

ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE ALTA VOLTAGEM EM NERVO CIÁTICO DE RATOS. ESTUDO PELO IFC

HIGH VOLTAGE PULSED CURRENT STIMULATION OF THE SCIATIC NERVE IN RATS: ANALYSIS BY THE SFI

Anita Sofia Leite Leoni¹, Nilton Mazzer¹, Rinaldo Roberto de Jesus Guirro¹, Fernanda Guadallini Jatte¹, Paulo Augusto Costa Chereguini², Vanessa Vilela Monte-Raso³

RESUMO

Objetivo: Analisar a eficiência do tratamento com a estimulação elétrica de alta voltagem (EEAV) em três diferentes locais, aplicada precocemente na regeneração do nervo ciático submetido à lesão por esmagamento, e avaliada através do índice funcional do ciático (IFC), em ratos. **Método:** Após o esmagamento, 57 ratos foram submetidos à EEAV catódica nos parâmetros: frequência de 50Hz, 100V de tensão, 20 minutos diários, 5 dias por semana. Os ratos foram divididos aleatoriamente em: grupo controle; grupo gânglio; grupo gânglio + músculo; grupo músculo e; grupo simulado. O IFC foi avaliado semanalmente durante sete semanas, partindo do pré-operatório até a 6ª semana pós-operatória. **Resultados:** Em comparação ao grupo controle, os resultados mostraram desempenho significativamente superior do grupo gânglio nas três primeiras semanas, e do grupo gânglio + músculo na 3ª semana, enquanto o grupo músculo teve desempenho significativamente negativo na 4ª e 6ª semanas. **Conclusão:** a EEAV aplicada precocemente, foi positiva no tratamento da região da medula e gânglio da raiz nervosa do ciático com o eletrodo dispersivo na região lombar contralateral ou no músculo gastrocnêmio. Porém, proporcionou efeitos negativos no tratamento com eletrodo ativo no músculo gastrocnêmio e dispersivo na coxa contralateral. *Nível de evidência II, Estudo prospectivo comparativo.*

Descritores: Ratos. Nervo ciático. Síndrome de esmagamento. Estimulação elétrica. Medula espinhal.

ABSTRACT

Objective: To analyze the efficiency of high voltage pulsed current (HVPC) with early application in three different sites, in the regeneration of the sciatic nerve in rats submitted to crush injury, the sciatic functional index (SFI) was used to assess the functional recovery. **Methods:** After crushing of the nerve, 57 animals were submitted to cathodal HVPC at frequency of 50Hz and voltage of 100V, 20 minutes per day, 5 days per week. The rats were divided into five groups: control group; ganglion group; ganglion + muscle group; muscle group; and sham group. The SFI was determined weekly for seven weeks, from the preoperative period to the 6th postoperative week. **Results:** Compared with the control group, the results showed a significantly better performance of group 2 for the first 3 weeks; group 3 showed significantly better performance in the third week; and group 4 showed a significantly negative performance during the 4th and 6th weeks. **Conclusion:** Early application of HVPC had a positive effect in the treatment of the spinal cord region and the sciatic nerve root ganglion with a dispersive electrode on the contralateral lumbar region or on the gastrocnemius muscle. However, HVPC had a negative effect in the treatment with an active electrode on the gastrocnemius muscle and a dispersive electrode on the contralateral thigh. *Level of evidence II, Prospective comparative study.*

Keywords: Rats. Sciatic nerve. Crush injury. Electric stimulation. Spinal cord.

Citação: Leoni ASL, Mazzer N, Guirro RRJ, Jatte FG, Chereguini PAC, Monte-Raso VV. Estimulação elétrica de alta voltagem em nervo ciático de ratos. Estudo pelo IFC. *Acta Ortop Bras.* 2012;20(2):93-7. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>.

Citation: Leoni ASL, Mazzer N, Guirro RRJ, Jatte FG, Chereguini PAC, Monte-Raso VV. High voltage pulsed current stimulation of the sciatic nerve in rats: Analysis by the SFI. *Acta Ortop Bras.* 2012;20(2):93-7. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

INTRODUÇÃO

A recuperação das lesões nervosas periféricas abrange, experimentalmente, várias técnicas, tanto para produzir a lesão, quanto intervenções que busquem acelerar o processo de regeneração.¹⁻³ Existem duas maneiras mais comuns de produzir este tipo de lesão: transecção e esmagamento. A transecção implica em técnicas sofisticadas de reparo cirúrgico do nervo. Por outro lado,

quando se utiliza um dispositivo desenvolvido para efetuar o esmagamento, pode-se controlar o peso e o tempo, conhecendo-se a gravidade da lesão que está sendo produzida.^{4,5}

Uma lesão provocada por esmagamento é uma modalidade útil para o estudo da regeneração dos nervos periféricos, pois mimetiza um tipo de axoniotmese, levando à degeneração Waleriana distal, mas com prognóstico de recuperação funcional bom. São

Todos os autores declaram não haver nenhum potencial conflito de interesses referente a este artigo.

