

2. INTRODUCCION

Las quemaduras eléctricas constituyen un tipo especial de lesión térmica que requiere un claro entendimiento de las propiedades físicas de la electricidad, la fisiopatología regional y sistémica de la lesión eléctrica, las características de la herida local y la amplia gama de complicaciones que pueden ocurrir.

El fundamento de la energía eléctrica reside en el trabajo que los electrones realizan al moverse a través de un conductor. La *electricidad* es el flujo de electrones de átomo a átomo. La fuerza que mueve los electrones de un átomo a otro se llama voltaje (V) y se expresa en unidades llamadas *voltios*. La fuerza que se opone al movimiento de electrones se llama *resistencia* (R) y mide en *ohms* la dificultad que encuentran los electrones para pasar a través de un conductor. La *intensidad* (I) o flujo de corriente en relación con el tiempo transcurrido se llama amperaje y su unidad es el *amperio*. La relación entre resistencia y amperaje tiene suma importancia en la fisiopatología de las quemaduras eléctricas, ya que el calor generado por el paso de una corriente eléctrica (efecto Joule) es directamente proporcional a la intensidad de la corriente y a la resistencia del conductor (calor producido=(Intensidad)² x resistencia x tiempo transcurrido). Un principio importante de la acción eléctrica es que la corriente siempre busca descargarse a tierra. Cuando el cuerpo humano se coloca de manera que se convierte en parte del trayecto de la electricidad entre dos puntos de diferente potencial, sufrirá las consecuencias del paso de la corriente.(2)(3)(6)(10)(12)

La acción biológica de la corriente está condicionada por varios factores como el voltaje, la intensidad, la resistencia, el tipo de corriente, el trayecto de la corriente, el tiempo

de duración del contacto, la extensión del área de contacto, el tamaño, forma y naturaleza de los electrodos, la susceptibilidad individual, la humedad ambiental, la humedad del suelo, la presencia de puntos sin aislamiento dentro del sistema o la clase de material interpuesto entre la fuente de energía y la víctima. (2)(10)(12)

Tensión o voltaje

El determinante principal del daño tisular es el voltaje y por convención se considera el límite de 1000 voltios para clasificar la corriente como de alto o bajo voltaje. Las quemaduras que ocurren por corriente eléctrica de 1000 voltios a más son de alto voltaje y por debajo de dicho valor son quemaduras de bajo voltaje. Ambas pueden causar la muerte, pero la causa más frecuente de quemaduras extensas y carbonización tisular es generalmente la de alto voltaje que puede inducir temperaturas mayores de 80°C, aproximadamente el doble del necesario para producir la coagulación proteínica (18).

La corriente eléctrica de bajo voltaje, de 200v o menos y que es alterna (25 a 300ciclos) tiende a producir fibrilación ventricular sin afectar el centro respiratorio, si la corriente tiene entre 200 y 1000v tiende a lesionar ambos. En general se considera de poco peligro toda corriente menor de 24 voltios (22). Los accidentes más comunes ocurren al cambiar lámparas eléctricas, colocarse un cable en la boca (generalmente niños) o tocar aparatos eléctricos.

La corriente eléctrica de alto voltaje tiende a producir primero parálisis del centro respiratorio por depresión directa o hemorragias en el cuarto ventrículo sin afectar al corazón, aunque puede ocasionar un paro cardiorrespiratorio (13). La corriente busca el camino más

corto entre el punto de contacto y tierra, y en general la víctima es rechazada por el circuito eléctrico por lo que sufre frecuentes lesiones traumáticas (fracturas, hemorragias cerebrales). Usualmente el circuito se completa formando un arco antes de que la víctima toque el conductor.

Intensidad o amperaje

Tanto la resistencia como el amperaje cambian cuando la corriente pasa desde la piel hacia otros tejidos. Lamentablemente el límite de seguridad entre el amperaje de la corriente hogareña (menos de 10mA) y el que causa paro respiratorio (20-50mA) o fibrilación ventricular (50-100mA) es muy pequeño. La variación del amperaje produce una serie progresiva de cambios biológicos. Un miliamper constituye el umbral de percepción, con sensación mínima si la intensidad no llega a más de 3mA, a este nivel la corriente continua se siente como calor mientras que la corriente alterna da una sensación de hormigueo o picazón. Entre 10 y 20mA la corriente alterna produce contracciones musculares (tetania) que pueden mantener a la víctima “pegada” al circuito. Una corriente de 20mA y 60 ciclos que pase a través del tórax puede causar paro respiratorio, además si produce contracción tetánica de los músculos torácicos el paciente podrá sofocarse. La intensidad necesaria para producir fibrilación ventricular varía entre 50 y 250mA.

