

En español

La actividad electrodérmica - Revisión

María Elena Moncada¹, Jorge de la Cruz²

RESUMEN

La electricidad en los tejidos vivos fue ampliamente estudiada alrededor del siglo XIX. Los estudios fueron suspendidos durante muchos años y retomados en las últimas décadas. Las nuevas investigaciones en bioelectricidad están creando alternativas en el área de la salud, una de éstas es la respuesta electrodérmica, asociada con reparación de heridas, estimulación celular, diagnóstico de psicopatologías, entre otras. Este artículo presenta algunos de los primeros hallazgos y modelos desarrollados alrededor de la actividad electrodérmica (AED). Varios documentos teóricos, clínicos y de revisión fueron estudiados y clasificados para mostrar la amplitud y variedad de hallazgos sobre el tema presentado. La actividad electrodérmica es sólo una de las múltiples aplicaciones con abundante evidencia en diagnósticos y tratamientos a partir de señales bioeléctricas. Las respuestas eléctricas de los tejidos requieren más investigación experimental, teórica y clínica en muchas de las áreas que envuelven el comportamiento del organismo, para así conocer, proponer y crear nuevas alternativas de tratamiento a las diversas patologías.

Palabras clave: bioelectricidad, sanación de heridas, piel, potenciales eléctricos.

Recibido: febrero 25 de 2010

Aceptado: julio 6 de 2011

Introducción

La piel es uno de los órganos más importantes de nuestro organismo; si llega a faltar más del 40% de ella, suele ser incompatible con la vida. La piel posee una función protectora selectiva gracias a que impide la entrada de sustancias nocivas a un sistema inmunológico propio. Además tiene una función reguladora del metabolismo: impide la salida de sustancias, regula la temperatura corporal y transforma los rayos del sol en vitamina D.

El tratamiento mediante la aplicación de señales eléctricas ha sido estudiado desde el siglo XIX. Los investigadores han demostrado la presencia de sistemas bioeléctricos endógenos (Klot et al., 1996; Charman, 1990) y en la literatura se encuentran referencias de los efectos de estimulación eléctrica en úlceras generadas por presión, por insuficiencia vascular, por trauma, por diabetes, o por cirugías, entre otras (Sandoval et al., 2007; Poltawski et al., 2008a, b; 2009). La estimulación eléctrica en la piel ha sido utilizada como bactericida (Nelson et al., 1999; Kincaid et al., 1989) para incrementar el flujo sanguíneo (Mohr et al., 1987; Goldman et al., 2001) y promover la cicatrización (Im et al., 1990; Brown et al., 1987, Chi-Sing et al., 1996). La AED ha

In English

Electrodermal activity - a review

María Elena Moncada³, Jorge de la Cruz⁴

ABSTRACT

The electricity in living tissue was widely studied around the 19th century. Such study was suspended for many years but has then been started again during recent decades. New research into bioelectricity is creating alternatives in the health field; one of them is an electrodermal response associated with the wound healing, cell stimulation and psychopathology diagnostic. This article presents some of the first responses and models concerning electrodermal activity. Theoretical, clinical and review papers were studied and classified to show the amplitude and variety of bioelectrical responses. Electrodermal activity is only one of many applications having an abundant amount of evidence regarding diagnosis and treatment starting from bioelectrical signals. Electrical tissue response requires more experimental, theoretical and clinical research in many fields involving an organism's behaviour to ascertain, propose and create new treatment alternatives for different pathologies.

Keywords: bioelectricity, wound healing, skin, electric potential.

Received: February 25th 2010

Accepted: July 6th 2011

Introduction

The skin is one of our body's most important organs. If more than 40% of the skin is lacking, then this is often incompatible with life. The skin has a selective protective function preventing the entry of harmful substances and its presence forms part of the body's immune system. It has metabolism regulatory functions as it prevents the exit of substances, regulates the body's temperature and converts sunshine into vitamin D.

Electric signal treatment has been studied since the 19th century. Researchers have demonstrated the presence of bioelectric endogenous systems (Klotet et al., 1996; Charman, 1990). References about the effects of electrical stimulation concerning ulcers generated by pressure, vascular insufficiency, trauma, diabetes, surgery abound in the literature (Sandoval et al., 2007; Poltawski, 2008 a, b; 2009). Electrical stimulation of the skin has been used as a bactericide (Nelson et al., 1999; Kincaid et al., 1989) to increase blood flow (Mohr et al., 1987; Goldman et al., 2001) and to promote healing (Im et al., 1990; Brown et al., 1987, Chi-Sing, 1996). Electrodermal activity (EDA) has also been studied and widely used in psychology as a stress level

¹ Ingeniera electricista, Universidad de Antioquia. Doctora en Ingeniería, Universidad del Valle. Docente investigadora, Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia. mariamoncada@itm.edu.co

² Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad del Valle. jodelacruz@hotmail.com

³ Electrician Engineer, Universidad de Antioquia. PhD in Engineering, Universidad del Valle. Research Professor, Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia. mariamoncada@itm.edu.co

⁴ Electronic Engineering Student, Universidad del Valle. jodelacruz@hotmail.com

En español

sido también estudiada y ampliamente usada en correlatos de procesos psicológico como indicador de diferentes estados de estrés (Clements *et al.*, 2000) incluida la neurosis (Norris *et al.*, 2007). Presenta una alta sensibilidad en la medición y sus variaciones se relacionan con el estado cognitivo emocional de la persona (Hugdahl, 1995).

La existencia de señales eléctricas en el tejido biológico es un hecho, pero los estudios desarrollados están desconectados, impidiendo llegar a conclusiones totales. Con la evidencia reportada a la fecha se han logrado desarrollos para diagnóstico, medición y generación de terapias. Sin embargo, queda aún mucho por explorar y se hace latente la necesidad de nuevos estudios experimentales, clínicos y de desarrollos matemáticos que generen conocimiento del cuerpo bioeléctrico. En Colombia se han iniciado estudios en esta temática y algunos trabajos clínicos, experimentales y computacionales que presentan una componente del tejido como sistema eléctrico (Moncada *et al.*, 2007; 2008a, b; Sandoval *et al.*, 2007) y que esperan crear alternativas de apoyo a la medicina actual.