1 - Departamento de Ciências da Saúde Aplicada ao Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo - São Paulo, Brasil
2 - Laboratório de Aprendizagem Humana, Multimídia Interativa e Ensino Informatizado da Universidade Federal de São Carlos - São Paulo, Brasil.
3 - Curso de Pós-Doutorado da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo - São Paulo, Brasil

Trabalho realizado no Programa de Pós-Graduação Ortopedia, Traumatologia e Reabilitação, Departamento de Ciências da Saúde Aplicada ao Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Correspondência: Avenida dos Bandeirantes, 3.900 - CEP: 14049-900. Ribeirão Preto - SP. Brasil. E-mail: anitasofialeoni@yahoo.com.br

Artigo recebido em 17/02/10, aprovado em 19/03/10.

Acta Ortop Bras. 2012;20(2): 93-7

preservadas estruturas de sustentação como a célula satélite, a membrana basal e o tecido conectivo de suporte.^{6,7} Existe ainda a lesão dos vasos sanguíneos que nutrem as funções vitais do nervo.⁸

O nervo ciático de diversos animais, especialmente o de ratos, é amplamente utilizado em um grande número de experimentos para análise da função motora e sensitiva.^{1,9,10}

Estudar a recuperação funcional de um nervo é igualmente importante ao seu estudo histológico, morfométrico e eletrofisiológico, pois para os seres humanos, o retorno às atividades de vida diária é dependente da recuperação das funções delegadas por estes nervos. A análise da pegada do rato através do índice funcional do ciático, desenvolvido por De Medinacelli et al.⁶ e aprimorado por Bain et al.⁹ é um método confiável de avaliação da recuperação funcional, e é possível realizar, por meio dele, uma correlação confiável entre as regenerações morfológica e a funcional.¹⁰

A lesão completa do nervo ciático no rato provoca uma deficiência da flexão plantar do tornozelo, menor espalhamento dos artelhos, tendência ao arrastamento da pata devido à diminuição da função do nervo fibular e aumento do comprimento da pegada devido à alteração funcional dos músculos flexores plantares.¹¹ As variáveis analisadas para produzir o IFC são: o comprimento da pata, o espalhar total dos dedos e o espalhar dos dedos intermediários. Todos os parâmetros são medidos do mesmo modo na pata normal e na lesada, ou experimental. Sendo um indicador negativo do grau de disfunção nervosa, o IFC pode variar de "zero" (função normal ou ausência de disfunção) à "-100" (disfunção completa).⁹ A fisioterapia desempenha um importante papel na reabilitação pós-lesão, buscando recuperar a função neuromuscular, utilizando-se de instrumentos terapêuticos com finalidade regenerativa. As tentativas de potencializar a regeneração nervosa através de correntes elétricas, ultrassom e laser de baixa potência, vêm, há longo tempo, sendo utilizados, todavia, ainda não existe um consenso quanto à melhor intervenção.^{2,3,12}

A estimulação elétrica de alta voltagem (EEAV) é utilizada em tratamentos fisioterapêuticos para a drenagem de edemas e a diminuição da dor, dentre outros, porém sua utilização na regeneração nervosa ainda é desconhecida. A EEAV pode ser descrita qualitativamente como sendo uma corrente pulsada monofásica de pico duplo (ou gêmeos). Apresenta uma duração de pulso que pode variar de 5 à 100 microssegundos, com subida quase instantânea e quedas exponenciais, tensão de pico elevada, alta voltagem (acima de 100V), frequência variando de 2 à 100Hz possibilitando uma estimulação relativamente agradável, capaz de atingir as fibras nervosas sensoriais, motoras e também aquelas responsáveis pela condução de impulsos nociceptivos.^{13,14}

Sob o eletrodo de polaridade negativa, a corrente de alta voltagem tem mostrado os seguintes efeitos: estimula o tecido de granulação, aumenta o fluxo sanguíneo com diminuição do edema e tecido necrótico, proliferação de fibroblastos, produção de colágeno e migração de neutrófilos e células epidermais. Já sob o eletrodo de polaridade positiva, a corrente estimula epitelização, coagulação sanguínea e bloqueio de pequenas veias, desnatura proteínas, reduz os mastócitos nas úlceras e reduz a migração de macrófagos para o leito da úlcera.^{15,16}

O objetivo do presente estudo foi analisar a eficiência do tratamento com a EEAV em três diferentes locais, sendo aplicada precocemente na regeneração do nervo ciático submetido à lesão por esmagamento, e avaliada através do IFC, em ratos. Hipótese: a EEAV seria eficiente ao acelerar a regeneração do nervo ciático de ratos após lesão por esmagamento.

