

ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE ALTA VOLTAGEM: UMA OPÇÃO DE TRATAMENTO

Davini, R.,¹ Nunes, C. V.,¹ Guirro, E. C. O.² e Guirro, R. R. J.²

¹Curso de Fisioterapia, Universidade São Francisco – USF, Bragança Paulista, SP

²PPG-Fisioterapia, Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, Piracicaba, SP

Correspondência para: Rinaldo R. J. Guirro, UNIMEP, Rod. do Açúcar, km 156, Taquaral,
CEP 13400-911, Piracicaba, SP, e-mail: rjguirro@unimep.br

Recebido: 8/3/2004 – Aceito: 11/5/2005

RESUMO

Contexto: O uso de correntes elétricas que desenvolvem ações terapêuticas nos tecidos biológicos ou possibilitam a manutenção de suas funções tem sido extensamente preconizado como recurso fisioterapêutico em nosso país. A estimulação elétrica de alta voltagem (EEAV) é uma corrente terapêutica vastamente utilizada em alguns países da Europa, assim como nos Estados Unidos, sendo que as primeiras publicações científicas que utilizaram a EEAV datam da década de 1970. A literatura aponta vasto uso clínico desses estimuladores, contudo a sua comercialização e utilização no nosso país ainda são incipientes, em decorrência da pequena oferta de equipamentos, bem como do atual nível de conhecimento dos profissionais. Objetivo: Revisar os efeitos da EEAV nas diferentes intervenções fisioterapêuticas, contribuindo na fundamentação da sua aplicação clínica. Método: Revisão bibliográfica efetuada em livros textos e nas bases de dados Medline e PubMed e Periódicos da CAPES, no período de 1985 a 2004, tendo como ênfase os efeitos desencadeados nos diferentes tecidos, considerando os fatores como forma, frequência, duração e amplitude do pulso, incluindo as modulações e as polaridades pertinentes que foram utilizadas em cada protocolo de tratamento. Conclusão: Os estudos têm apresentado evidências acerca uso da EEAV no tratamento de edema e principalmente de lesões cutâneas crônicas, podendo se tornar um valioso recurso a ser utilizado pelo fisioterapeuta em nosso meio brevemente.

Palavras-chave: estimulação elétrica, alta voltagem, edema, úlceras cutâneas crônicas.

ABSTRACT

High-voltage electrical stimulation: a treatment option

Background: The use of electrical currents for performing therapeutic actions in biological tissues or enabling maintenance of their functions has been extensively recognized as a physical therapy resource in our country. High-voltage pulsed current (HVPC) is a type of therapeutic electrical stimulation extensively used in some European countries and in the United States. The initial research was done in the 1970s. Widespread clinical use of HVPC devices is described in the literature, but their commercialization and utilization in our country are still incipient because of the small quantity of devices available and physical therapy professionals' present level of familiarity with them. Objective: To review the effects of HVPC in different types of physical therapy treatments, thereby contributing towards providing the basis for their clinical application. Method: The literature review was conducted using textbooks, Capes periodicals and the Medline and PubMed databases from 1985 to 2004. Emphasis was given to the effects triggered in different tissues. Factors like waveform, frequency, pulse amplitude and duration were considered, including the modulations and pertinent polarities utilized in each treatment protocol. Conclusion: Studies have presented evidence regarding the use of HVPC in treating edema and, especially, chronic skin wounds. HVPC may soon become an important resource for physiotherapists to use in our environment.

Key words: high voltage pulsed current, edema, chronic skin wounds.

INTRODUÇÃO

A eletroterapia é um recurso terapêutico relevante quando corretamente utilizado para o tratamento de diversas afecções dos tecidos biológicos. Estudo recente¹ apresentou resultados positivos com o uso da eletroterapia por meio das correntes excitomotoras (CE), para a recuperação do músculo esquelético e, conseqüentemente, da função cardiorrespiratória em pacientes portadores de lesões neurológicas importantes como o trauma da medula espinhal. Lamb *et al.* observaram a recuperação da musculatura esquelética de pacientes portadores de fraturas de quadril fixadas cirurgicamente com o uso de CE.² A melhora da resposta muscular também foi observada em indivíduos sedentários saudáveis³ ou em atletas,⁴ acarretando aumento da força e, conseqüentemente, do rendimento.

A aplicação das correntes elétricas para a redução da dor pode ser considerada um capítulo à parte, por se tratar de uma área extensamente explorada tanto na clínica terapêutica quanto nas pesquisas experimentais. Para Gopalkrishnan & Sluka, a hiperanalgesia pode ser obtida com sucesso por meio da estimulação elétrica nervosa transcutânea ante a estímulos térmicos e mecânicos.⁵ Outro campo de aplicação das correntes diz respeito aos processos de cicatrização, em que a efetividade das microcorrentes está descrita.⁶

Existem evidências de que a estimulação elétrica de alta voltagem (EEAV) pode diminuir a dor, facilitar o reparo tecidual e ainda minimizar a severidade de lesões por estresse repetitivo.⁷