Medidas electrodérmicas

La respuesta electrodérmica (RED) es un fenómeno que está hoy en día bien relacionado con la respuesta de las glándulas sudoríparas (Fowles, 1986). Para ésta existen dos medidas principales: a partir de la resistencia o conductancia (exosomática) y mediante la detección de voltajes (endosomática) (Féré, 1888). Las mediciones pueden también ser tónicas (nivel de profundidad-L) o fásica (respuesta variable en el tiempo-R). La tabla 1 presenta las abreviaciones usadas para los tipos de medidas.

Tabla 1. Abreviaciones usadas para los tipos de medidas electrodérmicas (Malmivuo, 1995)

ABREVIACIÓN	SIGNIFICADO
AED	Actividad electrodérmica
NED	Nivel electrodérmico
RED	Respuesta electrodérmica
NCP	Nivel de conductancia de la piel
RCP	Respuesta de conductancia de la piel
NRP	Nivel de resistencia de la piel
RRP	Respuesta de resistencia de la piel
NPP	Nivel de potencia en la piel
RPP	Respuesta del potencial en la piel

La medición es generalmente realizada sobre la palma con electrodos. Cuando el tipo de electrodo es reversible la polarización y los potenciales sesgados son minimizados. Las señales registradas se caracterizan por tener una recuperación lenta, con una duración alrededor de 40 s, amplitudes de fase alrededor de 2µS para la conductividad y 10-20 mV para el potencial, dependiendo del área del electrodo (Venables *et al.*, 1980).

Fowles (1974) desarrolló un modelo global sobre RED (figura 1), útil sólo cualitativamente. La parte superior en el modelo representa la superficie de la piel y la inferior la interfaz entre la hipodermis y la dermis. R₁ y R₂ representan la resistencia al flujo de corriente en la epidermis y dermis, respectivamente. E₁ y R₄ corresponden al acceso a los de la dermis, y E₂ y R₃ el acceso a la epidermis. Los potenciales de transducción E₁ y E₂ surgen como resultado de la desigualdad de concentraciones iónicas por medio de los conductos, la resistencia R₅ es de la superficie y E₃ es el potencial.

In English

indicator (Clements and Turpin, 2000), including neurosis (Norris, 2007). It has high sensitivity when being measured; its variations are related to a person's cognitive emotional state (Hugdahl, 1995).

The existence of electrical signals in biological tissue is a fact; however, studies to date have been unrelated, thereby preventing overall conclusions being reached. Developments in diagnosis, measurement and therapy have been achieved through the evidence reported to date. However, there is still much to explore and the need for new experimental, clinical and mathematical studies leading to knowledge about the body's bioelectrical aspects has become apparent. Studies in this field and some clinical, experimental and computational work presenting the electrodermal system as a tissue component have been started in Colombia (Moncada *et al.*, 2007; 2008 a, b; Sandoval *et al.*, 2007) and it is expected that support alternatives to current medicine will be created in the future.

Electrodermal measurement

The electrodermal response (EDR) is a phenomenon which is very connected with sweat gland response nowadays (Fowles, 1986). Two main EDR measurements have traditionally involved resistance or conductance (Féré, 1888) (exosomatic) and voltage detection (Tarchanoff, 1889) (endosomatic). These measurements can also be tonic (depth-L) or phasic (variable response-R). Table 1 shows the abbreviations used for types of measurement.

Table 1. Abbreviations used to distinguish the type of electrodermal measurement

ABBREVIATION	SIGNIFICANCE
EDA	Electrodermal activity
EDL	Electrodermal level
EDR	Electrodermal response
SCL	Skin conductance level
SCR	Skin conductance response
SRL	Skin resistance level
SRR	Skin resistance response
SPL	Skin potential level
SPR	Skin potential response

Measurement is usually done with electrodes on the palm; when an electrode is reversible, polarisation and slanted potentials become minimised. The recorded signals are characterised because they present slow recovery around 40s, phase amplitude for conductivity around 2µS, and 10-20 mV potency (depending on the electrode area (Venables *et al.*, 1980).

Fowles (1974) developed a global EDR model (Fig. 1) which is a useful qualitatively. The top of the model represents the skin surface and the bottom the interface between hypodermis and dermis. R₁ and R₂ represent, respectively, resistance to current flow in epidermis and dermis, E₁ and R₄ represent access to the dermis and E₂ and R₃ access to the epidermis. Transduction potentials E₁ and E₂ emerge as a result of the inequality of ion concentration through the ducts. R₅ is surface resistance and E₃ is the potential.

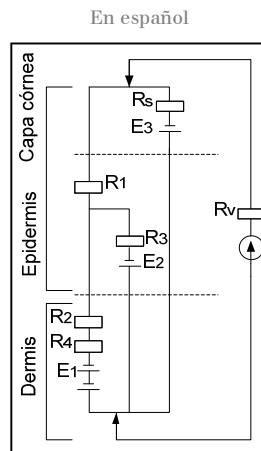


Figura 1. Modelo de circuito equivalente del sistema electrodérmico. Las componentes están identificadas en el texto. Modificado de Fowles (1986).

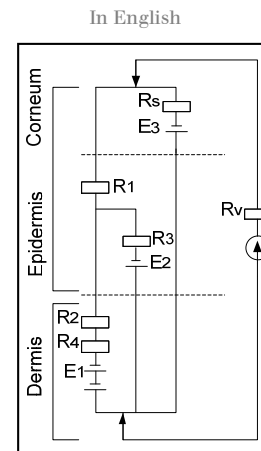


Fig. 1. A simplified equivalent circuit describing the electrodermal system. Components are identified in the text (Fowles, 1986)

Mecanismos fisiológicos

Entre los mecanismos fisiológicos de la estimulación eléctrica se encuentran: incremento en la circulación, disminución del edema, aumento en la migración de las células epiteliales, los neutrófilos y los macrófagos; inhibición de los mastocitos, estimulación de la síntesis de DNA e incremento de los factores de crecimiento. También se sugieren mayor producción de fibroblastos y niveles de colagenasa, inhibición bacteriana, aumento en el debridamiento y la restauración del potencial bioeléctrico de cicatrización; además ha sido utilizada como bactericida y para incrementar el flujo sanguíneo y promover la cicatrización.

