

# Efectos de la estimulación eléctrica sobre el proceso de cicatrización de las heridas

Maria Cristina Sandoval Ortiz<sup>1</sup>, Esperanza Herrera Villabona<sup>1</sup>

La estimulación eléctrica ha sido utilizada durante muchos años para facilitar el proceso de cicatrización de heridas. En la literatura se encuentra referencia de los efectos de esta intervención en úlceras generadas por presión, por insuficiencia vascular, por trauma, por diabetes o por cirugías. Se han propuesto diversos mecanismos de acción que tratan de explicar el efecto de la estimulación eléctrica. Entre ellos están el incremento en la circulación, la disminución del edema, el aumento en la migración de las células epiteliales, los neutrófilos y los macrófagos, la inhibición de los mastocitos, la estimulación de la síntesis de DNA, y el incremento de los factores de crecimiento. También se sugieren el aumento en la producción de los fibroblastos y en los niveles de colagenasa, la inhibición bacteriana, el aumento en el debridamiento y la restauración del potencial bioeléctrico de cicatrización. El objetivo de la presente revisión es con base en la evidencia disponible realizar el análisis de algunos de los mecanismos que se proponen para determinar el efecto de la estimulación eléctrica sobre el proceso de cicatrización. *SaludUIS 2007; 39:54-61*

**Palabras clave:** estimulación eléctrica, cicatrización, heridas

The electrical stimulation had been used for a long time to help the wound healing process, mainly in pressure ulcer, vascular insufficiency, trauma, diabetes or surgery. There are various mechanisms proposed for explaining this effects, such as the increase in the circulation, decrease of edema, the increase in the migration of epithelial cells, neutrophils and macrophages, the inhibition of mastocyt, the stimulation of syntesis of DNA and growth factors. Other mechanisms are the increase in the production of fibroblasts and the collagenase levels, the bacterial inhibition, the increase in the debridment and the restoration of bioelectric potential of healing. The main objective of this review is to analyze some proposed mechanisms for determine the effect of electric stimulation on the healing process. *SaludUIS 2007; 39:54-64*

**Key words:** electrical stimulation, wound healing, bioelectric potentials

## 1. POSIBLES MECANISMOS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE CICATRIZACIÓN

### 1.1 Potenciales bioelectricos y corrientes endogenas

Investigadores han demostrado a través de mediciones objetivas en modelos animales y en humanos, la presencia de sistemas bioeléctricos endógenos.<sup>1-3</sup> A su vez las células se hallan agrupadas en complejos grupos de “baterías vivientes”, las cuales colectivamente generan en los tejidos potenciales en el orden de los milivoltios, lo que produce microamperios de corriente en los fluidos intersticiales. Estas microcorrientes endógenas generan un sistema bioeléctrico de corriente directa, hipotetizado por Becker,<sup>3</sup> el cual juega un importante papel en la salud de los tejidos del ser humano.

Fould y Barker<sup>4</sup> reportaron en su estudio la presencia de un permanente gradiente eléctrico entre la dermis y el estrato córneo, lo que producía potenciales de batería de la piel, los cuales habían sido determinados en estudios previos<sup>5</sup> (Figura 1), de forma tal que las cargas positivas se hallaban distribuidas a lo largo de la columna vertebral, mientras que las negativas se encontraban en la periferia. Este voltaje subcutáneo oscila entre 8 y 60 mV. (carga promedio de -23.4 mV), siendo mayor en las extremidades y en las capas superficiales de la piel, así mismo, es creado por las bombas de sodio en la membrana plasmática de las células epidermales y por el ión cloro predominante en la superficie cutánea. Los posibles conductores de estas corrientes endógenas son el sistema nervioso y el sistema circulatorio, específicamente los capilares de los vasos.

Cuando la piel es lesionada, la batería epidermal es interrumpida generando un flujo de corriente a través de la región subepidermal, fuera de la herida y retornando nuevamente a la batería por el flujo a través del estrato córneo y la dermis.<sup>6</sup> Esta es la denominada corriente de lesión que también modifica su polaridad a positiva y produce un potencial transepitelial que es bajo en la herida y se incrementa hasta normalizarse a medida que se

<sup>1</sup>M.Sc Docente Universidad Industrial de Santander – Escuela de Fisioterapia

Dirección para correspondencia: Maria cristina sandoval ortiz  
Kra. 32 No. 29 – 32

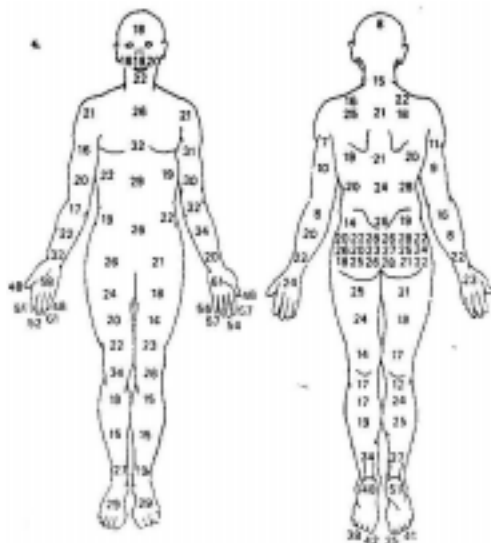
Universidad Industrial de Santander - Escuela de Fisioterapia  
Bucaramanga – Colombia