Algumas modalidades de correntes elétricas utilizadas pelos fisioterapeutas em sua rotina de trabalho têm a sua eficácia embasada por um grande número de artigos científicos, publicados em importantes periódicos com acesso irrestrito por parte dos profissionais. Essa condição favorável não é observada para a EEAV, pois se trata de uma modalidade terapêutica com uso restrito em nosso país, decorrente da pouca divulgação das suas aplicações associada à oferta restrita de aparelhos disponíveis no mercado nacional, tendo atualmente somente um fabricante. Desta forma, este artigo têm por objetivo revisar a EEAV em suas características quali e quantitativas apresentadas em trabalhos disponíveis nas bases de dados Medline e PubMed e Periódicos da CAPES, no período de 1985 a 2004, tendo como critério de inclusão a menção sobre os efeitos da EEAV desencadeados nos diferentes tecidos. Foram considerados os fatores como forma, frequência, duração e amplitude do pulso, incluindo as modulações e as polaridades pertinentes que foram utilizadas em cada protocolo de tratamento publicado.

As informações foram levantadas nos últimos vinte anos, tendo como palavras-chave os termos: *high volt, edema, wound healing, metabolism, circulation, ulcer, electric*

stimulation. O material foi fichado, ressaltando as informações consideradas de relevância, de forma a abranger e informar o seu conteúdo. Uma vez fichado e organizado por assunto (parâmetros gerais da EEAV, edema, úlcera), o material foi utilizado para a redação do artigo, no qual se pode cruzar e explorar as idéias dos diversos autores.

Os temas serão apresentados separadamente para que se tenha uma visão do atual conhecimento da EEAV sobre os diferentes processos. No entanto, deve-se lembrar que, quando da sua aplicação num determinado segmento corpóreo ou patologia específica, as ações envolvem todos os sistemas simultaneamente.

CARACTERIZAÇÃO DA CORRENTE

Designada inapropriadamente de “Estimulação Galvânica Pulsada de Alta Voltagem – HVGPS”, pode ser encontrada com frequência citada dessa forma na literatura. A contradição encontra-se no termo “Galvânica Pulsada”, visto que a designação galvânica refere-se a uma corrente contínua, unidirecional, portanto, sem pulsos.⁸

A EEAV pode ser descrita qualitativamente como sendo uma corrente pulsada monofásica de pico duplo.⁹ Apresenta uma duração de pulso que pode variar de 5 a 100 μ s (microsegundos), uma amplitude de pico elevada, alta voltagem (acima de 100 V), possibilitando uma estimulação relativamente agradável, capaz de atingir as fibras nervosas sensoriais, motoras e também aquelas responsáveis pela condução de impulsos nociceptivos.^{10,11}

Embora a EEAV seja uma corrente monofásica, os riscos inerentes ao seu uso parecem ser minimizados, pelo fato de a amplitude média da corrente contínua ser muito baixa, atingindo valores que podem variar de 1,2 a 1,5 mA, e carga da fase variando de 12 a 14 μ C. Tanto a amplitude média da corrente contínua quanto os valores de carga da fase mantêm uma relação com os grandes intervalos interpulsos, os quais representam 99% de cada segundo.^{9,10}

PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA A APLICAÇÃO

Para um tratamento adequado utilizando a EEAV são necessárias precauções importantes:

Aparelho utilizado para tratamento – É importante que seja aferido e aponte a graduação real da voltagem no painel, além de oferecer mais de um canal para tratamentos de áreas maiores ou simultâneas.¹⁰

Eletrodos – Devem ter uma ótima capacidade de condução da corrente, podendo ser metálicos, de silicone-carbono ou auto-adesivos. Acompanha o equipamento de EEAV dois ou quatro eletrodos ativos e um dispersivo. De acordo com Nelson *et al.*, a soma das áreas dos eletrodos

ativos não deve exceder a área do eletrodo dispersivo.⁹ O eletrodo dispersivo deve ser posicionado a uma distância de aproximadamente 20 cm do(s) eletrodo(s) ativo(s).^{12,13}

Polaridade do eletrodo ativo – No tratamento de úlceras cutâneas alguns pesquisadores sugerem a estimulação catódica (pólo negativo) durante todo o tratamento,^{12,14} enquanto outros recomendam aplicações alternadas entre os pólos, a cada três ou sete dias de tratamento.^{6,15,16} Para Unger *et al.* e Unger, a estimulação catódica pode exercer efeito bactericida, sugerindo que esta polaridade seja iniciada e mantida até que a lesão apresente uma aparência serosanguínea, devendo-se posteriormente inverter a polaridade.^{17,18} É unânime a opinião de que o tratamento de úlceras cutâneas crônicas deve ser iniciado com o eletrodo ativo posicionado sobre a úlcera com a polaridade negativa.^{12,14,15,16,17,18,19,20}

A identificação exata do problema a ser tratado, baseando-se no diagnóstico da fase em que se encontra a lesão, determinará o protocolo a ser estabelecido.²¹ Nos casos de reabsorção ou contenção de edema utilizando-se a EEAV, não há divergências quanto à utilização da estimulação catódica sobre a lesão, não havendo necessidade de alterações na polaridade da corrente durante o período de tratamento.^{13,22,23,24}

