

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

FISIOPATOLOGÍA, MANIFESTACIONES SISTÉMICAS Y SECUELAS DE LA FULGURACIÓN EN SERES HUMANOS

*Ana Beatriz Argüelles Argüello, Karla Barrantes Rodríguez, José Pablo González Cerdas
Sofía León Spesny Alberto Alonso Umaña Brenes, Celina Vargas Arguedas¹*

RESUMEN:

Un rayo es un impulso masivo de corriente unidireccional creado por un gradiente de electrones entre dos nubes o una nube y la tierra. El trauma eléctrico por lo general no es mortal, sin embargo se asocia a una serie de complicaciones médicas de importancia. Las secuelas están determinadas tanto por la intensidad de la corriente como por la duración de la aplicación energética. Las lesiones por electrofulguración ocurren por distintos mecanismos: golpe directo, lesión de contacto, "side splash", corriente por tierra y trauma contuso. La electricidad atmosférica causa diferentes tipos de lesiones a nivel de la piel, como es el caso de las quemaduras lineales, punteadas, térmicas y en plumaje. Las figuras de Lichtenberg son patognomónicas de la electrofulguración. Además del efecto sobre el sistema tegumentario, se documentan lesiones cardiovasculares, respiratorias, gastrointestinales, oculares, auditivas y neurológicas. Cuando se presenta una muerte por electrofulguración, como pocas veces es presenciada y ocurre en espacios abiertos, se debe realizar un estudio exhaustivo del cadáver y del lugar del suceso para descartar otras causas de muerte natural o violenta. En Costa Rica en el año 2011 se presentaron 7 muertes por electrofulguración, principalmente durante la juventud y adultez temprana y a nivel de la zona rural, siendo el principal mecanismo de lesión el golpe directo.

PALABRAS CLAVE:

Traumatismos por acción de rayo, fisiopatología, radicales libres, quemaduras eléctricas

ABSTRACT:

Lightning is a massive unidirectional current that depends of an electron gradient; this electric flow travels from one cloud to another or to the ground. Electric trauma generally is not lethal, however, it is associated to several complications. Sequelae are determined both by the current strength and by the duration of the exposure. Lightning damage occurs by different mechanisms: direct strike, contact injury, side splash, ground current, and blunt trauma. Atmospheric electricity causes different skin lesions such as linear, punctate, thermal, and plumage burns. Lichtenberg figures are pathognomonic for lightning. Besides the effect on the integumentary system, respiratory, gastrointestinal, ocular, auditory, cardiovascular, and neurological injuries are documented as well. When lightning causes death, it usually happens in open places without witnesses. An exhaustive study of the cadaver and the setting of the event should be accomplished in order to exclude natural or violent causes of death. In Costa Rica in 2011, there were seven deaths related to lightning; young adults predominated and most took place in rural areas, being direct strike the main mechanism of damage.

KEY WORDS:

Lightning injuries, lightning strike, physiopathology, free radicals, electric burns

1. Médico general, arguellesanabeatriz@gmail.com
Recibido para publicación el 30 de enero de 2015

Aceptado el 13 de febrero de 2015

Introducción

Se le llama fulguración a los efectos que la electricidad atmosférica produce sobre el ser humano, entiéndase lesiones locales, generales, externas e internas, que a menudo conducen a la muerte⁽¹⁾. Este mecanismo de muerte es relativamente infrecuente y depende de la presencia de tormentas en la zona. En regiones tropicales hay más tormentas eléctricas y se pasa más tiempo en el exterior, probablemente hay un mayor número de muertes causadas por electrofulguración que en otros sitios del mundo⁽²⁾. La estadística a la que se recurre para determinar el impacto de la fulguración suele ser de origen internacional dado que no hay publicaciones periódicas por los entes encargados de llevar dichos datos⁽³⁾.

Con el presente trabajo se busca explicar la fisiopatología e identificar las lesiones y secuelas que se generan en los diversos sistemas del cuerpo humano producto de un evento de fulguración. Además se trata el tema de la prevención y se realiza un análisis de casos en Costa Rica.

