

Comparação do Índice de Desconforto Sensorial Durante a Estimulação Elétrica Neuromuscular com Correntes Excitomotoras de Baixa e Média Frequência em Mulheres Saudáveis

CIÊNCIAS DO
EXERCÍCIO E NO ESPORTE



ARTIGO ORIGINAL

Comparison of the Sensory Discomfort Index During Neuromuscular Electrical Stimulation With Low and Medium Excitomotor Frequencies in Healthy Women

Richard Eloin Liebano¹
Luciane Machado Alves²

1. Universidade Cidade de São Paulo (Unicid), São Paulo – SP.
2. Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo – SP.

Endereço para correspondência:
Richard Eloin Liebano, Rua Cesário Galeno, 448/475 – 03071-000 – São Paulo, SP. Tel.: (11) 2178-1479. Fax: (11) 2178-1380.
E-mail: liebano@gmail.com

Submetido em 18/12/2007
Versão final recebida em 02/04/2008
Aceito em 27/05/2008

RESUMO

Introdução: A estimulação elétrica neuromuscular é uma estratégia clínica para aumento da performance muscular. Sabe-se que um dos principais fatores limitantes da estimulação elétrica para aumento de força é o desconforto causado pelas correntes utilizadas. **Objetivo:** O objetivo deste estudo foi comparar o nível de desconforto sensorial causado por correntes de baixa e média frequência na estimulação elétrica neuromuscular do músculo quadríceps femoral. **Métodos:** Participaram do estudo 45 voluntárias saudáveis com idade entre 18 e 30 anos. Todas as voluntárias foram submetidas à estimulação elétrica com correntes de baixa e média frequência. A análise do desconforto sensorial foi feita por meio de uma escala visual analógica (EVA). **Resultados:** Os resultados revelaram um valor médio de 6,1 para o desconforto sensorial na estimulação de baixa frequência (BF) e de 6,4 para a estimulação de média frequência (MF), não havendo diferença estatisticamente significativa entre elas ($p = 0,61$). Em relação às intensidades utilizadas, a média foi de 45,64mA para a estimulação de BF e 121,67mA na estimulação com a MF, sendo essa diferença estatisticamente significativa ($p < 0,0001$). **Conclusão:** Não houve diferença entre o desconforto sensorial causado por correntes de baixa e média frequência na estimulação elétrica neuromuscular do músculo quadríceps femoral.

Palavras-chave: estimulação elétrica, modalidades de fisioterapia, contração muscular.

ABSTRACT

Introduction: Neuromuscular electrical stimulation is a clinical strategy for increasing of muscular performance. It is known that one of the main limiting factors of the electrical stimulation for strength increase is the discomfort caused by the currents used in the process. **Objective:** The objective of this study was to compare the level of sensory discomfort caused by low and medium frequency currents in the neuromuscular electrical stimulation of the quadriceps femoris muscle. **Methods:** Forty-five female healthy volunteers with age between 18 and 30 years participated in the study. All the volunteers were submitted to electrical stimulation with low and medium frequency. Sensory discomfort was measured using the Visual Analogue Scale (VAS). **Results:** The results revealed mean value of 6.1 for the sensory discomfort in the low frequency stimulation and 6.4 for the medium frequency stimulation, without significant difference between them ($p = 0.61$). Concerning the intensities used, the mean was of 45.64 mA for the low frequency stimulation and 121.67 mA for the medium frequency stimulation. This difference was statistically significant ($p < 0.0001$). **Conclusion:** There was no difference between the sensory discomfort caused by low and medium frequency currents in the neuromuscular electrical stimulation of the quadriceps femoris muscle.

Keywords: electrical stimulation, physical therapy modalities, muscle contraction.

INTRODUÇÃO

A estimulação elétrica neuromuscular (EENM) é uma estratégia clínica bem documentada, por meio de pesquisas realizadas, para aumento da performance muscular⁽¹⁾. Diversos estudos disponíveis na literatura da área investigaram o papel da estimulação elétrica como forma de induzir fortalecimento muscular. O cientista russo Yakov Kots foi um dos primeiros pesquisadores a relatar ganhos de força em músculos

saudáveis de atletas de elite com a aplicação de uma corrente elétrica alternada simétrica, sinusoidal, de 2.500 hertz (Hz) (média frequência), que era modulada em *bursts* a cada 10 milissegundos para fornecer 50 *bursts* por segundo⁽²⁻⁵⁾. Esse tipo de corrente ficou conhecido comercialmente como “corrente russa”.