Contra-indicações para o uso da EEAV – Os casos de contra-indicações são citados amplamente em livros textos, muitas vezes não referendados por experimentos específicos para esse fim, servindo alguns mais como uma precaução decorrente da falta de estudos clínicos. Nesse contexto, são citadas altas intensidades em locais próximos ao coração, aplicação direta sobre o seio carotídeo, sobre processos infecciosos, pacientes incapazes de fornecer um *feedback* sensitivo, aplicação sobre útero gravídico, pacientes portadores de tromboflebite, portadores de marcapasso cardíaco de demanda, aplicações próximas a equipamentos de diatermia e ainda pacientes portadores de distúrbios sensitivos ou obesos.^{9,10} Dentre as várias contra-indicações citadas pelos autores, há de se considerar que a influência dos equipamentos de diatermia nos equipamentos de EEAV fica condicionada aos processos de fabricação e manutenção dos mesmos, não se tratando portanto de uma contra-indicação, mas sim de um cuidado relativo ao uso simultâneo desses dois recursos. Em relação aos pacientes incapazes de fornecer um *feedback* sensitivo e aos portadores de distúrbios sensitivos, acreditamos tratar-se de uma recomendação, em que a EEAV pode ser aplicada com intensidade no limiar motor, sem a necessidade de conhecer o limiar sensitivo ou tomando-se certos cuidados, como, por exemplo, a aplicação em um segmento normal do paciente para conhecer o limiar sensitivo e, a partir deste, ter um parâmetro de estimulação. Nos casos dos obesos, especula-se que a alta intensidade necessária para estimulação elétrica neuromuscular pode torná-la desconfortável, fato que não constitui uma contra-indicação.

EFEITOS DA EEAV NO TRATAMENTO DE EDEMA

A utilização da EEAV no tratamento de edema tem sido investigada basicamente em modelos experimentais utilizando-se animais.^{22,23,24}

Mohr *et al.* estudaram os efeitos da EEAV na redução do edema na pata posterior de ratos machos.²² Foram utilizados 40 animais, divididos em dois grupos de 20 (estimulado e controle). Os parâmetros de estimulação foram: duração de pulso (T) de 65 a 75 μ s, frequência (f) de 80 hertz (Hz), amplitude de corrente igual a 40 volts (V), por um tempo de 20 minutos, sendo avaliados após 24, 48 e 72 horas da indução do trauma mecânico. A análise volumétrica pré e pós-tratamento não apontou diferença significativa entre os grupos. A ineficiência do tratamento foi justificada pelos autores pela alta frequência utilizada, que poderia ter limitado o efeito de bomba muscular, melhor observado em frequências menores. Os autores não mencionaram o nível de estimulação, limiar sensitivo ou motor, fato este que poderia efetivamente ter contribuído com os resultados. Outro ponto a ser destacado neste estudo refere-se à voltagem utilizada, 40 V, não representativa da EEAV.

Com o objetivo de investigar a influência da EEAV na prevenção da formação de edema após trauma mecânico, Bettany *et al.* submetem 20 sapos a lesões em hiperflexão de tornozelo, seguida da aplicação catódica da EEAV sobre o edema (T = 75 μ s, f = 120 Hz), em 4 intervenções de 30 minutos com intervalos de uma hora e meia.²⁵ A volumetria foi realizada pré-trauma, imediatamente pós-trauma e pré e pós-intervenção, além de 17, 20 e 24 horas após a indução do trauma, e apontou efetividade da EEAV em todos os períodos avaliados. Seguindo o mesmo delineamento metodológico, os autores observaram também retardo significativo na formação de edema em sapos submetidos a trauma por impacto e tratados com EEAV, em 5 reavaliações feitas ao longo de 24 horas pós-trauma.²⁶

Taylor *et al.* também encontraram diferença significativa na contenção da formação do edema induzido por meio de trauma em 24 sapos utilizando-se EEAV, com estimulação catódica sobre o edema.²⁴ A volumetria do membro tratado foi efetuada pré e pós-indução do trauma mecânico e durante as primeiras 24 horas pós-lesão (1,5, 3, 4,5, 8, 17, 20 e 24 horas). O protocolo utilizado foi T = 5 a 8 μ s, f = 120 Hz, e intensidade de 30 a 40 V, durante sessão única de 30 minutos. Os autores observaram diferença significativa após aplicação imediata, e também 1, 5, 3, 4 e 5 horas após tratamento. Mesmo apresentando resultados positivos, há de se considerar a baixa voltagem utilizada pelos autores, talvez em decorrência de se tratar de animais de pequeno porte, em que os eletrodos utilizados apresentam pequena área.

Analisando outros modelos experimentais, Mendel *et al.* investigaram os efeitos da EEAV na prevenção do edema induzido por trauma em ratos *Zucker lean* e *Sprague dawley* submetidos a trauma direto.²⁷ A volumetria foi realizada pré-trauma, imediatamente e nas quatro primeiras horas após a lesão, demonstrando efetividade da estimulação elétrica. Foi utilizada a estimulação catódica sobre o edema, $T = 5$ a $8 \mu\text{s}$, $f = 120$ Hz, no limiar motor, em quatro tratamentos de 30 minutos.