Principios físicos de los rayos

El rayo es una enorme corriente eléctrica que circula entre dos nubes o entre una nube y la tierra; puede cruzar kilómetros de distancia y usualmente se origina en un cumulonimbus o nube de tormenta⁽⁴⁾. Estas son nubes de gran extensión vertical, en su interior hay fuertes corrientes de aire turbulento, regiones con temperaturas muy bajas, cristales de hielo y granizos⁽⁵⁾.

Los rayos tienen temperaturas cercanas a aquellas de la superficie del Sol y ondas de choque que provocan daño. Estos son producto de una concentración sustancial de carga en las nubes, la cual se dirige hacia el suelo (6), es una descarga eléctrica⁽⁵⁾. Se explica por la primera ley de la electrostática: Las cargas del mismo signo se repelen y las cargas de signo contrario se atraen⁽⁶⁾. Las partes superiores de las nubes de tormenta poseen carga positiva, mientras que en las partes centrales predominan las cargas negativas; la tierra que se halla debajo de la nube tiene carga contraria durante una tormenta. Este proceso se denomina *inducción electrostática*⁽⁵⁾. Para que un rayo ocurra, debe haber un gradiente de voltaje en el aire de al menos dos millones de V/m (7).

La ley de Ohm afirma que para una diferencia de potencial dada, la corriente es inversamente proporcional a la resistencia. El peligro ante una descarga va a depender de la resistencia del cuerpo humano. Las capas superficiales de la piel proveen resistencia, sin embargo, si la piel está húmeda, su conductividad aumenta y por lo tanto la resistencia disminuye notablemente; esto implica, según la ley de Ohm, que la corriente aumenta drásticamente⁽⁸⁾.

Las descargas eléctricas tienen diferente potencia dependiendo de la conducción atmosférica, la intensidad media durante cada descarga principal llega hasta 20 000 amperios. El daño que causa el rayo se debe en gran parte al calor que origina, este calienta el aire y lo expande bruscamente, dando lugar a ondas de presión que se propagan como ondas sonoras⁽⁵⁾.

Prevención

Recomendaciones dadas por el Instituto Meteorológico Nacional:⁽⁵⁾

1. No refugiarse cerca de un árbol aislado.
2. En caso de encontrarse en pleno campo, no correr para escapar de la tormenta, se debe colocar horizontal sobre la tierra.
3. En lugares abiertos no usar paraguas con punta de metal.
4. Evitar permanecer en lo alto de las colinas; buscar refugio en lugares bajos.
5. Cerrar puertas y ventanas y permanecer adentro preferiblemente sobre la cama, principalmente si es de madera.

6. No tener contacto con el agua. No caminar sobre suelos húmedos o con calzado mojado.
7. No manejar herramientas, objetos metálicos, maquinaria, vehículos ni artefactos eléctricos durante la tormenta. Alejarse de las verjas metálicas y vallas.
8. Usar el teléfono solo en caso de emergencia.
9. Los vehículos y edificios grandes constituyen un buen refugio; se debe quedar dentro de estos.
 - a. Encontrarse dentro de un vehículo abierto es riesgoso y no recomendado⁽⁴⁾

Fisiopatología de la lesión por electrofulguración

Un rayo es un impulso masivo de corriente unidireccional, el cual puede liberar más de 1 millón de voltios de energía; con una mortalidad de 5-20%. La dirección de la corriente en el cuerpo humano va a influir sobre el tipo de lesión, los tejidos involucrados y la conversión a energía calórica. Sin embargo, el daño causado es determinado sobre todo por la intensidad de la corriente y la duración de la aplicación de energía^{(9) (10)}.

En la electrofulguración no ocurre frecuentemente daño en órganos sólidos debido a la corta duración con la que la corriente atraviesa el cuerpo (unos 0,02 s), fenómeno conocido como “flashover” o combustión súbita⁽¹⁰⁾. Bajo este efecto la mayor cantidad de corriente es conducida a lo largo de la superficie corporal, donde la resistencia de la piel provoca una disminución del voltaje; efecto que explica la sobrevida en casos de electrofulguración⁽¹¹⁾.