Email: sandoval@uis.edu.co

**Recibido:** Agosto 11 2006 **Aceptado:** Febrero 1 2007

distancia de la lesión.<sup>7</sup> Becker<sup>8</sup> propuso que la corriente anódica aumenta la cicatrización de úlceras dérmicas resultante de la habilidad del estímulo para amplificar esta corriente de lesión. Además hipotetizo que la entrada de una señal de error al sistema nervioso central puede proporcionar una señal de retorno neural que activa un mecanismo para crecimiento y reparación de tejido.

El borde de la herida está caracterizado por un gradiente de voltaje de más de 200 mV/mm y una corriente de 1 a 1,5  $\mu$ A de corriente por milímetro de circunferencia de la herida la cual fluiría a través del circuito creado, llegando a las capas subcorneales.<sup>2</sup> Esto significa que las células están situadas en un campo eléctrico. Esta corriente se transporta sólo cuando la herida está húmeda, puesto que cuando está seca se produce una alta resistividad con la consecuente cesación de la corriente iónica.<sup>6</sup>



**Figura 1.** Potenciales bioeléctricos en el ser humano<sup>2</sup>

El significado fisiológico de estos gradientes laterales no es completamente conocido, pero se cree que tienen una importante función en el proceso de cicatrización porque ayudan a guiar los movimientos celulares hasta el cierre de la herida.<sup>6</sup> Esta guía la realizan por medio de la modificación en la orientación, migración y proliferación de células tales como los fibroblastos y los queratinocitos.<sup>9,10</sup>

Como el epitelio en el borde de la herida está en contacto con el fluido de la herida, la caída del voltaje es abrupta con un potencial transepitelial bajo como se indicó previamente. En los 2 a 3 mm alrededor del borde de la herida en la piel intacta permanece el potencial dérmico. Este gradiente lateral actúa como un estímulo mitótico en el borde de la lesión y las células epiteliales comienzan a crecer a través de la herida hasta que encuentran el

lado opuesto. Una vez se unen la integridad de la superficie es restablecida y el gradiente lateral desaparece<sup>5</sup>. Posteriormente el grosor de la cicatriz se va logrando desde las capas superficiales, que poseen mayor gradiente lateral, a las capas profundas.

Este último proceso es conflictivo con los resultados de Jercinovic y col.,<sup>11</sup> quienes encontraron en su estudio *in vitro* con cultivos de queratinocitos que la corriente directa de 0.2 mA aplicada durante 1 hora diaria por 11 días no aceleraba la cicatrización bajo el cátodo y por el contrario se observaba inhibición de la proliferación celular bajo el ánodo. Este último fenómeno al parecer fue atribuido a los cambios en el PH observados en el área.

## 1.2 Efecto bactericida

Teniendo en cuenta que el proceso de cicatrización de una herida es retrasado cuando hay presencia de infección, se han realizado diversos estudios *in vitro*, reportándose el efecto de la corriente eléctrica para la inhibición o destrucción de los agentes patógenos. En un estudio realizado *in vitro* Barranco et al.,<sup>12</sup> encontraron que corrientes de 0,4 a 400 mA inhibieron el crecimiento de estafilococos. Además este efecto mejoró cuando se utilizó un electrodo de plata, pues éste generó el más alto nivel de inhibición y los menores índices de toxicidad. Rowley, et al.,<sup>13</sup> estudiaron heridas infectadas con *pseudomona aeruginosa*, presentes en conejo, mostrando disminución de la proliferación bacteriana, al utilizar EAV con polaridad negativa.

Kincaid y Lavoie<sup>14</sup> también en un estudio *in vitro* encontraron que la aplicación de estimulación eléctrica de alto voltaje con polaridad negativa inhibió tres microorganismos presentes en heridas humanas: *escherichia coli*, *pseudomona aeruginosa* y *estafilococo aureus*. La corriente fue aplicada con voltajes de 150, 200, 250 y 300 V por 1,2,3 y 4 horas a 120 pps, observando destrucción de bacterias a partir de los 250V usada por dos horas. Los análisis de los datos mostraron una relación lineal positiva entre el voltaje y la duración de la exposición, es decir a más intensidad y más tiempo de aplicación mayor inhibición de los microorganismos. Sin embargo al extrapolar estos resultados en humanos se dificulta el uso de este protocolo por la tolerancia a estas intensidades.

En una reciente investigación Merriman y col.<sup>15</sup> evaluaron la efectividad de cuatro tipos de corriente sobre el crecimiento bacteriano *in vitro* de estafilococo aureus por 1 hora durante 3 días consecutivos. Se utilizaron

estimulación eléctrica de alto voltaje con 250 V y 100 pps, corriente directa continua a 500 $\mu$ Amp, corriente pulsada bifásica simétrica de bajo voltaje y corriente pulsada monofásica de bajo voltaje a 30 mA y 128 pps. Los resultados mostraron efectos generados por el tipo de estimulación pero no por la polaridad o el día de aplicación; así la mayor inhibición fue generada por la estimulación eléctrica de alto voltaje seguida por la corriente directa continua; las dos corrientes monofásica y bifásica simétrica de bajo voltaje produjeron la menor inhibición del crecimiento bacterial.