O pequeno número de estudos envolvendo o uso da EEAV no tratamento de edema em humanos se deve às dificuldades em conseguir um rigor metodológico nos experimentos para se chegar a conclusões precisas. Esse fato está relacionado ao número e padronização da amostra, bem como à inclusão dos pacientes em alguma outra forma de intervenção física ou farmacológica para controle do processo inflamatório e do edema.^{22,23,24,25,26} Nesse contexto, Mendel *et al.* sugerem que os resultados positivos obtidos em experimentos com ratos, além de corroborarem com estudos prévios que utilizaram sapos,^{24,25,26} trazem para a EEAV uma possibilidade terapêutica mais abrangente, visto que os resultados encontrados em animais foram semelhantes aos poucos trabalhos encontrados em seres humanos.²⁷

Mesmo diante de grandes dificuldades metodológicas, Griffin *et al.* realizaram a comparação entre dois protocolos para o tratamento de edema crônico em humanos, porém, com resultados não significativos.¹³ Os autores recrutaram 30 pacientes portadores de edema crônico após trauma de mão, divididos em três grupos iguais: grupo tratado por compressão intermitente pneumática (CIP), grupo tratado por EEAV e grupo placebo. O estudo foi executado com $f = 8$ Hz, modo recíproco, alternando a cada 5 segundos entre o nervo ulnar e mediano, e voltagem capaz de desencadear uma contração muscular leve. Os eletrodos ativos (negativos) foram posicionados sobre o nervo mediano, na fossa anterocubital, e sobre o nervo ulnar, no epicôndilo medial, sendo o eletrodo dispersivo alocado na região posterior do tronco.

Os efeitos atribuídos à EEAV em lesões agudas ou crônicas estão relacionados a parâmetros físicos da corrente, bem como do tempo de intervenção, segundo os resultados de Dolan *et al.*²⁸ Este fato justifica resultados como incremento circulatório linfático e venoso significativos encontrados por alguns autores.^{29,30}

Estudo recente sugere que o linfedema (edema crônico) pós-mastectomia pode ser reduzido significativamente após a aplicação da EEAV.³¹ O protocolo utilizado constou da aplicação monopolar (negativa), 50 Hz, On/Of de 3:9 segundos, subida/descida 2:1 segundos, limiar motor (acima de 100 V), 20 minutos por dia, duas vezes por semana, durante 7 semanas. Os resultados apontaram redução de 8,53% do volume do membro afetado.

Além disso, a EEAV pode ser tão efetiva quanto outras técnicas terapêuticas utilizadas para controle e redução de edema, como, por exemplo, a crioterapia.^{32,33} Quando comparada à imersão em água fria ($12,8^{\circ}\text{C}$) para controle de edema após trauma direto, a EEAV a 120 Hz, $T = 8 \mu\text{s}$, a 90% do limiar motor mostrou-se tão eficaz quanto a imersão isoladamente ou ao uso combinado da EEAV + imersão no controle da formação de edema, sendo que os resultados obtidos com os três protocolos utilizados foram iguais e superiores ao grupo-controle não tratado.

Acredita-se que os resultados positivos obtidos com o uso da EEAV na prevenção do edema não são decorrentes exclusivamente da estimulação sobre o sistema nervoso, já que a estimulação sensorial intensa, ou seja, voltagens inferiores ao limiar motor visível, não desencadeou resultados positivos em tratamentos.^{27,34} Além disso, a estimulação sensorial intensa evocada pela EEAV catódica a 1 Hz não produziu resultados efetivos no tratamento de lesões agudas, ou seja, poucas horas após o trauma.³⁵ Os autores justificam que as características dos estímulos utilizados nestes estudos não foram suficientes para despolarizar uma grande proporção de fibras mielinizadas ou amielinizadas de pequeno diâmetro como as autonômicas ou nociceptivas.

Reed sugere que essa modalidade terapêutica poderia conter a formação de edema, reduzindo o diâmetro de microporos no capilar, além da estimulação sensorial e motora reduzir o escape de Fluoresceína L. Dextrano (que funciona como um simulador de proteínas plasmáticas) dos vasos de ratos, ante a aplicação do mediador químico histamina. Desta forma, a redução no tamanho dos poros da microcirculação poderia restringir a passagem de proteínas e fluidos dos vasos para o interstício, diminuindo, assim, a formação do edema no local de lesão.³⁶

Por outro lado, como mencionado anteriormente, há estudos que apresentam resultados positivos²⁴ ou negativos³⁴ na contenção do edema. Os resultados positivos são justificados pela redução do extravasamento de proteínas plasmáticas do leito vascular para o interstício após lesão.

Mais recentemente, Karnes *et al.* testaram a hipótese de que a EEAV catódica ou anódica poderia de alguma maneira agir sobre o calibre dos vasos, provocando, por exemplo, uma vasoconstrição.³⁷ Os autores verificaram que a estimulação catódica não provocou nenhuma alteração no calibre dos vasos, porém, de acordo com os autores, a estimulação anódica reduziu de maneira significativa o diâmetro das arteríolas quando aplicada abaixo do limiar motor visível com 120 pps e $T = 8 \mu\text{s}$. No entanto, outros estudos sugerem que a estimulação catódica local seja responsável pelos efeitos positivos sobre o edema,^{22,23,24,25,26} sendo que a alteração da permeabilidade vascular é o mecanismo atribuído por Reed.³⁶