A nivel interno se pueden producir cortocircuitos de sistemas eléctricos como el corazón, los centros respiratorios y el sistema nervioso autónomo. Comúnmente se observan casos de asistolia (más que fibrilación ventricular), así como de espasmo o isquemia arterial, provocando infarto del miocardio o síndromes medulares⁽¹⁰⁾. Se han establecido distintas teorías sobre síndromes neurodegenerativos posteriores a electrofulguración, entre estas: daño proteico de las células endoteliales en la columna vertebral, liberación de radicales libres que causan sobreestimulación glutamatérgica y el daño directo vascular en la médula espinal⁽¹²⁾.

Mecanismos de la lesión por electrofulguración

Las lesiones ocurridas por electrofulguración se deben a 5 mecanismos principales^{(9) (11)}:

1. Golpe directo: representa el mecanismo con mayor mortalidad, ocurre cuando el relámpago golpea a la persona directamente, usualmente en la cabeza. La corriente ingresa por orificios, atraviesa los tejidos internamente a través del sistema vascular o neurológico hasta salir por los pies.
2. Lesión de contacto: ocurre cuando la víctima toca un objeto que se encuentra en el camino de la corriente.
3. “Side splash”: cuando el rayo cae sobre otro objeto, un árbol por ejemplo, y parte de la energía es transferida a la persona que se encuentra cerca del mismo.
4. Corriente por tierra: es cuando el relámpago impacta el suelo, se expande radialmente, ingresa a la víctima a través de una extremidad inferior y la abandona por la extremidad inferior contralateral, lesionando así la parte caudal del cuerpo.
5. Trauma contuso: se da tanto primario como secundario, este último ocurre cuando el relámpago produce daños infraestructurales alrededor del paciente. El primario se desarrolla cuando un flujo de corriente provoca contracción muscular y empuja al paciente y /o cuando una ola expansiva con temperaturas de 25 000- 30 000 °C golpea a la víctima.

Lesiones secundarias a electrofulguración

Las lesiones causadas por la electricidad atmosférica son externas o internas⁽¹³⁾.

***Internas:** las lesiones viscerales son inespecíficas y se caracterizan por congestión.

***Externas**

- a) Grandes traumatismos: arrancamiento de miembros, luxaciones y fracturas. Se presentan por el efecto mecánico del rayo.
- b) Heridas y contusiones: se localizan en los sitios de entrada y salida de la descarga, son electromecánicas. Por ejemplo: heridas contusas con hematoma alrededor, quemaduras y perforaciones en la región plantar del pie.
- c) Imágenes de rayo: huellas de color rojo azulado con numerosas divisiones que semejan las ramas de un árbol. Se ubican en la proximidad de la línea media de la cara anterior o posterior del tórax. Son dilataciones vasculares en puntos de paso de la descarga.
- d) Erupciones: lesiones multiformes como urticaria y erisipela que se han documentado en sobrevivientes.
- e) Alteraciones en anexos: las quemaduras pueden volatizar los vellos.
- f) Metalizaciones: por acción del rayo existe penetración y fundición de finas partículas metálicas en la piel.
- g) Quemaduras: se clasifican en lineales, punteadas, en plumaje y térmicas.

Las de tipo lineal son quemaduras de primer o segundo grado, de 1 cm a 4 cm de largo, secundarias a la evaporación de agua o sudor por el fenómeno de combustión súbita. Cuando la ropa de la víctima prende fuego o porta un objeto metálico que se calienta por efecto de la energía eléctrica, se originan quemaduras térmicas de segundo o tercer grado⁽¹⁰⁾.

Quemaduras arborescentes, en plumaje o figuras de Lichtenberg son lesiones patognomónicas de la fulguración y representan la extravasación de eritrocitos hacia estratos más superficiales de la piel⁽¹⁴⁾. Se observan como marcas transitorias en forma de hehecho, ligeramente palpables, cuyo color puede variar de rosado a café. Las quemaduras punteadas son de morfología circular, múltiples, conglomeradas y de tamaño variable⁽¹⁵⁾.