Similarmente aos exercícios voluntários para aumento de força, há uma relação entre a intensidade da contração muscular eletricamente induzida e o ganho de força (princípio da sobrecarga)⁽⁶⁾. Sabe-se

que um dos principais fatores limitantes da estimulação elétrica para aumento de força é o desconforto causado pelas correntes utilizadas. Portanto, correntes mais confortáveis possibilitam a utilização de maiores intensidades, gerando, assim, contrações musculares eletricamente induzidas mais vigorosas. Esse fato é de fundamental importância quando se tem como objetivo o ganho de força muscular⁽⁶⁾.

Atribui-se às correntes de média frequência maior conforto sensorial à estimulação, pois esse tipo de corrente, em função da alta frequência de sua onda portadora (2.500Hz), minimizaria o desconforto sensorial na pele, permitindo que a estimulação seja mais intensa e profunda, o que resultaria em maior indução de força de contração muscular⁽²⁾. O estudo realizado por Ward *et al.*⁽⁷⁾ demonstra que as correntes de média frequência são mais agradáveis que as correntes pulsadas de baixa frequência, corroborando os achados de Kots. Entretanto, outros estudos não confirmam essa superioridade da "corrente russa" sobre os estimuladores de baixa frequência convencionais^(4,8-10).

Devido a essa contradição sobre o desconforto causado por correntes de baixa e média frequência durante a estimulação elétrica neuromuscular, presença de poucos trabalhos sobre esse tema e com métodos de avaliação distintos e em alguns casos questionáveis, justifica-se a realização desta pesquisa.

Assim, este estudo teve como objetivo verificar o nível de desconforto sensorial causado por correntes de baixa e média frequência na estimulação elétrica neuromuscular do músculo quadríceps femoral em mulheres saudáveis.

MÉTODOS

Sujeitos

Participaram do estudo 45 voluntárias saudáveis, sedentárias, com idade entre 18 e 30 anos (média de 21,8) que foram submetidas à estimulação elétrica neuromuscular do músculo quadríceps femoral com equipamento de baixa e média frequência. Foram considerados como critérios de exclusão história prévia ou atual de doença ou disfunção em membros inferiores, neuropatia periférica e/ou alteração de sensibilidade da pele da região estimulada eletricamente.

Este estudo foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Cidade de São Paulo. Todas as voluntárias foram previamente esclarecidas e orientadas sobre os procedimentos experimentais a que seriam submetidas no presente estudo. No caso de aceitação plena, assinavam um termo de consentimento livre e esclarecido.

Estimulação elétrica neuromuscular (EENM)

O equipamento emissor da corrente excitomotora de baixa frequência utilizado no experimento foi o *Orion Tens*[®] (Fernandes Equipamentos Ltda.), digital e controlado por microprocessador. Foram utilizados os seguintes parâmetros: forma de onda pulsada bifásica simétrica retangular; tempo de duração de pulso de 350 microssegundos (μ s); frequência da corrente de 50Hz; rampa de subida de três segundos; tempo de contração (ciclo ON) de 10 segundos e amplitude mínima necessária para provocar extensão completa da articulação do joelho.

No equipamento de média frequência da marca KLD Biosistemas Eletrônicos e modelo *Endophasis-R*[®], utilizou-se a forma de onda simétrica retangular; tempo de duração de pulso de 400 μ s; frequência da corrente portadora de 2.500Hz; frequência de modulação de 50 *bursts* por segundo; rampa de subida de três segundos; tempo de contração (ciclo ON) de 10 segundos e amplitude mínima necessária para provocar extensão completa da articulação do joelho.

Para localização dos pontos motores, utilizou-se o equipamento *Nemesys*[®] da marca Quark Produtos Médicos, com uma corrente pul-

sada monofásica, tempo de duração de pulso de 200 milissegundos (ms) e intervalo interpulsos de 500ms. Utilizou-se para isso a técnica monopolar, onde o eletrodo passivo ou dispersivo, formado pelo conjunto eletrodo (alumínio)-esponja, localizava-se no terço médio da coxa (ânodo). O eletrodo ativo era em forma de caneta com algodão úmido na ponta da mesma (cátodo). A amplitude da corrente era aumentada gradualmente até que fossem observadas pequenas contrações musculares. Em seguida, o eletrodo ativo era deslizado lentamente até se encontrar o ponto onde as contrações tornavam-se mais intensas. Esse procedimento foi realizado sobre o músculo vasto medial e na região proximal do músculo reto femoral.