Em contrapartida, Fish *et al.* observaram que a polaridade tem extrema importância no tratamento de edemas, já que resultados não significativos foram encontrados com a estimulação anódica sobre o mesmo.²³

Sabendo da importância da polaridade da corrente, Taylor *et al.* realizaram um estudo com o objetivo de determinar os efeitos de vários protocolos de estimulação elétrica no extravasamento de macromoléculas dos capilares de roedores.³⁸ Foram então selecionados 53 animais, divididos em 4 grupos, com inflamação induzida por histamina: grupo 1 controle; grupo 2 tratado com EEAV catódica (90%, 50% e 10% do limiar motor visível – LMV); grupo 3 tratado com EEAV anódica (90% e 50% do LMV); e grupo 4 com aplicação com alternância da polaridade a 90% do LMV. Os parâmetros utilizados foram: $f = 120$ Hz, $T = 5$ a $8 \mu\text{s}$. Os animais anestesiados receberam injeções de Fluoresceína L. Dextrano, sendo o extravasamento molecular determinado por análise computacional de imagens de microscopia de fluorescência, após 5 minutos de tratamento. Os resultados sugerem que o extravasamento foi menor no grupo tratado com EEAV catódica a 90% e 50% do LMV, e também no grupo tratado com EEAV anódica a 90% do LMV. Desta maneira, os autores concluíram que a EEAV catódica e anódica, exceto a corrente alternada, reduzem a formação de edema, diminuindo o extravasamento macromolecular por meio da inibição da permeabilidade vascular, apontando para a importância dos efeitos polares da EEAV.

EFETOS DA EEAV NO TRATAMENTO DE ÚLCERAS CUTÂNEAS

Recentemente, Houghton *et al.* publicaram um interessante artigo que junto com a literatura prévia existente devem servir como guia para o tratamento de úlceras cutâneas crônicas em humanos utilizando a EEAV.¹² Os autores estudaram os efeitos da EEAV na cicatrização de úlceras crônicas de membro inferior, constatando melhora significativa. Para tal utilizaram 27 indivíduos, perfazendo um total de 42 úlceras cutâneas crônicas de diferentes etiologias. Os voluntários foram divididos em subgrupos de acordo com a etiologia primária da ferida (diabetes, insuficiência arterial e insuficiência venosa) e depois distribuídos em dois grupos. Foram utilizados os parâmetros: estimulação catódica, $T = 100 \mu\text{s}$, $f = 100$ Hz e 150 V, por 45 minutos, três vezes por semana, por quatro semanas. O grupo placebo recebeu o mesmo protocolo, com exceção de alta voltagem. Os resultados foram quantificados por meio

de medidas da área e registro fotográfico das úlceras nos seguintes períodos: avaliação inicial, após duas semanas (período controle), antes do início dos tratamentos, uma vez por semana durante quatro semanas e após o final do tratamento. Os resultados revelaram que a EEAV reduziu em quase metade de seu valor inicial a área das feridas tratadas ($44,3\% \pm 8,8\%$), em relação ao grupo-controle ($16,0\% \pm 8,9\%$).

Kloth & Feeder trataram 19 feridas de etiologias diferentes até a cicatrização completa que ocorreu em 7,3 semanas.³⁹ Foi utilizada inicialmente a estimulação catódica sobre a lesão, a qual foi invertida posteriormente. Unger *et al.* também observaram com o mesmo protocolo redução de 88,9%, em uma amostra de 17 voluntários portadores de úlcera de pressão, distribuídas em dois grupos, estimulado e controle.¹⁷

Gardner *et al.* conduziram um estudo tipo metanálise, no qual concluíram que a estimulação elétrica de uma forma geral é efetiva no reparo de lesões crônicas.⁴⁰ Os autores analisaram 28 estudos, dentre os quais 15 contemplavam os critérios propostos. Dentre as correntes utilizadas observam-se a contínua e as alternadas. Em todos os casos foi analisada a taxa de cicatrização semanal, em que se observou que a velocidade de cicatrização semanal foi em média de 22% para o grupo estimulado e de 9% para o controle. Os autores descrevem como limitações do estudo a heterogeneidade das amostras, a falta de informações como o estado nutricional do paciente, a perfusão tecidual, nível de contaminação bacteriana, diferentes períodos de tratamentos, bem como diferentes níveis de intensidade.

Estudos com a aplicação da EEAV, ainda não publicados, desenvolvidos por nosso grupo de pesquisa em pacientes portadores de úlceras crônicas de diferentes etiologias, têm mostrado os grandes benefícios dessa corrente no processo de cicatrização. A Figura 1 mostra os resultados qualitativos obtidos em um dos pacientes com uma úlcera de decúbito na região sacral, tendo na imagem A a colocação dos eletrodos, o ativo (negativo) posicionado sobre a úlcera, interposto com gaze estéril embebida em soro fisiológico, e o dispersivo fixado na região posterior direita do tórax.

A imagem B representa a avaliação fotográfica inicial (9/9/2003), sendo que após 13 dias foram iniciadas as aplicações utilizando-se o equipamento de estimulação pulsada de alta voltagem, modelo Neurodyn High Volt® (IBRAMED®¹¹), com os seguintes parâmetros: $T = 10 \mu\text{s}$, $f = 100$ Hz, 180 volts, 3 vezes por semana, totalizando 21 aplicações. As imagens C e D mostram a evolução do processo de cicatrização.