Rowley y colegas (1974) con extra alto voltaje (EAV) de polaridad negativa aplicado a heridas infectadas observaron disminución de la proliferación bacteriana. Barranco y colegas (1974) inhibieron el crecimiento de estafilococos con corrientes de 0,4-400 mA. Kincaid y Lavoie (1989), en un estudio *in vitro* con 150, 200, 250 y 300 V de polaridad negativa obtuvieron la destrucción de tres microorganismos presentes en heridas humanas. Los análisis mostraron mayor inhibición de los microorganismos a mayor intensidad y tiempo de aplicación.

La estimulación EAV también acelera el debridamiento y la trombosis de los tejidos, una corriente de polaridad negativa permite la reperfusión rápida de los tejidos y la disolución de hematomas (Nelson *et al.*, 1999). Eberhardt y colegas (1986) realizaron un estudio sobre sujetos con lesión en la dermis del antebrazo tratada con un pulso rectangular de 100 Hz, 1 ms y 3-35 mA, observando incrementos de los granulocitos en un 63,5% de quienes recibieron máxima estimulación, comparados con un 44,7% de células en quienes no recibieron estimulación. Mohr y colegas (1987) emplearon EAV en el flujo sanguíneo del miembro posterior en ratas, con cuatro tipos de frecuencias diferentes (2,20; 80 y 120 pps) y ambas polaridades. Para cada pulso en sus dos polaridades se halló aumento significativo de la velocidad del flujo sanguíneo y los mayores incrementos fueron para 20 pps y los pulsos negativos. Goldman y colegas (2001) aplicaron voltajes desde 80-330 V a 100 pps en pacientes diabéticos con isquemia inframaleolar, incrementando la microcirculación de las heridas isquémicas críticas y la promoción de la cicatrización de éstas.

Physiological mechanisms

Physiological electrical stimulation mechanisms would include increased circulation, decreased oedema, increased epithelial cell migration, neutrophils and macrophages, mast inhibition, DNA synthesis stimulation and increased growth factors. Increased fibroblast production, collagenase levels, bacterial inhibition, debridement and the restoration of healing bioelectric potential has also been suggested. Electrical stimulation has also been used as a bactericide and for increasing blood flow and promoting healing.

Rowley *et al.*, (Rowley, 1974) observed a proliferation of bacterial decrease having negative polarity extra high voltage (EHV) applied to infected wounds. Barranco and *et al.*, (1974) inhibited staphylococci growth using current from 0.4 to 400 mA. Kincaid and Lavoie (1989) manage to destroy three microorganisms present in human wounds in an *in vitro* study with 150, 200, 250 and 300 V negative polarity. Analysis revealed that more microorganisms were inhibited with greater voltage intensity and longer application time.

EHV stimulation also accelerates tissue debridement and thrombosis; negative polarity current allows fast tissue reperfusion and hematoma dissolution (Nelson, 1999). Eberhardt *et al.*, (1986) did a study about people suffering forearm dermis wounds which had been treated with 100 Hz, 1 ms and 3 to 35 mA rectangular pulse. They observed that granulocytes increased by 63.5% in people who received maximum stimulation compared to 44.7% of cells which did not receive stimulation. Mohr *et al.*, (1987) used EHV for rats' hind limb blood flow, using three frequencies (2.20, 80 and 120 pps) and both polarities. A significant increase in blood flow speed was found for each pulse at both polarities. The highest increases were at 20 pps and with negative pulse. Goldman *et al.*, (2001) applied 80 to 330 V at 100 pps voltages to diabetic patients suffering inframaleolar ischemic wounds with increased microcirculation and promotion of their wound healing.

Estimulación eléctrica para promover el proceso de cicatrización

Brown y colegas (1987) usando estimulación eléctrica pulsada monofásica de alto voltaje para la cicatrización de heridas en conejos, encontraron que en los primeros cuatro días la polaridad positiva fue contraindicada, pero posteriormente ésta aceleró el proceso de cicatrización mejor que la polaridad negativa. Chi-Sing y colegas (1996), con corriente directa (4-40 mA) hallaron efectos positivos en el proceso de cicatrización en edemas y quemaduras en ratas. Kloth y Feedar (1988) estudiaron pacientes con úlceras entre 1 mes a 2,5 años de evolución y utilizando EAV (100-175 V y 105 Hz) constataron que en todos los pacientes estimulados se cerraron sus heridas en un promedio de 7,3 semanas, con una tasa de cicatrización de 45% por semana, mientras que en el grupo control las úlceras se incrementaron en un porcentaje de 11,6% por semana.

Griffin y colegas (1991) evaluaron úlceras en un ensayo clínico con corriente de alto voltaje (200 V, 100 pps). El porcentaje de cierre de la úlcera en el grupo estimulado fue mayor después del día 5, al compararlo con el grupo control. Houghton y colegas (2003) evaluaron úlceras crónicas por diabetes, insuficiencia arterial o insuficiencia venosa (150 V, 100 ms, 100 Hz, polaridad negativa), donde apreciaron reducción en 50% del área inicial de la herida, dos veces mayor que lo visto en el grupo placebo. Baker y colegas (1997) evaluaron la cicatrización a partir de estimulación eléctrica en pacientes diabéticos, encontrando incremento del 60% en la cicatrización del grupo estimulado con onda bifásica asimétrica.