MATERIAL E MÉTODO

O projeto de pesquisa foi aprovado pela Comissão de Ética em Experimentação Animal da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo e foi desenvolvido no Laboratório de Bioengenharia da mesma instituição de acordo com a *Animal Experimentation Ethics*.

Foram utilizados 78 ratos machos (*Rattus norvegicus albinus*) da linhagem Wistar, com peso corpóreo variando entre 180g e 245g fornecidos pelo Biotério da Universidade de São Paulo – Campus Ribeirão Preto. Os animais foram confinados em gaiolas de 0,15m², com cinco animais por gaiola, mantidos em foto período de 12 horas, temperatura e umidade mantidas por ar condicionado, ruídos mínimos, ração sólida e água "*ad libitum*" ficando sob observação por um período de dois dias, antes de sua utilização no experimento. A amostra final foi composta por 57 animais. Esta discrepância se deu por intercorrências ao longo do experimento. O procedimento cirúrgico foi realizado sob anestesia com ketamina a 10% (0,1ml/100g de peso corpóreo) e xilazina a 2% (0,1ml/100g de peso corpóreo) administradas por via intramuscular. Foi realizada a depilação da região lateral da coxa direita, assim como dos locais onde seriam posicionados os eletrodos para a estimulação com a referida corrente. O animal foi posicionado em decúbito lateral esquerdo e fixado à mesa operatória, seguindo-se então a anti-sepsia com povidine-iodine e delimitação circular do campo operatório com campo esterilizado fenestrado. O nervo ciático da coxa direita foi abordado através de uma incisão cutânea longitudinal retilínea, na face lateral da coxa, indo desde o trocânter maior, até o joelho. Optou-se pelo segmento intermediário do nervo, situado 5mm acima da sua divisão nos três ramos principais (fibular, tibial e sural). Exposto o nervo o animal era, então, transferido para o dispositivo de peso morto, especialmente confeccionado para a produção da lesão por esmagamento com uma carga de 5kg por 10 minutos.⁵ A ferida operatória era fechada com sutura dos tecidos por planos. A área lavada com solução anti-séptica e álcool iodado a 20%. Os animais eram, então, devolvidos à sua gaiola de origem. Foi usado o analgésico e antiinflamatório cetoprofeno intramuscular, durante 3 dias consecutivos (3,5mg/kg) após a produção da lesão.

Após o procedimento cirúrgico, os animais foram divididos em 5 grupos assim identificados: grupo 1 (Controle) n=12: lesão do nervo ciático / grupo 2 (Gânglio) n=13: lesão do nervo ciático submetido à EEAV com aplicação do eletrodo ativo na área do gânglio da raiz nervosa do ciático direito e do eletrodo dispersivo na região lombar contralateral (Figura 1) / grupo 3 (Gânglio + Músculo) n=11: lesão do nervo ciático submetido à EEAV com aplicação do eletrodo ativo na área do gânglio da raiz nervosa do ciático direito e do eletrodo dispersivo no músculo gastrocnêmio direito (Figura 2) / grupo 4 (Músculo) n=11: lesão do nervo ciático submetido à EEAV com aplicação do eletrodo ativo no músculo gastrocnêmio direito e eletrodo dispersivo na coxa contralateral (Figura 3) / grupo 5 (Sham) n=10: lesão do nervo ciático submetido à EEAV simulada.