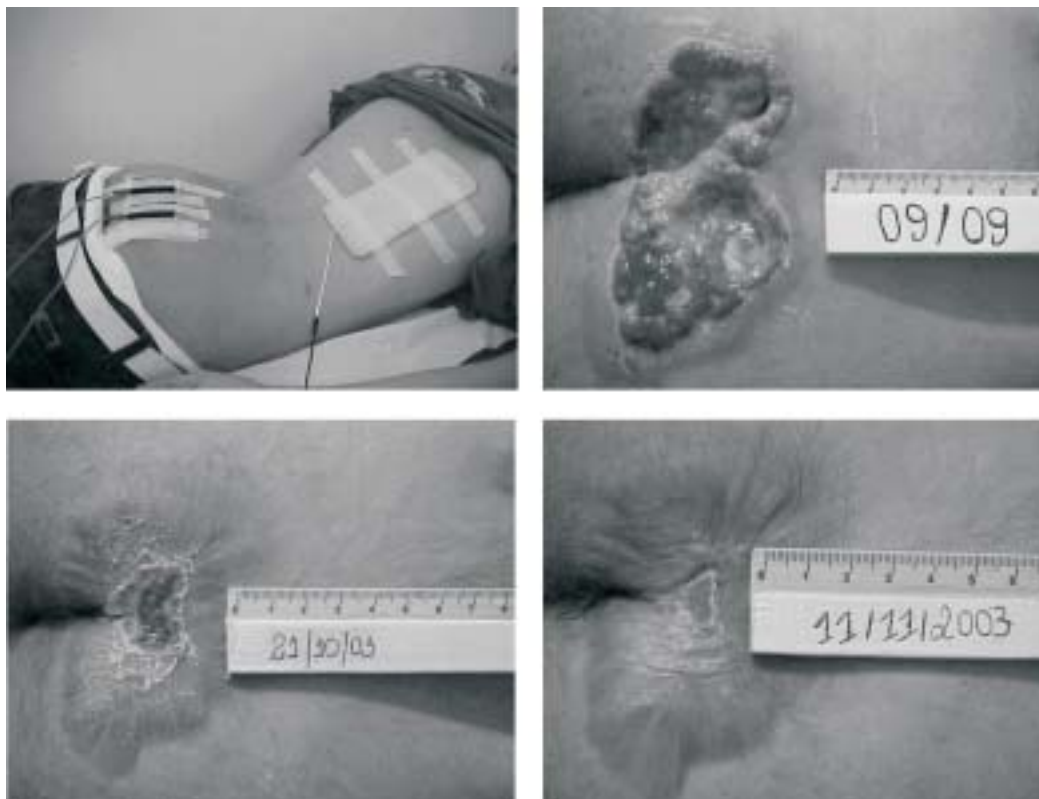


Figura 1. Análise qualitativa da úlcera de pressão após aplicação da estimulação elétrica de alta voltagem. A) disposição dos eletrodos para o tratamento (1 – eletrodo dispersivo e 2 – eletrodo ativo com a polaridade negativa), B) avaliação inicial, C) reavaliação após 15 sessões e D) reavaliação após 21 sessões.

Os mecanismos pelos quais a EEAV promove a cicatrização de úlceras cutâneas não estão totalmente esclarecidos, porém, uma das hipóteses mais provável para explicar o sucesso dos tratamentos parece estar relacionada ao efeito bactericida promovido por esse recurso terapêutico.⁴¹ Especula-se que as mudanças eletroquímicas são as principais responsáveis por esse efeito, pois parecem ocasionar mudanças no pH, geração de calor localizado e, por fim, o recrutamento de fatores antimicrobianos já presentes no organismo. Visto que a quantidade de estudos existente na literatura a respeito desse tema é bastante limitada, a necessidade de novos estudos é evidente, devido à grande incidência desse tipo de lesão em nosso país.⁴²

Nesse mesmo contexto, Szuminsky *et al.* realizaram um estudo com o objetivo de investigar a ação bactericida *in vitro* da EEAV nas duas polaridades ($T = 7 \mu s$, $f = 120$ Hz, 500 V, por 30 minutos), em diferentes espécies de bactérias, com o eletrodo ativo posicionado a 3 cm das culturas de bactérias. Nos resultados, os autores demonstraram efeitos bactericidas nos dois pólos.⁴¹

A outra hipótese refere-se ao aumento circulatório. Visando a analisar a capacidade da EEAV em aumentar a microcirculação em úlceras cutâneas crônicas isquêmicas, Goldman *et al.* investigaram a pressão transcutânea de oxigênio (PTO_2) de lesões cutâneas não tratadas cirurgicamente na região maleolar e inframaleolar, sendo o membro contralateral utilizado como controle.⁴³ Foram estudados 3 homens e 3 mulheres com PTO_2 menor que 10 mmHg. Os resultados obtidos sugerem que a EEAV pode melhorar a microcirculação ao redor da úlcera, já que a PTO_2 apresentou um aumento estatisticamente significativo (2 ± 2 mmHg pré-tratamento para 33 ± 18 mmHg pós-tratamento). Os autores ainda sugerem que, para o reparo deste tipo de lesão, a PTO_2 mínima deve ser de 20 mmHg.