Los principales mecanismos propuestos en relación con el efecto bactericida son los siguientes<sup>8</sup>:

- Supresión de los mecanismos de difusión – regulación en la membrana protectora de la célula bacteriana, lo que conlleva a su destrucción.
- Galvanotaxis: este mecanismo se ha propuesto en varios estudios *in vitro*; consiste en la atracción de células al ánodo y al cátodo. Al parecer los macrófagos migran para el ánodo y el cátodo, mientras que los leucocitos migran al cátodo en las regiones donde la infección y la inflamación están presentes.

El mecanismo antibacteriano no está totalmente claro, pues no se han detectado cambios químicos (acidez o alcalinidad) en las áreas bajo el electrodo, en tanto que se ha encontrado aumento del oxígeno subcutáneo bajo el ánodo, cuando se pasa una corriente en microamperios (0.3 Hz) a través de los electrodos. Por lo anterior, al parecer el oxígeno, más que la polaridad, es la responsable de los efectos bactericidas.<sup>8</sup>

Este efecto requiere la realización de trabajos en seres humanos para determinar la capacidad de la corriente para la destrucción de agentes patógenos, lo cual sería una herramienta valiosa para el manejo de las úlceras.

### 1.3 Incremento del flujo sanguíneo

Al parecer la estimulación eléctrica de alto voltaje (EAV) acelera el debridamiento y la trombosis de los tejidos. El debridamiento es facilitado si el tejido necrótico es solubilizado, lo cual puede ser conseguido a través de corriente de polaridad negativa, permitiendo la reperfusión rápida de los tejidos; igualmente los hematomas pueden ser disueltos luego de la aplicación de corriente de la misma polaridad. Así, el uso de la estimulación eléctrica reinicia el proceso de cicatrización.<sup>8</sup>

Uno de estos efectos fue comprobado a través de la determinación de los efectos de la electroestimulación

transcutánea sobre la composición del exudado de la piel.<sup>16</sup> El estudio fue realizado en sujetos sanos a quienes se les realizaba una lesión en la dermis del antebrazo y luego se trataban con un pulso rectangular de 100 Hz, 1 mseg de duración, con una intensidad de 3 a 35 mA aplicados durante 30 minutos. Se observó un incremento de los granulocitos en un 63.5% en los sujetos que recibieron máxima estimulación comparados con un 44.7% de células en los que no recibieron estimulación. Este proceso se puede explicar por la mayor movilidad espontánea generada por la corriente.

Mohr T y cols.<sup>17</sup> publicaron un estudio en donde se analizaron los efectos de la estimulación eléctrica de alto voltaje en el flujo sanguíneo del miembro posterior en ratas, siendo utilizadas cuatro diferentes tipos de frecuencias (2, 20, 80 y 120 pps) y ambas polaridades. Los autores encontraron que cada uno de los pulsos causó aumento significativo en la velocidad del flujo sanguíneo, pero los 20 pps produjeron el mayor incremento ( $p < 0.01$ ), además los cambios en la velocidad del flujo sanguíneo ocurrieron en menos de un minuto después de finalizada la sesión de estimulación. Ambas polaridades dieron incrementos significativos, pero el pulso negativo produjo mayor aumento en la velocidad del flujo sanguíneo. El miembro posterior sin estimular no presentó cambio alguno.<sup>17</sup>

Carlso y cols.<sup>18</sup> en 1988 realizaron un ensayo clínico controlado, cuyo propósito fue determinar si la estimulación eléctrica de alto voltaje podía incrementar el flujo sanguíneo en músculos plantiflexores de sujetos sanos. Como conclusiones del estudio se determinó que la estimulación eléctrica de alto voltaje a 30 Hz en intensidades necesarias para producir contracciones de 10% o 30% de contracción isométrica voluntaria máxima, no incrementó el flujo sanguíneo en músculos de la pantorrilla de sujetos sanos y no apoya el uso clínico de estimulación eléctrica con alto voltaje bajo los parámetros descritos en este estudio.<sup>18</sup>

Tracy J E y cols.<sup>19</sup> compararon los efectos de diferentes frecuencias, 1, 10, 20 y 50 pps seleccionadas de 2 estimuladores diferentes de corriente pulsada, en el flujo sanguíneo en 30 sujetos sanos, con edades entre 18 y 35 años, con un tiempo de aplicación de 10 minutos y un ciclo de trabajo de 4 segundos on y 4 segundos off durante 8 sesiones de estimulación. La intensidad permitía obtener un nivel de torque proporcional al 15% de la contracción voluntaria máxima del músculo cuádriceps (vasto lateral y medial). Los autores encontraron que el flujo sanguíneo aumentó en la arteria femoral con las frecuencias de 20 y 10 pps

respectivamente ( $p < 0,0479$ ), además este incremento ocurrió 5 minutos después de aplicada la estimulación.<sup>19</sup>