A aplicação EEAV se iniciou 24 horas após o procedimento cirúrgico, durando 3 semanas, diariamente durante 20 minutos, 5 dias por semana, no período vespertino. Foi necessária a aplicação de ketamina a 10% (0,1ml/100g de peso corpóreo) e xilazina a 2% (0,1ml/100g de peso corpóreo) via intramuscular, para que o animal permanecesse imóvel para ser fixado na prancha de procedimentos. Eram então colocados os eletrodos de carbono (1cm²) com gel hidrossolúvel nas posições determinadas de acordo com os grupos de aplicação. Estes eletrodos foram

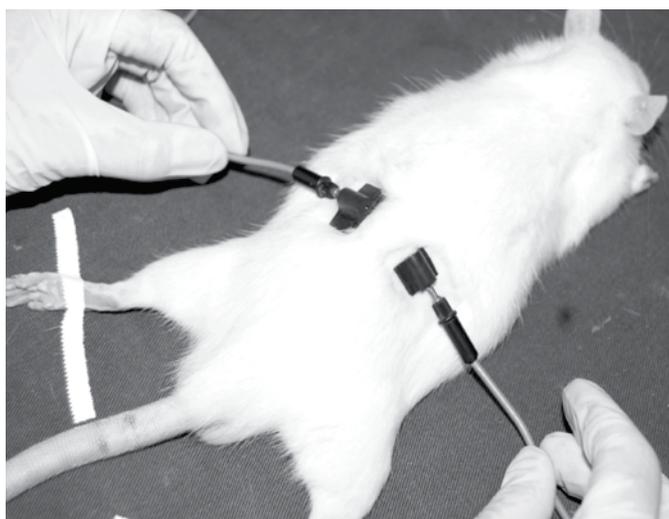


Figura 1. Posicionamento dos eletrodos no Grupo 2 (lado direito ativo – cátodo; lado esquerdo dispersivo).

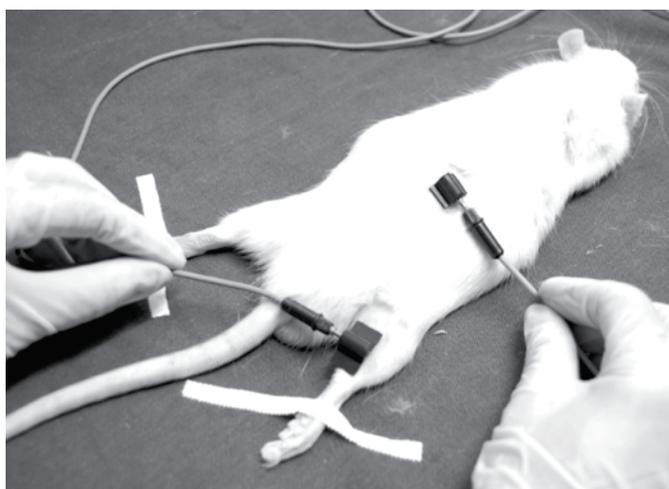


Figura 2. Posicionamento dos eletrodos no Grupo 3 (lombas ativo – cátodo; pata dispersiva).

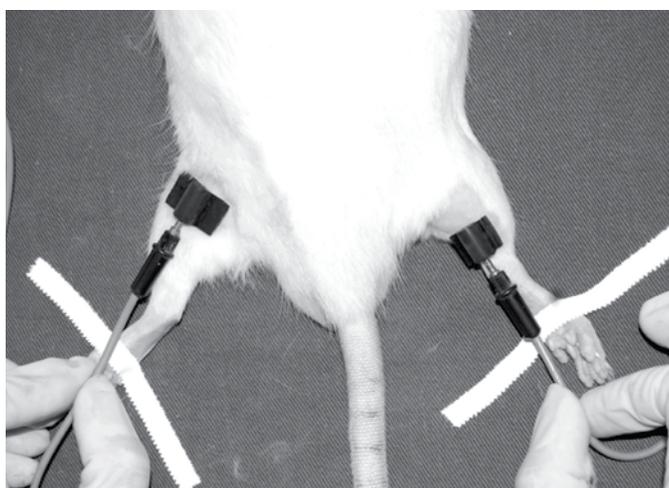


Figura 3. Posicionamento dos eletrodos no Grupo 4 (pata direita ativo – cátodo; pata esquerda dispersiva).

fixados com elásticos e feita a aplicação do estímulo elétrico. Neste experimento foi utilizado o aparelho *Neurodyn High Volt* da marca Ibramed®, com os seguintes parâmetros: polaridade negativa (catódica), frequência de 50 Hz e tensão acima de 100V. Ao final da 6ª semana os animais foram identificados, pesados e sacrificados por dose excessiva de anestésico.