Muerte por electrofulguración

Existen dos teorías sobre la patogenia de la muerte por electrofulguración⁽¹³⁾:

1. Efectos mecánicos de la descarga eléctrica: desgarros viscerales, lesiones por el lanzamiento a distancia de la víctima, caídas, precipitaciones, derrumbamientos con subsiguientes aplastamientos, incendios, etc.
2. La acción específica de la corriente de alta tensión del rayo: inhibición directa de los centros nerviosos o efectos cardiacos.

El diagnóstico de la muerte se realiza siguiendo los siguientes pasos:

- Examen del cadáver⁽¹³⁾: como generalmente los cadáveres se hallan en lugares aislados y cierto tiempo después del momento de la muerte, hay que hacer un diagnóstico diferencial entre muerte natural y muerte violenta, y luego se debe aclarar si fue por fulguración, insolación, por ataque de animales salvajes, etc. El perito debe examinar lo siguiente:
 - examen de las ropas: desgarros, quemaduras, elementos metálicos como botones o hebillas fundidos y deformados.

- examen externo del cadáver: las lesiones presentes en la superficie externa del cadáver (quemaduras, metalizaciones, etc) suelen tener un valor diagnóstico definitivo, sin embargo las quemaduras no siempre pueden distinguirse de las que produciría la electricidad industrial u otros agentes térmicos.
 - hábito interno: el examen de las vísceras, exceptuando las afectadas por lesiones electromecánicas, no demuestra más que la congestión inespecífica. Un estudio histológico del cerebro sí permite encontrar lesiones de electrocución.
- Inspección del lugar del suceso: se pueden encontrar huellas características de cuando la energía térmica del rayo se neutralizó en la tierra (en terrenos arenosos se observan señales de vitrificación, en suelos rocosos hay surcos, en los árboles pueden encontrarse chamuscamientos, en los edificios pueden haber muros destruidos, incendios, hoyos en paredes)⁽¹³⁾. El antecedente meteorológico es fundamental: hay que comprobar siempre si hubo o no una tormenta en el lugar y en la fecha de muerte⁽¹⁶⁾.

La *imantación* es el efecto característico del rayo sobre los objetos metálicos. Se debe comprobar si existe esta propiedad en los objetos hallados sobre el cadáver, como navajas, alfileres, botones, etcétera. Se puede producir la desimantación de los objetos que normalmente son imantados (brújulas, imanes), lo cual también debe aprovecharse para el diagnóstico⁽¹³⁾.

Secuelas de los accidentes eléctricos

Los accidentes eléctricos se asocian a una serie de secuelas en el paciente que alteran su calidad de vida y elevan su morbilidad. Entre las secuelas más importantes se encuentran las de manifestación precoz, las cuales tienden a ser autolimitadas, y las tardías que suelen asociarse a mayor cronicidad. Se van a detallar las secuelas de la electrofulguración más frecuentes:

Sistema gastrointestinal: Se han reportado casos de ruptura esofágica e intestinal con alta tasa de morbi- mortalidad asociada. Se documentan complicaciones como íleo paralítico, úlceras por estrés, sangrado gastrointestinal y dilatación gástrica⁽¹⁷⁾. Secuelas a largo plazo incluyen estenosis esofágica y disfagia⁽⁹⁾.

Cardiovascular: Las lesiones pueden ser reversibles de acuerdo al grado de extensión, sin embargo se pueden presentar diversas secuelas y la mortalidad es del 20%. Durante el evento se produce una despolarización del miocardio, lo que puede llevar a arritmias, asistolia y fibrilación ventricular. Si el paciente sobrevive, podrían quedar lesiones crónicas a nivel del miocardio que asemejan un infarto en el electrocardiograma (EKG)⁽²⁾. Las alteraciones tempranas que se presentan son visibles principalmente a nivel del EKG, con taquicardia, cambios no específicos, prolongación del intervalo QT, inversión transitoria de la onda T, entre otros⁽¹⁸⁾.