Após a localização dos pontos motores, dois eletrodos auto-adesivos de dimensões idênticas (5,08cm x 10,16cm) da marca *Uni-Patch*[®] foram posicionados sobre o músculo quadríceps femoral. O eletrodo proximal foi aplicado no ponto motor do nervo femoral e o eletrodo distal, sobre o ponto motor do músculo vasto medial, localizado aproximadamente 5cm acima da borda suprapatelar. As correntes foram transmitidas por meio de um único canal.

Após o posicionamento dos eletrodos, foi solicitado que as voluntárias permanecessem sentadas na borda da maca com as pernas pendentes e a articulação do joelho (tibiofemoral) em flexão de 90°. Nesse momento pediu-se que elas mantivessem o membro inferior o mais relaxado possível e iniciou-se o aumento da amplitude da corrente elétrica. A amplitude foi aumentada gradualmente até que ocorresse a extensão completa (0° de flexão) da articulação do joelho.

As participantes do experimento não observaram o equipamento utilizado para que não houvesse interferência nos dados obtidos⁽⁴⁾. Todas as voluntárias foram submetidas à estimulação elétrica com os dois tipos de estimuladores; foi realizado um sorteio para definir qual estimulador seria utilizado primeiro. Os eletrodos permaneceram no mesmo local durante todo o experimento, sendo apenas substituídos os cabos correspondentes a cada tipo de estimulador (baixa ou média frequência). O intervalo entre as aplicações das correntes foi de três minutos.

Avaliação do desconforto sensorial

A análise do desconforto sensorial foi feita por meio de uma escala visual analógica (EVA)^(4,6,9,10-13) horizontal, milimetrada de 10cm, onde se atribui ao valor escalar "zero" o conceito "ausência de desconforto" e ao valor "dez" o maior desconforto imaginável". Logo após o término da aplicação de cada uma das correntes, solicitou-se que a voluntária marcasse na escala o nível correspondente ao seu desconforto.

Análise estatística

A análise estatística foi feita utilizando o programa *GraphPad InStat*[®]. Inicialmente foram realizados a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Para análise intersujeitos, foi utilizado o teste *t* pareado e, para análise intergrupos, o teste *t* não pareado. O teste *t* não pareado com correção de Welch foi utilizado para comparação das intensidades utilizadas. Foi utilizado nível de significância de $p < 0,05$ (5%).

RESULTADOS

A comparação do grau de desconforto sensorial entre as estimulações elétricas revelou um valor de $6,1 \pm 0,42$ (média \pm erro padrão) para a estimulação de BF e de $6,4 \pm 0,37$ para a MF, não havendo diferença significativa intersujeitos ($p = 0,53$) e intergrupos ($p = 0,61$).

O valor médio das intensidades (amplitudes) utilizadas na estimulação de BF foi de $45,64 \pm 1,20$ e de $121,67 \pm 2,47$ na estimulação da MF. Houve diferença estatisticamente significativa na comparação entre as intensidades (amplitudes) utilizadas ($p < 0,0001$).

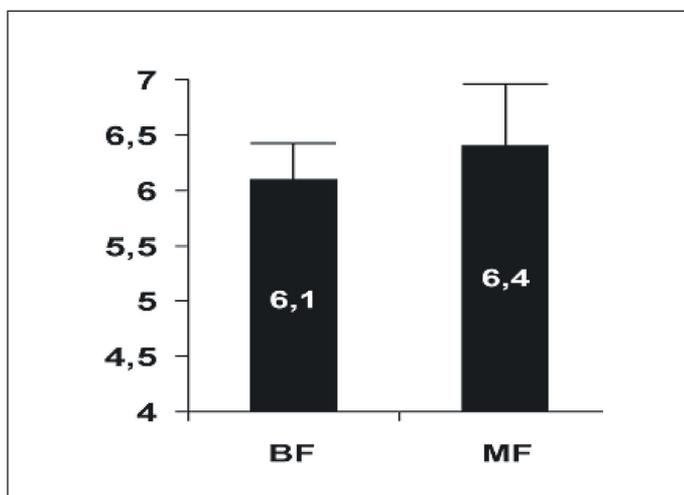


Figura 1. Média e erro padrão do índice de desconforto sensorial com correntes de baixa e média frequência.