Gentzkow y colegas (1993) hicieron un estudio de pacientes con úlceras por diabetes, enfermedad cardiovascular o renal y alteraciones motoras, sensitivas y con diversos grados de cronicidad. El 60,7% de las úlceras mejoraron después de 2 semanas de tratamiento, 80,4% luego de 4 semanas, 82% luego de la semana 7 y 23% se curaron completamente en un tiempo de 8,4 semanas. En otro de sus estudios las úlceras curaron más del doble con respecto al grupo control; la cicatrización total para el grupo estimulado se dio en un promedio de 9 semanas, y para el grupo control en 11,8 semanas (Gentzkow *et al.*, 1991). Franek y colegas (2000), empleando EAV, notaron una reducción significativa en el tamaño de las úlceras venosas cruales y disminución de la presión de la úlcera.

Modelos de la actividad electrodérmica

El potencial de la piel se encuentra entre la superficie externa de la piel y el ambiente interno del cuerpo, lo que puede ser considerado como una respuesta ante un estímulo SPR o como un nivel de potencial de la piel, NPP. La respuesta de resistencia de la piel (RPP) puede ser monofásica, bifásica u ocasionalmente trifásica, y se atribuye esencialmente a la actividad de la glándula de sudor (Fowles, 1974). El NPP es comúnmente negativo en el exterior (Christie, 1981) e involucra mecanismos epidermales en mayor medida que en la RPP. Edelberg sugirió que las medidas eléctricas de la piel pueden reflejar el nivel de actividad de glándulas sudoríparas, el estado de los vasos sanguíneos locales y el estado de una o más capas de células vivas.

Modelo de hidratación de la piel

Martin y Venables (1966) encontraron que ante la ausencia de

Electrical stimulation for promoting wound healing

Brown *et al.*, (1987) researched high voltage pulsed monophasic electrical stimulation regarding wound healing in rabbits. They found that positive polarity was contraindicated during the first four days but later accelerated healing better than negative polarity. Chi-Sing *et al.*, (1996) found positive effects in rats' oedema and burn healing when using direct current (4 and 40 mA). Kloth and Feedar (1988) studied patients suffering ulcers having 1 month to 2.5 years' evolution using EHV (100-175 V and 105 Hz), finding that stimulated patients' wounds closed in about 7.3 weeks, giving 45% per week healing rate compared to 11.6% per week increase for control group ulcers.

Griffin *et al.*, (1991) evaluated ulcers in a clinical trial using high voltage current (200 V, 100 pps). The closing percentage for ulcers in the stimulated group compared to the control group was greater after the 5th day. Houghton *et al.*, (2003) evaluated chronic ulcers formed by diabetes and arterial or venous insufficiency (150 V, 100 ms, 100 Hz, negative polarity) where they found 50% reduction in initial wound area, twice more than in the placebo group. Baker *et al.*, (1997) evaluated healing from electrical stimulation in diabetic patients, finding 60% increase in the healing of the group receiving biphasic asymmetrical stimulation.

Gentzkow *et al.*, (1993) carried out a study on patients with diabetes-related ulcers, cardiovascular or renal illness, impaired sensory-motor function and varying degrees of chronicity; 60.7% of ulcers improved after two weeks treatment, 80.4% after four weeks, 82% after seven weeks and 23% healed completely in 8.4 weeks. In another of their studies, the ulcers healed more than twice as fast as those of the control group, total healing for the stimulated group being 9 weeks on average and 11.8 weeks for the control group (Gentzkow *et al.*, 1991). Franek *et al.*, (2000) found a significant reduction in the femoral venous ulcer size and pressure ulcer when using EHV.

Electrodermal activity models

The skin's potential is located between the external surface of skin and the internal body's environment which can be considered as skin potential response (SPR) to a stimulus or skin potential level (SPL). SPR can be monophasic, biphasic or occasionally triphasic and is mainly attributed to sweat gland activity (Fowles, 1974). SPL is usually negative on the surface (Christie, 1981) and involves more epidermal mechanisms than SPR. Edelberg has suggested that skin electrical measurements can reflect sweat gland activity level, the local blood vessels' state and the state of one or more living cell layers.

Skin hydration model

Martin and Venables (1966) found that there was no skin resis-

actividad sudorípara no se presentaba RRP. Edelberg (1968) construyó un modelo de hidratación considerando dos fuentes de potencial: el generador de glándulas sudoríparas y el generador de membrana de la epidermis (figura 2). En la figura 2, S es la batería de glándulas sudoríparas y E la batería de la membrana epidérmica. R_s y R_e corresponden a la combinación de las resistencias internas y las baterías. P es el potencial transcutáneo y R_v la resistencia del medidor. Con S más negativo que E, circulará una corriente i , y con R_v constante e infinita resulta la figura 2b (Edelberg, 1977).

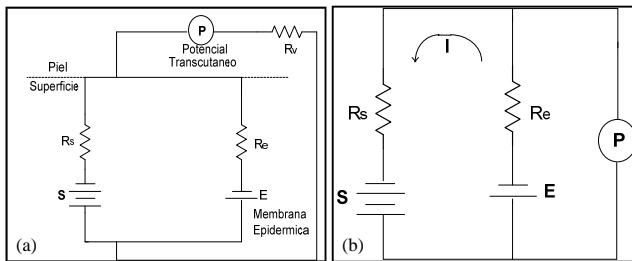


Figura 2. a) Circuito eléctrico del modelo de hidratación de la piel; b) Circuito de hidratación de la piel. Modificado de Edelberg (1977).

La piel como una batería

En la regeneración anfibia se estableció que los potenciales de amputación fueron derivados de la piel como generador de corriente (Borgens, 1982). El movimiento de iones positivos de sodio genera el potencial eléctrico a través de la epidermis (alrededor de 50 mV) y se demostró también la existencia de potencial entre dos sitios de la piel inferior a 1 mV (Barker *et al.*, 1982; Foulds, 1983). La variación del potencial de batería de la piel depende de la concentración de glándulas sudoríparas y la densidad de las vellosidades y no parece estar relacionada con la distribución del dermatoma. Burr y colegas en los años treinta, y Becker y colegas en los sesenta, conceptualizaron los potenciales de la piel como un sistema de control DC. Becker (1962) demostró la existencia un patrón de líneas equipotenciales de campo eléctrico complejo en anfibios y en el hombre.