Tanto el ritmo como la frecuencia cardíaca se pueden ver afectados de forma aguda debido al trauma eléctrico y mecánico, así como por estimulación autonómica y liberación de catecolaminas, que llevan a despolarización cardíaca y asistolia. No obstante, tanto la arritmia atrial como la ventricular tienden a ser autolimitadas⁽¹⁸⁾.

Se han reportado casos de muerte súbita, cuya principal causa consiste en la fibrilación ventricular. Asimismo, dentro de su fisiopatología se han descrito otras causas como un estímulo eléctrico o latido ventricular prematuro que se presente durante el periodo de repolarización⁽¹⁹⁾. Cuando el rayo hace contacto sobre un objeto o terreno cercano a la persona, es más probable que se desencadene la fibrilación ventricular, mientras que cuando el paso de la corriente es de forma directa sobre el individuo, se ha relacionado más con asistolia⁽¹⁸⁾.

Se puede presentar contusión miocárdica con elevación de biomarcadores que se manifiesta con inestabilidad hemodinámica y que puede evolucionar a shock cardiogénico en el marco de una disfunción sistólica y diastólica. Suele presentarse isquemia miocárdica. En algunos pacientes se han descrito casos de miocardiopatías de Takotsubo asociadas a sintomatología de insuficiencia cardíaca, estas pueden ser autolimitadas⁽¹⁸⁾.

Sistema respiratorio: El paso de corriente a nivel de SNC puede lesionar los centros de la respiración. Una persistencia de arresto respiratorio puede llevar a hipoxia de tejidos y a infartos cerebrales o del miocardio ⁽²⁾.

Ojos: La lesión es causada por el paso de corriente y la radiación. Puede provocar secuelas crónicas, la más frecuentemente asociada es la catarata, que puede ser bilateral y puede presentarse de inmediato o hasta dos años después. Se ha descrito edema a nivel de la mácula que se conoce como hoyo macular ⁽²⁰⁾, además de desprendimientos y hemorragias retinianas. Pueden presentarse desprendimiento y hemorragias vítreas, inflamación del iris, fotofobia, quemaduras de la córnea, edema corneal, úlceras u opacidades que se asocian a diplopía y ceguera ⁽²⁾. Lesiones corneales, hipema, uveítis o hemorragia vítrea pueden ocurrir con altas frecuencias ⁽¹⁰⁾.

Oído: Cerca de un 20-50% de las víctimas de electrofulguración sufren de perforación de la membrana timpánica con algún grado de pérdida auditiva crónica debido al sonido emitido por el rayo ⁽²¹⁾. Además, puede presentarse lesión de la cadena de huesecillos, lo que lleva a sordera conductiva ⁽²⁾. Si el paciente presenta otorrea y hemotímpano se debe sospechar de fractura de la base del cráneo que se puede asociar a la lesión por fulguración ⁽¹⁰⁾.

Piel: Se pueden presentar lesiones en cualquier superficie del cuerpo por el sobrecalentamiento de la piel causado por el paso de la corriente eléctrica. Las lesiones por lo general involucran las plantas de los pies y los ortijos, causadas por la salida de la corriente eléctrica hacia el suelo ⁽²⁾.

Psiquiátricas: Se asocia principalmente al trastorno de estrés post-traumático. En un estudio con cien sobrevivientes a electrofulguración se observaron disturbios del sueño como pesadillas, déficit atencional, fatiga crónica, irritabilidad y depresión ⁽²²⁾. Además por lesión a nivel de la corteza visual se han reportado casos de alucinaciones visuales complejas y delirios paranoides de duración variable ⁽²³⁾. Puede haber pérdida de memoria reciente llevando a amnesia del evento ⁽²⁾.