Desta maneira, pode-se notar que os mecanismos que levam à cicatrização de úlceras cutâneas crônicas tratadas com EEAV ainda não estão totalmente elucidados, mas duas hipóteses prováveis para a ocorrência dos resultados positivos seriam as alterações eletroquímicas no local da úlcera, bem como o aumento da microcirculação da região.

CONCLUSÕES

A aplicação do uso de EEAV suscita diversas questões ainda em investigação. Parece que, apesar da pequena quantidade de estudos em seres humanos, os seus efeitos clínicos são relevantes. Fato este justificado pelos resultados positivos obtidos pelos recentes trabalhos clínicos efetuados, que se baseiam nos mecanismos intrínsecos da atuação da EEAV, tanto no edema como em úlceras.

A maioria dos experimentos realizados até o momento com a EEAV priorizou a ação circulatória e regenerativa, entretanto, outras condições poderão responder satisfatoriamente à estimulação. Nesse contexto, destaca-se o tratamento da dor que, pelo atual nível de conhecimento, também pode se beneficiar da EEAV.

Independentemente das controvérsias, é possível chegar a algumas conclusões já estabelecidas mediante experimentos quanto à aplicação da EEAV: o efeito circulatório é mais efetivo quando é aplicada a estimulação catódica no limiar motor; a reparação de lesões teciduais abertas ocorre com maior velocidade com o eletrodo aplicado sobre a lesão, com alternância da polaridade, iniciando-se com a aplicação catódica.

Os estudos apresentados na literatura, envolvendo animais, sugerem efetividade da EEAV em diversos distúrbios, alguns já confirmados em seres humanos. Contudo, a transposição desses resultados para outros processos requererá novos estudos que confirmem tais achados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wheeler GD, Andrews B, Lederer R, Davoodi R, Natho K, Weiss C, et al. Functional electric stimulation-assisted rowing: increasing cardiovascular fitness through functional electric stimulation rowing training in persons with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 1093-99.
2. Lamb SE, Oldham JA, Morse RE, Evans JG. Neuromuscular stimulation of the quadriceps muscle after hip fracture: a randomized controlled trial. *Arch Phys Méd Rehabil* 2002; 83: 1087-92.
3. Guirro R, Nunes CV, Davini R. Comparação dos efeitos de dois protocolos de estimulação elétrica neuromuscular sobre a força muscular isométrica do quadríceps. *Revista de Fisioterapia da Universidade de São Paulo* 2000; 7(1/2): 10-15.
4. Pichon F, Chatard, JC, Martin A, Cometti G. Electrical stimulation and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27(12): 1671-76.
5. Gopalkrishnan P, Sluka KA. Effect of varying frequency, intensity, and pulse duration of transcutaneous electrical nerve stimulation on primary hyperalgesia in inflamed rats. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; 81: 984-990.
6. Feedar JA, Kloth LC, Gentzkow GD. Chronic dermal ulcer healing enhanced with monophasic pulsed electrical stimulation. *Phys Ther* 1991; 71: 639-49.
7. Stralka SW, Jackson JA, Lewis AR. Treatment of hand and wrist pain: A randomized clinical trial of high voltage pulsed, direct current built into a wrist splint. *AAOHN Journal* 1998; 46(5): 233-36.
8. Ralston DJ. High voltage galvanic stimulation: Can there be a "state of art?". *Athletic Training* 1985; 2: 291.
9. Robinson AJ, Snyder-Mackler L. *Clinical electrophysiology: electrotherapy and electrophysiology testing*. Ed. Williams & Wilkins, 1995.
10. Nelson RM, Hayes KW, Currier DP. *Clinical Electrotherapy*. Prentice Hall, 1999.
11. Kantor G, Alon G, Ho HS. The effects of selected stimulus waveform on pulse and phase characteristics at sensory and motor thresholds. *Phys Ther* 1994; 74: 951-62.
12. Houghton PE, Kincaid CB, Lovell M, Campbell KE, Keast DH, Gail-Woodbury M, et al. Effect of electrical stimulation on chronic leg ulcer size and appearance. *Phys Ther* 2003; 83: 17-28.
13. Griffin JW, Newsome LS, Stralka SW, Wright PE. Reduction of chronic posttraumatic hand edema: A comparison of high voltage pulsed current, intermittent pneumatic compression, and placebo treatments. *Phys Ther* 1990; 70: 279-86.
14. Griffin J, Tooms RE, Mendius RA, Clift JK, Vander Zwag R, Elzaky F. Efficacy of high voltage pulsed current for healing of pressure ulcers in patients with spinal cord injury. *Phys Ther* 1991; 71(6): 433-44.
15. Gentzkow GD, Pollac SV. Improved healing of pressure ulcers using dermapulse, a new electrical stimulation device. *Wounds* 1991; 3: 158-160.
16. Gentzkow GD, Miller KH. Electrical stimulation for dermal wound healing. *Clin Podiat Med Surg* 1991; 4: 827-841.
17. Unger P, Eddy J, Raimastry AS. A controlled study of the effect of high voltage pulsed current (HVPC) on wound healing. *Phys Ther* 1991; 71, Suppl: 119.
18. Unger PC. Randomized clinical trials of the effect of high voltage pulsed current on wound healing. *Phys Ther* 1991; 71, Suppl: 118.
19. Baker LL, Chambers R, DeMuth SK, Villar F. Effects of electrical stimulation on wound healing in patients with diabetic ulcers. *Diabetes Care* 1997; 20(3): 1-8.
20. Lundeberg TCM, Erikson SV, Mats M. Electrical stimulation improves healing of diabetic ulcers. *Ann Plast Surg* 1992; 71: 328-330.
21. Sussman C, Bates-Jensen BM, Tiffany M. The diagnostic process. *Clin Phys Physiol Meas* 1998; 1(87): 175.
22. Mohr TM, Aker T, Landry RG. Effect of high voltage stimulation on edema reduction in the rats hind limb. *Phys Ther* 1987; 67(11): 1703-707.
23. Fish D, Mendel FC, Schultz AM, Gottstein-Yerke LM. Effect of anodal high voltage pulsed current on edema formation in frog hind limbs. *Phys Ther* 1991; 71(10): 724-33.
24. Taylor K, Fish DR, Mendel FC, Burton HW. Effect of a single 30-minute treatment of high voltage pulsed current on edema formation in frog hind limbs. *Phys Ther* 1992; 72: 63-8.