Goldman y cols<sup>20</sup> realizaron un estudio con seis sujetos diabéticos con isquemia inframaleolar, cuyo objetivo fue evaluar la capacidad de la estimulación de alto voltaje con corriente pulsada para lograr un incremento de la microcirculación en heridas isquémicas críticas y promover la cicatrización de las mismas. Fue medida periódicamente el área de las heridas, la TcPO<sub>2</sub> y el flujo sanguíneo. Se aplicó una frecuencia de 100 pps, con intensidades entre 80 hasta 330 voltios, durante una hora al día por siete días a la semana. Inicialmente la polaridad fue negativa y se utilizaron electrodos activos sobre la herida y un electrodo dispersivo alejado de la herida, en la extremidad ipsilateral. Los resultados mostraron incremento de la TcPO<sub>2</sub> (promedio 33 mmHg y una DE de 18 mmHg), con cerrado total de las úlceras en cuatro pacientes ( $p < 0.05$ ), los dos restantes fueron amputados pues no hubo aumento de la TcPO<sub>2</sub> alrededor de la herida a causa de los problemas vasculares periféricos de base.<sup>20</sup>

Otro estudio con pacientes diabéticos fue el de Peters y col.<sup>21</sup> quienes evaluaron el efecto de la estimulación eléctrica galvánica sobre la perfusión vascular, medida a través de la presión del oxígeno transcutáneo. La corriente fue monofásica doble pico y se aplicó en un nivel subsensorial, con 100 Hz por 60 minutos. En los sujetos que presentaron alteración de la perfusión periférica se encontró un aumento significativo de la oxigenación del tejido en los primeros cinco minutos de estimulación, comparado con el grupo control; de otro lado los pacientes que no mostraron alteración en la perfusión periférica no presentaron ninguna variación de la oxigenación del tejido. Así mismo, este efecto no se mantenía en el día sugiriendo que la estimulación eléctrica con las características mencionadas induce un aumento transitorio en la perfusión de la piel en pacientes diabéticos con alteración de la perfusión vascular.<sup>21</sup>

## 2. ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA PARA PROMOVER EL PROCESO DE CICATRIZACIÓN

Existe un buen número de trabajos cuyo objetivo fue determinar el efecto de la estimulación eléctrica en el proceso de cicatrización de úlceras.

Michael J Im y cols<sup>22</sup> realizaron un estudio en 12 cerdos, a quienes se les practicaron heridas quirúrgicas a ambos lados del cuerpo, para obtener colgajos de piel que fueron insertados en el mismo lado de su resección, siendo uno de los lados considerado como control y el otro era tratado. Observaron que los colgajos presentaban

isquemia en la parte central y al ser reinsertados a su lugar de origen, mostraban una súper-perfusión en los bordes que aumentaba la probabilidad de isquemia debido a la hipoxia momentánea y una subsecuente irrigación sanguínea que llevaba consigo gran cantidad de radicales libres producidos por reacciones oxidativas, que destruían aun más el tejido. Aplicaron estimulación eléctrica 2 veces por día durante nueve días con una frecuencia de 128 Hz y una amplitud de 35mA por treinta minutos al día. La polaridad usada fue negativa en los primeros 3 días, positiva en los siguientes 3 y nuevamente negativa en los últimos 3 días. Los resultados mostraron áreas de necrosis sólo de 13,2% en los animales tratados, a diferencia de 28% en los animales control, lo que generó una mayor cicatrización estadísticamente significativa.<sup>22</sup>

En otro trabajo realizado en cerdos con lesiones de espesor parcial, se encontró que la corriente directa aceleró la reparación dérmica y epidérmica en heridas superficiales y aumentó en 109% la producción de colágeno, sin embargo no se afectó la maduración o remodelación de éste. Los parámetros utilizados se aplicaron siguiendo un protocolo de intensidad que disminuía gradualmente desde 300 mA hasta 50 mA, durante un período de tratamiento que fue de 24 horas. En este caso el electrodo colocado sobre la herida fue el ánodo.<sup>23</sup>

Brown M y cols.<sup>24,25</sup> publicaron dos estudios en donde analizaron los efectos de la estimulación eléctrica pulsada monofásica de alto voltaje en la cicatrización de heridas provocadas quirúrgicamente en el dorso de conejos. En los dos protocolos la corriente fue aplicada dos veces al día, con una duración de 2 horas, fase de pulso de 100 microsegundos y una frecuencia de 80 pulsos por segundo además de un voltaje que varió entre 30 y 60 voltios hasta obtener una contracción palpable. Los conejos (44) fueron divididos en dos grupos, control y el otro tratado, subdivididos a su vez en un grupo control y tratamiento por 4 días y un grupo control y tratamiento por 7 días. La diferencia entre los dos estudios fue la polaridad, pues en uno de ellos fue positiva mientras en el otro fue negativa. En el primer caso,<sup>24</sup> los autores encontraron retraso en la cicatrización para el grupo de cuatro días que recibió tratamiento (50%) comparado con el grupo control (78%), a diferencia del grupo tratado por 7 días donde la tendencia fue a la aceleración de la cicatrización (50-80%)<sup>7</sup> con índices mayores de fuerza tensil. En el protocolo donde fue usada la polaridad negativa el grupo tratado por 4 días presentó una fuerza tensil 36% más alta que el grupo control, a diferencia del grupo de 7 días donde el grupo control mostró un mayor cierre de la herida acompañado de mayor fuerza tensil.<sup>25</sup>