Neurológicas: Pueden haber lesiones inmediatas y pasajeras como pérdida de conciencia (75%), amnesia, confusión, cefalea, parestesia y debilidad (80%). Las secuelas neurológicas por lo general son a nivel del sistema nervioso central (SNC) y pueden presentarse hasta dos años posterior al evento ⁽²²⁾. La principal secuela neurológica es la encefalopatía isquémica post hipoxia. El sangrado a nivel del SNC pueden llevar a lesiones epileptogénicas crónicas, entre ellas las hemorragias intracraneanas e intraventriculares, hematomas epidurales y subdurales, además del edema cerebral y lesión neuronal ⁽²²⁾. Se puede presentar el síndrome cerebelar, cuya incidencia es baja, y se evidencia atrofia cerebelar por resonancia magnética ⁽²⁴⁾. Se han reportado casos de desmielinización en nervios periféricos, miopatía y alteraciones en la unión neuromuscular, que son infrecuentes, a diferencia del trauma eléctrico, donde el daño a nervios periféricos es comúnmente asociado a quemaduras de 3° y 4° grado. Incluso se ha documentado una asociación entre el síndrome de Guillain-Barré como secuela neurológica y el fenómeno fulgurativo ⁽²⁵⁾. Es común la presencia de *kerapoplejia* (o paraplejia post electrofulguración), que traduce lesión del SNA, de predominio en miembros inferiores con déficit sensitivo ⁽²⁶⁾. Se han reportado lesiones de los pares craneales VII y VIII post electrofulguración ⁽²²⁾.

Análisis de casos de muerte por electrofulguración en Costa Rica en el año 2011

Se analizaron los datos de la sección de Patología Forense del Organismo de Investigación Judicial relacionados a las muertes por electrofulguración en Costa Rica en el año 2011. Durante este periodo se dieron 7 casos de muerte por electrofulguración, seis de ellos hombres y solamente una mujer. Con respecto a la edad, entre los 10 y los 20 años se obtuvo la mayor cantidad de muertes, y a partir de los 40 años solamente se presentó un accidente (a los 80 años), por lo tanto a manera general las muertes por electrofulguración se observaron durante la juventud y la adultez temprana principalmente. Es importante recalcar que la mayoría se presentaron en la zona rural (57% de los casos) y todos se encontraban al aire libre en el momento que sucedió el accidente. A pesar de que la diferencia entre zona urbana y rural no fue tan grande (43% vs 57%, respectivamente), tiene lógica que la mayoría de casos se hayan dado en el campo, y no en la ciudad, donde no hay tanto árboles y uno se podría refugiar en un carro o dentro de una casa.

En cuanto a los mecanismos de lesión, la mayoría de los casos (71%) se dieron por golpe directo, uno por “side splash” (el rayo cayó a 40 metros de distancia del afectado) y otro por lesión de contacto (la persona se encontraba sujetando un cable de canopy, el rayo cayó sobre el cable y la corriente se desplazó a través del mismo). Así, vemos que en los casos del 2011 en nuestro país, se refuerza lo discutido en la literatura de que el mecanismo de lesión con mayor incidencia de muerte inmediata es el de golpe directo; ya que la persona se expone a que la corriente eléctrica esté en contacto inmediato con los tejidos corporales locales, y así mismo se expanda más fácilmente por medio de los nervios o vasos sanguíneos.

Todos los casos murieron como causa última por electrofulguración, excepto uno de los afectados que presentó una encefalopatía hipóxica desencadenada por la electrofulguración, que lo llevó a una bronconeumonía (causa última de su muerte).