Em todos os animais foi realizada a captação das impressões das pegadas, através de vídeo-filmagem, antes da produção da lesão, uma semana após a lesão e assim por diante, periodicamente, uma vez por semana, durante sete semanas consecutivas. Antes do primeiro registro das pegadas, os animais foram ensinados a caminhar pela esteira com velocidade. As imagens obtidas nas filmagens foram adequadas ao tamanho ideal por meio do *software Adobe Photoshop* (versão CS3®) e editadas para o uso do programa de computação de análise funcional da marcha (AFNP)¹⁰ onde, os parâmetros do IFC são calculados segundo o método proposto por Bain et al.⁹

RESULTADOS

Os animais toleraram bem o procedimento cirúrgico, sendo que no dia seguinte, apresentavam alterações na pata e no caminhar correspondentes às descritas por Costa et al.¹¹ Durante o experimento, alguns animais foram excluídos e outros foram a óbito devido à intercorrências, tais como: morte dos animais durante o procedimento cirúrgico; animais descartados por não caminharem na pista e por amputação de dedos ou necrose da pata (devido à lesão do ciático); morte de animais durante a anestesia para a estimulação. Os animais que completaram o estudo foram readquirindo a capacidade de caminhar normalmente ao longo do tempo, com adequado apoio e espalhar dos dedos sobre a pata lesada. No total, foram analisadas 399 impressões de pegadas: grupo 1 = 84 pegadas (n=12 x 7 semanas); grupo 2 = 77; grupo 3 = 77; grupo 4 = 77; grupo 5 = 70.

Durante a fase pré-operatória (semana 0), os valores médios do IFC foram: grupo 1 = 3,59 (variação: -17,26 a 27,67); grupo 2 = -0,96 (variação: -22,94 a 24,8); grupo 3 = -2,7 (variação: -12,14 a 7,21); grupo 4 = -3,85 (variação: -16,44 a 11,8); grupo 5 = 7,56 (variação: -20,88 a 0,53). Não houve diferença estatística neste período entre os grupos, lembrando que os animais estavam ainda intactos. Na semana 1, os valores médios do IFC foram: grupo 1 = -96,53 (variação: -111,3 a -52,7); grupo 2 = -78,33 (variação: -105,9 a -9,48); grupo 3 = -96,48 (variação: -114,5 a -28,11); grupo 4 = -101,6 (variação: -109 a -90,91); grupo 5 = -98,81 (variação: -118,5 a -80,71). Houve diferença significativa entre os grupos 1 e 2 $p=0,01$. Na semana 2, os valores médios do IFC foram: grupo 1 = -89,09 (variação: -107,3 a -65,41); grupo 2 = -70,33 (variação: -103 a -32,7); grupo 3 = -86,56 (variação: -101,1 a -38,56); grupo 4 = -88,36 (variação: -105,1 a -53,72); grupo 5 = -87,87 (variação: -111,6 a -71,07). Houve diferença significativa entre os grupos 1 e 2 $p=0,01$. Na semana 3, os valores médios do IFC foram: grupo 1 = -59,91 (variação: -89,28 a -33,45); grupo 2 = -37,37 (variação: -85,46 a -9,88); grupo 3 = -43,64 (variação: -83,12 a 1,24); grupo 4 = -55,99 (variação: -92,17 a -15,55); grupo 5 = -62,89 (variação: -98,02 a -12,46). Houve diferença significativa entre: grupos 1 e 2 $p<0,01$, grupos 1 e 3 $p=0,03$. Na semana 4, os valores médios do IFC foram: grupo 1 = -43,75 (variação: -72,01 a -11,65); grupo 2 = -29,51 (variação: -52,53 a 1,38); grupo 3 = -29,29 (variação: -61,47 a 9,63); grupo 4 = -61,06 (variação: -85,13 a -44,82); grupo 5 = -53,11 (variação: -71,3 a -32,16). Houve diferença significativa entre os grupos 1 e 4 $p=0,02$. Na semana 5, os valores médios do IFC foram: grupo 1 = -33,15 (variação: -71,02 a 4); grupo 2 =

-17,84 (variação: -34,2 a 1,35); grupo 3 = -33,19 (variação: -52,27 a -4,75); grupo 4 = -32,51 (variação: -48,53 a -20,39); grupo 5 = -33,2 (variação: -66,12 a -2,8). Houve diferença significativa entre os grupos 1 e 2 $p=0,03$. Na semana 6, os valores médios do IFC foram: grupo 1 = -17,54 (variação: -43,69 a 3,39); grupo 2 = -12,88 (variação: -34,33 a 1,56); grupo 3 = -20,96 (variação: -34,78 a 0,39); grupo 4 = -32,13 (variação: -96 a 0,64); grupo 5 = -19,1 (variação: -42,91 a 13,6). Houve diferença significativa entre os grupos 1 e 4 $p=0,04$.

Os resultados apresentados pelos grupos ao longo das sete semanas de acompanhamento, estão descritos na Tabela 1 e na Figura 4.

Tabela 1. Comparação entre os grupos em cada tempo - nível de significância ($p < 0,05$).

