%, sendo estabelecido um α de 0,05 e um β de 0,20.

Como os dados foram paramétricos, utilizou-se o teste "t" Student para comparar a média dos dados entre os dois protocolos, além do teste de comparação múltipla de médias DHS de Tukey na presença de significância para análise entre postos. O pacote estatístico utilizado foi o *Instat*.

Resultados

Selecionaram-se para este estudo 18 indivíduos saudáveis da amostra inicial de 29 pacientes, tendo sido excluídos os 11 restantes, pois quatro apresentaram doenças associadas que contraindicavam o uso da estimulação elétrica; três, comprometimento musculoesquelético, e três, doenças neurológicas.

Os voluntários eram adultos, com idade entre 35 e 50 anos, sendo dez do sexo masculino, e oito, do feminino (média de idade semelhante entre os gêneros), com massa e altura de 92,6 Kg

e 1,79 cm para o gênero masculino, e 63,16 kg e 1,57 cm, para o feminino.

Conforme podemos observar na Tabela 1, os grupos mostraram-se semelhantes, sem diferença estatisticamente significativa, em relação à coleta de repouso/pré-tratamento e à efetuada após cada série de 15 repetições ($p < 0,05$).

Tabela 1: Concentração de Lactato (mmol/L) para os protocolos 1 e 2, referente à coleta de repouso/pré-tratamento e a efetuada após cada série de 15 repetições

	Repouso / Pré-Tratamento	Série 1	Série 2	Série 3
Protocolo 1 (t"off" de 10 seg.)	1,62 ($\pm 0,68$)	1,22 ($\pm 0,53$)	1,35 ($\pm 0,62$)	1,51 ($\pm 0,85$)
Protocolo 2 (t"off" de 30 seg.)	1,28 ($\pm 0,49$)	1,23 ($\pm 0,48$)	1,24 ($\pm 0,52$)	1,25 ($\pm 0,51$)

Valor p teste "t" Student: * $p < 0,05$

Na Figura 1, observa-se que tanto no primeiro (t"off" de 10 seg.) quanto no segundo protocolo (t"off" de 30 seg.) não houve acúmulo de lactato que levasse ao limiar de anaerbiose, o que sugere a possibilidade de o músculo não fadigar nessas condições de aplicação de EENM.

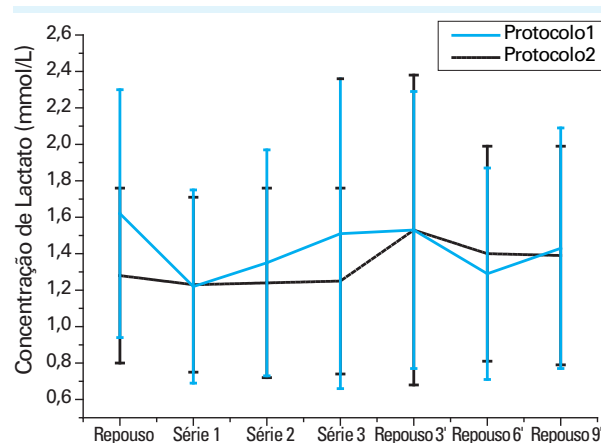


Figura 1: Média e desvio-padrão da concentração de lactato obtida em repouso/pré-tratamento, uma coleta após cada uma das três séries de 15 repetições, e uma no 3°, 6° e 9° minutos subsequentes ao término da terapia, nos protocolos 1(t"off" de 10 seg.) e 2 (t"off" de 30 seg.)

Discussão

Este estudo teve como principal objetivo verificar o tempo necessário de repouso entre um estímulo elétrico e outro, para evitar o aparecimento da fadiga muscular em indivíduos saudáveis. Analisou-se a possibilidade de utilização da dosagem de ácido láctico, lactacidemia, como ferramenta de mensuração da fadiga muscular pós-utilização da terapia por estimulação elétrica funcional.

De acordo com resultados, verificou-se que a ferramenta de mensuração utilizada neste estudo, lactacidemia, não se mostrou eficaz na detecção e mensuração da fadiga muscular do músculo tibial anterior, inviabilizando, conseqüentemente, a verificação do tempo ideal de repouso (t"off"), se 10 ou 30 seg.

O músculo esquelético é composto por diferentes tipos de fibras. Sua estrutura histológica possui fibras musculares rápidas, lentas e ainda outras com características intermediárias. Os músculos que reagem rapidamente são compostos, em sua maioria, por fibras rápidas (tipo II) com um número reduzido de fibras lentas (tipo I), e os que respondem de forma lenta com contrações longas, compõem-se de uma maioria de fibras lentas. As fibras musculares rápidas apresentam grande quantidade de enzimas glicolíticas, menor número de mitocôndrias e suprimento sanguíneo menos extenso, visto que o metabolismo oxidativo tem importância secundária^{13,14}.