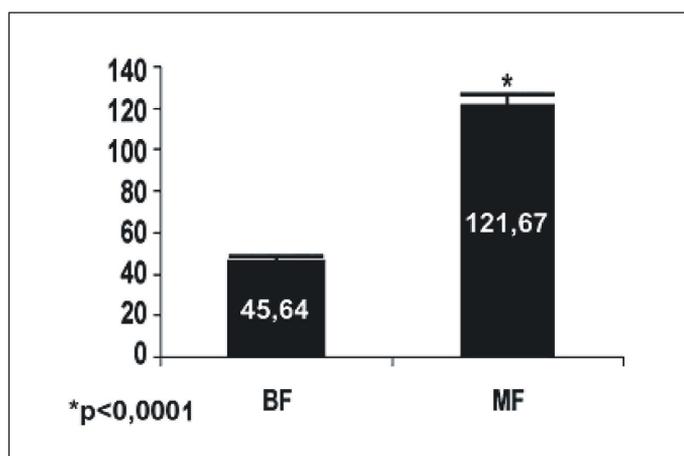


Figura 2. Média e erro padrão dos valores das intensidades (amplitudes) utilizadas nos grupos de baixa e média frequência.

DISCUSSÃO

A EENM vem sendo usada há diversos anos no campo da reabilitação e do condicionamento físico humano⁽⁴⁾. O desconforto sensorial causado por esse tipo de estimulação é considerado um dos principais fatores limitantes do ganho de força. Em consequência disso, muitos pesquisadores vêm tentando encontrar formas mais confortáveis para aplicação desse tipo de corrente^(4,6,7,9).

Há relatos de que a corrente de média frequência tem a vantagem de reduzir a resistência da pele e, assim, o desconforto normalmente causado pelas correntes tradicionais de baixa frequência, ao mesmo tempo produzindo efeitos de baixa frequência nos tecidos⁽¹⁴⁾. Sendo assim, a comparação entre as correntes de baixa e média frequência em relação ao desconforto sensorial tornou-se fundamental.

Para delimitação da amplitude utilizada na aplicação das correntes, foi estipulada a mínima necessária para promover a extensão completa da articulação do joelho. Um protocolo semelhante foi utilizado por Bankov⁽¹¹⁾, que aplicou uma corrente alternada sinusoidal no músculo bíceps braquial com intensidade que produzisse força suficiente para manter a articulação do cotovelo em flexão de 90°, verticalmente ao membro superior.

A posição dos eletrodos sobre o quadríceps femoral baseou-se no estudo de Brasileiro *et al.*⁽⁴⁾ e para análise do desconforto sensorial foi utilizada a EVA, uma escala amplamente empregada na literatura^(4,6,9,10-13).

Os resultados deste estudo não encontraram diferença estatisticamente significativa em relação ao desconforto sensorial entre os dois tipos de estimulações utilizadas. Entre os estudos que comparam diferentes formas de estimulação em termos de desconforto do paciente, Delitto e Rose⁽⁶⁾ usaram diferentes formas de onda e verificaram que nenhuma dessas correntes pode ser considerada mais confortável.