Estos trabajos permiten concluir que la polaridad positiva está contraindicada en los primeros cuatro días en heridas quirúrgicas, pues generó mejores efectos la polaridad negativa, pero a su vez esta última no fue efectiva después de este periodo, produciendo aceleración de la cicatrización la polaridad positiva.<sup>24,25</sup>

Otro trabajo que evaluó el efecto de la polaridad sobre el proceso de cicatrización y cuyos resultados son coincidentes con Brown,<sup>24,25</sup> fue el de Mertz y col.<sup>26</sup> quienes realizaron 72 heridas en el dorso de 24 cerdos para luego aplicarles un pulso rectangular constante con una corriente pico de 30 mA, 140  $\mu$ seg, 128 pulsos/seg por 30 minutos dos veces al día. Las heridas se dividieron en placebo y los restantes en 4 grupos donde el primero recibió polaridad negativa el primer día y positiva los siguientes 7 días, el segundo y tercer grupo la polaridad fue positiva y negativa respectivamente y el último grupo recibió polaridad negativa los días 0,2,4,6 y positiva los días 1,3,5 y 7. Los resultados de la epitelización mostraron un 20% de epitelización en el primer grupo comparado con el grupo de polaridad positiva (9%) o negativa (-9%). La polaridad alternante inhibió la epitelización en un 45%, por lo tanto el protocolo que utilizó la polaridad negativa el primer día seguida de la positiva, fue el más efectivo para el proceso de cicatrización.<sup>26</sup>

La corriente directa (DC) también ha mostrado efectos positivos en el proceso de cicatrización como se observó en el trabajo de Chi-Sing Chu y col.<sup>27</sup>, quienes determinaron el efecto de 4 y 40  $\mu$ A sobre la formación del edema en quemaduras en ratas. La aplicación inmediata de DC redujo la formación del edema entre un 17% a un 48% respecto al grupo no tratado. Este efecto fue independiente de la polaridad del electrodo y de la densidad de la corriente cuando esta era superior a 0.1  $\mu$ A /  $\text{cm}^2$ .

Kloth & Feedar<sup>28</sup> realizaron un estudio con 16 pacientes que presentaban úlceras entre 1 mes a 2.5 años de evolución, clasificadas como tipo IV y que se habían erosionado a través del músculo. Utilizaron EAV con una frecuencia de 105 Hz, un intervalo interpulsátil de 50 ms y un voltaje capaz de generar una contracción muscular visible que varió entre 100 - 175 V. La carga total del pulso fue de 342 mc/s, siendo aplicada por 45 minutos, una vez por día, 5 veces por semana. El electrodo positivo se colocó inicialmente sobre la herida hasta que el paciente alcanzó un máximo en la cicatrización de la herida. Posteriormente, se colocó un electrodo negativo hasta alcanzar un segundo límite y después la polaridad fue alternada diariamente. Se utilizó este protocolo porque estudios previos han mostrado que los

potenciales de batería de la piel, son distintos en animales y en humanos. Todos los pacientes del grupo activo cerraron sus heridas en un promedio de 7.3 semanas, con una tasa de cicatrización de 45% por semana. Entre tanto las úlceras del grupo control se incrementaron en un porcentaje de 11.6% por semana. Estos resultados validan el hecho de que la estimulación eléctrica con alto voltaje es un método viable para el tratamiento de pacientes con úlceras crónicas.<sup>28</sup>

En un estudio clínico de pacientes con mastectomía y reconstrucción posterior del seno con colgajos de piel, se aplicaron pulsos cuadrados alternantes, con una duración de 0,4 ms, frecuencia de 80 Hz y niveles de intensidades limitados por la manifestación de una sensación de hormigueo en el área estimulada. Se realizaron dos aplicaciones diarias, cada una por 2 horas hasta conseguir el objetivo propuesto. En 7 de las 9 mujeres tratadas, se observó restablecimiento del llenado capilar hasta el normal y reducción del edema y de la estasis. Las pacientes tratadas con el placebo presentaron necrosis en sus colgajos.<sup>29</sup>

Judy W Griffin y cols,<sup>30</sup> publicaron en 1991 un ensayo clínico controlado cuyo propósito fue evaluar la eficacia de la corriente de alto voltaje en la curación de úlceras por presión en pacientes con lesiones en la espina dorsal. Se aplicó una hora diaria por 20 días consecutivos con una frecuencia de estimulación de 100 pps e intensidad de 200 V y se colocó un electrodo con polaridad negativa sobre la herida. Al final del estudio, los pacientes tratados con estimulación de alto voltaje mostraron un porcentaje de cierre de la úlcera bastante mayor después del día 5 ( $p=0,03$ ), 15 ( $p=0,05$ ) y 20 ( $p=0,05$ ) comparado con la úlceras del grupo placebo.<sup>30</sup>