La resistencia

La resistencia del cuerpo depende en gran medida de la resistencia de la piel y de los huesos, la de algunos tejidos es, en orden decreciente, la siguiente: hueso (900,000 ohms),

grasa (tiende a disolverse o coagularse), cartílago, tendón, piel seca (5,000 ohms), músculos (1,500 ohms), piel húmeda (1,000 ohms), vasos y nervios.

La piel es un aislante pobre y la dañan voltajes comparativamente bajos (250v), ofrece más resistencia a la corriente directa que a la alterna. Cuando está seca su resistencia es mayor (en promedio 5,000 ohms pero puede llegar hasta 40,000 ohms/cm²) mientras que la piel húmeda en promedio es de 1000ohms.

Tipo de corriente

Hay 2 tipos de corrientes. La continua o directa, que consiste en electrones que se mueven siempre en la misma dirección, y la alterna, en la cual los electrones cambian a la dirección opuesta, en forma regular; cada vez que en la corriente alterna los electrones, en cambio de dirección, regresan a la posición inicial, se produce un ciclo; es decir que si cambia de dirección 120 veces por segundo se trata de una corriente alterna de 60 ciclos.

A igual voltaje, la corriente alterna es 3 a 4 veces más peligrosa que la directa ya que produce contracciones musculares tetánicas que mantienen a la víctima en contacto con el conductor.

Trayecto de la corriente

Desde el punto de entrada la corriente se dispersa rápidamente para volver a concentrarse en el punto de salida, por ello las lesiones son más graves en estos lugares. El trayecto no siempre es fácil de identificar. El pasaje puede ser de brazo a brazo, de mano a pie, brazo a tórax, etc. En general si no hay órganos vitales en el trayecto, las lesiones se reducen sólo a quemadura.

Las lesiones por quemaduras eléctricas se clasifican en 1)Por contacto o quemadura eléctrica, 2)Quemadura por arco voltaico, 3)Quemadura por ignición y, 4)Quemadura mixta. Pueden ocurrir los 4 tipos en un determinado paciente.

La *quemadura eléctrica por contacto* es la causada por el paso de la corriente entre 2 puntos anatómicos, de manera que el cuerpo se convierte en parte del circuito eléctrico. Las quemaduras de alto voltaje se caracterizan por presentar lesiones de entrada y salida, asimismo en el recorrido. El daño es fundamentalmente térmico y su extensión se relaciona con la magnitud, frecuencia y duración del flujo eléctrico, y con el volumen y resistencia del tejido atravesado. (2)(3)(13)

En la *quemadura por arco eléctrico*, la corriente pasa externamente al cuerpo desde el punto de contacto hacia la tierra y la magnitud de la lesión depende de la proximidad de la piel al arco y al calor generado por la energía radiante. Como en el caso de las quemaduras por contacto pueden deberse a corrientes de alto o de bajo voltaje. Estas quemaduras pueden lesionar una extensión cutánea mayor que las quemaduras por contacto. La profundidad de la quemadura depende de la cercanía de la corriente a la piel.

La *quemadura por ignición* ocurre cuando el paso de la corriente incendia las ropas u objetos cercanos a la víctima y le produce una quemadura convencional por fuego.

La *quemadura mixta* es aquella producida por contacto eléctrico más arco eléctrico.

En la evaluación del paciente con quemadura eléctrica el antecedente del lugar del contacto eléctrico es importante. Lesiones en domicilio se deben probablemente a voltajes de 110-220v, mientras que los accidentes laborales o industriales son típicamente de alto voltaje. El examen físico del paciente es similar a los casos de trauma mayor. Se debe evaluar la permeabilidad de las vías aéreas, la respiración, el ritmo cardíaco (considerar monitoreo electrocardiográfico), la circulación periférica, el estado neurológico y mental. Se requiere una evaluación posterior más detallada que incluye la localización de las lesiones de contacto, el grado y extensión de la quemadura (teniendo en cuenta que mucho tejido dañado se encuentra “oculto” y que la piel puede encontrarse aparentemente indemne), áreas de potencial compresión vascular o nerviosa y un examen neurológico más detallado. Los exámenes de laboratorio son útiles para detectar cromoproteínas circulantes resultado de la hemomioglobinemia los cuales pueden precipitarse y causar falla renal, evaluar el color de la orina o solicitar un examen de orina es importante en estos casos. Los niveles de creatinina y creatinfosfokinasa pueden elevarse, asimismo las enzimas cardíacas (AST, SGOT, LDH) como resultado del daño al miocardio. Además se deben solicitar radiografías de tórax si se sospecha pneumo o hemotórax; de manera similar, se deben solicitar radiografías de las regiones donde se sospeche alguna fractura, ya que Baxter ha reportado una incidencia de 10% de fracturas óseas asociadas a las quemaduras eléctricas.