Potenciales de herida

La corriente de herida es en esencia la diferencia de potencial y el subsecuente flujo de corriente entre el tejido herido y el normal debido a membranas dañadas, potenciales alterados o movimiento de partículas cargadas (Thakor *et al.*, 1978). En el borde de la herida se encuentra un voltaje de más de 200 mV/mm y una corriente de 1-1,5 mA (Charman, 1990), lo que origina la migración y proliferación de células de fibroblastos y queratinocitos (Nishimura *et al.*, 1996), aumentando el grosor de la cicatriz. En una especie no regeneradora la corriente de la herida es inicialmente positiva, mientras que en las especies regeneradoras cambia a negativa fuertemente después de una fase inicial positiva (figura 3) hasta volver a los niveles de preherida (Becker, 1967; 1974). De acuerdo con Becker, el sistema de control de DC es el responsable de la detección de la herida y del control del proceso de reparación (Nishimura *et al.*, 1996). O'Leary y Goldring (1964) plantearon que el potencial de herida se desarrolla en los nervios, músculo o piel heridos y cualquier célula puede ser vulnerable a la despolarización de la membrana dada por el trauma.

tance response (SRR) in the absence of sweat activity. Edelberg (1968) built a hydration model considering two sources of potential: sweat gland generator and epidermis membrane generator (Fig. 2). In Figure 2, S is the sweat gland battery and E the epidermal membrane battery, R_s and R_e are a combination of internal resistance and batteries, P is transcutaneous potential and R_v is measured resistance. An i current circulates with S being more negative than E. Fig. 2b shows R_v being constant and infinite (Edelberg, 1977).

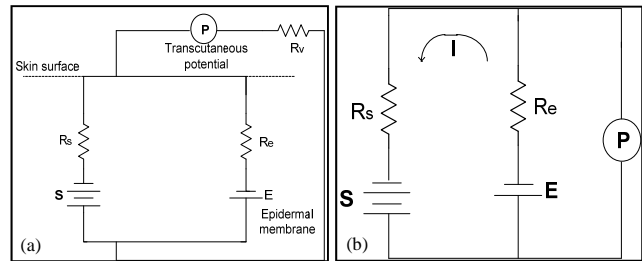


Figure 2. a) Equivalent circuit for Edelberg's skin hydration model, b) modified Edelberg's skin hydration model circuit (Edelberg, 1977).

The skin battery

It has been established in amphibian regeneration that amputation potential was derived from the skin as a current generator (Borgens, 1982). Electrical potential through the epidermis (in the 50mV range) is generated by the movement of positive sodium ions; potential existence between two skin sites lower than 1 mV has also been demonstrated (Barker, 1982; Foulds, 1983). Skin battery potential variation depends on sweat gland concentration, speed and density but apparently is not related to dermatome distribution. Burr *et al.*, in the 1930s and Becker *et al.*, in the 1960s conceptualised skin potential as a DC control system. Becker (1962) demonstrated the existence of an equipotential pattern of lines for complex electric field in amphibians and humans.

Wound potential

Wound current is essentially the potential difference and subsequent current flow between injured and normal tissue due to damaged membranes, altered potential or charged particle movement (Thakor *et al.*, 1978). There is a voltage of over 200 mV / mm at the edge of an injury and a 1 to 1.5 mA current (Charman, 1990); this causes fibroblast and keratinocyte cell migration and proliferation (Nishimura *et al.*, 1996) thereby increasing scar thickness. Injury current is initially positive in non-regenerative species while it frequently changes to negative after an initial positive phase in regenerative species (Fig. 3) until returning again to pre-wound levels (Becker, 1967; 1974). According to Becker, a DC control system is responsible for detecting injury and controlling repair (Nishimura *et al.*, 1996). O'Leary and Goldring (1964) suggested that injury potential is developed in nerves, muscle or skin which are wounded and that any cell can be vulnerable to membrane depolarisation caused by trauma.

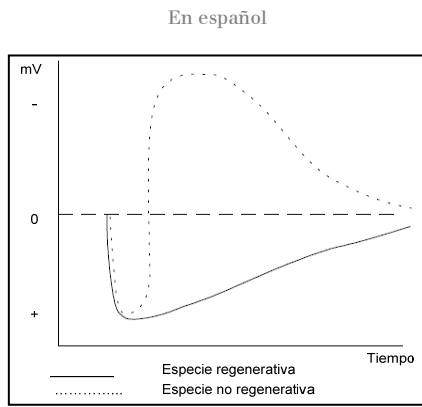


Figura 3. Corriente de herida para especies con regeneración natural y sin regeneración natural. Modificado de Jaffe y Vanable (1984).

Potenciales de herida en los tejidos musculoesqueléticos

Barker y colegas (1982), y Jaffe y Vanable (1984), trabajando en mamíferos, demostraron la existencia de una corriente en la piel herida y midieron en cero el potencial en el sitio de la herida. Illingworth y Barker (1980) obtuvieron densidades de corriente asociadas con amputación de dedos en niños con valores de $22\mu\text{Acm}^{-2}$. Los resultados mostraron que la herida de la piel activó una batería epidermal con un voltaje en circuito abierto de 17-42 mV y la herida en el hueso activó una batería endosteal de 15-56 mV. La capa celular del periostio no presentó propiedades electrogénicas y la batería del hueso se asoció con la capa endosteal. Posteriormente se concluye que la herida muscular fue el factor dominante para generar el voltaje detectado. Las corrientes más grandes fueron de 10-32 μA en la superficie del tejido suave.

Aplicaciones en psicología

La AED es uno de los principales índices psicofisiológicos empleado como correlato de procesos psicológicos y está relacionada con la emoción, el arousal y la atención. Su medición es de alta sensibilidad (Wieland *et al.*, 1970) y sus variaciones son hoy relacionadas con cambios en el estado cognitivo o emocional del individuo (Hugdahl, 1995). La AED se ha utilizado como indicador de estados de estrés (Clements y Turpin, 2000) y como índice clínico en el estudio de diversos trastornos psicofisiológicos relacionados con el estrés (Hugdahl, 1995) y la neurosis (Norris *et al.*, 2007).