Este tipo de úlceras por presión también presentó resultados positivos en el estudio de Mawson y col.,<sup>31</sup> quienes concluyeron que la estimulación eléctrica de alto voltaje puede incrementar la tensión de oxígeno en sujetos de lesiones de la espina, sin interesar que permanezcan en prono o en supino. Así mismo, observaron que los niveles de oxígeno se mantenían elevados durante los periodos de post-estimulación, lo que indica que esta modalidad puede ser utilizada para aplicaciones de largo término.

Igualmente Baker et al.<sup>32</sup> obtuvieron resultados favorables en el tratamiento con estimulación eléctrica de 185 úlceras por presión en pacientes con lesiones de la médula espinal, quienes se asignaron a cuatro grupos siendo uno control y los otros tres de estimulación diaria durante 45 minutos. Estos últimos fueron tratados

respectivamente con una onda bifásica asimétrica, una onda bifásica simétrica y microcorriente. Los electrodos fueron colocados alrededor de la herida y en el caso de las ondas bifásicas la polaridad predominante fue la negativa y el nivel de estimulación fue el sensorial. La tasa promedio de cicatrización para cada úlcera fue calculada sustrayendo las áreas de la medida previa y la diferencia fue caracterizada como el porcentaje de cierre. Este valor fue dividido por el número de días entre las medidas y multiplicado por 7. El análisis mostró mejores tasas de cicatrización para las úlceras que recibieron estimulación con la onda bifásica asimétrica, comparada con los otros grupos, efecto que fue atribuido probablemente al mínimo efecto polar de este tipo de onda.<sup>32</sup>

En otros estudios la estimulación eléctrica se ha aplicado en úlceras crónicas con diferentes etiologías. Así, Houghton y col.<sup>33</sup> seleccionaron 27 sujetos con 42 úlceras crónicas generadas por diabetes, insuficiencia arterial o insuficiencia venosa que dividieron en dos grupos uno placebo y el otro de estimulación. Aplicaron estimulación eléctrica de alto voltaje (100  $\mu$ seg, 150 V, 100 Hz) durante 45 minutos, 3 veces por semana por 4 semanas con polaridad negativa y un electrodo colocado directamente sobre la herida y el otro a 20 cms de la herida actuando como dispersivo. Los resultados mostraron que la estimulación de alto voltaje redujo en un 50% el área inicial de la herida, lo cual fue dos veces mayor que lo observado en el grupo placebo.<sup>33</sup>

Las úlceras son una de las principales complicaciones en los pacientes diabéticos, quienes por las características de su enfermedad presentan una patofisiología y un proceso de cicatrización específico de este grupo. La estimulación eléctrica ha sido uno de los procedimientos utilizados para el manejo de esta complicación, pero no se conoce el mecanismo que interviene para lograr la cicatrización de las heridas.

Baker y col.<sup>34</sup> evaluaron los efectos de dos formas de estimulación sobre las tasas de cicatrización en 80 pacientes diabéticos con 114 heridas usando el mismo protocolo aplicado en úlceras por presión en pacientes con lesiones de medula espinal.<sup>32</sup> Los resultados coincidieron con los anteriores mostrando un incremento en un 60% de la cicatrización en el grupo que recibió la estimulación con onda bifásica asimétrica; la onda bifásica simétrica no mostró diferencias con los grupos de microcorriente y control.

Gentzkow y col.<sup>35</sup> realizaron un estudio en pacientes que presentaban úlceras grados III y IV causadas por diabetes, enfermedad cardiovascular o renal y alteraciones motoras

y sensitivas y con diversos grados de cronicidad. Los autores aplicaron 2 sesiones diarias de estimulación de 30 minutos cada una durante 3 semanas, utilizando un pulso cuadrado, monofásico con 140 microsegundos de duración, 35 mA de corriente pico y una frecuencia de 128 pulsos por segundo, iniciando con polaridad negativa y luego cambiando a positiva. De las 61 úlceras analizadas, 60.7% mejoraron después de dos semanas de tratamiento, 80.4% después de cuatro semanas, 82% luego de la semana siete y 23% correspondiente a 14 úlceras curaron completamente en un tiempo de 8.4 semanas. Así mismo, se observó que los pacientes más jóvenes mejoraron más rápidamente que los más viejos así como los fumadores respecto a los no fumadores. Este hecho se explica en que la mayoría de los fumadores eran jóvenes.