As características metabólicas desses diferentes tipos de fibras exercem importante influência na fadiga muscular. A eletroestimulação crônica em músculos esqueléticos é capaz de provocar alterações importantes no perfil metabólico das fibras musculares, convertendo as que apresentam características do tipo II em tipo I, do por meio do aumento do volume mitocondrial, do crescimento capilar, da densidade capilar e do suprimento de oxigênio. Dessa forma, esse recurso terapêutico aumenta a capacidade aeróbica oxidativa e a resistência à fadiga dos músculos isquêmicos^{12, 14}. Provoca, ainda, alte-

rações na atividade das enzimas oxidativas, associada com a redução na atividade enzimática glicolítica^{13, 14}.

A fadiga surge após os exercícios em que se acumularam quantidades máximas de ácido láctico, e a recuperação plena implica remoção desse ácido tanto do sangue quanto dos músculos esqueléticos que estiveram ativos durante o período precedente aos exercícios¹⁵.

Neste estudo, observou-se que o ácido láctico acumulado no sangue do sistema circulatório sistêmico, pela análise do lactato, não evidenciou nenhuma alteração que denotasse o aparecimento da fadiga muscular causada pela estimulação elétrica funcional localizada em um músculo do membro inferior, tibial anterior. Podemos sugerir, que tal fadiga, se gerada pela direta estimulação elétrica do músculo não é suficiente para registrar sistemicamente qualquer diferença na dosagem de lactato.

O ácido láctico, acumulado no sangue e nos músculos durante o exercício aeróbio e anaeróbio, é removido durante o período de recuperação. A velocidade dessa remoção depende da permanência do paciente em repouso ou da realização de um exercício leve (30 a 65 % do VO₂ Max.), durante a recuperação (exercício-recuperação). O ácido láctico é removido mais rapidamente no exercício-recuperação, e o seu destino principal é a oxidação, que é processada, principalmente, no músculo esquelético, e também ocorre nos tecidos cardíaco, renal, hepático e cerebral e através do sistema tampão¹⁵.

Os resultados não permitiram avaliar se esse processo de remoção se deu no protocolo de estimulação elétrica realizado conforme descrito na literatura, principalmente por ter sido detectada e evidenciada pela lactacidemia do aumento do ácido láctico acumulado no sangue sistêmico.

É demonstrado na literatura que a ativação muscular por meio da eletroestimulação neuromuscular ativa as fibras musculares do tipo IIb, que são fibras "brancas" de contração rápida, glicolíticas, que possuem poucas redes de capilares e poucas mitocôndrias, utilizando, principalmen-

te, o metabolismo anaeróbio para a produção de energia e, assim, realizar a contração muscular. A utilização do metabolismo anaeróbio para a síntese de Trifosfato de Adenosina (ATP) aumenta a produção de ácido lático. Quando essa produção é maior que sua reabsorção, o fenômeno chamado acidose metabólica, que promove uma diminuição das reações enzimáticas, gerando diminuição da liberação de cálcio, que, por sua vez, estimula a troponina e tropomiosina, não ocorrendo a formação da ponte cruzada. Assim, os filamentos de miosina não se interligam com os de actina para realizar a contração muscular, ou seja, gerando a fadiga muscular^{16,17}.

Considerando as pesquisas já efetivadas, que citam intervalos de 60 segundos como tempo necessário para prevenir a fadiga muscular durante o processo de eletroestimulação^{2,8,9,10,18}, buscou-se, com este trabalho, investigar dois diferentes protocolos de eletroestimulação, com dois diferentes parâmetros do t"off" 10 e 30 segundos. Ambos mostram-se eficazes, pois todos os pacientes que participaram da pesquisa não apresentaram aumento do ácido lático ou manifestações de fadiga muscular, mas também pode-se inferir, pelos motivos expostos, o não aumento do ácido lático na ferramenta de mensuração utilizada neste estudo. Não foi investigado o tempo de 60 segundos de t"off", pois o aparelho de estimulação elétrica utilizado não permitia esse intervalo de descanso para um t"on", fixado previamente em 10 seg.

A escolha dos outros parâmetros, como a frequência de 50 Hz, ocorreu por ser a mais utilizada nos estudos^{19, 20, 21, 22}, que utilizaram a EENM para fortalecimento muscular, inclusive em portadores de hemiparesia, com resultados positivos para fortalecimento. Contudo, em outro estudo¹⁸ que analisou o efeito da eletroestimulação com duas frequências diferentes, baixa (50Hz) e média (2000Hz), avaliando a fadiga pela eletromiografia, mostrou-se que o grupo estimulado com a baixa frequência-gerou maior fadiga muscular que o estimulado com média; portanto, a EENM com corrente de média frequência mostrou-se mais vantajosa.