Algunos de los estudios sobre la neurosis muestran en los pacientes una mayor sintomatología depresiva después de acontecimientos estresantes, como el desempleo (Creed *et al.*, 2001), cuidado del cónyuge (Gallant *et al.*, 2003) y cirugía del cáncer de mama (Millar *et al.*, 2005). Otros estudios han registrado mayores valores de conductancia de la piel en personas neuróticas, al igual que valores reducidos en la RCP ante estimulación sensorial repetitiva (Akdag *et al.*, 2003) y una lenta habituación de RCP ante la angustia, el estado de ansiedad y la "excitabilidad" (Horan *et al.*, 2005; Mardaga *et al.*, 2006).

Conclusión

La existencia de señales eléctricas en el tejido biológico fue investigada hace muchos años y suspendida durante al menos una centuria. En la actualidad la aplicación y lectura de corrientes y

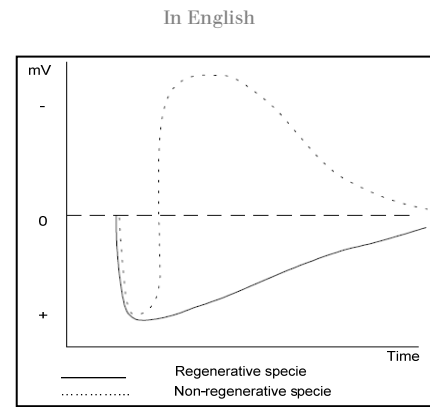


Figure 3. Difference between injury currents from regenerating and non-regenerating species (Jaffe *et al.*, 1984)

Wound potential in muscle-skeletal tissues

Barker *et al.*, (1982) and Jaffe and Vanable (1984) have done work on mammals. They showed the existence of a current in wounded skin and measured zero potential at the site of the wound. Illingworth and Barker (1980) obtained finger amputation-associated $22\mu\text{Acm}^{-2}$ current density in children; the results showed that the wound in the skin activated an epidermal battery having 17-42mV open circuit voltage and bone injury activated a 15-56mV endosteal battery. The periosteum cell layer did not present electrogenic properties and the bone battery was associated with the endosteal layer. It was later concluded that muscle wound was the dominant factor in generating the detected voltage; the larger currents were 10-32 μA on soft tissue surface.

Applications in psychology

EDA is one of the main psychophysiological indexes used to correlate psychological processes and is related to emotion, arousal and attention. Its measurement is highly sensitive (Wieland *et al.*, 1970) and its variations related to changes in cognitive or emotional status in an individual (Hugdahl, 1995). EDA has been used as a stress state indicator (Clements and Turpin, 2000) and as clinical index in studying various stress-related psychophysiological disorders (Hugdahl, 1995) and neuroticism (Norris, 2007).

Some neurosis studies have shown higher depressive symptomatology in patients after experiencing stressful events, such as unemployment (Creed *et al.*, 2001), caring for a spouse (Gallant *et al.*, 2003) and breast cancer surgery (Millar *et al.*, 2005). Other studies have reported higher skin conductance values in neurotic people, as well as reduced values in SCR to repetitive sensory stimulation (Akdag *et al.*, 2003) and slow SPR habituation to anguish, anxiety and "excitability" (Horan *et al.*, 2005; Mardaga *et al.*, 2006).

Conclusion

The existence of electrical signals in biological tissue was investigated many years ago and was suspended at least one hundred years ago. Nowadays, the application and reading current and

potenciales eléctricos comienzan a ser aceptadas como alternativas a tratamientos farmacológicos, tal es el caso de heridas de piel, principalmente úlceras (Tomonori *et al.*, 2004; Sakarai *et al.*, 2008), patologías óseas como la no unión o pseudoartrosis, entre otras (Aaron *et al.*, 2004; Anglen, 2003). Se incluyen también técnicas de diagnóstico más antiguas ya aceptadas y aplicadas, tal como la ECG, además del análisis de patologías psicológicas a partir de la RED (Norris, 2007; Horan *et al.*, 2005). Esta revisión presentó evidencia teórica, clínica y experimental de trabajos alrededor del estudio de la respuesta electrodermal, dejando la bioelectricidad como un área aún muy joven en la que es indispensable más investigación que ahonde en el conocimiento del cuerpo humano y que lleve a generar nuevas y mejores alternativas a tratamientos.

Agradecimientos

A Tim Watson for School of Health & Emergency Professions University of Hertfordshire, UK, por la valiosa información suministrada.

Referencias / References

- Aaron, R.K., Boyan, B.D., Ciombor, D.M., Schwartz, Z., Simon, B.J., Stimulation of growth factor synthesis by electric and electromagnetic fields., *Clin Orthop Relat Res.*, 419, 2004, pp. 30-37.
- Anglen, J., The clinical use of bone stimulators., *J South Orthop Assoc.*, 12, 2003, pp. 46-54.
- Baker, L., Chambers, R., DeMuth, S.K., Villar, F., Effects of electrical stimulation on wound healing in patients with diabetic ulcers., *Diabetes Care*, 20(3), 1997, pp. 405-412.
- Barceló, F., Martínez-Selva, J.M., Palmero, F., Correlatos fisiológicos de la ansiedad a la entrevista en una muestra de mujeres jóvenes., *Ansiedad y estrés*, 2 (1), 1996, pp. 43-54.
- Barker, A.T., Jaffe, L.E., Vanable, J.W., The glabrous epidermis of Cavies contains a powerful battery., *Am J Physiol.*, 242, 1982, pp. R358-R366.
- Barranco, S., Spadaro, J., In vitro effect of weak direct current on staphylococcus aureus., *Clinical Orthopaedic*, 100, 1974, pp. 250-255.
- Becker, R., The significance of bioelectric potentials., *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 1, 1974, pp. 187-199.
- Becker, R., The electrical control of growth processes., *Medical Times.*, 95, 1967, pp. 657-669.
- Becker, R., The direct current control system: A link between environment and organism., *New York State Journal of Medicine*, 62, 1962, pp. 1169-1176.
- Borgens, R., Endogenous ionic currents traverse intact and damaged bone., *Science*, 225, 1984, pp. 478-482.
- Borgens, R., What is the role of naturally produced electric current in vertebrate regeneration and healing?, *International Review of Cytology*, 76, 1982, pp. 245-298.
- Boucsein, W., *Electrodermal Activity.*, Nueva York: Plenum Press, 1992.
- Brown, M., Gogia, P.P., Effects of high voltage stimulation on cutaneous wound healing in rabbits., *Physical Therapy*, 67, 1987, pp. 662-667.