25. Bettany JA, Fish DR, Mendel FC. High-voltage pulsed direct current: effect on edema formation after hyperflexion injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; 71: 677-681.
26. Bettany JA, Fish DR, Mendel FC. Influence of high voltage pulsed direct current on edema formation following impact injury. *Phys Ther* 1990; 70: 219-224.
27. Mendel FC, Wylegala JA, Fish DR. Influence of high voltage pulsed current on edema formation following impact injury in rats. *Phys Ther* 1992; 72: 673-688.
28. Dolan MG, Mychaskiw AM, Mendel FC. Cool-water immersion and high-voltage electric stimulation curb edema formation in rats. *J Athl Train* 2003; 38(3): 225-230.
29. Peters EJ, Lavery LA, Armstrong DG, Fleichili JG. Electric stimulation as an adjunct to heal diabetic foot ulcers: a randomized clinical trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82(6): 721-725.
30. Goldman R, Brewley B, Zhou L, Golden M. Electrotherapy reverse inframalleolar ischemia: a retrospective observational study. *Adv Skin Wound Care* 2003; 16(2): 79-89.
31. Garcia LB. Estudo comparativo dos efeitos da estimulação elétrica de alta voltagem e da massagem de drenagem linfática no linfedema pós-mastectomia [dissertação]. Piracicaba, SP: Universidade Metodista de Piracicaba; 2004.
32. Dolan MG, Mychaskiw AM, Mattacola CG. Effects of cool-water immersion and high-voltage electric stimulation for 3 continuous hours on acute edema in rats. *Journal of Athletic Training* 2003; 38(4): 325-29.
33. Dolan MG, Mychaskiw AM, Mendel FC. Cool-Water immersion and high-voltage electric stimulation curb edema formation in rats. *Journal of Athletic Training* 2003; 38(3): 225-230.
34. Karnes JL, Mendel FC, Fish DR. Effects of low voltage pulsed current on edema formation in frog hind limbs following impact injury. *Phys Ther* 1992; 72: 273-78.
35. Taylor K, Fish DR, Mendel FM, Burton HW. Effect of electrically induced muscle contractions on posttraumatic edema formation in frog hind limbs. *Phys Ther* 1992; 72: 127-132.
36. Reed BV. Effect of high voltage pulsed electrical stimulation on microvascular permeability to plasma proteins. *Phys Ther* 1988; 68(4): 491-95.
37. Karnes JL, Mendel FC, Fish DR, Burton HW. High-voltage pulsed current: its influence on diameters of histamine-dilated arterioles in hamster cheek pouches. *Arch Phys Med Rehabil* 1995; 76: 381-86.
38. Taylor K, Mendel FC, Fish DR, Hard R, Burton HW. Effect of high-voltage pulsed current and alternating current on macromolecular leakage in hamster cheek pouch microcirculation. *Phys Ther* 1997; 77(12): 1729-40.
39. Kloth LC, Feeder J. Acceleration of wound healing with high voltage, monophasic, pulsed current. *Phys Ther* 1988; 68(5): 503-508.
40. Gardner SE, Frantz RA, Schmidt FL. Effect of electrical stimulation on chronic wound healing: a meta-analysis. *Wound Rep Reg* 1999; 7: 495-503.
41. Szuminsky NJ, Albers AC, Unger P, John GE. Effect of narrow, pulsed high voltages on bacterial viability. *Phys Ther* 1994; 74(7): 660-67.
42. Gonçalves G, Parizotto NA. Fisiopatologia da reparação cutânea: atuação da fisioterapia. *Rev Bras Fisiot* 1998; 3: 5-13.
43. Goldman RJ, Brewley BI, Golden MA. Electrotherapy reoxygenates inframalleolar ischemic wounds on diabetic patients: a case series. *Adv Skin Wound Care* 2002; 15(3): 112-120.