En otro estudio realizado por estos autores<sup>36</sup> con 40 úlceras y esquemas de tratamiento similares encontraron después de cuatro semanas que las úlceras tratadas curaron más del doble comparadas con el grupo control (49.8% vs. 23.4%). Estas últimas fueron sometidas posteriormente a cuatro semanas de tratamiento observando cuatro veces una mayor cicatrización comparado con las cuatro semanas previas sin estimulación (47.9% vs 13.4%). La cicatrización total en el grupo de estimulación inicial se dio en un periodo promedio de 9 semanas y en el grupo control en 11.8 semanas.<sup>36</sup>

Peters y col.<sup>37</sup> también mostraron el efecto benéfico de la estimulación de alto voltaje en la cicatrización de úlceras en pie diabético, al tratar 35 pacientes divididos en un grupo placebo y otro de estimulación. Este último recibió corriente en un nivel subsensorial de 100  $\mu$ seg, 80 Hz durante 10 minutos y luego 8 Hz por 10 minutos más, para posteriormente descansar 40 minutos y repetir el esquema de tratamiento durante 8 horas en la noche. 75% de los pacientes curaron en el grupo tratado con estimulación mientras 35% lo hicieron en el grupo placebo ( $p=0.058$ ). Después de la estratificación por conformidad una significativa diferencia fue identificada entre los pacientes incluidos en el grupo de tratamiento (71% curaron) frente a 39% del grupo placebo. No se observaron diferencias significativas en el tiempo promedio de curación entre los grupos de estimulación y placebo, siendo de  $6.8 \pm 3.4$  y de  $6.9 \pm 2.8$  semanas respectivamente.<sup>37</sup>

En un estudio más reciente Franek, et al,<sup>38</sup> encontraron una reducción significativa en el tamaño de las úlceras venosas crurales y disminución de la presión de la úlcera en el grupo que usó estimulación eléctrica de alto voltaje.

Respecto al efecto de la estimulación eléctrica sobre la cicatrización de heridas crónicas en un metanálisis se

concluye que esta modalidad fue más efectiva respecto a los controles, principalmente en las úlceras por presión. La tasa de curación por semana fue de 22% para los grupos de estimulación eléctrica y 9% para los grupos controles. Los autores sugieren la influencia de esta evidencia sobre los costos económicos del manejo de heridas.<sup>39</sup>

## CONCLUSIÓN

La presente revisión muestra los efectos benéficos de la corriente en el proceso de cicatrización de las heridas, por lo cual se constituye en una valiosa intervención para el tratamiento de estos pacientes. El uso en nuestro medio es muy reducido, pero constituye un campo de acción en el que el fisioterapeuta puede intervenir de forma efectiva, a través del uso de esta modalidad física. Se requiere más investigación para determinar los mecanismos fisiológicos de acción de las corrientes y los parámetros más adecuados para aplicar en cada caso de úlceras.

## REFERENCIAS

1. Kloth L, McCulloch JM. Promotion of wound healing with electrical stimulation. *Advances in Wound Care*. 1996; 9, 5: 42–45.
2. Charman RA. Part 3: Bioelectric potentials and tissue currents. *Physiotherapy*. 1990; 76, 10: 643- 653.
3. Charman RA. Part 5: Exogenous currents and fields: experimental and clinical application. *Physiotherapy*. 1990; 76, 12: 743–750.
4. Foulds IS, Barker AT. Human skin battery potentials and their possible role in wound healing. *British Journal of Dermatology*. 1983; 109: 515–522.
5. Charman RA. Part 2: cellular reception and emission of electromagnetic signals. *Physiotherapy*. 1990; 76,9: 509–516.
6. Karba R, Semrov D, Vodovnik, L. DC electrical stimulation for chronic wound healing enhancement. Part 1. Clinical study and determination of electrical field distribution in the numerical wound model. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. 1997; 43: 265–270.
7. Burr HS, Harvey SC, Taffel M. Bio-electric correlates of wound healing. *Yale J. Biol. Med*. 1940; 2:103-107.
8. Nelson RM, Hayes KW, Currier DP. *Clinical Electrotherapy*. 3 ed. Appleton and Lange. 1999.
9. Nishimura KY, Isseroff R, Nuccitelli R. Human keratinocytes migrate to the negative pole in direct current electric fields comparable to those measured in mammalian wounds. *Journal of Cell Science*. 1996; 109: 199–207.
10. Robinson KR. The responses of cells to electrical fields: a review. *The Journal of Cell Biology*. 1985; 101: 2023–2027.
11. Jercinovic A, Minsenkamp M, Scarceriaux B. Effects of direct constant current (DC) on keratinocytes in vitro. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. 1996;39:209–214.
12. Barranco, S, Spadaro, J. In vitro effect of weak direct current on staphylococcus aureus. *Clinical Orthopaedic*. 1974; 100:250-255.
13. Rowley B.A, McKenna J, Chase G.R. The influence of electrical current on an infecting microorganism in wounds. *Ann NY Academic Scientific*. 1974;238:543-551.
14. Kincaid CB, Lavoie KH. Inhibition of bacterial growth in vitro following stimulation with high voltage, monophasic, pulsed current. *Physical Therapy*. 1989; 69: 29-33.
15. Merriman HL, Hegyi CA, Albright-Overtton CR, Carlos J. A comparison of four electrical stimulation types on staphylococcus aureus growth in vitro. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2004.41:139- 146.
16. Eberhardt A, Szczypiorski P, Korytowski G. Effect of transcutaneous electrostimulation on the cell composition of skin exudate. *Acta physiol Pol*. 1986; 37,1: 41-46.
17. Mohr T, Akers T, Wessman H. Effect of high voltage stimulation on blood flow in the rat hind limb. *Physical Therapy*. 1987;67:526-533.
18. Carlson DW, Currier DP. Effects of high voltage pulse electrical stimulation on blood flow. *Physical Therapy* 1988; 68:481-485.
19. Tracy J, Currier D, Threlkeld J. Comparison of selected pulse frequencies from two different electrical stimulators on blood flow in healthy subjects. *Physical Therapy* 1988; 10:1526-1532.
20. Goldman R, Brewley B, Goleen M. Electrotherapy Reoxygenates inframalleolar ischemic wounds on diabetic patients. *Advances in Skin & Wound Care*. 2001; 15:112-120.
21. Peters EJG, Armstrong DG, Wunderlich RP, Bosma J, Stacpoole S, Lavery L. The benefit of electrical stimulation to enhance perfusion in persons with diabetes mellitus. *The journal of foot & ankle surgery*. 1998; 37,5: 396-400.
22. Im MJ, Lee W, Hoopes J. Effect of Electrical stimulation on survival of skin flaps in pigs. *Physical Therapy*. 1990; 70:37-40.
23. Alvarez O. The healing of superficial skin wounds is stimulated by external electrical current. *J. Investigation Dermatol*. 1983; 81, 2:144-148.
24. Brown M, McDonnell M, Menton D. Electrical stimulation effects on cutaneous wound healing in rabbits. *Physical Therapy*. 1988; 68:955-960.
25. Brown M, Gogia PP. Effects of high voltage stimulation on cutaneous wound healing in rabbits. *Physical Therapy*. 1987; 67: 662–667.
26. Mertz PM, Davis SC, Cazzaniga AL, Cheng K, Reich JD, Eaglstein WH. Electrical stimulation: acceleration of soft tissue repair by varying the polarity. *Wounds: a*