electrical potential has begun to be accepted as alternatives to pharmacological treatment; this is the case of skin injuries, mainly ulcers (Tomonori *et al.*, 2004; Sakarai *et al.*, 2008) and bone pathologies such as non-union or pseudoarthrosis (Aaron *et al.*, 2004; Anglen, 2003). Older diagnostic techniques which are already accepted and which have been implemented would include ECG and analysis of psychological disorders by EDR (Norris, 2007; Horan *et al.*, 2005). This review has presented theoretical, clinical and experimental evidence about work concerning the study of an electrodermal response, revealing bioelectricity to be a very young area where more research is needed to deepen knowledge about the human body and lead to generating new and better treatment alternatives.

Acknowledgments

We would like to thank Tim Watson from the School of Health & Emergency Professions, University of Hertfordshire, UK, for the valuable information provided.

- Charman, R.A., Part 3: Bioelectric potentials and tissue currents., *Physiotherapy*, 76, 10, 1990, pp. 643-653.
- Chi-Sing, C., Marylevich, N.P., McManus, A., Mason, A.D., Pruitt, B.A., Direct current reduces wound edema after full-thickness burn injury in rats., *The Journal of Trauma: Injury, Infection and Critical Care*, 40(5), 1996, pp. 738-742.
- Christie, M.J., Venable, P.H., *Psychophysiology*, Japanese Journal of Physiology, 8, 1971, pp. 779-786.
- Christie, M., Electrodermal activity in the 1980's- A review., *J Royal Soc Med.*, 74, 1981, pp. 616-622.
- Clemens, K., Turpin, G., Life event exposure, physiological reactivity, and psychological strain., *Journal of Behavioral Medicine*, 23(1), 2000, pp. 73-94.
- Creed, P.A., Muller, J., Machin, M.A., The role of satisfaction with occupational status, neuroticism, financial strain and categories of experience in predicting mental health in the unemployed, *Personality and Individual Differences*, 30, 2001, pp. 435-447.
- Edelberg, R., Biopotentials from the skin surface: The hydration effect., *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 148, 1968, pp. 252-62.
- Edelberg, R., Relation of electrical properties of the skin to structure and physiologic state., *J Invest Dermatol*, 69, 1977, pp. 324-327.
- Eysenck, H.J., *The biological basis of personality.*, Springfield, IL: Thomas, 1967.
- Féré, C., Note sur les modifications de la resistance électrique sous l'influence des excitations sensorielles et des émotions., *C.R. Soc. Biol.*, 5, 1888, pp. 217-9.
- Foulds, I.S., Barker, A.T., Human skin battery potential and their possible role in wound healing., *Br. J Dermatol*, 109, 1983, pp. 515-522.
- Fowles, D.C., *Mechanisms of electrodermal activity: Methods in Physiological Psychology.*, Bioelectric Recording Techniques, Vol. 1, Ed. RF Thompson, MM Patterson. Academic Press, New York, 1974, pp. 231-71.