Grupos		Tempo	p-valor	
1	-	2	0	0,52
1	-	3	0	0,38
1	-	4	0	0,30
1	-	5	0	0,14
1	-	2	1	0,01
1	-	3	1	1,00
1	-	4	1	0,49
1	-	5	1	0,76
1	-	2	2	0,01
1	-	3	2	0,73
1	-	4	2	0,93
1	-	5	2	0,87
1	-	2	3	<0,01
1	-	3	3	0,03
1	-	4	3	0,59
1	-	5	3	0,69
1	-	2	4	0,05
1	-	3	4	0,05
1	-	4	4	0,02
1	-	5	4	0,21
1	-	2	5	0,03
1	-	3	5	0,99
1	-	4	5	0,94
1	-	5	5	1,00
1	-	2	6	0,51
1	-	3	6	0,63
1	-	4	6	0,04
1	-	5	6	0,84

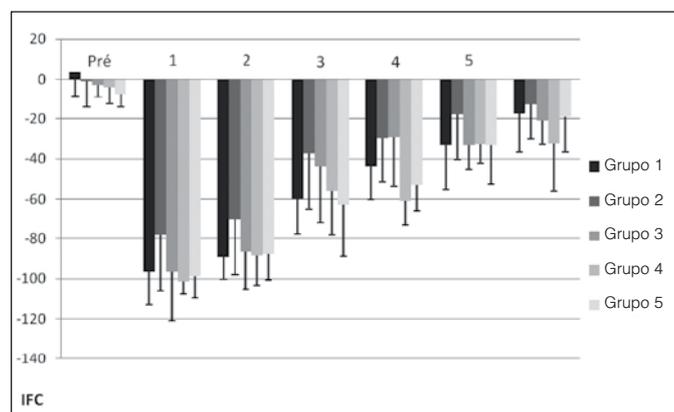


Figura 4. Desempenho do IFC dos grupos ao longo das semanas (Médias e Desvio Padrão).

DISCUSSÃO

Em nosso trabalho, empregamos o modelo de esmagamento⁵ que provocou lesão grave do nervo ciático, porém manteve as estruturas necessárias para o crescimento do axônio, possibilitando sua regeneração.

Como a regeneração nervosa é dependente da revascularização,^{17,18} aplicar a EEAV com este fim, poderia proporcionar achados semelhantes aos de outros estudos^{15,16} que evidenciaram a eficácia da EEAV na promoção da revascularização no local sob o cátodo. A hipótese apresentada neste estudo parece ter sido confirmada principalmente pelos desempenhos apresentados pelo grupo 2, devido à diferença significativamente superior em relação aos desempenhos do grupo controle, em todo o período de intervenção.

Os resultados apresentados pelo grupo 2 no presente estudo, corroboram com os achados de Shamir et al.¹⁹ Rochkind et al.²⁰ demonstrando grande aplicabilidade da EEAV com o objetivo de regenerar o nervo ciático a partir da estimulação do gânglio de sua raiz.

Quanto ao aspecto do início da intervenção, começar o tratamento no primeiro dia pós-operatório, pode ter acelerado o processo de regeneração do nervo, como observado no caso do grupo 2, resultados semelhantes ao de outros estudos onde foi aplicada estimulação elétrica (EE ou FES), precocemente, na regeneração do ciático.^{12,21} Em contrapartida, o desempenho dos demais grupos do presente estudo, apesar do mesmo período de intervenção, não acompanharam o desempenho positivo do referido grupo.

Quanto ao método de avaliação, o IFC de ratos, no presente estudo optou-se por utilizar o método de filmagem desenvolvido em nosso laboratório.^{10,22} A opção escolhida facilitou a captura de imagens ideais para a avaliação nas primeiras semanas de pós-operatório, possibilitando a avaliação funcional precoce dos indivíduos.

Tendo em vista a hipótese de que a EEAV pudesse acelerar a recuperação funcional quando comparada ao grupo sem estimulação (grupo 1), apenas os desempenhos apresentados pelo grupo 2 estão de acordo com a hipótese inicialmente proposta. Os achados do grupo 3 e do grupo 4 apresentaram padrões de desempenho semelhantes aos do grupo 1 e do grupo 5.