Referencias Bibliográficas

1. Gisbert, J. y Villanueva, E. 2004. *Medicina Legal y Toxicología*, (4^a ed.). Barcelona, España: Masson. 424-426
2. Cooray, V. y Andrews, C. (2007). Lightning caused injuries in humans. *Journal of electrostatics*, 65, 386-384.
3. Selyukova, I. (1990). Trauma Eléctrico. *Revista Médica de Costa Rica*, 57, 510, 37-41.
4. Fish, R. (2011). *Lightning Injuries*. In Tintinalli, J., Stapczynski, J., Ma, O., Cline, D., Cydulka, R. & Meckler, G. (Eds), *Tintinalli's Emergency Medicine: A Comprehensive Study Guide*, (7^o ed). México: McGraw-Hill
5. Pereira, M. *Instituto Meteorológico Nacional. Tormentas eléctricas*. Recuperado en Octubre 2012 de: <http://www.imn.ac.cr/educacion/tormentas.html>
6. Tippens, P. (2007). *La fuerza eléctrica*. En Tippens, P. (ed), *Física, conceptos y aplicaciones*. México: McGraw Hill. 463-466.
7. Gottlieb, L. & Lee, R. (2005). *Chapter 97: Electrical Trauma*. In Hall, J., Schmidt, G., Wood, L. (Eds), *Principles of Critical Care*, (3^o ed). México: McGraw Hill.
8. Bauer, W. y Westfall, G. (2011). *Fuerza electromotriz y la ley de Ohm*. En Bauer W, Westfall G(ed). *Física para ingeniería y ciencias con física moderna*. México: McGraw Hill. 817.
9. Figgs, F. & Alvarez, G. (2012) Delayed esophageal perforation following lightning strike: a case report and review of the literature. *Figgs and Alvarez Journal of Medical Case Reports*, 6, 244.
10. O'Keefe, M. & Zane, R. (2004). Lightning injuries. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 22, 2, 369-403.
11. Zack, F., Rothschild, M. A. & Wegener, R. (2007). Lightning Strike-Mechanisms of Energy Transfer, Cause of Death, Types of Injury. *Dtsch Arztebl*, 104, 51-52, A 3545-9
12. Reisner, A. D. (2014). Delayed neural damage induced by lightning and electrical injury: neural death, vascular necrosis and demyelination? *Neural Regen Res*, 9, 9, 907-908.
13. Gisbert, J. y Villanueva, E. (2004). *Medicina Legal y Toxicología*, (4^a ed). Barcelona, España: Masson. 424-426

14. Arnould, J. & Le Floch, R. (2011). Lichtenberg figures associated with a high-voltage industrial burn. *Burns*, 37, 3, 13-15.
15. Ritenour, A., Morton, M., McManus, J., Barillo, D. & Cancio, L. (2008). Lightning Injury: A Review. *Burns*, 34, 5, 585-594.
16. Raffo, O. (1997). *La muerte violenta*. Buenos Aires, Argentina: Universidad. 166-167.
17. Aslan, S., Aydinli, B., Ocak, T. & Akcay, M. (2005). Lightning: an unusual etiology of gastrointestinal perforation. *Burns*, 31, 2, 237-239.
18. Simpson, C., McIntyre, W., Redfearn, D., Abdollah, H. & Baranchuk, A. (2010). The Lightning Heart: A Case Report and Brief Review of the Cardiovascular Complications of Lightning Injury. *Indian Pacing and Electrophysiology Journal*, 10, 9, 429-434.
19. Levy, D. & Akiyama, T. (2007). *Lightning-induced ventricular fibrillation*. *Cardiology Journal*, 14, 1, 91-94
20. Rao, K., Rao, L. & Kamath, A. (2009). Bilateral macular hole secondary to remote lightning strike. *Indian J Ophthalmol*, 57, 470-472.
21. Forster, S., Silva, I., Ramos, M., Gragnani, A. & Ferreira, L. (2013). Lightning Burn: Review and case report. *Burns*, 39, 2, 8-12.
22. Cherington, M. (2002). *Neurologic manifestations of lightning strikes*. Lighting Data Center, St Anthony Hospital, Denver, Colorado, USA.
23. Kleiter, I., Luerding, R. & Diendorfer, G. (2007). A lightning strike to the head causing a visual cortex defect with simple and complex visual hallucinations. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 78, 423-426.
24. Abdulla, S., Conrad, A., Schwemm, K., Stienstra, M., Gorsselink, E., Dengler, R. et al. (2014). Lesions along the upper motor neuronal pathway with locked-in features after lightning strike and cardiac arrest: A case-review analysis. *Brain Injury*, 28, 3, 298-303.
25. Theodorou, P., Limmroth, V., Perbix, W., Gerbershagen, M., Knam, M. & Spilker, G. (2008). Guillain Barré syndrome after lightning strike. *Burns*, 34, 5, 722-726.
26. Jost, W. (2005). Autonomic nervous system dysfunction in lightning and electrical injuries. *NeuroRehabilitation*, 20, 19-23.