- Fowles, D.C., The eccrine system and electrodermal activity in Psychophysiology., ed. MGH Coles, E Donchin, SW Porges. Guilford Press, New York, 1986, pp. 51-96.
- Franek, A., Polak, A., Kucharzewski, M., Modern application of high voltage stimulation for enhanced healing of venous crural ulceration., Medical Engineering and Physics, 22, 2000, pp. 647-655.
- Gallant, M.P., Connell, C. M., Neuroticism and depressive symptoms among spouse caregivers: Do health behaviors mediate this relationship?, Psychology and Aging., 18, 2003, pp. 587-592.
- Gentzkow, G.D., Alon, G., Taler, G.A., Eltorai, I.M., Montroy, R.E., Healing of refractory stage III and IV pressure ulcers by a new electrical stimulation device., Wounds, 5.3, 1993, pp. 160-172.
- Gentzkow, G.D., Pollack, S.V., Kloth, L.C., Stubbs, H.A., Improved healing of pressure ulcers using dermapulse, a new electrical stimulation device., Wounds, 3(5), 1991, pp. 158-170.
- Goldman, R., Brewley, B., Goleen, M., Electrotherapy Reoxygenates inframalleolar ischemic wounds on diabetic patients., Advances in Skin & Wound Care, 15, 2001, pp. 112-120.
- Griffin, W., Tooma, R.E., Mendius R.A., Clift J.K., Zwaag E.Z., Efficacy of high voltage pulsed current for healing of pressure ulcers in patients with spinal cord injury., Physical Therapy, 71, 1991, pp. 433- 442.
- Horan, W.P., Subotnik, K.L., Reise, S.P., Ventura, J., Nuechterlein, K.H., Stability and clinical correlates of personality characteristics in recent-onset schizophrenia, Psychological Medicine, 35, 2005, pp. 995-1005.
- Houghton, P.E., Kincaid, C.B., Lovell, M., Campbell, K.E., Keast, D.H., Woodbury, M.G., Harris, K.A., Effect of electrical stimulation on chronic leg ulcer size and appearance., Physical Therapy, 83,1, 2003, pp. 17-28.
- Hugdahl, K., Psychophysiology: The mind-body perspective., United States: Harvard University Press, 1995.
- Illingworth, C.M., Barker, A.T., Measurement of electrical currents emerging during the regeneration of amputated fingers tips in children., Clin. Phys. Physiol. Meas., 1(1), 1980, pp. 87-89.
- Im, M.J., Lee, W., Hoopes, J., Effect of Electrical stimulation on survival of skin flaps in pigs., Physical Therapy, 70,1990, pp. 37-40.
- Jaffe, L., Vanable, J., Electric fields and wound healing., Clinics in Dermatology, 2(3),1984, pp. 34-44.
- Kincaid, C.B., Lavoie K.H., Inhibition of bacterial growth in vitro following stimulation with high voltage, monophasic, pulsed current., Physical Therapy, 69, 1989, pp. 29-33.
- Klot, L., McCulloch, J.M., Promotion of wound healing with electrical stimulation., ADV Wound Care, 9(5), 1996, pp. 42-45.
- Kloth, L., Feedar, J., Acceleration of wound healing with high voltage monophasic pulsed current., Physical Therapy, 68(5), 1988, pp. 503-508.
- Malmivuo, J., Plonsey, R., Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields., New York, Oxford University Press, Cap 27, 1995.
- Mardaga, S., Laloyaux, O., Hansenne, M., Personality traits modulate skin conductance response to emotional pictures: An investigation with Cloninger's model of personality., Personality and Individual Differences, 40, 1996, pp. 1603-1614.
- Martin, I., Venables, P.H., Mechanisms of palmar skin resistance and skinpotential., Psychological Bulletin, 65, 1966, pp. 347-357.
- Millar, K., Purushotham, A.D., McLatchie, E., George, W.D., Murrar, G.D., A 1-year prospective study of individual variation in distress, and illness perceptions, after treatment for breast cancer., Journal of Psychosomatic Research, 58, 2006, pp. 335-342.
- Mohr, T., Akers, T., Wessman H., Effect of high voltage stimulation on blood flow in the rat hind limb., Physical Therapy, 67, 1987, pp. 526-533.
- Moncada, M.E., Martínez, A., Pinedo, C.R., Desarrollo experimental y computacional para estimar variables eléctricas inducidas en muestras de fémur bovino estimuladas por campos magnéticos de baja frecuencia., Revista Cubana de Investigaciones Biomédica, 27 (2), 2008, pp. 1-9.
- Moncada M.E., Martínez A., Pinedo C.R., Cadavid H., Desarrollo e implementación de una técnica para la medición de impedancia en muestras de hueso húmedo de bovino., Rev. fac. ing. Univ. Antioquia, No 44, 2008, pp. 75-82.
- Moncada, M.E., Cadavid, H., Metodología de construcción de muslos 3D para estimar variables eléctricas inducidas por campos magnéticos de baja frecuencia., Revista Brasileir de Engenharia Biomédica, 23, 2007, pp. 123-130.
- Nelson, R.M., Hayes, K.W., Currier. Clinical Electrotherapy., 3ed. Appleton and Lange, 1999.
- Nishimura, K.Y., 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, 109, 1996, pp.199-207.
- Norris, C.J., Larsen, J.T., Cacioppo, J.T., Neuroticism is associated with larger and more prolonged electrodermal responses to emotionally evocative pictures., Psychophysiology, 44, 2007, pp. 823-826.
- O'Leary, J.L., Goldring, S., D-C Potentials of the Brain., Physiol Rev, 44(1), 1964, pp. 91-125.
- Poltawski, L., Edwards, H., Todd, A., Watson, T., Lees, A., James, C., Cutaneous side effects of infused apomorphine: The patient and care experience., Brit J Neuroscience Nursing, 4 (12), 2008a, pp. 576-580.
- Poltawski, L., Edwards, H., Todd, A., Watson, T., Lees, A., James, C., Ultrasound treatment of cutaneous side-effects of infused apomorphine: A randomised controlled pilot study., Mov Disord, 24, 2008 b, pp.115-118.
- Poltawski, L., Watson, T., Bioelectricity and microcurrent therapy for tissue healing-a narrative review., Physical Therapy Reviews, 14(2), 2009, pp.104-114.
- Rowley, B.A., McKenna, J., Chase, G.R., The influence of electrical current on an infecting microorganism in wounds., Ann NY Academic Scientific, 238, 1974, pp. 543-551.
- Sakarai, T., Yoshimoto, M., Koyama, S., Miyakoshi, J., Exposure to extremely low frequency magnetic fields affects insulin-secreting cells., Bioelectromagnetics, 29(2), 2008, pp.118-24.
- Sandoval, M.C., Herrera, E., Efectos de la estimulación eléctrica sobre el proceso de cicatrización de las heridas., Salud UIS, 39, 2007, pp. 54-61.
- Schwebel, D.C., Suls, J., Cardiovascular reactivity and neuroti-

- cism: Results from a laboratory and controlled ambulatory stress protocol., *Journal of Personality*, 67, 1999, pp. 67-92.
- Selva, J.M., García-Sánchez, F., Gómez-Amor, J., Individual differences in psychophysiological and subjective correlates of speech anxiety., *Journal of Psychophysiology*, 3, 1989, pp. 75-81.
- Siddle, D.A., Lipp, O.V., Dall, P., The effects of task type and task requirements on the dissociation of skin conductance responses and secondary task probe reaction time., *Psychophysiology*, 33, 1996, pp. 73-83.
- Thakor, N., Webster, J., The origin of skin potential and its variations., 31st ACEMB, Atlanta, Georgia, USA, 1978.
- Tomonori, S., Akira, S., Shoichiro, S., Kazutomo, I., Junji, M., An Extremely Low Frequency Magnetic Field Attenuates Insulin Secretion From the Insulinoma Cell Line, RIN-m, *Bioelectromagnetics*, 2004, 25:160-166.
- Venables, P.H., Christie, M.J., *Techniques in Psychophysiology*, Ed. I Martin, 1980, pp. 3-67.
- Wieland, B.A., Mefferd, R.D., Systematic changes in levels of physiological activity during a fourth-month period., *Psychophysiology*, 6, 1970, pp. 669-689.