Observando os comportamentos dos grupos 2 e 3 do presente estudo, a estimulação com o eletrodo ativo (cátodo) se deu na mesma região, por este motivo seria possível supor que apresentassem padrão de desempenho semelhantes. Porém, podemos sugerir que o desempenho superior do grupo 2 tenha ocorrido devido à distância de aplicação entre os eletrodos, que foi consideravelmente diferente de um grupo para o outro. A menor distância presente entre os eletrodos no grupo 2 pode ter exercido influência sobre a eficácia da estimulação, e não apenas devido à localização específica dos eletrodos ativos. Bettany et al.²³, observaram que a EEAV, dependendo de seu sítio de aplicação, assim como da frequência e da tensão aplicados, pode influenciar ou não o fluxo sanguíneo da região estimulada. Em se tratando de uma corrente polarizada, ocorre sob o eletrodo a formação de íons e que, apesar de dissiparem-se rapidamente devido ao curto espaço de tempo em que a corrente flui, influenciam a estimulação de reações eletrolíticas em seu interior.^{15,16} Portanto, quando os eletrodos estão posicionados mais próximos um do outro, estes efeitos são facilitados, podendo ser mais intensos. Neste sentido, é possível inferir que os desempenhos dos grupos 3 e 4 não tenham sido significativamente superiores ao desempenho do grupo 1, em função do considerável afastamento entre os eletrodos ativo e dispersivo.

Em relação ao desempenho do grupo 3, dois aspectos devem ser considerados: um possível efeito positivo tardio; e a não manutenção do efeito significativamente positivo a partir da 3ª semana de pós-operatório. Em relação ao possível efeito tardio do grupo 3 na 3ª semana, o desempenho se elevou a um patamar significativamente superior. Até o presente momento, na literatura consultada, não foram encontradas pesquisas que demonstrassem efeitos tardios com a EEAV. Quanto à não manutenção do desempenho superior em relação ao grupo 1 a partir da 3ª semana, se, por um lado, este possa ser devido simplesmente ao acaso, por outro lado, ele pode ser justificado pela interrupção da estimulação nesta mesma semana. Ambos aspectos sugerem que novas pesquisas poderiam explorar a ocorrência destes efeitos.

Por outro lado, é preciso considerar ainda, que a EEAV tenha efeito tardio negativo, como sugerido pelo desempenho significativamente inferior do grupo 4, na 4ª e 6ª semanas. Tais achados têm características semelhantes aos do estudo de Baptista et al.²⁴, onde se utilizava TENS (Estimulação Nervosa Elétrica Transcutânea) na tentativa de acelerar a regeneração do nervo ciático, após lesão por esmagamento. Os resultados histológicos dos dois grupos mostraram sinais de regeneração comprometida. Assim,

os resultados negativos do grupo 4, na 4ª e 6ª semanas, apoiados pela pesquisa de Baptista et al.²⁴, sugerem que este tipo de estimulação, não só não melhorou o desempenho do grupo, como contribuiu para os efeitos negativos na regeneração do nervo ciático. Por fim, o grupo 5 esteve sob efeito de estimulação simulada, desta forma, seu desempenho foi semelhante ao desempenho do grupo controle, já que o animal não sofreu efeito da corrente aplicada.

CONCLUSÕES

A EEAV se mostrou eficiente no tratamento da lesão nervosa por esmagamento, quando aplicada precocemente sobre a área da medula e do gânglio nervoso da raiz do ciático, com o eletrodo dispersivo colocado na mesma região contralateral;

A EEAV demonstrou efeito tardio quando aplicada precocemente sobre a área da medula e do gânglio nervoso da raiz do ciático, com o eletrodo dispersivo colocado no músculo gastrocnêmio;

A EEAV se mostrou prejudicial no tratamento da lesão nervosa por esmagamento, quando aplicada precocemente na musculatura innervada pelo nervo submetido à lesão, com o eletrodo dispersivo colocado na coxa contralateral.