La corriente eléctrica puede afectar cualquier tejido y órgano. Los cambios producidos en el organismo son variables y complejos. Los cambios más característicos en la piel son las lesiones de entrada y salida que pueden ser redondas, ovales, en roseta o lineales; en general corresponde a la forma de los electrodos. El área de entrada suele mostrar carbonización, con

depresión central y apariencia acartonada mientras que los puntos de salida son generalmente múltiples y aparecen como si ese pequeño trozo de piel hubiera sufrido una “explosión”, debido a que la corriente se condensa debajo de la piel y literalmente “estalla” al salir al exterior. (2)

El daño muscular está ocasionado por la transformación de energía eléctrica en calor que produce necrosis. La patogenia de las lesiones musculares se debe a múltiples factores. Se produce una “necrosis progresiva” debido a que la mayor parte de la corriente viajaría preferentemente a lo largo de las líneas de menos resistencia, particularmente los vasos sanguíneos. Estos vasos lesionados pero no trombosados inmediatamente sufrirían una oclusión posterior ocasionando una necrosis isquémica progresiva de los músculos que nutren. Otros investigadores sostienen que se produce una necrosis irreversible inmediata con el paso de la corriente. Una tercera teoría postula que el tejido dañado liberaría mediadores de la inflamación, sobre todo tromboxano A₂, produciría una isquemia progresiva microvascular. (2)

Los huesos resultan en necrosis perióstica, osteonecrosis y aún derretimiento de la matriz de fosfato cálcico. La violenta contracción muscular y las caídas pueden producir fracturas

Las lesiones en el sistema nervioso central, en general, ocurren por alto voltaje. Casi siempre hay pérdida de conciencia y es posible el TEC, el coma y la muerte. Menos frecuentemente se producen las hemiplejías, epilepsias, afasias.

Las anomalías más frecuentes en el corazón se relacionan con el sistema de conducción y las quejas más frecuentes son el dolor en el pecho y la disnea. Se producen por espasmo coronario, endoarteritis coronaria o daño miocárdico pudiendo ocurrir alteraciones no específicas de las ondas ST-T. También puede observarse fibrilación auricular que generalmente remite sola. En cambio la fibrilación ventricular rara vez revierte espontáneamente y es la causa más común de fallecimiento en las de bajo voltaje. (4)(10)(20)

La falla renal es una complicación más frecuente que en otros tipos de quemaduras y resulta del depósito de mioglobina liberada del músculo necrótico, y de la hemoglobina producto de la destrucción de los hematíes. Esto agregado a la baja filtración y a la isquemia corticorrenal por hipovolemia produce la injuria renal.

Si el punto de entrada o salida se encuentra en el tórax puede haber efusiones pleurales y neumonitis. La contractura muscular puede producir paro respiratorio.

Los efectos a nivel gastrointestinal se producen por acción directa de la corriente eléctrica o secundarios a stress (úlceras de Curling). Ocasionalmente se observa trombosis mesentérica, íleo, necrosis vesicular, pancreática, hepática y hemorragias intestinales.

Las complicaciones oculares son tardías. Pueden presentarse cataratas y ocurre generalmente cuando la corriente ha penetrado a través de la cabeza o del cuello. Las cataratas pueden ser unilaterales, bilaterales, estacionarias o progresivas, y pueden presentarse hasta 3 años después del accidente.

En base a lo expuesto, se puede ver claramente la complejidad y gravedad de las lesiones producidas por la energía eléctrica. Los aspectos clínicos y epidemiológicos varían de una población a otra. Las consecuencias físicas y psicológicas son importantes y a diferencia de las quemaduras por fuego o agua, las producidas por la corriente eléctrica pueden llevar a la amputación de alguna extremidad y las consecuencias psicológicas son desastrosas con efectos marcados en el aspecto social y laboral. En tal sentido, la prevención es esencial y los estudios clínico-epidemiológicos pueden contribuir en la elaboración de no sólo de protocolos de tratamiento sino de programas especiales de prevención y proporcionar información vital para encontrar estrategias que contribuyan a disminuir su frecuencia.

Los objetivos del presente trabajo son:

1. Conocer las características clínicas y epidemiológicas de los pacientes con quemaduras eléctricas que son atendidos en la Unidad de Quemados del Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen.
2. Identificar factores predisponentes y de riesgo en el paciente con quemadura eléctrica,
3. Servir de base para elaborar protocolos y programas de prevención, tanto para el personal de salud como para las instituciones cuyos trabajadores están en riesgo como las empresas eléctricas.