Conclusão

Em razão dos resultados limitados, além de outras divergências relatadas nesta pesquisa e sabendo-se da importância da eletroestimulação como coadjuvante na melhora funcional do treinamento de fortalecimento muscular, é necessário que se façam mais estudos para buscar protocolos seguros. Sugere-se, portanto, uma continuidade deste estudo, com alteração do músculo e da atividade funcional eliciada pela estimulação elétrica, bem como uma ferramenta alternativa na mensuração e detecção da fadiga muscular.

Referências

1. Ladeia ML, Guimarães AC. Doença cerebrovascular. *Rev Neuropsiquiatria*. 2003; 6(1):54-61.
2. Doucet BM, Griffin L. Variable stimulation patterns for poststroke hemiplegia. *Muscle Nerve*. 2009;39(1):54-62.
3. Carr JH, Shepherd RB, Ada L. Spascity: research findings and implication for intervention. *Physiotherapy*. 1995;81(8):485-494.
4. Teixeira-Salmela LF, Olney SJ, Nadeau S, Brouwer B. Muscle strengthening and physical conditioning to reduce impairment and disability un chronic stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80:1211-8.
5. Canning CG, Ada L, O'Dwyer NJ. Abnormal muscle activation characteristics associated with loss of dexterity after stroke. *J Neurological Sci*. 2000;176:45-56.
6. Allen DG. Fatigue in working muscles. *J Appl Physiol*. 2009;106(2):378-84.
7. Gauche E, Couturier A, Lepers R, Michaut A, Rabita G, Hausswirth C. Neuromuscular fatigue following high versus low-intensity eccentric exercise of biceps brachii muscle. *J Electromyogr Kinesiol*. 2009 Feb 11. [E-pub ahead of print].
8. Vassilakos G, James RS, Cox VM. Effect of stimulation frequency on force, net power output, and fatigue in mouse soleus muscle in vitro. *Can J Physiol Pharmacol*. 2009;87(3):203-10.

9. Braz GP, Russold M, Smith RM, Davis GM. Efficacy and stability performance of traditional versus motion sensor-assisted strategies for FES standing. *J Biomech.* 2009. Apr 4. [E-pub ahead of print].
10. Durfee WK. Electrical stimulation for restoration of function. *Neuro Rehabilitation.* 1999;12:53-62.
11. Mount J, Dacko S. Effects of dorsiflexor endurance exercises on foot drop secondary to multiple sclerosis: A pilot study. *Neuro Rehabilitation.* 2006;21:43-50.
12. Lianza, S. Estimulação Elétrica Funcional. [tese de livre Docência]. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1990.
13. Guyton AC, Hall JE. Contração do músculo esquelético. Guyton AC, Hall JE. *Tratado de fisiologia médica.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2002. cap. 6. p. 63-74.
14. Hamilton MT, Booth FW. Skeletal muscle adaptation to exercise: a century of progress. *J Appl Physiol.* 2000; 88:327-31.
15. Filus R. O efeito do tempo de rodízios entre postos de trabalho nos indicadores de fadiga muscular – O ácido láctico. [Dissertação]. Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Paraná (Curitiba) 2006.
16. Sampaio LMM. Adaptações fisiológicas do paciente asmático ao exercício físico. [tese de doutorado]. Universidade Federal de São Carlos; 2002.
17. Gonçalves M. Eletromiografia e a identificação da fadiga muscular. *Rev Bras Educ Fís.* 2006;20(5):91-3.
18. Pires KF. Análise dos efeitos de diferentes protocolos de eletroestimulação neuromuscular através da frequência mediana. *Rev Bras Ciênc Mov.* 2004;12(2):25-8.
19. Costa JRC, Volpe MAS, Jorge S. Efeito da estimulação elétrica neuromuscular sobre grupo extensor de punho em paciente com seqüela de AVE: relato de caso. *Arq Ciênc Saúde Unipar.* 2004;8(2):129-34.
20. Schuster RC, Sant CR, Dalbosco V. Efeitos da estimulação elétrica funcional (FES) sobre o padrão de marcha de um paciente hemiparético. *Acta Fisiatr.* 2007;14(2):82-6.
21. Nunes LCBG, Quevedo AAF. Efeitos da eletroestimulação neuromuscular no músculo tibial anterior de pacientes hemiparéticos espásticos. [dissertação de mestrado]. Universidade Estadual de Campinas, 2004.
22. Borrani F, Malatesta D, Candau R. Is a progressive recruitment of muscle fibers required for the development of the slow component of VO2 kinetics? *J Appl Physiol.* 2008;105(2):575-80.