REFERÊNCIAS

1. Varejão AS, Meek MF, Ferreira AJ, Patrício JA, Cabrita AM. Functional evaluation of peripheral nerve regeneration in the rat: walking track analysis. *J Neurosci Methods*. 2001;108(1):1-9.
2. Mendonça AC, Barbieri CH, Mazzer N. Directly applied low intensity direct electric current enhances peripheral nerve regeneration in rats. *J Neurosci Methods*. 2003;129(2):183-90.
3. Ahlborn P, Schachner M, Irintchev A. One hour electrical stimulation accelerates functional recovery after femoral nerve repair. *Exp Neurol*. 2007;208(1):137-44.
4. Schiaveto de Souza A, da Silva CA, Del Bel EA. Methodological evaluation to analyze functional recovery after sciatic nerve injury. *J Neurotrauma*. 2004;21(5):627-35.
5. Mazzer PYCN, Barbieri CH, Mazzer N, Fazan VPS. Avaliação qualitativa e quantitativa das lesões agudas por esmagamento do nervo isquiático do rato. *Acta Ortop Bras* 2006;14(4):220-5.
6. de Medinaceli L, Freed WJ, Wyatt RJ. An index of the functional condition of rat sciatic nerve based on measurements made from walking tracks. *Exp Neurol*. 1982;77(3):634-43.
7. Sunderland S. The anatomy and physiology of nerve injury. *Muscle Nerve*. 1990;13(9):771-84.
8. Pachioni CAS, Mazzer N, Barbieri CH, Fazan VPS, Padovani CR, Moro CA et al. Lesão por esmagamento do nervo isquiático de ratos: estudo da vascularização. *Acta Ortop Bras*. 2006;14(4):203-7.
9. Bain JR, Mackinnon SE, Hunter DA. Functional evaluation of complete sciatic peroneal, and posterior tibial nerve lesions in the rat. *Plast Reconstr Surg*. 1989;83(1):129-38.
10. Oliveira EF, Mazzer N, Barbieri CH, Selli M. Correlation between functional index and morphometry to evaluate recovery of the rat sciatic nerve following crush injury: experimental study. *J Reconstr Microsurg*. 2001;17(1):69-75.
11. Costa J, Marques E, Camargo V, André ES. Desenvolvimento de um método de baixo custo para avaliação da marcha em ratos. *Fisioter Mov*. 2008;21(2):115-23.
12. Santos TS, André ES. Avaliação funcional da marcha do rato após estimulação elétrica do músculo gastrocnêmio desnervado. *Rev Neuroci*. 2007;15(2):120-4.
13. Davini R, Nunes CV, Guirro ECO, Guirro RRJ. Estimulação elétrica de alta voltagem: uma opção de tratamento. *Rev Bras Fisioter*. 2005;9(3):249-55.
14. Rodrigues-Bigaton D, Almeida AFN, Berni KCS, Pedroni CR, Gonçalves RN, Bérzin F. Utilização de diferentes estimulações elétricas para o tratamento da dor em mulheres com disfunção temporomandibular. *Rev Bras Fisioter*. 2008;12(6):476-81.
15. Fitzgerald GK, Newsome D. Treatment of a large infected thoracic spine wound using high voltage pulsed monophasic current. *Phys Ther*. 1993;73(6):355-60.
16. Daeschlein G, Assadian O, Kloth LC, Meinel C, Ney F, Kramer A. Antibacterial activity of positive and negative polarity low-voltage pulsed current (LVPC) on six typical Gram-positive and Gram-negative bacterial pathogens of chronic wounds. *Wound Repair Regen*. 2007;15(3):399-403.
17. Qiu J, Cai D, Filbin MT. Glial inhibition of nerve regeneration in the mature mammalian CNS. *Glia*. 2000;29(2):166-74.
18. Jander S, Lausberg F, Stoll G. Differential recruitment of CD8+ macrophages during Wallerian degeneration in the peripheral and central nervous system. *Brain Pathol*. 2001;11(1):27-38.
19. Shamir MH, Rochkind S, Sandbank J, Alon M. Double-blind randomized study evaluating regeneration of the rat transected sciatic nerve after suturing and postoperative low-power laser treatment. *J Reconstr Microsurg*. 2001;17(2):133-7.
20. Rochkind S, Leider-Trejo L, Nissan M, Shamir MH, Kharenko O, Alon M. Efficacy of 780-nm laser phototherapy on peripheral nerve regeneration after neurotube reconstruction procedure (double-blind randomized study). *Photomed Laser Surg*. 2007;25(3):137-43.
21. Santo Neto H, Tavares MCGCF, Carvalho VC, Guirro R, Marques MJ. Correlation between ultrastructural and molecular changes in denervated muscle: a paradigm based on functional electrical stimulation. *Braz J Morphol Sci*. 2003;20(2):129-34.
22. Monte-Raso VV, Barbieri CH, Mazzer N, Yamasita AC, Barbieri G. Is the Sciatic Functional Index always reliable and reproducible? *J Neurosci Methods*. 2008;170(2):255-61.
23. Bettany JA, Fish DR, Mendel FC. Influence of high voltage pulsed direct current on edema formation following impact injury. *Phys Ther*. 1990;70(4):219-24.
24. Baptista AF, Gomes JR, Oliveira JT, Santos SM, Vannier-Santos MA, Martinez AM. High- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation delay sciatic nerve regeneration after crush lesion in the mouse. *J Peripher Nerv Syst*. 2008;13(1):71-80.