- compendium of clinical research and practice. 1993;5,3:153–159.
- 27- Chi-Sing C, Marylevich NP, McManus A, Mason AD, Pruitt BA. Direct current reduces wound edema after full – thickness burn injury in rats. *The Journal of Trauma: Injury, Infection and Critical Care*. 1996;40, 5: 738 - 742.
- 28- Kloth L, Feedar J. Aceleration of wound healing with high voltage monophasic pulsed current. *Physical Therapy*. 1988;68,5:503-508.
- 29- Lundeberg T, Erikson SV, Mats M. Electrical stimulation improves healing of diabetic ulcers. *Ann. Plast Surg*. 1992;71:328-330.
- 30- Griffin W, Tooma RE, Mendius RA, Clift JK, Zwaag RV, El-Zeky faten. Efficacy of high voltage pulsed current for healing of pressure ulcers in patients with spinal cord injury. *Physical Therapy*. 1991; 71:433- 442.
- 31- Mawson A, Siddiqui FH, Connolly BS, Sharp CJ, Stewart MD, Summer WR, Biundo JJ. Effect of high voltage pulsed galvanic stimulation on sacral transcutaneous oxigen tension levels in the spinal cord injured. *Paraplegia*.1993; 31: 311 - 319.
- 32- Baker L, Rubayi S, Villar F, Demuth SK. Effect of electrical stimulation waveform on healing of ulcers in human beings with spinal cord injury. *Wound Rep Reg*. 1996; 4:21 - 28.
- 33- Houghton PE, Kincaid CB, Lovell M, Campbell KE, Keast DH, Woodbury MG, Harris KA. Effect of electrical stimulation on chronic leg ulcer size and appearance. *Physical Terapy*. 2003; 83,1: 17-28.
- 34- Baker L, Chambers R, DeMuth SK, Villar F. Effects of electrical stimulation on wound healing in patients with diabetic ulcers. *Diabetes Care*. 1997; 20,3: 405 - 412.
- 35- Gentzkow GD, Alon G, Taler GA, Eltorai IM, Montroy RE. Healing of refractory stage III and IV pressure ulcers by a new electrical stimulation device. *Wounds*. 1993;5,3:160- 172.
- 36- Gentzkow GD, Pollack SV, Kloth LC, Stubbs HA. Improved healing of pressure ulcers using dermapulse, a new electrical stimulation device. *Wounds*.1991;3,5:158-170.
- 37- Peters EJG, Lavery L, Armstrong DG, Fleischli JG. Electric stimulation as an adjunct to heal diabetic foot ulcers: A randomized clinical trial. *Arch Phys Med Rehabilitation*. 2001; 82: 721- 725.
- 38- Franek A, Polak A, Kucharzewski M. Modern application of high voltage stimulation for enhanced healing of venous crural ulceration. *Medical Engineering and Physics*. 2000; 22:647-655.
- 39- Gardner SE, Frantz RA, Schmidt FL. Effect of electrical stimulation on chronic wound healing: a meta-analysis. *Wound Repair and Regeneration*. 1999;7:495-503.