Brasileiro *et al.*⁽⁴⁾ avaliaram o torque e o grau de desconforto produzido pelas estimulações de baixa e média frequência e não encontraram diferença estatística significativa entre as duas correntes em ambas as variáveis analisadas. Os valores obtidos com relação ao desconforto corroboram os dados de Brasileiro *et al.*⁽⁴⁾, sendo os valores muito semelhantes. Grimby e Wigerstad-Lossing⁽⁹⁾ compararam a estimulação muscular de média (2.500Hz) e baixa (30Hz) frequência e não encontraram nenhuma diferença no desconforto percebido. No estudo de Bircan *et al.*⁽¹²⁾, foi realizada a comparação entre a corrente interferencial, com frequência portadora de 2.500Hz e frequência de modulação da amplitude de 80Hz e a corrente pulsada bifásica de baixa frequência (80Hz), na força do músculo quadríceps e desconforto percebido. Não houve diferença estatística significativa em relação ao desconforto e aumento de força entre os dois grupos que receberam as correntes elétricas. Já Ward *et al.*⁽⁷⁾ compararam duas formas de correntes pulsadas monofásicas com duas formas de correntes de média frequência (corrente russa e corrente aussie) em relação ao torque produzido e o desconforto percebido. Esse estudo demonstrou que as correntes de média frequência eram mais agradáveis, porém, as correntes de baixa frequência utilizadas eram monofásicas, o que poderia levar a alterações eletroquímicas locais devido aos efeitos polares, contribuindo assim para maior desconforto. Dessa forma, o maior desconforto observado com a utilização das correntes de baixa frequência poderia ser atribuído às reações químicas locais abaixo dos eletrodos, e não à diferença entre a frequência das correntes. Apesar de a duração de pulso das correntes de baixa frequência ter sido relativamente pequena (200 e 500µs) e o tempo de aplicação ter sido curto, não se pode afirmar a inexistência dos efeitos polares.

A EENM é indicada para músculos inervados, pois músculos des-nervados precisam de pulsos específicos de longa duração devido à impedância da membrana de sua fibra muscular ser maior do que a impedância da membrana de sua fibra nervosa^(15,16). Assim, na EENM os eletrodos devem ser posicionados sobre o ponto motor do músculo ou sobre nervos periféricos que o inervam. Considerando a lei do tudo ou nada, uma vez atingido o limiar da fibra nervosa e disparado o potencial de ação, aumentos adicionais da amplitude, duração do pulso ou ambos não causam aumento da magnitude do potencial de ação⁽¹⁵⁻¹⁷⁾. Dessa forma, uma vez atingido o potencial de ação, a resposta será sempre a mesma para aquele axônio, independente da intensidade utilizada. No entanto, os nervos possuem axônios com diferentes diâmetros e diferentes limiares de excitação. Conseqüentemente, aumentando-se a carga de fase da corrente, consegue-se deflagrar potenciais de ação nos axônios que apresentam limiar baixo, mas também nos que possuem limiar alto, resultando em contração muscular mais forte⁽¹⁶⁾. Assim, apesar de a corrente de MF teoricamente apresentar maior profundidade de ação muscular, na prática isso pode não ser fundamental, pois o alvo primário da corrente elétrica é a fibra nervosa, para depois haver a contração muscular. Como os pontos motores do vasto medial e do nervo femoral encontram-se localizados superficialmente na região anterior da coxa, talvez em função disso não tenha sido observada diferença entre o desconforto sensorial causado pelas correntes de baixa e média frequência.

Na prática clínica, alguns profissionais atribuem superioridade às correntes de média frequência, pelo fato de os pacientes suportarem

maiores intensidades de corrente. No presente estudo observou-se que na estimulação com corrente de média frequência os valores de intensidade (amplitude) utilizados foram maiores ($p < 0,0001$), porém esse dado não parece trazer benefício clínico adicional, pois a resposta muscular obtida era a mesma para os dois tipos de corrente (extensão completa do joelho). Uma análise mais detalhada dos parâmetros físicos do pulso elétrico emitido por cada estimulador seria necessária para elucidar o porquê da diferença entre as amplitudes se as durações de pulso eram semelhantes. No entanto, a resposta a essa questão foge aos objetivos propostos pelo presente estudo.

Entre as limitações do estudo pode-se citar a restrição da amostra utilizada, sendo esta composta apenas de mulheres jovens e saudáveis, o que limita a inferência dos resultados obtidos para o restante da população. Porém, esse desenho experimental foi escolhido por possibilitar controle maior das variáveis envolvidas.

Sugere-se a realização de outros estudos que investiguem a influência da variação dos parâmetros tais como frequência de modulação, ciclo de trabalho e o tempo de duração de pulso. tanto no torque como no desconforto sensorial. Além disso, trabalhos comparativos entre os tipos de correntes utilizando o gênero masculino, indivíduos de diferentes faixas etárias, presença de lesões prévias e atletas são necessários para uma resposta mais fidedigna do desconforto sensorial em

diferentes populações. Deve-se também verificar se existem diferenças entre a força de contração eletricamente induzida pelos dois tipos de corrente, bem como as diferenças entre o ganho de força muscular com essas correntes após determinado período de estimulação.

CONCLUSÃO

Não houve diferença entre o desconforto sensorial causado por correntes de baixa e média frequência na estimulação elétrica neuromuscular do músculo quadríceps femoral em mulheres saudáveis.

Dessa forma, a escolha entre a utilização de correntes de baixa ou média frequência para a EENM não deve ser feita levando-se em consideração o desconforto sensorial por elas gerado e, sim, as demais variáveis que ainda necessitam de investigação científica. Novos estudos são necessários para a inferência dessa conclusão em outras populações.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todas as voluntárias pela importante colaboração na realização do estudo.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Delitto A, Snyder-Mackler L. Two theories of muscle strength augmentation using percutaneous electrical stimulation. *Phys Ther* 1990;70:158-64.
2. Kramer JF, Mendryk SW. Electrical stimulation as a strength improvement technique: a review. *JOSPT* 1982;8:91-8.
3. Ward AR, Shkuratova N. Russian electrical stimulation: the early experiments. *Phys Ther* 2002;82(10):1019-30.
4. Brasileiro JS, Castro CES, Parizotto NA, Sandoval MC. Estudio comparativo entre la capacidad de generación de torque y la incomodidad sensorial producidos por dos formas de estimulación eléctrica neuromuscular en sujetos sanos. *Rev Iberoam Fisioter Kinesiol* 2000;3(2):56-65.
5. Robinson AJ. Instrumentação para eletroterapia. In: Robinson AJ, Snyder-Mackler L. *Eletrofisiologia clínica - eletroterapia e teste eletrofisiológico*. 2ª ed., Porto Alegre, Artmed editora: 2001;43-83.
6. Delitto A, Rose J. Comparative comfort of three waveforms used in electrically eliciting quadriceps femoris muscle contractions. *Phys Ther* 1986;66:1704-7.
7. Ward AR, Oliver WG, Buccella D. Wrist extensor torque production and discomfort associated with low-frequency and burst-modulated kilohertz-frequency currents. *Phys Ther* 2006;86(10):1360-7.
8. Delitto A, Snyder-Mackler L, Robinson AJ. Estimulação elétrica do músculo: técnicas e aplicações. In: Robinson AJ, Snyder-Mackler L. *Eletrofisiologia Clínica - eletroterapia e teste eletrofisiológico*. 2ª ed., Porto Alegre, Artmed editora: 2001;119-45.
9. Grimby G, Wigerstad-Lossing I. Comparison of high- and low-frequency muscle stimulators. *Arch Phys Med Rehabil* 1989;70:835-8.
10. Mizner RL, Stevens JE, Snyder-Mackler L. Voluntary activation and decreased force production of the quadriceps femoris muscle after total knee arthroplasty. *Phys Ther* 2003;83(4):359-65.
11. Bankov S. Medium frequency modulated impulse current for electric stimulation of non-denervated muscles. *Acta Med Bulg* 1980;7:12-7.
12. Bircan Bircan C, Senocak O, Peker O, Kaya A, Tamcö SA, Gulbahar S, Akalin E. Efficacy of two forms of electrical stimulation in increasing quadriceps strength: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2002;16:194-9.
13. McLoda TA, Carmack JA. Optimal burst duration during a facilitated quadriceps femoris contraction. *J Athl Train* 2000;35(2):145-50.
14. Palmer S, Martin D. Corrente interferencial para controle da dor. In: Kitchen S. *Eletroterapia prática baseada em evidências*. 11ª ed., editora Manole: 2003;287-300.
15. Robertson VJ, Ward AR, Low J, Reed A (2006). *Electrotherapy explained: principles and practice* 4th ed, Oxford: Butterworth-Heinemann: 2006.
16. Mehreteab TA, Holland T. *Electrophysiology*. In: Hecox B, Mehreteab TA, Weisberg J, Sanko, J. *Integrating Physical Agents in Rehabilitation*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, Pearson Education Inc: 2006:273-81.
17. Guyton AC, Hall JE. *Fundamentos de Guyton - Tratado de fisiologia médica*. 10ª ed., Rio de Janeiro, Guanabara Koogan: 2002.